

Hafrannsóknastofnunin. Fjölrit nr. 116

Þættir úr vistfræði sjávar 2004

Environmental conditions in Icelandic waters 2004

Efnisyfirlit

Contents

	bls. / page
Formáli	
<i>Forewords</i>	5
Ágrip	
<i>Icelandic summary</i>	7
Ágrip á ensku	
<i>English summary</i>	8
1. Ástand sjávar og svífsamfélög	
<i>Environmental conditions and plankton communities</i>	9
2. Langtímabreytingar	
<i>Long-term changes</i>	16
3. Stuttar greinar um vistfræði sjávar	
<i>Short notes on marine ecology</i>	19
Elísabet Dolinda Ólafsdóttir. Mælingar á ¹³⁷ Cs í sjó við Ísland – samvinnuverkefni í 15 ár	
<i>Measurements of ¹³⁷Cs in Icelandic waters – 15 years of cooperation</i>	19
Héðinn Valdimarsson, Höskuldur Björnsson og Kristinn Guðmundsson. Breytingar á ástandi sjávar á Íslandsmiðum og áhrif þeirra á lífríkið	
<i>Climatic variability in Icelandic waters and effects on marine biota</i>	23
Jón Ólafsson. Sýrustig sjávar breytist	
<i>Changing acidity of sea water</i>	29
Kristinn Guðmundsson og Agnes Eydal. Blómi kalksvífförunga í Norður-Atlantshafi	
<i>Blooming of coccolithophores in N-Atlantic waters</i>	33
Gróa Þóra Pétursdóttir. Greining þorsks (<i>Gadus morhua</i> L.) í stofneiningar út frá vaxtarhraða og lögun kvarna	
<i>Discrimination between Icelandic cod (<i>Gadus morhua</i> L.) stocks from adjacent spawning grounds based on otolith growth and shape</i>	37
Anna Rósa Böðvarsdóttir. Fiskeldi í sjókvíum við strendur Íslands: Umfjöllun um ferli leyfisveitinga, mat á umhverfisáhrifum og vöktunaraðferðir	
<i>Aquaculture in Iceland: Licensing process, monitoring and environmental impact assessment</i>	42
4. Viðauki (Umhverfisþættir í maí-júní 1952-2004)	
<i>Appendix (Environmental variables in May-June 1952-2004)</i>	46

Formáli / Forewords

Á Hafrannsóknastofnuninni er unnið að margvíslegum rannsóknum á vistfræði sjávar og beinast þær m.a. að því að fylgjast með langtímabreytingum á ástandi sjávar og lífríki í yfirborðslögum. Á árabílinu 1985-1993 var tilteknum þáttum þessara rannsókna gerð nokkur skil í vistfræðikafla árlegrar skýrslu um ástand nytjastofna sjávar. Síðan 1994 hefur verið gefin út sérstök skýrsla um vistfræði sjávar og hefur þar verið fjallað nokkuð ítarlegar en áður var unnt um ástand sjávar og umhverfisþætti.

Skýrslan sem hér birtist fjallar um ástand sjávar og umhverfisþætti árið 2004, en einnig eru niðurstöðurnar settar í samhengi langtíma þróunar. Meðal annars eru þær miklu breytingar sem orðið hafa á ástandi sjávar norðan og austan landsins undanfarin ár gerð sérstök skil, enda áhrif þeirra orðin veruleg hvað varðar samsetningu lífríkis við landið. Rannsóknir á ástandi sjávar og umhverfisþáttum hafa áratugum saman verið notaðar í sambandi við umfjöllun um líklega þróun nytjastofna og eru því einn af þeim þáttum er mynda forsendur ráðgjafar stofnunarinnar um verndun og nýtingu fiskistofnanna.

Í lokakafli ritsins er að finna safn stuttra greina um vistfræði sjávar eftir starfsmenn og samstarfsmenn stofnunarinnar. Annars vegar er um að ræða fræðandi greinar um afmörkuð vistfræðileg efni og hins vegar er það kynning á fyrstu niðurstöðum vistfræðiverkefna sem unnið er að á stofnuninni.

Stuttu greinarnar eru skrifaðar undir nafni höfunda, en að öðru leyti sá sérstakur starfshópur um útgáfu skýrslunnar. Starfshópin skipa Ástþór Gíslason, Héðinn Valdimarsson, Sveinn Sveinbjörnsson, Sólveig Ólafsdóttir og Kristinn Guðmundsson, sem jafnframt er ritstjóri þessarar útgáfu. Magnús Danielsen aðstoðaði við teikningar á myndum sem sýna hita- og seltudreifingu og Ólafur S. Ástþórsson las yfir handritið. Er þeim öllum þökkun vel unnin störf og einnig öðrum þeim starfsmönnum stofnunarinnar sem tekið hafa þátt í söfnun og úrvinnslu þessara gagna, bæði á sjó og landi.

Reykjavík 28. apríl 2005

Jóhann Sigurjónsson

ÁGRIP

Icelandic summary

Viðamesti kafli þessarar skýrslu fjallar um niðurstöður rannsókna á vistfræði sjávar við Ísland árið 2004. Ástand sjávar, sjávarhiti- og selta, er yfirleitt kannaður ársfjórðungslega. Sérstök áhersla er lögð á umhverfis- og vistfræðiathuganir að vorlagi, rannsóknir í svokölluðum vorleiðöngrum sem farnir eru í seinni helmingi maí mánaðar og standa stundum fram í byrjun júní. Þá tekur við kafli um langtímabreytingar í umhverfisþáttum og svifi, síðan nokkrar stuttar greinar um vistfræði sjávar og loks viðauki, tafla með tölugildum fyrir hvert ár, tölugildi sem notuð hafa verið við ýmiss konar samanburð.

Ástand sjávar á Íslandsmiðum árið 2004 einkenndist af sjávarhita og seltu yfir meðallagi eins og verið hefur síðan 1997. Þetta á bæði við um hlýsjóinn fyrir sunnan landið og einnig sjóinn á Norðurmiðum. Vetur og vor 2002 dró heldur úr áhrifum hlýsjávar á Norðurmiðum, en þau jukust aftur árið 2003. Botnhitinn var yfir meðallagi umhverfis landið, mest yfir landgrunninu sem er í samræmi við hlýjan yfirborðssjó.

Styrkur næringarefna í vorleiðangri árið 2004 var hár úti fyrir Vesturlandi, norður um Vestfirði og inn á Norðurmið að Siglunesi, enda hafði þörungagróður þar lítið tekið við sér, nema næst landi. Dreifing næringarefna og blaðgrænu sýndi að vorkoma gróðurs var annars staðar vel á veg kominn. Vorblómi var yfirstaðinn í hafinu austur af landinu. Almennt má telja að góð skilyrði hafi verið fyrir frumframleiðslu svifþörunga í yfirborðssjónum.

Átumagn var, þegar á heildina er lítið nokkuð undir meðallagi, en djúpt norðaustur og austur af landinu, á fæðuslóð norsk-íslensku síldarinnar var mikið af átu.

Stuttar greinar um vistfræði sjávar

Fyrsta greinin sem birt er undir nafni höfundar í þessu hefti fjallar um mælingar á geislavirku sesín (^{137}Cs) í hafinu við Ísland á undanförunum 15 árum. Rannsókirnar er unnar sem samvinnuverkefni Geislavarna ríkisins og Hafrannsóknastofnunarinnar. Í greininni er uppruni umræddra geislavirkra efna rakinn og sagt frá hvernig þau dreifast um Norður-Atlantshaf og norður fyrir Ísland áður en þeirra verður vart á Íslandsmiðum. Einnig er útskýrt hversu mikilvægt það er að fylgjast reglulega með geislaengun í hafinu.

Önnur greinin skýrir frá breytingum á ástandi sjávar við Ísland undanfarna áratugi og ýmsum áhrifum á lífríkið sem hafa verið settar í samhengi við breytingarnar. Þessi mál hafa verið í umræðunni í sívaxandi mæli enda hefur sjór við Ísland verið hlýrri og saltari undanfarin ár en meðaltöl fyrri mælinga segja til um og á jafnvel eftir að hlýna enn meira að margra álitum. Það er því ekki að undra þótt fleiri greinar í þessari árlegu skýrslu um vistfræði sjávar fjalli um breytingar í umhverfinu og áhrif gróðurhússlofttegunda í andrúmsloftinu. Þriðja greinin skýrir frá niðurstöðum mælinga sem sýna að yfirborðssjór í Norður-Atlantshafi er að súrna og það er rakið til vaxandi styrks koltvíoxíðs í andrúmsloftinu. Sú þróun mun að líkum halda áfram er fram líða stundir. Í fjórðu greininni er líka komið inn á uppsöfnun koltvíoxíðs í andrúmslofti og hugsanlegt samspil vaxtar kalksvifþörunga og umhverfis í hnattrænu samhengi. Tilefni greinarinnar er að á síðastliðnu sumri varð vart óvenjumikillar útbreiðslu einnar tegundar kalksvifþörunga í Irmingerstraumnum vestur af landinu.

Síðustu tvær greinarnar að þessu sinni fjalla um viðfangsefni sem nánar er fjallað um í meistaraþrófsritgerðum höfunda. Í fyrri greininni er sagt frá rannsóknum á þorski sem hrygnir úti fyrir Suðvesturlandi. Niðurstöður rannsóknanna benda til að þorskur á svæðinu skiptist í tvo aðgreinanlega undirstofna og að þeir hafi áberandi mismunandi eiginleika. Greinarhöfundur bendir á mikilvægi þess að varðveita undirstofna fisks með stjórnun á veiðiálagi. Í seinni greininni eru rakin ákvæði reglugerða sem varða stjórnun fiskeldis, bæði hvað varðar umsóknir um leyfi til fiskeldis og eftirlit með rekstri fiskeldisstöðva. Borin er saman reynsla af þessum málaflokki á Íslandi og í nokkrum samanburðarlöndum, tiltekna forsendur sem fiskeldis fyrirtæki þurfa að uppfylla og jafnframt er stungið upp á lausnum á því sem þykir ábótavant.

ÁGRIP Á ENSKU

English summary

The first section of this report describes environmental monitoring in the waters around Iceland during the year 2003. The main emphasis is on research carried out during the annual spring survey. The second section describes long-term trends in environmental data, while the last section is a collection of short notes on some of the marine ecological work carried out by the Marine Research Institute.

Temperature and salinity during the year 2004 were above the long time average for Icelandic waters, as has been the case since 1997. This applies both to the warm Atlantic water to the south and west and the arctic waters north of Iceland. The extent of Atlantic water on the banks north of Iceland declined temporarily during the first half of 2002, but has increased again throughout the year 2003. Bottom temperatures were above the long-term average, especially on the shelf, reflecting the mentioned increase in seawater temperatures.

Judged by the decline in nutrients there had, in general, clearly been some growth of phytoplankton in May 2004, except for the Irminger Current west of Iceland. The inflowing watermass from Irminger sea, with high concentrations of nutrients in the surface waters, extended to the central parts of the shelf north of Iceland. The springbloom in the Atlantic water to the east of Iceland and the adjacent Norwegian Sea, had culminated.

The biomass of zooplankton was below the long-term average in spring 2004. As in previous years, zooplankton was most abundant in the foraging area of herring far off the east coast and in spring 2004 the abundance of zooplankton was above the long term average there.

Short notes on marine ecology

The first of five short notes in this report of environmental research at the Marine Research Institute and coworkers is written by a scientist at the Icelandic Radiation Protection Institute. The article reveals the dispersal of radioactive waste in the N-Atlantic and the arctic basin and deals with monitoring of ^{137}Cs in Icelandic waters during the last 15 years. The importance of that work is explained, mainly with concern for the economics of the fish industry.

The second short note is also based on a long-timeseries of measurements, revealing climatic changes in Icelandic waters and some effects on the biota which have been related to these changes. This topic is highly relevant and receiving increased attention in recent years. The third note reports the results of measurements of CO_2 concentrations, both in the air and in seawater, during the last two decades, in both Atlantic water and colder water of mixed arctic origin. The trends at both sites show reduction in pH-values as the CO_2 concentration in the air increases. The processes involved and perspectives are discussed. The fourth note is related to the greenhouse gases as well, especially the CO_2 budget of the atmosphere. The initiative, however, is a scenario of an extensive bloom of *Emiliana huxleyi*, seen west of Iceland and in the Irminger Sea in June 2004. The figure, presented by NASA on the internet, is most illustrative and interesting as well. Hitherto it has not been the general idea that coccolithophorids bloom in these waters. Some review is given on the present understanding of the importance of coccolith formation and the subsequent sink of calcium carbonate from the surface layer in the N-Atlantic.

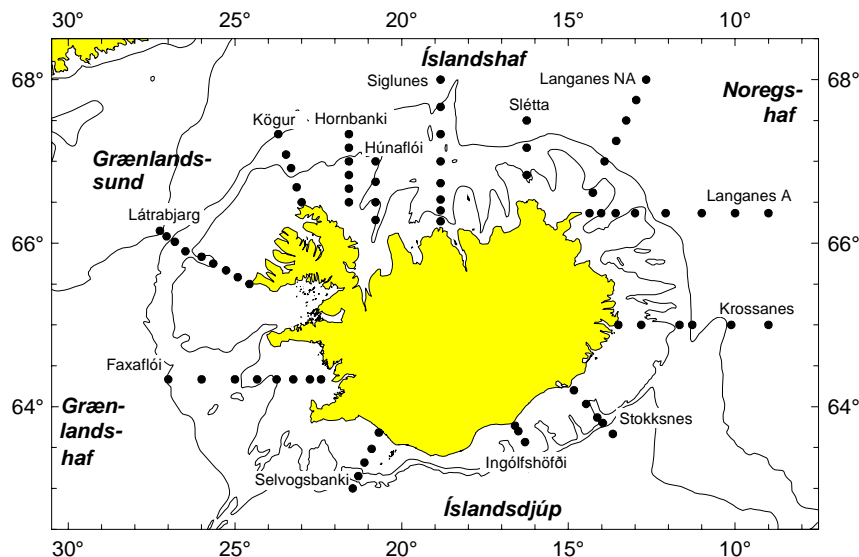
The two last notes are summaries of theses for master degrees. The one dealing with cod is based on samples taken from three adjacent locations, during the cod spawning period in 1996. The question asked was whether there was distinguishable substocks of cod in the area. The author points out the importance to preserve special properties of regional spawning substocks by regulating on fishing effort. The other note summarizes regulations and practices concerning aquaculture in Iceland, makes comparison to other selected nations and provides several suggestions on how these affairs may be improved.

1. ÁSTAND SJÁVAR OG SVIFSAMFÉLÖG / ENVIRONMENTAL CONDITIONS AND PLANKTON COMMUNITIES

Inngangur / Introduction

Hafrannsóknastofnunin fylgist árlega með helstu umhverfisþáttum og svif-samfélögum á Íslandsmiðum. Flókið samspil margra umhverfisþátta hefur áhrif á fæðuvef sjávar og á það jafnt við um vöxt og viðgang nytjastofna við Ísland sem annars staðar. En vandamt er að meta umfang áhrifa af breytingum í umhverfinu út frá einstökum mælanlegum þáttum. Engu að síður er stöðugt verið að nota gögn sem safnað hefur verið í umhverfisrannsóknum til að skýra eða leita eftir samhengi við breytingar í lífríki sjávar. Því er mikilvægt að ástunda þær rannsóknir sem hér er greint frá af kostgæfni hvert ár og gæta þess að niðurstöðurnar verði samanburðarhæfar. Hér er greint frá niðurstöðum athugana sem gerðar voru á árið 2004.

Á tímabilinu frá janúar til desember 2004 voru hiti og selta mæld í hafinu umhverfis Ísland á fjórum árstíðum. Mælt var á staðalsniðum (1. mynd), í vetrarleiðangri í janúar og febrúar, vorleiðangri í maí ásamt rannsóknum á svifi í yfirborðslögum sjávar, að hluta í ágúst og síðan í sjórannsókn- og loðnuleiðangri í nóvember. Að þessu sinni er ekki greint frá niðurstöðum rannsókna á útbreiðslu fiskseiða í ágúst, eins og gert hefur verið undanfarna þrjá áratugi, enda var viðkomandi rannsóknum hætt á síðastliðnu ári.

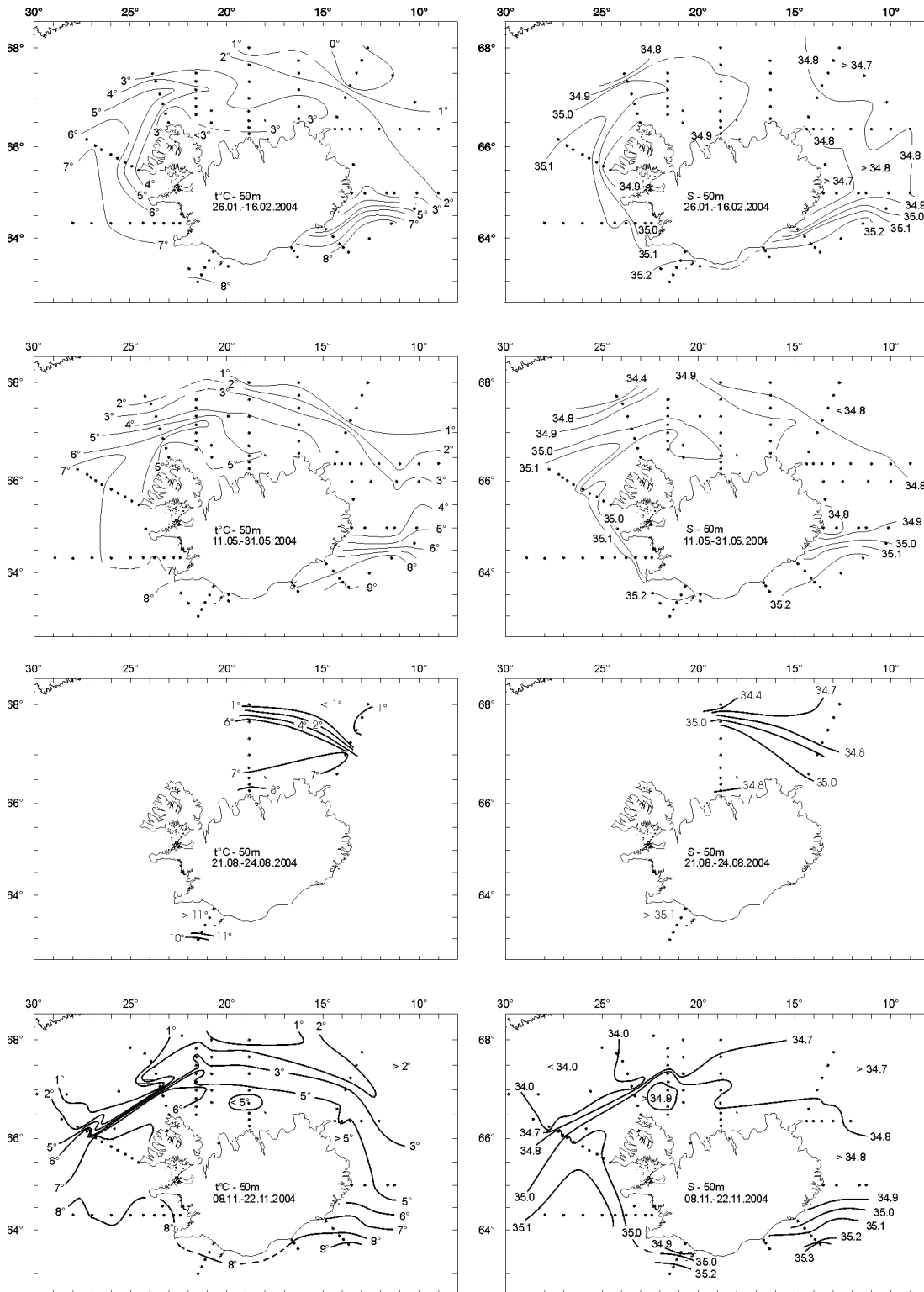


1. mynd. Staðalsnið með stöðvum þar sem fram fara reglubundnar mælingar og sýnatökur til sjó- og svifrannsóknna umhverfis Ísland. Dýptarlínur eru sýndar fyrir 200 og 500 m.

Figure 1. Standard sections used in routine hydrographic and plankton research in Icelandic waters. Depth contours are shown for 200 and 500 m.

Hiti og selta í yfirborðslögum / Temperature and salinity in surface layers

Á árinu 2004 var sjór á Íslandsmiðum almennt nokkru hlýrri og saltari en í meðallagi fyrir viðkomandi árstíma (2. mynd). Hlýsjórinn eða Atlantssjórinn að sunnan var áfram yfir meðallagi heitur og saltur miðað við meðaltal árána 1970 til 2003. Hiti og selta í hlýsjónum fóru hækkandi frá því síðla árs 1996 til 1998 þegar hæstu gildin mældust en lækkaði þá heldur þar til síðla árs 2002. Síðan hækkuðu hiti og selta í hlýsjónum að nýju og árið 2003 mældust hæstu gildi í 30 ár. Árið 2004 voru hiti og selta í hlýja sjónum vestan við land áfarm vel yfir meðallagi og svipuð og árið 2003. Heldur dró þó úr útbreiðslu hlýsjávar fyrir norðan land miðað við árið á undan.



2. mynd. Vinstri dálkur sýnir sjávarhita (°C) og hægri dálkur seltu á 50 m dýpi í hafinu umhverfis Ísland, raðað ofan frá og niður í títaröð fyrir febrúar, maí, ágúst og nóvember árið 2004.

Figure 2. Sea temperature (°C, left) and salinity (right) at 50 m depth in Icelandic waters, for February, May, August and November 2004, arranged from top to bottom.

Í vetrarleiðangi í janúar og febrúar var hlýsjórinn fyrir sunnan og vestan land áfram hlýr og selturíkur líkt og árin á undan. Atlantssjávar gætti norður fyrir Vestfirði og inn á Norðurmið. Á Norðurmiðum voru hiti og selta yfir meðallagi ($\sim 2-4^{\circ}\text{C}$, $> 34,8$). Hiti og selta í Austur-Íslandsstraumi voru einnig heldur yfir meðaltali ($0-2^{\circ}\text{C}$, $> 34,7$).

Í vorleiðangri, í maí, var Atlantssjórinn að sunnan yfir meðallagi bæði hvað varðar hita og seltu (hiti $6-8^{\circ}\text{C}$ og selta $35,0-35,2$) og áhrifa hans gætti vel inn á Norðurmið. Hiti og selta úti fyrir Norðurlandi voru vel yfir meðallagi en þar var samt heldur kaldara og ferskara en vorið 2003 ($3-5^{\circ}\text{C}$ og $34,9-35,0$). Í Austur-Íslandsstraumi mældust hiti og selta yfir meðallagi ($0-3^{\circ}$, $> 34,8$). Hiti og selta á Austurmiðum voru hins vegar um og yfir meðallagi.

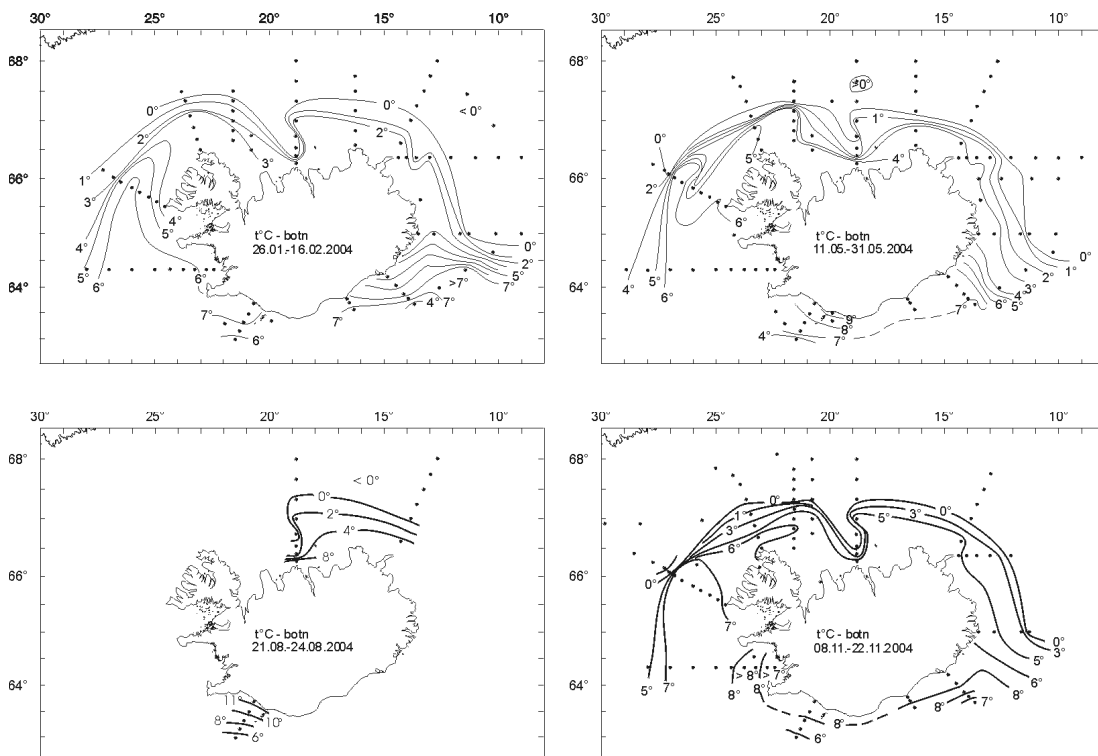
Í ágúst var eingöngu mælt á Siglunessniði, Langanesi NA og Selvogsbanka (1. mynd). Hiti úti fyrir Norðurlandi var yfir meðallagi og hár á grunnslóð norðaustan lands og seltan var yfir meðallagi. Hiti og selta á Selvogsbanka voru sömuleiðis yfir meðallagi.

Í sjórannsókn- og loðnuleiðangri í byrjun vetrar (nóvember) var enn tiltölulega hlýtt og salt vestan við land. Hiti og selta voru einnig yfir meðallagi árstímans fyrir Norðurlandi, Norð-Austurlandi og á Austfjarðamiðum. En kaldri og ferski sjórinn var nær landi en árið 2003. Seltan í Austur-Íslandsstraumi var yfir $34,7$ og hiti var áfram yfir meðallagi.

Almennt má segja að árið 2004 hafi yfirborðslög sjávar verið um og yfir meðallagi hvað varðar hita og seltu, en útbreiðsla hlýsjávar fyrir norðan og austan land var allnokkru minni en árið 2003 er hún var með mesta móti.

Botnhiti

Botnhiti á Íslandsmiðum í janúar-febrúar, maí, ágúst-september og nóvember 2004 er sýndur á 3. mynd. Þegar myndin er skoðuð verður að hafa í huga mismunandi dýpi og fjarlægð frá landi. Augljós einkenni hitadreifingar við botn eru áhrif hlýja sjávarins á landgrunninu fyrir sunnan og vestan land og kalda sjávarins fyrir norðan og austan.



3. mynd. Hiti við botn ($^{\circ}\text{C}$) í hafinu við Ísland í febrúar, maí, ágúst og nóvember, raðað eftir tímaröð ofan frá og til hægri fyrir árið 2004.

Figure 3. Near bottom temperature ($^{\circ}\text{C}$) in Icelandic waters in February, May, August and November 2004, arranged from above and to the right.

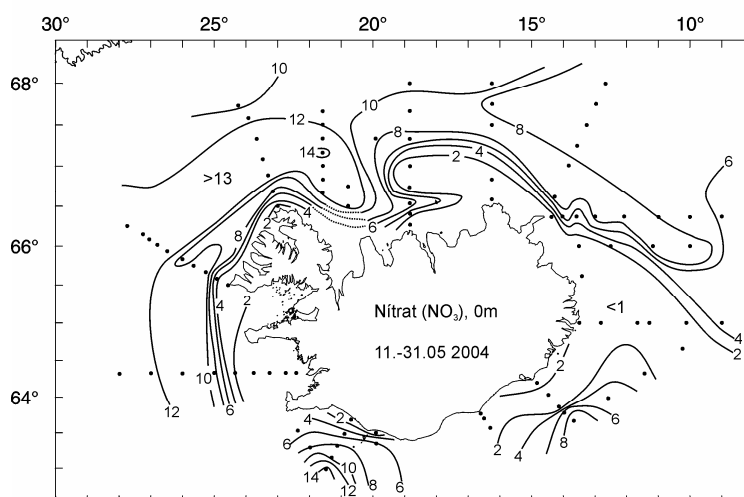
Botnhiti á landgrunninu er eins og vænta má, yfirleitt lægstur í febrúar-mars og hæstur í ágúst-september eða jafnvel síðar á árinu. Árssveifla er að vonum mest þar sem grynnt er við landið, en minnkar með vaxandi dýpi. Utan við landgrunnsbrúnina norðan og austan lands er botnhiti alltaf undir 0°C (djúpsjór Norðurhafa). Úti fyrir miðju Norðurlandi (í Eyjafjarðarál, dýpi allt að 700 m) nær kaldur djúpsjórinn langt inn að landi og skiptir Norðurmiðum í vestari og eystri hluta. Í landgrunns-hlíðunum sunnan og vestan lands fer botnhiti einnig lækkandi með vaxandi dýpi, en þó fer hann ekki mikið niður fyrir 4°C.

Botnhiti á landgrunninu, sunnan lands og vestan, árið 2004 var 5-7°C í janúar-febrúar, 6-8° í maí, 6-11° í ágúst (Selvogsbanki) og 6-8° í nóvember, sem er vel yfir meðallagi. Úti fyrir Norður- og Austurlandi var botnhiti á landgrunninu í febrúar í meðallagi (1-4°). Vorið 2004 var hann 1-5°, sem er einnig í meðallagi. Í ágúst var botnhitinn svo um 2-8° (Siglunes-Langanes NA), en lækkaði svo aftur í nóvember í 2-6° sem er nærri meðalári. Botnhiti á íslenska landgrunninu árið 2004 var almennt um eða yfir meðallagi umhverfis landið.

Næringarsölt / Nutrients

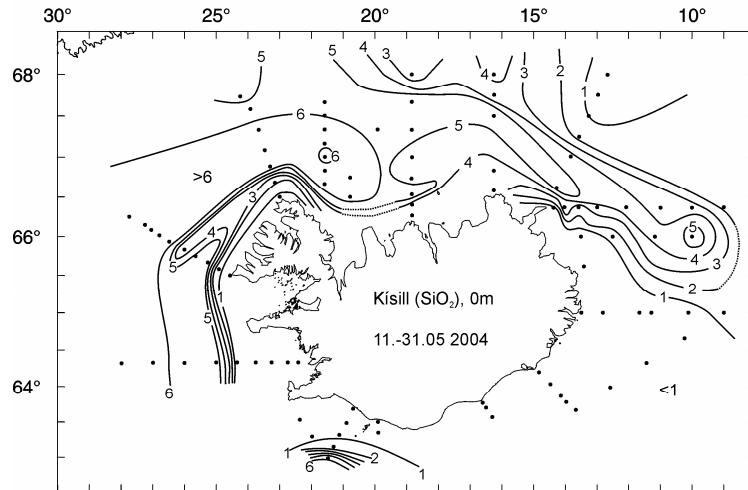
Styrkur næringarefna í yfirborðslögum sjávar var kannaður í maí á hafsvæðinu umhverfis Ísland. Á 4. og 5. mynd er sýnd dreifing nítrats (NO_3 , $\mu\text{mól l}^{-1}$) og dreifing kísils (Si, $\mu\text{mól l}^{-1}$) dagana 11.- 31. maí 2004. Styrkur næringarefna í yfirborðslögum sjávar breytist reglulega með árstíma og er það afleiðing af bæði lífrænum og eðlisfræðilegum ferlum og er árlegt hámark síðla vetrar. Hlýsjórinn sem flæðir inn á Norðurmið ber með sér uppleyst næringarefni og áhrif hans koma fram í háum styrk næringarefna í yfirborðslögum og auk þess eru minni líkur á því að sterk lagskipting verði úti fyrir Norðurlandi þegar áhrif hlýsjávar eru mikil. Allt getur þetta stuðlað að vexti svifþörungum og þar með aukið framleiðnigetu svæðisins.

Á grunnsævi í Faxaflóa hafði styrkur næringarefna lækkað mjög frá um veturinn, en utar var styrkur næringarefna enn hár og hafði víðast hvar ekki lækkað að ráði frá því sem áætla má að hann hafi verið um veturinn. Sömuleiðs var enn gnótt næringarefna úti fyrir Vestfjörðum og á landgrunninu austur með Norðurlandi allt suður fyrir Langanes. Veruleg lækkun á nítrati hafði þó orðið allra næst landi úti fyrir Norð-Austurlandi en þar var enn nægur kísill til staðar. Úti fyrir Austurlandi hafði stór hluti næringarefnaforðans verið tekinn upp af svifþörungum (6. mynd), en þar var styrkur bæði nítrats og kísils mjög lítill. Einkum var áberandi lítill styrkur kísils úti fyrir öllu Austur- og Suðurlandi. Það bendir til þess að kísilþörungur hafi staðið undir stórum hluta vorblómans á þessu svæði en einungis kísilþörungur nýta uppleystan kísil.



4. mynd. Styrkur nítrats (NO_3 , $\mu\text{mól l}^{-1}$) við yfirborð í hafinu umhverfis Ísland í maí 2004.

Figure 4. Concentration of nitrate (NO_3 , $\mu\text{mol l}^{-1}$) at the surface in Icelandic waters in May 2004.



5. mynd. Styrkur kísils (Si , $\mu\text{mól l}^{-1}$) við yfirborð í hafinu umhverfis Ísland í maí 2004.

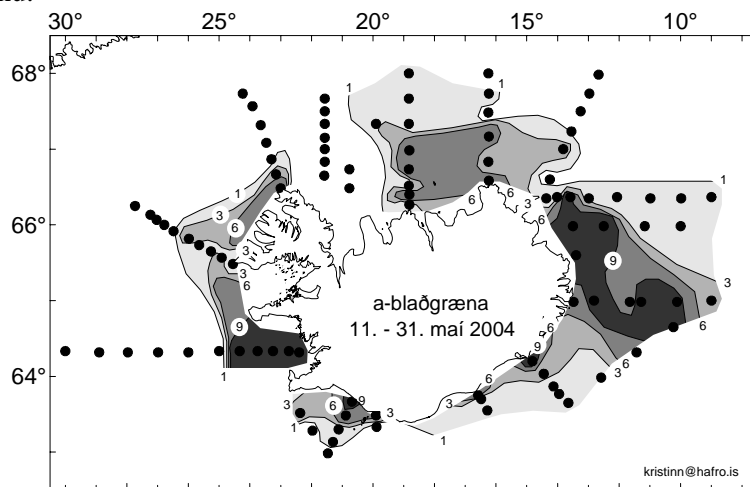
Figure 5. Concentration of silicate (Si , $\mu\text{mól l}^{-1}$) at the surface in Icelandic waters in May 2004.

Svifþörungar / Phytoplankton

Gróðurmagn í yfirborðslögum sjávar var kannað á hafsvæðinu umhverfis landið í síðari hluta maí mánaðar. Dreifing gróðurs á 10 m dýpi er sett út á kort (6. mynd) og framvindan metin með hliðsjón af fyrri rannsóknum og niðurstöðum mælinga á styrk næringarefna.

Í Faxaflóa og yfir landgrunninu vestur með landinu var talsvert af gróðri um miðjan maí og þar var talsvert gengið á styrk næringarefna (4. og 5. mynd). Lítil gróður var hins vegar í Atlantssjónum djúpt vestur af landinu, eins og undanfarin ár á þessum árstíma. Sama átti líka við um vestanverð Norðurmiðin, sem samsvarar mikilli útbreiðslu selturíks Atlantssjávar þar (2. mynd). Styrkur nitrats (4. mynd) bendir til að vorkoma gróðurs hafi ekki verið hafin fyrir alvöru á öllu þessu svæði. Frá Siglunessniði og austur að Langanessniði NA (1. mynd) var vorblómi gróðurs í fullum gangi, en í kalda sjónum djúpt norðaustur af Langanesi var hæg aukning gróðurs hafin, eins og oft áður á þessum árstíma.

Austan og sunnan landsins var almennt talsverður gróður og yfirleitt farið að líða að lokum vorblómans næst landi miðað við þurrð nitrats þar (4. mynd). Sjá má að á ystu stöðvum á Selvogssniði og Stokksnessniði var enn gnótt nitrats fyrir svifþörungum fjarst landi, en af styrk kísils á þessum stöðum má ráða að ekki var að vænta frekari vaxtar kísilþörungum austan til á svæðinu.



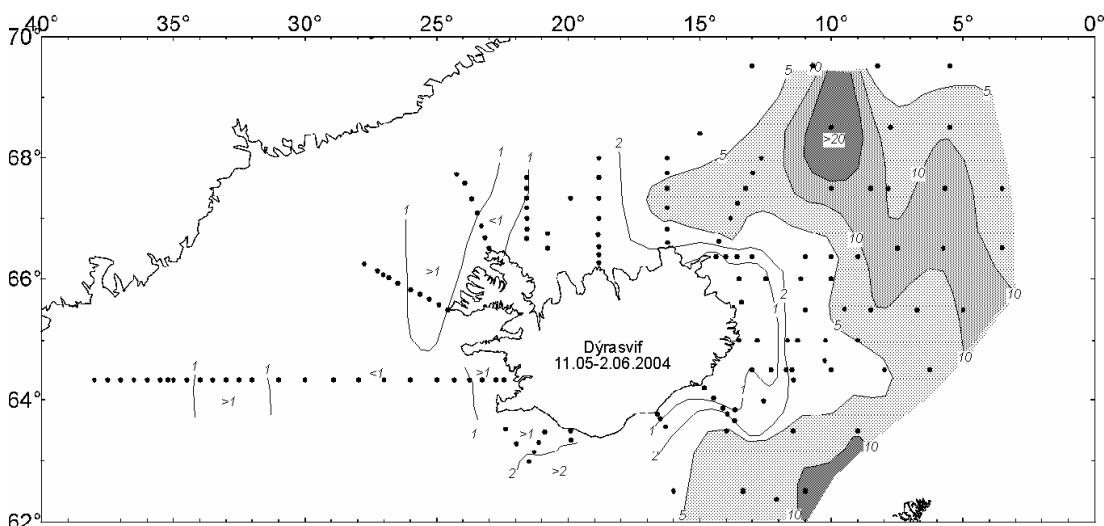
6. mynd. Magn a-blaðgrænu (mg m^{-3}) á 10 m dýpi í maí 2004.

Figure 6. Chlorophyll-a concentration (mg m^{-3}) at 10 m depth in May 2004.

Magn og dreifing átu að vorlagi

Magn og útbreiðsla dýrasvifs umhverfis landið var kannað í vorleiðangri, 11.-31. maí, og í leiðangri sem farinn var í tengslum við sameiginlegar síldarrannsóknir Íslendinga, Norðmanna, Færeyinga, Rússa og Evrópusambandsins í Noregshafi (23. maí - 2. júní). Í síðast talda leiðangrinum voru einnig gerðar athuganir á hrygningu rauðátu djúpt austur af landinu. Í leiðöngrunum var sýnum safnað úr yfirborðslögum sjávar með svonefndum WP-2 háfum. Frumúrvinnsla sýnanna fór fram um borð í rannsóknaskipunum og fólst m.a. í því að lifmassinn var mældur og samsetning átunnar metin í stórum dráttum. Rannsóknir á hrygningu rauðátu eru fólgnar í því að kvendýrum er haldið lifandi um borð í rannsóknaskipi og fylgst með því hversu mörgum eggjum dýrin hrygna.

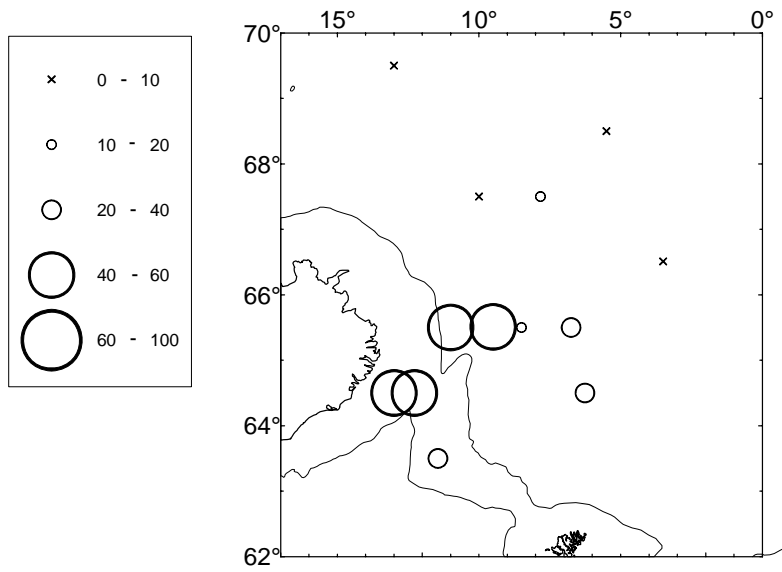
Fyrir Vesturlandi fannst lítið af átu (7. mynd). Mest var magnið í Faxaflóa og djúpt út af Vestfjörðum. Á Norðurmiðum var einnig lítið af átu. Í kalda sjónum djúpt norðaustur og austur af landinu fannst hins vegar mikið af átu. Á þessum slóðum eru stórar og hægvaxta kaldsjávartegundir ríkjandi þáttur í samfélagi svifdýra, og þess vegna er átumagn gjarnan tiltölulega mikið þar. Á grunnslóð út af Austurlandi og úti fyrir Suðurlandi var lítið af átu. Á fæðuslóð norsk-íslensku síldarinnar í Noregshafi var hins vegar mikið af átu, einkum rauðátu.



7. mynd. Útbreiðsla dýrasvifs í yfirborðslögum (g þurrvigt m^{-2} , 0-50 m) í hafinu við Ísland að vori 2004. Á skyggðum svæðum er þurrvigt átu meiri en $5 g m^{-2}$.

Figure 7. Zooplankton distribution (g dry weight m^{-2} , 0-50 m) in the sea around Iceland in spring 2004. Shaded areas: more than $5 g$ dry weight m^{-2} .

Í lok júní og byrjun maí var umfang hrygningar rauðátu metið í Austurdjúpi og við landgrunnsbrúnirnar austur og suðaustur af landinu (8. mynd). Norðarlega á athugunarsvæðinu (norðan $66^{\circ}N$), þar sem sjór var kaldastur (sbr. 2. mynd, bls. 10), var lítil hrygning, en hrygningin jókst svo eftir því sem sunnar dró. Fyrir austan land virtist vöxtur og viðgangur rauðátustofnsins því hafa verið hvað mestur yfir neðansjávarhryggnum milli Íslands og Færeyja, Rósagarðinum, suðaustur af Stokksnesi (8. mynd).

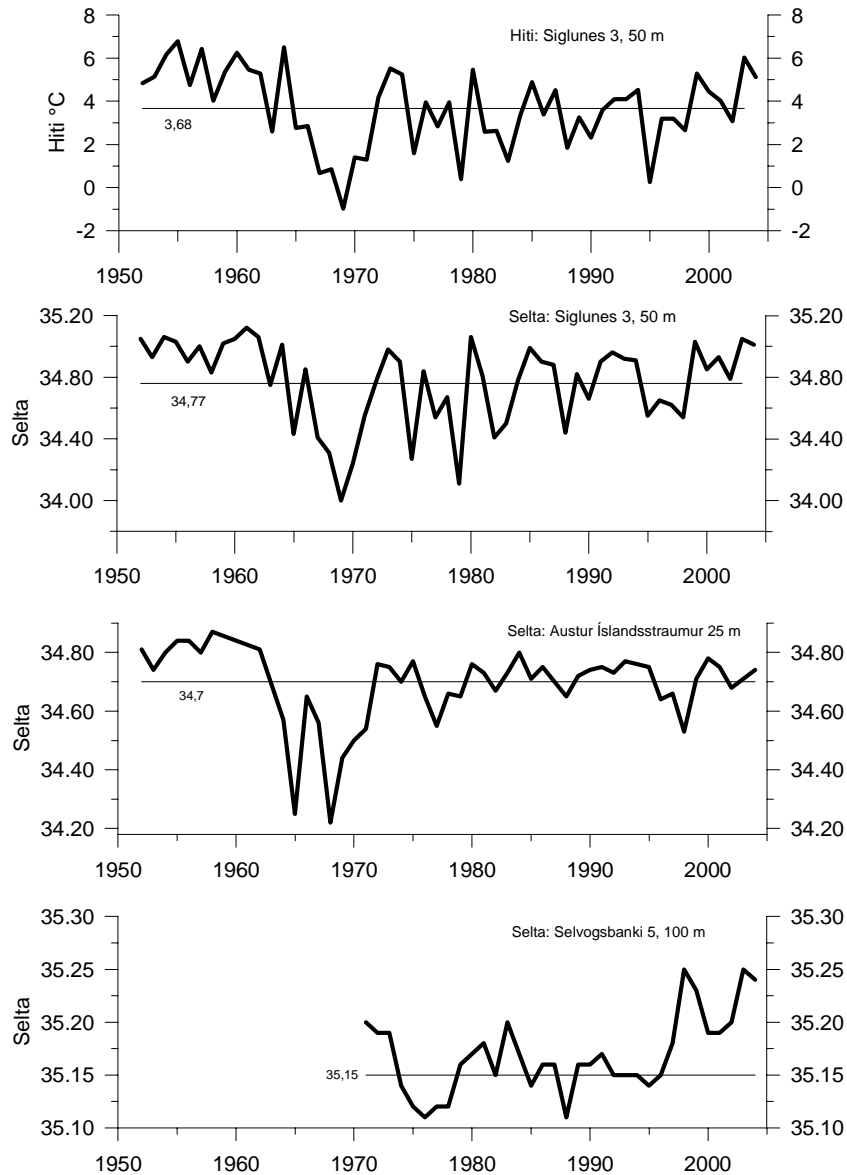


8. mynd. Eggjaframleiðni rauðáttu (egg kvendýr⁻¹ dagur⁻¹) austur af Íslandi, 24.-31. maí 2004.

Figure 8. Egg production of *Calanus finmarchicus* (eggs female⁻¹ day⁻¹) east of Iceland, 24-31 May 2004.

2. LANGTÍMABREYTINGAR / LONG-TERM CHANGES

Niðurstöður mælinga á hita og seltu sjávar (1. kafli) sýna ríkjandi ástand, en með reglubundnum mælingum og samanburði á niðurstöðum við fyrri ár má að einhverju leiti rekja breytingarnar til mismunandi hafstrauma því hiti og selta einkenna sjógerðir.



9. mynd. Hiti og selta á 50 m dýpi á 3. stöð á Siglunesniði, selta á 25 m dýpi í Austur-Íslandsstraumi og selta á 100 m dýpi á 5. stöð á Selvogsbanka. Beinu línurnar tákna meðaltöl fyrir viðkomandi árabíl fyrir Siglunesstöðina. Fyrir A-Íslandsstraum er notuð viðmiðunarlína sem í raun er mörkin þar sem ísmyndun er möguleg, þ.e. ef selta er minni en 34,7, til aðgreiningar á hlýum og köldum árum og á Selvogsbanka er notað gildið seltugildið 35,15 í sama tilgangi. Athugið breyttan seltukvarða fyrir Selvogsbanka. Niðurstöðurnar eru frá rannsóknum að vorlagi og staðsetning stöðva er sýnd á 1. mynd (1. stöð er næst landi).

Figure 9. Temperature and salinity deviations at 50 m depth at station 3 on the Siglunes section, salinity at 25 m depth in the East Icelandic Current and salinity at 100 m depth at station 5 of the Selvogsbanki section. At Siglunes the horizontal lines are the means for the year interval indicated by the line. The value shown for E-Iceland Current can also be used to differentiate between warm and cold years but it is actually the critical salinity point for the formation of sea ice (34.7). At Selvogsbanki the value 35.15 can be used to differentiate between warm and cold years. Please notice a different salinity scale for Selvogsbanki. The observations are from spring surveys and the location of stations are given in Figure 1, the lowest station number is closest to the coast.

Hiti og selta á Selvogsbanka / *Temperature and salinity at Selvogsbanki*

Í hlýja sjónum á Selvogsbanka eru umhverfisaðstæður stöðugri en víðast hvar annars staðar við landið. Þó eru áraskipti í seltu þar eins og annars staðar og skiptast á tímabil með seltu hærri en 35,15 og lægri en 35,15 (9. mynd). Seltan þar var tiltölulega lág á árunum 1974-1978, 1985-1988 og svo aftur 1992-1995. Lágri seltu á Selvogsbanka fylgir að öllu jöfnu lágt hitastig. Árið 1996 varð vart heldur vaxandi seltu í hlýja sjónum á Selvogsbanka og árin 1997-99 jókst seltan enn frekar og var jafnvel hærri en mælst hafði síðan fyrir hafísárin á sjöunda áratugnum (>35,20). Árið 1998 náði seltan hámarki (35,25), síðan lækkaði hún nokkuð en hækkaði aftur 2002 og 2003 í það sama og hún var 1998. 2004 hefur hún svo lækkað eilítið.

Seltusveiflurnar í hlýja sjónum suður af landinu tengjast breytingum sem verða í hringrás hafstrauma í norðanverðu Norður-Atlantshafi og í Norðurhöfum. Þannig geta áhrif lítillar seltu í hlýja sjónum fyrir sunnan land komið fram nokkrum árum síðar í svalsjó í Íslandshafi.

Hiti og selta á Norðurmiðum / *Temperature and salinity on the Northern Shelf*

Hitastig og selta hafa verið mæld árlega að vorlagi út af Siglunesi í yfir hálfra öld (9. mynd). Eftir hlýviðrisskeið á norðanverðu Norður-Atlantshafi tók að kólna á sjöunda áratugnum. Svonefnd hafísár 1965-71 tóku við með köldum og seltulágum pólsjó í Íslandshafi. Áhrif pólsjárvarins tengdust þeim breytingum á hringrás hafstrauma í Norður-Atlantshafi sem áður var getið.

Eins og sjá má á 9. mynd hafa síðan 1971 skipst á „hlý“ ár (1972-74, 1980, 1984-87 og 1991-94) og „köld“ ár (1975, 1977, 1979, 1981-83, 1988-90 og 1995) á Norðurmiðum. Þeim síðarnefndu má skipta í pólsjárvarar og svalsjárvarar eftir ríkjandi sjógerðum og lagskiptingu í sjónum. Þannig flokkast árin 1981-83, 1989, 1990 og 1995 til svalsjárvarara í sjónum fyrir Norðurlandi, en þá var lagskipting tiltölulega lítil. Þetta ástand var sérstaklega áberandi árið 1995.

Niðurstöður frá árunum 1996-98 sýna að heldur hlýnaði á Norðurmiðum eftir 1995. Þessi ár lá þó ferskt og svalt yfirborðslag ofan á selturíkum hlýsjónum og dró það úr áhrifum hans. Seltan í þessu yfirborðslagi var lág (undir 34,7), í samræmi við seltu í Austur-Íslandsstraumi 1996-98 og lægri en mælst hafði síðan á hafísárinu 1988. Árið 1999 var sjórinn fyrir norðan kominn vel yfir meðalag bæði hvað varðar hita og seltu. Síðan dró lítillaga úr áhrifum hlýsjávar undan Norðurlandi næstu ár og voru í meðallagi samkvæmt mælingum árið 2002. Bæði hiti og selta, yfir landgrunninu, voru svo almennt yfir meðallagi árið 2003, einkum var útbreiðsla hlýsjávar mikil. Útbreiðslan minnkaði heldur árið 2004 með heldur lægri hita og seltu, en gildin voru samt vel yfir meðallagi. Seltan í Austur-Íslandsstraumi náði hámarki 1999, lækkaði síðan niður fyrir meðallag vorið 2002 en hækkaði síðan 2003 og var eilítið yfir meðallagi. Árið 2004 var seltan í Austur-Íslandsstraumi síðan heldur hærri en 2003.

Dýrasvif / *Zooplankton*

Rannsóknir á átu í því augnamiði að fylgjast með langtímabreytingum í átumagni hafa verið stundaðar hér við land í meira en 40 ár. Í upphafi tengdust þær síldarleit út af Norðurlandi og því ná gögnin lengst aftur í tímann á þeim slóðum. Frá árinu 1971 hefur rannsóknunum verið sinnt allt í kringum land í vorleiðöngum. Til að gögnin verði samanburðarhæf hefur þeim verið safnað á nokkurn veginn sama árstíma ár hvert (maí-júní) og með svipuðum aðferðum. Breytileikinn í átumergð frá ári til árs að vori segir sennilega að einhverju leyti til um mismunandi heildarframleiðslu átu yfir sumarið, en bæði vorvöxtur og heildarframleiðsla dýrasvifsins eru talin ráðast af atriðum eins og umhverfisskilyrðum og fæðuframboði.

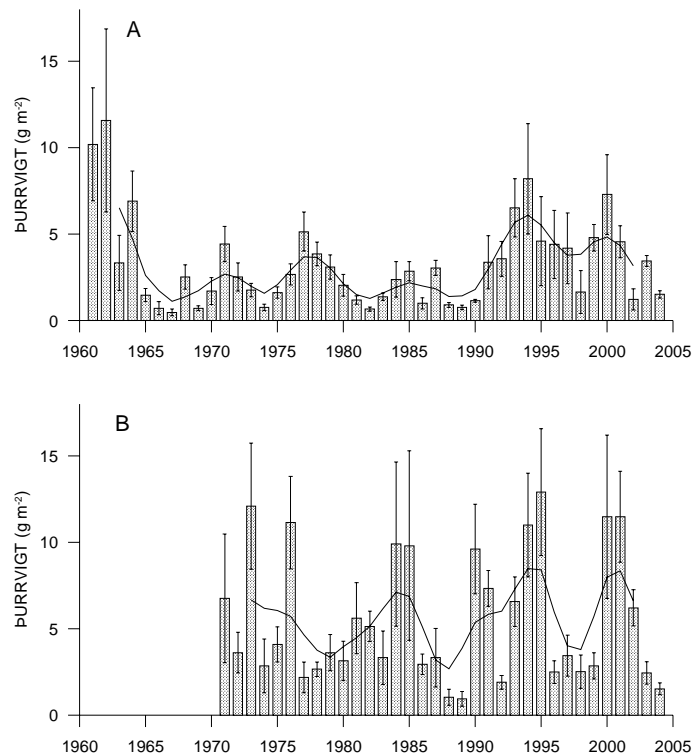
Langtímabreytingar á átumagni á Selvogsbanka- og Siglunessniði eru sýndar á 10. mynd. Gildin sem sýnd eru á myndinni eru meðaltalsgildi fyrir allar stöðvar á viðkomandi

sniðum. Einnig er sýndur reiknaður ferill (5 ára keðjumeðaltöl) sem jafnar óreglur einstakra ára. Fram kemur að miklar sveiflur hafa verið í átumagni, bæði fyrir sunnan land og norðan.

Á Siglunessniði var átumagnið í hámarki þegar rannsóknirnar hófust í upphafi sjöunda áratugarins, en síðan hefur ástandið verið sveiflukennt, og hafa liðið um 6-10 ár á milli hámarka (sbr. keðjumeðaltölin á 10. mynd a). Áta var síðast í hámarki á Siglunessniði um 2000 en síðan hefur áta farið minnkandi.

Á Selvogsbanka var átumagnið í hámarki í byrjun áttunda áratugarins, en fór svo lækkandi og komst í lágmark í lok hans (10. mynd b). Önnur háværk í átumagni (miðað við keðjumeðaltölin) komu svo fram um miðjan níunda og tíunda áratuginn. Á Selvogsbankasniði var áta síðast í hámarki árin 2000 og 2001, eða um líkt leyti og á Siglunessniði, og eins og þar hefur hún farið minnkandi eftir það.

Ef átuhámarkið á síðari hluta áttunda áratugarins á Siglunessniði er undanskilið, má segja að árlegar sveiflur í lífmassa átu fyrir sunnan og norðan séu nokkurn veginn í takt (sbr. keðjumeðaltölin á 10. mynd). Rannsóknir Hafrannsóknastofnunarinnar hafa sýnt að þessar sveiflur eru einnig í samræmi við langtímasveiflur átumagns í öllu norðanverðu Atlantshafi. Það bendir aftur til þess að breytileikinn í átumagni stjórnist að verulegu leyti af hnattrænum þáttum, líklegast tengdum veðurfari, sem hafa áhrif á víðáttumiklu svæði.



10. mynd. Breytingar á átumagni (g þurrvig m^{-2} , 0-50 m) að vorlagi á A) Siglunessniði, og B) Selvogsbankasniði. Súlnurnar sýna meðaltöl allra stöðva á viðkomandi sniðum. Staðalskekkja er sýnd með lóðréttum strikum. Einnig er sýndur reiknaður ferill (5 ára keðjumeðaltöl) sem jafnar miklar óreglur einstakra ára. Lega rannsóknasniðanna er sýnd á 1. mynd.

Figure 10. Variations in zooplankton biomass (g dry weight m^{-2} , 0-50 m) in spring at A) Sigluness section, and B) Selvogsbanki section. The columns show means for all stations at the respective sections and the vertical bars denote standard error. The curved line shows 5 year running mean. For location of the sections see Figure 1.

3. STUTTAR GREINAR UM VISTFRÆÐI SJÁVAR / SHORT NOTES ON MARINE ECOLOGY

MÆLINGAR Á ^{137}Cs Í SJÓ VIÐ ÍSLAND – SAMVINNUVERKEFNI Í 15 ÁR / MEASUREMENTS OF ^{137}Cs IN ICELANDIC WATERS – 15 YEARS OF COOPERATION

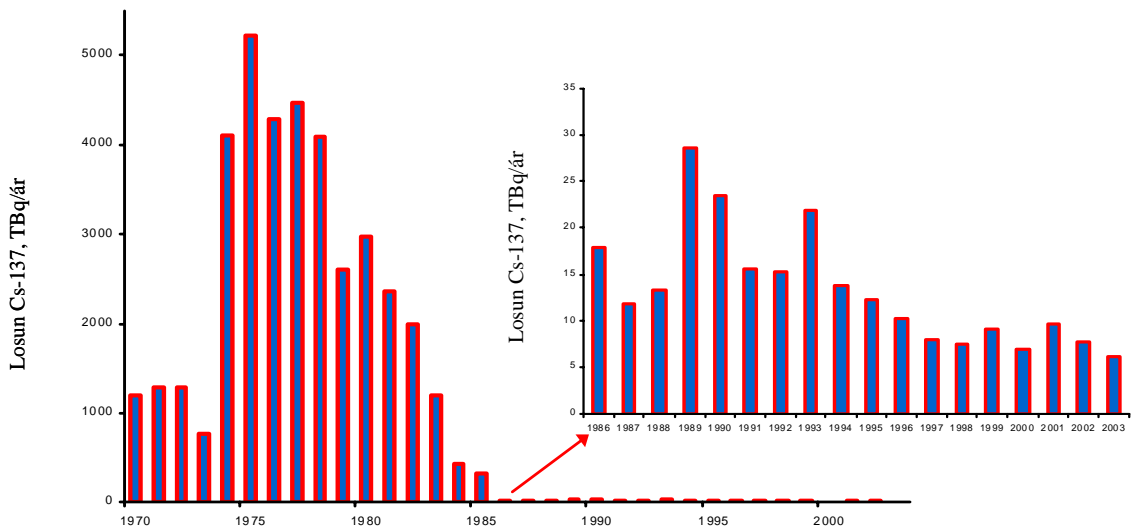
Elísabet Dolinda Ólafsdóttir
Geislavörnum ríkisins

Geisla­mengun á og við Ísland

Í náttúrunni fyrirfinnast bæði svokölluð náttúruleg geislavirk efni sem þar hafa verið frá upphafi og einnig manngerð geislavirk efni (geisla­mengun) sem fjallað er um hér. Þau geislavirku efni sem einkum er fylgst með vegna geisla­mengunar eru sesín-137 (^{137}Cs) og strontín-90 (^{90}Sr). Bæði þessi efni berast auðveldlega um fæðukeðjuna, m.a. í menn. ^{137}Cs og ^{90}Sr eru tiltölulega langlífur samsætur, með þriggja áratuga helmingunartíma. Mælingar á ^{137}Cs eru mun einfaldari og því er aðaláherslan lögð á þær, en styrkur ^{90}Sr kannaður ef sérstök ástæða þykir til.

Sú eining sem notuð er til að lýsa magni geislavirkra efna kallast Bq (becquerel). Eitt Bq táknar eina kjarnbreytingu á sekúndu. Til að fá hugmynd um þær stærðir sem hér koma við sögu má nefna sem dæmi að mælingar Geisla­varna á fiski hér við land gefa gildi sem eru innan við 1 Bq/kg. Til samanburðar má nefna að hámarksgildi fyrir matvæli í alþjóðaviðskiptum er oftast 1000 Bq/kg.

Uppruni geisla­mengunar er einkum þrenns konar. Fyrst er að nefna tilrauna­sprengingarnar í háloftunum á sjötta og sjöunda áratug síðust aldar. Sú mengun sem þá hlaut af dreifðist tiltölulega jafnt um alla jörðina og er að finna nær alls staðar þótt styrkurinn sé oft lágur. Næst ber að nefna mengun frá kjarnorkuiðnaði. Í sjó fyrir norðan og vestan Ísland er styrkur ^{137}Cs hærri en í Atlantssjó fyrir sunnan land. Ástæðan er mengun frá endurvinnslustöðinni í Sellafield á Englandi sem dælir menguðu affalssvatni í Írsku hafid. Úrgangur sem losaður er í sjóinn við Sellafield er um áratug að berast með hafstraumum á íslenska hafsvæðið og hefur styrkur þeirra þá minnkað um þúsundfalt vegna þynningar. Á síðari árum hefur dregið úr losun flestra geislavirkra efna frá stöðinni (11. mynd).



Mynd 11. Losun á ^{137}Cs í hafið frá endurvinnslustöðinni í Sellafield 1970-2003. Innfellda myndin sýnir tímabilið 1986-2003. Aðalheimild: UNSCEAR (2000).

Figure 11. Marine discharge of ^{137}Cs from Sellafield, 1970-2003. The inset picture shows the years 1986-2003. Main Source: UNSCEAR (2000).

Í þriðja lagi má nefna kjarnorkuslys. Nærtækasta dæmið er slysið í Tsjernobyl árið 1986, sem hafði hverfandi áhrif hér á landi.

Við áhættumat vegna geislaengunar þarf að skoða marga þætti. Líkur á heilsufarslegum afleiðingum eru hverfandi hér á landi. Hins vegar verður að hafa í huga, að tiltölulega lítil geislaengun eða jafnvel orðrómur um hana, gæti hins vegar haft mikil efnahagsleg áhrif fyrir þjóð sem byggir stóran hluta afkomu sinnar á útflutingi sjávarafurða.

Rannsóknastofa Geislavarna ríkisins

Árið 1989 hóf rannsóknastofa Vöktunar- og viðbúnaðarsviðs Geislavarna ríkisins starfsemi sína. Stofnunin fékk sumarið 1989 mjög næman tækjabúnað frá Alþjóðakjarnorkumálastofnuninni (IAEA) til þess að geta mælt gammageislandi kjarntegundir. Líkt og í öðrum löndum hefur aðaláherslan verið lögð á mælingar á ^{137}Cs .

Markmið vöktunar er að fylgjast með styrk geislavirkra efna í íslensku umhverfi. Samhliða vöktunarmælingum hafa verið stundaðar rannsóknir í geislavistfræði, þar sem áherslan er á að rannsaka tilfærslu geislavirkra efna í náttúrunni. Styrkur geislavirkra efna hefur verið mældur reglulega í eftirfarandi þáttum: Andrúmslofti, regnvatni, jarðvegi, gróðri, fiski, þangi, sjó, kúamjólk, kjöti og ýmsum matvælum. Auk þess koma til mælinga ýmis önnur sýni og hafa geislavarnir t.d. mælt sýni af hrefnu, sel, ísbirni og silungi svo eitthvað sé nefnt.

Mælingar á ^{137}Cs í sjó við Ísland

Árið 1989 var settur á laggirnar svokallaður Summís hópur (Samstarfshópur um umhverfismælingar á Íslandi) af þáverandi samgönguráðherra. Geislavarnir ríkisins og Hafrannsóknastofnunin voru með frá upphafi. Endurskipað var í hópinn 1994 og nafni hans breytt í AMSUM, en það er samsuða úr eldra nafni hópsins (Summís) og AMAP (*Arctic Monitoring Assessment Programme*). Á vegum þessa samstarfshóps var gefin út samantektarskýrsla árið 1999 (Davíð Egilsson o.fl., 1999). Yfirumsjón þessa samstarfs er nú í höndum Umhverfissráðuneytisins en framkvæmd og eftirfylgni er í höndum Umhverfisstofnunar.

Hafrannsóknastofnunin og Geislavarnir tóku strax höndum saman og hófu sýnasöfnun og mælingar á ^{137}Cs í sjó hér við land. Fyrir þann tíma höfðu erlendir vísindamenn gert mælingar á geislavirkum efnum á hafsvæðum í kringum Ísland, aðallega í Austur-Grænlandsstraumnum, en þær höfðu þá að mestu lagst af. Aðal ástæða þess var minni ógn vegna mengunar og einnig sá mikli kostnaður sem fylgir sýnatökuleiðöngurum. Með því að taka sýni í leiðöngurum Hafrannsóknastofnunarinnar er mögulegt fyrir Íslendinga að stunda slíkar mælingar.

Stofnanirnar tvær hafa einnig tekið þátt í samnorrænum verkefnum á vegum NKS (Norrænum kjarnöryggisrannsóknum, d. Nordisk kernesikkerhedsforskning) og fengið sameiginlega fjárstyrki. Með þessari samvinnu hefur tekist að tengja saman rannsóknir Hafrannsóknastofnunarinnar og mælingar Geislavarna á ^{137}Cs við Ísland. Frá árinu 1990 hafa sjósýni verið tekin úr öllum helstu sjógerðum á íslenska hafsvæðinu. Sýnin hafa verið tekin í ársjórðungslegum sjórannsóknaleiðöngurum Hafrannsóknastofnunarinnar af starfsmönnum hennar á föstum mælistöðum á sniðum út frá landinu. Fjöldi sýna á ári allbreytilegur eða frá 6 til 31. Flest sýnin eru yfirborðssýni (5 m dýpi), en djúpsýni (100-1360 m) hafa verið tekin árlega frá 1994. Vegna þess hve styrkur ^{137}Cs er lágur þurfa sýnin að vera frekar stór, eða 100-200 lítrar.

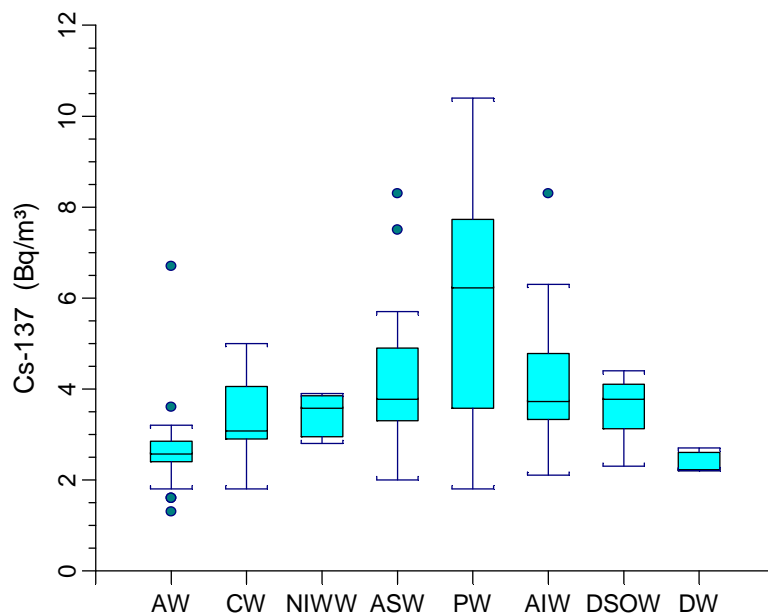
Styrkur ^{137}Cs er mishár eftir sjógerðum og eru sýnin flokkuð með tilliti til þess frekar en staðsetningu (Elísabet Ólafsdóttir o.fl., 1999). Við úrvinnslu gagna er stuðst við viðmiðunargildi hita og seltu fyrir mismunandi sjógerðir (tafla 1). Flest sjósýni er hægt að flokka til ákveðinna sjógerða en sum þeirra geta þó verið blöndur af tveimur eða fleirum sjógerðum. Ekki er fjallað um þau sýni hér.

Tafla 1. Helstu sjógerðir við Ísland (flokkunarlykill *) og styrkur ^{137}Cs (Bq/m^3)
Table 1. Water masses in Icelandic waters and concentration of ^{137}Cs (Bq/m^3)

Sjógerðir *	Viðmiðunargildi			^{137}Cs Miðgildi, Bq/m^3	
	Hiti, °C	Selta, ‰	Dýpi, m		
Atlantssjór <i>e. Atlantic Water</i>	AW	3-6	> 34,9	0-800	2,6
Strandsjór <i>e. Coastal water</i>	CW	0,5 - 10	~ 33 - 35	Yfirborð	3,1
Vetrarsjór <i>e. North Icelandic Winter Water</i>	NIWW	2-3	34,8 - 34,9	0-300	3,6
Svalsjór <i>e. Arctic Surface Water</i>	ASW	1-3	34,6 - 34,9	Yfirborð	3,8
Pólsjór <i>e. Polar Water</i>	PW	< 0	< 34,4	Yfirborð	6,3
Millisjór <i>e. Arctic Intermediate Water</i>	AIW	0-2	34,8 - 35,0	300-500	3,7
Yfirfallssjór í Grænlandssund <i>e. Denmark Strait Overflow Water</i>	DSOW	< 1	34,8 - 34,9	> 600	3,8
Djúpsjór <i>e. Deep Water</i>	DW	< 0	34,89 - 34,93	> 300	2,3

* Flokkun byggð m.a. á: Unnsteinn Stefánsson 1994, Héðinn Valdimarsson og Svend Aage Malmberg 1999.

Niðurstöður mælinga fyrir mismunandi sjógerðir eru sýndar á 12. mynd. Meginuppsetta geislavirkra efna í sjó við Ísland er úrfelli frá tímum tilrauna með kjarnavopn á 6. og 7. áratug síðustu aldar. Styrkur ^{137}Cs er lægstur í djúpsjó fyrir norðan land (DW) og Atlantssjó (AW), þar er nær eingöngu um leyfar frá tilraunasprengingunum að ræða. Áberandi hæstur styrkur ^{137}Cs mælist í pólsjó (PW) fyrir norðan og vestan landið. Það sem veldur þessum háa styrk í pólsjó er mengun frá kjarnorkuiðnaði í V-Evrópu, einkum á Bretlandseyjum.



Mynd 12. Styrkur ^{137}Cs í mismunandi sjógerðum við Ísland (sjá töflu 1). Skyggð box sýna dreifingu mæligilda innan 25 og 75% markanna. Miðgildi er sýnt sem lárétt lína. Hornklofar marka dreifingu innan 10 og 90% markanna. Punktarnir tákna útlaga (outliers).

Figure 12. Concentration of ^{137}Cs in various water masses in Icelandic waters (Table 1). Filled boxes show the distribution of ^{137}Cs concentration measurements within 25 and 75% limits. The median is shown as a horizontal line. Horizontal bars mark the distribution within 10 and 90% limits. The dots are outliers.

Endurvinnslustöðin í Sellafield dælir verulegu magni af menguðu affallsvatni í Írlandshaf (11. mynd). Þaðan berast efnin með hafstraumum norður með vesturströnd Noregs um Íshafið og loks með Austur-Grænlandsstraumnum til suðurs milli Íslands og Grænlands. Kvísl frá þessum straumi sveigir til austurs fyrir norðan Ísland. Talið er að mengunar frá Sellafield verði fyrst vart í millisjó (AIW) hér við land. Ætla má að ferðatíminn frá Írlandshafi í yfirborðssjó Austur-Grænlandsstraums sé um 10 ár en dálítið lengri í djúpsjó á sömu sjóðum. Mengunar frá Sellafield verður einnig vart í öðrum sjógerðum af blönduðum uppruna en þær mælast allar með hærra gildi en Atlantssjór og djúpsjór. Skýringa á misháum gildum í djúpsjó, það er lægri gildum í DW en DSOW má líklega skýra með því að sýnin eru tekin á mismunandi tíma. Sýni af yfirfallssjó (DSOW) eru flest tekin fyrr en sýni af djúpsjó (DW). Ef öll djúpsýni eru skoðuð saman má greina lækkun í kringum árin 2000 og 2001. Þetta kemur heim og saman við minnun á losun ^{137}Cs frá Sellafield á árunum 1989-1991 (11. mynd). Styrkur ^{137}Cs í affallsvatni frá Sellafield hefur farið lækkandi undanfarinn áratug þannig að búast má við lægri styrk ^{137}Cs í framtíðinni í sjógerðum eins og pólsjó og millisjó.

Lokaorð

Íslendingar byggja afkomu sína að verulegu leyti á sölu sjávarafurða. Niðurstöður mælinga sýna að styrkur geislavirks sesíns hér við land er langt undir hættumörkum. Þó er mjög mikilvægt að fylgjast vel með geislaengun við landið, því jafnvel mengun langt neðan hættumarka eða orðrómur um hækkun á styrk geislavirkra efna, getur haft alvarlegar og langvarandi efnahagslegar afleiðingar. Því er mikilvægt að geta ávallt lagt fram niðurstöður nýlegra mælinga.

Á árunum 1994-1996 var vinnsluáferðum í endurvinnslustöðinni í Sellafield breytt. Í kjölfarið dró enn meira úr losun efna á borð við ^{137}Cs en losun annara geislavirkra efna eins og teknetíns, ^{99}Tc jókst. ^{99}Tc gefur frá sér svokallaða betageislun og eyðist þar að auki mjög hægt úr umhverfinu. Styrkur þess jókst fljótlega við strendur Noregs og vænta má að styrkur þess aukist einnig á hafsvæðum fyrir norðan Ísland innan skamms. Reglulegar mælingar á ^{99}Tc í sjó við Ísland eru hafnar á Geislavörnum ríkisins í samvinnu við Hafrannsóknastofnunina og rannsóknastofnu norsku geislavarnastofnunarinnar í Osló.

Heimildir

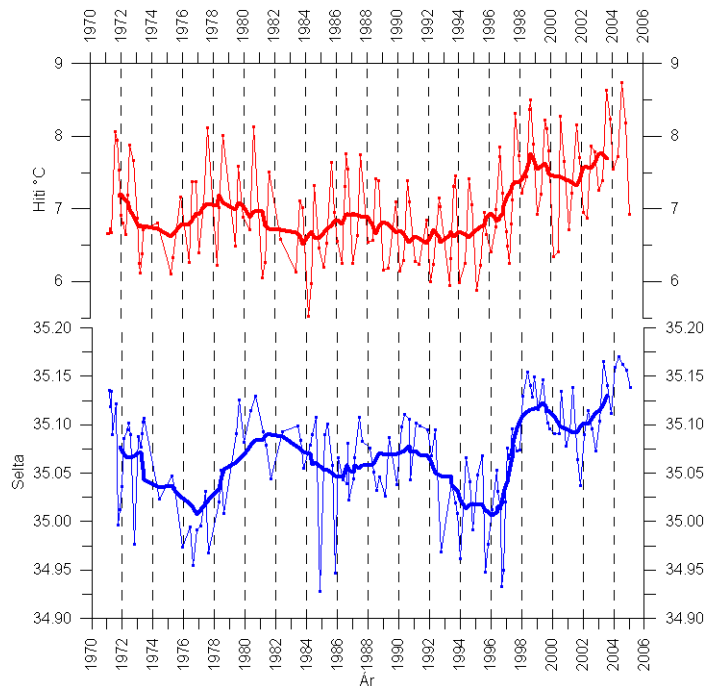
- Davíð Egilsson, Elísabet D. Ólafsdóttir, Eva Ingvadóttir, Helga Halldórsdóttir, Flosi Hrafn Sigurðsson, Gunnar Steinn Jónsson, Helgi Jensson, Karl Gunnarsson, Sigurður A. Þráinsson, Andri Stefánsson, Hallgrímur Daði Indriðason, Hreinn Hjartarson, Jóhanna Thorlacius, Kristín Ólafsdóttir, Sigurður R. Gíslason og Jörundur Svavarsson 1999: *Mælingar á mengandi efnum á og við Ísland. Niðurstöður vöktunarmælinga*. Starfshópur um mengunarmælingar, 138 bls.
- Elísabet D. Ólafsdóttir, Sigurður Emil Pálsson, Sigurður M. Magnússon og Kjartan Guðnason 1999: Distribution and origin of Cs-137 in the ocean around Iceland - an indicator of man-made radioactivity. *Rit Fiskideildar* 16: 69-77.
- Héðinn Valdimarsson og Svend Aage Malmberg 1999: Near-surface circulation in Icelandic waters derived from satellite traced drifters. *Rit Fiskideildar* 16: 23-39.
- Unnsteinn Stefánsson 1994: Hafstraumar, ástand sjávar og frjósemi íslenskra hafsvæða. Í: Unnsteinn Stefánsson (ritstj.) *Íslendingar, hafið og auðlindir þess*. Vísindafélag Íslendinga, ráðstefnurit IV, Reykjavík, bls. 39-63.
- UNSCEAR 2000. *Sources and effects of ionizing radiation*. Sources, vol. I. Report to the General Assembly with scientific Annexes. United Nations Publications. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, New York.

BREYTINGAR Á ÁSTANDI SJÁVAR Á ÍSLANDSMÍÐUM OG ÁHRIF ÞEIRRA Á LÍFRÍKIÐ / CLIMATIC VARIABILITY IN ICELANDIC WATERS AND EFFECTS ON MARINE BIOTA

Hédinn Valdimarsson, Höskuldur Björnsson og Kristinn Guðmundsson

Lega Íslands á neðarsjávarhryggnum milli Grænlands og Skotlands hefur í för með sér að straumar úr suðri og norðri mætast á landgrunni. Að sunnan streymir heitari og saltari Norður-Atlantshafsstraumurinn og í framhaldi af honum Irmingerstraumur til norðurs vestur af landinu. Úr norðri streymir kaldari og ferskari Austur-Grænlandsstraumur, en grein úr honum liggur til austurs norðan við landið sem Austur-Íslandsstraumur. Sjógerð sú sem berst úr suðri er ýmist nefnd hlýsjór eða Atlantssjór og sú úr norðri pólsjór. Samspil þessara hafstrauma, veðurs og vinda verða svo til að blanda þessum sjógerðum mismikið, einkum á Norðurmiðum. Eitt af markmiðum Hafrannsóknastofnunarinnar er að fylgjast með þeim breytingum sem verða á sjógerðum og blöndun þeirra eftir árum og árstíðum.

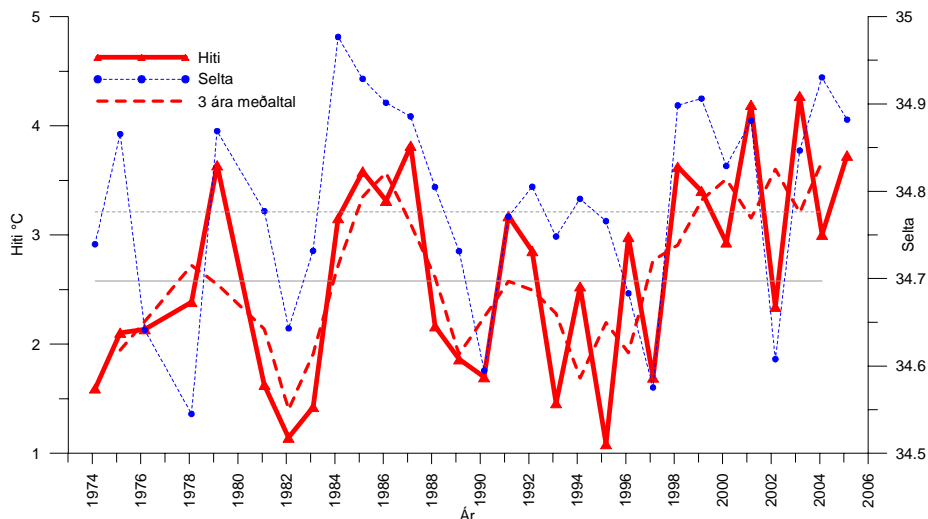
Undanfarin ár hafa orðið breytingar á Atlantsjónum vestan við land og ef lítið er á niðurstöður mælinga á hita og seltu yfir landgrunnskanti út af Faxaflóa (13. mynd) þá má sjá að á árinu 1996 fór selta og síðan hiti að aukast á þessum slóðum (Hédinn Valdimarsson og Steingrímur Jónsson, 2004).



13. mynd. Hiti og selta í hlýsjónum í landgrunnskantinum vestan við land (Faxaflói 9/Reykjanes 8, c.f. figure 1) árin 1971 til 2005, meðaltal fyrir dýptarbilið 0 - 200 m. Þykka línan er þriggja ára keðjumeðaltal.

Figure 13. Temperature and salinity in the Atlantic water west of Iceland (Faxaflói 9/Reykjanes 8) for the years 1971 to 2005, average for 0 - 200 m depth. The thick line is the three years running mean.

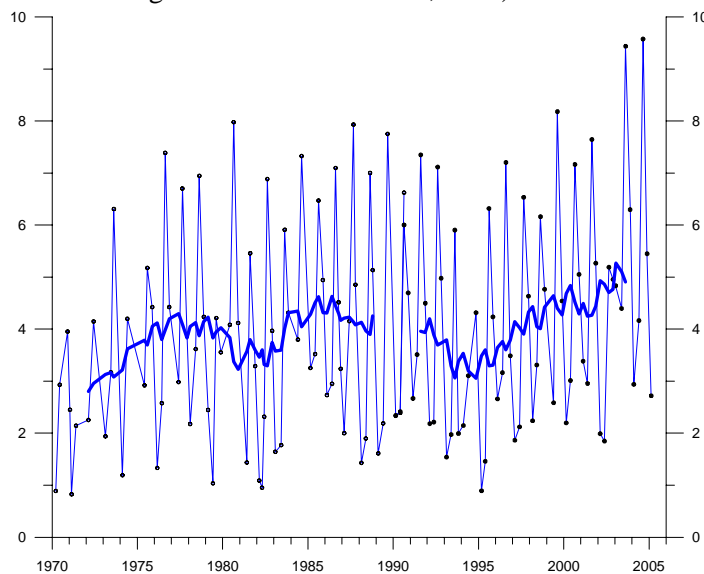
Hiti í efri lögum hækkaði um 0,5-1,0°C og seltuaukning var nokkur. Hliðstæð aukning hefur komið í ljós við mælingar annarra þjóða í hafinu suður af landinu og ljóst að hún tengist breytingum á stærra svæði í Norður-Atlantshafi. Þessar breytingar á hita og seltu má rekja nokkuð ákveðið á landgrunninu vestanlands og hafa þær haldist nokkuð stöðugar síðustu ár. Á landgrunninu norðanlands eru hiti og selta breytilegri en ljóst er að þessi hækkun hita og seltu að sunnan hefur skilað sér inn á Norðurmið eins og sést á 14. mynd sem sýnir meðaltal hita á stöðvum 2 til 4 á Siglunessniði á dýptarbilinu 50 - 100 m að vetri. Það sem einkennt hefur þessi síðari ár eru mildir vetur eftir 1997 að frátöldum vetri og vori 2002, sem var lítið eitt undir langtímameðaltali.



14. mynd. Hiti og selta á Siglunesniði að vetri, 1974 til 2005. Meðaltöl hita og seltu á stöðvum 2 - 4 fyrir dýptarbilið 50 – 100 m. Rauð lína sýnir hita, blá lína seltu og rauð punktalína þriggja ára keðjumeðaltal.

Figure 14. Temperature and salinity off Siglunes, (c.f. figure 1, Stations 2 – 4, 50 – 100 m depthinterval), in winter, 1974 – 2005. The lines are the means of salinity (blue), temperature (red) and the three years running means of temperatures (red broken line).

Þess má geta að á Norðurmiðum eru áhrif af áður nefndu samspili veðurs og vinda á sjóinn töluvert flóknari en sunnan við landið og má þar nefna hafís sem getur haft mikil tíma- og svæðisbundin kælingaráhrif, auk þess sem veðurkerfi (hæðir og lægðir) geta dregið mjög úr flæði hlýsjávar inn á Norðurmið. Straummælingar á Hornbanka undanfarnin ár hafa sýnt að sveiflur í innflæði Atlantssjávar og varmaflutningi þar með hafa verið nokkrar. Samkvæmt þeim var innflæðið lítið í ársbyrjun 1995 en jókst síðan verulega í byrjun árs 1998 (Steingrímur Jónsson og Héðinn Valdimarsson, 2005).



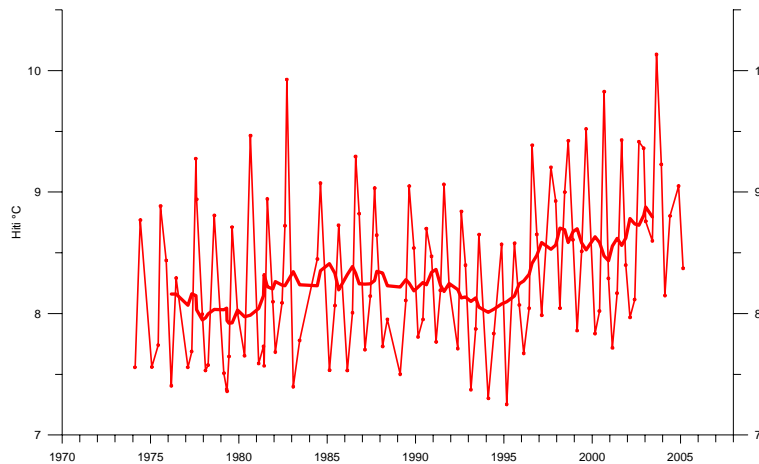
15. mynd. Hiti á landgrunninu norðaustanlands (stöð 1 á Langanesniði, 0 – 50 m dýpi) vetur, vor, sumar og haust frá 1970 - 2005. Þykka línan sýnir þriggja ára keðjumeðaltal mælinga.

Figure 15. Temperature over the shelf northeast of Iceland (station 1 off Langanes, 0 – 50 m depthinterval) in winter, spring, summer and autumn of 1970 – 2005. The thick line is the three years running mean.

Á landgrunninu út af Langanesi hefur einnig greinst hærri sjávarhiti síðan 1997 (15. mynd) þó hlýnun sjávar þar sé ekki eins ákveðin og vestan við landið. Austan við Langanes hefur áhrifa hlýnunar gætt á svipaðan hátt yfir landgrunninu og kalda tungan í Austur-Íslandsstraumi hefur hvorki legið sunnarlega né nærri landi undanfarnin ár. Austurmið hafa

verið breytilegri hvað hlýnun varðar enda gera áhrif skilana við hlýsjóinn suðaustanlands mat á langtímabreytingum erfitt. Í því sambandi má benda á kólnun sem átti sér stað nýlega á grunnslóð austan Breiðamerkurdjúps (Anon, 2005), sem að líkindum má tengja hreyfingum á þessum skilum.

Í hlýsjónum úti fyrir suðausturlandi má sjá svipaða breytingu og á Faxaflóasniði eins og sést á 16. mynd. Það sama gildir einnig um hita og seltu á Selvogsbanka. Hér hefur almennt verið talað um að sjór við landið hafi hlýnað og orðið saltari undanfarin ár og er þá miðað við mælingar eftir 1970, eða síðan reglubundnar árfjórðungslegar mælingar hófust. Mælingar að vorlagi eru til frá 1950 og þær sýna að sjárahiti fyrir svokölluð hafísár, sem hófust um 1965, hefur verið svipaður og jafnvel hærri en mælst hefur á Norðurmiðum undanfarin ár. Sumarið 2003 var þó sjávarhiti á Íslandssmiðum að líkindum sá hæsti sem mælst hefur og gildi það víðar í Norður Atlantshafi bæði vestanhafs og austan. Virðist það sama uppi á teningnum árið 2004 og þó kólnað hafi heldur hér við land þá hefur seltan haldist tiltölulega há, sem gæti bent til svæðis- og tímabundinnar kólnunar.



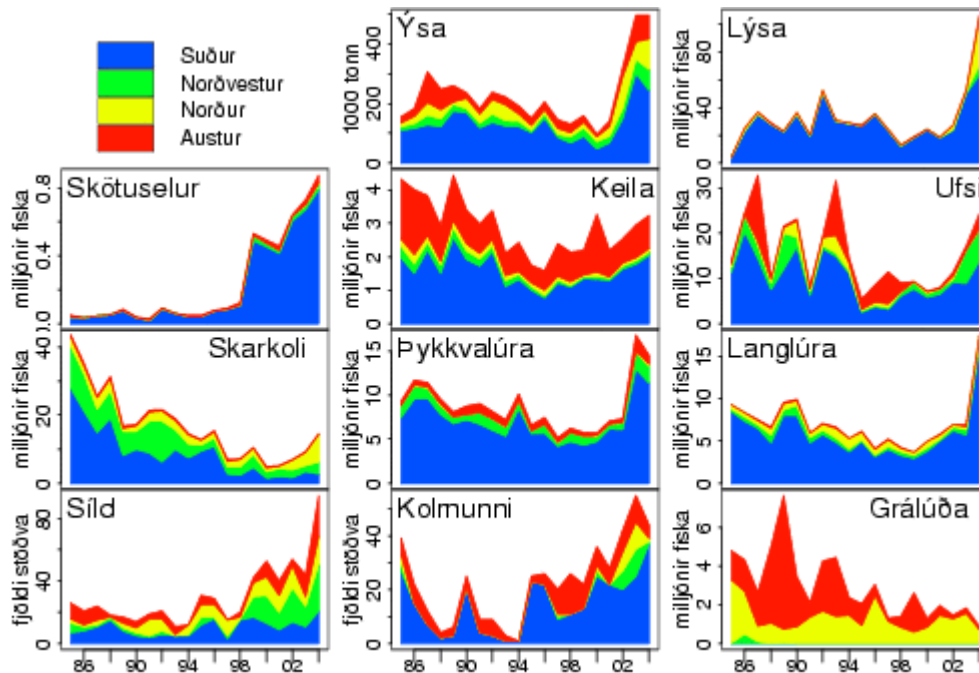
16. mynd. Hiti í Atlantssjónum suðaustur af landinu 1974 - 2005, (stöð 5 á Stokksnessniði, 0 - 200 m dýpi). Þykka línan sýnir þriggja ára keðjumeðaltal mælinga.

Figure 16. Temperature in Atlantic water southeast of Iceland during 1974 - 2005 (Station 5 off Stokksnes, 0 - 200 m depth interval). The thick line is the three years running mean.

Það getur verið býsna erfitt að sýna með óyggjandi hætti hver áhrif þeirra umhverfisbreytinga, sem hér hefur verið lýst, eru á lífríkið. Frá því að samtíma athuganir á sjó og lífríki hófust hefur mikil útbreiðsla Atlantssjavar á Norðurmiðum virst leiða til aukinnar frumframleiðni svifþörungna og þá meira fæðuframboðs og betri afkomu lífvera í sjónum (Ólafur S. Ástþórsson og Hjálmar Vilhjálmsson, 2002). Ef hins vegar hlýnun heldur áfram gætu aðrir þættir spilað inn í, svo sem breytt aðgengi afræningja að bráð, aukning margvíslegrar óværu (Jóhann Sigurjónsson 2003, Jónas P. Jónasson 2004). Breytingar á ástandi sjavar geta haft áhrif á tegundasamsetningu plöntu- og dýrasvifs (Kristinn Guðmundsson & Agnes Eydal, bls. 33 í þessu hefti), sem síðan geta breytt afkomu lífvera ofar í fæðukeðjunni (Beugrand 2005, Richardson & Schoeman 2004).

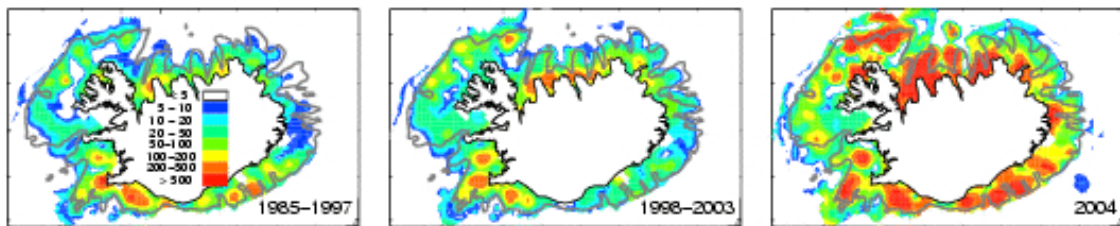
Það virðist lykiltríði að umhverfisbreytingar séu viðvarandi, því sem næst samfelld í nokkur ár, til að þær hafi markverð áhrif á lífverur. Þetta hefur einmitt gerst á undanförunum 7 til 8 árum við Ísland og hafa þá “kaldari” ár verið undantekningar. Á þessum tíma hefur orðið vart nokkurra breytinga á útbreiðslu fisktegunda og ljóst er að hlýnun sjavar hefur helst haft áhrif á þær tegundir sem eru á norðurmörkum útbreiðslusvæðis síns, þannig að þær fíkra sig norðar. Á sama tíma eru dæmi þess að stofnstærð sömu tegunda vaxi tiltölulega mikið miðað við aðrar. Dæmi um þessar fisktegundir eru ýsa, lýsa, skötuselur, kolmunnir og ufsi, sem oft hafa verið taldar hlýsjávartegundir. Lélegt ástand hrygningarstofns og veiðialag hefur verið nefnt til skýringar á að sumir stofnar nýti sér ekki hagstæð umhverfisskilyrði og má hér ef til vill nefna þorsstofninn sem dæmi. Fjöldi þorskseiða jókst þó á síðustu árum nokkuð í takt við hlýnandi sjó á norðurmiðum þó ekki hafi sú aukning skilað sér sem aukin nýliðun í stofninn. Á 17. mynd má sjá breytingar á stofnvísitölu og útbreiðslu nokkurra

tegunda í stofnmælingu í mars. Útbreiðsla og magn ýsu, lýsu og skötusels hafa aukist mjög á síðustu árum svo nokkuð sé nefnt. Þá hefur eins árs ýsa fundist í auknu magni magni fyrir norðan landið undanfarin ár (18. mynd).



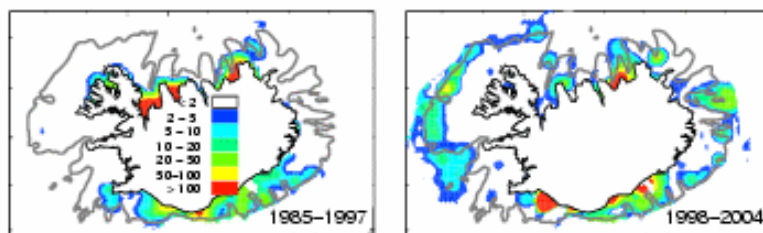
17. mynd. Vísitölur á magn og útbreiðslu nokkurra tegunda í stofnmælingu í mars.

Figure 17. Abundance indices of selected fish species in groundfish survey in March.



18. mynd. Útbreiðsla 1 árs ýsu sem fjöldi í togi. Meðaltal árána 1985-1997, 1998-2003 og 2004.

Figure 18. Distribution of o-group haddock, catch per tow. The mean of 1985 – 1997, 1998 – 2003 and 2004.

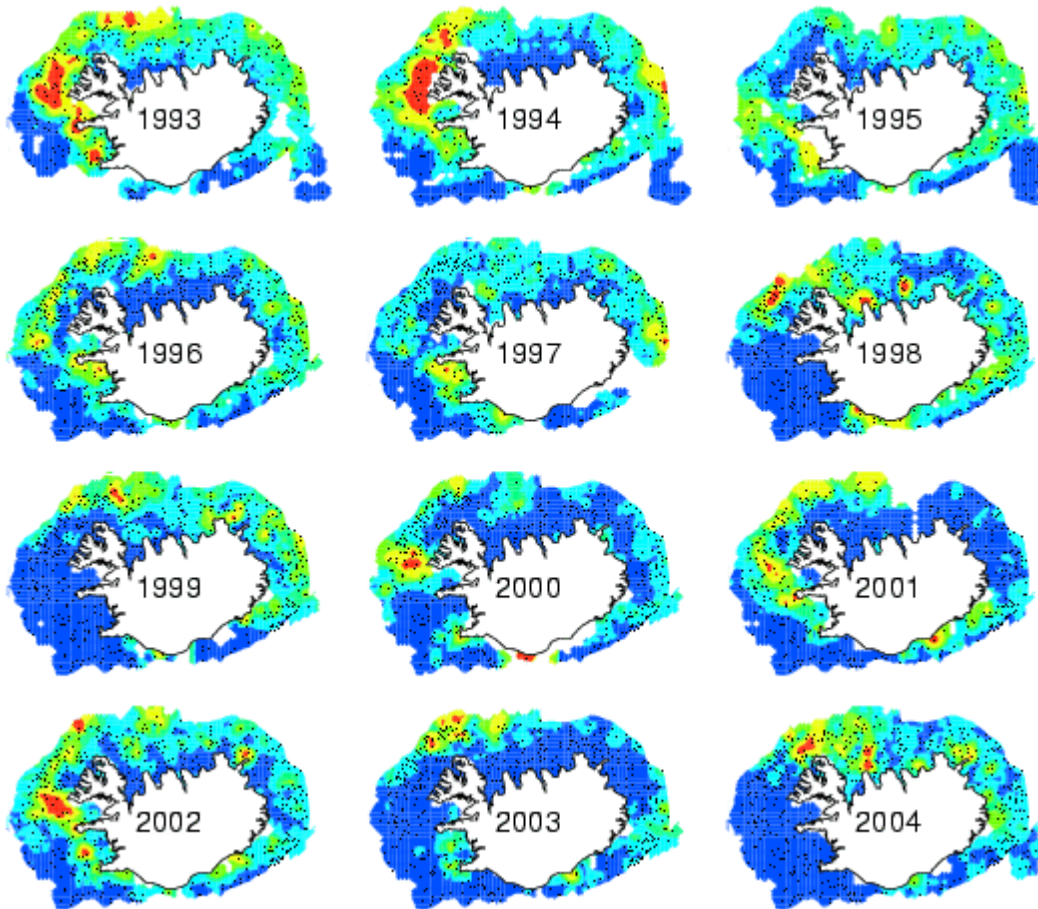


19. mynd. Útbreiðsla síldar samkvæmt fjölda í togi sýnt sem meðaltal tveggja tímabila.

Figure 19. Distribution of herring as catch per tow, shown as mean for two periods.

Breytingar á hegðun uppsjávarfiska svo sem loðnu, síldar og kolmunna hafa verið tengdar breyttu umhverfi. Síld (19. mynd) hefur fundist á stærra svæði í vor- og haustralli. Það má jafnframt tengja stækkandi stofni en stórir árgangar hafa komið inn í stofninn á síðustu árum. Hegðun loðnu sem hefur verið að ýmsu leyti óhefðbundin síðustu ár má líklega tengja auknum hlýsjó og hefur verið talið að aðgengi þorsks að loðnu hafi minnkað nokkuð eins og

sjá má af 20. mynd sem sýnir magn loðnu í þorskmögum í stofnmælingu botnfiska. Sú breyting hefur síðan verið talin skýra minnkandi meðalþyngd þorsks.



20. mynd. Magn loðnu í þorskmögum sem prósent af þyngd þorsksins.

Figure 20. Amount of capelin in the stomachs of cod, presented as the presentage of the weight of cod.

Í ljósi þess sem hér hefur verið sagt og eins ef hafðar eru í huga spár veðurfarslíkana, þá er mjög mikilvægt að fylgjast náið með ástandi sjávar og lífríkis á Íslandsmiðum á komandi árum. Viðeigandi er að vekja athygli á því að niðurstöður skýrslu um hlýnandi veðurfar á norðurslóðum, vegna aukins magns gróðurhúsalofttegunda (Arctic Climate Impact Assessment, in Anon 2004), voru meðal annars þær að loftslag á Norður heimskautssvæðum hafi hlýnað hraðar en annars staðar í heiminum undanfarna áratugi (sjá líka grein Jóns Ólafssonar, bls. 29 í þessu hefti). Niðurstöður hita og seltumælinga hér við land eru á mörkum þess sem áður hefur verið skráð og því verður óvissan augljóslega meiri þegar draga á ályktanir út frá þekktum forsendum. Hér hefur verið vitnað í meðaltöl og hefðbundna framsetningu, en það er allt eins líklegt að skoða þurfi hæstu og lægstu gildi umhverfisþátta því það ástand getur verið engu síður afdrifaríkt fyrir lífverur sem eru að upplifa tímabil óstöðugra aðstæðna (Stachowicz o.fl. 2002). Núverandi staða kallar á auknar rannsóknir og opinn hug fyrir óvæntum breytingum, en jafnframt varfærni svo ekki verði gengið of hart fram hvað varðar sókn í stofna sem eiga nú undir högg að sækja.

Heimildir

- Anon 2004. *ACIA, Impacts of a warming Arctic: Arctic Climate Impact Assessment*. Cambridge University Press, 2004.
- Anon 2005. Heimasiða Hafrannsóknastofnunarinnar, Fréttir, Stofnmæling botnfiska.
- Beugrand, G. 2005. Monitoring pelagic ecosystems using plankton indicators. *ICES Journal of Marine Science* 62: 333-338.
- Héðinn Valdimarsson og Steingrímur Jónsson, 2004. Area 3. Icelandic waters. Annex in: Report of the Working Group on Ocean Hydrography, *ICES CM 2004/C:06*, bls. 99-103.
- Ólafur S. Ástþórsson, Hjálmar Vilhjálmsson 2002. Iceland Shelf LME: Decadal Assessment and Resource Sustainability. Í: K. Sherman and H. R. Skjoldal (editors): *Large Marine Ecosystem of the North Atlantic*. Amst. : Elsevier Science, pp. 219-240.
- Höskuldur Björnsson og Ólafur Karvel Pálsson, 2004. Distribution patterns and dynamics of fish stocks under recent climate change in Icelandic waters. *ICES CM 2004/K:30*.
- Jóhann Sigurjónsson 2003. Breytingar á ástandi sjávar og afrakstur fiskistofna: Hvað getum við lært af sögunni? *Fiskifréttir* 21. árgangur, 47. – 48. tbl., bls. 38-43.
- Jónas Páll Jónasson 2005. Mat á náttúrulegum dauðdaga hörpudisks, *Clamys islandica* (O.F.Müller), í Breiðafirði út frá hlutfalli skelja á hjör. *Hafrannsóknastofnunin. Fjölrit* 101: 37-40.
- Richardson, A.J., Schoeman, D.S. 2004. Climate impact on plankton ecosystems in the Northeast Atlantic. *Science* 305:1609-1613.
- Stachowicz, J.J., Terwin, J.R., Whitlatch, R.B., Osman, R.W. 2002. Linking climate change and biological invasions: Ocean warming facilitates nonindigenous species invasions. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America* 99(24): 15497-15500.
- Steingrímur Jónsson og Héðinn Valdimarsson, 2005. Flow of Atlantic water to the north Icelandic shelf in relation to drift of cod larvae. *ICES Journal of Marine Science*, í prentun.

SÝRUSTIG SJÁVAR BREYTIST / CHANGING ACIDITY OF SEA WATER

Jón Ólafsson

Háskóla Íslands og Hafrannsóknastofnuninni

Ýmsir eiginleikar sjávar gera sjó að stöðugu umhverfi, hagstæðu lífríki. Sjávarselta er slíkur eiginleiki og einnig dúahæfni sjávar (buffer capacity) sem vinnur gegn breytingum á sýrustigi pH þó sýra eða basi bætist í sjóinn. Sýrustig í heimshöfunum er því á fremur þröngu bili, við venjulegar aðstæður milli pH 7.6 og 8.4. Það er lægst í djúpum hafsins en hærra í yfirborði. Lífverur sjávar hafa þróast við og aðlagast þessum aðstæðum. Undanfarin misseri hefur verið nokkur umræða um það að vaxandi styrk koltvíoxíðs í lofti fylgi ekki aðeins hlýnun vegna gróðurhússáhrifa heldur einnig breytingar á sýrustigi sjávar sem kynnu að hafa áhrif á lífríki hafsins.

Hér verður gerð grein fyrir atriðum sem koma við sögu í stýringu á sýrustigi sjávar og hugað að aðstæðum í hafinu hér við land. Til upprifjunar er hin almenna skilgreining á sýrustigi, $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$ þar sem $[\text{H}^+]$ er virkni vetnisjónar. Í hreinu vatni er sýrustig hlutlaust við gildið 7, súrt við lágt pH en basískt við há pH gildi. Sjór með pH 8 er veikt basískur.

Það er tvennt sem stýrir sýrustigi sjávar, heildar lútstyrkur TA (total alkalinitet) og heildarstyrkur koltvíoxíðs (TCO_2) sem er uppleyst í sjónum. Því er rétt að skoða hvað í þeim eiginleikum felst.

Nokkur sölt af sterkum sýrum mynda seltu sjávar. Heildarlútstyrkur er mælikvarði á hleðslujafnvægi eða mismuninn á samanlögðum jafngildisfjölda sterkra katjóna og sterkra anjóna:

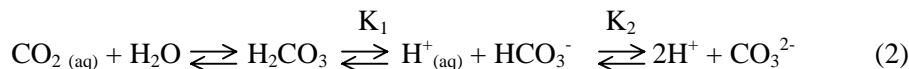
$$\text{TA} = \{[\text{Na}^+] + [\text{K}^+] + 2[\text{Mg}^{2+}] + 2[\text{Ca}^{2+}] + 2[\text{Sr}^{2+}] + \dots\} - \{[\text{Cl}^-] + 2[\text{SO}_4^{2-}] + [\text{NO}_3^-] + \dots\}$$

Það sem vegur upp þennan mismun eru anjónir veikra sýra þ.e. kolsýru, bórsýru, kísilsýru og fosfórsýru. Við sérstakar aðstæður, t.d. í súrefnissnaudu umhverfi, koma fleiri efni við sögu. Kolsýran er í sjó vegna þess að lofttegundin koltvíoxíð leysist upp í sjónum. Þar eð hlutfallslegur styrkur anjóna kolsýrunnar, vetniskarbónats $[\text{HCO}_3^-]$ og karbónats $[\text{CO}_3^{2-}]$, er háður $[\text{H}^+]$ breytist pH sjávar þannig að hleðslujafnvægi helst ætíð þó heildarstyrkur koltvíoxíðs (TCO_2) vaxi eða minnki. Þetta má einnig skýra með efnaferlum koltvíoxíðs og kolsýru í sjó, karbónatkerfi sjávar.

Koltvíoxíð flæðir milli lofts og sjávar:



Uppleyst koltvíoxíð myndar kolsýru með vatni sem klofnar í tveimur þrepum:



Heildarstyrkur koltvíoxíðs er þá:

$$(\text{TCO}_2) = [\text{CO}_2] + [\text{H}_2\text{CO}_3] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}] \quad (3)$$

Þegar hlutþrýstingur koltvíoxíðs í lofti, $\text{CO}_2(\text{g})$, vex leita jafnvægin 1 og 2 til hægri, styrkur vetnisjónar hækkar, sýrustigið, pH, lækkar og heildarstyrkur koltvíoxíðs (TCO_2) vex.

Jafnvægisfastarnir fyrir þessi ferli, K_0 , K_1 og K_2 , breytast með hita, seltu og þrýstingi í sjó. Þannig lýsa gildi á K_0 því hvernig kolsýra leysist betur upp í köldum sjó en hlýjum. Með þekktum gildum á jafnvægisföstum má reikna alla eiginleika karbónatkerfisins af mæligildum tveggja af fjórum mælanlegum þáttum þess. Mælanlegu þættirnir eru TA, pH, $\text{CO}_2(\text{aq})$ og TCO_2 . Við rannsóknir á íslenskum hafsvæðum höfum við mælt tvo síðastnefndu eiginleikana.

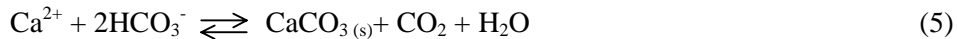
Heildarlútstyrkur sjávar, TA, er mjög stöðugur og í raun hluti seltunnar. Honum stýra stöðug jarðefnafræðileg ferli, flutningur efna til sjávar með fljótum vegna veðrunar og útfelling kalks og annarra steinda á hafsbotni. Því er ekki að vænta marktækra breytinga á

lútstyrk sjávar á styttri tíma en öldum. Á hinn bóginn verða breytingar á heidarstyrk koltvíoxíðs (TCO₂) í sjó, og þar með sýrustigi, bæði vegna náttúrulegra ferla og vegna vaxandi koltvíoxíðstyrks í lofti. Ferlin sem koma við sögu eru tvenns konar:

1. Flæði koltvíoxíðs milli lofts og sjávar, (1), vegna þess að yfirborðssjó er annað hvort undir- eða yfirmettaður.
2. Lífefnafræðileg ferli sem oft eru árstíðabundin. Myndun lífræns efnis úr koltvíoxíði og vatni við tillífun og niðurbrot þess við öndun, þessu er hægt að lýsa með efnaferli þar sem þörungavefur er táknaður sem (CH₂O) :



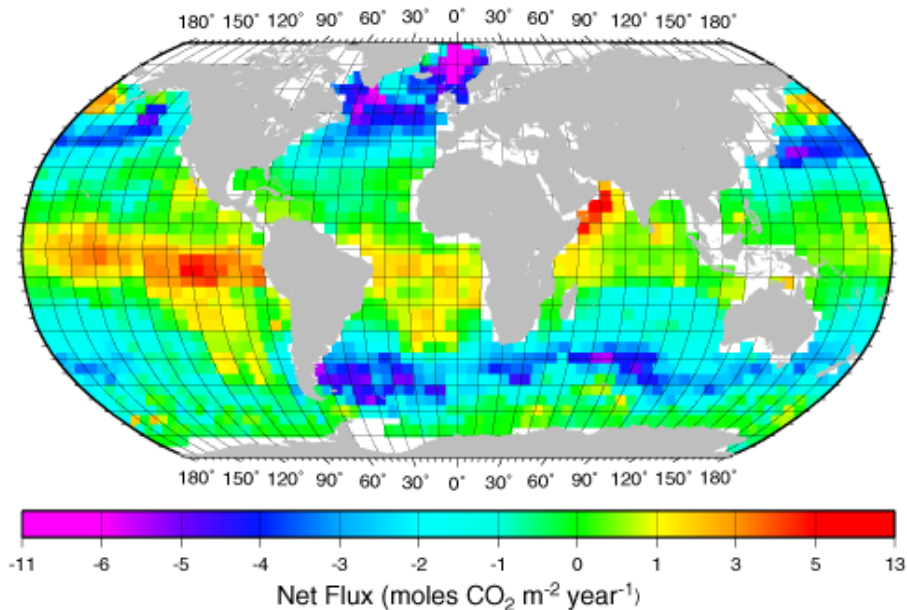
Við ljóstillífun þörunga, sem einungis á sér stað í yfirborðslögum sjávar þar sem birtu nýtur, gengur þetta ferli til hægri, þörungavefur myndast og súrefni sem fer í upplausn í sjónum. Við öndun eða niðurbrot lífræns efnis gengur ferlið til vinstri og koltvíoxíð gengur í upplausn. Niðurbrot verður á öllum dýpum, óháð birtu. Við tillífun kalkþörunga myndast, auk lífræns kolvetnis, kalkskeljar úr kalsíni sjávar og uppleystu vetniskarbónati:



Vert er að benda á það að þegar kalkþörungar vaxa og fella út kalk (5) þá berst koltvíoxíð í upplausn og vegur það á móti koltvíoxíðbindingunni sem sem verður við kolvetnismyndun kalkþörunganna (4).

Skammtímasveiflur á sýrustigi yfirborðssjávar eru í beinu sambengi við koltvíoxíð sem er í upplausn. Þegar koltvíoxíðstyrkur vex í lofti leitar kerfið jafnvægis með flæði CO₂ um yfirborðið frá lofti til sjávar og sýrustig lækkar þá í yfirborðssjó sem er í jafnvægi við andrúmsloft.

Talið er að styrkur koltvíoxíðs í lofti hafi verið 280 ppm í upphafi iðnbyltingar um 1800. Síðan hefur hann vaxið og árið 2000 var styrkurinn um 370 ppm. Koltvíoxíðstyrkurinn mun vaxa ört á þessari öld, fara yfir tvöföldunarmarkið, 560 ppm, eftir miðja öldina og ná jafnvel þreföldun, 840 ppm, á 22. öldinni.

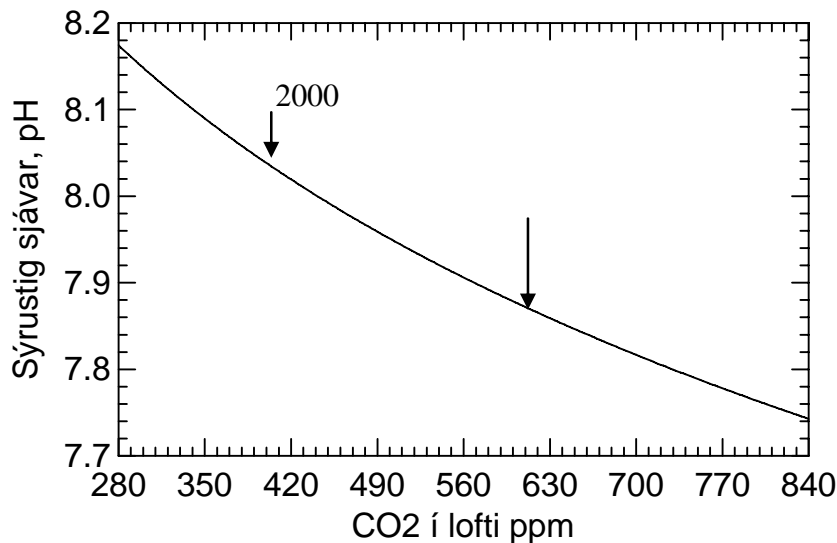


21. mynd. Meðalflæði koltvíoxíðs milli lofts og sjávar miðað við árið 1995, mól CO₂ m⁻² ár⁻¹. Jákvæð gildi eru á svæðum þar sem sjórinn losar meira til lofts en hann dregur í sig en neikvæð gildi þar sem nettó flæðið er frá lofti til sjávar. N-Atlantshaf sker sig úr og dregur í sig mikið á hverja flatareiningu.

Figure 21. Mean annual net air-sea flux for CO₂ mol CO₂ m⁻² yr⁻¹ for 1995. Negative values indicate that the ocean is a CO₂ sink. The N-Atlantic is a strong sink on an areal basis. Modified from Takahashi et al. 2002.

Aðstæður yfirborðssjávar í heimshöfunum eru misjafnar hvað varðar uppleyst koltvíoxíð. Sums staðar er sjórinn undirmettaður og koltvíoxíð leitar úr lofti til sjávar en á öðrum svæðum er hann yfirmettaður og flæðið er þá í gagnstæða átt (21. mynd, Takahashi o.fl., 2002). Ástæður þessa breytileika eru margvíslegar og má rekja til hafstrauma, sjógerða, sjávarhita og lífríkis. Áætlað er að fyrir hverjar 90 koltvíoxíðsameindir sem flæða á hverju ári um yfirborð heimshafanna frá sjó til lofts fari tveimur fleiri, 92, í gagnstæða átt því höfin draga í sig hluta þess sem bætist í lofthjúpin við eldsneytisbruna.

Á þessum vettvangi hefur verið greint frá því að 20 ára rannsóknir okkar á heildarstyrk koltvíoxíðs í yfirborðssjó sýna glögglega hækkun með tíma bæði norður í Íslandshafi og í hlýsjó vestur af Faxaflóa (Jón Ólafsson og Sólveig Ólafsdóttir, 2003). Á veturna eru áhrif lífríkisins í yfirborðssjónum í lágmarki og við vetraraðstæður á síðarnefnda svæðinu er selta um 35 og hiti um 5°C. Þá er koltvíoxíðstyrkurur í yfirborði nálægt því að vera í jafnvægi við loft. Með reikningum á grundvelli karbónatkerfis sjávar koma fram breytingar sem verða á sjó með þessa eiginleika þegar koltvíoxíðstyrkurur vex úr 280 ppm í 840 ppm (22. mynd).

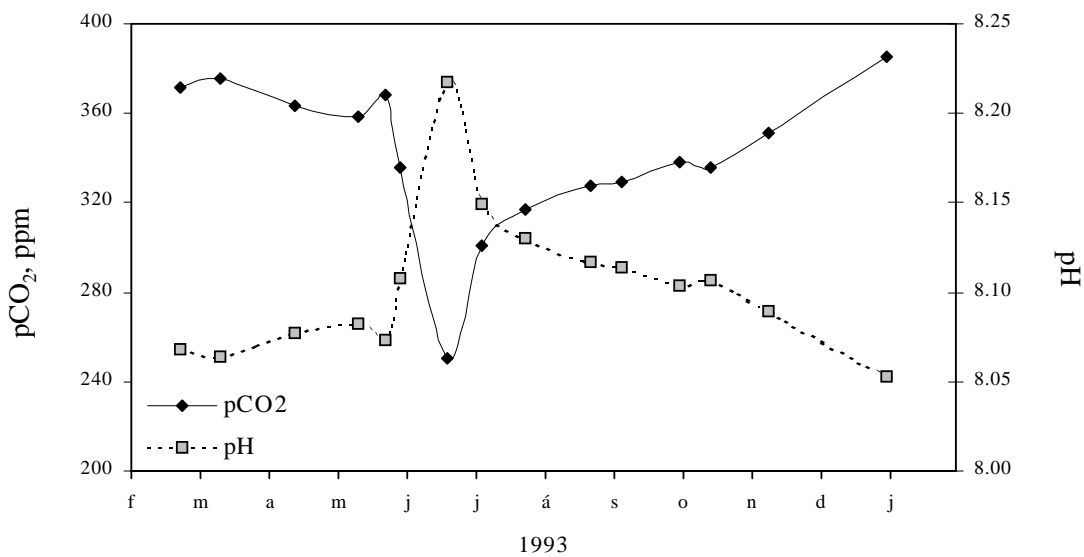


22.mynd Breytingar á sýrustigi, pH, sjávar sem er með seltu=35 er 5°C heitur og í jafnvægi við loft með breytilegu koltvíoxíði. Örvannar sýna aðstæður árið 2000 þegar CO₂ var 370 ppm og þegar CO₂ hefur náð 560 ppm, tvöfalt meiri styrk en fyrir iðnvæðingu.

Figure 22. pH changes in surface sea water ($S=35$, $t=5^{\circ}\text{C}$) in equilibrium with the atmosphere as carbon dioxide increases from 280 ppm to 840 ppm. Arrows indicate conditions for the year 2000 when CO₂ was 370 ppm and when CO₂ has reached 560 ppm, double the pre-industrial level.

Þannig sést að þegar koltvíoxíðstyrkurur var 280 ppm fyrir um tveimur öldum var pH 8.174 en hafði lækkað um 0.106 í pH 8.068 árið 2000. Við tvöföldum koltvíoxíðstyrks, 560 ppm, verður pH 7.906 eða 0.268 einingum lægra en 1800 og nái koltvíoxíðstyrkurinn að þrefaldast verður pH lækkunin orðin 0.431 í pH 7.835. Augljóslega verður sjór áfram basískur þó pH lækki og því er óvarlegt að tala um að sjór sé að súrna.

Þessar breytingar tengjast einungis lögmálum ólífrænnar efnafræði en lífefnafræðiferlin 4 og 5, eru ekki síður mikilvæg. Við rannsóknir á árstíðasveiflum í hafinu á koltvíoxíðstyrk og karbónatkerfinu koma allir áhrifavaldir fram. Þannig sýndu allitarlegar rannsóknir á hlýsjónum í Irmingarhafi vestan Faxaflóa, 1993-1994, að koltvíoxíðstyrkur lækkaði ört við vorblóma þörungna og yfirborðssjórinn hélst undirmettaður allt sumarið en CO₂ styrkurinn hækkaði smátt og smátt og náði jafnvægi við loft um miðjan vetur. Eins og vænta má endurspeglar reiknað sýrustig, pH, náði uppleyst koltvíoxíð og er í hámarki við vorblóma (23. mynd). Árssveifla pH, munur hæsta og lægsta gildis, er 0.165 á þessum tíma en gæti verið nokkru meiri eða minni önnur ár en um það höfum við ekki mælingar. Breytingarnar til lægra pH sem orðið hafa á 200 árum samsvara um 2/3 náttúrulegrar árstíðasveiflu og eftir aðeins nokkra áratugi verður pH í yfirborði þarna komið út fyrir það svið sem pH var á fyrir iðnvæðingu.



23. mynd Koltvíoxíð og reiknað pH, sýrustig, mælt í yfirborði sjávar á stað utan landgrunns ($64^{\circ} 12.8' N$, $28^{\circ} 46.5' V$, 1518 m) vestan Faxaflóa 1993-1994.

Figure 23. Measured surface partial pressure of CO₂ and calculated pH at an offshore location ($64^{\circ} 12.8' N$, $28^{\circ} 46.5' V$, 1518 m) west of Faxaflói 1993-1993.

Þó reikningar á grundvelli lögmála efnafræðinnar gefi nokkuð skýrar vísbendingar um framtíðar sýrustig þá er mikil óvissa um það hvernig lífríki bregðist við breyttum aðstæðum, t.d. kalkmyndandi lífverur. Í hlýsjónum vestan landsins, sem hér hefur verið tekið dæmi af, döfnuðu kalkþörungar og settu sinn blæ á hafið sumarið 2004 eins og sjá má í grein Kristinns Guðmundssonar og Agnesar Eydal (bls. 33 í þessu hefti). Áhrif pH lækkunar í hafinu eru vissulega komin á rannsóknadagskrá austan hafs og vestan. Við erum þátttakendur í Evrópuverkefni “CARBOOCEAN” sem lýtur m.a. að mati á aukningu koltvíoxíðs í sjó og áhrifum hennar.

Heimildir

Jón Ólafsson og Sólveig Ólafsdóttir, 2003. Tímaraðir í mælingum á ólfrænu kolefni í sjó. *Hafrannsóknastofnunin. Fjölrit* 96: 29-30.

Taro Takahashi, Stewart C. Sutherland, Colm Sweeney, Alain Poisson, Nicolas Metzl, Bronte Tilbrook, Nicolas Bates, Rik Wanninkhof, Richard A. Feely, Christopher Sabine, Jón Ólafsson og Yukihiro Nojiri (2002). Global sea-air CO₂ flux based on climatological surface ocean pCO₂, and seasonal biological and temperature effects. *Deep-Sea Research II*, 49, 1601-1622.

BLÓMI KALKSVIFPÖRUNGA Í NORÐUR-ATLANTSHAFI / *BLOOMING OF COCCOLITHOPHORES IN N-ATLANTIC WATERS*

Kristinn Guðmundsson og Agnes Eydal
Hafrannsóknastofnunin

Inngangur

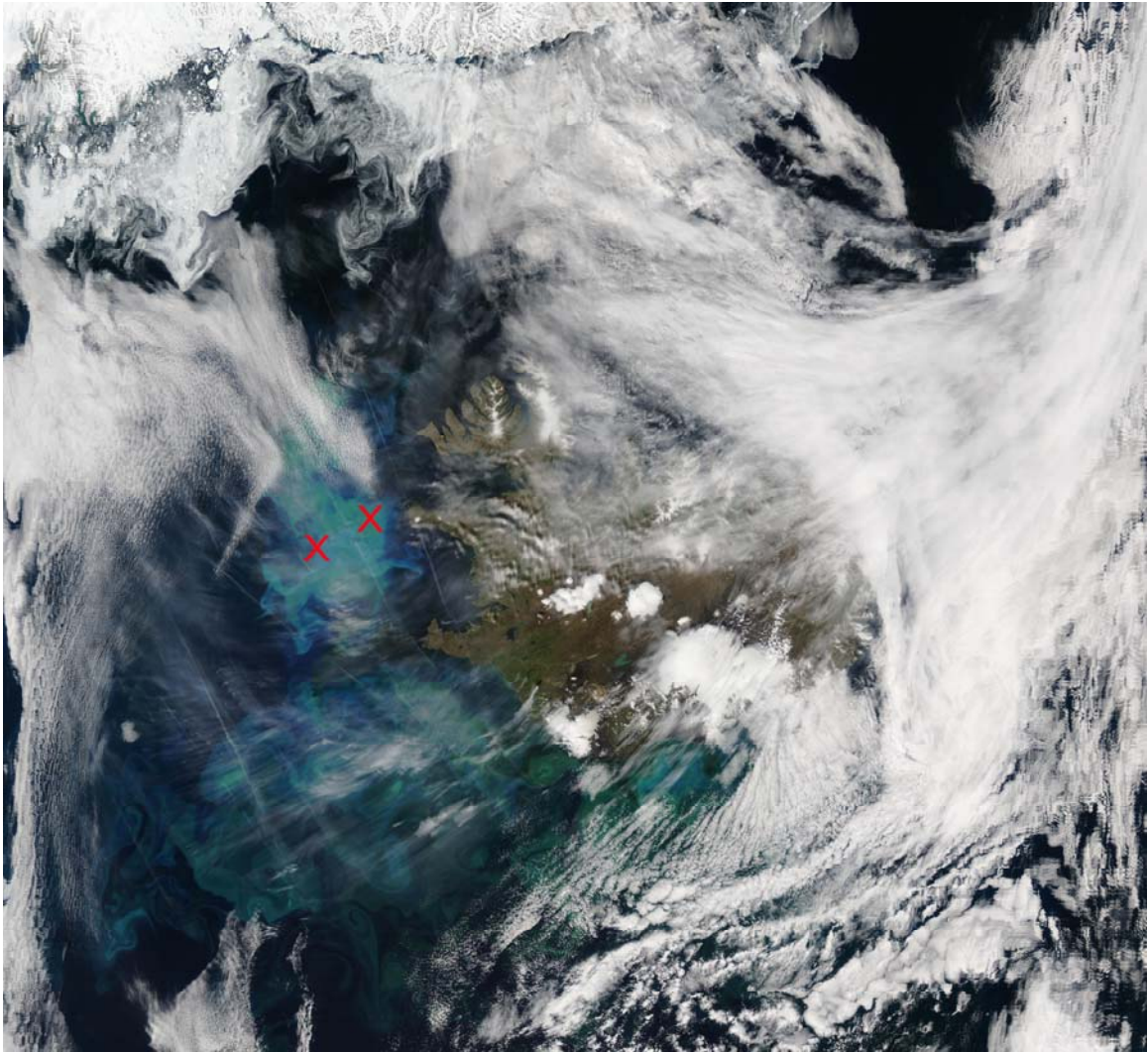
Kalksvifpörungar finnast víðast hvar í sjó en eru frekar hitakær hópur lífvera. Nokkrar tegundir eru algengastar í tempruðum sjó Norður-Atlantshafs og berast gjarnan þaðan inn á önnur svæði. Kalksvifpörungurinn, *Emiliana huxleyi*, er áberandi í Norður-Atlantshafi vegna þess að þéttleiki og útbreiðsla tegundarinnar þar getur orðið mikill þegar aðstæður eru henni hagstæðar. Þessi tegund er best þekkt úr Norðursjónum sökum sérkennilegs mjólkurhvíts litar sem sjórinn fær þegar blóminn er mikill, litar sem eflaust margir kannast við frá málverkum listamanna af þessum slóðum. Blóma tegundarinnar má vænta í maí og júní í kjölfar blóma annarra tegunda, sér í lagi þegar veður er bjart og stillt. Í Norður-Atlantshafi er útbreiðsla þessarar tegundar mikil, í það minnsta einstök ár, eins og sjá má af gögnum frá gervitunglum vegna mikils endurvarps og sérkennilegs litar sem stafar af yfirborði sjávar þegar skýjarhula byrgir ekki sýn (sbr. vefsíður). Algengast er að tekið hafi verið eftir þessum flekkjum á hafsvæðinu milli Íslands og Bretlands, sunnan og vestan við Bretlandseyjar og auðvitað í Norðursjónum. Oft hefur líka orðið vart við tegundina við suðurströnd Íslands, bæði í leiðöngrum og á gervitunglamyndum og einstök ár hefur útbreiðslan hennar náð inn á Faxaflóa. Síðla í júní 2004 varð vart við mikla og óvenjulega útbreiðslu kalksvifpörungar vestur með landinu og út í Grænlandshaf (1. mynd, bls. 9).

Kalksvifpörungablómi í Irmingerstraumi

Mikil útbreiðsla kalksvifpörungar suðvestur og vestur af Íslandi kom fram á myndum gervitungla Geimferðastofnunar Bandaríkjanna Norður-Ameríku (NASA) dagana 22. og 23. júní 2004 (24. mynd). Útibústjóri Hafrannsóknarstofnunarinnar á Ólafsvík hafði sambandi við hvalaskoðunarbátinn Brimrúnu frá Stykkishólmi, sem var staddur á umræddu svæði u.þ.b. 40 sjómílur suðvestur af Snæfellsnesi. Áhöfn Brimrúnar tók yfirborðssýni á staðnum og annað á leiðinni inn á Breiðafjörð (24. mynd). Þegar sýnin voru skoðuð í smásjá var staðfest að litabrigðin mætti rekja til áður nefnds kalksvifpörungar, *Emiliana huxleyi* (25. mynd). Dreifing tegundarinnar í Grænlandssundi er vísbending um mikið flæði hlýs Atlantssjávar vestur og norður með landinu. Þetta er í samræmi við niðurstöður mælinga á seltu og hita undanfarin ár í Irmingerstraumnum (Héðinn Valdimarsson & Steingrímur Jónsson 2004). Svipaðar niðurstöður hafa komið fram í rannsóknum frá Barentshafi og norður Noregi (Sagen & Dalpadado 2004) og þær hafðar til marks um breytingar á veðurfari á undanföllum árum. Í því sambandi er líka vert að minnast á að rannsóknir á hripi efna í setgildirur norðaustur af landinu síðastliðna tvo áratugi, í Austur-Íslandsstraumnum, sýna umtalsverða aukningu á seti kalks frá 1996 (Jón Ólafsson o.fl. 2000).

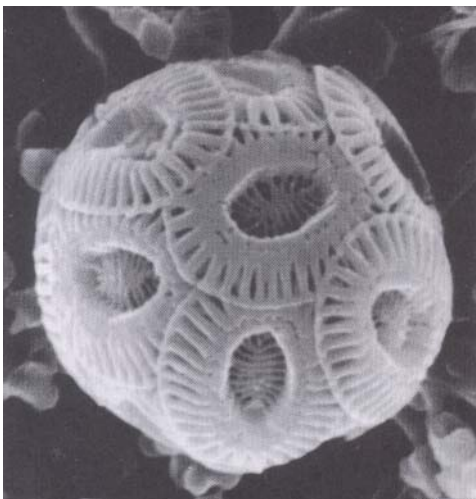
Emiliana huxleyi

Kalksvifpörungurinn *Emiliana huxleyi* (25. mynd) er smásær einfrumungur, hnöttóttur í laginu og aðeins 5 – 10 μm í þvermál. Vaxtarfruma tegundarinnar er svipulaus (c-fruma, 2n), þakin sykrublöndnum kalkskeljum (coccoliths) sem hver um sig er um 3 μm að þvermáli og eilítið sporöskjulaga. Lögum kalkskeljanna er mjög sérstök, en þær myndast stöðugt inn í fryminu (Golgi-kerfi) og hlaðast utan á frumuna. Aðeins þarf 15 – 20 skeljar til að þekja frumu af þessari tegund, en dæmi eru um að fjórum sinnum fleiri skeljar þekji einstaka frumu í allt að þreföldu lagi. Á öðru skeiði lífsferils tegundarinnar (s-fruma, n) er fruman þakin hreystri úr sykru, eins og algengt er meðal *Isochrysales* og hefur jafnframt dæmigerðar svipur þess hóps.



24. mynd. Mynd frá 22. júní 2004, samsett úr niðurstöðum litgreinis (SeaWiFS) í gervihnetti Geimferðastofnunar Bandaríkjna Norður-Ameríku (NASA) sem sýnir blóma kalksvifþörungsins *Emiliana huxleyi* sunnan og vestan Íslands <http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov>. Sýnatökustaðirnir eru merktir (rauð X).

*Figure 24. Composite picture from SeaWiFS colorscanner onboard a NASA satellite showing bloom of the coccolithophorid *Emiliana huxleyi* on June 22, 2004, <http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov>. The locations of sampling are shown (read X)*



25. mynd. Kalksvifþörungurinn *Emiliana huxleyi* er um 6 μm í þvermál þakinn einu lagi af kalkskeljum. Myndin, úr bókinni *Red tide organisms in Japan*, ritstj. Fukuyo o.fl. 1990, var tekin með rafeindasmásjá.

*Figure 25. The coccolithophorid, *Emiliana huxleyi*, is ca. 6 μm in diameter when covered by one layer of coccoliths. The picture, from the book “Red tide organisms in Japan, ed. by Fukuyo et al. 1990, is taken with scanning electron microscope.*

Ástæða þess að kalksviðþörungar koma fram með svo áberandi hætti í gögnum frá litgreinum gervihnatta er að kalkplöturnar endurvarpa ljósi, eins og miljónir örsmárra spegla. Þetta sérkennilega endurvarp þeirra veldur því að hægt er að segja með nokkurri vissu um hvaða tegund er að ræða. Endurvarpið er sterkt og stafar ekki síst frá kalkskeljum eftir að þær hafa losnað frá frumunum þegar líða tekur á blómann og því þarf að beita sértækum aðferðum við útreikninga á blaðgrænumagni í þessum flekkjum. Fjöldi fruma í blóma getur orðið mjög mikill og dæmi eru um að taldar hafa verið rúmlega 100 milljónir fruma í lítra (Brown & Yoder 1994).

Kalkbinding

Framleiðsla sviðþörungna á kalkskeljum hefur vakið athygli í umræðunni undanfarin ár, enda líklegt að þessi umtalsverða binding á kalki geti skipt máli í umsetningu koltvíoxíðs. Efnajafna kalkmyndunar er:



en samkvæmt henni myndast koltvíoxíð við efnahvarfið. Það er því ekki að undra þótt tilgáta hafi verið sett fram um að blómi *Emiliana huxleyi* geti valdið aukningu koltvíoxíðs í andrúmsloftinu í stað þess að draga úr uppsöfnun þessarar lofttegundar, en flæði koltvíoxíðs milli sjávar og andrúmslofts leitar stöðugt jafnvægis (sjá grein Jóns Ólafssonar, bls. 22 í þessu hefti), ferli sem gengur fljótt fyrir sig.

Ferlið getur virst ýta undir gróðurhúsaáhrif í andrúmsloftinu þegar til skamms tíma er litið. Hins vegar fellur verulegt magn kalks til botns í kjölfar kalksviðþörungablóma (Buitenhuis o.fl. 1996) þar sem það getur safnast fyrir og myndað kalksteinslög. Það ferli dregur vissulega úr uppsöfnun koltvíoxíðs þegar til langs tíma er litið. Jafnvægi bikarbonats og koltvíoxíðs í sjó leitar fljótt í fyrra horf, en flæði koltvíoxíðs milli lofts og sjávar ræðst af metnun sjávar og hlutþrýstingi koltvíoxíðs í andrúmsloftinu. Því má álykta að vöxtur kalksviðþörungna dragi úr uppsöfnun koltvíoxíðs í andrúmsloftinu og fyrirnefnt tímabundið flæði koltvíoxíðs úr sjó til andrúmsloftsins snúist við þegar dregur úr bindingu kalks. Koltvíoxíð binst líka í lífrænan vef þegar kalksviðþörungar vaxa, eins og aðrir sviðþörungar. En það er annað mál og verður ekki tekið fyrir hér, en aðeins bent á að langtímabreytingar á sýrustigi sjávar sem komið hafa fram í rannsóknaniðurstöðum á undanförunum árum (sjá grein Jóns Ólafssonar, bls 22 í þessu hefti) gætu haft áhrif á vöxt sjávargróðurs almennt (Riebesell 2004).

Árið 1991 var óvenju léttskýjað yfir norðanverðu Atlantshafi og þá var, í þrjár vikur, fylgst með flekk sem spannaði 500 þúsund ferkílómetra svæði frá 60° - 63°N og 13° - 28°V (Holligan o.fl. 1993). Þetta er stærsti einstaki flekkur sem vitað er um. Áætlað hefur verið að blómi af þessarri stærð standi undir þriðjungi af árlegri kalkframleiðslu heimshafanna og því hefur útbreiðsla og vöxtur *Emiliana huxleyi* notið athygli í umræðunni um svokölluð gróðurhúsaáhrif.

Árleg kalkbinding tegundarinnar *Emiliana huxleyi* á svæðinu milli Bretlandseyja og Íslands hefur verið áætluð 200 mg m² og heildarframleiðsla kalks á svæðinu öllu 0,4 – 1,3 x 10⁶ tonn, sem er um 30% af árlegri heildarframleiðslu kalsíumkarbónats (Holligan o.fl. 1993, Brown o.fl. 1994).

Hvað verður um lífmassann er annað mál, en niðurstöður beitartilrauna hafa sýnt að krabbaflær og ljósáta éta *Emiliana huxleyi* þegar kísilþörungna þrýtur. Rannsóknaniðurstöður sýndu jafnframt fram á að vöxtur dýra sem átu kalksviðþörungna kom aðallega fram í aukinni eggjaframleiðslu ef miðað var við dýr sem fóðruð voru á kísilþörungum (Nejstgaard o.fl. 1997). Þörungurinn virðist því hafa talsvert næringargildi fyrir krabbadýr. Beitarálagið nægir þó ekki til að hamla blóma tegundarinnar.

Súrt regn

Annað sem vakið hefur athygli við rannsóknir á vexti kalksviþþörungum og annarra *Prymnesiophyta*, er að frá þeim rýkur breinnisteinssamband, dimethyl sulphide (DMS) í margfalt meira magni en frá til dæmis kísilþörungum (Holligan o.fl. 1993, Brown o.fl. 1994). Tilgátur hafa verið settar fram um að rok DMS til andrúmsloftsins frá blóma kalksviþþörungum í Norður-Atlantshafi og *Phaeocystis* tegunda í Norðursjó og við Ísjaðarinn í pólsjónum sé möguleg skýring á meiri skýjamyndun yfir Atlantshafi norðan 55°N að sumri en á veturna. Brennisteinmengun í andrúmslofti og súrt regn er að sama skapi rakið að einhverju leiti til þessarra lífvera. Tegundin *Phaeocystis pouchetii*, er algeng sviþþörungategund í Íslandshafi og inn á landgrunninu norðan Íslands í kjölfar vorblóma kísilþörungum á svæðinu.

Heimildir

- Brown, C.W., Yoder, J.A. 1994. Coccolithophorid blooms in the global ocean. *J. Geophys. Res.* 99(C4) : 7467-7482.
- Buitenhuis, E., van Bleijswijk, J., Bakker, D. & Veldhuis, M., 1996. Trends in inorganic and organic carbon in a bloom of *Emiliana huxleyi* in the North Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 143: 271-282.
- Fukuyo, Y., Takano, H., Chihara, M., & Matsuo, K. (eds) 1990. *Red tide organisms in Japan – An illustrated taxonomic guide.* Uchida Rokakuho, Tokyo, 407 bls.
- Jón Ólafsson, Ostermann, D., Curry, W.B., Honjo, S. & Manganini, S.J., 2000. Time series particle fluxes from the Iceland Sea: 1987 to present. *Eos, Transactions, American Geophysical Union* 80(49): 193.
- Héðinn Valdimarsson og Steingrímur Jónsson, 2004. Area 3. Icelandic waters. Annex in: Report of the Working Group on Ocean Hydrography, *ICES CM 2004/C:06*, bls. 99-103.
- Holligan, P.M., Fernandez, E., Aiken, J., Balch, W.M., Boud, P., Burkill, P.H., Finch, M., Groom, S.B., Malin, G., Muller, K., Purdie, D.A., Robinson, C., Trees, C.C., Turner, S.M. & van der Wal, P. 1993. A biogeochemical study of the coccolithophore, *Emiliana huxleyi*, in the north Atlantic. *Global Biogeochem. Cycles* 7(4): 879-900.
- Nejstgaard, J.C., Gismervis, I., Solberg, P.T. 1997. Feeding and reproduction by *Calanus finmarchicus*, and microzooplankton grazing during mesocosm blooms of diatoms and the coccolithophore *Emiliana huxleyi*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 147: 197-217.
- Riebesell, U., 2004. Effects of CO2 enrichment on marine phytoplankton. *Journal of Oceanography* 60:719-729.
- Sagen, H., Dalpadado, P. 2004. *Emiliana huxleyi* – oppblomstringen i Barentshavet sommeren 2003 observert ved hjelp av satellitt. *Fisken og havet*, særnummer 2, 2004.

Vefsíður

Emiliana huxleyi Home Page, <http://www.soes.soton.ac.uk/staff/tt/eh/>

Emiliana huxleyi Biogeography, <http://www.soes.soton.ac.uk/staff/tt/eh/cbrown.html>

GREINING ÞORSKS (*GADUS MORHUA* L.) Í STOFNEININGAR ÚT FRÁ VAXTARHRAÐA OG LÖGUN KVARNA / DISCRIMINATION BETWEEN ICELANDIC COD (*GADUS MORHUA* L.) STOCKS FROM ADJACENT SPAWNING GROUNDS BASED ON OTOLITH GROWTH AND SHAPE

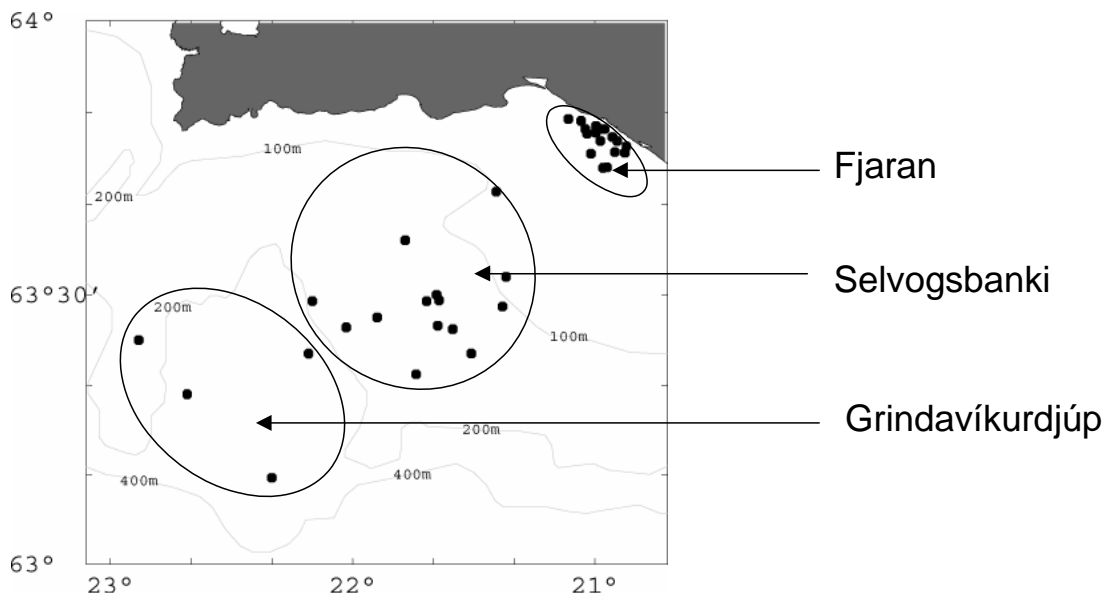
Gróa Þóra Pétursdóttir,
Hafrannsóknastofnunin

Inngangur

Rannsóknir hafa sýnt mikinn breytileika á lífsferli Atlantshafsborsks (*Gadus morhua* L.) og er vöxtur og kynþroski þorsks hér við land mjög breytilegur (Guðrún Marteinsdóttir & Gróa Pétursdóttir 1995; Guðrún Marteinsdóttir o.fl. 2000; Guðrún Marteinsdóttir & Gavin A. Begg 2002). Þorskstofninn við Ísland er talinn sjálfstæður stofn en, það er löngu kunnugt að það geta orðið til hópar sem hafa sérstöðu innan tegundarinnar, sem lýsir sér í mismunandi einkennum eins og útliti, vexti, dánartölu og kynþroskastærð (Einar Jónsson 1982, Sigfús A. Schopka 1994). Lögun kvarna hefur verið notuð til að greina á milli hrygningarhópa hjá ýmsum fisktegundum á mismunandi hafsvæðum (Hermann Einarsson 1951; Bird o.fl. 1986; Campana & Casselman 1993; Begg & Brown 2000; DeVries o.fl. 2002). Verkefnið sem hér er greint frá (Gróa Þ. Pétursdóttir 2004) fjallaði um samanburð á jafngömlum hrygningarþorski frá þremur samliggjandi svæðum innan aðal hrygningarsvæðins við suðvesturströndina. Meginmarkmið var að athuga hvort hægt væri að flokka þorsk frá þessum svæðum í stofneiningar út frá vaxtarhraða og lögun kvarna.

Efniviður og aðferðir

Kvarnasýnum úr kynþroska þorskum var safnað á tímabilinu febrúar til aprílloka vorið 1996 á aðalhrygningarsvæðinu við Suðvesturland (26. mynd). Svæðin voru Grindavíkurdjúp, Selvogsbanki og Fjaran sem er svæðið næst landinu við Suðvesturströndina (Knarrarós, Loftstaðarhraun).



26. mynd. Rannsóknasvæðin voru þrjú samliggjandi hrygningarsvæði á aðalhrygningarstöðvum þorsks úti af Suðvesturlandi. Það sem aðgreinir þau er dýpi. Punktarnir eru sýnatökustaðirnir. Svæðin eru: Fjaran (Knarrarós, Loftstaðarhraun) innan við 75m dýpi, Selvogsbanki á milli 75 – 200m dýpi, Grindavíkurdjúp er í halla landgrunnisins og er víðast hvar ríflega 200 m djúpt.

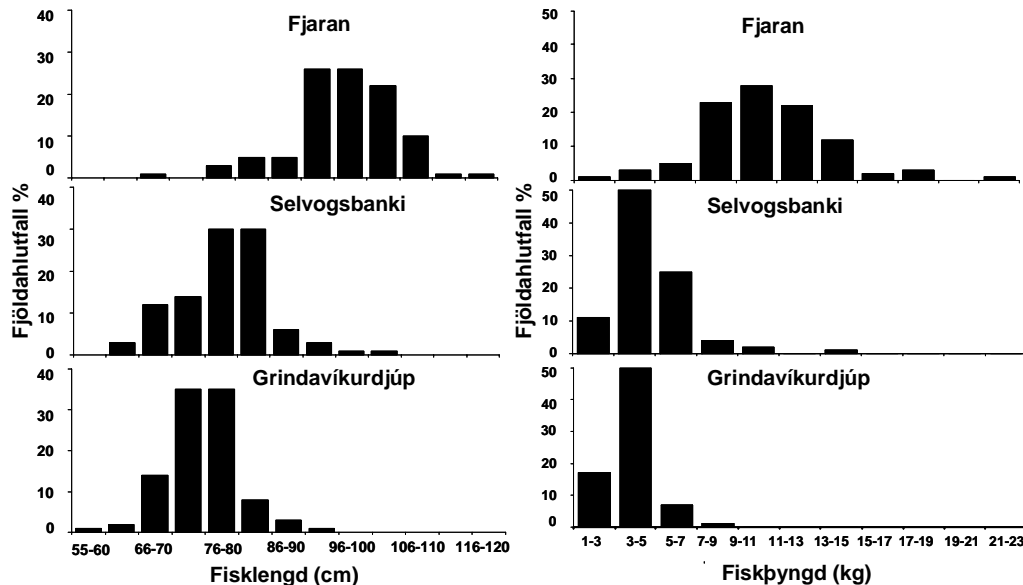
Figure 26. The three sampling areas, Coast (<75m), Bank (75-200m) and Shelf (>200) on the main spawning grounds south west of Iceland and the individual sampling areas.

Sýnum var safnað í landsýnatökum ýmist í fiskverkunarhúsum eða fiskmörkuðum í Þorlákshöfn og víðsvegar á Suðurnesjum. Þorskar voru kvarnaðir og vigtaðir óslægðir og slægðir, einnig voru lifur, hrogn og svil vigtuð. Aldur fiska var lesinn af kvörnum og voru tveir árgangar (1989 og 1990) valdir til að hafa samanburð á milli ára, en það voru 6 og 7 ára þorskar, sem var elsti fiskurinn sem fannst á öllum svæðunum. Kvarnirnar voru skannaðar inn heilar undir víðsjá á tölvutækt form og mælt var með hjálp myndgreinis; lengd, breidd og ummál, einnig hringlöggun og rétthyrningslag kvarnar ásamt 64 Fourier þáttum. Allar kvarnir sem voru notaðar í verkefninu voru vigtaðar til að geta borið saman þyngd kvarna milli svæða. Kvarnirnar fóru síðan í staðlað sögunarferli (Gróa Þ. Pétursdóttir 2004) þar sem þær voru sneiddar niður og kvarnasneiðar límdar á smásjargler.

Niðursneiddar kvarnir voru einnig skannaðar inn á tölvutækt form undir víðsjá og áhringir mældir með hjálp myndgreinis. Mat á vexti kvarnanna var byggður á áhringum. Sýnum var safnað úr þorskum, veiddum í net.

Niðurstöður

Þorskar sem hrygna á fjörusvæðinu næst landi reyndust vera lengri, þyngri og í betra ástandi heldur en jafngamalur fiskar sem hrygna utar og dýpra á Selvogsbanka og Grindavíkurdjúpi (27. mynd).



27. mynd. Lengdar- og þyngdardreifing 6 og 7 ára þorsks úr Fjörinni, Selvogsbanka og Grindavíkurdjúpi.

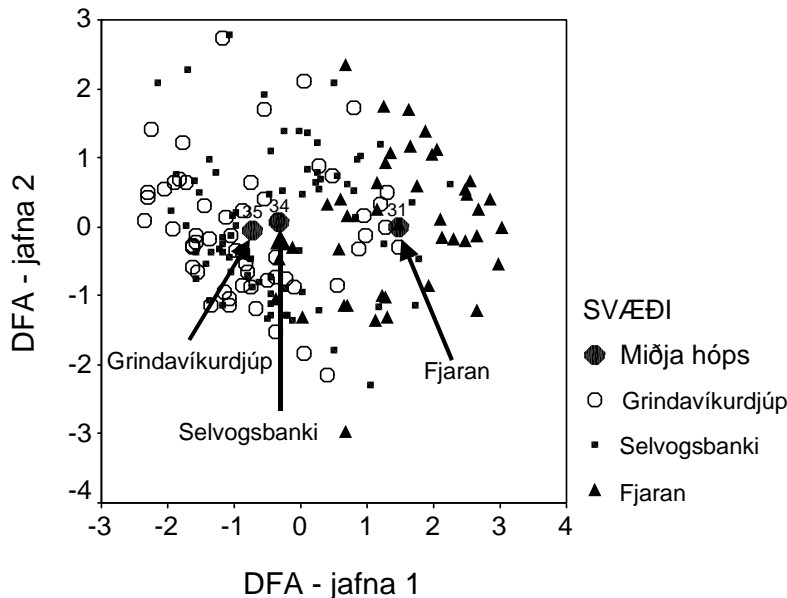
Figure 27. Total length and total weight distribution of 6 and 7 years old cod (*Gadus morhua* L.) at the three sampling areas (Coast, Bank and Shelf).

Allir stærðarþættirnir í kvörnum úr þorskum frá fjörinni (þyngd, lengd, breidd, ummál og flatarmál) voru marktækt frábrugðnir kvörnum frá hinum svæðunum. Kvarnalengd-fisklengdar sambönd bentu til þess að ekki sé hagstætt að nota lengd kvarna til að meta stærð fiska. Kvarnaþyngd gaf mun betur til kynna ástand fiska. Fylgni milli kvarna- og fisklengdar sambands var ekki góð. Hægvaxta fiska virðist hafa hlutfallslega lengri kvarnir borið saman við kvarnir úr hraðvaxta fiskum á fjörusvæðinu.

Rannsóknin sýndi einnig marktækan mun á vaxtaraða hrygningarþorsks út frá mælingum á breidd áhringa í kvörnum þegar niðurstöður frá svæðunum þremur voru bornar saman. Það var greinilegt að fiskar á fjörusvæðinu uxu hratt fyrstu tvö árin miðað við fiska frá hinum svæðunum. Vöxturinn var metinn út frá árlegri viðbót í lengd kvarna í fiskum sem klöktust út 1990. Milli tveggja og sex ára aldurs virðist vöxtur fiska frá öllum svæðunum áþekkur, en upp úr því fer vöxtur fiska af fjörusvæðinu að vaxa hlutfallslega meir en fiskar í

samanburðarhópunum. Þetta á við báða árgangana sem var verið að rannsaka. Hrygningar- og klakrannsóknir frá árinu 1995 sýndu einnig að með auknum aldri jókst þyngdarmunur milli þorska á fjörusvæðinu í samanburði við Selvogsbankann (Guðrún Marteinsdóttir og Gróa Péturdóttir 1995).

Beitt var fjölþáttagreiningum til að bera saman vöxt og lögun kvarna og rannsakað hvort munur væri á kvörnum frá einu svæði til annars. Marktækur munur fannst á lögun og stærð kvarna og því greinilegur munur á kvörnum úr þorskum úr Fjörinni í samanburði við kvarnir frá hinum rannsóknasvæðunum (28. mynd). Kvarnir frá Selvogsbanka og Grindavíkurdjúpi voru hins vegar áþekkar og óaðgreinanlegar.



28. mynd. Fjölþáttagreining (Discriminant Function Analysis - DFA) á lögun kvarna sýnir skyldleika fisks frá þremur samliggjandi hrygningarsvæðum.

Figure 28. Scores for Discriminant Function Analysis (DFA) 1 and 2 of cod (*Gadus morhua* L.) from the three sampling areas; Coast, Bank and Shelf.

Tölfræðilegur samanburður (Canonical Discriminant Analysis (CDA) sýndi fram á há marktækan mun á kvörnum úr fiskum sem veiddir voru á fjörusvæðinu annars vegar og á kvörnum úr hinum svæðunum hins vegar (Tukey's HSD test, $p < 0.05$), en ekki reyndist vera marktækur munur á kvörnum úr fiskum frá Selvogsbanka og Grindavíkurdjúpi (Tukey's HSD test, $p > 0.05$). Fjörusvæðið skar sig úr og lögun kvarna þaðan marktækt frábrugðin lögun kvarna á hinum svæðunum (28. mynd). Áhersla var lögð á að sýnin sem notuð voru í þessar aðgreiningar væru stöðluð og aðeins voru notaðar kvarnamælingar frá fiskum af lengdarbilinu 75-96 sm, en fiskar af þeirri stærð fengust af öllum rannsóknasvæðunum.

Flokkunin er framkvæmd þannig að einn einstaklingur (ein kvörn) er tekinn út í einu blint og borin saman við áður fundna eiginleika sem aðgreindu best kvarnirnar frá þessum þremur mismunandi svæðum. Kvörnin sem tekin var frá var síðan flokkuð í þann hóp sem hún líkist mest og þannig voru allar kvarnir metnar á nýtt samkvæmt tilgreindri flokkun. Flokkunarárangur sýndi hve mörg prósent kvarna flokkuðust réttilega á hvert svæði. Niðurstaða þess var að það flokkuðust 70.5% rétt af kvörnum úr þorskum frá fjörusvæðinu í Fjöruna, en um 30% lentu á Selvogsbanka og engin kvörn frá Fjörinni flokkaðist í Grindavíkurdjúp. Fyrir Selvogsbanka kvarnirnar þá flokkast 54.8% rétt á Selvogsbankann en 31.5% í Grindavíkurdjúp og 13.7% í Fjöruna. Kvarnir úr Grindavíkurdjúpi flokkuðust einungis 38.6% á sitt rétta svæði en 49.1% á Selvogsbankann og 12.3% í Fjöruna. Greinilegt var að þorskvarnir blönduðust hjá Selvogsbanka og Grindavíkurdjúpi. Aðskilnaður á milli þeirra var ekki eins mikill og milli þorskkvarna frá Fjörinni í samanburði við kvarnir af hinum svæðunum.

Umræða

Niðurstöður úr verkefninu benda eindregið til þess að þorskar frá hrygningarsvæðum við Suðvesturland geti verið samsettir úr fleiri en einum aðgreinanlegum undirstofnum, annað hvort vegna ólíkra erfðaeiginleika eða vegna mismunandi fæðuvals og umhverfisaðstæðna. Þorskar á þessum svæðum flokkuðust í tvo aðskilda hópa, þar sem þorskar af grynsta svæðinu vaxa hraðar og aðgreinast vel frá hinum er hrygna utar. Mikilvægt er að viðhalda og vernda erfðamengi þessara hópa, þá sérstaklega ef um aðskilda stofna er að ræða. Ljóst er að eiginleikar sem þorskar í Fjörinni hafa eru meðal annars; hraður vöxtur, stærri og fleiri egg og lífvænlegri seiði (Guðrún Marteinsdóttir o.fl. 2000). Þorskar af fjörusvæðinu eru sérlega verðmætir sem útflutningsvara sökum stærðar og benda má á að kostir þeirra koma meðal annars fram í betri nýtingu í fiskvinnslu. Þar af leiðandi hefur þetta svæði orðið fyrir mikilli sókn. Samanburður á þorski frá þessum hrygningarsvæðum bendir til þess að hraðvaxta hrygningarþorskar á fjörusvæðinu sé hentug stofngerð fyrir veiðar og líklega einnig fyrir áframeldi í kvíum eða í þorskeldi almennt. Mikið veiðiálag hefur gengið nærri þorski á þessu svæði. Það er ekkert sem bendir til að fiskar sem hrygna utar og dýpra færi sig nær landi þegar pláss losnar á gynnra svæðinu og taki síðan að vaxa hraðar og dafna eins og Fjöruborskar. Þannig hafa merkingarannsóknir ekki sýnt fram á að þorskar sem merktir eru á hrygningarsvæðinu á Selvogsbanka hafi endurheimst í Fjörinni (Vilhjálmur Þorsteinsson munnlegar upplýsingar). Hugsanlega skiljast leiðir þorska eftir kynþroska og líka er mögulegt að fiskar sem hrygna á fjörusvæðinu sækja í grynri fæðusvæði þar sem auðveldara er að ná í stærri, fjölbreyttari og auðfengnari fæðu en fiskarnir sem hrygna utar og dýpra. Niðurstöður merkingarannsókna á Hafrannsóknastofnuninni styðja þessa tilgátu og sýna fram á að þorskar halda sig á mismunandi fæðustöðum utan hrygningartíma (Ólafur K. Pálsson og Vilhjálmur Þorsteinsson 2003). Æskilegt er að skýra far þorska á fæðuslóð nánar með frekari merkingarannsóknum og þannig má jafnvel fá upplýsingar um hvort hrygningarþorskar skili sér alltaf á sama stað til hrygningar eða hvort þeir reyni fyrir sér á ólíkum hrygningarstöðum. Slíkar niðurstöður væru sérlega mikilvægar til að stjórna veiðiálagi á mismunandi svæðum.

Niðurstöður úr netaralli og stofnstærðarrannsóknum Hafrannsóknastofnunarinnar á síðustu árum benda til þess að afli á sóknareiningu á fjörusvæðinu hafi minnkað mikið. Á undanförunum árum hefur verið lögð aukin áhersla á að vernda þorsk. Þessi hrygningarsvæði við suðvesturströndina eru nú lokuð í 2-3 vikur yfir aðalhrygningartímann og dregið hefur verið úr leyfilegri möskvastærð á netum. Hugsanlega er þörf á enn róttækari aðgerðum til dæmis með því minnka leyfilega stærð netamöskva enn frekar og loka síðan fjörusvæðinu yfir allan hrygningartímann, til að hraðvaxta þorskar eigi möguleika á að auka kyn sitt. Ef í engu er brugðist við er vel hugsanlegt að fiskar með þessa eiginleika tapist til frambúðar og jafnvel hverfi úr íslenska þorskstofninum.

Heimildir

- Begg, G. A. & R. W. Brown 2000. Stock identification of haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) on Georges Bank based on otolith shape analysis. *Transactions of the American Fisheries Society* 129: 935-945.
- Bird, J. L., D. T. Eppler & D. M. Checkley Jr. 1986. Comparisons of herring otoliths using Fourier series shape analysis. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 43: 1228-1234.
- Campana, S. E. & J. M. Casselman 1993. Stock discrimination using otolith shape analysis. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 50: 1062-1083.
- DeVries, D. A., C. B. Grimes & M. H. Prager 2002. Using otolith shape analysis to distinguish eastern Gulf of Mexico and Atlantic Ocean stocks of king mackerel. *Fisheries Research* 57: 51-62.
- Einar Jónsson 1982. A survey of spawning and reproduction of the Icelandic cod. *Rit Fiskideildar* 6(2): 1-45.
- Gróa Þ. Pétursdóttir 2004. *Discrimination between Icelandic cod (Gadus morhua L.) populations from adjacent spawning grounds based on otolith growth and shape*. Meistaraprófsritgerð við Raunvísindadeild H.Í. Reykjavík. 90 bls.

- Guðrún Marteinsdóttir & Gróa Pétursdóttir 1995. Spatial and temporal variation in reproduction of Icelandic cod at Selvogsbanki and nearby coastal areas. *ICES CM 1995/G:15*.
- Guðrún Marteinsdóttir, Ásta Guðmundsdóttir, Vilhjálmur Þorsteinsson & Gunnar Stefánsson 2000. Spatial variation in abundance, size composition and viable egg production of spawning cod (*Gadus morhua* L.) in Icelandic waters. *ICES Journal of Marine Science* 57: 824-830.
- Guðrún Marteinsdóttir & Gavin A. Begg 2002. Essential relationship incorporating the influence of age, size and condition on variables required for estimation of reproductive potential in Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Marine Ecology Progress Series* 235: 235-256.
- Hermann Einarsson 1951. Racial analyses of Icelandic herrings by means of otoliths. *Rapports et Proces-Verbaux Des Reunions* 128: 55-74.
- Ólafur K. Pálsson & Vilhjálmur Þorsteinsson 2003. Migration patterns, ambient temperature, and growth of Icelandic cod (*Gadus morhua*): evidence from storage tag data. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 60: 1-16.
- Sigfús A. Schopka 1994. Fluctuations in the cod stock off Iceland during the twentieth century in relation to changes in the fisheries and environment. *ICES Marine Science Symposia* 198: 175-193.

FISKELDI Í SJÓKVÍUM VIÐ STRENDUR ÍSLANDS: UMFJÖLLUN UM FERLI LEYFISVEITINGA, MAT Á UMHVERFISÁHRIFUM OG VÖKTUNARÁÐFERÐIR / AQUACULTURE IN ICELAND: LICENSING PROCESS, MONITORING AND ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT

Anna Rósa Böðvarsdóttir
Hafrannsóknastofnuninni

Inngangur

Fiskeldi er vaxandi iðnaður við strendur Íslands, eins og víðar í heiminum. Þekkt er að fiskeldi í sjókvíum getur haft neikvæð áhrif á umhverfið, allt frá sjónrænum áhrifum til beinnar mengunar (sjá yfirlitsgrein Read *et al.* 2001). Í meistaranámsverkefni í umhverfisfræðum við líffræðiskor Háskóla Íslands var skoðað hvernig staðið væri að leyfisveitingum, mati á umhverfisáhrifum og vöktun í tengslum við fiskeldi á Íslandi. Eitt af markmiðum verkefnisins var að skoða hvort staðið sé á sama hátt að málum í völdum samanburðarlöndum þ.e. Noregi, Skotlandi og Kanada (fylkið New Brunswick var skoðað sérstaklega). Samanburðarlöndin ásamt nokkrum fylkjum í Bandaríkjunum, eru álitin hafa mesta eftirlitið og bestu vöktunarferlin með fiskeldi í sjó (sjá yfirlitsgrein Fernandes *et al.* 2000), auk þess að stunda öll mikið fiskeldi. Þá er reynt að benda á hvað gera þurfi til að bæta meðferð þessara mála á Íslandi. Auk þessa voru skoðaðar fleiri umhverfisstjórnunaraðgerðir eins og samþætt strandsvæðastjórnun, burðarþol svæða o.fl. Einnig var skoðað vinnuferli stofnana sem tengjast útgáfu leyfa fyrir fiskeldi í sjókvíum héraendis og voru valin tvö heilbrigðiseftirlitssvæði af tíu (lög nr. 7/1998) til að skoða sérstaklega í því tilliti. Eftirfarandi er stutt yfirlit byggt á ritgerð til meistaraþrófs við Háskóla Íslands (Anna Rósa Böðvarsdóttir 2004).

Ferli leyfisveitinga

Ferli leyfisveitinga héraendis eru flókin þar sem útgáfa starfs- og rekstrarleyfa eru aðskilin, auk þessa gefa tveir aðilar út starfsleyfi eftir stærð eldisins (þ.e. Umhverfisstofnun og heilbrigðiseftirlit sveitarfélaganna) og aðrir tveir aðilar gefa út rekstrarleyfi sem fer eftir hvort um er að ræða eldi nytjastofna sjávar eða laxfiska (þ.e. veiðimálastjóri og Fiskistofa) (sjá 29. mynd). Ef um er að ræða fiskeldi sem er stærra en 200 tonn er framkvæmdaraðila skylt að tilkynna það til Skipulagsstofnunar sem síðan tekur ákvörðun um matsskyldu framkvæmdar (lög nr. 106/2000 & reglugerð nr. 691/2000). Það eru því fimm embætti sem koma að veitingu starfs- og rekstrarleyfa (sjá ljósgráu reitina á 29. mynd). Mikilvægt er að einfalda ferli leyfisveitinga t.d. væri æskilegt að Umhverfisstofnun sæi ein um útgáfu starfsleyfa eða hefði vald til að stöðva útgáfu starfsleyfis hjá heilbrigðiseftirlitunum ef þörf er á því. Einnig þarf að auka tengslin á milli veiðimálastjóra og Fiskistofu þannig að þessi embætti séu skuldbundin til að miðla öllum upplýsingum sín á milli og það sem kann að höndum að bera t.d. um sjúkdóma og strok fiska. Þetta gæti farið fram t.d. með reglulegum fundum og/eða sameiginlegum gagnagrunni eins og landfræðilega upplýsingakerfinu (Anna Rósa Böðvarsdóttir 2004).

Vegna þess hve ferli leyfisveitinga eru flókin og hve mörg embætti koma að útgáfu starfs- og rekstrarleyfa hefur það valdið misræmi á þeim kröfum sem gerðar eru til gagna á milli embætta. Umhverfisstofnun gerir t.d. kröfur um upplýsingar um umhverfisaðstæður eins og um strauma og sýni af botnseti (sjá t.d. Umhverfisstofnun 2003a). Hvorugt heilbrigðiseftirlitanna sem var skoðað fer fram á að straumar séu athugaðir en annað þeirra fer fram á það að botnsýni sé tekið. Einnig er misræmi í þeim kröfum sem gerðar eru á milli veiðimálastjóra og Fiskistofu. Það er mikilvægt að samræma þær kröfur sem embættin gera um gögn sem leggja þarf fram.

Miklu meiri eftirspurn hefur verið eftir starfsleyfum fyrir fiskeldi undir 200 tonnum en starfsleyfum fyrir stærra eldi. Ástæða þess er líklega sú að starfsleyfi undir 200 tonnum eru mjög ódýr, en þau kosta aðeins 6.500 krónur eða eru jafnvel ókeypis hjá heilbrigðiseftirlitunum á meðan að starfsleyfi hjá Umhverfisstofnun kostar á bilinu 68.000 –

286.000 krónur og fer kostnaðurinn eftir stærðarflokkum (Umhverfisstofnun 2003b). Auk þess kemst framkvæmdaraðili þá hjá því að tilkynna framkvæmd til Skipulagsstofnunar og jafnvel einnig undan matsskyldu sem hefði kostað hann mun meira fé og tíma. Þegar rannsóknin var gerð í lok ársins 2002 að þá hafði t.d. Heilbrigðiseftirlit Vestfjarða gefið út starfsleyfi fyrir 11.542 tonnum (munnleg heimild, Anton Helgason 2003, framkvæmdastjóri Heilbrigðiseftirlits Vestfjarða). Mikilvægt er að sporna gegn þessari þróun með því t.d. að hækka verð starfsleyfa undir 200 tonnum (Anna Rósa Böðvarsdóttir 2004).

Mat á umhverfisáhrifum

Við mat á umhverfisáhrifum eru Íslendingar að komast á svipað stig og samanburðarlöndin með drögum sem Skipulagsstofnun gerði í lok ársins 2003 fyrir mat á umhverfisáhrifum fyrir fiskeldi (Skipulagsstofnun 2003). Þrátt fyrir það er hægt að bæta nokkra þætti í tilkynningarskyldu og mati á umhverfisáhrifum eins og framsetningu mynda og korta og upplýsingar um sjónræn áhrif framkvæmdarinnar. Auk þess er mikilvægt að vöktunaraðferðum verði lýst ítarlega í þeirri skýrslu sem lögð er fram. Það myndi auðvelda framkvæmdaraðila að gera sér grein fyrir þeim skyldum sem lagðar eru á hann.

Allt fiskeldi ætti að tilkynna til Skipulagsstofnunar, en aðeins fiskeldi sem er stærra en 200 tonn er tilkynningarskyld núna. Skipulagsstofnun myndi þannig fá betra yfirlit yfir allt fiskeldi í landinu og þætti eins og strok fiska, sammögnunaráhrif, sjúkdóma, söfnun upplýsinga um þau svæði sem fara undir fiskeldi verði á einum stað o.s.frv.

Vöktunaraðferðir

Í vöktunaraðferðum geta Íslendingar lært af öllum samanburðarlöndunum þ.e. Noregi, Skotlandi og Kanada. Í rannsókninni kom greinilega fram að samanburðarþjóðirnar leggja áherslu á að vakta botnset á meðan að Íslendingar leggja áherslu á að vakta yfirborðslög sjávar. Það er mikilvægt að lögð verði meiri áhersla á að vakta botnsetið, s.s. að vakta afoxunarmætti súrefnis og sýrustig. Við val á umhverfisbreytum sem krafa yrði gerð um að vakta, þarf að taka mið af ávinningi, kostnaði og fyrirhöfn.

Það er nauðsynlegt að vakta mismunandi svæði/stöðvar út frá kvíum eins og samanburðarþjóðirnar gera og taka viðmiðunarsýni reglulega á ómenguðu svæði til samanburðar. Í tengslum við þetta er nauðsynlegt að rannsaka stærð áhrifasvæðis fiskeldis hér við land. Mikilvægt er að þróuð verði innlend umhverfisviðmið og/eða tekin verði upp alþjóðleg viðmið, þannig að auðveldara verði að greina hvenær mengunarmörkum verði náð.

Einnig skiptir máli að samræma þær kröfur sem gerðar eru á milli embætta í tengslum við vöktunaraðferðir. Veidimálastjóri fer t.d. fram á að hluti eldislax sé merktur (reglugerð nr. 105/2000) en engar slíkar kröfur eru gerðar af Fiskistofu. Það hlýtur að skipta máli að sjávarfiskar séu einnig merktir s.s. vegna hugsanlegrar hættu á sjúkdómum og erfðablöndun. Með því að örmerkja fiskinn er framkvæmdaraðila veitt aðhald til að tilkynna að fiskur hafi sloppið (Anna Rósa Böðvarsdóttir 2004).

Aðrar umhverfisstjórnunaraðgerðir

Þær stofnanir sem koma að veitingu umræddra leyfa ættu að gefa út aðgengilegar leiðbeiningar, það stuðlar að því að þær umsóknir sem er skilað inn uppfylli þær kröfur sem gerðar eru. Aðrar aðgerðir sem eru til þess fallnar að auðvelda samræmingu í stjórnun þessa málaflokks og stuðla að góðri umgengni og sátt um nýtingu strandsvæða, ætti einnig taka upp. Aðlaga ætti fyrir íslenskar aðstæður samþætta strandsvæðastjórnun (Integrated Coastal Zone Management), taka upp umhverfistryggingar, þróa aðferðir til að minnka neikvæð sjónræn áhrif og hvíla svæði. Einnig skiptir miklu máli að þróa aðferðir til að meta burðarþol svæða, en engin viðurkennd aðferð er til í dag (Anna Rósa Böðvarsdóttir 2004).

Lokaorð

Það er ljóst að það þarf að einfalda leyfisveitingaferlið hérlendis og að samræma kröfur um gögn og vöktun á milli embættanna. Einnig eru vöktunaraðferðir ekki eins fullkomnar hérlendis og hjá samanburðarlöndunum. Aftur á móti hafa jákvæðar breytingar orðið eins og í sambandi við tilkynningaskyldu og mat á umhverfisáhrifum hjá Skipulagsstofnun.

Í dag er þó ýmsum mikilvægum spurningum ósvarað eins og hvort náttúrulegum villtum stofnum, þar með talið nytjastofnum stafi ógn af fiskeldi. Vegna þessa hafa margar þjóðir lokað svæðum fyrir laxeldi til verndunar á villtum laxastofnum. Hins vegar hefur engin þjóð staðið fyrir verndun á villtum nytjastofnum og lokað svæðum fyrir eldi sjávarfiska enn sem komið er.

Heimildir

Anna Rósa Böðvarsdóttir 2004. *Fiskeldi í sjókvímum við strendur Íslands: Umfjöllun um ferli leyfisveitinga, mat á umhverfisáhrifum og vöktunaraðferðir*. Meistaraprófsverkefni í umhverfisfræðum við Háskóla Íslands. 175 bls.

Fernandes, T.K., Miller, K.L. & Read, P.A. 2000. Monitoring and regulation of marine aquaculture in Europe. *Journal of Applied of Ichthyology*. 16: 138-143.

Read, P.A., Fernandes, T.F. & Miller, K.L. 2001. The derivation of scientific guidelines for best environmental practice for the monitoring and regulation of marine aquaculture in Europe. *Journal of Applied Ichthyology*. 17: 146-152.

Skipulagsstofnun 2003. *Drög að leiðbeiningum fyrir mat á umhverfisáhrifum fyrir fiskeldi í sjókvímum*. Júlí 2003. 5 s.

Umhverfisstofnun 2003a. Starfsleyfi fyrir fiskeldistöð Útgerðarfélag Akureyringa við Rauðuvík. Hægt er að nálgast starfsleyfið á Vefnum <http://www.ust.is/Mengunarvarnir/> (heimasíða heimsótt þann 02.05.2005). 8 bls.

Umhverfisstofnun 2003b. Gjaldskrá vegna eftirlits og vinnslu starfsleyfa á sviði mengunarvarna. Vefheimild: <http://www.ust.is/Umhverfisstofnun/Gjaldskrar/nr/95> (heimasíða heimsótt þann 10.07.2003).

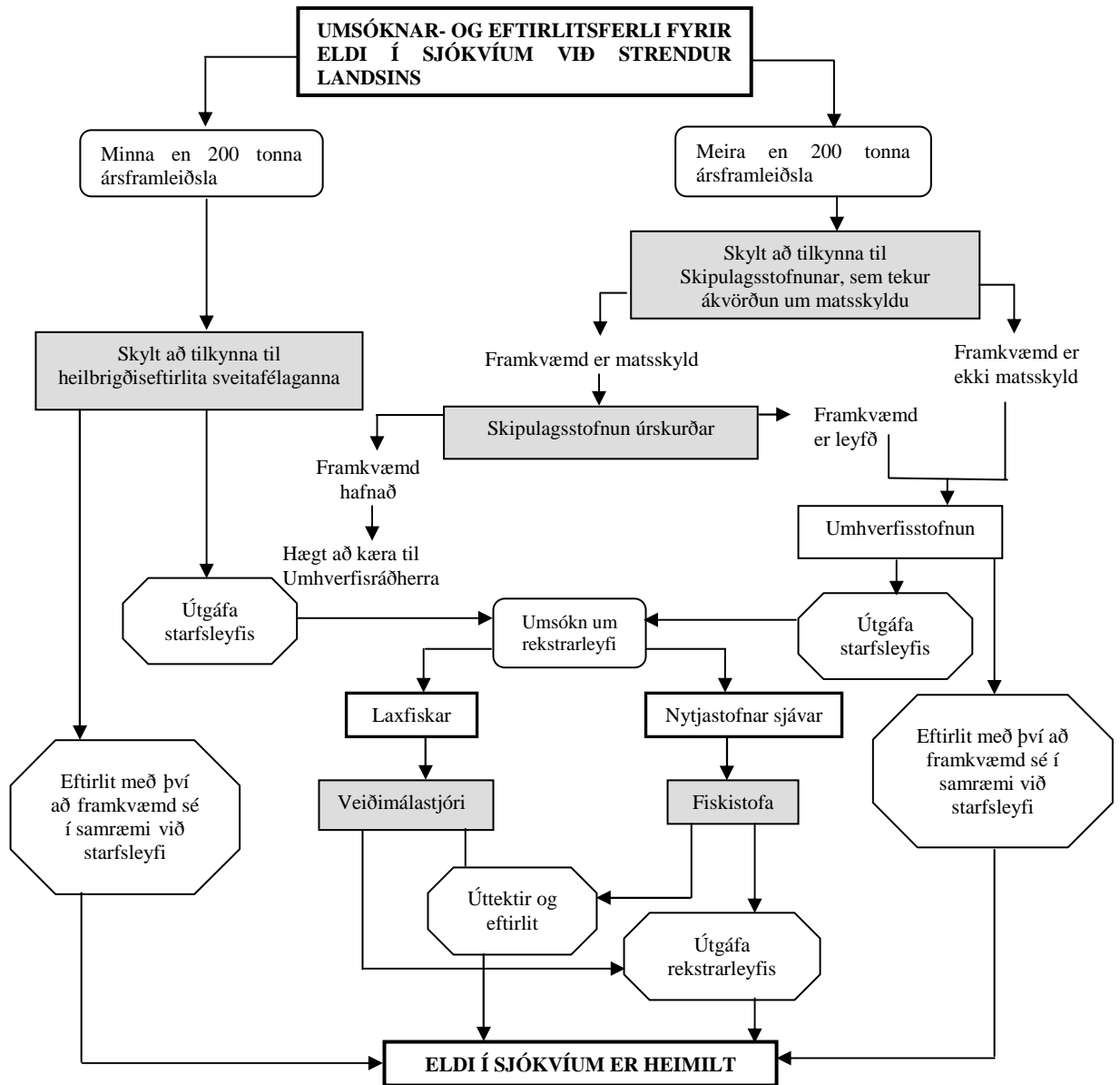
Lög og reglugerðir

Lög um hollustuhætti og mengunarvarnir (7/1998). <http://www.althingi.is/lagas/nuna/1998007.html>

Lög um mat á umhverfisáhrifum (106/2000). <http://www.althingi.is/lagas/nuna/2000106.html>

Reglugerð um flutning og sleppingar laxfiska og varnir gegn fisksjúkdómum og blöndun laxastofna (105/2000). <http://www.reglugerd.is/interpro/dkm/WebGuard.nsf/58b439f05a7f412f00256a07003476bc/f111608eab242edb00256a080030e7b6?OpenDocument>

Reglugerð um mat á umhverfisáhrifum (671/2000). <http://www.reglugerd.is/interpro/dkm/WebGuard.nsf/58b439f05a7f412f00256a07003476bc/c5b700a54cda02f700256a62004cf3f3?OpenDocument>



29.mynd. Umsóknar- og eftirlitsferli fyrir fiskeldi í sjókvíum við strendur landsins (myndrit unnið og bætt á grunni myndrits frá veiðimálastjóra, Árna Ísakssyni, 2001) (Anna Rósa Böðvarsdóttir 2004).

Figure 29. A flow diagram showing the supervision and licensing process for aquaculture in Iceland.

4. VIÐAUKI. UMHVERFISÞÆTTIR Í MAÍ-JÚNÍ 1952-2004

APPENDIX. ENVIRONMENTAL VARIABLES IN MAY-JUNE 1952-2004

Frávik hita og seltu frá meðaltali árána 1961-1980 (3,288°C og 34,727). Vegin meðaltöl frá 0-200 m dýpi á stöðvum 1-5 á Siglunesi (*). Taflan sýnir einnig meðalátumagn (þurrvigt, g m⁻²) í efstu 50 m á Siglunessniði. Aftasti dálkurinn sýnir reiknaða ferskvatnsþykkt (m) á 2. og 3. stöð á Látrabjargssniði, en hún er mælikvarði á styrk strandstraums fyrir Vesturlandi.

Temperature and salinity deviations from the 1961-1980 average (3,288°C and 34,727). Weighted mean from 0-200 m depth at the Siglunes section (). The table also shows the average zooplankton biomass (g dry weight m⁻²) in 0-50 m at the Siglunes section. The last column shows the calculated freshwater thickness (m) at the Látrabjarg section.*

Ár	Hitafrávik *	Seltufrávik *	Átumagn	Ferskvatn
1952	0,921	0,277		
1953	1,154	0,117		
1954	1,916	0,255		
1955	1,902	0,260		
1956	1,566	0,073		0,491
1957	1,424	0,224		
1958	0,256	0,098		0,237
1959	1,882	0,263		0,515
1960	2,050	0,320		
1961	1,698	0,345	10,2	0,738
1962	1,007	0,310	11,5	
1963	-0,081	0,079	3,3	
1964	1,916	0,245	6,9	0,880
1965	0,084	-0,237	1,5	0,254
1966	-0,195	0,145	0,7	
1967	-2,122	-0,173	0,5	0,235
1968	-0,730	-0,223	2,5	
1969	-1,558	-0,356	0,7	
1970	-0,992	-0,232	1,7	0,549
1971	-1,757	-0,133	4,4	0,875
1972	0,683	0,077	2,5	0,836
1973	1,124	0,134	1,8	1,501
1974	1,137	0,158	0,8	1,230
1975	-1,100	-0,129	1,6	0,365
1976	0,295	0,041	2,7	1,395
1977	-0,109	-0,123	5,1	0,632
1978	0,755	0,033	3,9	0,549
1979	-1,496	-0,236	3,1	0,177
1980	1,438	0,266	2,0	0,667
1981	-1,083	0,084	1,2	0,613
1982	-0,616	-0,101	0,7	0,393
1983	-1,280	-0,071	1,4	0,620
1984	-0,200	0,091	2,4	1,279
1985	1,075	0,234	2,9	1,131
1986	-0,045	0,184	1,0	0,914
1987	1,041	0,106	3,0	0,532
1988	-0,725	-0,135	0,9	0,647
1989	-0,470	0,125	0,8	0,858
1990	-1,049	-0,027	1,1	0,895
1991	0,144	0,214	3,4	0,735
1992	0,241	0,183	3,6	1,387
1993	0,215	0,188	6,5	1,778
1994	0,557	0,174	8,2	0,442
1995	-2,697	-0,111	4,6	0,477
1996	0,550	0,018	4,4	0,977
1997	-0,063	-0,018	4,2	0,507
1998	-0,306	-0,105	3,7	0,816
1999	0,700	0,238	4,8	0,549
2000	0,821	0,147	7,3	1,636
2001	0,048	0,187	4,6	0,637
2002	-1,255	0,001	1,2	0,295
2003	2,133	0,272	7,9	1,606
2004	0,839	0,211	1,5	0,963

* Jón Ólafsson 1999. *Rit Fiskideildar* 16: 41-57.

Hafrannsóknastofnun. Fjölrit *Marine Research Institute. Reports*

Pessi listi er einnig á Netinu
(This list is also on the Internet)

<http://www.hafro.is/Bokasafn/Timarit/fjolr.htm>

1. **Kjartan Thors, Þórdís Ólafsdóttir:** Skýrsla um leit að byggingarefnum í sjó við Austfirði sumarið 1975. Reykjavík 1975. 62 s. (Ófáanlegt - Out of print).
2. **Kjartan Thors:** Skýrsla um rannsóknir hafsbotsins í sunnanverðum Faxaflóa sumarið 1975. Reykjavík 1977. 24 s.
3. **Karl Gunnarsson, Konráð Þórisson:** Áhrif skolpmengunar á fjöruþörungum í nágrenni Reykjavíkur. Reykjavík 1977. 19 s. (Ófáanlegt - Out of print).
4. **Einar Jónsson:** Meingunarrannsóknir í Skerjafirði. Áhrif frárennslis á botndýralíf. Reykjavík 1976. 26 s. (Ófáanlegt - Out of print).
5. **Karl Gunnarsson, Konráð Þórisson:** Stórpari á Breiðafirði. Reykjavík 1979. 53 s.
6. **Karl Gunnarsson:** Rannsóknir á hrossapara (*Laminaria digitata*) á Breiðafirði. 1. Hrossapari við Fagurey. Reykjavík 1980. 17 s. (Ófáanlegt - Out of print).
7. **Einar Jónsson:** Líffræðiathuganir á beitusmökk haustið 1979. Áfangaskýrsla. Reykjavík 1980. 22 s. (Ófáanlegt - Out of print).
8. **Kjartan Thors:** Botngerð á nokkrum hrygningarstöðvum síldarinnar. Reykjavík 1981. 25 s. (Ófáanlegt - Out of print).
9. **Stefán S. Kristmannsson:** Hitastig, selta og vatns- og seltubúskapur í Hvalfirði 1947-1978. Reykjavík 1983. 27 s.
10. **Jón Ólafsson:** Þungmálmur í kræklingi við Suðvestur-land. Reykjavík 1983. 50 s.
11. Nytjastofnar sjávar og umhverfisþættir 1987. Aflahorfur 1988. *State of Marine Stocks and Environmental Conditions in Icelandic Waters 1987. Fishing Prospects 1988.* Reykjavík 1987. 68 s. (Ófáanlegt - Out of print).
12. Haf- og fiskirannsóknir 1988-1992. Reykjavík 1988. 17 s. (Ófáanlegt - Out of print).
13. **Ólafur K. Pálsson, Björn Æ. Steinarsson, Einar Jónsson, Gunnar Jónsson, Gunnar Stefánsson, Sigfús A. Schopka:** Stofnmæling botnfiska á Íslandsmiðum. Reykjavík 1988. 76 s. (Ófáanlegt - Out of print).
14. Nytjastofnar sjávar og umhverfisþættir 1988. Aflahorfur 1989. *State of Marine Stocks and Environmental Conditions in Icelandic Waters 1988. Fishing Prospects 1989.* Reykjavík 1988. 126 s.
15. Ástand humar- og rækjustofna 1988. Aflahorfur 1989. Reykjavík 1988. 16 s.
16. **Kjartan Thors, Jóhann Helgason:** Jarðlög við Vestmannaeyjar. Áfangaskýrsla um jarðlagagreiningu og könnun neðansjávareldvarpa með endurvarpsmælingum. Reykjavík 1988. 41 s.
17. **Stefán S. Kristmannsson:** Sjávarhitamælingar við strendur Íslands 1987-1988. Reykjavík 1989. 102 s.
18. **Stefán S. Kristmannsson, Svend-Aage Malmberg, Jóhannes Briem:** *Western Iceland Sea. Greenland Sea Project. CTD Data Report. Joint Danish-Icelandic Cruise R/V Bjarni Sæmundsson, September 1987.* Reykjavík 1989. 181 s.
19. Nytjastofnar sjávar og umhverfisþættir 1989. Aflahorfur 1990. *State of Marine Stocks and Environmental Conditions in Icelandic Waters 1989. Fishing Prospects 1990.* Reykjavík 1989. 128 s. (Ófáanlegt - Out of print).
20. **Sigfús A. Schopka, Björn Æ. Steinarsson, Einar Jónsson, Gunnar Jónsson, Gunnar Stefánsson, Ólafur K. Pálsson:** Stofnmæling botnfiska á Íslandsmiðum 1989. Rannsóknaskýrsla. Reykjavík 1989. 54 s.
21. Nytjastofnar sjávar og umhverfisþættir 1990. Aflahorfur 1991. *State of Marine Stocks and Environmental Conditions in Icelandic Waters 1990. Fishing prospects 1991.* Reykjavík 1990. 145 s.
22. **Gunnar Jónsson, Björn Æ. Steinarsson, Einar Jónsson, Gunnar Stefánsson, Ólafur K. Pálsson, Sigfús A. Schopka:** Stofnmæling botnfiska á Íslandsmiðum 1990. Reykjavík 1990. 53 s. (Ófáanlegt - Out of print).
23. **Stefán S. Kristmannsson, Svend-Aage Malmberg, Jóhannes Briem, Erik Buch:** *Western Iceland Sea - Greenland Sea Project - CTD Data Report. Joint Danish Icelandic Cruise R/V Bjarni Sæmundsson, September 1988.* Reykjavík 1991. 84 s. (Ófáanlegt - Out of print).
24. **Stefán S. Kristmannsson:** Sjávarhitamælingar við strendur Íslands 1989-1990. Reykjavík 1991. 105 s. (Ófáanlegt - Out of print).
25. Nytjastofnar sjávar og umhverfisþættir 1991. Aflahorfur fiskveiðiárið 1991/92. *State of Marine Stocks and Environmental Conditions in Icelandic Waters 1991. Prospects for the Quota Year 1991/92.* Reykjavík 1991. 153 s. (Ófáanlegt - Out of print).
26. **Páll Reynisson, Hjálmar Vilhjálmsson:** Mælingar á stærð loðnustofnsins 1978-1991. Aðferðir og niðurstöður. Reykjavík 1991. 108 s.
27. **Stefán S. Kristmannsson, Svend-Aage Malmberg, Jóhannes Briem, Erik Buch:** *Western Iceland Sea - Greenland Sea Project - CTD Data Report. Joint Danish Icelandic Cruise R/V Bjarni Sæmundsson, September 1989.* Reykjavík 1991. Reykjavík 1991. 93 s.

28. **Gunnar Stefánsson, Björn Æ. Steinarsson, Einar Jónsson, Gunnar Jónsson, Ólafur K. Pálsson, Sigfús A. Schopka:** Stofnmæling botnfiska á Íslandsmiðum 1991. Rannsóknaskýrsla. Reykjavík 1991. 60 s.
29. Nytjastofnar sjávar og umhverfisþættir 1992. Aflahorfur fiskveiðiárið 1992/93. *State of Marine Stocks and Environmental Conditions in Icelandic Waters 1992. Prospects for the Quota Year 1992/93.* Reykjavík 1992. 147 s. (Ófáanlegt - *Out of print*).
30. **Van Aken, Hendrik, Jóhannes Briem, Erik Buch, Stefán S. Kristmannsson, Svend-Aage Malmberg, Sven Ober:** *Western Iceland Sea. GSP Moored Current Meter Data Greenland - Jan Mayen and Denmark Strait September 1988 - September 1989.* Reykjavík 1992. 177 s.
31. **Björn Æ. Steinarsson, Einar Jónsson, Gunnar Jónsson, Gunnar Stefánsson, Ólafur K. Pálsson, Sigfús A. Schopka:** Stofnmæling botnfiska á Íslandsmiðum 1992. Reykjavík 1993. 71 s. (Ófáanlegt - *Out of print*).
32. **Guðrún Marteinsdóttir, Gunnar Jónsson, Ólafur V. Einarsson:** Útbreiðsla grálúðu við Vestur- og Norðvestur-land 1992. Reykjavík 1993. 42 s. (Ófáanlegt - *Out of print*).
33. **Ingvar Hallgrímsson:** Rækjuleit á djúpslóð við Ísland. Reykjavík 1993. 63 s.
34. Nytjastofnar sjávar 1992/93. Aflahorfur fiskveiðiárið 1993/94. *State of Marine Stocks in Icelandic Waters 1992/93. Prospects for the Quota Year 1993/94.* Reykjavík 1993. 140 s.
35. **Ólafur K. Pálsson, Björn Æ. Steinarsson, Einar Jónsson, Gunnar Jónsson, Gunnar Stefánsson, Sigfús A. Schopka:** Stofnmæling botnfiska á Íslandsmiðum 1993. Reykjavík 1994. 89 s.
36. **Jónbjörn Pálsson, Guðrún Marteinsdóttir, Gunnar Jónsson:** Könnun á útbreiðslu grálúðu fyrir Austfjörðum 1993. Reykjavík 1994. 37 s.
37. Nytjastofnar sjávar 1993/94. Aflahorfur fiskveiðiárið 1994/95. *State of Marine Stocks in Icelandic Waters 1993/94. Prospects for the Quota Year 1994/95.* Reykjavík 1994. 150 s.
38. **Stefán S. Kristmannsson, Svend-Aage Malmberg, Jóhannes Briem, Erik Buch:** *Western Iceland Sea - Greenland Sea Project - CTD Data Report. Joint Danish Icelandic Cruise R/V Bjarni Sæmundsson, September 1990.* Reykjavík 1994. 99 s.
39. **Stefán S. Kristmannsson, Svend-Aage Malmberg, Jóhannes Briem, Erik Buch:** *Western Iceland Sea - Greenland Sea Project - CTD Data Report. Joint Danish Icelandic Cruise R/V Bjarni Sæmundsson, September 1991.* Reykjavík 1994. 94 s.
40. Þættir úr vistfræði sjávar 1994. Reykjavík 1994. 50 s.
41. **John Mortensen, Jóhannes Briem, Erik Buch, Svend-Aage Malmberg:** *Western Iceland Sea - Greenland Sea Project - Moored Current Meter Data Greenland - Jan Mayen, Denmark Strait and Kolbeinsey Ridge September 1990 to September 1991.* Reykjavík 1995. 73 s.
42. **Einar Jónsson, Björn Æ. Steinarsson, Gunnar Jónsson, Gunnar Stefánsson, Ólafur K. Pálsson, Sigfús A. Schopka:** Stofnmæling botnfiska á Íslandsmiðum 1994. - Rannsóknaskýrsla. Reykjavík 1995. 107 s.
43. Nytjastofnar sjávar 1994/95. Aflahorfur fiskveiðiárið 1995/96. *State of Marine Stocks in Icelandic Waters 1994/95 - Prospects for the Quota Year 1995/96.* Reykjavík 1995. 163 s.
44. Þættir úr vistfræði sjávar 1995. *Environmental Conditions in Icelandic Waters 1995.* Reykjavík 1995. 34 s.
45. **Sigfús A. Schopka, Björn Æ. Steinarsson, Einar Jónsson, Gunnar Jónsson, Gunnar Stefánsson, Höskuldur Björnsson, Ólafur K. Pálsson:** Stofnmæling botnfiska á Íslandsmiðum 1995. Rannsóknaskýrsla. *Icelandic Groundfish Survey 1995. Survey Report.* Reykjavík 1996. 46 s.
46. Nytjastofnar sjávar 1995/96. Aflahorfur fiskveiðiárið 1996/97. *State of Marine Stocks in Icelandic Waters 1995/96. Prospects for the Quota Year 1996/97.* Reykjavík 1996. 175 s.
47. **Björn Æ. Steinarsson, Gunnar Jónsson, Hörður Andrésson, Jónbjörn Pálsson:** Könnun á flatfiski í Faxaflóa með dragnót sumarið 1995 - Rannsóknaskýrsla. *Flatfish Survey in Faxaflói with Danish Seine in Summer 1995 - Survey Report.* Reykjavík 1996. 38 s.
48. **Steingrímur Jónsson:** *Ecology of Eyjafjörður Project. Physical Parameters Measured in Eyjafjörður in the Period April 1992 - August 1993.* Reykjavík 1996. 144 s.
49. **Guðni Þorsteinsson:** Tilraunir með þorskgildirur við Ísland. Rannsóknaskýrsla. Reykjavík 1996. 28 s.
50. **Jón Ólafsson, Magnús Danielsen, Sólveig Ólafsdóttir, Þórarinn Arnarson:** Næringarefni í sjó undan Ánanaustum í nóvember 1995. Unnið fyrir Gatnamálastjórnann í Reykjavík. Reykjavík 1996. 50 s.
51. **Þórunn Þórðardóttir, Agnes Eydal:** *Phytoplankton at the Ocean Quahog Harvesting Areas Off the Southwest Coast of Iceland 1994.* Sviðþörungur á kúfiskmiðum út af norðvesturströnd Íslands 1994. Reykjavík 1996. 28 s.
52. **Gunnar Jónsson, Björn Æ. Steinarsson, Einar Jónsson, Gunnar Stefánsson, Höskuldur Björnsson, Ólafur K. Pálsson, Sigfús A. Schopka:** Stofnmæling botnfiska á Íslandsmiðum 1996. Rannsóknaskýrsla. *Icelandic Groundfish Survey 1996. Survey Report.* Reykjavík 1997. 46 s.
53. Þættir úr vistfræði sjávar 1996. *Environmental Conditions in Icelandic Waters 1996.* Reykjavík 1997. 29 s.
54. **Vilhjálmur Þorsteinsson, Ásta Guðmundsdóttir, Guðrún Marteinsdóttir, Guðni Þorsteinsson og Ólafur K. Pálsson:** Stofnmæling hrygningarporsks með þorsknetum 1996. *Gill-net Survey to Establish Indices of Abundance for the Spawning Stock of Icelandic Cod in 1996.* Reykjavík 1997. 22 s.
55. Hafrannsóknastofnunin: Rannsókn- og starfsáætlun árin 1997-2001. Reykjavík 1997. 59 s. (Ófáanlegt - *Out of print*).
56. Nytjastofnar sjávar 1996/97. Aflahorfur fiskveiðiárið 1997/98. *State of Marine Stocks in Icelandic Waters 1996/97. Prospects for the Quota Year 1997/98.* Reykjavík 1997. 167 s.
57. Fjölstofnarannsóknir 1992-1995. Reykjavík 1997. 410 s.
58. **Gunnar Stefánsson, Ólafur K. Pálsson (editors):** *BORMICON. A Boreal Migration and Consumption*

- Model*. Reykjavík 1997. 223 s. (Ófáanlegt - *Out of print*).
59. **Halldór Narfi Stefánsson, Hersir Sigurgeirsson, Höskuldur Björnsson: BORMICON. User's Manual.** Reykjavík 1997. 61 s. (Ófáanlegt - *Out of print*).
 60. **Halldór Narfi Stefánsson, Hersir Sigurgeirsson, Höskuldur Björnsson: BORMICON. Programmer's Manual.** Reykjavík 1997. 215 s. (Ófáanlegt - *Out of print*).
 61. **Þorsteinn Sigurðsson, Einar Hjörleifsson, Höskuldur Björnsson, Ólafur Karvel Pálsson:** Stofnmæling botnfiska á Íslandsmiðum haustið 1996. Reykjavík 1997. 34 s.
 62. **Guðrún Helgadóttir:** *Paleoclimate (0 to >14 ka) of W and NW Iceland: An Iceland/USA Contribution to P.A.L.E. Cruise Report B9-97, R/V Bjarni Sæmundsson RE 30, 17th-30th July 1997.* Reykjavík 1997. 29 s.
 63. **Halldóra Skarphéðinsdóttir, Karl Gunnarsson:** Lífríki sjávar í Breiðafirði: Yfirlit rannsókna. *A review of literature on marine biology in Breiðarfjörður.* Reykjavík 1997. 57 s.
 64. **Valdimar Ingi Gunnarsson og Anette Jarl Jørgensen:** Þorskransóknir við Ísland með tilliti til hafbeitar. Reykjavík 1998. 55 s.
 65. **Jakob Magnússon, Vilhelmina Vilhelmsdóttir, Klara B. Jakobsdóttir:** Djúpslóð á Reykjanesrygg: Könnunar-leiðangrar 1993 og 1997. *Deep Water Area of the Reykjanes Ridge: Research Surveys in 1993 and 1997.* Reykjavík 1998. 50 s.
 66. **Vilhjálmur Þorsteinsson, Ásta Guðmundsdóttir, Guðrún Marteinsdóttir:** Stofnmæling hrygningarþorsks með þorskanetum 1997. *Gill-net Survey of Spawning Cod in Icelandic Waters in 1997. Survey Report.* Reykjavík 1998. 19 s.
 67. Nytjastofnar sjávar 1997/98. Aflahorfur fiskveiðiárið 1998/99. *State of Marine Stocks in Icelandic Waters 1997/98. Prospects for the Quota year 1998/99.* Reykjavík 1998. 168 s.
 68. **Einar Jónsson, Hafsteinn Guðfinnsson:** Ýsurannsóknir á grunnslóð fyrir Suðurlandi 1989-1995. Reykjavík 1998. 75 s.
 69. **Jónbjörn Pálsson, Björn Æ. Steinarsson, Einar Hjörleifsson, Gunnar Jónsson, Hörður Andrésson, Kristján Kristinsson:** Könnun á flatfiski í Faxaflóa með dragnót sumrin 1996 og 1997 - Rannsóknaskýrsla. *Flatfish Survey in Faxaflói with Danish Seine in Summers 1996 and 1997 - Survey Report.* Reykjavík 1998. 38 s.
 70. **Kristinn Guðmundsson, Agnes Eydal:** Svifþörungur sem geta valdið skelfiskeitrun. Niðurstöður tegundagreininga og umhverfisathugana. *Phytoplankton, a Potential Risk for Shellfish Poisoning. Species Identification and Environmental Conditions.* Reykjavík 1998. 33 s.
 71. **Ásta Guðmundsdóttir, Vilhjálmur Þorsteinsson, Guðrún Marteinsdóttir:** Stofnmæling hrygningarþorsks með þorskanetum 1998. *Gill-net survey of spawning cod in Icelandic waters in 1998.* Reykjavík 1998. 19 s.
 72. Nytjastofnar sjávar 1998/1999. Aflahorfur fiskveiðiárið 1999/2000. *State of Marine Stocks in Icelandic Waters 1998/1999. Prospects for the*
 73. *Quota year 1999/2000.* Reykjavík 1999. 172 s. (Ófáanlegt - *Out of print*).
 74. Þættir úr vistfræði sjávar 1997 og 1998. *Environmental Conditions in Icelandic Waters 1997 and 1998.* Reykjavík 1999. 48 s.
 75. **Matthías Oddgeirsson, Agnar Steinarsson og Björn Björnsson:** Mat á arðsemi sandhverfueldis á Íslandi. Grindavík 2000. 21 s.
 76. Nytjastofnar sjávar 1999/2000. Aflahorfur fiskveiðiárið 2000/2001. *State of Marine Stocks in Icelandic Waters 1999/2000. Prospects for the Quota year 2000/2001.* Reykjavík 2000. 176 s.
 77. **Jakob Magnússon, Jútta V. Magnússon, Klara B. Jakobsdóttir:** Djúpfiskarannsóknir. Framlag Íslands til rannsóknaverkefnisins EC FAIR PROJECT CT 95-0655 1996-1999. *Deep-Sea Fishes. Icelandic Contributions to the Deep Water Research Project. EC FAIR PROJECT CT 95-0655 1996-1999.* Reykjavík 2000. 164 s. (Ófáanlegt - *Out of print*).
 78. Þættir úr vistfræði sjávar 1999. *Environmental Conditions in Icelandic Waters 1999.* Reykjavík 2000. 31 s.
 79. *ds² Development of Structurally Detailed Statistically Testable Models of Marine Populations. QLK5-CT1999-01609. Progress Report for 1 January to 31 December 2000.* Reykjavík 2001. 341 s. (Ófáanlegt. - *Out of print*).
 80. *Tagging Methods for Stock Assessment and Research in Fisheries.* Co-ordinator: Vilhjálmur Þorsteinsson. Reykjavík 2001. 179 s.
 81. Nytjastofnar sjávar 2000/2001. Aflahorfur fiskveiðiárið 2001/2002. *State of Marine Stocks in Icelandic Waters 2000/2001. Prospects for the Quota year 2001/2002.* Reykjavík 2001. 186 s.
 82. **Jón Ólafsson, Sólveig R. Ólafsdóttir:** Ástand sjávar á losunarsvæði skolps undan Ánanaustum í febrúar 2000. Reykjavík 2001. 49 s.
 83. **Hafsteinn G. Guðfinnsson, Karl Gunnarsson:** Sjór og sjávarnytjar í Héraðsflóa. Reykjavík 2001. 20 s.
 84. Þættir úr vistfræði sjávar 2000. *Environmental Conditions in Icelandic Waters 2000.* Reykjavík 2001. 37 s.
 85. **Guðrún G. Þórarinsdóttir, Hafsteinn G. Guðfinnsson, Karl Gunnarsson:** Sjávarnytjar í Hvalfirði. Reykjavík 2001. 14 s.
 86. Rannsóknir á straumum, umhverfisþáttum og lífríki sjávar í Reyðarfirði frá júlí til október 2000. *Current measurements, environmental factors and biology of Reyðarfjörður in the period late July to the beginning of October 2000.* Hafsteinn Guðfinnsson (verkefnisstjóri). Reykjavík 2001. 135 s.
 87. **Jón Ólafsson, Magnús Danielsen, Sólveig R. Ólafsdóttir, Jóhannes Briem:** Ferskvatnsáhrif í sjó við Norðausturland að vorlagi. Reykjavík 2002. 42 s.
 88. *ds² Development of Structurally Detailed Statistically Testable Models of Marine Populations. QLK5-CT1999-01609. Progress Report for 1 January to 31 December 2001* Reykjavík 2002. 300 s.
 89. Nytjastofnar sjávar 2001/2002. Aflahorfur fiskveiðiárið 2002/2003. *State of Marine Stocks in Icelandic Waters 2001/2002. Prospects for the Quota year 2002/2003.* Reykjavík 2002. 198 s.

89. **Kristinn Guðmundsson, Ástþór Gíslason, Jón Ólafsson, Konráð Þórisson, Rannveig Björnsdóttir, Sigmar A. Steingrímsson, Sólveig R. Ólafsdóttir, Öivind Kaasa:** *Ecology of Eyjafjörður project. Chemical and biological parameters measured in Eyjafjörður in the period April 1992-August 1993.* Reykjavík 2002. 129 s.
90. **Ólafur K. Pálsson, Guðmundur Karlsson, Ari Arason, Gísli R. Gíslason, Guðmundur Jóhannesson, Sigurjón Aðalsteinsson:** Mælingar á brottkasti þorsks og ýsu árið 2001. Reykjavík 2002. 17 s.
91. **Jenný Brynjarsdóttir:** *Statistical Analysis of Cod Catch Data from Icelandic Groundfish Surveys. M.Sc. Thesis.* Reykjavík 2002. xvi, 81 s.
92. Umhverfisaðstæður, svifþörungur og kræklingur í Mjóafirði. Ritstjóri: Karl Gunnarsson. Reykjavík 2003. 81 s.
93. **Guðrún Marteinsdóttir** (o.fl.): *METACOD: The role of sub-stock structure in the maintenance of cod metapopulations.* METACOD: Stofngerð þorsks, hlutverk undirstofna í viðkomu þorskstofna við Ísland og Skotland. Reykjavík 2003. vii, 110 s.
94. **Ólafur K. Pálsson, Guðmundur Karlsson, Ari Arason, Gísli R. Gíslason, Guðmundur Jóhannesson og Sigurjón Aðalsteinsson:** Mælingar á brottkasti botnfiska 2002. Reykjavík 2003. 29 s.
95. **Kristján Kristinsson:** Lúðan (*Hippoglossus hippoglossus*) við Ísland og hugmyndir um aðgerðir til verndunar hennar. Reykjavík 2003. 33 s.
96. Þættir úr vistfræði sjávar 2001 og 2002. *Environmental conditions in Icelandic water 2001 and 2002.* Reykjavík 2003. 37 s.
97. Nytjastofnar sjávar 2002/2003. Aflahorfur fiskveiðiárið 2003/2004. *State of Marine Stocks in Icelandic Waters 2002/2003. Prospects for the Quota year 2003/2004.* Reykjavík 2003. 186 s.
98. *ds² Development of Structurally Detailed Statistically Testable Models of Marine Populations. QLK5-CT1999-01609. Progress Report for 1 January to 31 December 2002.* Reykjavík 2003. 346 s.
99. **Agnes Eydal:** Áhrif næringarefna á tegundasamsetningu og fjölda svifþörungna í Hvalfirði. Reykjavík 2003. 44 s.
100. **Valdimar Ingi Gunnarsson** (o.fl.): Þorskeldiskvóti: Yfirlit yfir föngun og áframeldi þorsks á árinu 2002. Reykjavík 2004. 26 s.
101. Þættir úr vistfræði sjávar 2003. *Environmental conditions in Icelandic waters 2003.* Reykjavík 2004. 43 s.
102. Nytjastofnar sjávar 2003/2004. Aflahorfur fiskveiðiárið 2004/2005. *State of Marine Stocks in Icelandic Waters 2003/2004. Prospects for the Quota Year 2004/2005.* Reykjavík 2004. 175 s.
103. **Ólafur K. Pálsson** o.fl.: Mælingar á brottkasti 2003 og Meðafli í kolmunnaveiðum 2003. Reykjavík 2004. 37 s.
104. **Ásta Guðmundsdóttir, Þorsteinn Sigurðsson:** Veiðar og útbreiðsla íslensku sumargotssíldarinnar að haust- og vetrarlagi 1978-2003. Reykjavík 2004. 42 s.
105. **Einar Jónsson, Hafsteinn Guðfinnsson:** Ýsa á grunnslóð fyrir Suðurlandi 1994-1998. Reykjavík 2004. 44 s.
106. **Kristinn Guðmundsson, Þórunn Þórðardóttir, Gunnar Pétursson:** *Computation of daily primary production in Icelandic waters; a comparison of two different approaches.* Reykjavík 2004. 23 s.
107. **Kristinn Guðmundsson og Kristín J. Valsdóttir:** Frum-framleiðnimælingar á Hafrannsóknastofnuninni árin 1958-1999: Umfang, aðferðir og úrvinnsla. Reykjavík 2004. 56 s.
108. **John Mortensen:** *Satellite altimetry and circulation in the Denmark Strait and adjacent seas.* Reykjavík 2004. 84 s. **Svend-Aage Malmberg:** *The Iceland Basin. Topography and oceanographic features.* Reykjavík 2004. 41 s.
109. **Sigmar Arnar Steingrímsson, Sólmundur Tr. Einarsson:** Kóralsvæði á Íslandsmiðum: Mat á ástandi og tillaga um aðgerðir til verndar þeim. Reykjavík 2004. 39 s.
110. **Björn Björnsson, Valdimar Ingi Gunnarsson (ritstj.):** Þorskeldi á Íslandi. Reykjavík 2004. 182 s.
111. **Jónbjörn Pálsson, Kristján Kristinsson:** Flatfiskar í humarleiðangri 1995-2003. Reykjavík 2005. 90 s.
112. **Valdimar I. Gunnarsson o.fl.:** Þorskeldiskvóti: Yfirlit yfir föngun og áframeldi þorsks á árinu 2003. Reykjavík 2005. 58 s.
113. **Kristján Kristinsson, Björn Ævarr Steinsson og Sigfús Schopka:** Skyndilokanir á þorskveiðar í botnvörpu á Vestfjarðamiðum. Reykjavík 2005.
114. **Erlingur Hauksson** (ritstj.). Snikjuormar og fæða fiska, skarfa og sela. Reykjavík 2005. 47 s.
115. **Ólafur K. Pálsson** o.fl.: Mælingar á brottkasti 2004 og Meðafli í kolmunnaveiðum 2004. Reykjavík 2005. 37 s.
116. Þættir úr vistfræði sjávar 2004. *Environmental conditions in Icelandic waters 2004.* Reykjavík 2005. 46 s.