

Hafrannsóknastofnunin. Fjölrit nr. 130

Þættir úr vistfræði sjávar 2006

Environmental conditions in Icelandic waters 2006

Reykjavík 2007

Formáli / Foreword

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. Rannsóknir þessar hafa jafnan verið notaðar við umfjöllun um líklega þróun nytjastofna og eru því einn af þeim þáttum er mynda forsendur ráðgjafar stofnunarinnar um verndun og nýtingu fiskistofnanna. Allt frá árinu 1994 hefur verið gefin út ítarleg skýrsla um ástand sjávar og umhverfisþætti.

Skýrslan sem hér birtist fjallar um árið 2006, en einnig eru niðurstöðurnar settar í samhengi langtíma þróunar. Á tímum mikilla breytinga á hitaskilyrðum og sjógerð við strendur Íslands eru langtíma rannsóknir af þessu tagi afar mikilvægar. Jafnframt kemur nauðsyn þess að efla þessar rannsóknir vel í ljós við þessar aðstæður.

Í lokakafla ritsins er að finna safn stuttra greina um vistfræði sjávar eftir starfsmenn og samstarfsmenn stofnunarinnar. Vistkerfisnálgun við stjórn fiskveiða er aðferðafræði sem mjög er að ryðja sér til rúms um heim allan, þó enn sé hún í mótun. Í ritinu eru reifaðar hugmyndir um raunhæfa leið til að innleiða breytt vinnulag í fiskistofnaúttektum Hafrannsóknastofnunarinnar í anda hinnar nýju nálgunar. Þá er að finna fjölda fræðandi greina um afmörkuð vistfræðileg efni og kynningu á fyrstu niðurstöðum rannsóknaverkefna sem unnið er að á stofnuninni, m.a. stórátaki í rannsóknum á vistfræði Íslandshafs.

Stuttu greinarnar eru skrifaðar undir nafni höfunda, en að öðru leyti sá sérstakur starfshópur um útgáfu skýrslunnar. Starfshópurinn skipa Ástþór Gíslason, Héðinn Valdimarsson, Kristinn Guðmundsson og Sólveig Ólafsdóttir, sem jafnframt er ritstjóri þessarar útgáfu. Magnús Danielsen aðstoðaði við teikningar á myndum sem sýna hita- og seldreifingu og Ólafur S. Ástþórsson las yfir handritið. Er þeim öllum þökkuð 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 7. maí 2007

Jóhann Sigurjónsson

Efnisyfirlit / Contents

	bls. / page
Formáli	
<i>Foreword</i>	3
Efnisyfirlit	
<i>Content</i>	5
Ágrip	
<i>Icelandic summary</i>	7
Ágrip á ensku	
<i>English summary</i>	7
1. Ástand sjávar og svífsamfélög	
<i>Environmental conditions and plankton communities</i>	9
2. Langtímabreytingar	
<i>Long-term changes</i>	14
3. Stuttar greinar um vistfræði sjávar	
<i>Short notes on marine ecology</i>	19
Jóhann Sigurjónsson. Vistkerfisnálgun við stjórn fiskveiða: Breyttar áherslur í haf- og fiskirannsóknnum	
<i>Ecosystem-based fisheries mangement: New emphasis in oceanographic and fisheries research</i>	19
Ólafur Karvel Pálsson o.fl. Vistfræði Íslandshafs	
<i>The Iceland Sea ecosystem</i>	21
Vilhjálmur Þorsteinsson og Ólöf Rós Káradóttir. Sjávarfallatengt atferli þorsks.	
<i>Tidal influence in cod behaviour</i>	24
Björn Gunnarsson og Þór Heiðar Ásgeirsson. Útbreiðsla og aldur skarkolaseiða (<i>Pleuronectes platessa L.</i>) við strendur Íslands	
<i>Distribution and age of juvenile plaice (Pleuronectes platessa L) off the coasts of Iceland</i>	27
Hildur Pétursdóttir. Fæðuvistfræðileg tengsl algengra úthafstegunda á Reykjanes hrygg könnuð með fitusýrum og stöðugum samsætum	
<i>Trophic interactions of the pelagic ecosystem over the Reykjanes ridge as evaluated by fatty acid and stable isotope analyses</i>	30
Kristinn Guðmundsson. Árstímabundnar breytingar á gróðurmagni í yfirborði sjávar greindar frá gervitungli	
<i>Annual changes in chlorophyll concentrations at the sea surface according to satellite measurements</i>	33
Þórarinn Sv. Arnarson o.fl. Flæði koldíoxíðs milli sjávar og andrúmslofts á hafssvæðinu umhverfis Ísland	
<i>Sea - air flux of Carbon Dioxide in Icelandic waters.</i>	37
4. Viðauki (Umhverfispættir í maí-júní 1952-2006)	
<i>Appendix (Environmental variables in May-June 1952-2006)</i>	39

ÁGRIP

Icelandic summary

Viðamesti kafli þessarar skýrslu fjallar um niðurstöður rannsókna á vistfræði sjávar við Ísland árið 2006. Í honum er gerð grein fyrir ástandi sjávar, sjávarhita og seltu sem yfirleitt eru könnuð ársfjórðungslega. Sérstök áhersla er lögð á umhverfis- og vistfræðiathuganir að vorlagi, rannsóknir í svokölluðum vorleiðangri sem farinn er í seinni helmingi maímánaðar og stendur stundum fram í byrjun júní. Þá tekur við kafli um langtíma-breytingar í umhverfisþáttum og svifi, síðan nokkrar stuttar greinar um vistfræði sjávar og loks viðauki, tafla með tölugildum fyrir umhverfisþætti fyrir hvert ár, sem notuð hefur verið við ýmiss konar samanburð.

Almennt má segja að árið 2006 hafi hiti og selta í yfirborðslögum sjávar norðan og austan við landið verið um meðallag en hiti og selta sunnan við land héldust áfram vel yfir meðallagi. Styrkur næringarefna í vorleiðangri árið 2005 var lágur á grunnslóð fyrir Vesturlandi, norður um Vestfirði og inn á Norðurmið að Siglunesi, sem benti til að vorblómi væri þar afstaðinn. Úti fyrir Austurlandi hafði stór hluti næringarefnafordans verið nýttur og benti nýtingin á kísli til þess að kísilþörungar hafi staðið fyrir stórum hluta vorblómans. Átummagn var, þegar á heildina er litið, meira en í meðallagi og talsvert yfir meðallagi norðan og austan lands.

Stuttar greinar um vistfræði sjávar

Fyrsta greinin sem birt er undir nafni höfundar í þessu hefti fjallar um viskerfisnálgun við stjórn fiskveiða. Fjallað er um innleiðingu þess hugtaks í vinnu Hafrannsóknastofnunarinnar og hvaða áherslubreytingar gætu orðið í haf- og fiskirannsóknunum.

Önnur greinin skýrir frá nýju rannsóknaverkefni um vistkerfi Íslandshafs sem hefur það meginmarkmið að afla heildstæðs skilnings á byggingu vistkerfisins í Íslandshafi með það fyrir augum að skilgreina vistfræðilega stöðu loðnustofnsins. Þar er lýst frumniðurstöðum á ástandi sjávar, næringarefnum, plöntu- og dýrasvifi og loðnu úr leiðangri sem farinn var í júlí 2006.

Þriðja greinin fjallar um sjávarfallatengt atferli þorsks og lýsir niðurstöðum sem fengist hafa frá merkingum á þorski með rafeindamerkjum. Jafnframt er lýst hvernig á að nota niðurstöðurnar til að fá vitneskju um dvalarstað þorsks út frá slíkum merkjum með samkeyrslu við sjávarfallalíkan

Í fjórðu greininni er fjallað um dreifingu skarkolaungviðis við strendur Íslands en hingað til hefur verið talið að um einn hrygningarstofn sé að ræða. Greinin lýsir niðurstöðum frá árinu 2006 sem benda hins vegar til að við landið séu margir staðbundnir hrygningarstofnar og eru það mikilvægar nýjar upplýsingar um þennan nytjastofn.

Fimmta greinin fjallar um fæðuvistfræðileg tengsl algengra úthafstegunda yfir Reykjaneshrygg. Þar er lýst niðurstöðum úr mælingum á fitusýrum og stöðugum samsætum nokkurra tegunda sem hafa misjafna stöðu í fæðuvefnum og tengslum þeirra sem ákvörðuð eru með fjölþáttagreiningu.

Sjötta greinin fjallar um notkun gagna frá gervihnöttum til að meta framleiðni plöntusvifs í hafinu umhverfis Ísland. Hún lýsir notkunarmöguleikum slíkra gagna og þeim kvörðunum sem gera þarf til að fá raunsanna mynd út úr gervihnattagögnum.

Síðasta greinin fjallar um mælingar á koldíoxíði í yfirborði sjávar umhverfis Ísland árið 2006 og notkun þeirra til að meta flæði kolefnis milli lofts og sjávar.

ENGLISH SUMMARY

The first section of this report describes environmental monitoring in the waters around Iceland during the year 2006. 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 at the Marine Research Institute.

Temperature and salinity during the year 2006 were above the long term average in the waters south and west of Iceland, in the waters north of the country temperature and salinity were close to the long term average. Judged by the decline in nutrients there had clearly been some growth of phytoplankton in May 2006 on the Icelandic shelf. The spring bloom in the Atlantic water to the east of Iceland and the adjacent Norwegian Sea, had culminated at the time of the investigation. The biomass of zooplankton was in general above the long-term average in spring 2006 and well above it north and east of Iceland.

Short notes on marine ecology

The first short note in this report discusses ecosystem based fishery management and its implementation in work carried out at the Marine Research Institute. New emphasis in oceanographic and fisheries research might result from this approach.

The second note is on a new project at MRI on the Iceland Sea Ecosystem. The main objective is to evaluate the ecological position of the capelin stock. First results for hydrography, nutrients, phytoplankton, zooplankton and capelin from a survey in July 2006 are described.

The third note describes tidal behaviour of cod as evaluated by tagging with data storage tags. Further use of tagging data along with a tidal model to find indirect location of tagged fish is described.

The fourth note is about juvenile plaice distribution off the coasts of Iceland. It describes new data from 2006 which indicates that spawning takes place in several spawning units.

The fifth note describes trophic interactions of the pelagic ecosystem over the Reykjanes Ridge. Data from fatty acids and stable isotopes are used in PCA to evaluate position of several species in the marine food web.

The sixth note is on the use of satellite data to estimate phytoplankton productivity in Icelandic waters. The need for calibration of the data is discussed and results from calibrations are presented.

The last note presents the results from surface carbon dioxide measurements in Icelandic waters in 2006 and its use in estimating the sea-air flux of carbon.

1. Ástand sjávar og svífsamfélög

Environmental conditions and plankton communities

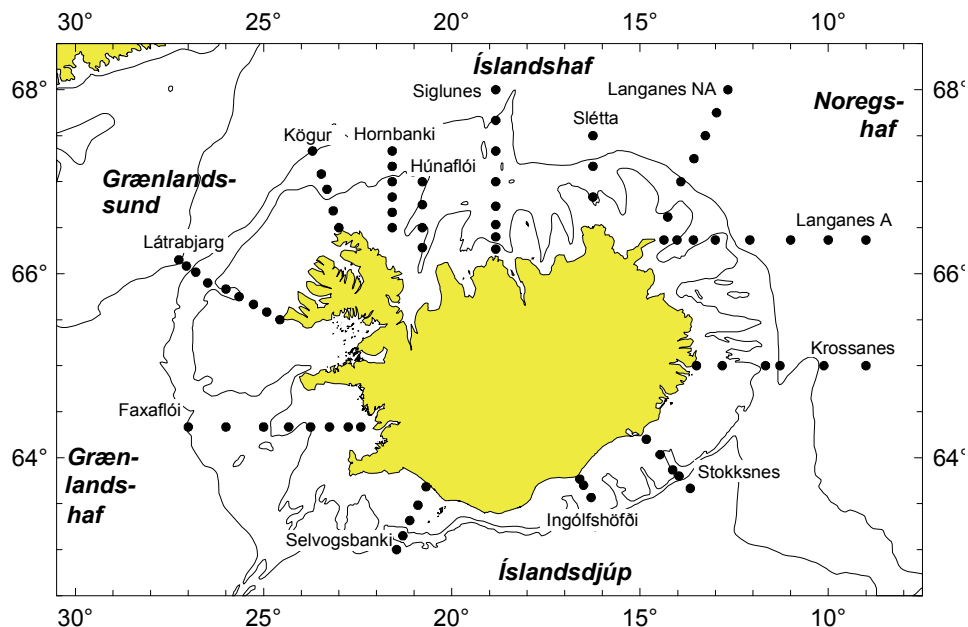
Inngangur / Introduction

Flókið samspil margra umhverfisþátta hefur margvísleg áhrif á fæðuvefinn í sjónum og þar með á vöxt og viðgang nytjastofna við landið. Á hverju ári fylgist Hafrannsóknastofnunin því með helstu umhverfisþáttum og svífsamfélögum á Íslandsmiðum og er í þessu hefti gerð grein fyrir niðurstöðum athugana sem gerðar voru á árinu 2006.

Á tímabilinu frá febrúar 2006 til nóvember 2006 voru hiti og selta mæld í hafinu umhverfis Ísland á fjórum árstíðum. Mælt var á staðalsniðum (1. mynd), í febrúar, í maí, í ágúst á þremur sniðum og síðan í nóvember.

hækkandi eftir 1996 og var á árinu 2003 mesta útbreiðsla hlýsjávar umhverfis landið sem mælt hafði í 30 ár (2. mynd). Á árinu 2004 voru gildin litlu lægri. Árið 2005 voru hiti og selta í hlýja sjónum vestan við land áfram vel yfir meðallagi en hiti hafði heldur lækkað frá árunum 2003 og 2004. Útbreiðsla hlýsjávar fyrir norðan land minnkaði síðan heldur árin 2005 og 2006 er hafis og ferskvatn úr Austur-Grænlandsstraumi barst inn á Norðurmið í mismiklum mæli. Selta í Austur-Íslandsstraumi reyndist þó yfir meðallagi að vori 2006.

Í vetrarleiðangi í febrúar 2006 var hlýsjórinn fyrir sunnan og vestan land áfram hlýr og seltu-



1. mynd. Staðalsnið með stöðvum þar sem fram fara reglubundnar mælingar og sýnatökur til sjó- og svífrannsóknna 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.

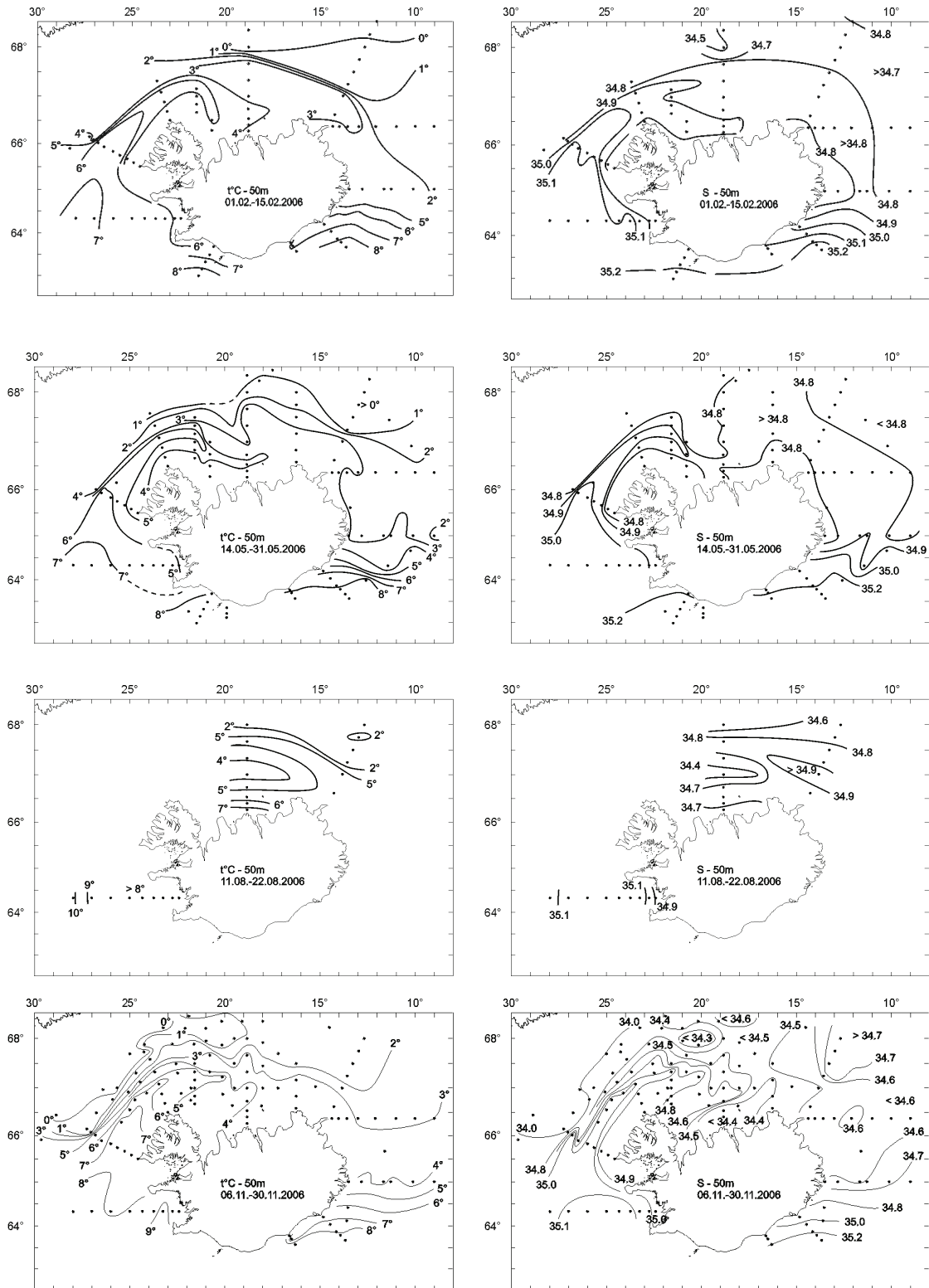
Hiti og selta / Temperature and salinity

Yfirborðslög / Surface layers

Á árinu 2006 var sjór fyrir sunnan og vestan land áfram hlýrri og saltari en í meðallagi þess tíma sem mælingar hafa staðið. Fyrir norðan land voru hiti og selta sjávar lægri einkum að hausti en verið hefur undanfarin ár, en í febrúar 2007 hafði hvort tveggja hækkad á ný. Hlýsjórinn, eða Atlantssjórinn að sunnan, var áfram yfir meðallagi heit og saltur miðað við meðaltal árána 1970 til 2005. Hiti og selta í hlýsjónum sunnan og vestan við landið fóru

ríkur líkt og árin á undan. Atlantssjavar gætti norður fyrir Vestfirði og inn á Norðurmið. Á Norðurmiðum voru hiti og selta yfir meðallagi ($\sim 1-4^{\circ}\text{C}$, $> 34,8$) og ívið hærri en 2005. Hiti og selta í Austur-Íslandsstraumi voru heldur yfir meðaltali ($0-2^{\circ}\text{C}$, $> 34,7$).

Í vorleiðangi (maí-júní) var Atlantssjórinn að sunnan yfir meðallagi bæði hita og seltu (hiti $6-9^{\circ}\text{C}$ og selta $35,0-35,2$). Selta suður af landinu var áfram há. Áhrifa hlýsjávarins gætti vel inn á Norðurmið. Hiti í yfirborðslögum var lægri en árið 2005 en seltan heldur hærri. Hiti og selta úti



2. mynd. Vinstri dálkur sýnir sjávarhita ($^{\circ}\text{C}$) og hægri dálkur seltu á 50 m dýpi í hafinu umhverfis Ísland, í febrúar, maí, júlí - ágúst og nóvember árið 2006.

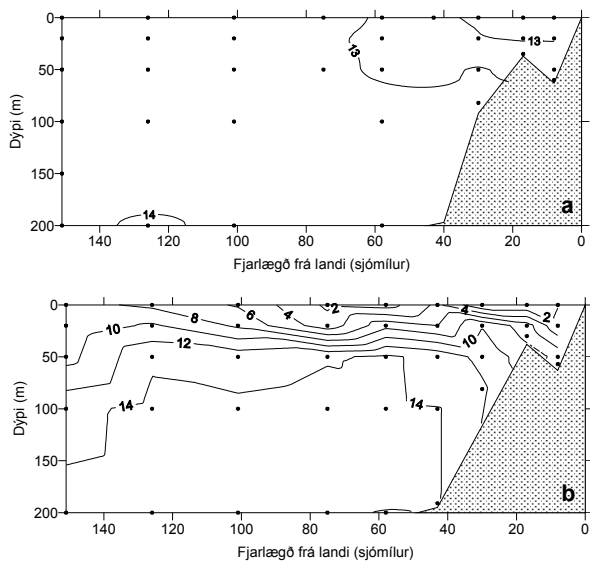
Figure 2. Sea temperature ($^{\circ}\text{C}$, left) and salinity (right) at 50 m depth in Icelandic waters, for February, May, July - August and November 2006.

fyrir norðanverðu landinu voru yfir meðaltali en hvort tveggja hafði lækkað nokkuð bæði 2005 og 2006 frá því sem var vorið 2004 (3-5°C og 34,8-34,9). Í Austur-Íslandsstraumi mældust hiti og selta yfir meðallagi (1-2°C, ~34,8).

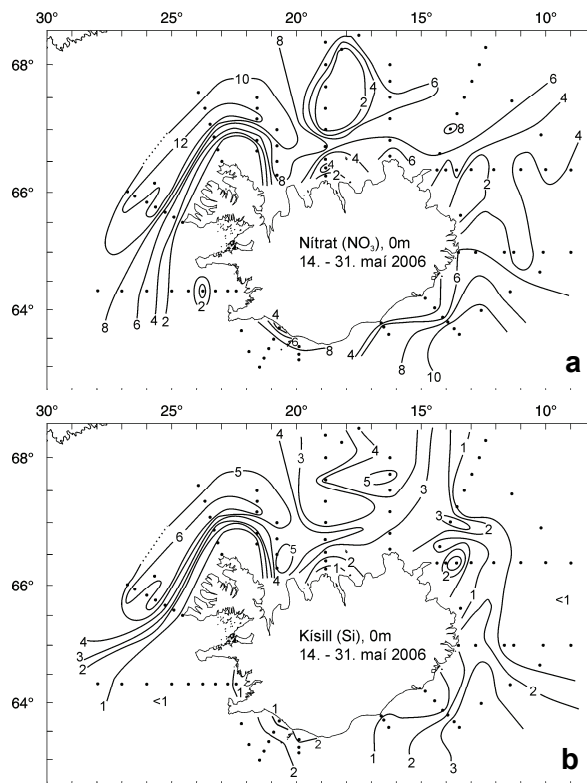
Í ágúst var mælt á Faxaflóasniði vestan við landið og á Siglunes- og Langanes NA sniðum fyrir norðan- og norðaustan land. Áfram voru hiti og selta fyrir vestan land yfir langtímameðallagi. Hiti og selta úti fyrir Norðurlandi voru lægri en sumrin á undan og áhrif hafíss greinileg. Hiti og selta á Siglunesniði voru lág ($t < 4^{\circ}\text{C}$ og $S < 34,4$ á 50 m). Úti fyrir Norðausturlandi í Austur-Íslandsstraumi voru hiti- og selta hins vegar yfir meðallagi.

Í sjórannsókna- og loðnuleiðangri í nóvember var tiltölulega hlýtt og salt sunnan og vestan við land. Selta var þó lægri en á sama árstíma 2005, en bæði hiti og selta voru yfir meðallagi. Fyrir Norðurlandi voru hiti og selta yfirborðslaga áberandi lægri en árin á undan, sem má tengja því að hafís hafði verið norður af landinu fram eftir sumri. Hiti og selta yfirborðslaga úti fyrir Norðvestur- og Norðurlandi höfðu ekki mælst á móta lág á þessum árstíma síðan 1998 og var hvort tveggja um eða undir meðallagi úti fyrir Norðurlandi, Norð-Austurlandi og á Austfjarðamiðum. Seltan í Austur-Íslandsstraumi var um 34,6 og hiti var áfram um meðallag.

Almennt má segja að árið 2006 hafi hiti og selta í yfirborðslögum sjávar norðan og austan



3. mynd. Lóðrétt dreifing nitrats ($\mu\text{mol l}^{-1}$) á Faxaflóasniði a) 1. – 2. febrúar 2006 og b) 14. maí 2006.
 Figure 3. Vertical profiles of nitrate ($\mu\text{mol l}^{-1}$) on the Faxaflói section a) 1. – 2. February 2006 and b) 14. May 2006.



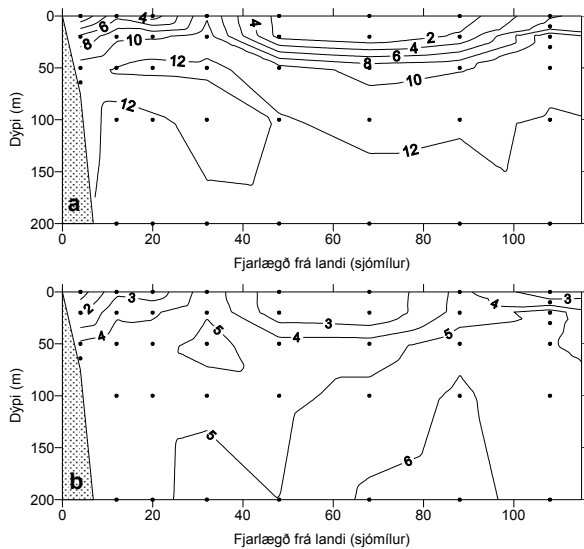
4. mynd. Styrkur næringarefna við yfirborð í hafinu umhverfis Ísland 14.–31. maí 2006, a) níturat (NO_3 , $\mu\text{mol l}^{-1}$) og b) kísill (Si , $\mu\text{mol l}^{-1}$).
 Figure 4. Nutrient concentrations at the surface in Icelandic waters 14.–31. May 2006 a) nitrate (NO_3 , $\mu\text{mol l}^{-1}$) and b) silicate (Si , $\mu\text{mol l}^{-1}$).

við landið verið um meðallag en hiti og selta sunnan við land héldust áfram vel yfir meðallagi.

Næringarsölt / Nutrients

Styrkur næringarefna í yfirborðslögum sjávar var kannaður í maí á hafsvæðinu umhverfis Ísland og einnig var gerð mæling á Faxaflóasniði (1. mynd) í febrúar. Styrkur næringarefna í yfirborðslögum sjávar breytist reglulega með árstíma. Árlegt hámark er síðla vetrar, en styrkur uppleystra næringarefna lækkar að vori þegar svifþörungur fara að vaxa. Styrkur nitrats í efstu 200 metrunum á Faxaflóa í febrúar 2006 er sýndur á 3. mynd a. Níturatstyrkur var lægri nær landi heldur en á ystu stöðvunum en lægstu gildin við yfirborð voru á sniðinu miðju eða $12,7 \mu\text{mol l}^{-1}$ á stöð 5 (58 sjómíllur frá landi). Á stöðvum 1 – 3 var styrkur nitrats $13,0 \mu\text{mol l}^{-1}$ við yfirborð en var $13,6 \mu\text{mol l}^{-1}$ í yfirborðslaginu á ystu stöðvunum tveimur. Á 3. mynd b er sýndur níturatstyrkur á sömu stöðvum í maí. Lækkun hafði orðið á níturatstyrk allt niður á 50 metra dýpi á sniðinu öllu.

Dreifing nitrats og kísils við yfirborð á



5. mynd. Lóðrétt dreifing a) nitrats ($\mu\text{mol l}^{-1}$) og b) kísils ($\mu\text{mol l}^{-1}$) á Siglunessniði 17. – 18. maí 2006.

Figure 5. Vertical profiles of a) nitrate ($\mu\text{mol l}^{-1}$) and b) silicate ($\mu\text{mol l}^{-1}$) on the Siglunes section 17. – 18. May 2006.

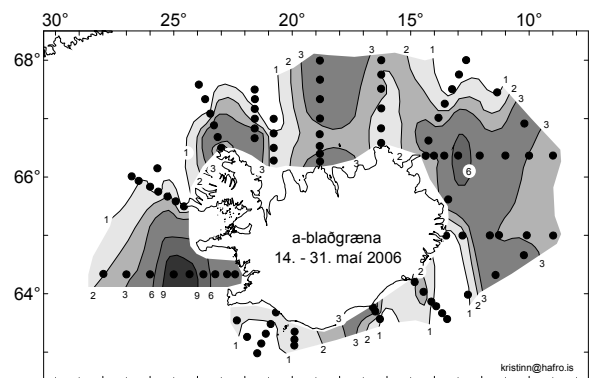
svæðinu dagana 14. – 31. maí 2006, sést á 4. mynd. Í Faxaflóa og allt út fyrir landgrunnsbrún hafði styrkur næringarefna lækkað mjög frá mældum styrk um veturinn. Innarlega í Flóanum var vorblómi svifþörungna líklega afstaðinn, en utar voru enn til staðar næringarefni til að standa undir frekar frumframleiðni.

Styrkur næringarefna við yfirborð úti fyrir Vestfjörðum var lægstur á grunnsævi næst landi, en djúpt úti fyrir mældust enn vetrargildi næringarefna. Styrkur nitrats var að mestu uppurinn á svæði djúpt út af Siglunesi (5. mynd), en annars var talsvert eftir af nitrati við yfirborð á öllu athugunarsvæðinu umhverfis landið. Úti fyrir Austurlandi hafði hluti nitrátforðans verið tekinn upp af svifþörungum og þar var styrkur kísils mjög lítill. Lítill styrkur kísils úti fyrir öllu Austurlandi og undan strönd Suðurlands bendir til þess að kísilþörungar hafi staðið fyrir stórum hluta vorblómans á öllu þessu svæði. Dreifing nitrats og kísils með dýpi á Siglunessniði í maí er sýnd á 6. mynd. Upptaka hafði orðið af báðum þessum næringarefnum allt niður á 50 metra dýpi.

Svifþörungar / Phytoplankton

Niðurstöður mælinga á a-blaðgrænu í vorleiðangri (6. mynd) hafa um langt árabil verið hafðar til viðmiðunar um útbreiðslu gróðurs í sjónum umhverfis Ísland. Á 6. mynd er dreifing blaðgrænumagns í yfirborðssjó sýnt eins og það var um þá mund sem siglt var um svæðið í vorleiðangri. Með því að skoða saman niðurstöður mælinga á a-blaðgrænu og styrk næringarefna (4. mynd) má túlka og útvíkka þá mynd nokkuð.

Þannig sést að vöxtur góðursins sem mældist í Faxaflóa hefur haft talsverðan aðdraganda, næringarefni eru upp urin og komið að því að gróðurmagnið dvíni nema ný næringarefni berist í kjölfar lóðréttra eða láréttra strauma. Það að bæði nitrát og kísill voru nýtt til fulls á svæðinu segir til um að verulegur hluti blómans var kísilþörungar, eins og algengt er á þessum slóðum. Djúpt undan Faxaflóa og norðvestur af landinu var gróður lítill og vöxtur vart hafinn svo nokkru nemi. Undan Norðurlandi var hins umtalsvert magn gróðurs og talsvert farið að ganga á nitrát forðann, en minna á kísilforðann og því líklegt að þar hafi vaxið eitthvað annað en kísilþörungar og þá væntanlega helst tegundin *Phaeocystis pouchetii*. Norðaustur af landinu var vorgróður að taka við sér, en suður með Austurlandi og grunnt með fram suðurströndinni var hámarkið greinilega liðið hjá. Utar var fremur lítill gróður, en talsvert af næringarefnum, sem vafalítið nýttust síðar, er á leið gróðurtímabilið.



6. mynd. Magn a-blaðgrænu (mg m^{-3}) á 10 metra dýpi í hafinu umhverfis Ísland, síðla maí.

Figure 6. Distribution of chlorophyll a (mg m^{-3}) around Iceland, at 10 meter depth, during late May

Dýrasvif / Zooplankton

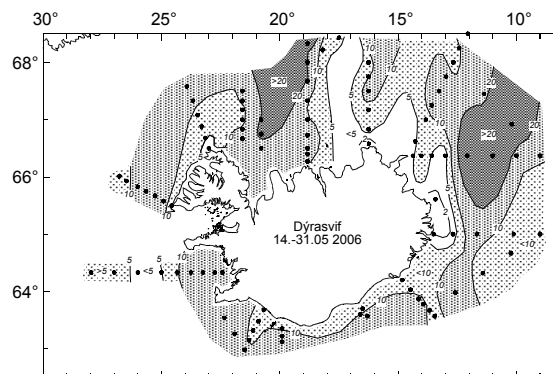
Magn og dreifing átu að vor- og sumarlagi

Dýrasvif, eða áta eins og sjómenn oftast kalla það, gegnir mikilvægu hlutverki í vistfræði sjávar vegna þess að um það flyst frumframleiðsla svifþörunganna til efri fæðuþrepa og þar með talið fiskistofnanna. Athuganir á magni og útbreiðslu átu við landið eru mikilvægar til að auka skilning okkar á tengslum umhverfis, plöntu- og dýrasvifs og fiskistofna. Til að fylgjast með magni átu er henni safnað með finriðnum háfum, sem dregnir eru frá 50 m dýpi og upp að yfirborði, á fjölmörgum rannsóknastöðvum allt í kringum landið. Í rannsóknastofu er lífmassi sýnanna mældur og samsetning

átunnar metin í stórum dráttum. Ýtarlegri úrvinnsla fer svo fram þegar komið er í land.

Magn og útbreiðsla átu var kannað í vorleiðangri (14.-31. maí) og í leiðangri sem farinn var í tengslum við sameiginlegar síldarrannsóknir Íslendinga, Norðmanna, Færeyinga, Rússa og Evrópusambandsins í Noregshafi (10. maí - 30. maí). Á 7. mynd eru sýndar niðurstöður um útbreiðslu lífmassa átu úr vorleiðangri. Á grunnmiðum við landið var mest af átu í Faxaflóa og svo og fyrir vestanverðu Norðurlandi. Grunnt út af Norðaustur- og Austurlandi var lítið af átu, en á landgrunninu fyrir sunnan fannst talsvert af átu. Þá fannst mikið af átu, einkum rauðátu, á djúpmiðum suður af landinu. Djúpt norður og norðaustur af landinu var að venju mikið af átu, einkum pólátu. Átumagn var yfir langtímameðaltali á öllu rannsóknasvæðinu, einkum fyrir vestan og norðan landið þar sem átumagn var hér um bil tvöfalt meira en í meðalári.

Séu niðurstöður um átu bornar saman við vorið 2005 kemur í ljós að á Suður- og Vesturmiðum var átumagn meira en þá, en heldur minna á Norður og Austurmiðum.



7. mynd. Útbreiðsla dýrasvífs í yfirborðslögum (g þurrvigt m^{-2} , 0-50 m) í hafinu við Ísland 14. - 31. maí. Á skyggðum svæðum er þurrvigt átu meiri en $5 g m^{-2}$, 0-50 m.

Figure 7. Zooplankton distribution (g dry weight m^{-2} 0-50 m) in the sea around Iceland during 14. - 31. May. Shaded areas: more than $5 g m^{-2}$, 0-50 m.

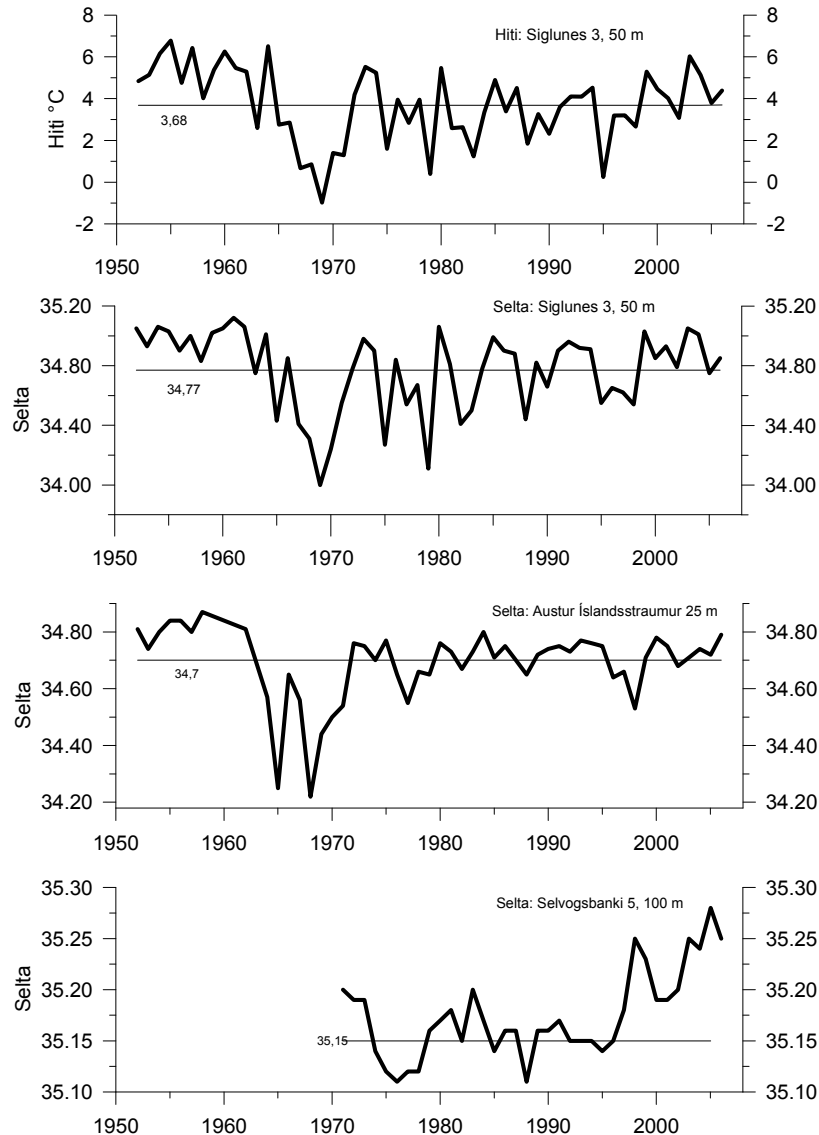
2. Langtímabreytingar

Long term changes

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

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



8. 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, nema þar sem annað er tilgreint. Á Selvogsbanka er gildið 35,15 notað til að greina að hlý og köld ár. Línurnar fyrir A-Íslandsstraum má einnig nota til viðmiðunar um hlý og köld ár, en þau gildi eru í raun mörkin þar sem ísmyndun verður möguleg, þ.e. ef selta er minni en 34,7. 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 8. 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 on the Selvogsbanki section. The horizontal lines indicate the means for the appropriate intervals, except when otherwise is stated. The values are, however, close to the means. At Selvogsbanki the value 35,15 can be used to differentiate between warm and cold years. The value shown for the East-Icelandic 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). 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).

þar eins og annars staðar og skiptast á tímabil með seltu hærrí en 35,15 og lægri en 35,15 (8. mynd). Seltan þar var tiltölulega lág á árunum 1974-1978, 1985-1988 og svo aftur 1992-1995. Lægri 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 hærrí 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. Árið 2004 hélst selta áfram há og vorið 2005 mældist hæsta selta síðustu þrjátíu árin. Reyndar lækkaði hún nokkuð þegar leið á árið. Seltan og hitinn voru þó áfram há fyrir sunnan landið árið 2006.

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 North Shelf*

Hitastig og selta hafa verið mæld árlega að vorlagi út af Siglunesi í yfir hálföld (8. mynd). Eftir hlýindaskeið 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 8. 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 pólsjárvar og svalsjárvar eftir ríkjandi sjógerðum og lagskiptingu í sjónum. Þannig flokkast árin 1981-83, 1989, 1990 og 1995 til svalsjárvarára 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 (< 34,7), í samræmi við seltu í Austur-Íslandsstraumi 1996-98 og lægri en mælst hafði síðan á hafísárinu 1988. Árið 1999 var sjórinn

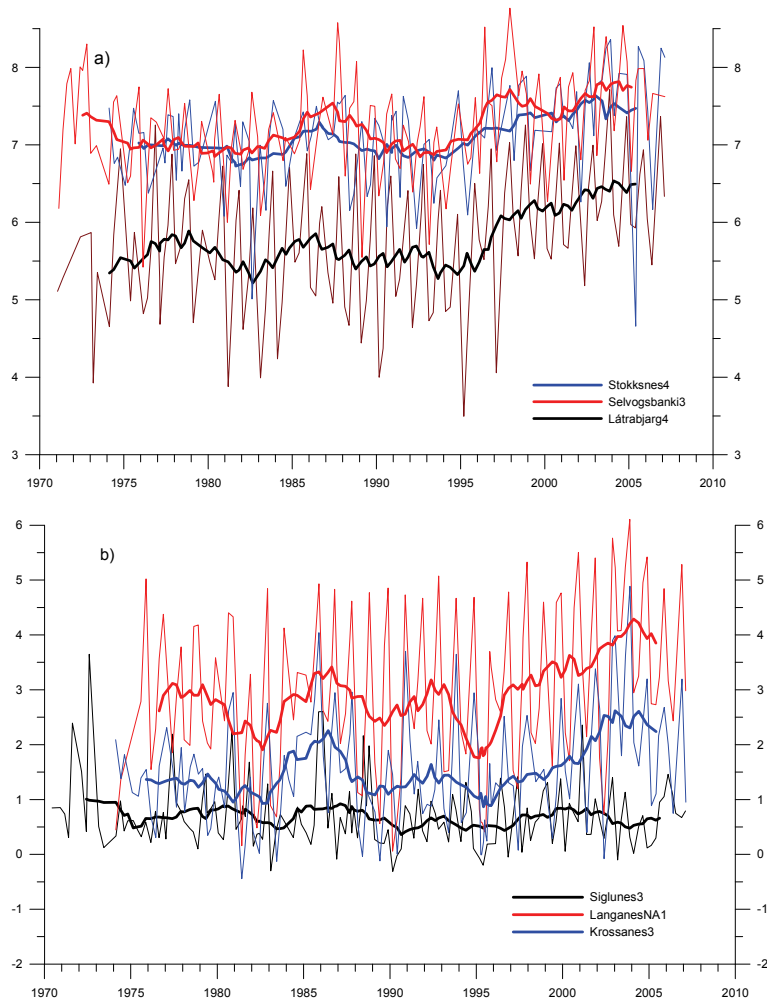
fyrir norðan kominn vel yfir meðalag bæði hvað varðar hita og seltu. Síðan dró lítillega úr áhrifum hlýsjávar undan Norðurlandi næstu ár og voru þau í meðallagi samkvæmt mælingum árið 2002. Bæði hiti og selta, yfir landgrunninu, voru svo almennt yfir meðallagi árið 2003, einkum var útbreiðsla hlýsjávar mikil. Útbreiðslan minnkaði árið 2004 með heldur lægri hita og seltu, en gildin voru samt vel yfir meðallagi. Vorið 2005 voru hiti og selta efri laga sjávar svo um meðallag en hækkuðu svo aftur 2006. Seltan í Austur-Íslandsstraumi náði hámarki 1999, lækkaði síðan niður fyrir meðallag vorið 2002 en hefur farið hækkanði aftur 2006.

Botnhiti / *Bottom temperature*

Hiti sjávar við botn á Íslandsmiðum endurspeglar hitadreifingu í efri lögum sjávar. Botnhitinn er að jafnaði lægri fyrir norðan og austan landið fyrir áhrif kaldsjávar úr norðri en hærrí fyrir sunnan og vestan land vegna áhrifa hlýsjávar úr suðri. Á 9. mynd má sjá tímaraðir meðalhita úr vatnsúlunni nærri botni á nokkrum stöðvum umhverfis landið allt frá árinu 1971. Myndin sýnir bæði langtíma hitafar og ársveiflu botnhitans. Meðaltal er tekið af hitamælingum í vatnssúlunni 50 til 100 m yfir botni, lengri súlu ef dýpið er meira.

Botnhiti á landgrunninu er 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 landgrunnsliðunum sunnan og vestan lands fer botnhiti einnig lækkanði með vaxandi dýpi, en þó fer hann ekki mikið niður fyrir 4°C.

Dýpi mælistöðva á 9. mynd er mismunandi og ársveiflan (grennri línan) því mismikil. Þykka línan sýnir hlaupandi meðaltal og þannig breytingar á hitafari við botn. Stöð 4 á Stokksnessniði (Stokksnes 4) er við landgrunnsbrún nærri hitaskilum suðaustanlands sem skýrir skammtímabreytingar í botnhita líkt og áttu sér stað 2005 er kaldur sjór barst til austur eftir landgrunninu. Stöðvarnar sunnanlands sýna að hiti hefur verið hár síðustu tíu árin eða svo og hlýrri sjór jafnvel meira áberandi vestanlands og var lítið lát á hlýindum



9. mynd. Botnhiti á völdum stöðvum umhverfis landið (sjá 1. mynd). Tekið er meðaltal af 50-100 m vatnssúlu yfir botni og þannig fengin tímaröð af nánast ársfjórðungslegum mælingum (þunn lína). Einnig er sýnt (þykk lína) fyrir keðjumeðaltal 13 gilda sem nálgast þriggja ára hlaupandi meðaltal. Gildi frá árunum fyrir 1990 eru meðaltal línulega brúaðra óreglulegra punktmælinga (sjótaka). Gildi frá árunum eftir 1990 eru meðaltal samfelldra mælinga eftir dýpi (síríta).

a) Botnhiti á stöðvum sunnan og vestan við landið. Stokksnes4 þar sem botndýpi er um 540 m, Selvogsbanka3 þar sem botndýpi er um 150 m og Látrabjarg4 þar sem botndýpi er um 180 m.

b) Botnhiti á stöðvum norðan og austan við land. Siglunes3 þar sem botndýpi er um 470 m, Langanes NA1 þar sem botndýpi er um 190 m og Krossanes3 þar sem botndýpi er um 210 m.

Figure 9. Timeseries of near-bottom temperature at selected stations on the Icelandic shelf (see figure 1). Mean for 50-100m depth interval above bottom (thin line) and approximately 3 years running mean (thick line). Values from before 1990 are from interpolated water-sampler data. Values from after 1990 are from CTD measurements.

a) Near-bottom temperature at stations south and west of Iceland. Stokksnes 4 with bottom depth about 540m, Selvogsbanki 3, with bottom depth about 150m and Látrabjarg 4 with bottom depth about 180m.

b) Near-bottom temperature at stations north and east of Iceland. Siglunes where bottom depth is about 470m, LanganesNA1 where bottom depth is about 190m and Krossanes3 where bottom depth is about 210m

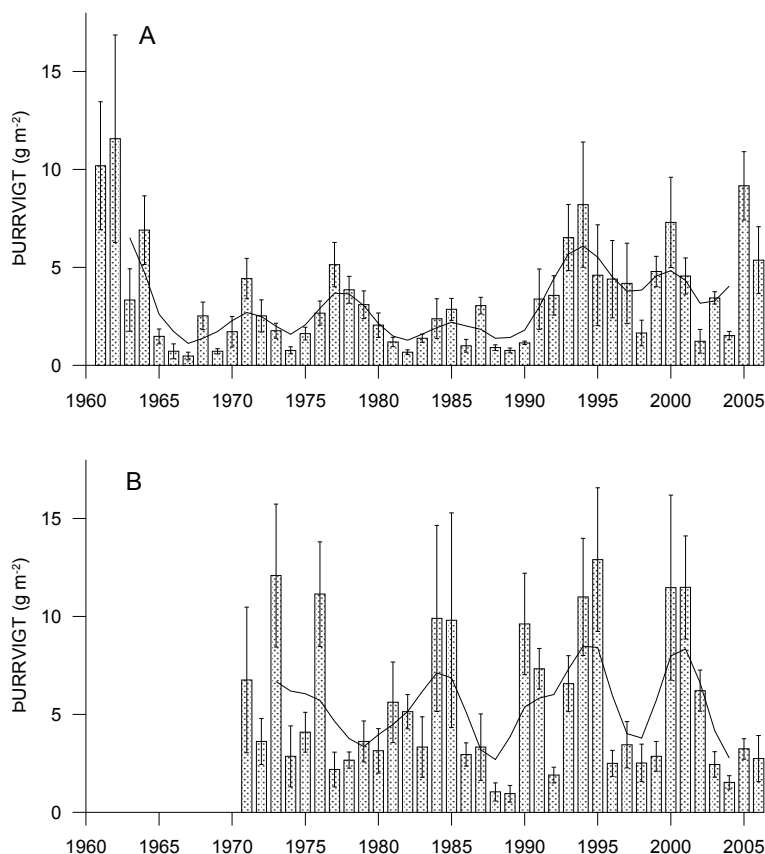
við botn á þessum slóðum árið 2006.

Fyrir norðan og austan land eru hitabreytingar við botn tiltölulega litlar á stöð 3 á Siglunessniði (Siglunes 3) þar sem botndýpi er meira en á hinum stöðvunum sem sýndar eru á 9. mynd b. Merkja má ívið hærri botnhita á landgrunninu norðaustan og austanlands á stöð 1 á Langanesi NA og stöð 3 á Krossanesi á síðustu árum þó heldur hafi hann lækkað 2005 og 2006.

Dýrasvif / Zooplankton

Rannsóknir á átu í því augnamiði að fylgjast með langtímabreytingum í átumagni hafa verið

stundaðar hér við land frá því um 1960. Í upphafi voru þær eingöngu stundaðar út af Norðurlandi í sambandi við síldarleit og á þeim slóðum ná gögnin því lengst aftur í tímann. Frá árinu 1971 hefur rannsóknunum verið sinnt allt í kringum land í vorleiðöngnum. Til að gögnin verði samanburðarhæf hefur þeim verið safnað á nokkurn veginn sama árstíma ár hvert (maí-júní) með svipuðum aðferðum. Breytileikinn í átu-mergð frá ári til árs að vori gefur vísbendingu um mismunandi heildarframleiðslu átu yfir sumarið, en bæði vorvöxtur og heildarframleiðsla dýrasvifsins eru talin ráðast af



10. mynd. Breytingar á átumagni (g þurrvigt m^{-2} , 0-50 m) að vorlagi á A) Siglunesniði, og B) Selvogsbankasniði. Súlnurnar sýna meðaltöl allra stöðva á sniðinu. Staðalskekkingja 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 ($\text{g dry weight m}^{-2}$, 0-50 m) in spring at A) Siglunes 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.

atriðum eins og umhverfisskilyrðum og fæðuframboði.

Langtímabreytingar á átumagni á Selvogsbanka- og Siglunesniði eru sýndar á 10. mynd. Gildin sem sýnd eru á myndinni eru meðaltalsgildi fyrir allar stöðvar á viðkomandi sniðum. Einnig eru sýnd 5 ára keðjumeðaltöl. Fram kemur að miklar sveiflur hafa verið í átumagni á báðum sniðum þar sem skiptast á há og lág gildi, og er munurinn á þeim hæstu og lægstu allt að 20-faldur fyrir norðan land en 10-faldur fyrir sunnan.

Á Siglunesniði var mjög mikið af átu þegar rannsóknirnar hófust í upphafi sjöunda áratugarins, en síðan hafa skipst á há og lág gildi, og hafa liðið um 6-10 ár á milli hæstu gilda (sbr. keðjumeðaltölin á 10. mynd A). Vorið 2006 var átumagn á Siglunesniði vel yfir meðallagi.

Á Selvogsbanka var tiltölulega mikið af átu í byrjun áttunda áratugarins, en átumagn fór svo

lækkandi og var fremur lítið í lok hans (sbr. keðjumeðaltölin á 10. mynd B). Sé tekið mið af keðjumeðaltölunum var svo aftur tiltölulega mikið af átu um miðjan níunda og tíunda áratuginn. Á Selvogsbankasniði fannst síðast tiltölulega mikið af átu árin 2000 og 2001, en síðan hefur hún farið minnkandi. Á Selvogsbankasniði hafa liðið um 7-11 ár á milli háu gildanna (sbr. keðjumeðaltölin á 10. mynd B).

Ef tiltölulega há átugildi um 1977 á Siglunesniði eru undanskilin 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 í samræmi við langtímasveiflur átu í öllu norðanverðu Atlantshafi. Það bendir til þess að breytileikinn í átumagni stjórnist að verulegu leyti af hnattrænum þáttum, líklegast tengdum veðurfari, sem hafa áhrif á víðáttumiklu svæði.

3. Stuttar greinar um vistfræði sjávar

Short notes on marine ecology

VISTKERFISNÁLGUN VIÐ STJÓRN FISKVEIÐA: BREYTTAR ÁHERSLUR Í HAF- OG FISKIRANNSÓKNUM / ECOSYSTEM-BASED FISHERIES MANAGEMENT: NEW EMPHASIS IN OCEANOGRAPHIC AND FISHERIES RESEARCH

Jóhann Sigurjónsson
Hafrannsóknastofnuninni

Formáli

Árið 1995 samþykkti FAO, Matvæla- og landbúnaðarstofnun Sameinuðu Þjóðanna, leiðbeiningarreglur um ábyrgar fiskveiðar. Í kjölfarið spratt upp hugmyndafræðin um vistkerfisnálgun við stjórn fiskveiða, sem var eitt aðalviðfangsefni ráðstefnu á vegum FAO og íslenskra stjórnvalda um ábyrgar fiskveiðar og vistkerfi hafsins, sem haldin var í Reykjavík í október 2001. Samkvæmt Jóhannesarborgar yfirlýsingunni um sjálfbæra þróun frá árinu 2002, stefna þjóðir heims að því að stjórnun veiða taki mið af þessu fyrir árið 2010.

Með þessari nýju nálgun, er ætlunin að stjórna athöfnum mannsins á hafi úti, og þá sérstaklega fiskveiðunum, með þeim hætti að við sérhverja ákvörðunartöku hafi verið metnar afleiðingar hennar gagnvart viðkomandi auðlind, öðrum auðlindum og umhverfinu. Þannig að hér er um að ræða nokkurs konar mat á umhverfisáhrifum í sjó, aðferðafræði sem styðst í dag við löggjöf og þróað verklag varðandi framkvæmdir á landi.

Undanfarin ár hafa vísindamenn, ríkisstjórnir og stofnanir unnið að stefnumótun og þróun aðferða vistkerfisnálgunarinnar. Hér er um afar flókið viðfangsefni að ræða og framkvæmdin stutt á veg komin. Lagt hefur verið til að byggja í fyrstu á því sem fyrir er og að aðferðafræði vistkerfisnálgunarinnar verði síðan þróuð skref fyrir skref í framtíðinni. Þannig gætu legið til grundvallar hefðbundnar einstofna veiðistjórnunaraðferðir sem byggja t.d. á setningu aflamarks fyrir hverja tegund, á veiðarfæratakmörkunum og möskvastærðar-ákvörðunum, fjölstofna samspili, svæðalokunum (til langs eða stutts tíma) og tíma-setningu veiðitíma og lengd vertíðar. Allt eru þetta þættir í anda vistkerfisnálgunar við stjórn fiskveiða, sem hafa reyndar verið hluti fiskveiðistjórnunar á Íslandi um langt árabil.

Útvíkkuð aðferðafræði við rannsókn og ráðgjöf - fyrstu skrefin

Stór hluti rannsókna Hafrannsóknastofnunarinnar tengist með einum eða öðrum hætti vistkerfisnálguninni, svo sem vöktunarleiðangrar ýmiss konar sem beinast bæði að tilteknum fiskitegundum en jafnframt öðrum þáttum lífríkisins (straumakerfi, seltu, hitastigi sjávar og öðrum umhverfisþáttum).

Langt er hins vegar í land að viðmið heildstæðrar vistkerfisnálgunar hafi verið skilgreind. Samt er nú þegar unnt að nálgast viðfangsefnið með einföldum hætti. Skref í þá átt gæti verið að vísindamenn sem vinna við ráðgjöf og rannsóknir á fiskistofnum, kortleggi og meti kerfisbundið þætti sem ætla má að séu nauðsynlegir í vistkerfisnálguninni. Þannig geta vísindamenn undirbyggt aðgerðir stjórnvalda og atvinnuvegarins í framtíðinni ásamt því að skilgreina þörf fyrir nýjar rannsóknir.

Hér verður stuttlega gerð grein fyrir hugmyndum sem mótast hafa undanfarin misseri á Hafrannsóknastofnuninni um það hvernig hægt væri að hefjast handa við að innleiða vistkerfisnálgun í ráðgjöf stofnunarinnar. Markmiðið er að kortleggja upplýsingar í rannsókna- og stjórnunarskyni. Þannig er t.d. ætlunin að meta nákvæmni aðferða og forsendur fiskistofnaúttekta og meta áhrif veiða á brottkast fisks, á umhverfi fiskistofnanna og á afmarkaða vistkerfisþætti. Jafnframt verða metin fjölstofnaáhrif og samspil tegundanna, áhrif umhverfisbreytinga á einstaka fiskistofna og hvort breyttar forsendur séu í veiðum sem taka þarf tillit til.

Áhrif veiða á marktegund, brottkast og óbeinan veiðidauða

Til að kortleggja áhrif veiða á viðkomandi marktegund (þ.e. þá tegund sem sóknin beinist að, gjarnan skipt eftir veiðarfæri og svæðum) og stöðu þekkingar, væri hægt að hugsa sér að nota huglæga matsaðferð eins og sýnd er á 11. mynd a og b. Í hverju tilviki yrðu áhrif veiðanna á

marktegundina metin. Síðan væri hægt að kortleggja aðra mikilvæga þætti með einfaldri huglægri flokkun, t.d. í þrjá flokka, þar sem grænt gæfi til kynna hvort viðkomandi þáttur væri í lagi eða honum ekki ábótavant, gult kallaði á nokkra aðgæslu eða lýsti skorti á gögnum og/eða frekari greiningu án þess að sérstök eða greinanleg hættu væri á ferð, og rautt gæfi til kynna að þörf væri á verulegri varúð, að upplýsingar skorti og/eða að vísbendingar væru um slæmt ástand. Í framhaldinu er mikilvægt að búnir séu til gagnsærir vel skilgreindir mælikvarðar þar sem því verður við komið, enda gagnsemi kerfisins mun meiri ef þættir eru magnlega metnir.

Með þessu vinnulagi væri skoðað hvort fyrir lægi mat á viðkomandi þætti, hvort regluleg vöktun á honum sé í gangi, og ef gögn eða mat skortir, hvort hægt sé að segja til um það hvort

það skipti máli varðandi þessa veiði eða ekki. Að lokum yrði skráð hvort aðgerða sé þörf, þ.e. hvort ástandsmatið kalli á viðbótar rannsókn, eða hvort þörf sé sérstakrar árvegni og/eða aðgerða stjórnvalda varðandi viðkomandi veiði. Þannig fengist með einföldum hætti hugmynd um stöðu viðkomandi stofns m.t.t. ástands hans, þekkingarstigs og þess hvort þörf sé sérstakra aðgerða til að tryggja sjálfbærni veiðanna.

Með sama hætti yrðu áhrif veiða á marktegund á brottkast sömu tegundar skoðuð, áhrif þessara veiða á brottkast á öðrum tegundum og einnig óbeinn fiskdauði sem fylgir veiðunum.

Á 11. mynd a er til skýringar tekið ímyndað dæmi um þorskveiðar í botnvörpu á Íslandsmiðum, þar sem mestu máli skiptir að veiðiálag hefur verið mikið um langan tíma og mikilvægt er að stjórnvöld grípi til aðgerða til að tryggja aukinn langtíma afrakstur stofnsins. Hér eru áhrif þorskveiðanna á þorskstofninn mikil, vitneskjan eða matið á ástandi hans er í lagi, einnig vöktun stofnsins, en þörf er fiskveiðistjórnunar aðgerða. Varðandi brottkast á þorski og brottkast á öðrum tegundum og óbeinan fiskdauða í þessari veiði, gætu áhrifin að því er virðist talist frekar lítil, þekkingin er sæmileg á þessu þó vöktun sé lítil (nema hvað þorsk varðar). Æskilegt er að stjórnvöld séu á varðbergi gagnvart hugsanlegu brottkasti á þorski og að rannsakað verði nánar um brottkast á öðrum tegundum og óbeinan fiskdauða.

11. Mynd b sýnir til skýringar sambærilegt ímyndað dæmi fyrir nótaveiðar á íslenski sumargotssíld. Þar sem veiðiálag á síld hefur verið afar hóflegt síðustu áratuginu eru bein áhrif síldveiðanna á stofninn tiltölulega lítil. Síldin er líka allvel rannsökuð, nema erfðasamsetning stofnsins, sem nánast ekkert hefur verið könnuð. Vegna breyttrar útbreiðslu síldar undanfarin ár, mætti bæta úr með rannsókn þar á, en almennt talað er ekki þörf sérstakra aðgerða stjórnvalda varðandi veiðar á þessum stofni, allavega saman borið við þorskveiðarnar. Sama gildir um brottkast síldar í síldveiðunum, brottkast annarra fisktegunda eða óbeinan dauða af völdum veiðanna. Þó þessir þættir séu ekki reglulega vaktaðir, benda athuganir til að áhrifin séu ekki mikil og ekki sérstakra aðgerða þörf.

A Tegund: Þorskur
Undirflokkur: Botnvarpa

Til staðar eða í lagi
Þarf að skoða, hætta?/ekki til staðar
Hvorki né / miðlungs hættu
o Ekki þekkt eða á ekki við

Áhrif þorskveiðanna á:	Mikil eða lítil áhrif	Mat/ Áætlun fyrir-liggandi	Vaktað reglulega	Ef gögn skortir		Aðgerða þörf	
				Skíptir máli	Skíptir ekki máli	Mat/Áætlun	Fiskveiðistjórnun
Þorskstofninn							
Stofnstærð	8	●	●			●	●
Aldurs-/fengdar-/kynjahlutföll	8	●	●			●	●
Viðkomugetu	8	●	●			●	●
Útbreiðslu	5	●	●			●	○
Erfðasamsetningu	5	●	●			●	○
Brottkast á þorski	5	●	●			●	●
Brottkast á öðrum tegundum	5	●	●	●		●	○
Óbeinn fiskveiðidauði á þorski og öðrum tegundum	5	●	●	●		●	○

B Tegund: Sumargotssíld
Undirflokkur: Nótaveiðar

Til staðar eða í lagi
Þarf að skoða, hætta?/ekki til staðar
Hvorki né / miðlungs hættu
o Ekki þekkt eða á ekki við

Áhrif síldveiðanna á:	Mikil /lítil áhrif	Mat eða áætlun til staðar	Vaktað reglulega	Ef gögn skortir		Aðgerða þörf	
				Skíptir máli	Skíptir ekki máli	Mat/áætlun	Fiskveiðistjórnun
Síldarstofninn							
Stofnstærð	6	●	●			●	●
Aldurs-/stærðar-/kynjahlutfall og samsetningu	6	●	●			●	●
Viðkomugetu	6	●	●			●	●
Útbreiðslu	3	●	●			●	●
Erfðasamsetningu	3	●	●			●	○
Brottkast síldar	2	●	●			●	●
Brottkast – aðrar tegundir	1	●	●			●	●
Óbeinn fiskveiðidauði síldar og annarra tegunda	1	●	●			●	●

11. mynd. Skýringardæmi um hvernig mætti flokka áhrif þorskveiða í botnvörpu a) og síldveiða í nót b) á viðkomandi fiskistofna, brottkast og óbeinan fiskdauða við reglbundnar úttektir á þessum fiskistofnum.

Figure 11. An example of how effects on respective stock, related discards and indirect mortality could be categorized in regular evaluations in a) bottom trawl cod fishery and b) purse seine.

Áhrif veiða á vistkerfið og búsvæði

Á 12. mynd a og b eru sýnd ímyndað dæmi þar sem kortlagt er hver áhrif veiðanna á þorski og síld eru á vistkerfishluta eftir tegundum lífvera, stofnum eða samfélagi, t.d. botndýr, dýra-

svif, fugla, sjávarspendýr og fiskistofna. Hér er verkefnið kannski í fyrstu ekki síst að kortleggja hvort til séu rannsóknir og upplýsingar um þessa þætti og hvort með grófri nálgun megi segja eitthvað til um það hvort ætluð áhrif séu mikil eða lítil. Þá yrðu hér til skoðunar ætluð áhrif veiðanna á búsvæði fiska, t.d. viðkvæm hrygningar- og uppeldissvæði á botni eða ofar í sjónum. Einnig áhrif veiðanna á viðkvæm búsvæði á botni, svo sem lífríki á hörðum botni eða á kórallassvæðum. Hér þarf að átta sig á hvort búsvæðin séu kortlögð, hvort hugsanleg áhrif séu metin og hvort verndunaraðgerðir séu í gangi eða þeirra þörf.

Ljóst er að ætluð áhrif þessara tilteknu þorskveiða (12. mynd a) á vistkerfishluta eða búsvæði eru almennt minni en beinu áhrifin á þorskstofninn þó rannsókn og vöktun sé verulega ábótavant. Að sinni kallar þetta að því er virðist ekki á neinar sérstakar aðgerðir stjórn-

valda. Áhrifin virðast enn minni varðandi síldveiðarnar (12. mynd b), þó rétt sé að hafa í huga að rannsóknir og vöktun á þessum þáttum eru afar takmarkaðar.

Aðrir þættir

Eðlilegt er að við kerfisbundna skoðun á þáttum sem snerta vistkerfisnálgun við stjórn fiskveiða þegar einstakir fiskistofnar eru metnir eins og að ofan er lýst, séu nokkur atriði til viðbótar kortlögð. Þar koma í fyrsta lagi til skoðunar gæði gagna og nákvæmni stofnmat-saðferða sem skiptir afar miklu máli þegar taka skal vel ígrundaða ákvörðun. Þar kemur einnig til skoðun á þáttum er varða fæðuval og fæðuþörf viðkomandi fiskistofns og hvort gerð hafa verið líkön sem lýsa fæðutengslum viðkomandi fiskistofns. Eins væri ástæða til að huga sérstaklega að því hvort breytingar á umhverfisskilyrðum snerta sérstaklega aðstæður og lífsmöguleika viðkomandi fiskistofns. Að lokum væri skynsamlegt að kortleggja með skipulegum hætti veiðirekstrarlega þætti, sem kunna að hafa áhrif á veiðimynstur og sókn, t.d. breytingar á veiðarfæranotkun, breytt veiðarfæri, möskvastærð og markaðsaðstæður, sem geta hæglega haft mikil áhrif á sókn í viðkomandi fiskistofn eða stofnhluta.

Lokaorð

Sú aðferðafræði sem hér hefur verið kynnt, og er enn í mótnun, er viðleitni til að svara kalli tímans um breyttar áherslur í rannsóknnum í takt við kröfu um heildstæðari stjórnun veiða og sjálfbæra nýtingu fiskimiðanna við Ísland. Efnistöð í þessum anda munu beina sjónum vísindamanna að þáttum sem varða vistkerfisnálgunina og draga fram þætti þar sem rannsóknir og vitneskja er ónóg, auk þess að skýra stöðu mála fyrir stjórnvöldum og hagsmunaaðilum. Þar með fæst nokkurs konar áhættumat, þó ekki sé fullkomið, á áhrifum einstakra fiskveiðistjórnunaraðgerða á heildarmyndina, sem verður til þess fallið að stuðla að heildstæðari stjórnun veiða, vernd vistkerfisins og markvissari rannsóknnum þegar fram í sækir. Vel er hægt að hugsa sér að til að byrja með fylgdi hefðbundinni ráðgjöf um aflamagn hverrar tegundar, ráðgjöf um ofangreinda þætti eftir því sem vitneskja lægi fyrir eða tilefni væri til.

A Tegund: Þorskur
Undirflokkur: Botnvarpa

Til staðar eða í lagi
Þarf að skoða, hætta?/ekki til staðar
Hvorki né / miðlungs hætta
o Ekki þekkt eða á ekki við

Áhrif þorskveiðanna á:	Mikil eða lítil áhrif	Mat/ættun til staðar	Vaktað reglulega	Ef gögn skortir		Aðgerða þörf	
				Skiptir máli	Skiptir ekki máli	Mat/ættun	Fiskveiðistjórnun
Hluta vistkerfisins							
Botndýr	5	●	●	●		●	○
Dýrasvif	0	○	○		●	○	○
Fuglar	3	●	●		●	○	○
Sjávarspendýr	2	●	●	●		●	○
Fiskur	3	●	●	●		●	○
Búsvæði							
Fiska	5	●	●			●	○
Lífríkis á botni	5	●	●			●	○

B Tegund: Sumargottsíld
Undirflokkur: Nótaveiðar

Til staðar eða í lagi
Þarf að skoða, hætta?/ekki til staðar
Hvorki né / miðlungs hætta
o Ekki þekkt eða á ekki við

Áhrif síldveiðanna á:	Mikil eða lítil áhrif	Mat/ættun til staðar	Vaktað reglubundið	Ef gögn skortir		Aðgerða þörf	
				Skiptir máli	Skiptir ekki máli	Mat/ættun	Fiskveiðistjórnun
Hluta vistkerfisins							
Botndýr	1	●	●		●	○	○
Dýrasvif	0	○	○		●	○	○
Sjófuglar	1	●	●		●	○	○
Sjávarspendýr	2	●	●	●		●	○
Fiskur	3	●	●	●		●	○
Búsvæði							
Fiska	0	○	○		●	○	○
Lífríkis á botni	0	○	○		●	○	○

12. mynd. Skýringardæmi um hvernig mætti flokka áhrif þorskveiða í botnvörpu a) og síldveiða í nót b) á valda vistkerfisþætti við reglubundnar úttektir á þessum fiskistofnum.

Figure 12. An example of how effects on selected ecosystem parameters could be categorized in regular evaluations in a) bottom trawl cod fishery b) purse-seine herring fishery.

VISTKERFI ÍSLANDSHAFS 2006 / THE ICELAND SEA ECOSYSTEM 2006

Ólafur K. Pálsson, Héðinn Valdimarsson, Sólveig R. Ólafsdóttir,
Hafsteinn Guðfinnsson, Ástþór Gíslason og Sveinn Sveinbjörnsson.
Hafrannsóknastofnuninni

Inngangur

Á undanförunum árum hefur umræða um loftslagsbreytingar verið fyrirferðarmikil um heim allan. Margvíslegar breytingar, sem tengjast veðurfari, dýralífi eða ástandi sjávar, virðast meiri á undanförunum 10 árum en verið hafði um nokkurt skeið fyrir þann tíma. Svo virðist jafnframt sem hlýnun sjávar hér við land eigi hlut að máli varðandi breytingar á lífsháttum og útbreiðslu ýmissa fiskstofna, bæði botnlægra fiska eins og ýsu og skötusels og uppsjávarfiska eins og kolmunna og loðnu.

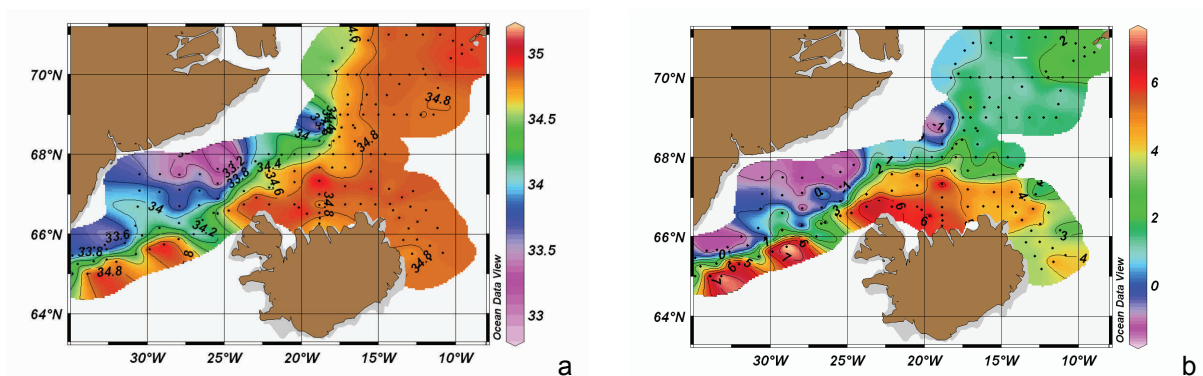
Loðna er einn mikilvægasti fiskur Íslandsmiða. Vægi loðnustofnsins helgast af stærð hans og mikilli framleiðslu, en einnig af stöðu hans sem veigamikil bráð fyrir margar tegundir botnfiska, ekki síst þorsk og aðra nytjafiska. Veidar á loðnu hafa verið meiri en á nokkrum öðrum fiski frá því loðnuveidar hófust fyrir um 40 árum. Loðnuveidum hefur verið stýrt á grundvelli árlegra bergmálmælinga um áratuga skeið. Síðustu 6 ár eða svo hafa slíkar mælingar ekki reynst framkvæmanlegar með sama hætti og fyrr og er talið að breytt hegðun og útbreiðsla loðnu, í kjölfar breyttra umhverfisskilyrða, sé orsakavaldur þessarar þróunar.

Með hliðsjón af núverandi óvissu um vistfræðilega stöðu og ástand loðnustofnsins var ráðist í sérstakt rannsóknaverkefni, „Vistkerfi Íslandshafs“, til að rannsaka grundvallarþætti í vistfræði þess hafsvæðis með sérstöku tilliti til loðnustofnsins.

Helstu markmið verkefnisins eru að greina ferla lífvera, ólífrænna og lífrænna efna og orkuflutning, þar með talið strauma og sjógerðir, í vistkerfi Íslandshafs og nálægra hafsvæða, í því skyni að fá heildstæðan skilning á byggingu og starfsemi eða gangverki vistkerfisins, þar með talið lífsferlum og afkomu loðnustofnsins. Þetta felur í sér m.a. að afla upplýsinga um ástand sjávar, næringar-efnabúskap sem og tegundasamsetningu, ársferla og framleiðni svífsamfélaga, samspil þessara þátta og tengsl þeirra við afkomu loðnu. Lokatakmarkið er að skilgreina vistfræðilega stöðu loðnustofnsins og skýra hvað valdið hafi stórfelldum breytingum í lífssögu stofnsins undanfarin ár.

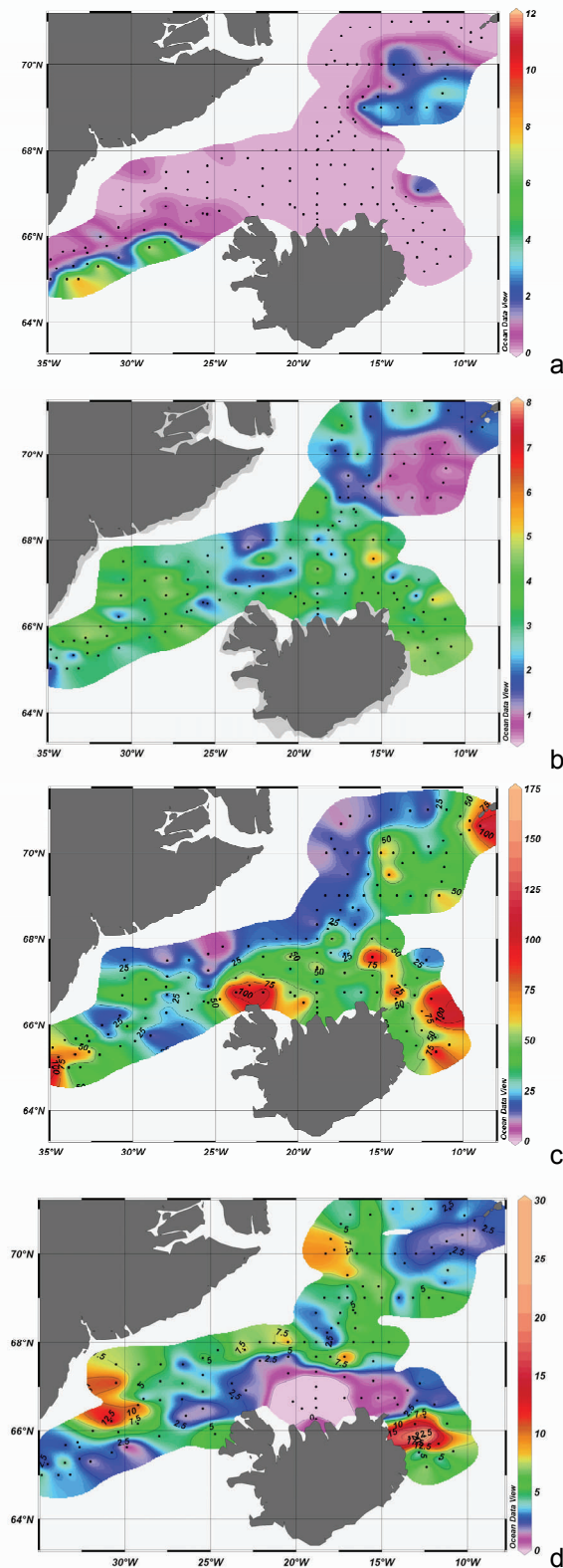
Á árinu 2006 var gögnum safnað í fjórum rannsóknaleiðöngrum innan ramma verkefnisins. Í febrúar voru umhverfisaðstæður og dýptardreifing dýrasvifs rannsakaðar í Íslandshafi sunnanverðu. Í maí voru umhverfisaðstæður og dýptardreifing dýrasvifs rannsakaðar á þremur sniðum í Íslandshafi og í nóvember voru umhverfisaðstæður og dýptardreifing dýrasvifs rannsakaðar á tveimur stöðvum í Íslandshafi.

Í júlí og ágúst voru umhverfisaðstæður og útbreiðsla loðnu rannsakaðar á víðáttumiklu hafsvæði í Íslandshafi, allt norður til Jan Mayen, og á landgrunni Austur-Grænlands. Teknar voru 152 umhverfisstöðvar og 39 togstöðvar vegna loðnu. Samfelld bergmálmæling var gerð á siglingaleið skipsins (um 3500 sjm.) til að mæla



13. mynd. Selta (a) og hiti (°C) (b) á 50 metra dýpi í Íslandshafi 10. júlí til 3. ágúst 2006. Stöðvar eru sýndar sem svartir punktar.

Figure 13. Salinity (a) and temperature (°C) (b) at 50 meters depth in the Iceland Sea 10 July - 3 August 2006. Stations are indicated by black dots.



14. mynd. Útbreiðsla umhverfisþátta í júlí—ágúst 2006, a) níturat í yfirborði (NO_3 , $\mu\text{mol l}^{-1}$), b) kísill á 50 m dýpi (Si , $\mu\text{mol l}^{-1}$), c) blaðgræna á 0-30 m dýpi (mg m^{-2}) og d) lífmassi dýrasvífs 0-50 m dýpi (g þurrvigt m^{-2}).

Figure 14. Distribution of environmental parameters in July—August 2006, a) nitrate at the surface (NO_3 , $\mu\text{mol l}^{-1}$), b) silicate at 50 m depth (Si , $\mu\text{mol l}^{-1}$), c) chlorophyll a at 0-30 m depth (mg m^{-2}) and d) zooplankton biomass at 0-50 m depth ($\text{g dry weight m}^{-2}$).

magn og útbreiðslu loðnu. Hafís takmarkaði rannsóknasvæðið til vesturs og eru vestustu stöðvar yfirleitt rétt við hafisjaðarinn. Í þessari grein verður lýst fyrstu niðurstöðum þessa verkefnis, einkum þó umhverfisskilyrðum í júlí.

Umhverfisaðstæður í Íslandshafi og við Austur-Grænland sumarið 2006

Hiti og selta

Útbreiðsla hita og seltu á 50 m dýpi sýnir glögglega skilin, pólfrentinn, milli hins kalda og ferska pólsjávar í Austur-Grænlandsstraumi og hlýrri og saltari sjávar sem annars vegar kemur úr suðri í gegnum Grænlandssund og hins vegar úr Noregshafi norðan og sunnan við Jan Mayen. (13. mynd). Þessi skil eru sérlega skörp suðvestast á svæðinu við Austur Grænland. Í Íslandshafi norðan 68°N eru þau það ekki enda takmarkaði hafís þar rannsóknasvæðið verulega til vesturs. Innstreymi Atlantssjávar um Grænlandssund inn á Norður- og Norðausturmið sést nokkuð greinilega á hitadreifingunni (13. mynd b). Á sömu mynd má greina innstreymi hlýrri og seltuþríkari sjávar inn í Íslandshaf sunnan Jan Mayen. Botnlögun hafsvæðisins hefur mikil áhrif á strauma sem og hita og seltu-dreifingu. Skilin liggja um Kolbeinseyjarhrygg en eilítið ferskari Austur-Íslandsstraumur er greinilegur til suðausturs yfir hrygginn. Ljóst er að straumamót við hrygginn eru jafnframt mikið blöndunarsvæði sem geta haft áhrif á lífríkið.

Næringarefni og blaðgræna

Kísilstyrkur var lágur í yfirborðslögum allt frá vetri og fram á sumar, en kísilhagur kann að hafa áhrif á framvindu svifþörunga í Íslandshafi austanverðu (14. mynd b). Vestan megin á rannsóknasvæðinu höfðu öll næringarefni verið notuð í efstu lögum sjávarins í júlí en austan megin voru níturat og fosfat til staðar í yfirborðslögum (14. mynd a).

Magn blaðgrænu (mg m^{-2}) í 0-30 m dýpi í júlí var mest á landgrunninu við Jan Mayen, við Vestfirði og út af Austfjörðum og syðst á grænenska landgrunninu ($>75 \text{ mg m}^{-2}$, 14. mynd c). Á landgrunninu norður af Íslandi og næst landi austan við land og einnig í Irminger sjónum vestur af Íslandi voru gildin mun lægri (um 50 mg m^{-2}) sem segja má að séu sumargildi á þessum slóðum. Lang lægstu blaðgrænugildin var að finna í pólsjónum í Austur Grænlandsstraumnum ($<25 \text{ mg m}^{-2}$).

Blaðgrænumagn var mun lægra vestan megin í Íslandshafi (vestan við

Kolbeinseyjarhrygginn) en austan hans. Þetta skýrist fyrst og fremst af mun sterkari lagskiptingu og lægri næringarefnastyrk í pólsjónum vestan hryggjar en austan megin.

Dýrasvif

Á landgrunni Austur Grænlands var talsvert af átu, og mun meira en á landgrunnssvæðunum norðan Íslands, þar sem fremst lítið var af átu. Í Íslandshafi mældist hins vegar mikið af átu, einkum yfir landgrunnshlíðunum djúpt norður af Íslandi og á svæði frá ca. 68°N og norður með Kolbeinseyjarhrygg allt norður á 71°N (14. mynd d). Á landgrunnssvæðunum norðaustan Íslands fannst talsvert af átu. Rauðáta og póláta voru yfirleitt algengustu tegundirnar, og jókst hlutfall pólátu eftir því sem norðar dróg.

Dreifing átunnar með dýpi var könnuð á mörgum rannsóknastöðum. Fyrstu niðurstöður benda til að átan hafi aðallega haldið sig í efstu 100 m sjávar, en þó var talsverður hluti þegar farinn að leita í dýpri sjávarlög til vetursetu. Frumniðurstöður benda til þess, að tiltölulega smáar átutegundir, svo sem rauðáta, haldi sig tiltölulega grynna en stærri tegundir, eins og póláta og ljósáta. Átumagn í júlí var minna en í

maí 2006 á mörgum rannsóknastöðum, einkum á landgrunninu norðan lands. Það endurspeglar sennilega át annara dýrastofna á dýrasvifi á tímabilinu maí til júlí, en einnig að hluti dýranna hafði þegar leitað dýpra til vetursetu.

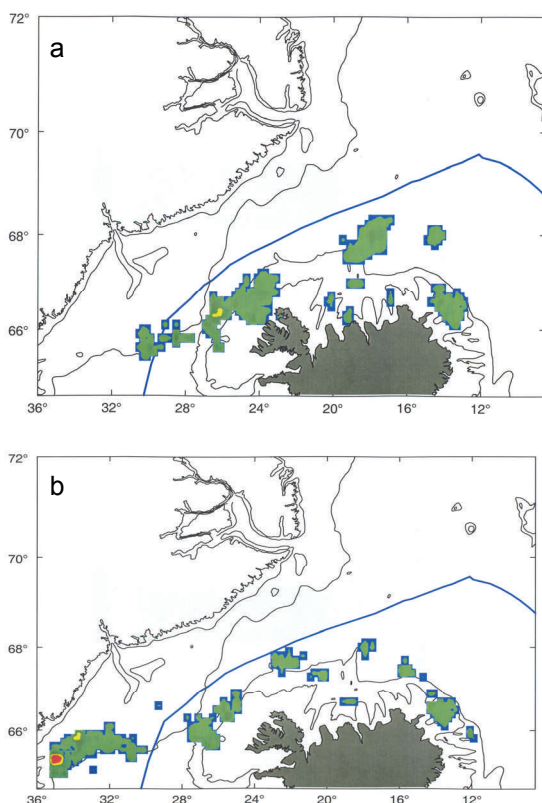
Loðna

0-flokkur loðnu (árgangur 2006) fannst á landgrunni Íslands og í útköntum þess norðan lands og norðaustan og í Grænlandssundi (15. mynd a). Eins árs loðna fannst á svipuðum slóðum (15. mynd b), en hvorugur aldursflokkurinn fannst í teljandi magni. Eldri loðna, einkum tveggja ára, fannst helst á landgrunni Austur Grænlands og í litlum mæli í Grænlandssundi. Í heild var magn eldri loðnu mjög lítið. Athygli vekur að mjög lítið var af yngri aldursflokkunum á landgrunninu norðan lands en þar var jafnframt mjög lítið af átu (14. mynd d). Á útbreiðslusvæði eldri loðnu við Grænland var jafnframt talsvert átumagn. Enginn loðna fannst í Íslandshafi norðan 68° N, en hafís kom í veg fyrir unnt væri að kanna vestasta hluta þess svæðis.

Niðurlag

Á fyrsta ári þessa verkefnis var safnað umfangsmeiri vistfræðilegum gögnum í Íslandshafi en nokkru sinni áður. Ekki hefur verið unnið úr öllum þessum gögnum að fullu. Tveir þættir ráða líklega mestu um byggingu vistkerfis Íslandshafs, þ.e. pólfronturinn og Kolbeinseyjarhryggurinn. Pólfronturinn skiptir svæðinu með afgerandi hætti með tilliti til sjógerða. Kolbeinseyjarhryggurinn virðist dempa áhrif pólsjavarins til austurs og mynda þannig skil í vistkerfinu. Á þessu stigi rannsókna er þó ekki tímabært að fjölyrða um áhrif þessa á vistkerfið í heild.

Fyrirliggjandi niðurstöður verkefnisins í júlí 2006 eru í meginatriðum í samræmi við þá þekkingu sem fyrir lá um hina ýmsu þætti, en sú þekking var þó að ýmsu leyti brotakennd. Ekki kom beinlínis á óvart að lítið fannst af loðnu, en þó má segja að magn eldri loðnu hafi verið minna en vænst var einkum norðan 68° N, en á því svæði var magn loðnu oft mikið á árum áður, þegar sumar- og haustveiðar á loðnu voru hvað mestar. Takmörkuð útbreiðsla loðnu hefur óhjákvæmilega þær afleiðingar að rannsóknir á tengslum umhverfisþátta og loðnu hafa úr litlu að moða á þessu stigi verkefnisins. Verkefninu verður fram haldið á árinu 2007 með svipuðu sniði og 2006.



15. mynd. Útbreiðsla loðnu í júlí –ágúst 2006, a) 0-flokks loðna og b) I-III-flokks loðna.

Figure 15. Distribution of capelin in July-August 2006, a) 0-group and b) I-III-group.

SJÁVARFALLATENGT ATFERLI ÞORSKS / TIDAL INFLUENCE IN COD BEHAVIOUR

Viðhjálmur Þorsteinsson¹ og Ólöf Rós Káradóttir²

¹Hafrannsóknastofnuninni og ²Verkfræðistofu Sigurðar Thoroddsen hf

Inngangur

Verkefnið Sjávarfallatengt atferli þorsks fékk styrk frá Rannís í febrúar 2007. Stofnanir og fyrirtæki sem að verkefninu koma eru Hafrannsóknastofnunin, Siglingastofnun Íslands (SÍ), Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen hf. (VST), Atferlis-greining ehf., Háskóli Íslands og Háskólinn á Akureyri. Verkefnið felur í sér gagnasöfnun með mælingum á sjávarhæð á ýmsum stöðum á landgrunninu við Ísland og kvörðun Sjávarfallalíkans SÍ. Aðferðir í atferlisrannsóknum á nytjafiskum verða þróaðar auk þess sem verkefnið nýtist til ýmissa rannsókna í líf- og vistfræði. Atferlisgögn frá rafeindamerktum fiskum verða notuð til að staðsetja þá út frá sjávarföllum og meta viðveru á veiðisvæðum, og þar með aðgengi veiðarfæra að veiðistofni (Jones, 1974).

Sjávarfallalíkan

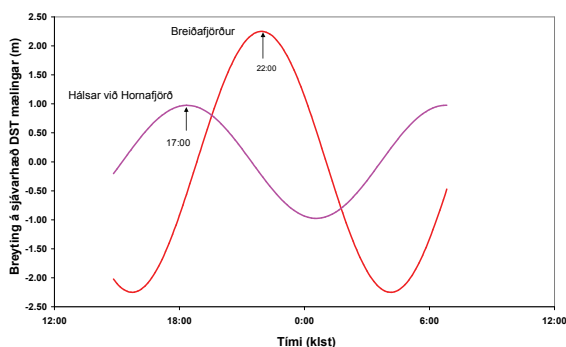
Sjávarföll og straumar sem þeim fylgja eru oft kölluð æðasláttur hafsins vegna þess hve áhrifarík blöndun verður af þeirra völdum (Unnsteinn Stefánsson, 1994.) Sjávarfalla- bylgjan fer sólarinnis umhverfis Ísland á 12,4 klukkustundum. Landslag á hafsbotni og óregluleg lögum strandlínu valda því að mjög fjölbreytilegar aðstæður sjávarfalla og falla-strauma myndast umhverfis landið. Á 16. mynd eru sýndar mælingar á sjávarhæð í Breiðafirði og við Hálsa nálægt Hornafirði (tími á háflóði

er sýndur með örvum), en þar sést glögg munur á fasa og útslagi sjávarfallsins á þeim tveimur stöðum. VST hefur þróað sjávarfallalíkan fyrir SÍ sem nær yfir allt hafsvæðið umhverfis Ísland, (Gunnar Guðni Tómasson og Ólöf Rós Káradóttir, 2003, 2005 a og b.) Með líkaninu má spá fyrir um sjávarhæð og sjávarfallastrauma á öllu líkansvæðinu, á hvaða tíma sem er, þar sem bæði er tekið tillit til stjarnfræðilegra og veðurfarslegra áhrifa. Líkanið byggir á tvívíðum hluta Princeton Ocean Model (POM), reiknilíkans sem notað er til útreikninga á sjávarstraumum víða um heim, t.d. (Ezer og Mellor, 1997, Holloway, 1996, og Mellor, 2003.) Í líkaninu eru leystar saman svokallaðar grunnjávarlíkingar.

Upplýsingar um dýpi eru fengnar frá dýptarmælingum Sjósmælinga Íslands, úr gagnagrunni SÍ og alþjóðlegum gagnagrunni. Jaðarskilyrði fást úr öðrum líkönum þar sem líkt hefur verið eftir sjávarföllum á stærra svæði, s.s. á öllu Atlantshafi eða yfir allan hnöttinn. Líkanið er kvarðað að áratugalöngum sjávarhæðarmælingum sem flestar eru framkvæmdar í höfnum landsins. Upplausn líkansins yfir allt svæðið er 10 km x 10 km og það nær frá austurströnd Grænlands að vesturströnd Noregs og Skotlands, frá 54°N til 72°N. Innan þess hafa einnig verið sett upp líkөн með betri upplausn (2 km x 2 km) af landgrunninu. Líkanið er keyrt daglega til að spá fyrir um sjávarhæð og strauma rúma tvo daga fram í tímann. Niðurstöður eru aðgengilegar öllum á vefsetri SÍ (www.sigling.is).

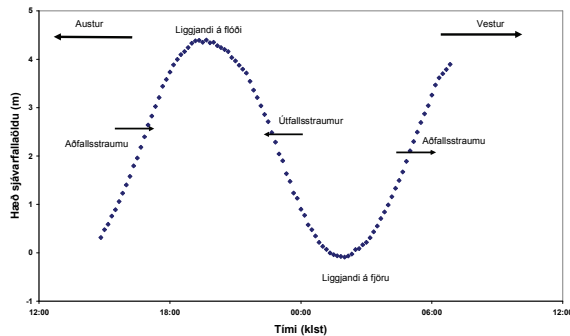
Áhrif sjávarfalla á fiska

Þekking á sjávarföllum og straumum er grundvallaratriði í atferlisrannsóknum sjávardýra. Margar tegundir sækja á það svæði sem er til skiptis á þurru eða undir sjó bæði til fæðuöflunar og tímunar. Einnig eru stríðir fallastraumar sem fiskar (og aðrar sjávarlífverur) hafa aðlagast og kemur fram sem sjávarfallaháð atferli. Hafrannsóknastofnunin hefur stundað rannsóknir á atferli þorsks með rafeindamerkjum frá árinu 1995. Notuð hafa verið rafeindamerki frá Stjörnu Odda sem mæla hita og dýpi (þrýsting) sem komið er fyrir í þorski með skurðaðgerð. Þessi merki eru einnig oft kölluð mælimerki (Data Storage Tag). Síðan



16. mynd. Breyting á sjávarhæð miðað við meðalsjávarhæð og seinkun tíma háflóðs í sömu sjávarfallaöldu samkvæmt mælingum úr mælimerki í Breiðafirði og Hálsam við Hornafjörð

Figure 16. Sea level deviation at two different locations and delay in phase. Measurements by fixed DST-tags off the southeast coast (Hálsar við Hornafjörð) and the west coast (Breiðafjörður).



17. mynd. Breytingar á sjávarhæð við Þorlákshöfn þegar sjávarfallaðan hreyfist frá austri til vesturs við suðurströndina. Mælingar á vegum SÍ (miðað við fjörumörk.)

Figure 17. Sea level fluctuations caused by tidal activity as the tidal wave moves west along the south shore of Iceland. Measurements taken under the auspices of the Icelandic Maritime Administration at Þorlákshöfn harbour.

2002 hafa verið í notkun mælimerki sem eru það nákvæm að hægt er að mæla breytingar á sjávarhæð sem stafa af sjávarföllum. Liggi merktur þorskur nægilega lengi kyrr við botn sýnir þrýstingsmælingin í raun breytingar á sjávarhæð, þ.e. sjávarföllin. Í þessu samvinnuverkefni eru einnig sérstök mælimerki látin liggja við ankeri á ýmsum stöðum á landgrunninu til að mæla breytingar í sjávarhæð. Gögn úr þessum föstu merkjum verða notuð við frekari kvörðun sjávarfallalíkans SÍ.

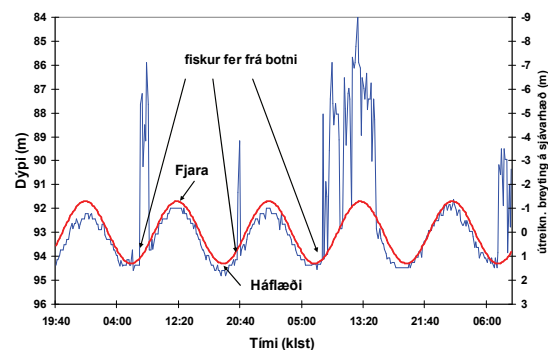
Breytingar í sjávarhæð yfir föstum mælipunkti út af Þorlákshöfn eru sýndar á 17. mynd. Við venjulegar aðstæður á grunnsævi er minnstur straumur á liggjanda, í fjöru eða flóði. Þegar sjávarfallaðan fer suður fyrir landið, frá austri til vesturs, eykst straumur vestur með landinu (aðfallsstraumur) þar til dregur úr við háflæði. Síðan verða straumaskipti eftir liggjandann á háflæði og þá liggur straumur (útfallsstraumur) austur með eða frá landi. Við hrygningu velur þorskur oftast hrygningarsvæði á svipuðum eða sömu slóðum ár eftir ár. Svæðin eru yfirleitt yfir ósléttum botni vegna þess að þorskurinn heldur kyrru fyrir á hrygningarsvæðinu og þar finnur hann hlé við ójöfnur eða steina líkt og urriði eða lax í straumhörðu fljóti. Þannig getur hann haldið kyrru fyrir áreynslulítið á meðan fallastraumar ríkjja. Við þessar aðstæður er þorskurinn helst á ferðinni frá botni á liggjanda. Niðurstöður dýptarmælinga úr mælimerki í þorski á hrygningarsvæði eru sýndar á 18. mynd. Í þessari mælingu er sjávarfallið mjög sýnilegt og líkt hefur verið eftir því með því að fella sínusbylgju að dýptarmælingum (rauð lína). Hreyfingar fisksins frá botni koma fram sem toppar úr fasa við sjávar-

föllin (blá lína). Fyrsta hreyfing hans frá botni er á háflæðisliggjanda og er frekar stutt. Í þriðja fráhrarfi frá botni fer hann á háflæðisliggjanda og er að nærri allan útfallstímann og liggjanda á fjöru en sest aftur þegar nokkuð er liðið á aðfallið. Eftir þetta sleppir fiskurinn úr einu sjávarfalli en fer síðan aftur frá botni á háflæðisliggjanda (Jonsson, G.K. *et al.*, 2005.)

Óbein staðsetning út frá sjávarföllum

Mikilvægt er fyrir rannsóknir á nytjafiskum sjávar að geta staðsett fiska milli merkingar og endurheimtu. Ýmsar leiðir hafa verið reyndar í þessu skyni, og lofar sjávarfallastaðsetning góðu við íslenskar aðstæður. Byggt er á aðferðinni TLM (Tidal Location Method) sem þróuð hefur verið fyrir Norðursjó (Hunter *et al.*, 2003). Aðferðin byggir á því að greina sjávarfallið úr mældum þrýstingi, og staðsetja það í sjávarfallagagnrunni.

Sjávarfallagagnrunnur fyrir hafsvæðið í kringum Ísland verður unninn með keyrslum Sjávarfallalíkans SÍ. Grunnurinn mun samantanda af útslagi og fasa sjö sterkustu sjávarfallapáttanna í Norður-Atlantshafi. Til að staðsetja mælimerki úr merktum þorski er kerfisbundið farið yfir líkansvæðið og þeir staðir fundnir þar sem fasi og útslag sem fundið er með reiknilíkani eru sem líkastir því sem kemur fyrir í mælimerkjagögnunum. Í Norðursjó hefur TLM aðferðin verið notuð til að staðsetja fisk aftur í tímann eða rekja slóð hans (Path Reconstruction) en nákvæmni er misjöfn eða frá 40 km niður í 10 km. Nákvæmni sem náðst hefur í staðsetningu fastra mælimerkja í Norðursjó með TLM er innan við 16 km.



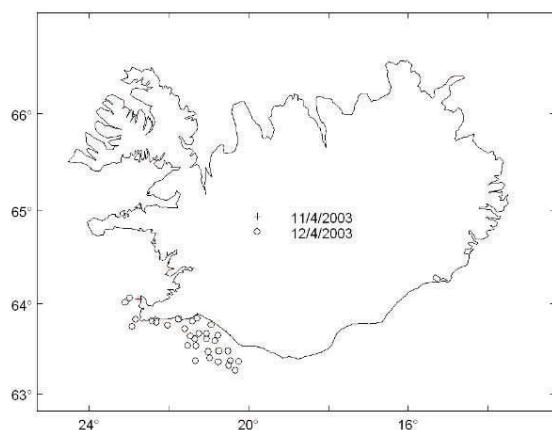
18. mynd. Dýpi mælt með mælimerki í þorski (blá lína). Sínusbylgja felld að mældu dýpi til að líkja eftir sjávarfallabylgju (rauð lína). Áhrif sjávarfalla neðan fjörumarka koma fram sem breyting á þrýstingi yfir föstum mælipunkti, mest dýpi er því á flóði og minnst á fjöru.

Figure 18. Depth measurements from a DST-tagged cod (blue line). Tides are simulated with a sinus fit to the DST data (red line). The tidal influence on measured depth is apparent during the time the tagged fish is motionless near the seafloor. Abrupt deviation from the sinus fit is caused by the fish moving away from the seafloor.

Forprófun á hugbúnaði sem notar sjávarfallastaðsetningu (TLM) á hafsvæðinu umhverfis Ísland hefur farið fram. Staðsetning var þannig ákvörðuð með 5 – 40 sjólmílna nákvæmni, en byggt var á sjávarfallagagnagrunni VST, sem verður endurbættur í þessu verkefni. Einnig var sjávarfallastaðsetning prófuð í samstarfi við CEFAS í Lowestoft, þar sem nýttur var sami sjávarfallagagnagrunnur. Niðurstöður þeirrar prófunar má sjá á 19. mynd, þar sem bornar eru saman mögulegar staðsetningar samkvæmt niðurstöðum líkansins (o) og raunveruleg staðsetning út af Garðaskaga (+). Að geta að einhverju leyti rakið slóð fiska með nokkurra sjólmílna nákvæmni er mjög mikilvæg framför frá því að vita ekkert um verustað þeirra milli merkingar og endurheimtu.

Lokaorð

Almennt eru miklir hagsmunir fölgir í aukinni þekkingu á sjávarföllum. Athuganir á sjávarföllum eru mjög mikilvægar fyrir atferlissóknir á nytjastofnum sjávar þar sem sjávarföll og straumar ráða miklu um atferli og takt sjávarlífsins. Einnig má benda á að rannsóknir sem tengjast öryggi sjófarenda og umhverfismálum byggja m.a. á góðri þekkingu á sjávarföllum, má þar nefna dreifingu mengandi efna í sjó, rek gúmmibáta og rek hafíss. Hafrannsóknastofnunin er leiðandi í þessu verkefni og hefur af því ýmsan ávinning, aðallega vegna rannsóknarhagsmuna og í vöktunarverkefnum stofnunarinnar. Með þessu verkefni verður m.a. til betur kvarðað sjávar-



19. mynd. Staðsetning mælimerkis sem mælir á þekktri staðsetningu við Garðsskaga (merkt með +). Líklegar staðsetningar fundnar með sjávarfallastaðsetningarkerfi frá Lowestoft með tengingu við sjávarfallagagnagrunn VST eru sýndar með o.

Figure 19. A DST-tag attached to an anchor at a fixed location (+). Possible locations (o) based on VST's current database over the characteristics of tidal movement around Iceland, found using TLM developed at CEFAS.

fallalíkan fyrir hafsvæðið umhverfis Ísland, sjávarfallagagnagrunnur fyrir Ísland, hugbúnaður til sjávarfallastaðsetningar (TLM) sem staðsetur fisk út frá sjávarföllum og kerfi sem finnur sjávarfallamynstur í mælimerkjum. Einnig verður til reynsla og þekking á úrvinnslu mælinga með rafeindamerktum þorski og við atferlisgreiningu út frá slíkum merkjum.

Heimildir

- Ezer, T. and G. L. Mellor, 1997. Simulations of the Atlantic Ocean with a free surface sigma coordinate ocean model, *J. Geophys. Res.*, 102(C7), 15,647-15,657.
- Gunnar Guðni Tómasson og Ólöf Rós Káradóttir, 2003. Nýtt sjávarfallalíkan fyrir Ísland. VST, *Gangverk* 1. tbl. 4. árgangur. Bls. 8-11.
- Gunnar Guðni Tómasson og Ólöf Rós Káradóttir, 2005a. A two dimensional numerical model of astronomical tide and storm surge in the North Atlantic Ocean. In: Proceedings of the Second International Coastal Symposium in Iceland, Hornafjörður, Iceland, June 5 – 8, 2005. Icelandic Maritime Administration.
- Gunnar Guðni Tómasson og Ólöf Rós Káradóttir, 2005b. Application of the two dimensional numerical model of astronomical tide and storm surge in the North Atlantic Ocean. In: Proceedings of the Second International Coastal Symposium in Iceland, Hornafjörður, Iceland, June 5 – 8, 2005. Icelandic Maritime Administration.
- Hunter E., J.N. Aldridge, J.D. Metcalfe and G.P. Arnold, 2003. Geolocation of free-ranging fish on the European continental shelf as determined from environmental variables. I. Tidal location method. *Marine Biology* 142:601-609.
- Holloway, P., 1996. A numerical model of internal tides with application to the Australian north west shelf. *J. Phys. Oceanogr.*, 26, 21-37.
- Jones H., 1974, Sea Fisheries Research; kafli "Objectives and Problems Related to Research into Fish behaviour (pp.261-275)".
- Jonsson, G.K., V. Thorsteinsson and M.S. Magnusson, 2005. Identification of patterns in cod behavior. In *Measuring Behavior 2005. Proceedings of the 5th International Conference on Methods and Techniques in Behavioral Research* (Wageningen, The Netherlands, 30 August - 2 September 2005). Edited by L.P.J.J. Noldus, F. Grieco, L.W.S. Loijens, P.H. Zimmerman. .
- Mellor, G. L. 2003. Users guide for a three-dimensional, primitive equation, numerical ocean model (June 2003 version), 53 pp., *Prog. in Atmos. and Ocean. Sci.*, Princeton University.
- Unnsteinn Stefánsson, 1994. Haffræði II. Háskólaútgáfan, Reykjavík.

ÚTBREIÐSLA OG ALDUR SKARKOLASEIÐA (*PLEURONECTES PLATESSA* L.) VIÐ STRENDUR ÍSLANDS / DISTRIBUTION AND AGE OF JUVENILE PLAICE (*PLEURONECTES PLATESSA* L.) OFF THE COASTS OF ICELAND

Björn Gunnarsson og Þór Heiðar Ásgeirsson
Hafrannsóknastofnuninni

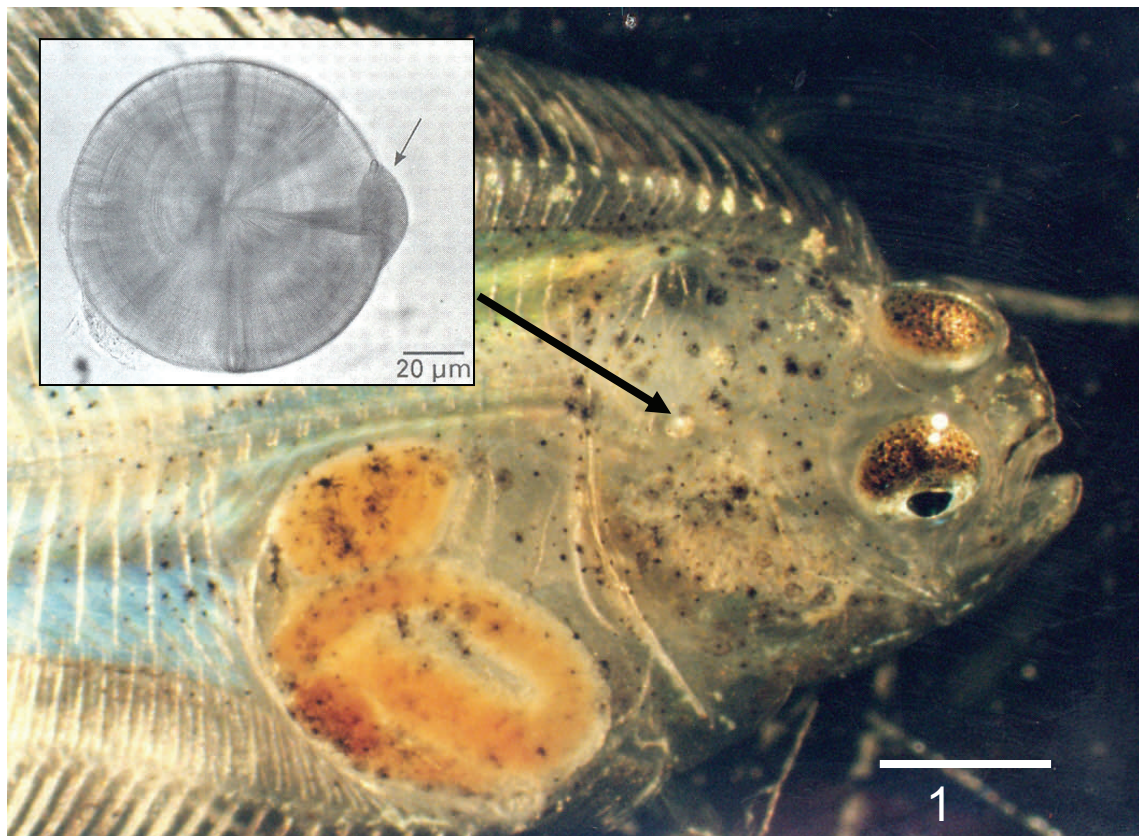
Inngangur

Skarkolinn (*Pleuronectes platessa* L) er mikilvægur nytjafiskur og mjög algengur á grunnslóð allt í kringum landið. Í mars mánuði er mest af honum úti fyrir vestan- og sunnanverðu landinu en minna fyrir norðaustan land samkvæmt gögnum úr togararalli Hafrannsóknastofnunarinnar. Talið er að hrygning skarkola fari að mestu leyti fram á 50-100 metra dýpi sunnan- og suðvestanlands en einnig að hrygning eigi sér stað undan Vestfjörðum og í minna mæli út af Norðurlandi (Karl Gunnarsson *et al.*, 1998). Frá megin hrygningarstöðvunum er talið að egg og ungvíði berist með straumum til norðurs með Vesturlandi og síðan til austurs úti fyrir Norðurlandi (Tåning, 1929). Hrygnandi skarkola er að finna allt í kringum landið og

jafnframt finnast vel aðgreindar hrygningareiningar á ákveðnum svæðum (Jón Sólmundsson *et al.*, 2005). Tilgangur rannsóknanna sem hér er greint frá er að auka skilning á uppruna skarkolaseiða við Ísland. Til þess var útbreiðsla, aldur og vöxtur seiða við landið kannaður og í framhaldinu er ætlunin að tengja þessa þætti við upplýsingar um strauma og rekhraða og þannig áætla frá hvaða svæðum seiðin eru.

Söfnun og aðferðir

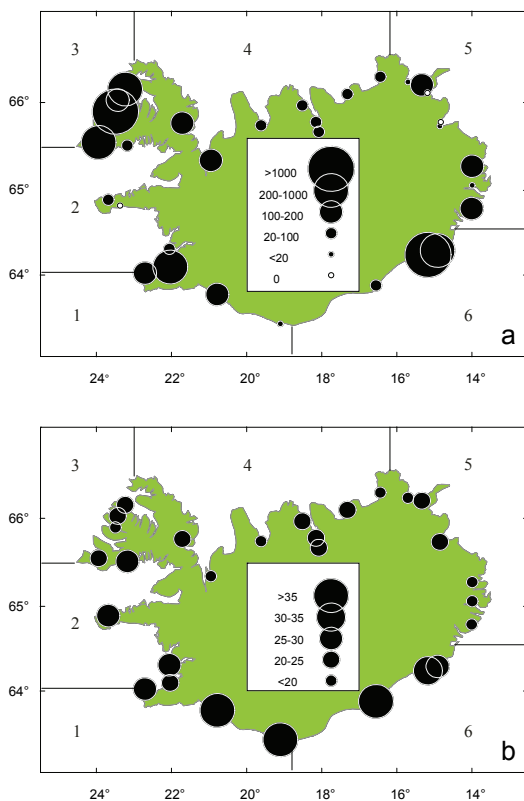
Í júlí 2006 var farinn leiðangur hringinn í kringum landið og sýni tekin á 32 stöðvum. Leitast var við að dreifa sýnasöfnun þannig að á sem stytum tíma fengist heildstæð mynd af fjölda og lengdardreifingu skarkolaseiða allt í



20. mynd. U.þ.b. 60 daga gamalt myndbreytt skarkolaseiði (*Pleuronectes platessa*). Í hausnum má greina kvarnirnar. Á innfelldu myndinni sést kvörn með greinilegan aukakjarna sem örin bendir á (Ljós. Björn Gunnarsson).

Figure 20. Juvenile plaice (*Pleuronectes platessa*), about 60 days old. The otoliths are visible in the head. Inserted: Sagittal otolith with clear accessory primordia which the arrow points to (Photo: Björn Gunnarsson).

kringum landið. Sýnin voru tekin með bjálkatrolli sem dregið var með handafla í fjöruborðinu. Á hverri stöð voru tekin tvö til þrjú tog á u.þ.b. 1 m dýpi og var vegalengdin mæld með GPS staðsetningartæki. Togin voru á bilinu 50 – 150 metrar sem réðist nokkuð af því hversu torfært var um botninn hverju sinni. Stöðvarnar voru teknar þar sem aðstæður leyfðu og réði þar mestu aðkoma að svæðinu, botngerð og hversu opnar fjörur voru fyrir brimi. Þá voru sýni eingöngu tekin þegar lágsjávað var vegna þess hversu mjög skarkolinn dreifist um fjöruna þegar hátt er í sjó. Öll skarkolaseiði úr hverju togi voru flokkuð og talin. Á hverri stöð voru a.m.k 100 seiði lengdarmæld og þau síðan varðveitt í 96 % etanóli. Alls veiddust um 8000 seiði í leiðangrinum og af þeim voru u.þ.b. 2500 lengdarmæld. Umhverfis Ísland voru skilgreind 6 svæði og voru um 100 seiði af hverju svæði valin af handahófi og þau kvörnuð. Báðar stóru heyrnarkvarnirnar (Sagitta) voru fjarlægðar úr höfði seiðanna, þær límdar á smásjargler,



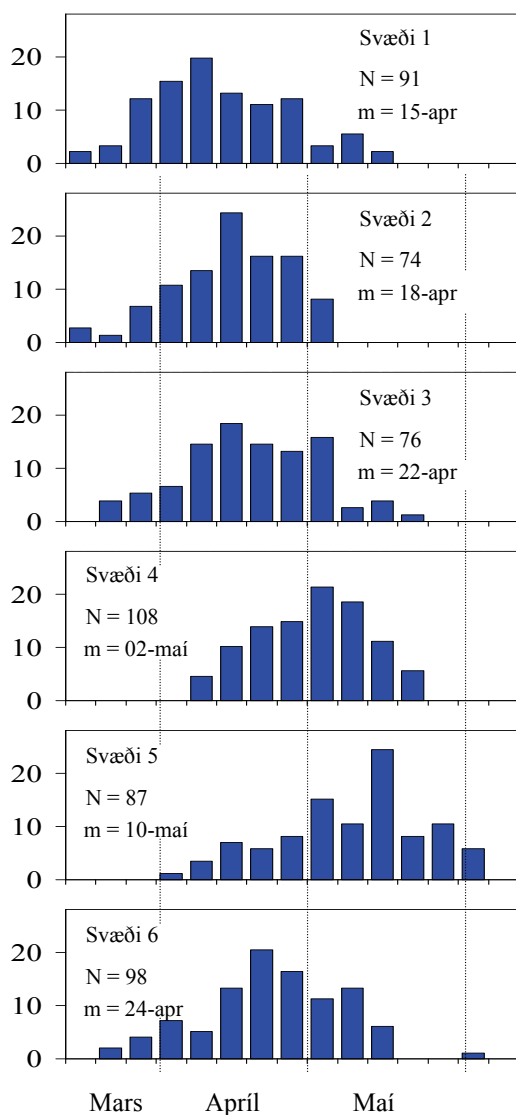
21. mynd. Þéttleiki (einstaklingar 100 m^2) a) og meðallengd (mm) b) skarkolaseiða (*Pleuronectes platessa*) í sýnatökum við Ísland síðari hluta júlímánaðar 2006. Tölur sýna skiptingu landgrunnans í svæði.

Figure 21. Abundance (individuals 100 m^2) a) and mean length (mm) b) of juvenile plaice (*Pleuronectes platessa*) sampled around Iceland in late July 2006. Numbers indicate different coastal regions.

slípaðar á báðum hliðum og loks aldursgreindar. Út frá aldrinum er hægt að reikna klakdag ungvíðisins. Lirfur flatfiska eru í fyrstu samhverfar líkt og bolfiskar og synda með bakið upp. Síðar ganga lirfurnar í gegnum myndbreytingu en við það “snýst” seiðið um 90 gráður og vinstra augað flyst yfir á hægri hliðina. Samhliða þessu fer seiðið að taka botn. Þar með breytist staða kvarnanna í hausnum þannig að kalkmyndunin í þeim byrjar út frá nýju horni. Við það myndast aukakjarnar í kvörnunum sem auðvelt er að greina í smásjá (20. mynd, innfelld mynd). Með því að telja dægurhringina frá klakring og út að fyrsta aukakjarnanum má þannig dagsetja botntöku seiðanna nokkuð nákvæmlega og þann tíma sem ungvíðið hefur verið sviflægt (Modin *et al.*, 1996).

Niðurstöður og umræða

Skarkolaseiði fundust nánast á hverri stöð þar sem togað var með bjálkatrolli (21. mynd a). Mestur var þéttleikinn við Vestfirði og við Höfn í Hornafirði eða um 1000 seiði á hverja 100 m^2 . Þá var mikið af seiðum við Álftanes og Ölfusárósa. Þess ber að geta að aðstæður við suðurströnd Íslands eru víða óhentugar fyrir uppeldi skarkolaseiða sökum brims. Ekki er þó ólíklegt að í ósum og lónum sé að finna hentug svæði en hér er þörf á frekari rannsóknum. Í þessum leiðangri fundust í fyrsta sinn skarkolaseiði við suðurströnd Íslands. Skýr fallandi kom fram í stærð seiða frá suðurströndinni og vestur með landinu og síðan áfram með norðurlandi og austur á firði (21. mynd b). Stærstu seiðin er að finna við ósa Ölfusár með meðallengd um 35 mm, en þau minnstu fundust austur á fjörðum þar sem meðallengd var um 17 mm. Fyrstu niðurstöður úr aldursgreiningum benda til þess að stærðarmun á milli seiða megi fyrst og fremst rekja til mismunandi aldurs en ekki vaxtarhraða. Þannig klöktust seiðin við Suður- og Vesturland (21. mynd, svæði 1, 2 og 6) út í mars og apríl en seiðin fyrir norðan og austan land (svæði 4 og 5) í apríl og maí (22. mynd). Skarkolalirfur þroskast hraðar eftir því sem hitastig sjávar vex og ráða því umhverfisaðstæður nokkru um hve lengi þær eru sviflægar (Russell, 1976). Lirfurnar voru sviflægar að jafnaði í 55 daga í hlýja sjónum ($6 - 7 \text{ }^\circ\text{C}$ í mars og apríl) við Suðurland. Á kaldari svæðum ($1 - 4 \text{ }^\circ\text{C}$ á sama tíma) stóð það tímabil u.þ.b. viku lengur og er sú niðurstaða sambærileg við rannsóknir í Norðursjó (Karakiri og Westernhagen, 1989). Tími frá hrygningu að klaki er einnig háður



22. mynd. Dreifing klakdaga hjá skarkolaseiðum (*Pleuronectes platessa*) við strendur Íslands síðari hluta júlímánaðar 2006.

Figure 22. Hatch-date distribution of 0-group plaice (*Pleuronectes platessa*) according to regions, sampled along the coast of Iceland in late July 2006.

hitastigi sjávar. Í hlýja sjónum við suðurströndina má búast við að klaktími skarkolaseggja sé um 15 dagar en allt að 25 dagar í kalda sjónum við Ísland (Hyder og Nash, 1998). Þar með má áætla að rektími hrogn og lirfa frá hrygningu að botntöku sé um 70 – 90 dagar. Þessar niðurstöður styðja þá kenningu að skarkolaseiði við landið komi að einhverju leyti eða jafnvel að stórum hluta frá staðbundnum hrygningareiningum við landið. Ef seiðin ættu að rekja uppruna sinn að stórum hluta til hrygningar við Suðvesturland þá mætti búast við fleiri stórum og eldri seiðum á öðrum svæðum. Athuganir Hafrannsóknastofnunarinnar (Héðinn Valdimarsson, óbirt

gögn) benda til þess að rekhraði frá Ölfusárósum að Hornbjargi sé að lágmarki 90 dagar. Þar með er nær útilokað að skarkolaseiði við norður- og austurströnd landsins séu upprunnin við Suðvesturland.

Í framhaldi af þessum rannsóknum er áhuga-vert að tengja niðurstöðurnar við líkön sem líkja eftir straumum og reki á hafsvæðinu við landið (Logeman og Harms, 2006). Það gæti varpað ljósi á mikilvægi mismunandi hrygningareininga skarkolans og hugsanlega nýst til þess að bæta fiskveiðiráðgjöfina og gera hana hnitmiðaðri í framtíðinni.

Heimildir:

- Gunnarsson, K., Jónsson, G., Pálsson, Ó.K., 1998. Sjávarnyttjar við Ísland. Reykjavík, Mál og menning, 280 pp.
- Hyder, K. & Nash, R.D.M., 1998. Variations in settlement pattern of Irish Sea plaice (*Pleuronectes platessa* L.) as determined from a simulation model. *Journal of Sea Research*, 40
- Karakiri, M. & Westernhagen H.v., 1989. Daily growth patterns in otoliths of larval and juvenile plaice (*Pleuronectes platessa* L.): influence of temperature, salinity, and light conditions. – Rapp. P.-v. Réun. Cons. Int. Explor. Mer, 191: 376-382.
- Logemann, K. og Harms, I., 2006. High resolution modelling of the North Icelandic Irminger Current (NIIC). *Ocean Sci.*, 2, 291-304.
- Modin, J., Fagerholm, B., Gunnarsson, B. og Pihl, L. 1996. Changes in otolith microstructure at metamorphosis of plaice, *Pleuronectes platessa* L. *ICES Journal of Marine Science*, 53: 745-748.
- Russell, F.S., 1976. The eggs and planktonic stages of British marine fishes. Academic press, London. 524 pp.
- Solmundsson, J., Pálsson, J., & Karlsson, H. 2005. Fidelity of mature Icelandic plaice (*Pleuronectes platessa*) to spawning and feeding grounds. *ICES Journal of Marine Science*, 62: 189-200.
- Tåning, Å.V., 1929. Plaice investigations in Icelandic waters. *Rapp.P.-v. Réun.* Vol. LVII. 134 bls.

**FÆDUVISTFRÆÐILEG TENGL ALGENGRA ÚTHAFSTEGUNDA Á
REYKJANESHRYGG KÖNNUÐ MEÐ FITUSÝRUM OG STÖÐUGUM SAMSETUM /
TROPHIC INTERACTIONS OF THE PELAGIC ECOSYSTEM OVER THE REYKJANES RIDGE AS
EVALUATED BY FATTY ACID AND STABLE ISOTOPE ANALYSES**

Hildur Pétursdóttir

Hafrannsóknastofnuninni

Inngangur

Framleiðni uppsjávarkerfisins yfir Reykjanes hryggnum er mikil (Gjøsæter & Kawaguchi 1980; Jakob Magnússon 1996). Gífurlega mikið magn af djúp- og miðsjávarlífverum koma fram á bergmálstækjum sem svonefndar djúpsjavarlóðningar („deep scattering layers“). Aðallega er hér um að ræða smávaxna miðsjávarfiska, marglyttur, smokkfiska og ljósátutegundir (Jakob Magnússon 1996; Ástþór Gíslason 2003). Fjölbreytileiki dýrasvifssamfélaga yfir hryggnum er hins vegar lítil og fáar ríkjandi tegundir. Þær algengustu eru krabbaflærnar rauðáta (*Calanus finmarchicus*), *Oithona* spp., *Oncaea* spp. og rekfló (*Pareuchaeta norvegica*), og ljósátutegundirnar sporðkríli (*Thysanoessa longicaudata*) og náttlampi (*Meganyctiphanes norvegica*) (Beaugrand o.fl. 2000; Ástþór Gíslason 2003). Algengustu fiskistofnarnir í Grænlandshafi eru úthafskarfi (*Sebastes mentella*), ýmsar tegundir laxsilda og slóansgelgja (Jakob Magnússon 1996; Þorsteinn Sigurðsson o.fl. 2002). Dýrasvif, einkum ljósáta og rauðáta, er mikilvæg fæða þessara fiska (Sameoto 1988; Jakob Magnússon & Jutta Magnússon 1995).

Hefðbundin aðferð við að meta fæðu lífvera er að greina magainnihald þeirra, en sú aðferð er bæði tímafrek og gefur einungis upplýsingar um magainnihald þegar söfnun fer fram. Nýstárlegri aðferðir við að meta fæðutengsl eru fólgnar í því að kanna fitusýrusamsetningu lífvera og mæla stöðugar samsætur kolefnis og köfnunarefnis ($\delta^{13}\text{C}$ og $\delta^{15}\text{N}$). Fitusýruinnihaldið segir að einhverju leyti til um fæðu á undanförunum vikum og mánuðum, en stöðugar samsætur um fæðuvistfræðilega stöðu, þ.e. á hvaða þrepi fæðuvefsins viðkomandi lífvera er (Hobson o.fl. 1995; Dahl o.fl. 2003). Ákveðin hækkun er á gildum kolefnis og köfnunarefnis samsæta upp eftir fæðukeðjunni (Minagawa & Wada 1984; Hobson o.fl. 1995), en kolefnissamsætur hafa einnig verið notaðar til að rekja uppruna kolefnis þ.e.a.s. til frumframleiðenda (Peterson & Fry 1987; Søreide o.fl. 2006). Fitusýrur eru notaðar sem líffræðileg sporefni („fatty acid trophic markers“, FATM) en ákveðnir hópar

þörunga og dýrasvifs hafa einkennandi fitusýrur sem breytast lítið sem ekkert upp eftir fæðukeðjunni (Dalsgaard o.fl. 2003). Hinar nýju aðferðir hafa þann kost fram yfir hinar hefðbundnu að þær veita mikilvægar upplýsingar um „fæðusögu“, þ.e. fæðunám yfir lengri tíma (Fry 1988; Dalsgaard o.fl. 2003).

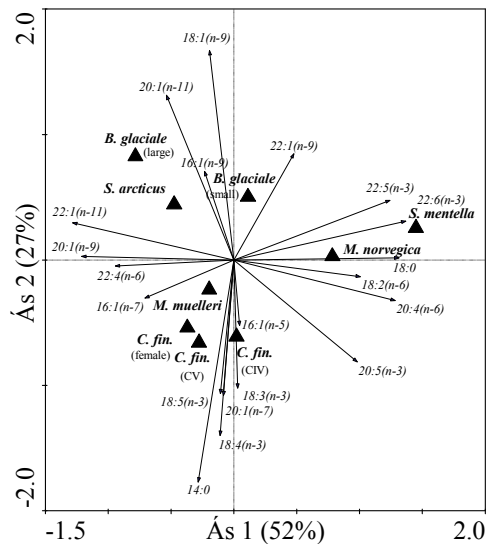
Verkefnið sem hér er greint frá (Hildur Pétursdóttir 2006) fjallaði um fæðuvistfræðileg tengsl og stöðu algengra úthafs- og uppsjávartegunda á Reykjanes hrygg í júní 2003 og 2004. Kannaðar voru sex algengar tegundir í úthafinu, krabbaflóin rauðáta, ljósátan náttlampi, rækjan tröllarækjubróðir (*Sergestes arcticus*) og þrjár tegundir miðsjávarfiska, þ.e. ísalaxsild (*Benthosema glaciale*), norræna gulldepla (*Maurolicus muelleri*) og djúpkarfi (*Sebastes mentella*). Verkefnið er hluti af fjölþjóðlega rannsóknáttakinu MAR-ECO („Patterns and processes of the Ecosystems of the northern Mid-Atlantic“), sem beinist að vistkerfi Mið-Atlantshafshryggjarins milli Íslands og Azoreyja.

Niðurstöður og umræður

Calanus tegundir eru merkilegar að því leyti að þær framleiða sínar eigin einkennandi fitusýrur, 20:1(n-9) og 22:1(n-11), sem ekki er vitað til að aðrar lífverur framleiði (Dalsgaard o.fl. 2003). Þar af leiðandi eru þessar fitusýrur mjög góð sporefni sem er gríðarlega mikilvægt í ljósi mikilvægis *Calanus* tegunda í uppsjávaramfélaginu á Reykjanes hrygg (Ástþór Gíslason 2003).

Í ljós kom að *Calanus* tegundirnar, rauðáta og póláta (*C. hyperboreus*), voru mikilvæg fæða í uppsjávaramfélaginu yfir Reykjanes hrygg sem sést m.a. á háu gildi fitusýra (sporefna) einkennandi fyrir *Calanus* tegundir, frá 15% hjá náttlampi í 45% hjá stærri ísalaxsildum.

Fitusýrusamsetning neytenda endurspeglar gjarnan samsetningu bráðar (Dalsgaard o.fl. 2003). Með því að beita fjölþáttgreiningu á fitusýrusamsetningu lífveranna komu tvær megin fæðuleiðir (keðjur) í ljós (23. mynd). Annars vegar leið þar sem krabbaflær af ættkvíslinni *Calanus* voru mikilvægar sem fæða, svo sem fyrir smávöxnu miðsjávarfiskana



23. mynd. Fjölbáttgreining (Redundancy analysis – RDA) á fitusýrusamsetningu mismunandi þroskastiga rauðátu (*C. finmarchicus*), náttlampa (*M. norvegica*), tröllarækjubróður (*S. arcticus*), norrænu gulldeplu (*M. muelleri*), ísalaxsild (*B. glaciale*) (tveir stærðarhópar) og djúpkarfa (*S. mentella*). Þríhyrningar tákna viðkomandi tegundir (meðaltalsgildi) og örvarnar tákna fitusýrur og benda í þá átt sem mesta aukning er á viðkomandi fitusýru. Tegundirnar voru settar inn í greininguna sem „dummy“ breytur (umhverfisbreytur) og fitusýrur sem svarbreytur. Breytileiki sem skýrist af hverjum ás er gefinn í sviga.

Figure 23. Redundancy analysis (RDA) plot based on fatty acid values of different individuals of *Calanus finmarchicus* (copepodid stage CIV, CV and female), *Meganyctiphanes norvegica*, *Sergestes arcticus*, *Maurolicus muelleri*, *Benthosema glaciale* (two size groups) and *Sebastes mentella*. Triangles indicate mean values of the respective species. The species were applied as dummy variables (environmental variables) and fatty acids as response variables. The fraction of unconstrained variance accounted for by each axis is given in bracket.

Ísalaxsild og norrænu gulldeplu og rækjuna tröllarækjubróður. Hins vegar leið þar sem ljósátan náttlampi var aðalfæða karfans og *Calanus* tegundir ekki eins mikilvægar. Marktækur munur var á fitusýrusamsetningu þeirra tegunda sem kannaðar voru (Monte Carlo $F = 16.5$, $p = 0.002$).

Ungviði rauðátu virtist éta meira af svipuþörungum en þær sem voru eldri, sem einkum átu kísilþörunga, þannig reyndist hlutfallslega meira af fitusýrum svipuþörunga en kísilþörunga í vef yngri rauðata en þeirra sem voru eldri. Í fullorðnum kvendýrum var hlutfallslega meira af kísilþörungafitusýrum en fitusýrum frá svipuþörungum. Eldri dýr framleiddu einnig meira af sínum einkennandi fitusýrum en yngri dýr (23. mynd).

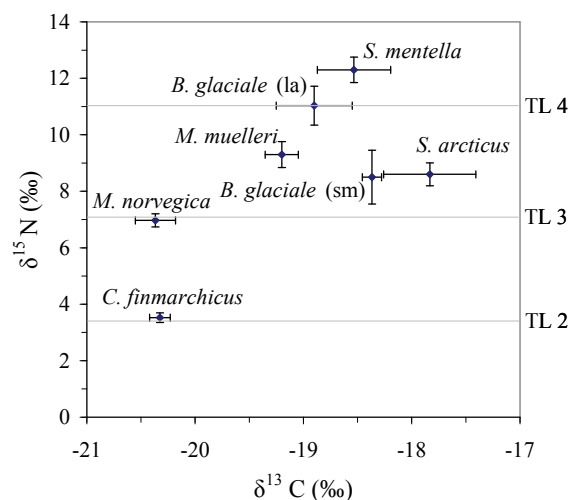
Náttlampi er alæta og étur bæði þörunga og dýrasvif. Því til stuðnings mældust m.a. frekar há gildi af fitusýrunni 18:1(n-9) miðað við hjá svipuþörungum (23. mynd) en þessi fitusýra er vísbending um kjótát (Falk-Petersen o.fl. 2000; Dalsgaard o.fl. 2003). Hins vegar hafði

náttlampi frekar lág gildi af fitusýrum einkennandi fyrir *Calanus* tegundir og hlutfallslega hærri gildi af svokölluðum þörunga-fitusýrum. Ennfremur kom í ljós að kolefnisgildi náttlampa og rauðátu voru svipuð sem gefur til kynna að *Calanus* tegundir voru ekki mikilvægur hluti af fæðu náttlampa (24. mynd).

Smávöxnu miðsjávarfiskarnir norræna gulldepla og minni ísalaxsildar átu rauðátu sem sjá má m.a. hlutfallslegu magni *Calanus* sporefna sem og heildarfitusýrusamsetningu lífveranna (23. mynd). Stærri ísalaxsildar og tröllarækjubróðir völdu frekar pólátu sem er þekkt fyrir að hafa herra magn af *Calanus* sporefnum sem og annað hlutfall en rauðata (Scott o.fl. 2002).

Allar tegundirnar átu í efri lögum sjávar fyrir utan tröllarækjubróður sem virtist einnig éta við botn sem greina mátti af hlutfallslega háum gildum á kolefnissamætum (24. mynd), en hræ og botndýr hafa hærri kolefnisgildi en uppsjávartegundir (McConnaughey & McRoy 1979; Tamelander o.fl. 2006). Rauðata var á lægsta fæðuþrepi (2) af þeim tegundum sem kannaðar voru og karfinn á því efsta (4.3, 24. mynd).

Þessar aðferðir hafa reynt mjög öflugar við að meta fæðutengsl lífvera og stefnir Haf-rannsóknastofnunarinnar að því að nota þær áfram, til að mynda við rannsóknir á fæðuvistfræði loðunnar.



24. mynd. Stöðugar samsætur köfnunarefnis og kolefnis hjá rauðátu (*C. finmarchicus*), náttlampa (*M. norvegica*), tröllarækjubróður (*S. arcticus*), norrænu gulldeplu (*M. muelleri*), ísalaxsild (*B. glaciale*) (tveir stærðarhópar, la = stærri og sm = minni) og djúpkarfa (*S. mentella*). Gildin tákna meðaltöl \pm staðalfrávik og TL tákna reiknað fæðuþrep.

Figure 24. Stable isotopes of nitrogen and carbon from *C. finmarchicus*, *M. norvegica*, *S. arcticus*, *M. muelleri*, *B. glaciale* (two size groups, la = larger and sm = smaller) and *S. mentella*. Values are mean \pm standard error and TL indicates trophic level.

Heimildir

- Ástþór Gíslason 2003. Life-cycle strategies and seasonal migrations of oceanic copepods in the Irminger Sea. *Hydrobiologia* 503: 195-209.
- Beaugrand G., Reid P.C., Ibanez F. & Planque B. 2000. Biodiversity of North Atlantic and North Sea calanoid copepods. *Marine Ecology Progress Series* 204: 299-303.
- Dahl T.M., Falk-Petersen S., Gabrielsen G.W., Sargent J.R., Hop H. & Millar R.M. 2003. Lipids and stable isotopes in common eider, black-legged kittiwake and northern fulmar: a trophic study from an Arctic fjord. *Marine Ecology Progress Series* 256: 257-269.
- Dalsgaard J., St John M., Kattner G., Muller-Navarra D. & Hagen W. 2003. Fatty acid trophic markers in the pelagic marine environment. *Advances in Marine Biology* 46: 225-340.
- Falk-Petersen S., Hagen W., Kattner G., Clarke A. & Sargent J. 2000. Lipids, trophic relationships, and biodiversity in Arctic and Antarctic krill. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 57: 178-191.
- Fry B. 1988. Food web structure on Georges Bank from stable C, N, and S isotopic compositions. *Limnology and Oceanography* 33: 1182-1190.
- Gjøsæter J. & Kawaguchi K. 1980. A review of the world resources of mesopelagic fish. FAO Fisheries Technical Paper 193: 150 pp.
- Hildur Pétursdóttir 2006. *Trophic interactions of the pelagic ecosystem over the Reykjanes Ridge as evaluated by fatty acid and stable isotope analyses*. Meistaraprófsritgerð við Raunvísindadeild H.Í. Reykjavík. 59 bls.
- Hobson K.A., Ambrose Jr. W.G. & Renaud P.E. 1995. Sources of primary production, benthic-pelagic coupling, and trophic relationships within the North-east Water Polynya: Insights from $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ analysis. *Marine Ecology Progress Series* 128: 1-10.
- Jakob Magnússon 1996. The deep scattering layers in the Irminger Sea. *Journal of Fish Biology* 49: 182-191.
- Jakob Magnússon & Jutta V. Magnússon 1995. Oceanic redfish (*Sebastes mentella*) in the Irminger Sea and adjacent waters. *Scientia Marina* 59: 241-254.
- McConnaughey T. & McRoy C.P. 1979. Food-web structure and the fractionation of carbon isotopes in the Bering Sea. *Marine Biology* 53: 257-262.
- Minagawa M. & Wada E. 1984. Stepwise enrichment of ^{15}N along food chains: further evidence and the relation between $\delta^{15}\text{N}$ and animal age. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 48: 1135-1140.
- Peterson B.J. & Fry B. 1987. Stable isotopes in ecosystem studies. *Annual Review of Ecology and Systematics* 18: 293-320.
- Sameoto D.D. 1988. Feeding of lantern fish *Benthosema glaciale* off the Nova Scotia Shelf. *Marine Ecology Progress Series* 44: 113-129.
- Scott C.L. Kwasniewski S., Falk-Petersen S. & Sargent J.R., 2002. Species differences, origins and functions of fatty alcohols and fatty acids in the wax esters and phospholipids of *Calanus hyperboreus*, *C. glacialis* and *C. finmarchicus* from Arctic waters. *Marine Ecology Progress Series* 235: 127-134.
- Søreide J.E., Hop H., Carroll M.L., Falk-Petersen S. & Hegseth E.N. 2006. Seasonal food web structures and sympagic-pelagic coupling in the European Arctic revealed by stable isotopes and a two-source food web model. *Progress in Oceanography* 71(1): 59-87.
- Tamelander T., Renaud P.E., Hop H., Carroll M.L., Ambrose Jr. W.G. & Hobson K.A. 2006. Trophic relationships and pelagic-benthic coupling during summer in the Barents Sea Marginal Ice Zone, revealed by stable carbon and nitrogen isotope measurements. *Marine Ecology Progress Series* 310: 33-46.
- Þorsteinn Sigurðsson, Gunnar Jónsson & Sveinn Sveinbjörnsson 2002. Deep scattering layer over Reykjanes Ridge and in the Irminger Sea. *ICES CM M:09*: 22 pp.

ÁRSTÍMABUNDNAR BREYTINGAR Á GRÓÐURMAGNI Í YFIRBORÐI SJÁVAR
GREINDAR FRÁ GERVITUNGLI / ANNUAL CHANGES IN CHLOROPHYLL
CONCENTRATIONS AT THE SEA SURFACE ACCORDING TO SATELLITE MEASUREMENTS

Kristinn Guðmundsson
 Hafrannsóknastofnuninni

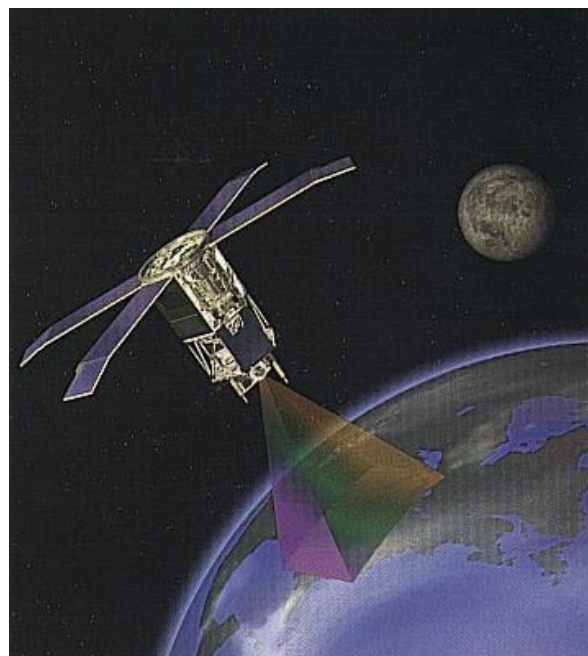
Allar plöntur innihalda blaðgrænu sem er mikilvægt fyrir ljóstillífunina. Nokkur afbrigði eru til af blaðgrænu, en a-blaðgræna er þeirra mikilvægust og mest áberandi að magni til. Miðað er við a-blaðgrænu hér. Þar sem aðrar lífverur en plönturnar mynda ekki blaðgrænu hefur magn þessa litarefnis verið notað sem mælikvarði á magn gróðurs í sjó. Á Haf-rannsóknastofnuninni hófust mælingar á blaðgrænumagnni í sjósýnum á öndverðum áttunda áratugi síðustu aldar. Megnið af öllum þeim sýnum sem mælt hefur verði síðan þá var safnað í árlegum rannsóknaleiðöngum, sem farnir eru umhverfis landið seinni hluta máí mánaðar. Landfræðileg dreifing sýnatökustaða á rannsóknasvæðinu í vorleiðöngum (1. mynd) er ágæt, en dreifing umræddrar sýnatöku yfir gróðurtímabilið, frá mars til nóvember, er öllu lakari.

Til að fá upplýsingar um framvindu gróðurs þarf reglubundnar mælingar á völdum stöðum yfir ár eða lengur. Slíkar upplýsingar eru aðeins til frá fáum stöðum umhverfis landið og í flestum tilfellum eru staðirnir nærri landi og inn á fjörðum. Almennt má því segja að upplýsingar skorti um gróðurframvindu í hafinu umhverfis landið yfir landgrunninum, sem er stærsti hluti af rannsóknasvæðinu sem stofnunin sinnir.

Hægt er að kanna magn blaðgrænu í sjó með mismunandi aðferðum, ýmist með beinum eða óbeinum mælingum. Miklar vonir voru t.d. bundnar við þróun nema sem komið var fyrir um borð í gervitunglum, fyrst í lok áttunda áratugar liðinnar aldar. Aðferðin byggir á því að blaðgræna drekkur í sig hluta litrófsins, einna mest á bláa bylgjusviðinu, en endurvarpar grænu ljósi, eins og nafn litarefnisins segir til um. Hlutfall blás og græns ljóss í endurvarpi frá yfirborði sjávar endurspeglar þannig magn gróðurs í efstu metrum sjávar. Aðferðin hefur dugað vel þar sem aðstæður eru góðar, en bæði lítil sólarhæð og nánast samfelld skýjahula takmarka nýtingu þessarar tækni til að fylgjast með framvindu gróðurs umhverfis Ísland.

Geimferðastofnun Norður Ameríku, NASA, hefur mælt blaðgrænu með gervitunglum nær samfelld frá árinu 1997. Lausn NASA á stopulum niðurstöðum mælinga frá hafsvæðum

þar sem skýjarhula er viðvarandi, eins og á norðanverðu Atlantshafi, er að slá saman öllum nothæfum niðurstöðum mælinga frá átta dögum í senn og reikna meðaltöl. Með því að draga þannig saman allar mælingar frá slitróttu rofi í skýjarhulunni yfir rúma viku í senn fæst í flestum tilfellum nær samfelld mynd af yfirborði sjávar. Meðaltöl með átta daga millibili sýna ágætlega framvindu gróðurs í sjó og því eru gögnin áhugaverð. Gerður var samanburður á myndum sem sýna útbreiðslu blaðgrænu, annars vegar samkvæmt mælingum í vorleiðöngum (sbr. 6. mynd) og hins vegar samtíma dreifingu blaðgrænu, samkvæmt átta daga meðaltölum SeaWiFS, fjölgeislanaema í Seastar gervitungli NASA (25. mynd). Sjónrænt mat gaf góða von um að samsvörunin væri ásættanleg og ákveðið var að kanna nánar mögulega nýtingu fyrirbyggjandi upplýsinga um dreifingu blaðgrænu samkvæmt mælingum frá gervitunglum.

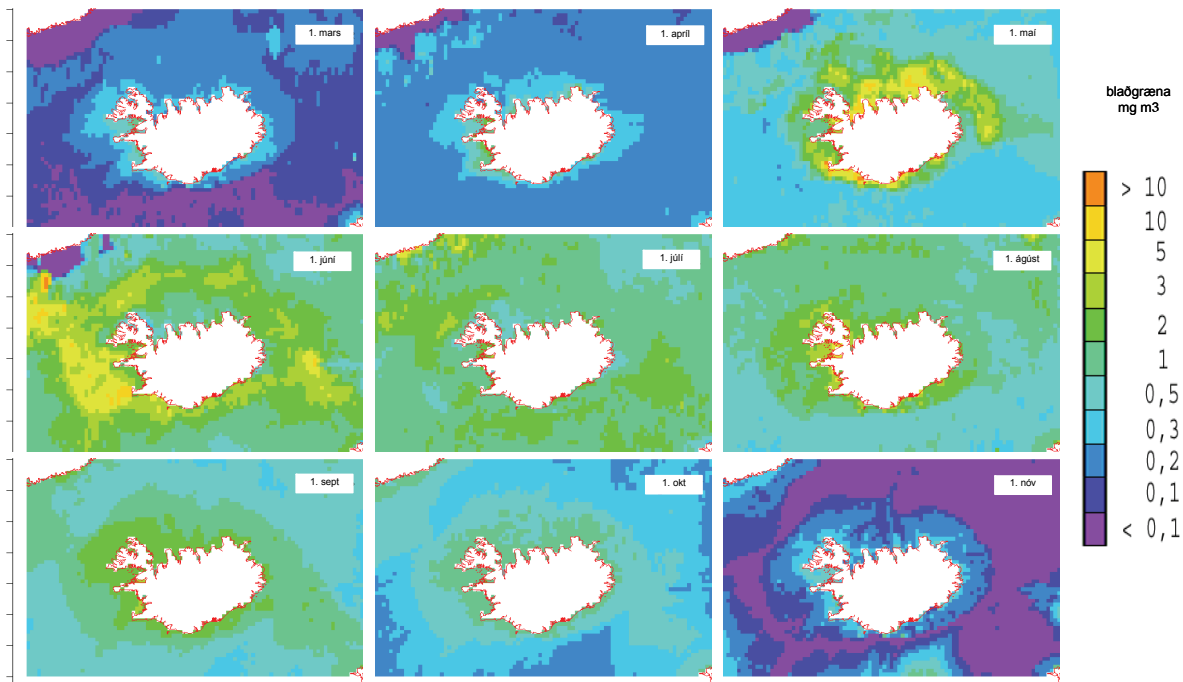


25. mynd. SeaWiFS fjölgeislamælir er um borð í gervitunglinu SeaStar, í 705 km hæð á sporbaug yfir pólsvæðum og skráir litbrigði á yfirborði jarðar.

Figure 25. SeaWiFS onboard the NASA satellite SeaStar, circulating the Earth on polar orbit in 705 km height, is measuring the reflected colour from the surface.

Clarke o.fl. (2006) rannsökuðu árstíða-bundna framvindu gróðurs á Norðaustur Atlantshafi og í Norðursjó og notuðu til þess fyrirliggjandi mælingar á sjósýnum og mælingar á blaðgrænu frá gervitungli. Niðurstaða samanturðar þeirra á fjölda mælinga á blaðgrænu úr efstu fimm metrum sjávar og tilsvareandi meðaltölum blaðgrænu samkvæmt mælingum SeaWiFS 1997 – 2002 er tölfræðilegt líkan sem lýsir dreifingu blaðgrænu yfir ár í yfirborði sjávar á Norður Atlantshafi og í Norðursjó. Clarke og félagar sýndu fram á að samsvörun milli átta daga meðaltala gervitunglamælinga á blaðgrænu og tilsvareandi mælinga í sjó á svæðinu jókst úr 38 % í 66 % eftir kerfisbundnar leiðréttingar samkvæmt líkaninu. En svæðið sem tekið var fyrir er stórt og áhrif umhverfis á endurvarp ljóss frá yfirborði sjávar eru verulega mismunandi í Norður Atlantshafi annars vegar og hins vegar í Norðursjó. Því var ekki að undra þótt niðurstöður í líkani Clarke o.fl. samræmdust ekki að öllu leyti hugmyndum um framvindu gróðurs við Ísland. Í rannsókn Clarke o.fl. (2006) var aðeins lítill fjöldi blaðgrænumælinga frá hafinu umhverfis Ísland, umtalsvert færri en þær mælingar sem eru fyrirliggjandi á Hafrannsóknastofnuninni. Því þótti rétt að endurtaka rannsóknina, þ.e.a.s. beita sömu aðferð á minna svæði en með meiri fjölda mælinga frá svæðinu.

Rannsóknarverkefnið var unnið í Aberdeen, í samvinnu við aðila sem stóðu að fyrrgreindri líkanagerð fyrir Norðaustur Atlantshaf. Skotarnir lögðu til aðferðina og nefnd meðaltöl mælinga SeaWiFS 1997 – 2002, þ.e.a.s. gildi fyrir hvern reit, 5' breiddar og 5' lengdar, á hafsvæði sem afmarkast af 62° norðlægrar breiddar til 69°N og 6,5° vestlægrar lengdar til 30°V. Sökum lítillar sólarhæðar á pólsvæðum er ekki mögulegt að mæla blaðgrænu frá gervitunglum um hávetur og blaðgrænumælingar á sjósýnum eru af skiljanlegum ástæðum fáar á þeim árstíma. Því var árstíminn í líkaninu takmarkaður við tímabilið frá miðjum febrúar til miðs nóvembers, en yfir háveturinn má gera ráð fyrir föstu lágu gildi fyrir magn blaðgrænu á öllu svæðinu ef grynningar við strendur landsins eru undanskildar. Með nefndum tímatakmörkum nær líkanið engu að síður yfir allt gróðurtímabil svifþörungna í hafinu við Ísland og gott betur. Gervitunglamælingarnar voru bornar saman við fyrirliggjandi blaðgrænumælingar á sjósýnum með sambærilegum hætti og gert var í rannsókn Clarke o.fl. (2006). Til að jafna dreifingu fyrirliggjandi blaðgrænumælinga á sjósýnum með tilliti til árstíma og sýnatöku-staða var af handahófi valið úr niðurstöðum ef fleiri en ein mæling var til fyrir hvern reit, sem náði yfir fjórðungs breiddargráðu og hálfra lengdargráðu, á hverju átta daga tímabili yfir ár.



26. mynd. Lárétt dreifing blaðgrænu (mg m-3), fyrsta dag hvers mánaðar frá mars til nóvember, samkvæmt tölfræðilegu líkani af framvindu gróðurs við yfirborðið á hafsvæðinu umhverfis Ísland.

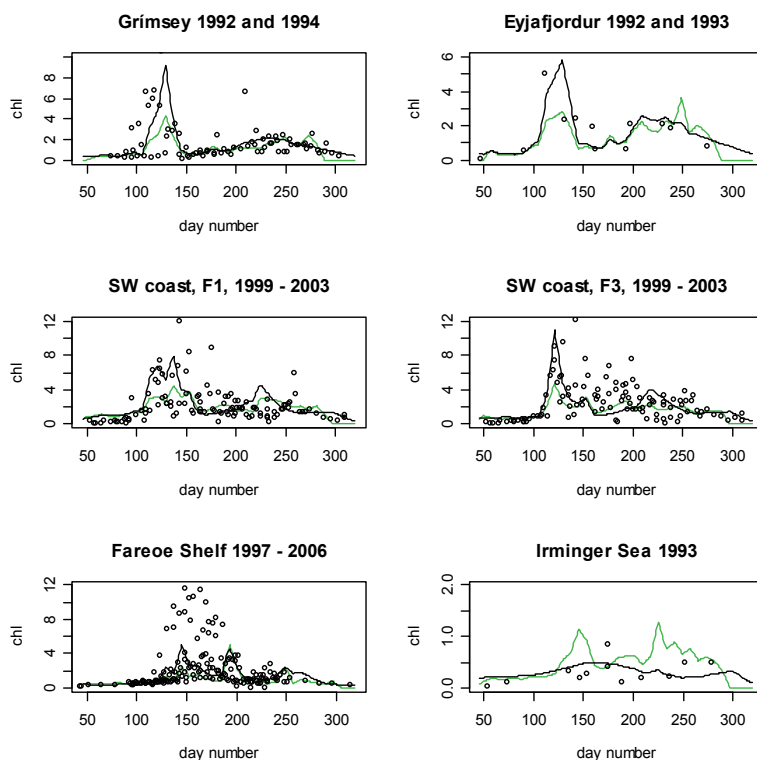
Figure 26. Horizontal distribution of average chlorophyll (mg m-3) at the surface according to a GAM model, showing the waters around Iceland for the first day of each month from March to November.

Átta hundruð blaðgrænumælingar voru þannig valdar til aðlögunar á líkaninu, eða um helmingur þeirra mælinga sem lágu fyrir og uppfylltu sett skilyrði. Hinn hluti mælinganna var svo notaður sem óháð gagnamengi til að bera saman spágildi líkansins við niðurstöður annarra rannsókna.

Samanburður á blaðgrænumælingum á sjósýnum og tilsvarandi spágildum líkansins sýnir að samsvörun miðað við 95 % öryggismörk fæst í 50 % tilfella ef samanburðurinn er gerður við þær mælingar sem notaðar voru til aðlögunar á líkaninu. Þegar spágildi líkansins eru borin saman við áður nefnt óháð gagnamengi lækkar samsvörunin í 30 %. Það er engu að síður verulega betri samsvörun en fæst þegar bornar eru saman mælingar á sjósýnum og óleiðréttar niðurstöður frá SeaWiFS, eins og þær eru birtar samkvæmt stöðluðum reikningsaðferðum NASA (O4V4, sbr. O'Reilly o.fl. 1998). Bæði óleiðréttar niðurstöður SeaWiFS og spágildi samkvæmt líkani Clarke o.fl (2006) samsvara aðeins í 18 % tilvikamælingum í óháða gagnamenginu. Af þessu er ljóst að sérkenni gróðurframvindu á hafsvæðinu umhverfis Ísland nást

umtalsvert betur fram í nýja tölfræðilíkaninu en með öðrum kynntum aðferðum. Árangurinn skýrist líklega fyrst og fremst af því að svæðið sem unnið var með er einsleitara en í viðmiðunaraðferðunum.

Eins og komið hefur fram lýsir líkanið meðalframvindu gróðurs á tilgreindu hafsvæði frá febrúar til nóvember (26. mynd). Ef dreifing og framvinda gróðurs samkvæmt spágildum líkansins er skoðuð á fyrsta degi hvers mánaðar, þá sést að gróðurmagn eykst almennt á öllu svæðinu með hækkandi sól. Gróðurmagn yfir landgrunninu er meira en utan þess megnið af árinu, en undantekning á sér stað þegar yfirborðssjór úthafsins nær að hitna um mánaðarmót maí/júní. Síðbúinn vöxtur í gróðri úthafsins varir fram í júlí er næringarþurrð í upphituðu yfirborðslaginu hamlar vexti svifþörungna á ný. Eitt af sérkennum svæðisins, sem kom fram í líkaninu, má sjá af framvindu gróðurs yfir landgrunninu norðan Íslands. Gróðuraukningin þar á sér oft stað tiltölulega snemma árs og gengur þar af leiðandi fyrir yfir en almennt á við umhverfis landið.



27. mynd. Ársferlar sem sýna breytingar í magni blaðgrænu (mg m^{-3}) á sex völdum stöðvum, þar sem reglubundnar mælingar á sjósýnum eru fyrirliggjandi. Myndirnar sýna niðurstöður mælinga á sjósýnum (deplar), staðlaðar niðurstöður NASA á magni blaðgrænu við yfirborð sjávar samkvæmt mælingum frá gervihnetti, SeaWiFS (grænn ferill) og leiðrétt blaðgrænu gildi samkvæmt tölfræðilíkani í umræddri rannsókn (svartur ferill).

Figure 27. Annual changes in chlorophyll (mg m^{-3}) in surface water at selected positions, according to standard conversions to chlorophyll, used by NASA (green line), average values according to the presented statistical model (black line) compared with the available measurements from sea samples (dots).

Með líkaninu má spá fyrir um meðalframvindu gróðurs við yfirborð á völdum stöðum sem fall af árstíma og spágildin má auðveldlega bera saman við t.d. runu mælinga á sjósýnum frá viðkomandi stöðum. Niðurstöðurnar má bera saman sem fall af tíma á línuriti (27. mynd) eða reikna fylgnina með einfaldri línulegri aðfallsgreiningu. Fylgni spágilda fyrir reit sunnan Grímseyjar við runu sýna frá sama stað reiknaðist þannig 21% og samsvarandi reiknaðist fylgnin 55% í minni Eyjafjarðar, 28% utan Ölfusárósa og 47% rétt vestan Vestmannaeyja.

Rannsóknin sýnir að með viðeigandi kvörðun má leiðrétta niðurstöður gervihnattamælinga yfir hafsvæðinu umhverfis Ísland. Næsta skref ætti að vera kvörðun sem nota má til að leiðrétta gervitunglamælingar jafn óðum og þær eru gerðar aðgengilegar. Til þess þarf samanburð á hæfilegu mengi gagnapara með niðurstöðum frá völdu gervitungli og mælingum á sjósýnum. Gagnapörin þurfa að passa saman bæði hvað varðar tíma og staðsetningu og þau þurfa að dreifast með tilliti til þeirra breytilegu skilyrða sem vænta má á svæðinu sem kvörðunin á að gilda fyrir. Ein leið til að safna sjósýnum með hæfilegri dreifingu í tíma er að nota sjálfvirkna sýnatökubúnað sem komið er fyrir í völdum skipum. Bílferjur, strandflutningaskip og millilandaskip, sem eru í reglubundnum siglingum, henta augljóslega vel (Kristinn Guðmundsson 2001, <http://www.ferrybox.org/>).

Niðurstöður blaðgrænumælinga frá gervihnetti, sem hafa verið leiðréttað í samræmi við viðeigandi kvarðanir, má nota til að meta árlega gróðurframvindu á viðkomandi svæðum. Árlegar upplýsingar um gróðurframvindu má nýta til rannsókna á af ýmsu tagi, t.d. rannsókna á hugsanlegum afleiðingum loftlagsbreytinga (Héðinn Valdimarsson o.fl. 2004). Breytingar í

gróðurmagni, ásamt niðurstöðum um birtumagn og afkastaferla ljóstillífunar (Kristinn Guðmundsson o.fl. 2004, 1996) má auk þess nota til að reikna frumframleiðslu (Kristinn Guðmundsson 2003, Kristinn Guðmundsson o.fl. 2002), en upplýsingar um frumframleiðslu má nýta til vistfræðilegra rannsókna, m.a. til rannsókna á vexti og afkomu lífvera á efri fæðuþrepum.

Heimildir

- Clarke, E.D., D.C. Speirs, M.R. Heath, S.N. Wood, W.S.C. Gurney and S.J. Holmes. 2006. Calibrating remotely sensed chlorophyll a data by using penalized regression splines. *Applied Statistic*, 55, 1-23.
- Héðinn Valdimarsson, Höskuldur Björnsson, Kristinn Guðmundsson. 2004. Breytingar á ástandi sjávar á Íslandsmiðum og áhrif þeirra á lífríkið. *Hafrannsóknastofnunin. Fjölrit*, 116: 23-28.
- Kristinn Guðmundsson. 2003. Blaðgræna og vöxtur svifgróðurs í Mjóafirði. Í: Karl Gunnarsson ritstj.: Umhverfisaðstæður, svifþörungur og kræklingur í Mjóafirði. *Hafrannsóknastofnunin. Fjölrit*, 92:65-76.
- Kristinn Guðmundsson 2001. Plöntusvif á leiðinni Eyjarþorlákshöfn. Morgunblaðið, Úr verinu, 7. mars.
- Kristinn Guðmundsson, Þórunn Þórðardóttir, Gunnar Pétursson. 2004. Computation of daily primary production in Icelandic waters; a comparison of two different approaches. *Hafrannsóknastofnunin. Fjölrit* 106, 24 s.
- Kristinn Guðmundsson, Ástþór Gíslason, Jón Ólafsson, Konráð Þórisson, Rannveig Björnsdóttir, Sigmar A. Steingrímsson Sólveig Ólafsdóttir, Öivind Kaasa. 2002. Ecology of Eyjafjörður Project. Chemical and biological parameters measured in Eyjafjörður in the period April 1992 - August 1993. *Hafrannsóknastofnunin. Fjölrit*, 89: 1-129.
- Kristinn Guðmundsson, Þórunn Þórðardóttir, Garðar Jóhannesson. 1996. Estimation of assimilation numbers in Icelandic waters. *ICES C.M.* 1996/L:30, 25 s.
- O'Reilly, J.E., S. Maritorena, B.G. Mitchell, D.A. Siegel, K.L. Carder, S.A. Garver, M. Kahru and C. McClain. 1998. Ocean colour chlorophyll algorithms for SeaWiFS. *Journal of Geophysical Research of the Oceans*, 103, 24937-24953.
- <http://www.ferrybox.org/> - vefsíða evrópuverkefnis um notkun mælíbúnaðar um borð í ferjum

FLÆÐI KOLDÍOXÍÐS MILLI SJÁVAR OG ANDRÚMSLOFTS Á HAFSSVÆÐINU UMHVERFIS ÍSLAND / SEA - AIR FLUX OF CARBON DIOXIDE IN ICELANDIC WATERS

Þórarinn Sv. Arnarson, Jón Ólafsson, Sólveig R. Ólafsdóttir og Magnús Danielsen
Hafrannsóknastofnuninni

Inngangur

Mikil upptaka á koldíoxíði er einkennandi fyrir íslenska hafssvæðið og norðan þess. Upptakan er ein sú mesta sem mælist á flatarmáls-einingu í heimshöfunum (Takahashi o.fl., 2007). Nýlegar rannsóknir benda til þess að mögulega sé þetta flæði að minnka vegna lækkandi mismunar á hlutþrýstingi koldíoxíðs milli sjávar og andrúmslofts (Lefèvre o.fl, 2004).

Hér er lýst mælingum gerðum með siritandi tækjabúnaði sem mælir hita, seltu og hlutþrýsting á koldíoxíði í yfirborði sjávar á siglingaleið skips í þremur leiðöngurum á árinu 2006, í maí, í júlí og í nóvember. Með mælingunum er hægt að fylgjast með upptöku koldíoxíðs í hafinu kringum Ísland og greina breytingar á þessu flæði með tíma. Þessar mælingar útvíkka þær rannsóknir á koldíoxíði sem hafa gerðar hafa verið síðan 1983 í hafinu umhverfis landið (Takahashi o.fl,1985; Takahashi o.fl.,1993).

Niðurstöður og umræða

Flæði koldíoxíðs milli sjávar og loft (F) er reiknað út með jöfnunni:

$$F = k \cdot \alpha \cdot \Delta pCO_2 \quad (1)$$

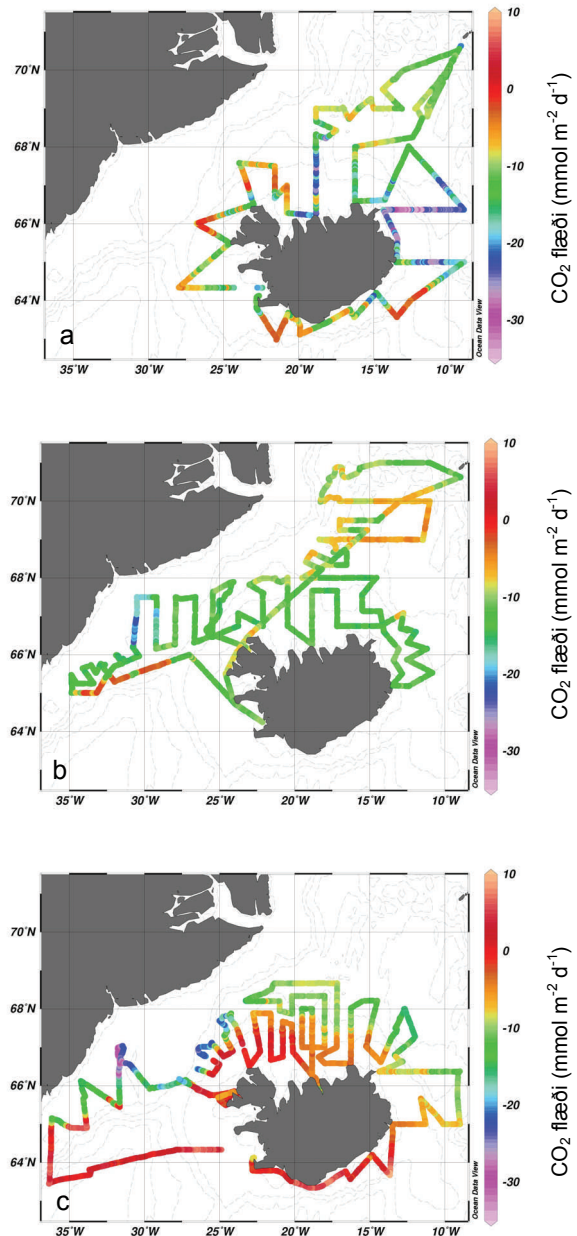
þar sem k er hraði gasskipta, α er leysni CO_2 í sjó og ΔpCO_2 er mismunur á hlutþrýstingi koldíoxíðs í sjó og andrúmslofti. Hraði gasskiptanna er háður vindhraða og er reiknaður út með jöfnunni:

$$k = 0,27 \cdot U^2 \cdot (Sc / 660)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

þar sem fastinn 0.27 er m.a. háður vindgögnunum sem eru notuð (Sweeney o.fl, 2007), U er vindhraði og Sc er Schmidt tala fyrir CO_2 sem er háð hita og seltu (Wanninkhof, 1992).

Gögnin sem eru notuð til að meta flæðið eru: (1) mælingar á pCO_2 , hita og seltu í yfirborði sjávar með siritandi mælitækjum, (2) hlutþrýstingur koldíoxíðs í andrúmslofti yfir Vestmannaeyjum úr GlobalView-CO2 (2006) gagnagrunninum og (3) mánaðarmeðaltöl af vindhraða úr NCEP/NCAR- gagnagrunninum (Kalnay *et al.*, 1996).

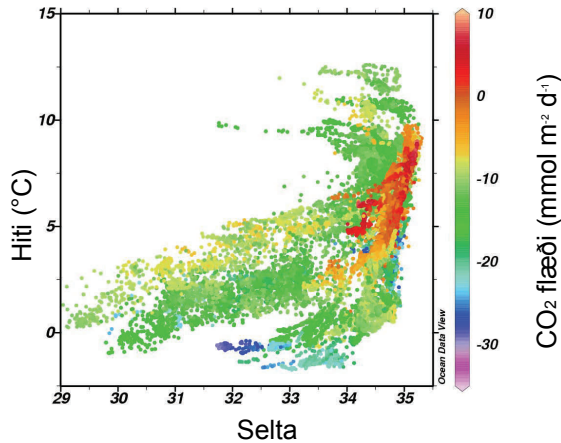
Í leiðöngrunum þremur árið 2006 (28. mynd) mældist flæði koldíoxíðs að mestu leyti frá lofti



28. mynd. Flæði koldíoxíðs milli sjávar og loft árið 2006 í a) maí, b) júlí og c) nóvember. Koldíoxíð flæðir frá sjó til loftis þegar gildin eru pösítíf, en flæðið er frá lofti til sjávar þegar gildin eru neikvæð.

Figure 28. Sea-air flux of CO_2 in a) May, b) July, and c) November of 2006. The ocean is a source of CO_2 when the flux is positive, and a sink for CO_2 when the flux is negative.

til sjávar (sýnt sem neikvæð gildi á 28. og 29. mynd). Það var einkum á svæðum þar sem Atlantssjór var ríkjandi sem flæðið var frá sjó til loftis (jákvæð gildi á 28. og 29. mynd). Ljóstíllifun þörungasvifs lækkar pCO_2 í yfirborði sjávar og sést það greinilega á gögnum frá



29. mynd. Hita-seltu línurit af yfirborðssjó úr leiðöngrunum þremur. Litur punktanna segir til um flæði koldíoxíðs frá sjó til loftis.

Figure 29. T-S diagram of surface sea water during the three cruises in 2006. The color of the dots represents the sea-air CO₂ flux

leiðangrinum í júlí þar sem flæðið var nánast alltaf um eða fyrir neðan $-10 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (28. mynd b). Mikið flæði vegna ljóstillifunar mældist einnig t.d. á Siglunessniði í vorleiðangri 2006 (28. mynd a). Á veturna, þegar aðstæður til ljóstillifunar eru ekki fyrir hendi, er samt mikið flæði frá lofti til sjávar á hafssvæðum þar sem Pólssjór er og töluvert flæði þar sem svalsjór er til staðar (28. mynd c).

Eiginleikar sjógerða hafa mikil áhrif á flæði koldíoxíðs (29. mynd). Flæði frá sjó til andrúmslofts er nánast eingöngu að finna í sjó með seltu yfir 34.5 (rauðir punktar á 28. og 29. mynd) sem er í samræmi við að sjór sem kemur sunnan úr Atlantshafi er nokkurn veginn í jafnvægi við andrúmsloftið með tilliti til koldíoxíðs (Olsen o.fl., 2006). Sjór með lægri seltu hefur að jafnaði flæði frá andrúmslofti til sjávar (grænir og bláir punktar á 28. og 29. mynd) þ.e. mikla upptöku á koldíoxíði. Þetta háa koldíoxíðflæði til seltulágs sjávar má rekja til hins mikla ferskvatnsrennslis sem fellur í Norður Íshaf. Það leiðir til þess að sjór sem á þar uppruna sinn er undirmettaður af koldíoxíði miðað við andrúmsloftið (Olsen o.fl, 2006).

Hækkandi styrkur koldíoxíðs í andrúmslofti af manna völdum gæti leitt til breytinga á flæði koldíoxíðs milli sjávar og loftis vegna breyttrar jafnvægisstöðu. Þegar eru vísbendingar sem benda til þess að slíkt sé að gerast í Norður-Atlantshafi (Lefèvre o.fl, 2004; Omar og Olsen, 2006). Það er mikilvægt að fylgjast náið með slíkum breytingum þar sem heimshöfin hafa tekið upp um 48% alls koldíoxíðs sem hefur verið losað síðan í upphafi iðnbyltingarinnar (Sabine o.fl 2004).

Heimildir

GLOBALVIEW-CO₂: Cooperative Atmospheric Data Integration Project - Carbon Dioxide. CD-ROM, NOAA GMD, Boulder, Colorado [líka hægt að nálgast gögnin á netinu með FTP frá ftp.cmdl.noaa.gov, slóð: ccg/co2/GLOBALVIEW], 2006

Kalnay, E., M. Kanamitsu, R. Kistler, W. Collins, D. Deaven, L. Gandin, M. Iredell, S. Saha, G. White, J. Woollen, Y. Zhu, M. Chelliah, W. Ebisuzaki, W. Higgins, J. Janowiak, K. C. Mo, C. Ropelewski, J. Wang, A. Leetmaa, R. Reynolds, R. Jenne, og D. Joseph, 1996. The NMC/NCAR 40-Year reanalysis Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437-471.

Lefèvre, N., A.J. Watson, A. Olsen, A.F. Ríos, F.F. Pérez og T. Johannessen, 2004. A decrease in the sink for atmospheric CO₂ in the North Atlantic. *Geophysical Research Letters*, 31, L07306, doi:10.1029/2003GL018957.

Omar, A.M. og A. Olsen, 2006. Reconstructing the time history of the air-sea CO₂ disequilibrium and rate of change in the eastern subpolar North Atlantic, 1972–1989. *Geophysical Research Letters*, 33, L04602, doi:10.1029/2005GL025425.

Olsen, A., A.M. Omar, R.G.J. Bellerby, T. Johannessen, U. Ninnemann, K.R. Brown, K.A. Olsson, J. Olafsson, G. Nondal, C. Kivimae, S. Kringstad, C. Neill og S. Olafsdóttir, 2006. Magnitude and origin of the anthropogenic CO₂ increase and ¹³C Suess effect in the Nordic seas since 1981. *Global Biogeochemical Cycles*, 20, GB3027, doi:10.1029/2005GB002669.

Sabine C.L., R. A. Feely, N. Gruber, R. M. Key, K. Lee, J. L. Bullister, R. Wanninkhof, C.S. Wong, D. W. R. Wallace, B. Tilbrook, F. J. Millero, T. H. Peng, A. Kozyr, T. Ono og A. F. Rios, 2004. The oceanic sink for anthropogenic CO₂. *Science*, 305, 367-371.

Sweeney, C., E. Gloor, A.R. Jacobson, R.M. Key, G. McKinley, J.L. Sarmiento og R. Wanninkhof, 2007. Constraining global air-sea gas exchange for CO₂ with recent bomb ¹⁴C measurements. *Global Biogeochemical Cycles*, í prentun.

Takahashi, T., J. Ólafsson, W. Broecker, J. Goddard, J. White og D. Chipman, 1985. Seasonal variability of the carbon-nutrient chemistry in the ocean areas west and north of Iceland. *Rit Fiskideildar* 9: 20-36.

Takahashi, T., J. Ólafsson, J.G. Goddard, D.W. Chipman og S.C. Sutherland, 1993. Seasonal variations of CO₂ and nutrients in the high-latitude surface oceans: a comparative study. *Global Biogeochemical Cycles* 4, 843-878.

Takahashi, T., S.C. Sutherland, R. Wanninkhof, C. Sweeney, R.A. Feely, D.W. Chipman, B. Hales, G. Friedrich, F. Chavez, A. Watson, D.C.E. Bakker, U. Schuster, N. Metzl, H. Yoshikawa-Inoue, M. Ishii, T. Midorikawa, C. Sabine, M. Hoppemma, J. Ólafsson, T.S. Arnarson, B. Tilbrook, T. Johannessen, A. Olsen, R. Bellerby, H.J.W. de Baar, Y. Nojiri, C.S. Wong og B. Delille, 2007. Climatological mean and decadal change in surface ocean pCO₂, and net sea-air CO₂ flux over the global oceans. Sent til birtingar.

Wanninkhof, R., 1992. Relationship between wind speed and gas exchange. *Journal of Geophysical Research*, 97, 7373-7382.

4. VIÐAUKI. UMHVERFISÞÆTTIR Í MAÍ-JÚNÍ 1952-2005*APPENDIX. ENVIRONMENTAL VARIABLES IN MAY-JUNE 1952-2005*

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.

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
2005	0,639	0,076	9,2	1,036
2006	0,069	0,079	5,4	1,276

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

Hafrannsóknastofnunin. Fjölrit

Marine Research Institute. Reports

Þessi listi ásamt öllum texta fjölritanna er nú aðgengilegur á netinu:
This list with full text of all the reports is now available on the Internet:

<http://www.hafro.is/Bokasafn/Timarit/fjolar.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 fjöruþörunga 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:** Stórþari á Breiðafirði. Reykjavík 1979. 53 s.
6. **Karl Gunnarsson:** Rannsóknir á hrossaþara (*Laminaria digitata*) á Breiðafirði. 1. Hrossaþari 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. Nyttjastofnar 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. Nyttjastofnar 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. Nyttjastofnar 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. Nyttjastofnar 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. Nyttjastofnar sjávar og umhverfisþættir 1991. Aflahorfur fiskveiðarárið 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. Nyttjastofnar sjávar og umhverfisþættir 1992. Aflahorfur fiskveiðarárið 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. (Ófánlegt - *Out of print*).
32. **Guðrún Marteinsdóttir, Gunnar Jónsson, Ólafur V. Einarsson:** Útbreiðsla grálúðu við Vestur- og Norðvesturland 1992. Reykjavík 1993. 42 s. (Ófánlegt - *Out of print*).
33. **Ingvar Hallgrímsson:** Rækjuleit á djúpslóð við Ísland. Reykjavík 1993. 63 s.
34. Nyttjastofnar 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. Nyttjastofnar 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. Nyttjastofnar 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. Nyttjastofnar 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 Andrésón, 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 þorsgildrur 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.* Svifþörungur 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 hrygningarþorsks með þorskanetum 1996. *Gill-net Survey to Establish Indices of Abundance for the Spawning Stock of Icelandic Cod in 1996.* Reykjavík 1997. 22 s.
55. Hafrannsóknastofnunin: Rannsókná- og starfsáætlun árin 1997-2001. Reykjavík 1997. 59 s. (Ófánlegt - *Out of print*).
56. Nyttjastofnar 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. (Ófánlegt - *Out of print*).
59. **Halldór Narfi Stefánsson, Hersir Sigurgeirsson, Höskuldur Björnsson:** *BORMICON. User's Manual.* Reykjavík 1997. 61 s. (Ófánlegt - *Out of print*).
60. **Halldór Narfi Stefánsson, Hersir Sigurgeirsson, Höskuldur Björnsson:** *BORMICON. Programmer's Manual.* Reykjavík 1997. 215 s. (Ófánlegt - *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:** Lífriki sjávar í Breiðafirði: Yfirlit rannsókna. *A review of literature on marine biology in Breiðfjörður.* Reykjavík 1997. 57 s.
64. **Valdimar Ingi Gunnarsson og Anette Jarl Jörgensen:** Þorskrannsóknir við Ísland með tilliti til hafbeitar. Reykjavík 1998. 55 s.
65. **Jakob Magnússon, Vilhelmina Vilhelmsdóttir, Klara B. Jakobsdóttir:** Djúpslóð á Reykjaneshrygg: 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 þorsknetum 1997. *Gill-net Survey of Spawning Cod in Icelandic Waters in 1997. Survey Report*. Reykjavík 1998. 19 s.
 67. Nyttjastofnar 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 þorsknetum 1998. *Gill-net survey of spawning cod in Icelandic waters in 1998*. Reykjavík 1998. 19 s.
 72. Nyttjastofnar sjávar 1998/1999. Aflahorfur fiskveiðiárið 1999/2000. *State of Marine Stocks in Icelandic Waters 1998/1999. Prospects for the Quota year 1999/2000*. Reykjavík 1999. 172 s. (Ófánlegt - Out of print.)
 73. Þættir úr vistfræði sjávar 1997 og 1998. *Environmental Conditions in Icelandic Waters 1997 and 1998*. Reykjavík 1999. 48 s.
 74. **Matthías Oddgeirsson, Agnar Steinarsson og Björn Björnsson:** Mat á arðsemi sandhverfueidis á Íslandi. Grindavík 2000. 21 s.
 75. Nyttjastofnar 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.
 76. **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. (Ófánlegt - Out of print.)
 77. Þættir úr vistfræði sjávar 1999. *Environmental Conditions in Icelandic Waters 1999*. Reykjavík 2000. 31 s.
 78. dst^2 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. (Ófánlegt. - Out of print.)
 79. *Tagging Methods for Stock Assessment and Research in Fisheries*. Co-ordinator: Vilhjálmur Þorsteinsson. Reykjavík 2001. 179 s.
 80. Nyttjastofnar 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.
 81. **Jón Ólafsson, Sólveig R. Ólafsdóttir:** Ástand sjávar á losunarsvæði skolps undan Ánanaustum í febrúar 2000. Reykjavík 2001. 49 s.
 82. **Hafsteinn G. Guðfinnsson, Karl Gunnarsson:** Sjór og sjávarnyttjar í Héraðsflóa. Reykjavík 2001. 20 s.
 83. Þættir úr vistfræði sjávar 2000. *Environmental Conditions in Icelandic Waters 2000*. Reykjavík 2001. 37 s.
 84. **Guðrún G. Þórarinsdóttir, Hafsteinn G. Guðfinnsson, Karl Gunnarsson:** Sjávarnyttjar í Hvalfirði. Reykjavík 2001. 14 s.
 85. 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.
 86. **Jón Ólafsson, Magnús Danielsen, Sólveig R. Ólafsdóttir, Jóhannes Briem:** Ferskvatnsáhrif í sjó við Norðausturland að vorlagi. Reykjavík 2002. 42 s.
 87. dst^2 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.
 88. Nyttjastofnar 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, Óivind 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. Nyttjastofnar 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, Kristín J. Valsdóttir:** Frumframleiðnimælingar 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.
109. **Svend-Aage Malmberg:** *The Iceland Basin. Topography and oceanographic features.* Reykjavík 2004. 41 s.
110. **Sigmar Arnar Steingrímsson, Sólmundur Tr. Einarsson:** Kóralsvæði á Íslandsmiðum: Mat á ástandi og tillaga um aðgerðir til verndar þeim. Reykjavík 2004. 39 s.
111. **Björn Björnsson, Valdimar Ingi Gunnarsson (ritstj.):** Þorskeldi á Íslandi. Reykjavík 2004. 182 s.
112. **Jónbjörn Pálsson, Kristján Kristinsson:** Flatfiskar í humarleidangri 1995-2003. Reykjavík 2005. 90 s.
113. **Valdimar I. Gunnarsson o.fl.:** Þorskeldiskvóti: Yfirlit yfir föngun og áframeldi þorsks á árinu 2003. Reykjavík 2005. 58 s.
114. **Kristján Kristinsson, Björn Ævarr Steinarsson og Sigfús Schopka:** Skyndilokanir á þorskveiðar í botnvörpu á Vestfjarðamiðum. Reykjavík 2005. 29 s.
115. **Erlingur Hauksson** (ritstj.). Sníkjuorðar og fæða fisks, skarfs og sels. Reykjavík 2005. 45 s.
116. Þættir úr vistfræði sjávar 2004. *Environmental conditions in Icelandic waters 2004.* Reykjavík 2005. 46 s.
117. **Ólafur K. Pálsson** o.fl.: Mælingar á brottkasti 2004 og Meðafli í kolmunnaveiðum 2004. Reykjavík 2005. 37 s.
118. *ds² Development of Structurally Detailed Statistically Testable Models of Marine Populations. QLK5-CT1999-01609. Final report: 1 January 2000 to 31 August 2004. Volume 1.* Reykjavík 2005. 324 s.
119. *ds² Development of Structurally Detailed Statistically Testable Models of Marine Populations. QLK5-CT1999-01609. Final report: 1 January 2000 to 31 August 2004. Volume 2.* Reykjavík 2005. 194 s.
120. **James Begley:** *Gadget User Guide.* Reykjavík 2005. 90 s.
121. Nytjastofnar sjávar 2004/2005. Aflahorfur fiskveiðiárið 2005/2006. *State of Marine Stocks in Icelandic Waters 2004/2005. Prospects for the Quota Year 2005/2006.* Reykjavík 2005. 182 s.
122. **Sólveig Ólafsdóttir:** Styrkur næringarefna í hafinu umhverfis Ísland. Nutrient concentrations in Icelandic waters. Reykjavík 2006. 24 s.
123. **Sigfús A. Schopka, Jón Sólmundsson, Vilhjálmur Þorsteinsson:** Áhrif svæðafriðunar á vöxt og viðgang þorsks. Niðurstöður úr þorskmerkingum út af norðanverðum Vestfjörðum og Húnaflóa sumurin 1994 og 1995. **Guðmundur J. Óskarsson:** Samanburður á íslensku sumargotssíldinni sem veiddist fyrir austan og vestan land árin 1997-2003. Reykjavík 2006. 42. s.
124. **Valdimar Ingi Gunnarsson o.fl.:** Þorskeldiskvóti: Yfirlit yfir föngun og áframeldi þorsks á árinu 2004. Reykjavík 2006. 72 s.
125. Þættir úr vistfræði sjávar 2005. *Environmental conditions in Icelandic waters 2005.* Reykjavík 2006. 34 s.
126. Nytjastofnar sjávar 2005/2006. Aflahorfur fiskveiðiárið 2006/2007. *State of Marine Stocks in Icelandic Waters 2005/2006. Prospects for the Quota Year 2006/2007.* Reykjavík 2006. 190 s.
127. **Ólafur K. Pálsson** o.fl. Mælingar á brottkasti botnfiska og meðafli í kolmunnaveiðum 2005. Reykjavík 2006. 27 s.
128. **Agnes Eydal o.fl.:** Vöktun eiturbörunga í tengslum við nýtingu skelfisks árið 2005. Reykjavík 2007. 19 s.
129. Nytjastofnar sjávar 2006/2007. Aflahorfur fiskveiðiárið 2007/2008. *State of Marine Stocks in Icelandic Waters 2006/2007. Prospects for the Quota Year 2007/2008.* Reykjavík 2007. 180 s.
130. Þættir úr vistfræði sjávar 2006. *Environmental conditions in Icelandic waters 2006.* Reykjavík 2007. 39 s.