

Hafrannsóknir nr. 158

Þættir úr vistfræði sjávar 2010

Environmental conditions in Icelandic waters 2010

Reykjavík 2011

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 ástand nytjastofna og aflahorfur. Frá árinu 1994 hefur verið greint frá helstu niðurstöðum þessara rannsókna í sérstakri skýrslu, eins og hér er gert í fyrsta kaflanum, um ástand sjávar og umhverfisþætti.

Skýrslan sem hér birtist fjallar um árið 2010, en að vanda eru niðurstöðurnar settar í samhengi við langtímaþróun. Í ljósi þeirra athugana sem nú liggja fyrir um ástand sjávar 2010, má ráða að enn ríki ástand hlýskeiðs á Íslandsmiðum og hefur lífríkið greinilega lagað sig að því. Á árinu 2010 voru rannsóknir í Íslandshafi og breyttar aðstæður umfjöllunarefni sérstaks málþings sem stofnunin gekkst fyrir. Niðurstöður rannsókna munu á næstu mánuðum verða kynntar á ráðstefnum erlendis og birtast í fræðiritum.

Eins og undanfarin ár, þá er að finna í lokakafla ritsins safn stuttra greina um ýmsar athuganir á vistfræði sjávar eftir starfsmenn og samstarfsmenn stofnunarinnar. M.a. er nú grein um stuttan rannsóknaleiðangur á haf út til að kanna áhrif hamfaranna í Eyjafjallajökli árið 2010 á ástand sjávar undan suðvestur strönd landsins. Er það von aðstandenda að með stuttgreininum fái lesendur innsýn í áhugaverð og mikilvæg viðfangsefni sérfræðinga stofnunarinnar á sviði vistfræði sjávar, en þessar greinar birtast undir nafni höfunda .

Sérstakur starfshópur sá um útgáfu skýrslunnar. Í ritstjórn eru Ástþór Gíslason, Héðinn Valdimarsson, Sólveig Ólafsdóttir og Kristinn Guðmundsson, sem jafnframt er ritstjóri þessarar útgáfu. Auk þeirra eru í starfshópnum Agnes Eydal, Hildur Pétursdóttir og Karl Gunnarsson. Ólafur S. Ástþórsson las yfir handritið og Helga Lilja Bergmann bjó skýrsluna til prentunar. Er þeim öllum þökkud 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 11. maí 2011
Jóhann Sigurjónsson

Efnisyfirlit / Contents

bls. / page

Ágrip	7
<i>English summary</i>	8
1. Ástand sjávar og svífsamfélög	
<i>Environmental conditions and plankton communities</i>	9
2. Langtímabreytingar	
<i>Long-term changes</i>	16
3. Stuttar greinar um vistfræði sjávar	
<i>Short notes on marine ecology</i>	20
Héðinn Valdimarsson, Sólveig R. Ólafsdóttir, Kristinn Guðmundsson, Ástþór Gíslason, Hildur Pétursdóttir og Björn Gunnarsson. Áhrif hlaupvatns í kjölfar goss í Eyjafjallajökli í apríl 2010, á strandsjó sunnan lands: I. Dreifing í sjó / Effects of flood water, caused by eruption in Eyjafjallajökull in April 2010, on coastal waters south of Iceland: I. Oceanic Distribution	20
Kristinn Guðmundsson. Áhrif hlaupvatns í kjölfar goss í Eyjafjallajökli í apríl 2010 á strandsjó sunnan lands: II. Frumframleiðni / Effects of flood water, caused by eruption in Eyjafjallajökull in April 2010, on coastal waters south of Iceland: II. Primary productivity	26
Hildur Pétursdóttir og Ástþór Gíslason. Áhrif hlaupvatns í kjölfar goss í Eyjafjallajökli í apríl 2010 á strandsjó sunnan lands: III. Dýrasvif / Effects of flood water, caused by eruption in Eyjafjallajökull in April 2010, on coastal waters south of Iceland: III. Zooplankton	29
Agnar Steinarsson og Björn Gunnarsson. Áhrif hlaupvatns í kjölfar goss í Eyjafjallajökli í apríl 2010 á strandsjó sunnan lands: IV. Klak þorskhrogna / Effects of flood water, caused by eruption in Eyjafjallajökull in April 2010, on coastal waters south of Iceland: IV. Hatching of cod eggs	34
Sólveig R. Ólafsdóttir. Áhrif þéttbýlis á næringarefni í faxaflóa / Effects of urbanization on nutrients in Faxaflói	38
Karl Gunnarsson, Agnes Eydal, Sólveig R. Ólafsdóttir, Erla Björk Örnólfsdóttir. Svífþörungarnir <i>Mediopyxis helysia</i> og <i>Stephanopyxis turris</i>; Nýjar viðbætur við svifið við Ísland / The diatoms <i>Mediopyxis helysia</i> and <i>Stephanopyxis turris</i>; Two new additions to the Icelandic Phytoplankton flora	42
Kristinn Guðmundsson. Rannsóknir á frumframleiðslu svífþörungna í hafinu umhverfis Ísland, fyrr og nú / Research on the primary production around Iceland, past and present	47

Ingibjörg G. Jónsdóttir. **Klakarángur rauðátu að vorlagi við Ísland / Hatching success of *Calanus Finmarchicus* in spring in Icelandic waters**53

Ástþór Gíslason og Teresa Silva. **Magn og dreifing pílóma á Siglunessniði norðan Íslands vorin 2008, 2009 og 2010 / Distribution and abundance of *Chaetognaths* at Siglunes transect north of Iceland during spring 2008, 2009 and 2010**.....56

Guðmundur J. Óskarsson og Sveinn Sveinbjörnsson. **Fæða makrils í kringum Ísland að sumarlagi 2009 og 2010 / The diet composition of Atlantic Mackerel in Icelandic waters during the 2009 and 2010**62

Björn Gunnarsson og Konráð Þórisson. **Fjölpjóðlegur makríleggjaleiðangur árið 2010 / The international mackerel egg survey 2010**.....68

Klara Björg Jakobsdóttir. **Erfðfræðilegar breytingar á Pan I geni í þorski, á seinni hluta síðustu aldar / Historical changes in genotypic frequencies at the Pantophysing Locus in Atlantic cod (*Gadus Morhua*) in Icelandic waters**73

4. Viðauki. Umhverfisþættir í maí-júní 1952-2010
Appendix. Environmental variables in May-June 1952-201079

ÁGRIP

Fyrsti kafli skýrslunnar fjallar um niðurstöður vistfræðirannsókna í sjó við Ísland árið 2010, sem gerðar eru árlega til vöktunar á umhverfinu. Gerð er grein fyrir ársfjórðungslegum rannsóknum á hita og seltu. Sérstök áhersla er lögð á umhverfis- og vistfræðiathuganir í svokölluðum vorleiðöngrum sem farnir eru í seinni hluta maímánaðar. Þá eru gerðar mælingar á seltu og hita til að kanna ástand sjávar, samhliða mælingum á styrk næringarefna og bæði útbreiðslu og magni plöntu- og dýrasvifs í yfirborðslögum sjávar við landið. Einnig er í fyrsta kaflanum greint frá vöktun á eiturþörungum við strendur landsins. Í öðrum kafla skýrslunnar er lýst langtímabreytingum í hita, seltu og dýrasvifi. Í þriðja og síðasta kafla skýrslunnar eru nokkrar greinar um afmörkuð efni, sem öll varða vistfræði sjávar. Loks er í viðauka tafla með tölugildum umhverfisþátta fyrir hvert ár, gildi sem hefð er fyrir að bera saman við ýmsar breytingar sem átt hafa sér stað í árunna rás.

Hiti og selta í yfirborðslögum sjávar við landið árið 2010 var yfir meðallagi og vel það hvað hitann snertir. Í síðari hluta máí var vorhámark svifgróðurs yfirstaðið í Faxaflóanum, en vorblóminn annars vart hafinn vestan landsins og norður um að Húnaflóa. Út af Norðurlandi, austan Sigluness og austur um land var mikill blómi svifþörungum og verulega farið að ganga á vetrarforða næringarefna. Vestur með sunnanverðu landinu var gróður í vexti, og víða farið að ganga talsvert á næringarefni. Síðari hluta máí var átumagn almennt um og yfir meðallagi í hafinu umhverfis landið, og víðast hvar meira en það var árið áður.

Niðurstöður vöktunar á eiturþörungum við landið voru þær helstar að fjöldi svifþörungum á tegundum sem geta valið skelfiskeitrun fór á ákveðnum tímum yfir viðmiðunarmörk alls staðar þar sem sýni voru tekin til skoðunar um sumarið, nema austur í Mjóafirði. Hvað Hvalfjörð varðar var á grundvelli þessara athugana varað við neyslu skelfisks frá því síðla í maí og þar til í lok ágúst. Í Breiðafirði og Eyjafirði átti það sama við yfir hásumariði.

Stuttar greinar um vistfræði sjávar

Í fyrstu greininni, af tólf, er sagt frá niðurstöðum rannsóknaleiðangurs sem farinn var í tilefni af gosi í Eyjafjallajökli. Markmið leiðangursins var að kanna útbreiðslu hlaupvatns frá flóði sem gosið olli í Markarfljóti þann 14. apríl. Auk rannsókna á ástandi sjávar voru gerðar tilraunir til að kanna hugsanleg áhrif framburðar á lífverur á svæðinu. Á þessum tíma árs á sér stað hrygning og klak bæði nytjastofna og dýrasvifs og á sama tíma mátti vænta vorblóma svifþörungum og að mikill fjöldi ungvíðis sé dreift um svæðið. Þrjár næstu greinarnar fjalla síðan um niðurstöður tilrauna sem gerðar voru til að kanna hugsanleg áhrif framburðar í sjó á frumframleiðni, æxlun dýrasvifs og klak á þorskeggjum. Fimm greinin er um rannsókn á því hvort og í hve miklum mæli megi rekja næringarefnaauðgun í Faxaflóa til skólps sem veitt er í sjó frá þéttbýli og öðrum umsvifum mannsins. Síðan fylgja tvær greinar um svifþörungum. Í þeirri fyrri er sagt frá tveimur nýjum tegundum í flóru Íslands. Báðar tegundirnar fundust við greiningu á sýnum frá svæðum sem eru vöktuð vegna hugsanlegrar skelfiskeitrunar (sbr. fyrsta kafla skýrslunnar). Seinni greinin fjallar um nýlegt mat á frumframleiðslu í hafinu umhverfis landið, samkvæmt kanadísku reiknilíkani sem nýtir m.a. niðurstöður fjarmælinga á blaðgrænu og var aðlagð að fyrirliggjandi rannsóknum við Ísland og Færeyjar. Næstu tvær greinar eru um dýrasvif. Sú fyrri um er um klak rauðátueggja að vorlagi á hafsvæðinu umhverfis Ísland, en sú seinni um pílorma og niðurstöður frá Siglunessniði. Þá fylgja tvær greinar um rannsóknir á makríl, en umtalsverðar fæðugöngur makríls hafa leitað inn í fiskveiðilögsögu Íslands að sumarlagi á undanförunum árum. Annars vegar er greint frá fyrstu niðurstöðum rannsókna á fæðunámi makríls á Íslandsmiðum og hins vegar er sagt frá alþjóðlegu verkefni um stofnstærðarmat á makríl í Norður Atlantshafi og þátttöku Íslendinga í því árið 2010. Í síðustu stuttgreininni er loks greint frá athyglisverðum breytingum á erfðarefni þorsks, samkvæmt sýnum úr afla frá hrygningarvertíðum sunnan Íslands undanfarin fimmtíu ár. Hugmyndir um hugsanlegt samhengi erfðabreytinganna og sögulegra breytinga sem hafa orðið á veiðialagi og veiðiaðferðum á sama árabili eru reifaðar.

SUMMARY

In the first section of this report we present the results of environmental monitoring in 2010, for the waters around Iceland. The biological oceanographic research carried out during the annual spring survey, during latter half of May, is emphasized. Long-term trends in hydrography and zooplankton abundance are revealed in the second section, while the third and last section is a collection of short papers on some of the marine ecological work carried out by the Marine Research Institute.

Temperature and salinity in surface waters in 2010 was generally above the long-term average. In the latter half of May, the spring phytoplankton bloom in the Faxaflói bay was over, while hardly begun elsewhere in waters offshore west and northwest of Iceland. The spring bloom was well established in the waters northeast and east of Iceland and phytoplankton was growing vigorously along the south coast. At the same time zooplankton biomass off the west, north and east coasts was above the long-term average, while near average values were recorded off the south coast. The zooplankton biomass in samples from Icelandic surface waters during the spring cruise was generally higher in 2010 compared to that in 2009.

Monitoring of harmful algae was effective from May to October, where commercial utilization of shellfish was established. A warning was announced against consumption of shellfish from Hvalfjörður from late May to the end of August. In Breiðafjörður and Eyjafjörður a similar warning was given for the peak of summer growth. Marketing of shellfish was thus banned for some part of the summer at all locations that were monitored, except for that of Mjóifjörður.

Short papers on marine ecology

The first paper reveals the results from a cruise in mid April 2010, aimed for registering measureable effects of flood water caused by the volcanic eruption in Eyjafjallajökull. The concerned area south of Iceland is a major spawning area for cod, capelin and many other commercial fish in Iceland. The first paper deals with the distribution of physical and chemical parameters, as well as plankton biomass in the area. In the following three articles, experiments on some possible effects of the the flood on the primary productivity; zooplankton growth and hatching of cod eggs are investigated. The fifth paper deals with of the anthropogenic nutrient enrichment in Faxaflói. The sixth one report the findings of two phytoplankton species that have not been registered earlier and most probably are new additions to the flora around Iceland. The following paper also deals with phytoplankton, revealing the first result of a new estimate of primary production in the waters around Iceland. The estimate is based on a Canadian model for computing the primary production that has been adapted to the waters around Iceland, using diverse *in situ* measurements from the area during the last decades, as well as satellite data made available by NASA. The following two papers concern zooplankton. The first one deals with hatching of calanoid eggs in spring in the waters around Iceland, while the other is on the distribution of chaetocerans on a transect across the shelf north of Siglunes. Both the tenth and the eleventh paper are dealing with the mackerel, a species that has during recent years been migrating into the waters around Iceland to feed during summer. First results of a study on stomach content of mackerel is the subject of the one of these while the other one reports on an ICES research project to estimate the mackerel stock size in the Eastern North Atlantic in 2010 and in particular accounts the Icelandic participation in that work. At last there is a short paper on results from an analysis of DNA material from cod during the past five decades. The genetic material originates from cod otolithes, initially collected for analysis of the age distribution at the spawning grounds south west of Iceland. The time related changes in ratio of distinct genotypes is discussed in relation to possible causes for the apparent change.

1. Ástand sjávar og svifsamfélög

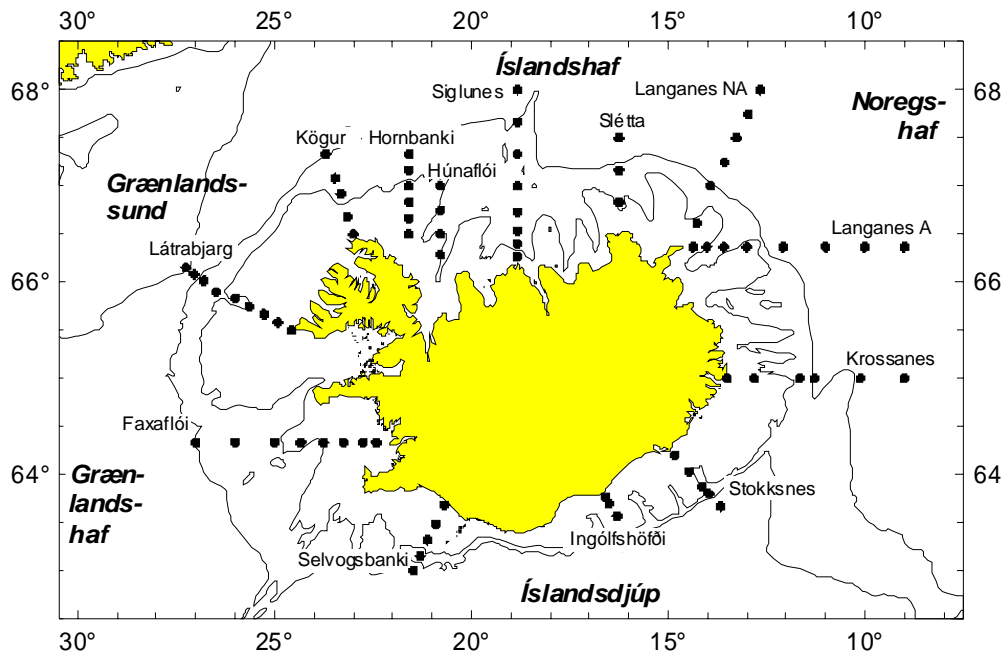
Environmental conditions and plankton communities

Inngangur / Introduction

Flókið samspil umhverfisþátta hefur margvísleg áhrif á fæðuvefi í sjó og þar með má gera ráð fyrir að breytingar á vexti og viðgangi nytjastofna við Ísland. Því hefur Hafrannsóknastofnunin fylgist árvissst með helstu umhverfisþáttum og svifsamfélögum á Íslandsmiðum og í þessu kafla er gerð grein

fyrir niðurstöðum athugana sem gerðar voru árið 2010.

Á tímabilinu frá febrúar til nóvember 2010 voru hiti og selta mæld í hafinu umhverfis Ísland á fjórum árstíðum. Mælt var á staðal-sniðum (1.mynd): í vetrarleiðangri í febrúar, vorleiðangri í maí, í ágúst og síðan í tvískiptum haustleiðangri í október og nóvember.



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

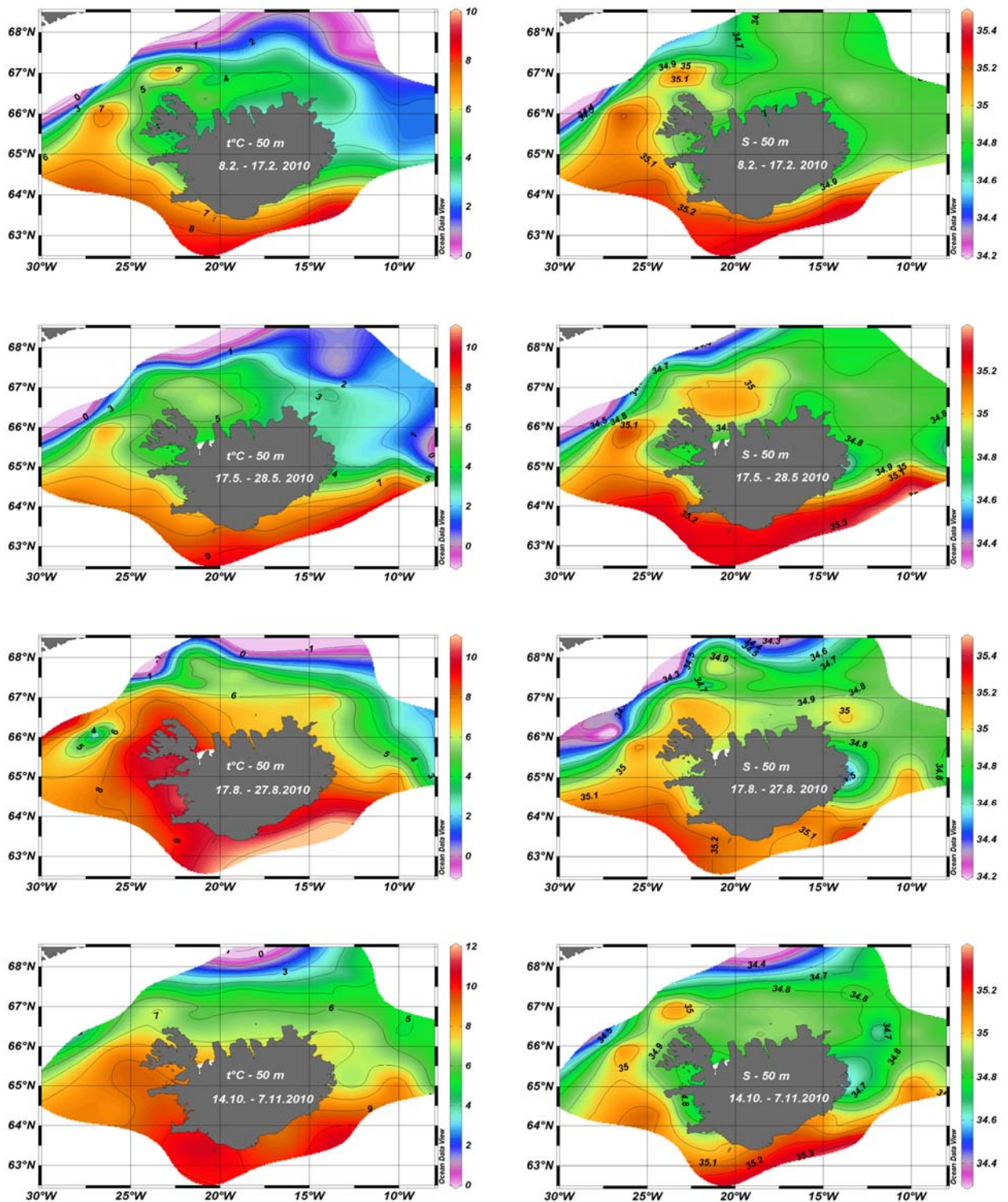
Figure 1. Standard sections used in routine hydrographic and plankton research in Icelandic waters. Depth contours are shown for 200 and 500 m.

Hiti og selta / Temperature and salinity

Á árinu 2010 voru hiti og selta sjávar fyrir sunnan og vestan land líkt og síðustu ár hærri en í meðallagi þess tíma sem mælingar hafa staðið. Hiti í efri lögum sjávar fyrir norðan land var um eða yfir meðallagi en seltan hærri en langtíma-meðaltal einkum frá miðju ári og fram á haust. Úti fyrir Norðausturlandi var seltan yfir meðallagi megnið af árinu en hiti um meðaltal árána 1970 til 2008. Hiti og selta í hlýsjónum sunnan og vestan við landið fóru hækkandi eftir 1996 og þar til 2003 en þá mældist mesta útbreiðsla hlýsjávar umhverfis landið 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 var síðan heldur minni en þó um eða yfir meðalagi árin 2005 – 2007. Árin 2008 og 2009 jókst útbreiðsla hlýsjávar fyrir norðan land einkum að sumrinu og yfirborðslög voru áberandi heitari en 2007. Árið 2010 voru hiti og selta vel yfir meðallagi umhverfis landið.

Í vetrarleiðangi í febrúar 2010 var hlýsjórinn fyrir sunnan og vestan land áfram hlýr og seltu-ríkur líkt og árin á undan. Hiti vestan við landið var með því hæsta sem mælst hefur þessi tæplega fjörutú ár sem mælingar hafa staðið og var selta há. Atlantssjávar gætti norður fyrir Vestfirði og inn á norðurmið. Á norðurmiðum voru



2. mynd. Vinstri dálkur sýnir sjávarhita ($^{\circ}\text{C}$) og hægri dálkur seltu á 50 m dýpi í hafinu umhverfis Ísland, í febrúar, maí, ágúst og loks niðurstöður frá tvískiptum leiðangri í október og nóvember árið 2010.

Figure 2. Sea temperature ($^{\circ}\text{C}$, left) and salinity (right) at 50 m depth in Icelandic waters, for February, May, August and finally the combined result of two cruises in October and November 2010.

hiti vel yfir og selta yfir meðallagi ($\sim 2-5^\circ\text{C}$, > 34.8). Hiti og selta í Austur-Íslandsstraumi voru yfir meðaltali ($1-3^\circ\text{C}$, > 34.7).

Í vorleiðangri (maí) var Atlantsjórinn að sunnan yfir meðallagi bæði í hita og seltu (hiti $6-9^\circ\text{C}$ og selta $35.1-35.3$). Áhrifa hlýsjávarins gætti vel austur fyrir Eyjafjörð. Hiti úti fyrir mið-Norðurlandi var vel yfir meðaltali þessa árstíma ($3-5^\circ\text{C}$ og $34.5-34.9$). Í Austur-Íslandsstraumi mældist hiti um meðallag og selta yfir meðallagi. Úti fyrir Austfjörðum voru sjávarhiti og selta í efri lögum sjávar um eða yfir meðallagi ($2^\circ - 3^\circ\text{C}$, $34.6 - 34.8$).

Í ágúst 2010 voru hiti og selta fyrir vestan land há og selta hafði þó lækkað frá seltumeti fyrra árs. Hiti og selta úti fyrir mið-Norðurlandi voru vel yfir meðallagi en hlýsjór náði vel norður fyrir landgrunnskant og vel austur fyrir Langanes líkt og árið áður. Úti fyrir Norðausturlandi í Austur-Íslandsstraumi voru hiti og selta vel yfir meðallagi. Austur af landinu voru hiti og selta vel yfir langtíma-meðaltali. Almenn var hiti hár umhverfis landið og sér í lagi var hiti óvenju hár í yfirborðslaginu vestur af Bjargtöngum. Þennan háa hita yfirborðslaga má að hluta til tengja hægum vindum að vori og sumri og lítilli blöndun yfirborðslaga við sjóinn undir.

Í sjórannsókn- og loðnuleiðangri í október og nóvember var áfram hlýtt og salt sunnan og vestan við land. Fyrir Norðurlandi var hiti yfirborðslaga (0-50m) með því hæsta sem mælt hefur á þessum árstíma. Fyrir norðaustan landið voru hiti og selta yfir meðallagi. Seltan í Austur-Íslandsstraumi var yfir 34.7 og hiti var yfir meðallagi. Hiti og selta fyrir austan landið voru sömuleiðis yfir meðallagi. Hiti á þessum tíma var því vel yfir meðallagi en selta um og yfir meðaltali þessa árstíma.

Í meginráttum má segja að árið 2010 hafi hiti og selta í yfirborðslögum sjávar umhverfis landið verið vel yfir eða yfir meðallagi.

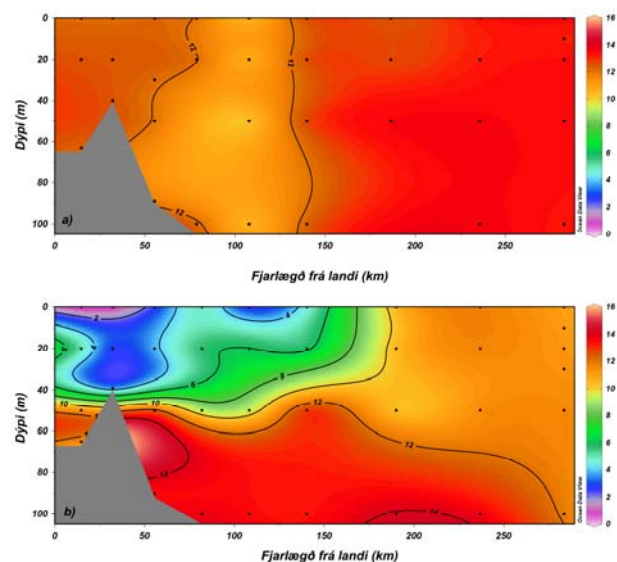
Næringarsölt / Nutrients

Styrkur næringarefna í yfirborðslögum sjávar var kannaður í maí á hafsvæðinu umhverfis Ísland og einnig var gerð mæling á Faxaflóasniði í febrúar (1. mynd). Styrkur næringarefna í yfirborðslögum sjávar breytist reglulega með árstíma. Árlegt hámark er síðla vetrar, en styrkur uppleystra næringarefna nærri yfirborði lækkar að vori þegar svifþörungur fara að vaxa. Styrkur nitrats í efstu 100 metrunum á Faxaflóa í febrúar 2010 er sýndur á 3. mynd a. Nítrat-

styrkur var lægri nær landi heldur en á ystu stöðvunum, að meðaltali $12.2 \mu\text{mol l}^{-1}$ á stöðvum 1 – 4. Lágmark var í nítratstyrk á miðju sniðinu eða $10.4 \mu\text{mol l}^{-1}$, sem er óvenjulegt og tengist ekki lágri seltu. Yst á sniðinu var styrkurinn $13.5 \mu\text{mol l}^{-1}$ á stöðvum 8 og 9 í efstu 200 metrunum. Á 3. mynd b er sýndur nítratstyrkur á sömu stöðvum í maí. Lækkun hafði einungis orðið á nítratstyrk næst landi vegna frumframleiðni.

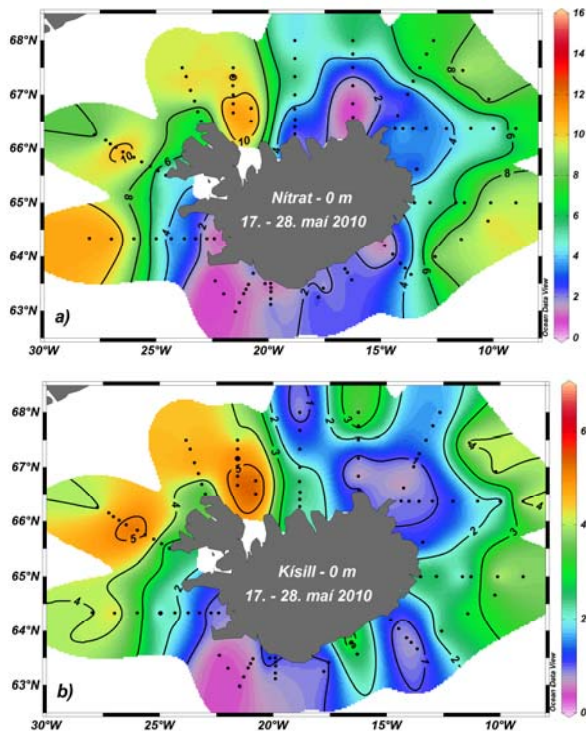
Dreifing nitrats og kísils við yfirborð á rannsóknasvæðinu dagana 17. – 28. maí 2010, sést á 4. mynd. Styrkur næringarefna við yfirborð í Faxaflóa og úti fyrir Vestfjörðum var lægstur á grunnsævi upp við land, en djúpt úti fyrir hafði styrkur vart lækkað frá vetrargildum. Næringarefnastyrkur hafði lækkað í yfirborðslögum mikið á stóru svæði yfir landgrunninu allt frá Siglunessniði og austur um að Krossanessniði (4. mynd).

Úti fyrir Austurlandi var en gnótt næringarefna en við suðurströndina frá Stokksnesi hafði verulega gengið á forða næringarefna í yfirborðslögum. Lítill styrkur kísils úti fyrir Norður- og Suðurlandi bendir til þess að kísilþörungur hafi staðið fyrir stórum hluta vorblómans á þessu svæði. Háan styrk kísils næst landi við Suðurströndina má rekja til ferskvatnsáhrifa. Dreifing nitrats og kísils með dýpi á Siglunessniði í maí er sýnd á 5. mynd. Af niðurstöðum mælinganna má greina upptöku á



3. mynd. Lóðrétt dreifing nitrats ($\mu\text{mol l}^{-1}$) á Faxaflóasniði, a) 10. febrúar 2010 og b) 17.–18. maí 2010.

Figure 3. Vertical profiles of nitrate ($\mu\text{mol l}^{-1}$) on the Faxaflói section, a) 10 February 2010 and b) 17-18 May 2010.



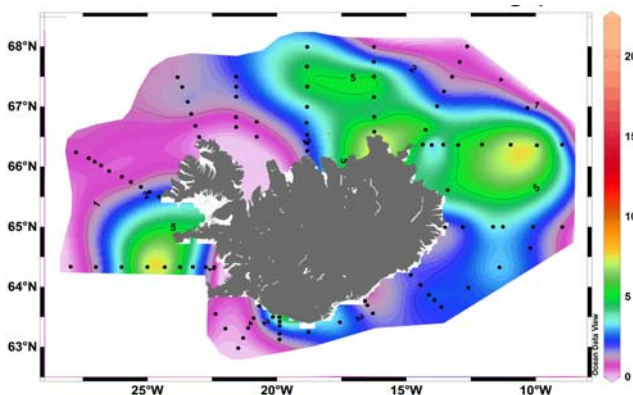
4. mynd. Styrkur næringarefna við yfirborð í hafinu umhverfis Ísland 17.–28. maí 2010, a) nítrat (NO_3 , $\mu\text{mol l}^{-1}$) og b) kísill (Si , $\mu\text{mol l}^{-1}$).

Figure 4. Nutrient concentrations at the surface in Icelandic waters 17–28 May 2010, a) nitrate (NO_3 , $\mu\text{mol l}^{-1}$) and b) silicate (Si , $\mu\text{mol l}^{-1}$).

Þessum næringarefnum niður fyrir 50 metra dýpi.

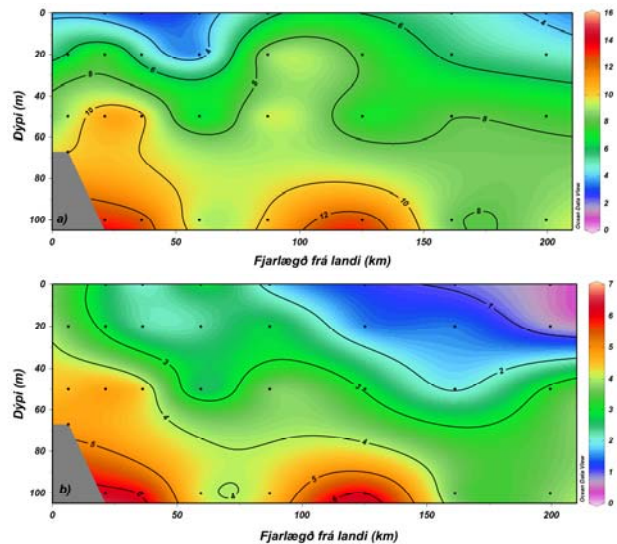
Svifpörungar / Phytoplankton

Dreifing á magni svifgróðurs, mælt sem blaðgræna, var kannað á stöðluðu stöðvaneti yfir landgrunninu síðari hluta maí (1. mynd). Á þessum árstíma má vænta að magn gróðurs í sjó breytist umtalsvert frá degi til dags, en með



6. mynd. Magn a -blaðgrænu (mg m^{-3}) á 10 m dýpi í hafinu umhverfis Ísland, 17.–28. maí 2010.

Figure 6. Distribution of chlorophyll a (mg m^{-3}) around Iceland, at 10 m depth, during 17–28 May 2010.



5. mynd. Lóðrétt dreifing a) nítrats ($\mu\text{mol l}^{-1}$) og b) kísils ($\mu\text{mol l}^{-1}$) á Siglunessniði 20.–21. maí 2010.

Figure 5. Vertical profiles of a) nitrate ($\mu\text{mol l}^{-1}$) and b) silicate ($\mu\text{mol l}^{-1}$) on the Siglunes section 20–21 May 2010.

hliðsjón af styrk næringarefnanna má ráða í það hvað á undan er gengið og eins hvers má vænta varðandi framvinduna næstu daga. Niðurstöður mælinga á blaðgrænu í sjósýnum frá 10 metra dýpi eru sýndar á 6. mynd.

Í upphafi leiðangursins var vorhámark svifgróðurs yfirstaðið í innanverðum Faxaflóan, en talsverður vöxtur vestar á sniði út frá Flóanum (6. mynd). Ljóst er að gróðuraukning hafði ekki átt sér stað á utanverðum Faxaflóa, utan landgrunnsins þar vestur af og norður um Vestfirði að Siglunessniði (4. og 6. mynd).

Frá Siglunessniði og austur fyrir land var talsverður gróður og vorhámarkið greinilega yfirstaðið (sbr. 4. og 6. mynd), utan djúpt norðaustur og austur af landinu.

Frá Krossanessniði í suður og yfir landgrunninu vestur með Suðurlandi var gróður fremur rýr og ljóst að vorvöxtur gróðursins var yfirstaðinn, eins og ráða má af lágum styrk nítrats sunnan landsins (mynd 4a).

Samkvæmt niðurstöðum mælinga í vorleiðangri var gróðurmagn venju fremur rýrt, en vöxturinn hefur væntanlega glæðst vestan landsins eftir að yfirferð um rannsóknasvæðið þar lauk.

Dýrasvif / Zooplankton

Magn og útbreiðsla átu var könnuð í vorleiðangri (17.–28. maí) og síldarleiðangri (26. apríl–19. maí). Í vorleiðangri var að venju

svæðið umhverfis Ísland kannað en í kolmunna- og síldarleiðangri var áta í hafinu fyrir sunnan, austan og djúpt austur af landinu (Austurdjúp) rannsökuð. Síðast nefndur leiðangur var farinn í tengslum við sameiginlegar síldarrannsóknir Íslendinga, Norðmanna, Færeyinga, Rússa og Evrópusambandsins í Noregshafi.

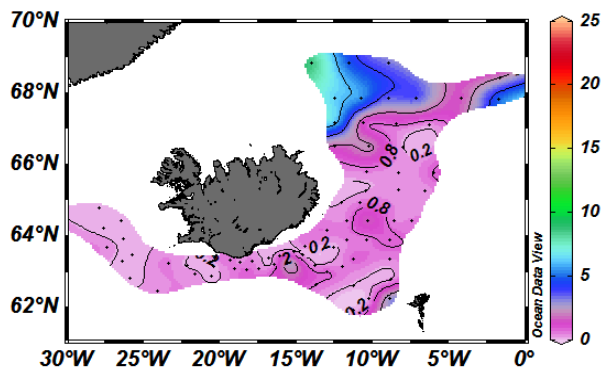
Í byrjun maí í síldarleiðangri var mjög lítið af átu fyrir sunnan og austan land (7. mynd). Mest fannst af átu á síldarslóð djúpt norðaustur af landinu sem er í samræmi við rannsóknir fyrri ára, en einnig fannst áta í nokkrum mæli suðaustur af landinu við Færeyjar.

Í seinni hluta maí í vorleiðangri (8. mynd) var mest af átu á grunnmiðum suður og suðaustur af landinu og einnig var mikið magn djúpt norðvestur, norður og austur af landinu. Á grunnmiðum vestur, norður og austur af landinu var yfirleitt lítið af átu. Átumagnið hafði aukist verulega fyrir sunnan og austan land frá því í síldarleiðangrinum í byrjun maí sem áður var nefndur (7. mynd).

Stærri átutegundir, t.d. krabbaflóin póláta, marflær og ljósátur, voru almennt tiltölulega algengar djúpt norður og austur af landinu og var heildar lífmassi þeirra þar mun meiri en minni átutegunda.

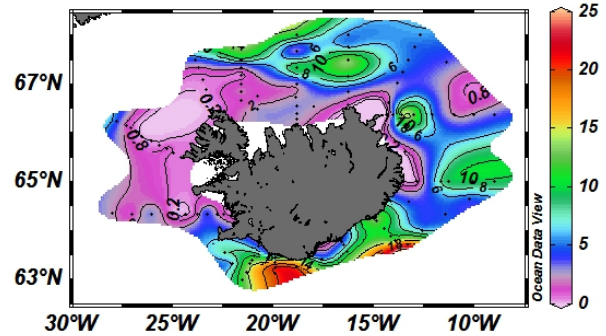
Átumagn í vorleiðangri var nálægt meðaltali þegar á heildina er lítið. Séu niðurstöður átu-rannsókna vorið 2010 bornar saman við vorið 2009 kemur í ljós að átumagn var meira en þá víðast við landið, sérstaklega á grunnmiðum suður og suðaustur af landinu og djúpt norður og austur af landinu.

Séu niðurstöður átu-rannsókna vorið 2010 bornar saman við vorið 2009 kemur í ljós að



7. mynd. Útbreiðsla dýrasvífs í yfirborðslögum (g þurrvígt m^{-2} , 0-50 m) á grunnmiðum fyrir sunnan og austan landið og í Austurdjúpi 26. apríl -19. maí 2010.

Figure 7. Zooplankton distribution (g dry weight m^{-2} , 0-50 m) south and east of Iceland during 26 April - 19 May 2010.



8. mynd. Útbreiðsla dýrasvífs í yfirborðslögum (g þurrvígt m^{-2} , 0-50 m) í hafinu við Ísland 17.-28. maí 2010.

Figure 8. Zooplankton distribution (g dry weight m^{-2} , 0-50 m) in the sea around Iceland during 17- 28 May 2010.

átumagn var meira en þá víðast við landið, sérstaklega á grunnmiðum suður og suðaustur af landinu og djúpt norður og austur af landinu.

Vöktun eiturbörunga / Toxic algae monitoring

Vöktun eiturbörunga árið 2010 í tengslum við tínslu, veiðar og ræktun skelfisks stóð yfir allt árið í Eyjafirði en hófst upp úr miðjum maí í Breiðafirði og Hvalfirði. Sýnatökum var haldið áfram út árið 2010 á stöð við Stykkishólm, en lauk á stöð við Flatey og í Hvalfirði í september. Vöktunin á þessum stöðum var með hefðbundnu sniði þ.e.a.s. svifþörungasýni voru tekin á 7-10 daga fresti til greininga og talninga á eiturbörungum, en tíðni sýnatöku var aukin ef mikill fjöldi eiturbörunga var í svifinu. Sýni bárust einnig frá Mjóafirði eystri og Steingrímsfirði en sýnataka á þeim svæðum var óregluleg, m.a. háð veiðum, neyslu skelfisks o.fl. (9. mynd).

Vöktunin er samstarfsverkefni Matvæla- stofnunar, Hafrannsóknastofnunarinnar, skelfiskveiðimanna og kræklingsræktenda.

Vöktun eiturbörunga hefur nú staðið samfleytt í 6 ár í Hvalfirði, Breiðafirði og Eyjafirði. Þar sem ekki er verið að uppskera skelfisk allt árið hefst vöktunin að vori, yfirleitt í maí og lýkur að hausti, í september eða október.

Vöktun á þörungum stendur allt árið þar sem verið er að nýta skelfisk. Til þess að markaðsetja skelfiskinn verður hann að vera merktur auðkennismerki Matvælastofnunar, sem er staðfesting á því að framleiðslan sé undir eftirliti stofnunarinnar og að mælingar á þörungaeitri hafi verið gerðar.

Niðurstöður greininga og talninga eiturbörunga eru settar jafnóðum inn á heimasíðu

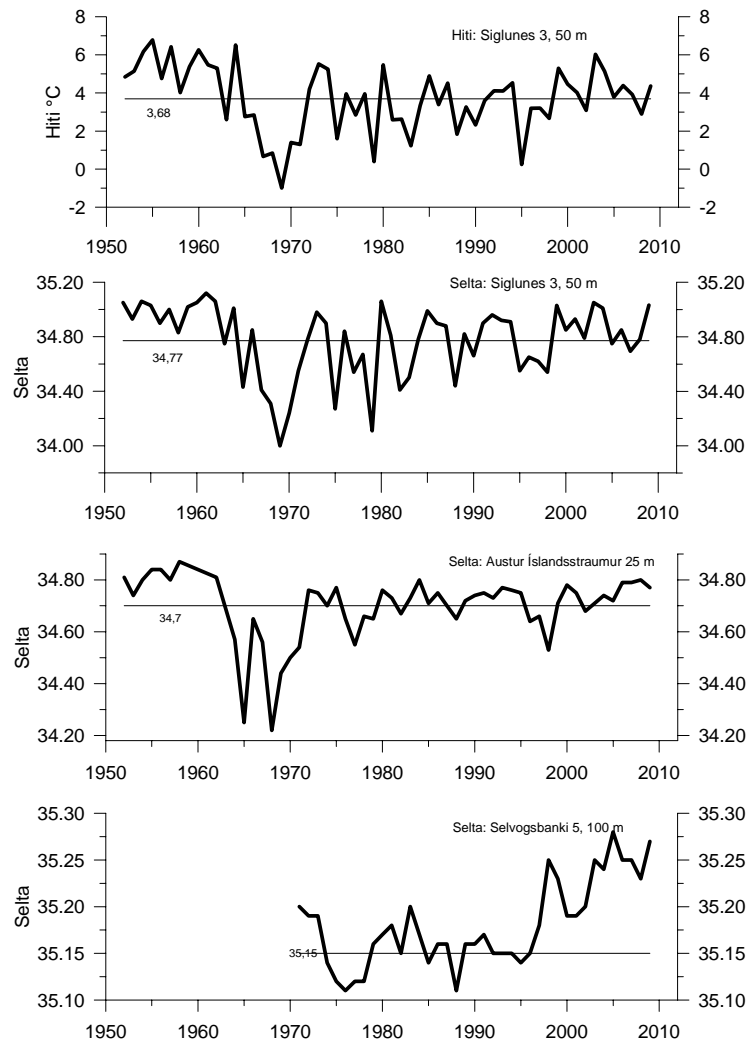
2. Langtímabreytingar

Long term changes

Niðurstöður mælinga á hita og seltu sjávar (1. kafli) sýna ríkjandi ástand, en með endurteknum mælingum á sama stað og samanburði við niðurstöður fyrri ára má skoða breytingar frá ári til árs í ljósi ríkjandi sjógerða, hafstrauma og orkuskipta lofts og lagar, því hiti og selta einkenna sjógerðir.

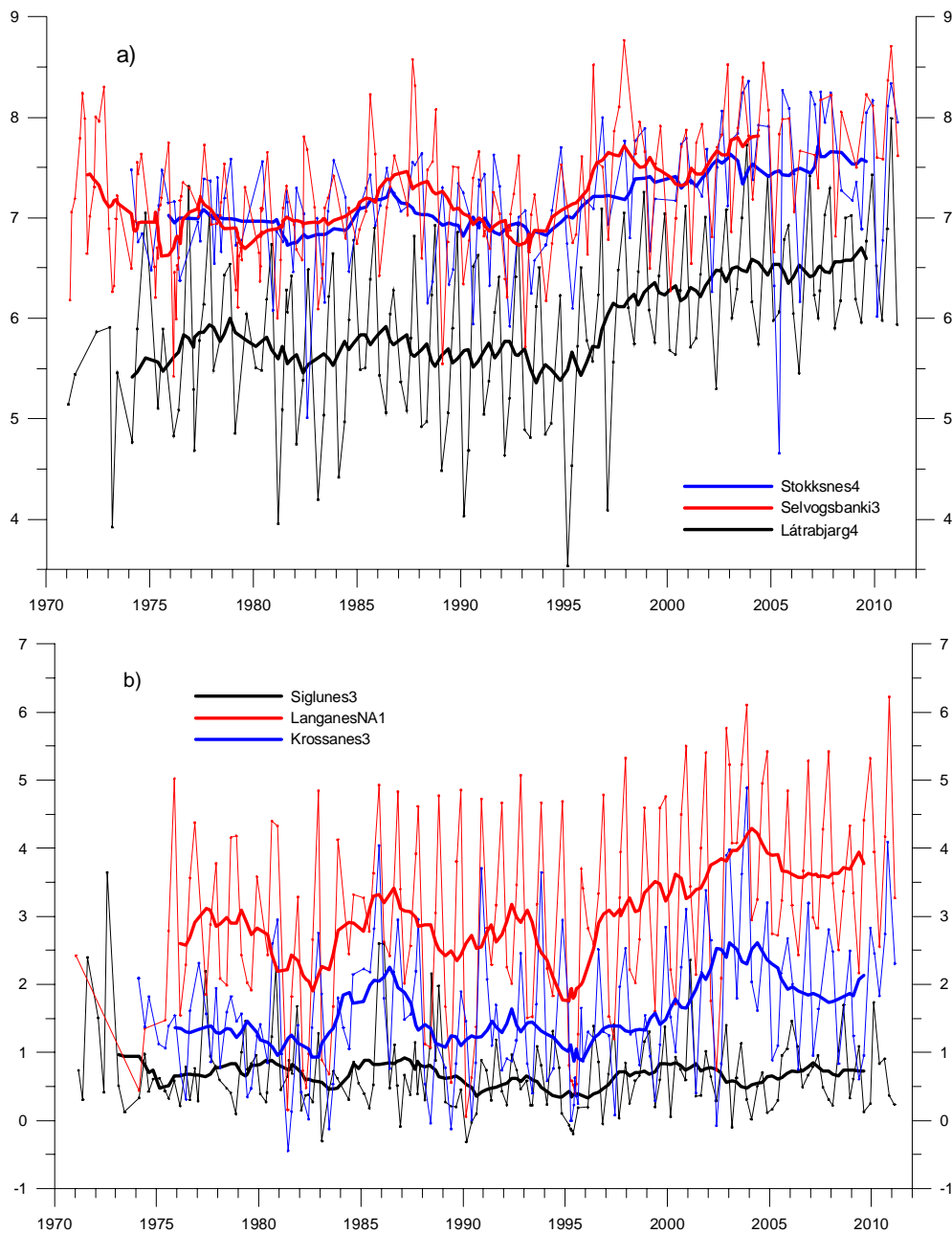
Hiti og selta á Selvogsbanka / Temperature and salinity at Selvogsbanki

Í hlýja sjónum yfir landgrunnsbrún sunnan Selvogsbanka eru umhverfisaðstæður stöðugri en víðast hvar annars staðar við landið. Þó eru áarskipti í seltu og hita þar eins og annars staðar og



10. 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 styrk hlýsjávar. Línuna fyrir A-Íslandsstraum má einnig nota til viðmiðunar fyrir hlý og köld ár, en þau gildi eru í raun mörkin þar sem nýsmyndun er 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 10. Temperature and salinity deviations at 50 m depth at station 3 on the Siglunes section, salinity at 25 m depth in the East Icelandic current and salinity at 100 m depth at station 5 of the Selvogsbanki section. The horizontal lines indicate the means for the appropriate intervals, except when otherwise is stated. The numbers are, however, close to the means. At Selvogsbanki the value 35.15 can be used to differentiate between stronger and weaker flow of Atlantic water. The value shown for E-Iceland Current can also be used to differentiate between warm and cold years but it is actually the critical salinity point for the formation of sea ice (34.7). 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).



11. 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 (sírita). a) Botnhiti á stöðvum sunnan og vestan við landið. Stokksnes4 (botndýpi um 540 m), Selvogsbanka3 (botndýpi um 150 m) og Látrabjarg4 (botndýpi um 180 m). Línan sem sýnir meðaltal á Selvogsbanka er styttri vegna þess að mælingar í ágúst 2006–2008 vantar. b) Botnhiti á stöðvum norðan og austan við land. Siglunes3 (botndýpi um 470 m), Langanes NA1 (botndýpi um 190 m) og Krossanes3 (botndýpi um 210 m).

Figure 11. Time series of near-bottom temperature at selected stations on the Icelandic shelf (see figure 1). Mean of 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 data. a) Near-bottom temperature at stations south and west of Iceland. Stokksnes 4 (bottom depth about 540 m), Selvogsbanki 3, (bottom depth about 150 m) and Látrabjarg 4 (bottom depth about 180 m). Line showing the average for Selvogsbanki is shorter because measurements in August 2006–2008 are lacking. b) Near-bottom temperature at stations north and east of Iceland. Siglunes (bottom depth about 470 m), LanganesNA1 (bottom depth about 190 m) and Krossanes3 (bottom depth about 210 m).

skiptast á tímabil með seltu hærri en 35,15 og lægri en 35,15 (10. mynd). Seltan þar var tiltölulega lág á árunum 1974-1978, 1985-1988 og svo aftur 1992-1995. Lágri seltu á Selvogsbanka fylgir að öllu jöfnu lægra hitastig. Árið 1996 varð vart heldur vaxandi seltu í hlýja sjónum á Selvogsbanka og árin 1997-99 jókst seltan enn frekar og var jafnvel hærri en mælst hafði síðan fyrir hafísárin á sjöunda áratugnum (>35,20). Árið 1998 náði seltan hámarki (35,25), síðan lækkaði hún nokkuð en hækkaði aftur 2002 og 2003 í það sama og hún var 1998. Árið 2004 hélst selta áfram há og vorið 2005 mældist hæsta selta síðustu þrjátíu árin. Reyndar lækkaði hún nokkuð þegar leið á árið. Selta og hiti voru þó áfram há fyrir sunnan landið árin 2006 til 2008. Vorið 2009 mældist þarna næst hæsta selta síðustu 40 árin og litlu lægri vorið 2010.

Seltusveiflurnar í hlýja sjónum suður af landinu tengjast orkuskiptum hafs og lofts á stærri skala og breytingum sem verða í hringrás hafstrauma í Norður-Atlantshafi og í Norðurhöfum. Breytingar í hlýsjónum sunnan við landið skila sér oftast nær í áhrifum á ástand sjávar fyrir norðan land á lengri tíma.

Hiti og selta á Norðurmiðum / *Temperature and salinity on the north shelf*

Hitastig og selta hafa verið mæld árlega að vori út af Siglunesi í yfir hálfu öld (10. mynd). Eftir hlýindaskeið á norðanverðu Norður-Atlantshafi tók að kólna um miðjan sjöunda áratugin. Við tóku hafísar 1965-71 með köldum og seltulágum pólsjó í Íslandshafi.

Eins og sjá má á 10. 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 pól- og svalsjávarár eftir ríkjandi sjógerðum og lagskiptingu í sjónum. Þannig flokkast árin 1981-83, 1989, 1990 og 1995 til svalsjávarára 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 stundum ferskt og svalt yfirborðslag ofan á selturikum hlýsjónum og dró það úr áhrifum hans. Seltan í þessu yfirborðslagi var lág (undir 34,7), í samræmi við seltu í Austur-Íslandsstraumi 1996-98 og sem var lægri en

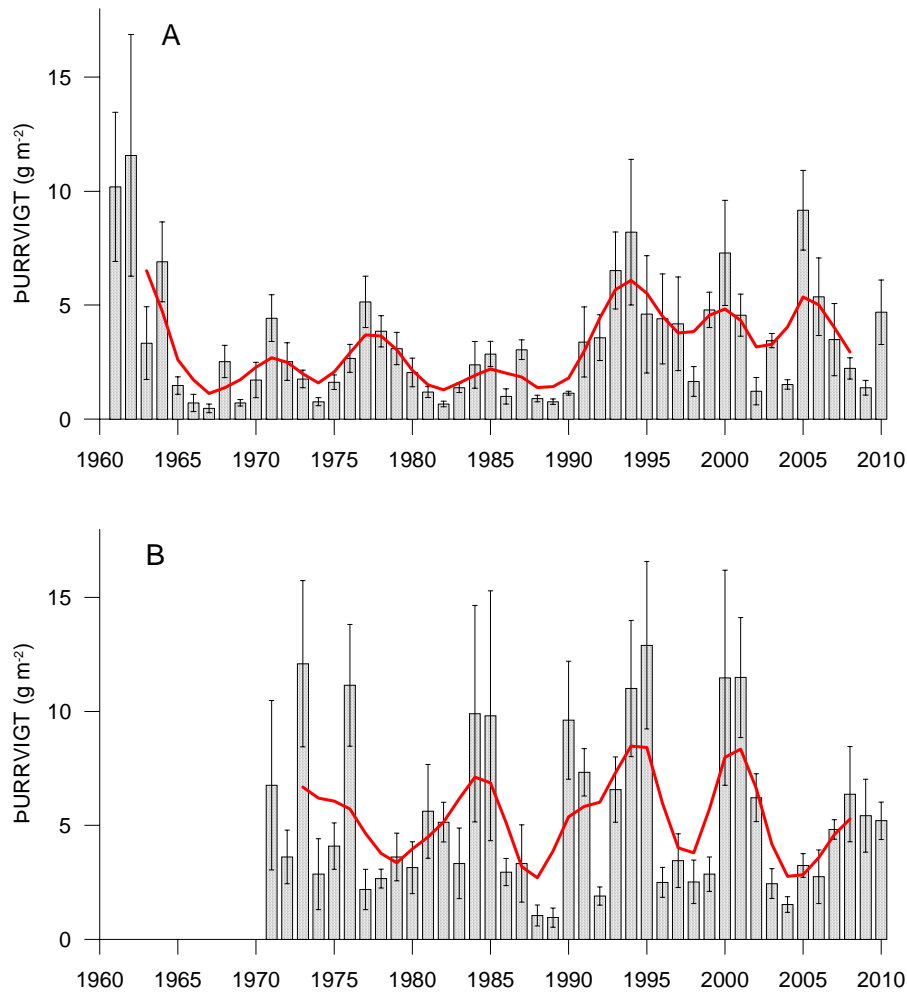
mælst hafði síðan á hafísárinu 1988. Árið 1999 var sjórinn fyrir norðan vel yfir meðallagi bæði hvað varðar hita og seltu. Síðan dró lítillega úr áhrifum hlýsjávar undan Norðurlandi næstu ár og voru þau í meðallagi samkvæmt mælingum árið 2002. Bæði hiti og selta, yfir landgrunninu, voru svo almennt yfir meðallagi árið 2003, einkum var útbreiðsla hlýsjávar mikil. Útbreiðslan minnkaði lítillega árið 2004 með heldur lægri hita og seltu, en gildin voru samt vel yfir meðallagi. Vorin 2005 til 2007 voru hiti og selta efri laga sjávar um meðallag. Vorið 2008 var selta nálægt meðallagi en hiti nokkuð undir því. Vorin 2009 og 2010 voru hiti og selta vel yfir meðallagi. Það hefur einkennt áratuginn 2000 til 2010 að hiti og selta efri laga að vori hafa verið yfir eða um meðallag og að vetrarhitu og selta hafa verið vel yfir meðallagi að frátöldu árinu 2002.

Seltan í Austur-Íslandsstraumi náði hámarki 1999 eftir fersk ár þar á undan, lækkaði síðan niður fyrir meðallag vorið 2002 en fór hækkaði aftur 2006 og hefur seltan síðustu fjögur árin verið með hæstu gildum frá því fyrir hafísárin 1965-1971.

Botnhiti / *Bottom temperature*

Hiti sjávar við botn á Íslandsmiðum endurspeglar oft hitadreifingu í efri lögum sjávar. Botnhitinn er að jafnaði lægri fyrir norðan og austan landið fyrir áhrif kaldsjávar úr norðri, en hærri fyrir sunnan og vestan land vegna áhrifa hlýsjávar úr suðri. Á 11. mynd má sjá tímaraðir meðalhita úr vatnsúlunni nærri botni á nokkrum mælistöðvum 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, 100 metrum ef botndýpi er meira en 300 m.

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 landgrunnsfliðunum sunnan og vestan lands fer botnhiti einnig lækkaði með vaxandi dýpi, en



12. mynd. Breytingar í átumagni (g þurrvigt m^{-2} , 0-50 m) að vorlagi á A) Siglunessniði árin 1961-2010 og B) Selvogsbankasniði árin 1971-2010. Súlnurnar sýna meðaltöl allra stöðva á sniðinu. Staðalskekkja er sýnd með lóðréttum strikum. Einnig er sýndur reiknaður ferill (5 ára keðjumeðaltöl, rauða línan) sem jafnar óreglur einstakra ára. Lega rannsóknasniðanna er sýnd á 1. mynd.

Figure 12. Variations in zooplankton biomass (g dry weight m^{-2} , 0-50 m) in spring at A) Siglunessniði 1961-2010, and B) Selvogsbanki section 1971-2010. The bars show means for all stations at the respective sections and the vertical lines denote standard error. The curved red lines show 5 year running mean. For location of the sections see Figure 1.

þó fer hann ekki mikið niður fyrir $4^{\circ}C$.

Dýpi mælistöðva á 11. mynd er mismunandi og ársveiflan (grenni 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 hitaskilunum suðaustanlands sem skýrir skammtímabreytingar í botnhita líkt og átti sér stað 2005 er kaldur sjór barst til austur eftir landgrunninu. Stöðvarnar sunnanlands sýna að hiti hefur verið hár síðasta áratug og hlýrri sjór jafnvel meira áberandi vestanlands og héldust hlýindi við botn á þessum slóðum áfram 2010. Á Látragranni mældist hæsti sumarhiti við botn frá upphafi

mælinga. Sumarmælingar (í ágúst) á Selvogsbanka voru engar árin 2006 til 2008 og því er það keðjumeðaltal styttra. Auk þess voru sumarmælingar á Stokksnesi óreglulegar síðustu ár.

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 11. mynd b. Merkja má hærri botnhita á landgrunninu norðaustan- og austanlands á stöð 1 á Langanesi NA og stöð 3 á Krossanesi á síðustu árum og sérstaklega 2010 þó heldur hafi hann verið lægri 2005 til 2008. Þess ber að geta að ekki hafa farið reglulega fram

sumarmælingar á Krossanessniði 2006 til 2008. Fyrir norðan land hefur síðasti áratugur einkennst af því að vetrarhiti hefur að jafnaði verið hærri en áratugin þar á undan.

Dýrasvíf / Zooplankton

Í því augnamiði að fylgjast með breytingum ár frá ári hafa verið gerðar árlegar athuganir á átumagni við landið í meira en 50 ár. Í upphafi voru þær eingöngu stundaðar út af Norðurlandi í sambandi við sildarleit og á þeim slóðum ná því gögnin lengst aftur í tímann (1960), en frá árinu 1971 hefur rannsóknunum verið sinnt allt í kringum land í vorleiðöngurum. Til að gögnin verði samanburðarhæf hefur þeim verið safnað á nokkurn veginn sama árstíma ár hvert (maí-júní) og með svipuðum aðferðum. Breytileikinn í átumergð frá ári til árs að vori gefur vísbendingu um mismunandi heildarframleiðslu átu yfir sumarið, en bæði vorvöxtur og heildarframleiðsla dýrasvífsins eru talin ráðast af atriðum eins og umhverfisskilyrðum og fæðuframboði.

Langtímabreytingar á átumagni á Selvogsbanka- og Siglunessniðum eru sýndar á 12. 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 Siglunessniði var 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 12. mynd A). Vorið 2010 var átumagn á Siglunessniði 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 12. mynd B). Sé tekið mið af keðjumeðaltölunum hafa liðið um 7-11 ár á milli háu gildanna. Síðasta lágmark í átumagni á Selvogsbankasniði var vorið 2004, en síðan hefur átumagn farið hækkandi á sniðinu og var nálægt langtímameðaltali vorið 2010.

Ef undanskilin eru tiltölulega há átugildi á Siglunessniði upp úr miðjum áttunda áratugnum og lág gildi nokkur undanfarin ár, má segja að árlegar sveiflur í lífmassa átu fyrir sunnan og

norðan séu nokkurn veginn í takt (sbr. keðjumeðaltölin á 12. 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 viðáttumiklu svæði.

3. Stuttar greinar um vistfræði sjávar

Short notes on marine ecology

ÁHRIF HLAUPVATNS Í KJÖLFAR GOSS Í EYJAFJALLAJÖKLI Í APRÍL 2010 Á STRANDSJÓ SUNNAN LANDS: I. DREIFING Í SJÓ / EFFECTS OF FLOOD WATER, CAUSED BY ERUPTION IN EYJAFJALLAJÖKULL IN APRIL 2010, ON COASTAL WATERS SOUTH OF ICELAND: I. THE OCEANIC DISTRIBUTION

Héðinn Valdimarsson, Sólveig R. Ólafsdóttir, Kristinn Guðmundsson, Ástþór Gíslason, Hildur Pétursdóttir og Björn Gunnarsson
Hafrannsóknastofnunin, Reykjavík

Ágrip

Farið var í leiðangur á r.s. Bjarna Sæmundssyni með suðurströnd landsins austur fyrir Markarfljót dagana 15. – 18. apríl 2010. Tilgangurinn var að kanna áhrif flóða af völdum goss í Eyjafjallajökli á hrygningarslóðir sunnanlands. Gerðar voru beinar mælingar frá yfirborði til botns á hita, seltu, flúr-ljómun og súrefni sjávar á stöðvum sem mynduðu fjögur snið út frá landi, auk stöðva í grennd við ósa Markarfljóts. Þar voru einnig tekin sýni til mælinga á næringarefnum. Jafnframt voru tekin sýni af sjó á nokkrum framangreindra stöðva til mælinga á blaðgrænu og háfsýni til greiningar á átu og fisk-eggjum. Auk þess voru tekin sjósýni til frekara mats á mögulegum áhrifum hlaupvatns á lifríkið, bæði utan og innan áhrifasvæðis hlaupsins (sjá nánar í þremur eftirfylgjandi greinum í þessari skýrslu). Seltulækkun sem mældist 15 – 20 km vestur af Vestmannaeyjum er rakin til hlaupsins sem var í Markarfljóti 14. apríl, skömmu eftir að gosið hófst undir jöklinum. Á sama svæði mátti greina aukinn styrk kísils í efstu metrunum. Hlaupvatnið hefur blandast sjó þar sem vorblómi svifþörungna hafði átt sér stað og þar var líka umtalsvert magn af dýrasvifi.

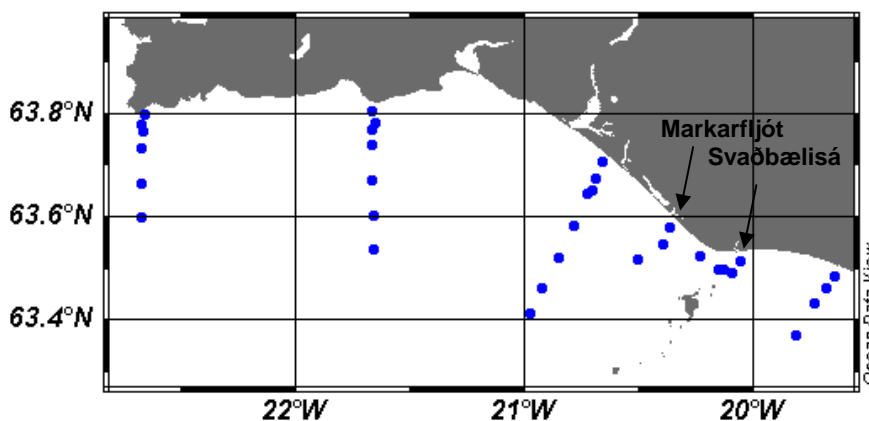
Abstract

A volcanic eruption started 14 April 2010 below the glacial cap of Eyjafjallajökull. This caused a flood of

melt water in the river Markarfljót, which had substantial amount of dissolved chemicals and erosive debris, in the following days. As the flood brought that material to the coastal waters, which are important spawning areas for several commercial fish stocks, a cruise was arranged in order to monitor the effects. Here the observed distribution of seawater temperature, salinity, oxygen, nutrients, chlorophyll a, zooplankton biomass and codfish eggs is revealed for the coastal water south and west of the flooded rivers during 15–18 April. Additionally, seawater samples were collected for testing some possible effects of the flood water on phytoplankton photosynthesis and zooplankton egg production and cod hatching (c.f. the three succeeding articles of this report). A patch with low salinity, observed about 15–20 km west of Vestmannaeyjar, is assumed to be caused by the main flood in Markarfljót during the 14 April. Apparently there was enrichment of silicate near the surface. The flood water was mixed with seawater and with the ongoing spring bloom and considerable zooplankton growth.

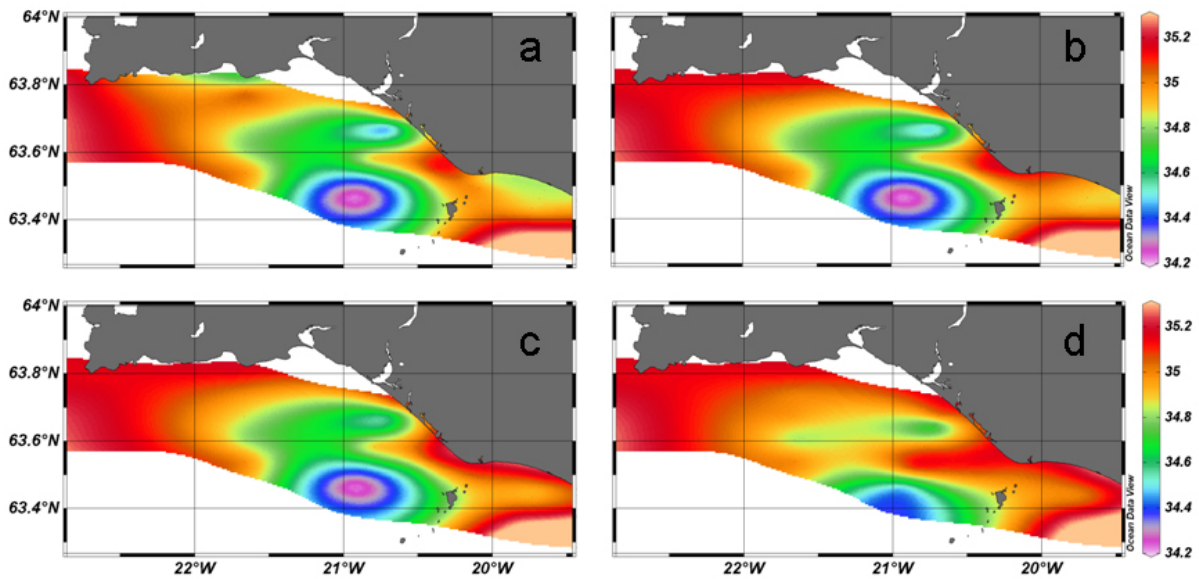
Inngangur

Strandsjórinn við suðurströndina er mikilvægur fyrir hrygningu nytjafiska við Ísland. Eldgos hófst undir Eyjafjallajökli skömmu fyrir miðnættið aðfaranótt 14. apríl og skömmu síðar ruddist hlaupvatn norðan undan jökulhettunni



1. mynd. Athugunarstaðir í leiðangri á r.s. Bjarna Sæmundssyni 15. – 18. apríl 2010.

Figure 1. Locations for CTD profiles and water sampling on cruises with r.v. Bjarni Sæmundsson, 15–18 April 2010.



2. mynd. Selta á athugunarsvæðinu, a) á 5 m, b) á 10 m, c) á 15 m og d) á 20 m dýpi.

Figure 2. Salinity distribution in the research area at, a) 5 m, b) 10 m, c) 15 m and d) 20 m depth.

og fram eftir Markarfljóti. Nokkru síðar kom annað hlaup til suðurs og flæddi til sjávar í farvegi Svaðbælisáar, en það var nánast eðjuhlaup og miklu vatnsminna. Auk framburðar með hlaupvatni barst feikn gosösku undan vindi til sjávar. Erfiðara er að henda reiður á dreifingu þess efnis, en þar sem vindur var vestlægur hafði aska lítið dreifst yfir rannsóknsvæðið þegar leiðangurinn var farinn. Í ljósi þess hve svæðið er mikilvægt fyrir nytjafisk þótti nauðsynlegt að kanna útbreiðslu hlaupvatnsins og hugsanleg áhrif efna í framburði hlaupvatns, sem eldgosíð undir Eyjafjallajökli kom af stað, á lífríkið í strandsjónum. Leiðangur var farinn á r.s. Bjarna Sæmundsýni frá Reykjavík 15. apríl og siglt austur með suðurströndinni að ósum Markarfljóts og Svaðbælisáar. Mælingar voru gerðar á leiðinni austur þar sem siglingaleiðin lá yfir fyrirfram ákveðin snið, sem síðar voru skoðuð nánar á leiðinni til baka með sýnatökum á fjórum til sjö stöðvum á hverju sniði út frá landinu (1. mynd).

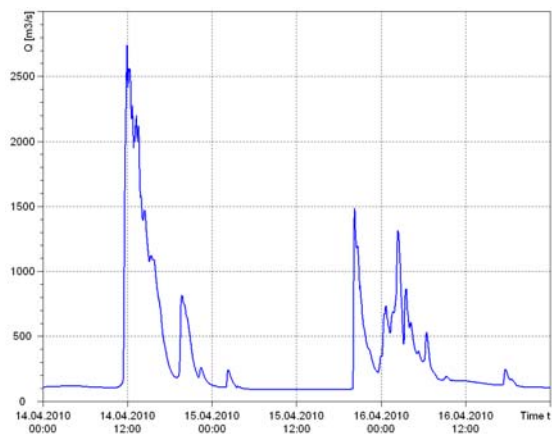
Dreifing hita og seltu

Er komið var austur fyrir Markarfljót sást að gruggugur sjó var dreifður þar fyrir austan. Það var í samræmi það sem áður hafði sést úr flugvél Landhelgisgæslunnar, sem flaug yfir svæðið fyrr um daginn þann 16. apríl. Selta sjávar á þessum slóðum var há, sem bendir til þess að tiltölulega lítið ferskvatn hafi borið gruggið til sjávar. Mest af ferskvatnsblönduðum

sjó fannst um 20 sjómilur vestur af Heimaey eins og sést á myndum 2 a-d.

Samkvæmt upplýsingum frá Gunnari Sigurðssyni á Veðurstofu Íslands var heildarrensli í hlaupinu sem varð 14. apríl um 35 Gl og í hlaupinu sem átti sér stað 15. - 16. apríl um 20 Gl. Rennslismælingar sýndu að hlaupið náði hámarki við Markarfljótsbrú um hádegið (3. mynd). Hlaupin voru því tvær gusur með stuttu millibili rétt fyrir og á sama tíma og leiðangurinn.

Meginhlaupið, þann 14. apríl, rann út í sjó á stuttum tíma og myndaði einskonar „bólú“ í strandsjónum. Samkvæmt rennslismælingum á Markarfljótsbrú var hlaupið liðið hjá á u.þ.b. 6



3. mynd. Rennsli ($m^3 s^{-1}$) í Markarfljóti 14–16 apríl 2010.

Figure 3. Water flow ($m^3 s^{-1}$) in Markarfljót 14–16 April 2010.

klst. Á 2. mynd a-d, sem sýna dreifingu seltu á 5m, 10m, 15m og 20m dýpi, má greina tvær bólur með lægri seltu vestan við Vestmannaeyjar. Önnur utar og stærri en hin nær landi og heldur umfangsminni. Lægri seltu mátti greina niður á um 25 m dýpi vestan Eyja. Leiða má líkum að því að þarna hafi sést merki eftir umrædd flóð í Markarfljóti. Athuganir á sjó hófust síðan austan við og við ósa Markarfljóts þann 16. apríl og var unnið vestur með ströndinni.

Vindagögn frá Stórhöfða, sem fengin voru frá Trausta Jónssyni á Veðurstofu, sýna nokkuð ákveðnar norð- og vestlægar áttir dagana sem hlaupið náði til sjávar og næst á eftir. Virðist sem vindur hafi rekið ferskvatnið í fyrstu gusunni utar en sú síðari sem var mun minni hafi borist meira til vesturs en sú fyrri. Hlaupvatnið úr fyrri gusunni virðist því hafa farið utar á landgrunnið og blandast á meira dýpi en í fyrstu mátti ætla ef það hefði farið grunnt með landi. Því má ætla að hrygningarsvæði nytjastofna hafi sloppið tiltölulega vel við fyrsta hlaupvatnið sem var mjög mengað af gosefnum. En mikilvæg hrygning fer fram grunnt með landi vestan við Markarfljótsósa.

Mikið magn gosefna barst auk þessa undan vindi og yfir sjó þá daga sem leiðangurinn stóð (4. mynd) og mun lengur miðað þær upplýsingar sem fá má um gosmökkinn. Stífar norðlægar áttir stóðu þann 14. og 15. apríl. Fór vindur á Stórhöfða ítrekað yfir 20 m s⁻¹ í hviðum. Á 4. mynd má sjá hvernig gosefni lögðust í rákir á yfirborði sjávar. Þetta mynstur er þekkt sem svonefndar Langmuir sellur og stafa af vindreki á yfir borði sjávar.

Dreifing næringarefna

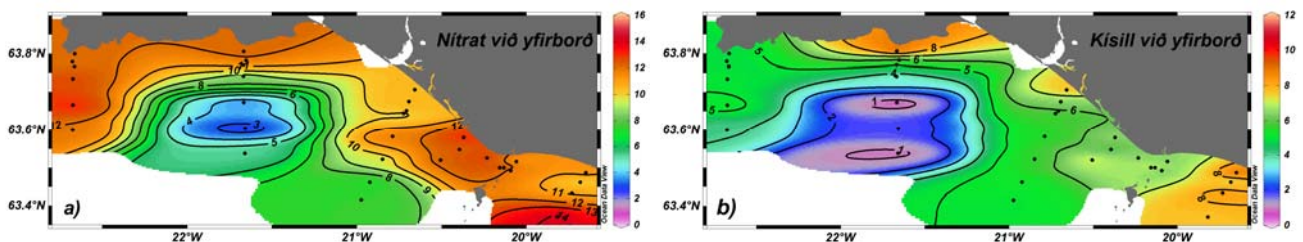
Styrkur næringarefna var mældur í sjósýnum sem tekin voru á 0, 10, 20, 30, 50, 100 m dýpi, ef botndýpið leyfði, og við botn á öllum stöðvum (1. mynd). Dreifing kísils og nítrats við



4. mynd. Gosefni á yfirborði sjávar 10 km suður af Eyjafjallajökli. Mynd: Ingólfur Júlíusson, þ. 15. apríl, kl. 18.

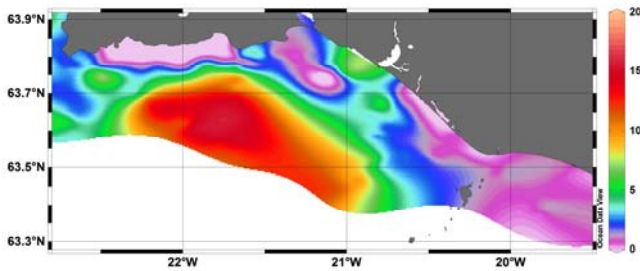
Figure 4. Volcanic ash at the sea surface, approximately 10 km south of Eyjafjallajökull. Foto: Ingólfur Júlíusson, at 18 hours 15 April.

yfirborð er sýnd á 5. mynd. Í fersku vatni sem fellur til sjávar við suðurströndina er mun hærri kísilstyrkur en er í sjónum, en nítratstyrkur er hinsvegar lægri. Þar sem umrædd hlaup voru ekki stór miðað við rúmmál þess ferskvatns sem daglega berst til sjávar á svæðinu er erfitt að ráða í dreifingu hlaupvatnsins út frá næringarefnunum. Á vorin lækkar næringarefnastyrkur vegna blóma svifþörungna og má af niðurstöðunum ráða að allmikill blómi hafi verið 15-30 km úti fyrir Krísuvík og á Selvogsbankasniði þegar mælingin var gerð. Á þessu svæði má gera ráð fyrir að nítratstyrkur sé um 14 μM og kísilstyrkur um 7 μM í lok vetrar (Sólveig R. Ólafsdóttir 2006). Á 5. mynd sést að nítratstyrkur hafði lækkað niður í 3-4 μM og kísill niður í minna en 1 μM þar sem mestur blómi var. Við ströndina má sjá hækkaðan kísilstyrk, en það er ekki óvenjulegt vegna ferskvatnrennslis. Eins og fram hefur komið mældist lægsta seltan á Selvogsbankasniði á þremur ystu



5. mynd. Styrkur næringarefnanna Nítrats- og kísils ($\mu\text{mol l}^{-1}$) við yfirborð. Lág gildi nítrats (a) og kísils (b) gefa til kynna að þörungablómi hafði átt sér stað á sniði út frá Krísuvík.

Figure 5. Nitrate and silicate concentrations ($\mu\text{mol l}^{-1}$) at the surface. Low concentrations of nitrate (a) and silicate (b) are indicative of a phytoplankton bloom on a transect south of Krísuvík.



6. mynd. Blaðgræna á um 4 m dýpi, mæld í sírennsliskerfi r.s. Bjarna Sæmundssonar 15.-18. apríl.

Figure 6. Chlorophyll distribution at 4 m depth, measured in a flow-through system on board r.v. Bjarni Sæmundsson 15–18 April.

stöðvunum og er það rakið til hlaupsins í Markarfljóti 14. apríl. Verulegt magn blaðgrænu mældist á þessum stöðvum, svo að vöxtur þörungna þar hefur verið tilsvarendi mikill. Áhrif hlaupvatnsins eru merkjanleg í kísilstyrk þar sem hann mældist hærri í yfirborðinu á þessum stöðvum heldur en á 10 og 20 metra dýpi.

Dreifing blaðgrænu

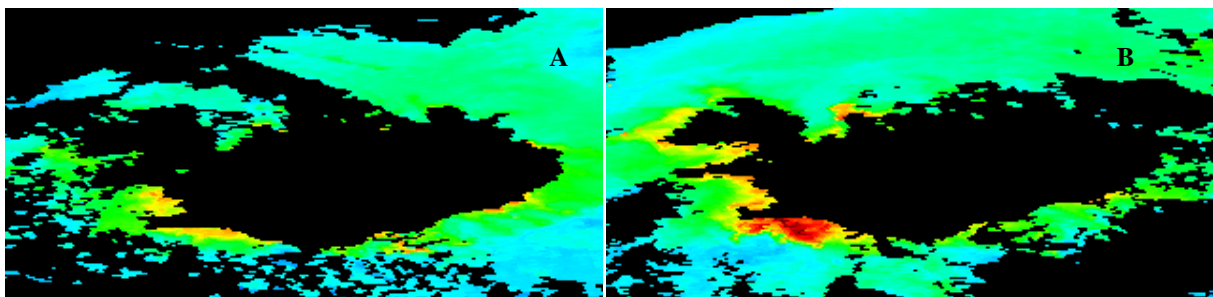
Kort sem sýnir lárétta dreifingu *a*-blaðgrænu í yfirborðssjónum suðvestur með landinu (6. mynd) er teiknað samkvæmt niðurstöðum mælinga í sírennsliskerfi skipsins umrædda daga. Skráð gildi úr sírennsliskerfinu voru kvörðuð á móti niðurstöðum mælinga á *a*-blaðgrænu í sjósýnum, sem voru tekin reglubundið í leiðangrinum. Myndin sýnir gróskumikinn flekk suður af Krísuvík, sem nær til austurs á Selvogsbankasnið. Vorblómi á þessu svæði hefur átt sér stað óvenju snemma þetta árið (Þórunn Þórðardóttir 1986), og skýrist væntanlega af því að nauðsynleg lagskipting hafi þegar átt sér stað í strandsjónum. Vatn frá hlaupinu í Markarfljóti 14. apríl gæti síðan hafa blandast jaðri flekksins á Selvogsbankasniðinu.

Þannig má skýra að mikill gróður, og jafnframt há kísilgildi, mældust í sýnum sem voru tekin tveimur dögum eftir hlaupið á utanverðu Selvogsbankasniði.

Dýrasvif

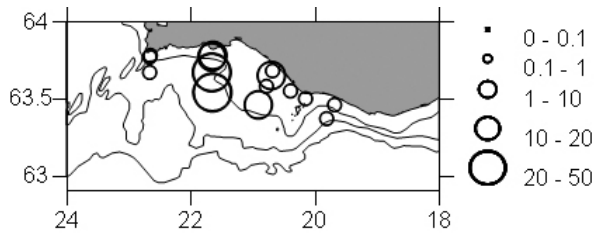
Sýnum var safnað á 15 stöðvum til að fá upplýsingar um lífmassa og samfélagsgerð dýrasvifsins (8. mynd). Til söfnunar var notaður WP2-háfur með 0,25 m² flatarmáli háfops og netið var með 200 µm möskvastærð. Háfurinn var dreginn lóðrétt frá 100 m dýpi, eða 10 m frá botni þar sem grynna var, og upp í yfirborð með hraðanum u.þ.b. 45 m á mínútu. Rúmmál sjávarins sem síaður var í gegnum háfinn var mælt með flæðismæli og fjölda- og lífmassagögn stöðluð í samræmi við síað rúmmál. Sýnin voru síðan varðveitt í 4% formalíni. Á rannsóknastofu voru sýnin skönnuð og greind á sjálfvirkan hátt (ZooImage) til að fá upplýsingar um fjölda og tegundasamsetningu (sjá Hildur Pétursdóttir og Ástþór Gíslason, í þessari skýrslu). Heildarþurrviggt sýnanna var metin út frá rúmmáli.

Í kjölfar hlaupsins um miðjan maí var frekar lítið af átu á rannsóknasvæðinu, að meðaltali ~2 g m⁻² (8. mynd). Mest var af átu á Krísuvíkursniði (~14 g m⁻²) en þar var einmitt mest af gróðri (6. mynd). Almenn var ungvíði áberandi í sýnunum, svo sem lirfustig rauðátu og ljósátu, fiskegg og fisklirfur. Þessar niðurstöður eru í samræmi við eldri rannsóknir á framvindu dýrasvifs suður af landinu (Ástþór Gíslason & Ólafur Ástþórsson 1995, Ástþór Gíslason o.fl. 2000) og má því álykta sem svo að áhrif hlaupvatnsins virðast ekki vera merkjanleg á átu-stofnana á svæðinu í heild, þótt ekki sé hægt að útiloka staðbundin skadleg áhrif.



7. mynd. Gervihnattamyndir sem sýna dreifingu *a*-blaðgrænu, a) 7.-14. apríl og b) 15.-22. apríl. Endurbirt Aqua-MODIS / NASA gögn, með góðfúlegu leyfi af vefsíðu OceanColor.

Figure 7. Satellite images of the distribution of chlorophyll-*a*, a) 7–14 April and b) 15–22 April. Reproduced from OceanColor website on Aqua-MODIS with compliment from NASA.

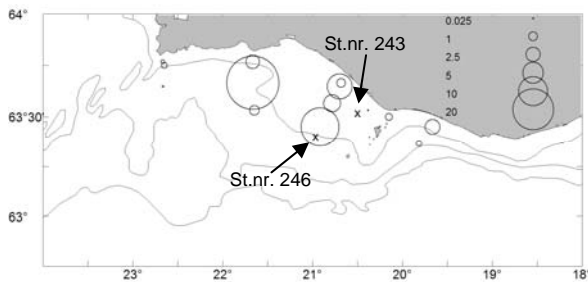


8. mynd. Lífmassi dýrasvifs (g þurrvigt m^{-2}) 16.-17. apríl 2010.

Figure 8. Zooplankton biomass ($\text{g dry weight m}^{-2}$) 16-17 April 2010.

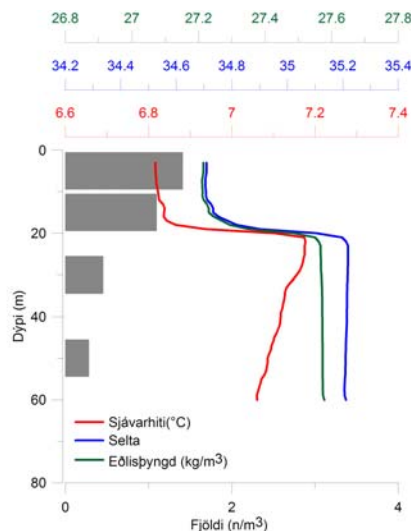
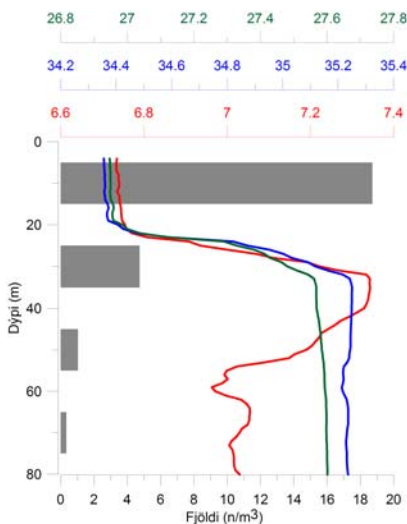
Dreifing eggja þorsks og ýsu

Í leiðangrinum var fiskeggjum safnað á 15 stöðvum með háfi sem er stálhringur, 80 cm í þvermál, með 2 m löngu neti og 500 μm möskvastærð. Háfurinn var dreginn lóðrétt á u.þ.b. $0,75 \text{ m s}^{-1}$ hraða frá 50 m dýpi í yfirborð, eða frá 5 m fyrir ofan botn þar sem botndýpið var takmarkandi. Rúmmál sjávarins, sem háfurinn síaði var mælt með flæðismæli í opi



9. mynd. Útbreiðsla og fjöldi þorsk- og ýsueggja (fj/m^3) úti fyrir suðvesturströnd Íslands 16.-18. apríl 2010. Stöðvar þar sem lóðrétt dreifing eggja var könnuð eru auðkenndar með krossi.

Figure 9. Abundance (no. m^3) and distribution of cod- and haddock eggs of the southwest coast of Iceland, 16-18 April 2010. Crosses indicate stations where vertical profiles were taken.



10. mynd. Dýptardreifing þorsk- og ýsueggja (fjöldi m^3) á stöðvum 243 (vinstri) og 246 (hægri). Ath. mismundandi kvarðar á x-ásunum samsvara samlita línum og einingum sem sýndar eru á myndinni til hægri.

Figure 10. Vertical distributions of cod- and haddock egg abundance (no. m^3) at stations 243 (left) and 246 (right). Note the different scale on the x-axis correspond to the lines of same color and the legends, i.e. temperature (red), salinity (blue) and density (green).

háfsins. Öll sýni voru varðveitt í 4% formalíni þar til úrvinnsla þeirra fór fram. Á rannsóknastofu í landi voru öll fiskegg tínd úr sýnunum, þau greind til tegunda og talin eða fjöldinn uppreiknaður út frá hlutsýni. Ekki er unnt að greina á milli þorsk- og ýsueggja nema þau séu alveg komin að klaki og litberar orðnir einkennandi. Einungis fundust örfá egg á þessu síðasta stigi þroskaferilsins og því eru þorsk- og ýsuegg talin saman í þessari rannsókn. Til að meta þéttleika eggjanna í sjónum voru allar fjöldataölur staðlaðar, miðaðað við síað rúmmál í háftogi, þ.e.a.s. fjöldi eggja í rúmmetra.

Dýptardreifing þorsk- og ýsueggja var könnuð með Multinet fjölneta-háfi á tveimur stöðvum vestan Vestmannaeyja (9. mynd). Háfurinn er með fjórum netum með 333 μm möskvastærð og er dreginn á leiðandi kapli, þannig að hægt er að stjórna frá skipinu hvar háfar opnast og lokast og afla dýpisskiptra sýna úr öllum vatnsbolnum. Við söfnunina var háfnum slakað niður á æskilegt dýpi og hann síðan dreginn hægt í gengnum ákveðið dýpisbil. Á dýpri stöðinni voru tekin sýni á fjórum dýpissbilum, frá 80-60 m, 60-40 m, 40-20 m og frá 20 m í yfirborð. Á grynri stöðinni voru jafnframt tekin sýni á fjórum dýpissbilum eða frá 60-40 m, 40-20 m, 20-10 m og frá 10 m í yfirborð. Leitast var við að hafa hífingarhraða í Multinet-togunum $\sim 0,5 \text{ m sek}^{-1}$.

Þorsk- og ýsuegg fundust á öllum stöðvum þar sem tekin voru eggjasýni eða frá Reykjanesi austur að svæðinu úti fyrir Svaðbælisá (9. mynd). Þéttleiki eggja var mestur á einni stöð á Krýsuvíkursniði (32 m^{-3}) en minnstur úti fyrir Reykjanestá ($0,023 \text{ m}^{-3}$). Þá var þéttleiki eggja nokkur á sniði vestur af Vestmannaeyjum.

Á stöðvunum tveimur þar sem dýptardreifing eggja var könnuð var þéttleikinn mestur í yfirborðslögnum, í og ofan við hitaskiptalagið og í sjó með tiltölulega lágri seltu (10.mynd).

Heimildir

Ástþór Gíslason & Ólafur S. Ástþórsson 1995. Seasonal cycle of zooplankton southwest of Iceland. *Journal of Plankton Research* 17: 1959-1976.

Ástþór Gíslason, Ólafur S. Ástþórsson, Hildur Pétursdóttir, Hafsteinn Guðfinsson & Anna Rósa Bøðvarsdóttir 2000. Life cycle of *Calanus finmarchicus* south of Iceland in relation to hydrography and chlorophyll a. *ICES Journal of Marine Science* 57: 1619-1652.

Sólveig R. Ólafsdóttir 2006. Styrkur næringarefna í hafinu umhverfis Ísland. Hafrannsóknastofnunin, Fjölrit, 122, 24 bls.

Þórunn Þórðardóttir 1986. Timing and duration of spring blooming south and southwest of Iceland. Í: Skreslet, S. (ritstj.). *The role of freshwater outflow in coastal marine ecosystems*. NATO ASI Series, G7:345-360.

ÁHRIF HLAUPVATNS Í KJÖLFAR GOSS Í EYJAFJALLAJÖKLI Í APRÍL 2010 Á STRANDSJÓ SUNNAN LANDS: II. FRUMFRAMLEIÐNI / EFFECTS OF FLOOD WATER, CAUSED BY ERUPTION IN EYJAFJALLAJÖKULL IN APRIL 2010, ON COASTAL WATERS SOUTH OF ICELAND: II. PRIMARY PRODUCTIVITY

Kristinn Guðmundsson
Hafrannsóknastofnunin, Reykjavík

Ágrip

Sýni með mismunandi hlutfalli af sjó sem annars vegar var safnað utan ósa Svaðbælisáar, mengaður framburði undan jökli, og hins vegar sjó sem álitin var ómengaður og með miklum gróðri og dýrasvifi voru notuð til að kanna hugsanleg áhrif framburðarins á frumframleiðni svifþörungum. Sýnin voru ræktuð á hefðbundin hátt við ljósmettun í hitastýrðum skáp. Tölfræðileg greining á niðurstöðum mælinganna sýndu að íblöndun efna úr framburði Svaðbælisáar hafði óveruleg áhrif á ljóstíllifun svifþörungum.

Abstract

A simple experimental setup, using the ^{14}C method to measure carbon uptake at light saturation in a serie of mixtures of water. On one hand samples were taken near the mouth of the river Svaðbælisá (flooded by melt water from the eruption in Eyjafjallajökull in mid April 2010), on the other from assumed unaffected water patch with high chlorophyll values and zooplankton biomass. The samples were incubated at saturated light levels and controlled temperature, adjusted to that of the latter patch. Statistical analysis (Chi-square) of the measured results against that calculated according to the assumption that the flood water had no apparent effects, confirmed that null hypothesis.

Markmið

Markmiðið var að mæla hugsanleg áhrif mengunar úr hlaupvatni frá gosstöðinni undir Eyjafjallajökli á kolefnisbindingu svifþörungum og þar með frumframleiðni í strandsjónum.

Efniviður

Tilraunin var framkvæmd í leiðangri Bjarna Sæmundssonar (B6-2010), 15. – 18. apríl 2010. Sjór, greinilega blandaður hlaupvatni, var fylltur á tunnur við ós Svaðbælisárinnar (stöð A, 63° 29,15' N og 19° 38,75' V, þ. 16. apríl kl. 19) og síðan aftur 15 - 20 sjómílur vestur af Vestmannaeyjum (stöð B, 63° 24,9' N og 20° 58,3' V, þ. 17. apríl kl. 11). Á síðarnefndum staðnum var flekkur með umtalsverðu magni svifþörungum

og átu og það var gert ráð fyrir að á þeim stað gætti lítt áhrifa gosefna, eða hlaupvatns, frá Markarfljóti og/eða Svaðbælisá. Úr þessu tvennu, þ.e. annars vegar gruggugum sjónum frá Svaðbælisá (A) og hins vegar yfirborðssjó frá stöð vestur af Eyjum (B), var útbúin þynningasería í hlutföllunum 100, 50, 20, 10, 5, 2, 1, 1/2, 1/5 og 0% af gruggugum sjó (A) í „ómenguðum“ sjó (B). Tvö deilisýni voru tekin af hverjum styrk og undirbúin til mælingar á kolefnabindingu með hefðbundnum hætti (Parson et al. 1984), þ.e. íblöndun 2 μCi geislakols og síðan ræktuð við 225 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ljósstyrk í hitastýrðum skáp, sem stilltur var á hita sjávar á seinni sýnatökustaðnum. Auk þess voru tekin tvö sýni af hvoru tveggja A og B og þau meðhöndluð á sama hátt, að því undanskildu að flöskurnar voru pakkaðar í álþynnu til að útiloka að ljós kæmist að (myrkvuð sýni). Niðurstöður mælinga í Geiger-teljara á því sem eftir sat á síum með 0.2 μm gatastærð úr framangreindum sýnum er notað til að greina hugsanleg áhrif efna í framburði á ljóstíllifun svifþörungum.

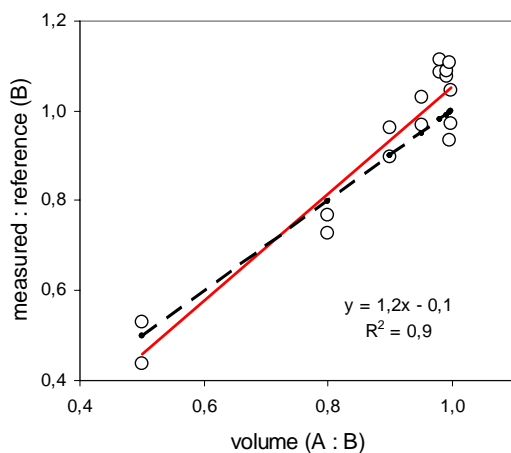
Niðurstöður og umræða

Mælingarnar sýndu að hlutbundið geislakol á síuðum sýnum frá stöð A var mjög lítið og ekki var marktækur munur á því hvort sýnin voru ræktuð í ljósi eða myrkvuð. Af því má álykta að lítið sem ekkert hafi verið af lifandi svifþörungum í sýni A. Af samsvarandi niðurstöðum frá stöð B mátti sjá að í sýnum sem ræktuð voru við ljósmettun mældist geislakol 25 sinnum hærra en í sýnum sem voru myrkvuð, sem er venjulegt. Mælingar þeirra 16 sýna í þynningaseríunni sem þá standa eftir, öll blönduð í mismunandi hlutföllum frá stöðvum A og B, voru skoðuð miðað við hlutfallslega þynningu, þ.e.a.s. niðurstöður mælinga voru greindar sem hlutfall af því sem vænta mátti miðað við þynningu á sýni B ef gert er ráð fyrir að innihald A hefði engin áhrif á niðurstöðurnar. Samkvæmt því ætti upptaka geislakols í 50%

blöndu (A:B) að vera helmingur af því sem mældist í sýni B, og svo koll af kolli. Samkvæmt tölfraðilegri greiningu á frávikum mældra niðurstaðna frá þessum væntanlegu niðurstöðum (Chi prófun í Exel-töflureikni) voru mælingarnar ekki marktækt frábrugðnar þess sem vænta mátti samkvæmt þynningum. Niðurstaðan er því að hugsanleg áhrif voru hverfandi lítil miðað við óvissu í mælingunum (1. mynd).

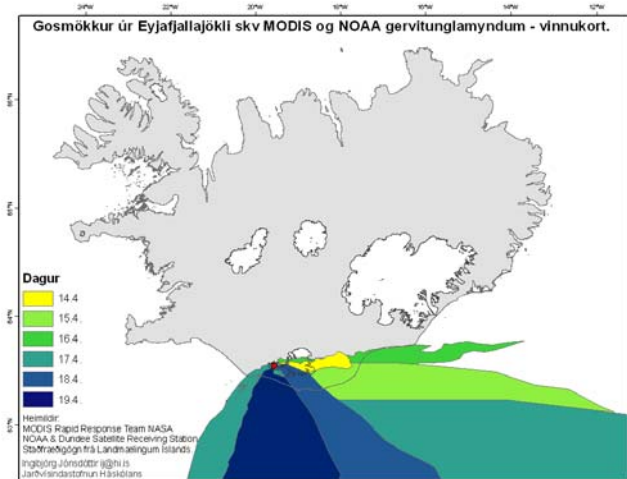
Þótt frávik mældra niðurstaðna séu ekki tölfraðilega marktækt frábrugðin væntanlegum áhrifum þynningar má engu að síður sjá að þegar íblöndun hlaupvatns frá Svaðbælisá var undir tíunda parti var kolefnisbindingin nær alltaf yfir væntanlegu gildi, en hallaði frekar á hinn veginn þegar styrkurinn var meiri en tíundi partur. Því má ætla að neikvæð áhrif, ef þau voru einhver, hafi haft fremur takmarkaða útbreiðslu.

Ekki er mögulegt að fullyrða að svæðið vestan Vestmannaeyja hafi verið alls kostar ómengað af framburði og hlaupvatni frá gossvæðinu og gera má ráð fyrir að einhver aska frá gosinu í Eyjafjallajökli hafi fallið á svæðinu, jafnvel þótt



1. mynd. Kolefnisupptaka, afstæðar niðurstöður mælinga eftir ræktun sjósýna með mismunandi hlutfalli yfirborðssjávar frá annars vegar stöð skammt utan ósa Svaðbælisár (A) og hins vegar stöð 15 - 20 sjómíllur vestur af Heimaey (B). Besta línulega aðfella (heildregin rauð lína) er dreginn í gegnum niðurstöður mælinga (hringir) og til viðmiðunar er sýnd áætluð áhrif þynningar (brotalína), þar sem gert er ráð fyrir að enginn lífmassi hafi verið í sjósýninu frá Svaðbælisá.

Figure 1. Uptake of radioactive carbon in incubated water samples in a dilution series of water from close to the mouth of the river Svaðbælisá (A) and that of assumed unaffected area west of Vestmannaeyjar (B). The results (points) are shown as ratio of that in undiluted samples from the latter (B) and the simple regression line (solid red) is shown in comparison to the (1:1) line, i.e. the assumable effects of dilution.



2. mynd. Dreifing ösku frá gosi í Eyjafjallajökli, 14.–19. apríl 2010, skv. upplýsingum frá gervitunglum. Myndin er birt með góðfúslegu leyfi Ingibjargar Jónsdóttur, Háskóla Íslands.

Figure 2. Distribution of volcanic ash from the eruption in Eyjafjallajökull, 14–19 April 2010, according to NASA satellite information, collated by Ingibjörg Jónsdóttir, University of Iceland.

vindur hafi borið megnið af gosmökkinum austur fyrir Vestmannaeyjar (2. mynd). Ríkjandi vindátt á þessum tíma var norð- og vestlæg. Af dreifingu seltu í sjó vestan Vestmannaeyja sést að þar gæti áhrifa frá landi (sjá Héðinn Valdimarsson *et al.*, í þessu hefti) og líkur eru leiddar að því að „pollar“ með hlaupvatni hafi borist til suðurs vestan við Eyjar.

Gera má ráð fyrir að við góðar aðstæður sé aðdragandi vorblóma á bilinu ein til tvær vikur (Smetacek & Passow 1990). Því má ætla að umræddur gróðurflekkur, þar sem sýni B var tekið, hafi byggst upp á lengri tíma en nemur þeim tæpum þremur sólarhringum sem liðu milli flóðsins í Markarfljóti og söfnunardagins, 17. apríl. En jafnvel þótt eithver vottur af hlaupvatninu hafi borist á svæðið þar sem sjórinn sem álitinn var „ómengaður“ var tekinn, breytir það í sjálfu sér ekki miklu varðandi framangreinda túlkun. Mælingarnar gefa vísbendingu um að áhrif framburðar með hlaupvatni hafði líklega verið óveruleg á frumframleiðslu gróðurs í sjónum sunnan landsins. Þynning verður fljótt umtalsverð. Lagskipting vegna seltulækkunar snemma vors skapar hins vegar, eins og endranær, aðstæður fyrir svifþörungablóma (Þórunn Þórðardóttir 1986, 1994). Ljóst má vera að meiri rannsókn er þörf áður en hægt verður að fullyrða almennt um áhrif gosefna, og annars framburðar í hamfarahlauptum undan jökli, á vöxt gróðurs í sjó.

Heimildir

Héðinn Valdimarsson, Sólveig R. Ólafsdóttir, Kristinn Guðmundsson, Ástþór Gíslason, Hildur Pétursdóttir, Björn Gunnarsson & Agnar Steinarsson 2011. Áhrif hlaupvatns, í kjölfar goss undir Eyjafjallajökli í apríl 2010, í strandsjó sunnan lands: I. Dreifing í sjó. Í: *Þættir úr vistfræði sjávar*. Hafrannsóknir, í þessu hefti.

Parson, T.R., Maita, Y. & Lalli, C.M. 1984. *A manual of chemical and biological methods for seawater analysis*. Pergamon Press, Oxford, 173 p.

Smetacek, V. & Passow, U. 1990. Spring bloom initiation and Sverdrup's critical-depth model. *Limnology Oceanography*, 35:228-234.

Þórunn Þórðardóttir 1986. Timing and duration of spring blooming south and southwest of Iceland. Í: Skreslet, S. (ritstj.). The role of freshwater outflow in coastal marine ecosystems. *NATO ASI Series*, G7:345-360.

Þórunn Þórðardóttir 1994. Plöntusvif og framleiðni. Í: Unnsteinn Stefánsson (ritstj.). Íslendingar, hafíð og auðlindir þess. *Vísindafélag Íslendinga, Ráðstefnurit IV*, Háskóli Íslands, Reykjavík.

ÁHRIF HLAUPVATNS Í KJÖLFAR GOSS Í EYJAFJALLAJÖKLI Í APRÍL 2010 Á STRANDSJÓ SUNNAN LANDS: III. DÝRASVIF / EFFECTS OF FLOOD WATER, CAUSED BY ERUPTION IN EYJAFJALLAJÖKULL IN APRIL 2010, ON COASTAL WATERS SOUTH OF ICELAND: III. ZOOPLANKTON

Hildur Pétursdóttir og Ástþór Gíslason
Hafrannsóknastofnunin, Reykjavík

Ágrip

Könnuð voru áhrif hlaupvatns, í kjölfar goss undir Eyjafjallajökli, á vöxt og viðgang dýrasvifs suður af landinu. Niðurstöður um magn og dreifingu átu sem og eggjaframleiðslu og klakárang rauðátu benda til að hlaupið hafi ekki haft skaðleg áhrif á vöxt og viðgang átustofnana á svæðinu í heild, þótt ekki sé hægt að útiloka staðbundin áhrif.

Abstract

Possible effects of flood water, caused by eruption in Eyjafjallajökull in April 2010, on the growth and abundance of zooplankton were investigated in April and May (three cruises) south of Iceland. Based on the distribution and abundance of zooplankton in the area as well as egg production and hatching success of *Calanus finmarchicus*, it is indicated that the flood water did not negatively affect the growth and development of zooplankton stocks in the area on a large scale, although local effects cannot be excluded.

Markmið

Tilgangur áturannsóknanna var að kanna áhrif hlaupsins á vöxt og viðgang dýrasvif með áherslu á krabbaflóna rauðátu (*Calanus finmarchicus*), sem er mikilvægasta tegundin í vistfræðilegu tilliti (Conover 1998; Ólafur Ástþórsson & Ástþór Gíslason 1995).

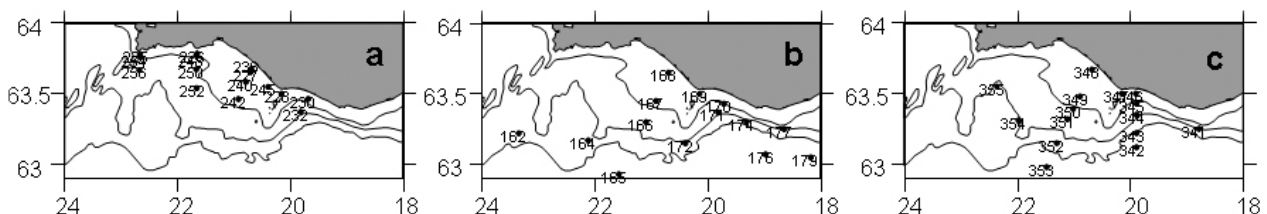
Efniviður og aðferðir

Sýnum var safnað suður af landinu í þremur leiðöngrum (1. mynd). Sá fyrsti var farinn í kjölfar hlaupsins um miðjan apríl 2010 (sjá nánar Héðinn ofl. í þessari skýrslu). Síðan var sýnum einnig safnað í tveimur af hefðbundnum leiðöngrum stofnunarinnar í lok apríl (síldarleiðangur) og síðarihluta maí (vorleiðangur)

Í hlaupleiðangrinum var sýnum safnað á 15 stöðvum suður og suðvestur af landinu (1. mynd) til að fá upplýsingar um lífmassa og samfélagsgerð og voru þau varðveitt í 4% formalíni. Sýnum var einnig safnað fyrir eggjaframleiðslu (8 stöðvar) og klaktilraunir (4 stöðvar) hjá rauðátu. Í síldarleiðangri og vorleiðangri var sýnum safnað fyrir lífmassamælingar (sýnin voru fryst í álbökkum í vorleiðangri en varðveitt í formalíni í síldarleiðangri) og til tegundagreiningar á 5 völdum stöðvum.

Notaður var WP-2 háfur (flatarmál háfops 0,25 m², möskvastærð 200 µm) og var honum slakað niður á 100 m (50 m í vorleiðangri) eða u.þ.b. 10 metra frá botni þar sem botndýpi var minna og háfurinn svo hífður lóðrétt upp aftur. Magn sjávar sem fór í gegnum háfinn var mælt með flæðismæli (HydroBios) í miðju háfopinunni. Til að safna lifandi dýrum til eggjaframleiðslu og klaktilrauna var háfurinn dreginn með lokaðri söfnunardós til að fara sem best með dýrin.

Formalínsýnin voru skönnuð og greind á



1. mynd. Kort sem sýnir stöðvar þar sem sýnum fyrir dýrasvifsrannsóknir var safnað í A) hlaupleiðangri 16.-17. apríl 2010, B) síldarleiðangri 29.-30. apríl 2010, C) vorleiðangri, 26.-28 maí 2010.

Figure 1. Stations where zooplankton were sampled in A) flood-cruise 16-17 April 2010, B) herring cruise 29-30 April 2010, C) spring cruise, 26-28 May 2010.

sjálfvirkan hátt með ZooImage hugbúnaðinum sem flokkaði rauðátuna í mismunandi þroskastig (sjá nánar um aðferðafræðina: Ástþór Gíslason og Silva, 2009).

Magn rauðátu (fjöldi m^{-2}) var reiknað út frá fjölda rauðátu í sýni, rúmmáli sjávar sem fór í gegnum háfynn og söfnunardýpi. Heildar þurrvigt sýnanna ($g m^{-2}$) var fengin með því að þurrka sýnin við $70^{\circ}C$ í a.m.k. einn sólarhring og vigta síðan. Í hlaupleiðangri og síldarleiðangri (að hluta) var þurrvigt hins vegar metin út frá rúmmáli sýna sem voru rotvarin í formalíni.

Eggjaframleiðslutilraunir:

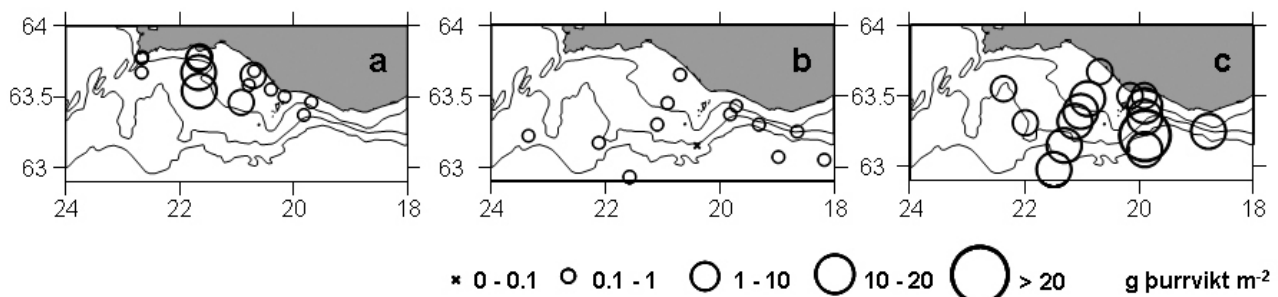
Til eggjaframleiðslutilrauna voru kvendýr tínd úr sýnunum og sett í sérhannaða eggjaframleiðslu-hólka úr plexigleri (65 mm í þvermál og 180 mm á hæð) sem voru fylltir af síuðum sjó (65 μ m). Neðst á hólkunum voru trektar þar sem eggjin sem kvendýrin framleiddu á meðan tilraunin stóð söfnuðust fyrir. Á milli hólksins og trektarinnar var net (300 μ m möskvastærð) sem hafði það hlutverk að koma í veg fyrir að rauðátan æti eggjin sín. Eitt kvendýr var sett í hvern hólka og 20 tilraunir gerðar á hverri stöð þegar það var hægt. Eggjaframleiðslutilraunin stóð í einn sólarhring og var reynt að líkja eftir náttúrulegu umhverfi, þ.e. hólkarnir voru hafðir á dimmum stað og sjór látinn renna um þá þannig að hitastigið var nálægt yfirborðshita sjávar. Að tilraun lokinni voru eggjin síuð á þar til gert net (20 μ m) og talin á netinu undir víðsjá.

Klaktilraunir:

Kvendýrum var komið fyrir í lokuðum glösum (240 ml) með síuðum sjó (65 μ m). Tvö dýr voru

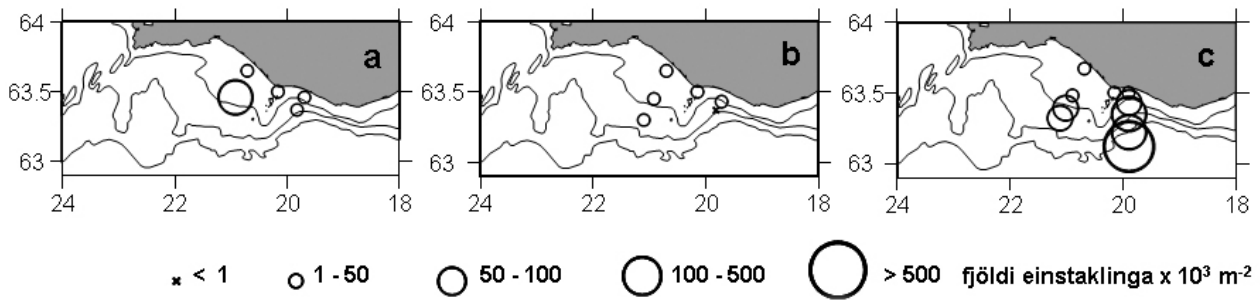
í hverju glasi og á hverri stöð voru gerðar 10 tilraunir (endurtekningar) ef nóg fannst af kvendýrum. Glösin voru geymd í ísskáp við $7^{\circ}C$. Eftir einn sólarhring voru kvendýrin fjarlægð úr glösunum og eftir fjóra sólarhringa var tilrauninni lokið með því að bæta Lugol-laun í glösin, en það drepur egg og lirlfur og varðveitir sýnin. Egg og lirlfur voru síðan settar á net (20 μ m) og talin undir víðsjá. Klakarángur var reiknaður sem hlutfall (%) klakinna eggja af heildarfjölda eggja (klakinna og óklakinna). Reiknað var meðaltal fyrir tilraunirnar sem gerðar voru á hverri stöð. Með þessari aðferð fást því bæði upplýsingar um eggjaframleiðslu (þ.e. heildarfjöldi klakinna og óklakinna eggja) og klakárgang. Þessi aðferð er frábrugðin þeirri sem lýst er í kaflanum hér að framan að því leyti að ekki eru notaðir sérhannaðir eggjaframleiðsluhólkar sem koma í veg fyrir að kvendýrin éti eggjin sín. Það virðist þó ekki hafa haft áhrif á eggjaframleiðsluna hér þar sem rauðátan er að framleiða svipaðan fjölda eggja í báðum tilfellum (4. og 5. mynd).

Til að meta hugsanleg áhrif gosefna á eggjaframleiðslu og klak rauðátu var sett upp eftirfarandi tilraun. Fyrst var kvendýrum safnað úr „ómenguðum“ sjó (stöð 242, $63^{\circ}24,9'N-20^{\circ}58,3'V$) og þeim síðan dreift í ílát með sjó með mismunandi styrk gosefna, þ.e. gruggum yfirborðssjó sem safnað var á tunnur skammt utan við ós Svaðbælisáar var blandað saman við yfirborðssjó frá stöð 242 í mismunandi hlutföllum. Tilraunin var framkvæmd í ómenguðum sjó (0%), í blöndu með 0,2%, 0,5%, 1%, 2%, 5%, 10%, 20% og 50% af grugguga sjónum og í óþynntu grugginu (100%). Fimm endurtekningar voru gerðar fyrir hvern styrkleika og eitt kvendýr sett í hvert glas.



2. mynd. Lífmassi dýrasvífs suður af landinu (g þurrvigt m^{-2}), A) 16.-17. apríl 2010, B) 29.-30. apríl 2010 C) og 26.-28. maí 2010.

Figure 2. Zooplankton biomass south off Iceland (g dry weight m^{-2}), A) 16-17 April 2010 B) 29-30 April 2010 and C) 26-29 May 2010.



3. mynd. Rauðáta. Heildarfjöldi (fjöldi einstaklinga m^{-2}) suður af landinu, A) 16.-17. Apríl 2010, B) 29.-30. apríl 2010, og C) 26.-28. maí 2010.

Figure 3. *Calanus finmarchicus*. Total number (individuals m^{-2}) of south off Iceland, A) 16-17 April 2010, B) 29-30 April 2010, and C) 26-28 May 2010.

Niðurstöður og umræður

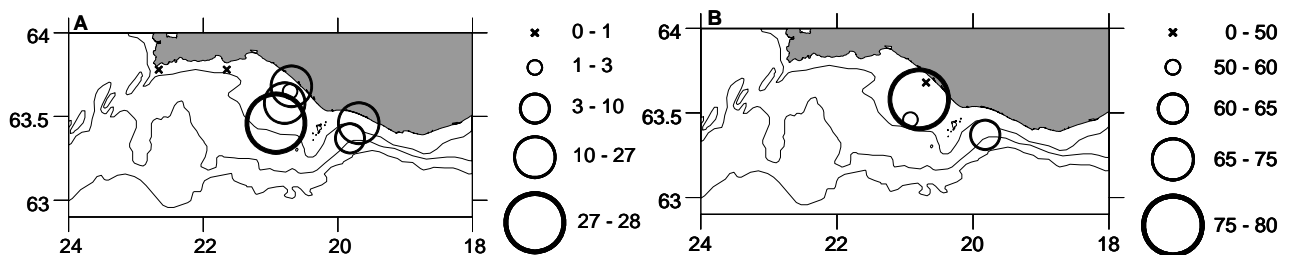
Frekar lítið var af átu í apríl ($\sim 2 \text{ g m}^{-2}$, meðaltal fyrir allar stöðvar) en átumagnið jókst síðan verulega í lok maí ($\sim 12 \text{ g m}^{-2}$) (2. mynd) sem er í samræmi við fyrri niðurstöður um framvindu dýrasvifs suður af landinu (Ástþór Gíslason & Ólafur Ástþórsson 1995). Hafrannsóknastofnunin hefur í áratugi fylgst með magni og útbreiðslu dýrasvifs að vorlagi á Íslandsmiðum (sjá t.d. Ólafur S. Ástþórsson & Ástþór Gíslason 1995; Ástþór Gíslason o.fl. 2009) og í lok maí reyndist átumagnið samkvæmt okkar niðurstöðum vera nálægt langtíma meðaltali (2. mynd C, sjá einnig kafla um ástand sjávar og svifsamfélög í þessari skýrslu).

Almennt er dýrasvif í yfirborðslögum í lágmarki á veturna. Til dæmis er rauðátan þá í dvala og heldur sig í dýpri lögum sjávar (ókynþroska, aðallega á þroskastigum IV og V) en aftur á móti mynda sumar tegundir í dýrasvifinu dvalaregg sem haldast á botninum yfir veturinn og fullorðnu dýrin hverfa úr svifinu. Fjöldi rauðátu, sem er oft um 60-80% dýrasvifsins, endurspeglar allvel heildarlífsmassa átunnar á mismunandi árstímum (Ástþór Gíslason & Ólafur S. Ástþórsson 1995, Beare o.fl.

2000). Á vorin ferðast rauðátan upp í yfirborðslögin, verður kynþroska og hrygnir.

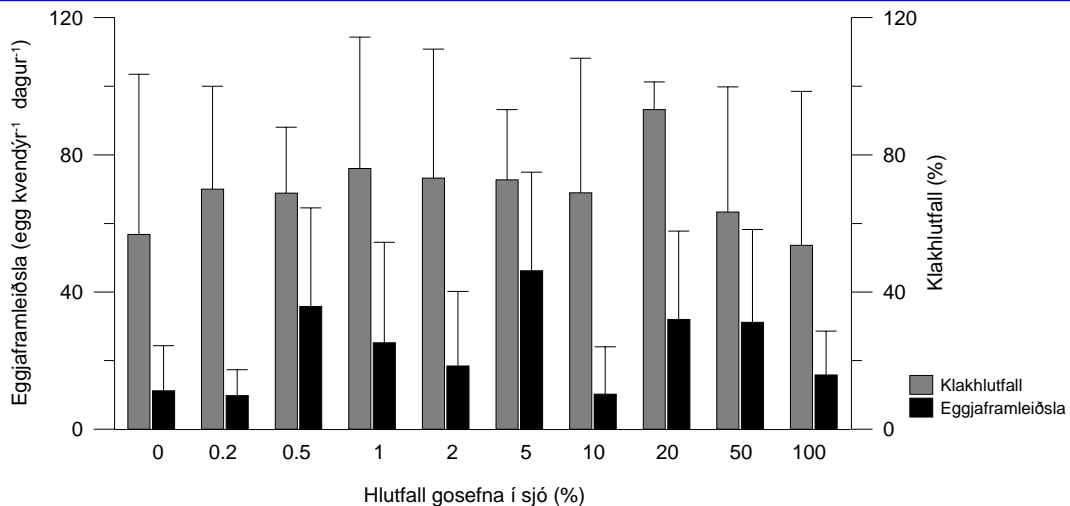
Um miðjan apríl í kjölfar hlaupsins fannst þegar nokkuð af dýrasvifi (2. og 3. mynd). Þó að fjöldinn hafi ekki verið mikil þá var þó nokkuð af ungvíði í svifinu, t.d. reyndust ung lirfustig rauðátu (þroskastig I-III) vera u.þ.b. 40% af heildarfjölda rauðátu og einnig fundust ljósátulirfur, fiskegg og fisklirfur í miklu magni. Í lok maí hafði rauðátunni fjölgað mikið (~ 160.000 einstaklingar m^{-2} , meðaltal fyrir allar stöðvar, 3. mynd), hlutfall ungra lirfustiga var komið í $\sim 70\%$ af heildarfjölda dýranna en hlutfall fullorðinna kvendýra hafði aftur á móti lækkað mikið (úr $\sim 30\%$ í apríl í $\sim 3\%$ í lok maí). Þetta er í samræmi við eldri rannsóknir suður af landinu (t.d. Ástþór Gíslason o.fl. 2000) og sýna að vetrardýrin eru komin upp í efri lög sjávar og byrjuð að hrygna og afkvæmin að vaxa upp.

Eggjaframleiðslutilraunirnar á rauðátu um miðjan apríl sýndu einnig að hrygning rauðátu var þá hafin. Framleiðslan var í lítil suður af Reykjanesi (0-1 egg á kvendýr á sólarhring) en mun hærri á Selvogsbanka ($\sim 8-27$ egg á hvert kvendýr á sólarhring) (4. mynd A). Fyrri rannsóknir á svæðinu sýna sambærilega eggja-



4. mynd. Rauðáta. A) eggjaframleiðsla og B) klakárangur 16.-17. apríl 2010. Gildin tákna meðalfjölda eggja fyrir hvert kvendýr á sólarhring og klakárangur.

Figure 4. *Calanus finmarchicus*. A) Egg production rates (eggs $\text{female}^{-1} \text{ day}^{-1}$) and B) hatching success (%) 16-17 April 2010.



5.mynd. Rauðáta. Eggjaframleiðsla (meðalfjöldi eggja fyrir hvert kvendýr á sólarhring) og klakárangur (%) í sjó með mismunandi gosefnastyrk, frá óblönduðum sjó (0%) í fullan styrk gosefna (100%). Súlnurnar sýna meðaltöl af fjölda eggja og klakárangur í hverjum styrkleika. Staðalskekking er sýnd með lóðréttum strikum.

Figure 5. *Calanus finmarchicus*. Egg production and hatching success (%) in sea with different amounts of contaminations (0-100%). Columns show means of egg production (eggs female⁻¹ day⁻¹) and hatching success (%) in each contamination and vertical bars denote standard error.

framleiðslu suður af landinu í apríl sem síðan eykst í maí og júní (Ástþór Gíslason 2005).

Eggjaframleiðsla hefur verið talin góður mælikvarði á framleiðni rauðátu en klakárangur (þ.e. hlutfall eggja sem klekjast út) hefur líka mikil áhrif á nýliðun rauðátustofnsins (Sigrún Jónasdóttir & Kiørboe 1996). Klakárangur var á bilinu 0–100% og meðalklakárangur var 75% (4. mynd B). Í fyrri rannsóknum hefur klakárangur rauðátu suðvestur af landinu mælst 23%–94% í apríl til júní (Sigrún Jónasdóttir o.fl. 2002, Ingibjörg Jónsdóttir, þessi skýrsla). Því má segja að bæði eggjaframleiðsla og klakárangur rauðátu í kjölfar hlaupsins séu í samræmi við niðurstöður fyrri rannsókna.

Ekki reyndist marktækur munur á klaki rauðátu í sjó með mismunandi styrk af gosefnum (ANOVA, $F=0.347$, $p>0.05$) né eggjaframleiðslu (ANOVA, $F=1.397$, $p>0.05$) (5. mynd). Túlka ber þessar niðurstöður með varúð þar sem tilraunir voru framkvæmdar á rannsóknastofu í „tilbúnu“ umhverfi þar sem lítil hreyfing var á sjónum. Niðurstöðurnar eru engu að síður vísibending um að gosefnamengunin hamli hvorki eggjaframleiðslu né klaki hjá rauðátu.

Í heild má segja að niðurstöður um magn og dreifingu átu, og eggjaframleiðslu og klakárangur rauðátu vorið 2010 gefi ekki ástæðu til að ætla að hlaupið hafi haft áhrif á átu-stofnana á svæðinu í heild sinni þótt ekki sé hægt að útiloka staðbundin skaðleg áhrif.

Heimildir

- Ástþór Gíslason & Ólafur S. Ástþórsson 1995. Seasonal cycle of zooplankton southwest of Iceland. *Journal of Plankton Research* 17: 1959-1976.
- Ástþór Gíslason, Ólafur S. Ástþórsson, Hildur Pétursdóttir, Hafsteinn Guðfinnsson & Anna Rósa Böðvarsdóttir 2000. Life cycle of *Calanus finmarchicus* south of Iceland in relation to hydrography and chlorophyll a. *ICES Journal of Marine Science* 57: 1619-1652.
- Ástþór Gíslason 2005. Seasonal and spatial variability in egg production and biomass of *Calanus finmarchicus* around Iceland. *Marine Ecology Progress Series* 286:177-192.
- Ástþór Gíslason & Silva T. 2009. Comparison between automated analysis of zooplankton using ZooImage and traditional methodology. *Journal of Plankton Research* 31: 1505-1516.
- Ástþór Gíslason, Hildur Pétursdóttir, Ólafur S. Ástþórsson, Kristinn Guðmundsson & Héðinn Valdimarsson 2009. Interannual variability in abundance and community structure of zooplankton south and north of Iceland in relation to environmental conditions in spring 1990-2007. *Journal of Plankton Research* 31:541-551.
- Beare D.J., Ástþór Gíslason, Ólafur S. Ástþórsson & McKenzie E. 2000. Assessing long-term changes in early summer zooplankton communities around Iceland. *ICES Journal of Marine Science* 57: 1545-1561.

-
- Conover R.J. 1988. Comparative life histories in the genera *Calanus* and *Neocalanus* in high latitudes of the northern hemisphere. *Hydrobiologia* 167/168: 127-142.
- Ólafur S. Ástþórsson & Ástþór Gíslason 1995. Long-term changes in zooplankton biomass in Icelandic waters in spring *ICES Journal of Marine Science* 52: 657-688.
- Sigrún H. Jónasdóttir & Kiørboe T. 1996. Copepod recruitment and food composition: do diatoms affect hatching success? *Marine Biology* 125: 743-750.
- Sigrún H. Jónasdóttir, Hafsteinn G. Guðfinnsson, Ástþór Gíslason & Ólafur S. Ástþórsson 2002. Diet composition and quality for *Calanus finmarchicus* egg production and hatching success off south-west Iceland. *Marine Biology* 140: 1195-1206
-

ÁHRIF HLAUPVATNS Í KJÖLFAR GOSS Í EYJAFJALLAJÖKLI Í APRÍL 2010 Á STRANDSJÓ SUNNAN LANDS: IV. KLAK ÞORSKHROGNA / EFFECTS OF FLOOD WATER, CAUSED BY ERUPTION IN EYJAFJALLAJÖKULL IN APRIL 2010, ON COASTAL WATERS SOUTH OF ICELAND: IV. HATCHING OF COD EGGS

Agnar Steinarsson¹ og Björn Gunnarsson²
Hafrannsóknastofnun¹Grindavík og ²Reykjavík

Ágrip

Í kjölfar hamfarafloða þann 14. apríl 2011 voru tekin sjósýni við ósa Markarfljóts (M) og Svaðbælisár (S) og sýni úr Faxaflóa (F) til samanburðar. Gerðar voru tvær tilraunir (A og B) þar sem nýftjóvnguðum hrognum úr eldisþorski var klakið út í gosefnamenguðum sjó. Í tilraun A voru settar upp þynningarseriur í plastskálum án loftunar og þar mældist hvorki marktækur munur á klakhlutfalli hroгна né klakþyngd lirfa. Í tilraun B voru hrognin hins vegar sett í síló þar sem hrognum og gruggi var haldið í sviflausn allt fram að klaki. Í þessari tilraun mældist marktækur munur á klakhlutfalli og klakþyngd milli sjógerða. Í S-sýninu (gruggugasta sýnið) klóktust um 40% færri lirfur og klakþyngdin var u.þ.b. 15% lægri en í F-sýninu (ómengaður sjór). Lífmassi lirfa við klak var því helmingi minni í S-sýninu en í F-sýninu. Niðurstöður úr tilraunum A og B voru þannig misvísandi en hugsanlega má skýra það með því að í tilraun B hafi loftun vatnsins hraðað veðrun á gjósku í vatninu og þannig aukið losun efna sem hafa eituráhrif á þorskhrognin. Einnig er mögulegt að hrognin hafi orðið fyrir beinum mekanískum skaða af völdum hvasseggiðra gjóskugagna í vatninu. Þó verður að fara varlega í að heimfæra niðurstöður rannsóknarinnar beint upp á aðstæður í náttúrunni. Það tekur þorskhrogn tvær til þrjár vikur að klekjast út og ólíklegt er að þau haldist allan þann tíma á áhrifasvæði hlaups. Það er þó ekki hægt að útiloka það að tímabundin viðvera í flóðvatnsmenguðum sjó geti haft skaðvænleg áhrif á klak þorskhroгна.

Abstract

Fertilized cod eggs from a farmed broodstock were incubated in contaminated seawater collected close to the mouths of the Markarfljót river (M) and the Svaðbælisá river (S) after the meltwater floods in April 2011. Uncontaminated water from Faxaflói (F) served as control water in the experiments. In a dilution series in plastic boxes under stagnant conditions (trial A), no significant differences were found in either hatching efficiency or hatching weight of larvae. However, when the eggs were incubated in silos under constant aeration (trial B), significant differences were found between the water types. In the S-sample (most contaminated) the hatching efficiency and hatching weight of larvae were 40% and 15% lower, respectively, than in the control water (F). Total larval biomass at hatch was thus 50%

lower in the S-sample than in the F-sample. The two trials therefore had different outcomes and the authors can only speculate about the causative factors. The created eggs may have been subject to direct mechanical abrasion by the sharp-edged volcanic ash or perhaps the aeration led to faster erosion of volcanic ash particles and corresponding build-up of harmful trace elements in the water. One should, however, not jump to conclusions based on these results. Exposed cod eggs are likely to drift from the affected coastal areas during their two to three week hatching period and also the flood water is soon diluted by the coastal current. It is, however, possible that a transient exposure to volcanic flood contamination may have some negative effects on the viability and larval quality from cod eggs.

Inngangur

Við myndun eldfjallagjósku losna reikul efni úr kvikunni og sum þeirra berast beint út í bráðvatnið í gígnum og skolast síðan niður til sjávar með flóðvatninu. Önnur þéttast í vatnsleysanleg sölt og setjast á yfirborð gjóskunnar sem síðan getur skolast til sjávar með flóðum eða rignt yfir hafflötinn. Sum þessara efna geta virkað sem áburður fyrir þörungum í hafinu en önnur eru skaðleg lífverum. Flóðin bera einnig með sér gífurlegt magn af jarðvegi úr farvegi og nágrenni ána. Öll þessi efni skolast síðan út í hafið og hafa bein áhrif á lífríkið til lengri eða skemmri tíma (Sigurður R. Gíslason o.fl. 2010).

Jarðfræðingar á Jarðvísindastofnun Háskóla Íslands gerðu mælingar á styrk uppleystra efna í flóðunum úr Markarfljóti og Svaðbælisá þann 14. apríl 2010 og gerðu einnig beinar mælingar á gjósku úr eldgosinu (Gíslason et al. 2011). Eldfjallagjóska skiptist í tvo flokka, annars vegar finkornotta sprengigjósku og hins vegar venjulega grófkornotta gjósku sem fellur hraðar til jarðar eða sjávar. Mælingar Jarðvísindastofnunar sýndu að báðir flokkar gjóskunnar innhéldu harðar og hvassar agnir sem ekki urðu sljóar eftir tveggja vikna hristimeðferð í vatni. Þessar agnir geta valdið skaða á þotuhreyflum og -framrúðum og því er hugsanlegt að þær gætu einnig valdið mekanískum skaða á viðkvæmum sjávarlífverum. Mælingarnar sýndu

einnig að styrkur uppleystra efna var allt að fimmtugfaldur miðað við mælingar á vatns-sýnum úr fljótunum fyrir hlaup. Styrkur ýmissa efna, s.s. flúors, bróms, áls, klórs, járn og mangans, var oft langt yfir neysluvatnsstöðlum. Gjóska reyndist ekki eins súr og gjóska úr Heklugosum og minna var um skaðvænleg efni á gjóskunni. Ástæðan var talin sú að efnin hafi skolast af gjóskunni með bráðvatninu og borist fram með flóðunum. Það var því ærin ástæða að kanna það hvort framburður á þessum skaðlegu efnum gæti haft mælanleg áhrif á klak og afkomu þorskhrogna.

Framkvæmd

Til að kanna hugsanleg áhrif gosefna og gruggs á klak og afkomu þorskhrogna voru tekin stór sjósýni á tunnur og þau flutt í Tilraunaeldisstöð Hafrannsóknastofnunarinnar á Stað við Grindavík. Sýni voru tekin fjórar sjómílur frá landi, úti fyrir Markarfljóti (M) annars vegar og úti fyrir Svaðbælisá (S) hins vegar. Til samanburðar voru einnig tekin sjósýni úr Faxaflóa (F) sem er langt utan áhrifasvæðis hlaupanna. Teknir voru alls 360 lítrar af hverri sjógerð. Faxaflóasjórinn var mjög tær en sýnin af gossvæðinu voru mjög gruggug og þó sérstaklega Svaðbælisjórinn. Ekki voru gerðar mælingar á grugginnihaldi eða styrk uppleystra efna í sýnunum. Til að fyrirbyggja bakteríuvöxt í sýnunum var sýklalyfi (25 ppm *Lincospectin*) blandað út í hverja tunnu. Mælingar á sýnatökusvæðunum sýndu að seltan var á bilinu 34,5-35‰ í öllum sýnunum. Í eldisstöðinni voru settar af stað tvær tilraunir með frjónvæð þorskhrogn frá Icecod ehf. Tilraunirnar voru framkvæmdar við 6-7°C í kæliklefa stöðvarinnar.

Í tilraun A voru settar upp þynningarseríur með hrognum í 0, 25, 50, 75 og 100% gosefnasjó í 1L-plastskálum (2 endurtekningar). Gosefnamengaður sjór (M og S) var þynntur með ómengduðum sjó (F) og skipt var um $\frac{3}{4}$ hluta af sjónum í hverri skál daglega. Frjónvæð hrogn (5 g = 2500 hrogn) voru vigtuð ofan í hverja skál í upphafi og síðan voru dauð hrogn fjarlægð daglega og vigtuð. Klakhlutfall var reiknað út frá fjölda lifandi lirfa einum degi eftir 100% klak. Klakþyngd lirfanna var mæld með þurrþyngdar-sýnum einum degi eftir 100% klak (2 x 50 lirfur úr hverri skál).

Í tilraun B voru hrogn alin að klaki í þrem 25L-hrognasilóum með stöðugri loftun. Í hvert síló voru vigtaðir 50 ml af frjónvæðum hrognum

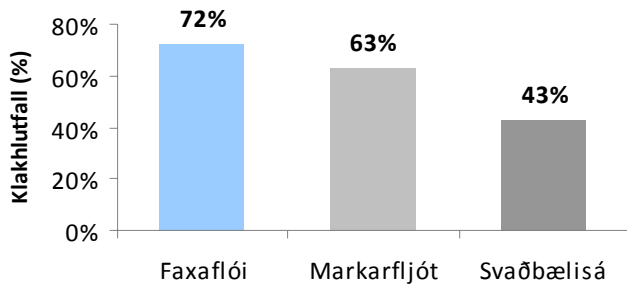
og upphaflegur fjöldi þeirra áætlaður 25000 í hverju síló. Dauð hrogn voru fjarlægð daglega og vigtuð. Eitt síló var fyllt með hverri sjógerð og skipt var um 10L af sjó í hverju síló daglega. Vegna skorts á tilraunasjó var ekki hægt að hafa endurtekningar í þessari tilraun. Klakhlutfall og klakþyngd voru metin með sama hætti og í tilraun A.

Niðurstöður

Í báðum tilraununum (A og B) náðu lirfurnar að klekjast út úr eggjunum og þroskunartími fram að klaki var um tvær vikur í báðum tilfellum. Sá grundvallarmunur var á þessum tilraunum að gruggið féll til botns í tilraun A en hélt hins vegar í sviflausn í tilraun B og reyndist það hafa afgerandi áhrif á niðurstöðurnar. Í tilraun A mældist enginn marktækur munur á afföllum eða klakhlutfalli hrognanna. Klakhlutfallið í mismunandi sjógerðum var á bilinu 75-80% og meðalklakþyngd á bilinu 95-97 μg .

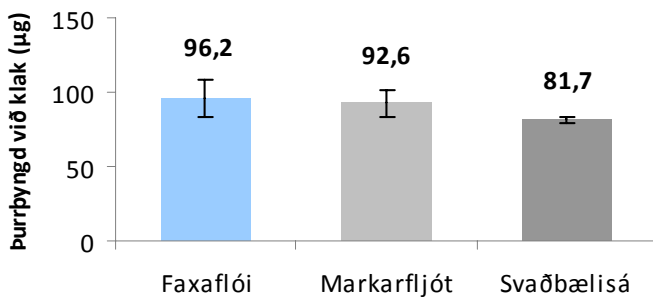
Í tilraun B, þar sem grugginu var haldið í sviflausn með loftun, fannst hins vegar verulegur munur á klakhlutfalli og klakþyngd lirfa eftir sjógerðum. Á 1. mynd sést að klakið var best í ómengða sjónum (F) en mun lélegra í grugguðu sjógerðunum tveimur. Í Svaðbælisjónum (S) var mesta gruggið og þar var klakhlutfallið einnig lægst. Svo virðist því sem klakið spillist í takt við aukið grugg í sjónum. Á 2. mynd sést síðan að gruggið hafði sambærileg áhrif á þyngd lirfanna við klak þ.e. lirfurnar voru léttastar í Svaðbælisjónum. Marktækur munur var á meðalþyngd lirfa úr F-sjó og S-sjó (t-test, $p > 0,05$). Á 3. mynd sést að þurr lífmassi lirfa við klak var einnig mun minni í mengða sjónum. Svaðbælisjórinn skilaði þannig um 50% minni lífmassa í klak en Faxaflóasjórinn.

Niðurstöður þessara tilrauna gefa því ákveðnar vísbendingar um það að grugg í hlaupvatni geti við ákveðnar aðstæður haft neikvæð áhrif á klak þorskhrogna og hugsanlega einnig hjá öðrum tegundum. Þó verður að fara varlega í að heimfæra niðurstöður rannsóknarinnar beint upp á aðstæður í náttúrunni. Það tekur þorskhrogn tvær vikur að klekjast út og ólíklegt er að egg haldist allan þann tíma í gruggi á áhrifasvæði hlaups í sama mæli og átti við í þessum tilraunum. Það er þó heldur ekki hægt að útiloka það, á grunnlagi þessara tilrauna, að tíma-bundin viðvera í flóðvatnsmenguðum sjó geti haft skaðvænleg áhrif á klak hrogn.



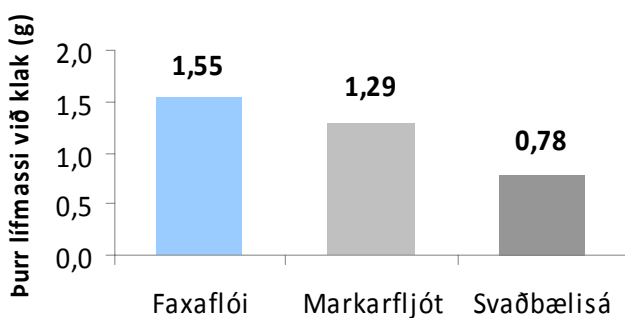
1. mynd. Klakhlutfall þorsklirfa í mismunandi sjógerðum. Klakhlutfallið reiknast út frá fjölda klakinna lirfa miðað við fjölda frjógvaðra hrognna.

Figure 1. Hatch percentage of cod larvae from different watertypes. Hatch percentage reflects relative hatching success based on the number of incubated fertilized eggs.



2. mynd. Klakþyngd þorsklirfa (\pm staðalfrávik) í mismunandi sjógerðum. Klakþyngdin byggir á þurrþyngd tveggja sýna með 20 lirfum hvort. Marktækur munur var á meðalþyngd lirfa í sjógerðum Faxaflóa og Svaðbælisár (t-test, $p > 0,05$).

Figure 2. Hatching weight (\pm SD) of cod larvae from different watertypes. Based on the dry weight of replicate samples with 20 larvae each. Significant difference between Faxaflói and Svaðbælisá (t-test, $p > 0,05$).



3. mynd. Þurrmassi þorsklirfa í mismunandi sjógerðum. Samtals þurrþyngd allra lirfa við klak.

Figure 3. Dry larval biomass at hatch of cod larvae from different watertypes. Total dry weight of all larvae at hatch.

Umræða

Vissulega eru þessar niðurstöður ekki sérlega sterkar tölfræðilega vegna skorts á endurtekningum og auðvitað er slæmt að hafa ekki beinar mælingar á gruggi og uppleystum efnum í sjósýnunum. Hátt seltustig í sýnunum bendir þó til þess að flóðvatnið hafi verið búið að þynnast mikið og að styrkur uppleystra efna hafi verið mun lægri en í flóðvatninu sjálfu. Það er hins vegar líka hugsanlegt að styrkur uppleystra efna í gosefnasjónum hafi aukist eftir því sem leið á tilraunina og haft skaðvænleg áhrif á hrognin. Skolunartilraunir Jarðvísindastofnunar HÍ á gjósku úr þessu gosi hafa einmitt sýnt það að gjóska í svíflausn veðrast fljótt og leysist upp og gefur þá frá sér ýmis torleyst efni svo sem SiO_2 , P, Mn og Al. Þessi efni leysast upp í vatninu og styrkur þeirra vex jafnt og þétt (Eydís Salóme Eiríksdóttir og Helgi Alfredsson 2010). Mögulega hefur loftun vatnsins í tilraun B hraðað veðrun gjóskunnar og þannig aukið á losun skaðlegra efna. Það er því hugsanlegt að hin skaðvænlegu áhrif á klakið sem sást í þessari tilraun megi skýra með eitrunaráhrifum frá uppleystum efnum úr nýfallinni eldfjalla-gjósku. Annar möguleiki er sá að hrognin hafi orðið fyrir beinum mekanískum skaða af hvasseggjaðri gjóskunni.

Eftir á að hyggja er augljóst að ýmislegt hefði mátt betur fara við framkvæmd tilraunanna. Það hefði mátt efnagreina sjósýnin og mæla styrkleika, kornastærð og lögungruggsins. Einnig hefði þurft að taka stærri sjósýni svo hægt hefði verið að setja upp fleiri endurtekningar. Hafa ber þó í huga að eldgosið gerði engin boð á undan sér og því gafst mjög lítil tími til undirbúnings og skipulagningar. Þessi reynsla sýnir að æskilegt væri að Hafrannsóknastofnunin hefði tilbúna viðbragðs- og rannsóknáætlun svo gera mætti markvissari tilraunir á þessu sviði þegar skyndilega brestur á með hamfaraflóðum, eða eldgosi í sjó, á miðjum hrygningartíma nytjafiska.

Heimildir

- Eydís Salóme Eiríksdóttir og Helgi A. Alfreðsson
2010. Skolunartilraunir á gjósku úr Eyjafjallajökli. Skýrsla á vef Jarðvísindastofnunar HÍ.
http://www.jardvis.hi.is/page/jardvis_eyjo_efnagrein, skoðað 15. apríl 2011.
- Gíslason, S. R., T. Hassenkam, S. Nedel, N. Bovet, E. S. Eiríksdóttir, H. A. Alfreðsson, C. P. Hem, Z. I. Balogh, K. Dideriksen, N. Oskarsson, B. Sigfusson, G. Larsen, and S. L. S. Stipp.
Characterization of Eyjafjallajökull volcanic ash particles and a protocol for rapid risk assessment. PNAS. May 3, 2011. vol. 108. no. 18. 7307–7312. <http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1015053108>
- Sigurður R. Gíslason, Eydís S. Eiríksdóttir, Helgi A. Alfreðsson, Andri Stefánsson, Júlía K. Björke og Hanna S. Kaasalainen 2010. Af reikulum efnnum í Eyjafjallajökli. Skýrsla á vef Jarðvísindastofnunar HÍ. http://www.jardvis.hi.is/Apps/WebObjects/HI.woa/swdocument/1015755/Af+reikulum+efnum+%C3%AD+Eyjafjallaj%C3%B6kli-SRG_2010-29-03.pdf, skoðað 19. apríl 2011.
-

ÁHRIF ÞÉTTBÝLIS Á NÆRINGAREFNI Í FAXAFLÓA / EFFECTS OF URBANIZATION ON NUTRIENTS IN FAXAFLÓI

Sólveig R. Ólafsdóttir
Hafrannsóknastofnunin, Reykjavík

Ágrip

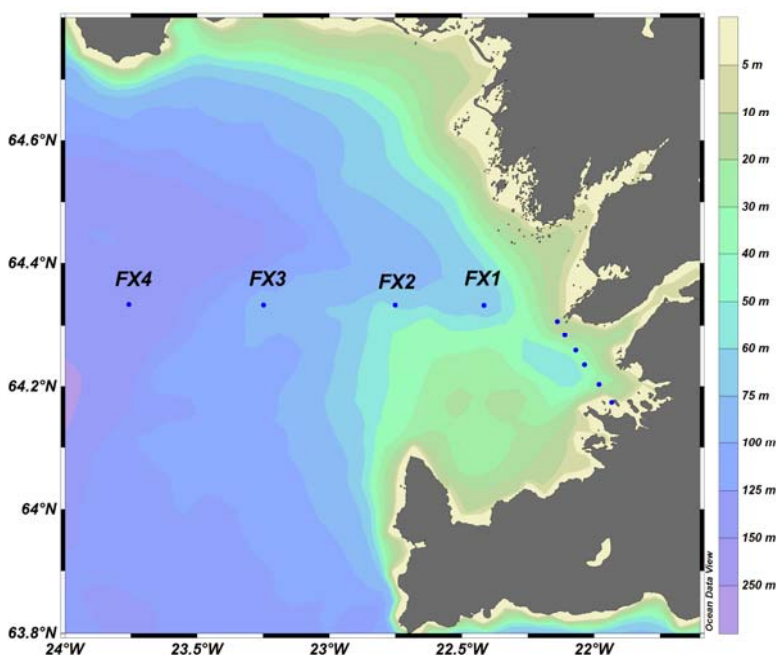
Frá árinu 2005 hefur Hafrannsóknastofnunin mælt styrk næringarefna í febrúar á sniði sem nær frá Hvalfirði og út fyrir landgrunnsbrún (Faxaflóasnið) til að fá upplýsingar um árlegan hámarksstyrk næringarefna. Í febrúar 2009 voru til viðbótar tekin sýni á sex stöðvum á sniði frá Reykjavík til Akraness. Tilgangurinn var að athuga hvort áhrif næringarefnalosunar frá þéttbýli væru merkjanleg um hávetur á stöðvunum og hversu vel mælistöðin FX1 sem er í 30 km fjarlægð frá Reykjavík lýsi ástandi í grennd við þéttbýlið. Niðurstöður sýna greinilega að þynningarsvæðið er lítið, þynningin mikil, og áhrifin lítt merkjanleg utan þess.

Abstract

From February 2005 the Marine Research Institute has undertaken studies on a section reaching from shallow water west of Hvalfjörður and into deep water of the continental slope to assess annual maxima in nutrient concentrations. Additionally, in February 2009 samples were taken at 6 locations on a section from Reykjavik to Akranes. The purpose was to examine whether the effects of nutrient discharges from the urban areas were observed at the height of winter and how well the measuring station FX1, which is 30 km away from the capital Reykjavik, describes the situation in the vicinity of the town. Results clearly demonstrate that the dilution zone is small, dilution is high, and little impact could be found outside it.

Inngangur

Víðast á kaldtempruðum svæðum breytist styrkur næringarefna í yfirborðslögum sjávar reglulega með árstíma og er það afleiðing af bæði lífrænum og eðlisfræðilegum ferlum. Styrkur næringarefna er í hámarki í lok vetrar og minnkar svo ört að vorlagi vegna upptöku svifþörunga á næringarefnum (Unnsteinn Stefánsson og Jón Ólafsson 1991). Til að meta áhrif þéttbýlis og umsvifa manna á næringarefnabúskap strandsvæða er talið best að nota vetrargildi þegar áhrif lífríkisins á næringarefna styrkinn eru í lágmarki (Hydes *et al.* 2004, Tett *et al.* 2003). Þær rannsóknir sem gerðar hafa verið á þynningarsvæði skólps við Reykjavík benda til mikillar þynningar og að lítil aukning verði á styrk næringarefna að vetrarlagi vegna þess (Jón Ólafsson og Sólveig R. Ólafsdóttir 2001). OSPAR (2001) lagði til að næringarefnaálag væri metið út frá vetrargildum þar sem svæði er talið lítt mengað ef aukning í vetrarstyrk uppleysts köfnunarefnis og fosförs fer ekki yfir 50% af vetrarstyrk miðað við fullsaltan sjó.

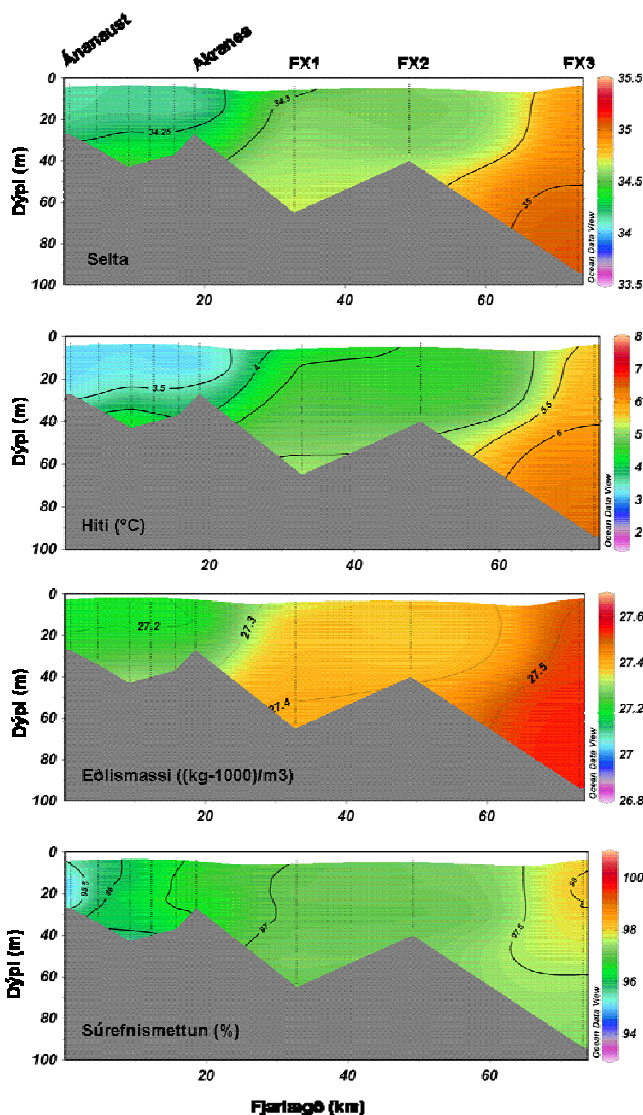


1. mynd. Snið með 6 mælistöðvum frá Ánanaustum og norður að Akranesi. Einnig sjást 4 grynustu stöðvarnar á Faxaflóa. Mesta botndýpi á sniðinu var 43 m. Stöð 2 á sniðinu talið frá Reykjavík er nærri útrásaropinun frá Ánanaustum.

Figure 1. A section with 6 stations from Ánanaust (Reykjavík) and north to Akranes. Also shown are the 4 most shallow stations on the Faxaflói section. Maximum bottom depth was 43 m. Station 2 on the section from Ánanaust is close to the sewage outlet.

Niðurstöður og umræða

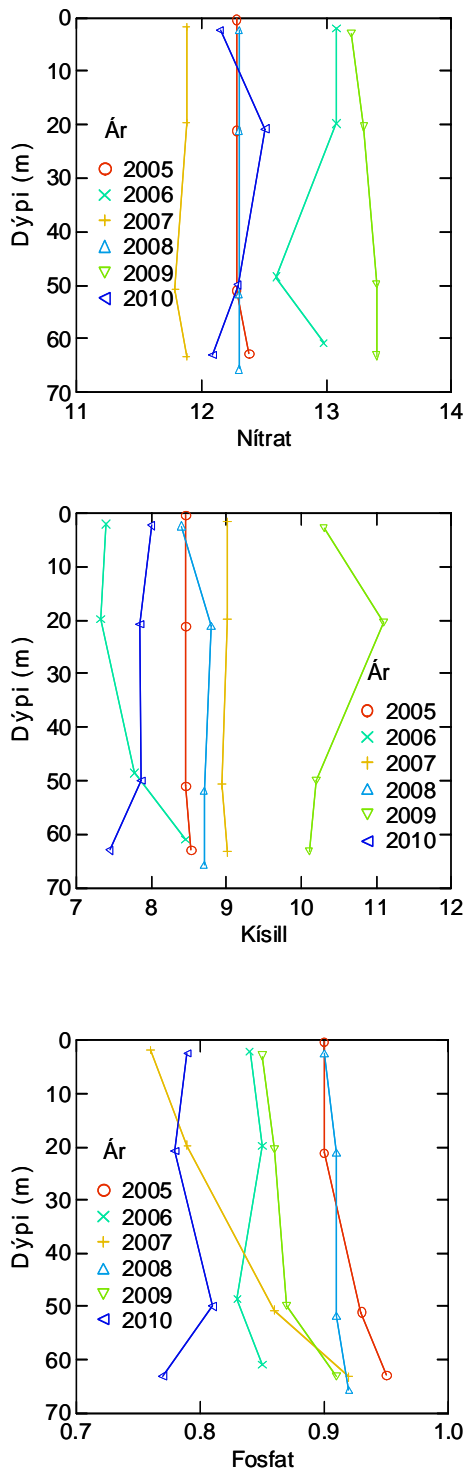
Frá árinu 2005 hefur Hafrannsóknastofnunin mælt styrk næringarefna í febrúar á sniði sem nær frá Hvalfirði og til vesturs út fyrir landgrunnsbrún (Faxaflóasnið) til að fá upplýsingar um árlegan hámarksstyrk næringarefna. Í febrúar árið 2009 voru að auki tekin sýni á sex stöðvum á sniði frá Reykjavík til Akraness (1. mynd). Tilgangurinn var að athuga hvort áhrif næringarefnalosunar frá þéttbýli væru merkjanleg um hávetur og hversu vel mælistöðin FX1 sem er í 30 km fjarlægð frá Reykjavík lýsi ástandi í grennd við þéttbýlið. Á þessu sniði var sýnum safnað á 0, 5, 10, 20, 30, 40 m dýpi til mælinga á nitrati, fosfati, kísli og ammóníaki. Styrkur næringarefnanna nitrats, kísils og fosfats var mældur með ljósgleypnimælingu en nánari lýsingu á aðferðum má finna í grein Jóns Ólafssonar og félaga (2010). Hiti, selta og súrefni voru mæld með sjálfvirkum tækjum (CTD)



og súrefnisstyrkurinn var kvarðaður með Winkler mælingu á súrefni (Grasshoff 1999). Hiti, selta og súrefni á sniðinu frá Ánanaustum og út á Faxaflóa eru sýnd á 2. mynd. Seltan á sniðinu frá Ánanaustum til Akraness er lægri en á FX1 og sömuleiðis sýna hitinn og eðlismassadreifingin að vatnssúlan nærri losunarstaðnum er uppblönduð. Súrefnismettun næst Ánanaustum er um 95%, en > 97% á FX1. Munurinn er svo lítil að ekki er hægt að tengja hann frárennslinu beint heldur gæti hann stafað af hitastigsbreytingum sem valda breytingum á leysni súrefnis. Gögnin frá Faxaflóasniði á árunum 2005 – 2010 (sjá t.d. Anon 2010) sýna að styrkur nitrats og fosfats fer lækkandi er nær dregur landi og fylgja breytingarnar seltulækkuninni, sem ferskvatn frá landi veldur (sjá 3. mynd í 1. kafla í þessari skýrslu). Næst landi (FX1) sjást ekki merki um áhrif frá mannavöldum á styrk næringarefna. Breytileiki milli ára í styrknum á FX1 er sýndur á 3. mynd, meðalstyrkurinn er $12,5 \pm 0,5 \mu\text{mól l}^{-1}$ fyrir nitrát, $8,7 \pm 1,0 \mu\text{mól l}^{-1}$ fyrir kísil og $0,86 \pm 0,06 \mu\text{mól l}^{-1}$ fyrir fosfat. Hér er reiknaður meðalstyrkur í allri vatnssúlunni (0, 20, 50 og 63 m) enda er sjórinn uppblandaður á þessum árstíma og mjög lítil munur í styrk næringarefna milli yfirborðs og botns. Greinilega sést að fosfór- og kísilstyrkur er hærri í grennd við enda skólpuþrásarinnar heldur en á grynnsu stöð á Faxaflóasniði (4. mynd). Áhrif á nitrátstyrk voru ekki mælanleg. Kísilaukningin sem er um $5 \mu\text{mól l}^{-1}$ stafar af háum styrk kísils í ferskvatni og skólpi. Ammóníakstyrkur (ekki sýndur) var mjög lágur, hæstur $0,3 \mu\text{mól l}^{-1}$ við Ánanaust og bætir því mjög litlu við heildarstyrk uppleystra köfnunarefnissambanda. Fosfórukningin við enda skólpuþrásarinnar er um $0,1 \mu\text{mól l}^{-1}$. Sú aukning sem verður á styrk fosfórs þar sem seltan er lægst er svo lítil að hún er litlu meiri en breytileiki milli ára á mælistöðinni FX1. Þessi gögn sýna greinilega að þýnningarsvæðið er lítið, þýnningin mikil, og áhrifin lítt merkjanleg utan þess. Áhrif á styrk köfnunarefnis eru ekki mælanleg. Guðjón Atli Auðunsson (2006) hefur áætlað að 60 - 80% af heildarköfnunarefni og 70

2. mynd. Hiti ($^{\circ}\text{C}$), selta, eðlismassi ($\text{kg}\cdot 1000/\text{m}^3$) og súrefnismettun (%) á sniði frá Ánanaustum til Akraness og út á Faxaflóa. Lítil munur er á súrefnismettun á sniðinu.

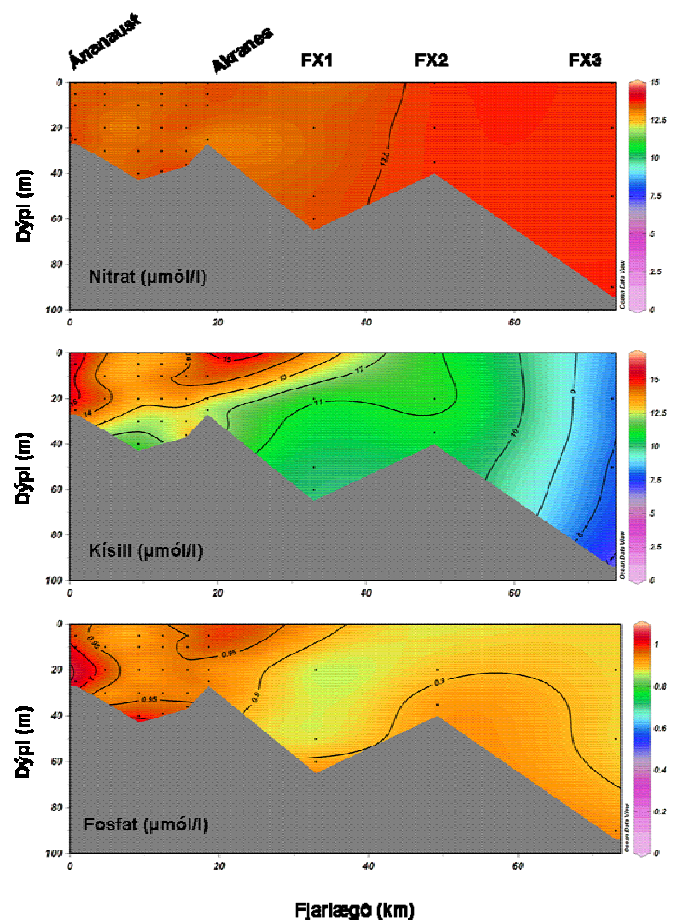
Figure 2. Temperature ($^{\circ}\text{C}$), salinity, density ($\text{kg}\cdot 1000/\text{m}^3$) and oxygen saturation (%) on a section from Ánanaust to Akranes in to Faxaflói. The observed difference in oxygen saturation is neglectable.



3. mynd. Styrkur næringarefna ($\mu\text{mol l}^{-1}$) á stöðinni FX 1 í febrúar árin 2005 - 2010. Reiknaður meðalstyrkur er $12,5 \pm 0,5 \mu\text{mol l}^{-1}$ fyrir nítrat, $8,7 \pm 1,0 \mu\text{mol l}^{-1}$ fyrir kísil og $0,86 \pm 0,06 \mu\text{mol l}^{-1}$ fyrir fosfat.

Figure 3. Nutrient concentration ($\mu\text{mol l}^{-1}$) on the station FX 1 in February from 2005 - 2010. Average concentration is $12,5 \pm 0,5 \mu\text{mol l}^{-1}$ for nitrate, $8,7 \pm 1,0 \mu\text{mol l}^{-1}$ for silicate and $0,86 \pm 0,06 \mu\text{mol l}^{-1}$ for phosphate.

- 95% af heildarförför sem berst til sjávar við fráveitu frá Reykjavík flytjast hratt frá landi. Einnig mat hann að miðað við stærð byggðar og þynningu væri hámarksaukning sem hugsanleg væri á vetrarstyrk köfnunarefnis 15% og 10% fyrir fosfat í grennd við losunarstað en jafnframt að hámarkslekkun í súrefnismettun vegna losunarinnar væri 2,5%. Þær niðurstöður sem hér birtast benda til að þetta mat Guðjóns Atla standist vel en sú aukning sem hér mælist er um 1% fyrir köfnunarefni og 12% fyrir fosfór sé miðað við stöð 1 á Faxaflóa (FX1) sem hæfilega viðmiðun fyrir svæðið. Þetta er vel undir viðmiði OSPAR frá 2001 fyrir lítt næringarefnamenguð strandsvæði.



4. mynd. Styrkur næringarefna ($\mu\text{mol l}^{-1}$) á sniði frá Ánanaustum til Akranes og út á Faxaflóa. Litakvarðinn nær yfir árstíðabreytingar í styrknum. Breytingin á styrk nitrats eftir sniðinu er minni en staðfrávikið í langtímameðaltalinu á FX1, en breytingin á fosfatstyrk er hærri.

Figure 4. Nutrient concentrations ($\mu\text{mol l}^{-1}$) on a section reaching from Ánanaust to Akranes and then out to Faxaflói. The scale on the colorbar indicates the seasonal variations in concentration. The difference in nitrate concentration along the section is less than the standard deviation in the long term average on FX1, but the difference in phosphate concentration is higher.

Þakkir

Ég þakka Magnúsi Danielsen, Héðni Valdimarsyni og Alice Benoit-Cattin fyrir aðstoð við sýnasöfnun og Hafsteini G. Guðfinnssyni fyrir yfirllestur og góðar ábendingar.

Heimildir

- Anon., 2010. Þættir úr vistfræði sjávar 2009. *Hafrannsóknir*, 152, 53 s.
- Guðjón Atli Auðunsson, 2006. Summary and evaluation of environmental impact studies on the recipient of sewage from the STP at Ánanaust, Reykjavík. Work for Orkuveita Reykjavíkur (Reykjavík Energy). Final Report November 2006. ITÍ0616/EGK05, GÞV05186.
- Grasshoff, K. Kremling, K og Ehrhardt, M (eds), 1999. *Methods of Seawater Analysis*. John Wiley & Sons, 600 s.
- Hydes, D.J., Gowen, R.J., Holliday, N.P., Shammon, T., Mills, D., 2004. External and internal control of winter concentrations of nutrients (N, P and Si) in north-west European shelf seas. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 59, 151-161.
- Jón Ólafsson, Sólveig R. Ólafsdóttir 2001. Ástand sjávar á losunarsvæði skolps undan Ánanaustum í febrúar 2000. Unnið fyrir Gatnamálastjórnann í Reykjavík. Nóvember 2001. Hafrannsóknastofnunin, *Fjölrit* nr. 81.
- Jon Olafsson, Olafsdottir, S. R., Benoit-Cattin, A., Takahashi, T., 2010. The Irminger Sea and the Iceland Sea time series measurements of sea water carbon and nutrient chemistry 1983-2008, *Earth System Science Data*, 2, 99-104, 2010.
- OSPAR, 2001. Annex 5: Draft Common Assessment Criteria and their Application within the Comprehensive Procedure og The Common Procedure. Meeting Of The Eutrophication Task Group (Etg), London (Secretariat): 9-11 October 2001.
- Tett P., Gilpin, L., Svendsen, H., Erlandson, C. P., Larson, U., Kratzer, S., Fouillans, E., Janzen, C., Lee, J.-Y., Grenz, C., Newton, A., Ferreira, J.G., Fernandes T., Scory, S., 2003. Eutrophication and some European waters of restricted exchange. *Continental Shelf Research*, 23:1635-1671.
- Unnsteinn Stefánsson og Jón Ólafsson, 1991. Nutrients and fertility of Icelandic waters. *Rit Fiskideildar*, 12 (3):1-56.
-

SVIFÞÖRUNGARNIR *MEDIOPYXIS HELYSIA* OG *STEPHANOPYXIS TURRIS*; NÝJAR VIÐBÆTUR VIÐ SVIFÐ VIÐ ÍSLAND / *THE DIATOMS MEDIOPYXIS HE-* *LYSIA AND STEPHANOPHYXIS TURRIS; TWO NEW ADDITIONS TO THE ICELAND-* *IC PHYTOPLANKTON FLORA*

Karl Gunnarsson¹, Agnes Eydal¹, Sólveig R. Ólafsdóttir¹, Erla Björk Örnólfsdóttir²

¹ Hafrannsóknastofnunin, Reykjavík

² Vör Sjávarrannsóknarsetur við Breiðafjörð, Ólafsvík

Ágrip

Tvær kísliþörungategundir sem ekki hafa sést hér við land áður, fundust nýlega í svifinu. Þær eru *Stephanopyxis turris* sem fannst fyrst árið 1997 og *Mediopyxis helysia* sem sást fyrst árið 2007. *S. turris* fannst í Hvalfirði og er nú algeng þar í svifinu á vorin og í byrjum sumars. *M. helysia* fannst í Breiðafirði og er algengast að finna hana þar í lok sumars og þar til um miðjan vetur. Báðar tegundirnar eru að öllum líkindum nýjar viðbætur við svifþörungaflóruna og hafa hugsanlega borist til landsins með kjölfestuvatni skipa þó að aðrar aðflutningsleiðir komi einnig til greina.

Abstract

Two planktonic diatom species are reported for the first time in Icelandic waters. These are the Stephanopyxis turris that was observed for the first time in 1997 and Mediopyxis helysia first recorded in 2007. S. turris was found in Hvalfjörður and is common in spring and beginning of summer while M. helysia was found in Breiðafjörður and is mostly found in late summer to early winter. These species are most probably new additions to the phytoplankton flora of Iceland and were possibly introduced with ballast water.

Inngangur

Á undanförunum áratugum hafa orðið meiri breytingar á útbreiðslu sjávarlífvera í heimshöfunum en lengi áður (Carlton & Geller 1993; Harley *et al.* 2006). Það hefur að hluta til verið rakið til breytinga sem orðið hafa á umhverfisaðstæðum og náttúrulegri dreifingu lífvera inn á ný svæði í kjölfarið en einnig hafa lífverur flust milli hafsvæða af manna völdum.

Á síðustu áratugum hefur yfirborðshitastig sjávar í Norður-Atlantshafi hækkað nokkuð (Brander *et al.* 2003; Hughes *et al.* 2009). Þessi hlýnun hefur valdið breytingum á útbreiðslu sjávarlífvera á svæðinu á þann hátt að útbreiðslumörk tegunda hafa færst norðar (Beaugrand *et al.* 2002; Brander *et al.* 2003).

Hér við land hafa þessar breytingar til dæmis komið fram í því að fiska með suðlæga útbreiðslu hefur oftast orðið vart við landið (Ólafur S. Ástþórsson & Jónbjörn Pálsson 2006; Ólafur S. Ástþórsson 2008). Þá hafa tegundir sem áður fundust eingöngu í hlýja sjónum við suðurströndina einnig orðið algengar norðan lands og austan eftir að útbreiðsla hlýsjávar jókst (Héðinn Valdimarsson *et al.* 2005). Einnig hafa lífverur úr Kyrrahafi borist með straumum um langan veg og náð fótfestu í Norður-Atlantshafi vegna breyttra umhverfisskilyrða (Reid *et al.* 2007).

Það hefur orðið æ algengara að sjávarlífverur berist á milli hafsvæða af manna völdum og er talið langalgengast að þær flytjist með kjölfestuvatni skipa (McCarthy & Crowder 2000). Rannsóknir hafa sýnt að tegundir geta lifað í marga daga og jafnvel vikur í sjólestum skipa. Ef hagstæð skilyrði eru fyrir vöxt tegundarinnar þar sem kjölfestuvatnið er losað, getur einstaklingum fjölgað og tegundin náð fótfestu á nýja staðnum. Einnig er þekkt að sjávarlífverur berist með eldislífverum sem fluttar eru milli svæða. Hér við land eru slíkir flutningar þó afar sjaldgæfir.

Talið er líklegt að nokkrar tegundir botnlífvera sem nýlega hafa fundist á grunnsævi hér við land hafi borist hingað af mannavöldum þó að seint verði hægt að fá úr því skorið með óyggjandi hætti. Sandrækja (*Crangon crangon*), grjótkrabbi (*Cancer irroratus*) og grænþörungurinn hafkyrja (*Codium fragile*) eru dæmi um slíkar tegundir (Björn Gunnarsson *et al.* 2007; Anton Galan & Hrafnkell Eiríksson 2009; Karl Gunnarsson & Svanhildur Egilsdóttir 2010).

Nýlega fundust hér við land tvær kísliþörungategundir. Báðar eru tiltölulega stórir og áberandi svifþörungur og hafa ekki áður sést við landið. Í þessum pistli lýsum við tegundunum, hvar og hvenær þær fundust fyrst og greinum frá athugunum sem segja til um

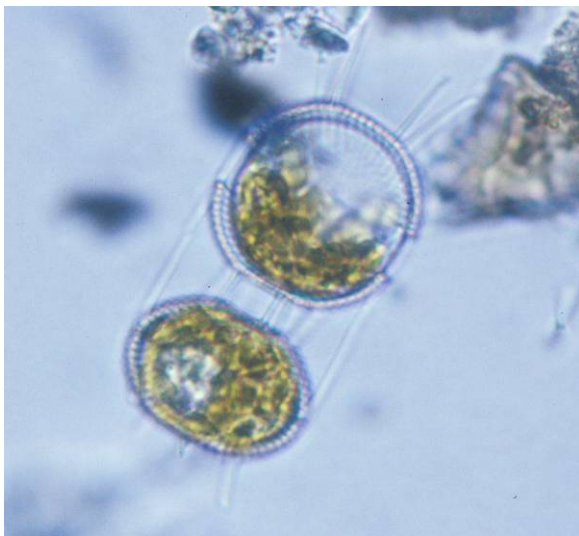
hvenær ársins þær er helst að finna í svifinu. Að lokum veltum við því fyrir okkur hvenær og hvernig þær hafi hugsanlega borist að landinu.

***Stephanopyxis turris* (Greville & Arnott) Ralfs**

Árið 1997 fannst kísilþörungurinn *Stephanopyxis turris* í fyrsta sinn hér við land. Hann fannst í Hvalfirði, en það ár fór fram allviðamikil rannsókn á svifþörungum þar (Agnes Eydal 2003). Þörungurinn fannst í töluverðu magni. Þetta er nokkuð stór kísilþörungur, 100-115 μm í þvermál, og frumurnar eru meira eða minna kúlulaga, eða aflangar með kúptum endum. Á endum frumanna eru kísilangar. Frumurnar hanga saman á kísilöngunum og mynda keðjur sem geta verið allt að 16 frumur á lengd (1. mynd). Litberar eru skífulaga og veggstæðir.

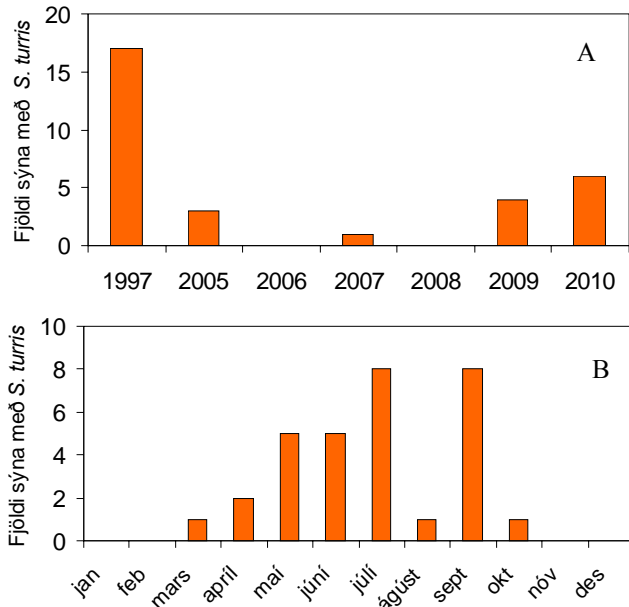
Reglubundin sýnataka í Hvalfirði lá niðri frá 1997 þar til 2005 að vöktun eitruþörungna hófst í firðinum. Þörungurinn hefur fundist flest árin eftir að vöktunin hófst utan árána 2006 og 2008 (2. mynd a). *S. turris* hefur fundist í svifinu í Hvalfirði frá mars og fram í október, en fjöldinn er oftast mestur að vori og fyrri hluta sumars (2. mynd b).

Það er nokkuð víst að tegundin er ný viðbót við svifið við Ísland. Alloft frá því um aldamótin 1900 hafa verið gerðar athuganir á tegundasamsetningu svifþörungna í innanverðum Faxaflóa og Hvalfirði án þess að tegundin hafi



1. mynd. *Stephanopyxis turris* úr Hvalfirði, júní 2005

Figure 1. *Stephanopyxis turris* from Hvalfjörður in June 2005.



2. mynd. Fjöldi sýna með *Stephanopyxis turris* í Hvalfirði, a) á árinu 1997 og frá 2005 til 2010, og b) eftir árstíma 1997 og 2005 til 2010. Athygli er vakin á því að heildarfjöldi sýna á hverju ári var ekki sá sami.

Figure 2. Number of samples with *Stephanopyxis turris* in Hvalfjörður, a) in 1997 and from 2005 to 2010, and b) seasonally in 1997 and from 2005 to 2010. Note that the total number of samples per year was not the same.

fundist (Paulsen 1904; Nielsen 1935; Guðrún Þórarinsdóttir 1987). Í athugunum á svifþörungum í Hvalfirði í apríl 1995 og við Reykjavík 1996 (óbirt gögn) fannst tegundin ekki. Ólíklegt er að *Stephanopyxis turris* hafi farið framhjá athugendum áður fyrr því þörungurinn er tiltölulega stór og auðþekktanlegur og hefur lengi verið þekktur annars staðar í Norður-Atlantshafi. Það er því líklegt að hans hafi fyrst orðið vart skömmu eftir að hann kom til landsins eða náði fötfestu.

Hingað til hefur tegundin aðeins fundist í Hvalfirði og í Kollafirði, innst í Faxaflóa. Þrátt fyrir samfellda vöktun svifþörungategunda í Breiðafirði á vegum Hafrannsóknastofnunarinnar frá árinu 2005 og ítarlegar rannsóknir á þéttleika og útbreiðslu svifþörungna á vegum Varar Sjávarrannsóknarseturs í Breiðafirði frá 2007 hefur *S. turris* ekki fundist þar. Útbreiðslusvæði tegundarinnar er austan og vestan megin í Norður-Atlantshafi og í Norður-Kyrrahafi (Cupp 1943; Hoppenrath *et al.* 2010). Í Atlantshafi nær útbreiðslusvæði hennar t.d. frá Azoreyjum í suðri til Vestur-Noregs og Íslands í norðri.

***Mediopyxis helysia* Kühn, Hargraves & Halliger**

Mediopyxis helysia fannst fyrst, hér við land, í Breiðafirði. Elstu sýnin sem tegundin hefur fundist í eru frá 2007 þegar ítarleg rannsókn hófst á svifþörungum í Breiðafirði. *Mediopyxis helysia* er stór, flatvaxinn kísilþörungur, 100 til 120 μm á breidd og 30 til 70 μm á hæð. Frumur eru ýmist stakar eða tengjast saman í stuttar keðjur, 2-6 frumur í hverri (3. mynd). Margir skífulaga litberar mynda stjörnulaga mynstur út frá miðju fryminu.

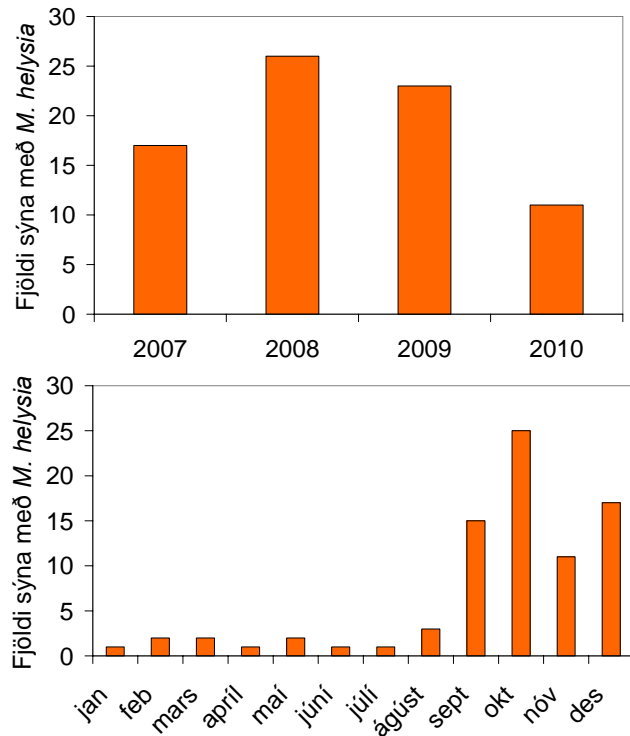
Tegundin hefur fundist á hverju ári síðan 2007 (4. mynd a). Hún hefur fundist um allan fjórðinn en er algengust í nyrsta hluta hans. Tegundin virðist vera tiltölulega útbreidd á haustin og veturna, eða frá september til desember, en finnst mun óreglulegar frá janúar fram í ágúst (4. mynd b).

Þegar *M. helysia* fannst fyrst í Breiðafirði 2007 var tegundin þar í nokkrum mæli og fannst víða í firðinum. Það er því ekki ólíklegt að hún hafi sest að í firðinum allnokkru áður. Ekki eru til athaganir á svifinu í firðinum á árunum rétt fyrir 2007. Árið 1997 voru hins vegar gerðar rannsóknir á svifþörungum á einni stöð í norðanverðum Breiðafirði. *M. helysia* fannst ekki í þeirri rannsókn, ekki heldur þegar sýnin, sem þá var safnað, voru greind aftur fyrir skömmu og leitað var sérstaklega eftir tegundinni í þeim. *M. helysia* virðist því hafa



3. mynd *Mediopyxis helysia* úr innanverðum Breiðafirði, 31. október 2010.

Figure 3. *Mediopyxis helysia* from the inner part of Breiðafjörður, October 31, 2010.



4. mynd. Fjöldi sýna með *Mediopyxis helysia* í Breiðafirði, a) á árunum 2007-2010, og b) eftir árstíma á tímabilinu maí 2007 til mars 2011. Athygli er vakin á því að heildarfjöldi sýna á hverju ári var ekki sá sami.

Figure 4. Number of samples with *Mediopyxis helysia* in Breiðafjörður, a) from 2007-2010, and b) seasonally from March 2007 to March 2011. Note that the total number of samples per year was not the same.

náð fötfestu í Breiðafirði einhvern tímann á 10 ára tímabili, frá 1997 til 2007.

Stutt er síðan *Mediopyxis helysia* fannst fyrst í svifþörungasamfélögum í Norður-Atlantshafi. Tegundin fannst fyrst í sýnum sem var safnað 1996 í Gulf of Maine við norðausturströnd Bandaríkjana og 5 árum seinna, 2002, er hún skráð skammt frá, í Bay of Fundy (Martin & LeGresley 2008). Árið 2003 finnst hún fyrst í Norðursjó, í Vaðhafinu 2003 og síðan við austurströnd Skotlands árið 2005 (Kühn *et al.* 2006; McCollin 2008). Ekkert er vitað um uppruna tegundarinnar eða hvaðan hún barst í Norður-Atlantshafið því hún hefur ekki enn fundist annars staðar.

Umræða

Stephanopyxis turris og *Mediopyxis helysia* hafa náð fötfestu í plöntusvifinu hér við land. Þær eru báðar tiltölulega stórir kísilþörungur og finnast í hlýja sjónum við Vesturströndina. Sú fyrrnefnda í Faxaflóa og hin í Breiðafirði.

Tegundirnar hafa ekki fundist á öðrum stöðum við landið þar sem vöktun á svifþörungum fer fram, né þar sem rannsóknir hafa verið í gangi á árstíðabreytingum í tegundasamsetningu svifþörungum. Það er þó ekki hægt að segja með öyggjandi hætti hvort útbreiðsla þessara tegunda sé jafn staðbundin og virðist. Sýnataka við landið er stopul og aðeins fá svæði sem hafa verið skoðuð með tilliti til svifþörungategunda á undanförunum árum. Lítil vitneskja um svifþörungagróðurinn við landið, sú staðreynd að svifþörungar flytjast milli hafsvæða í auknum mæli og að margir þeirra eru ágengir eða valda skelfiskeitrun sýnir hve brýnt er að stunda langtímavöktun á þörungasvifi á sem flestum stöðum við landið.

Hugsanlegt er að nýlega tilkomu þessara tveggja tegunda í svifið við Ísland, sem fjallað er um í greininni, megi rekja til flutninga með kjölfestuvatni skipa. Í Hvalfirði er töluvert um skipakomur vegna lestunar og losunar á afurðum til og frá álveri og járnblendiverksmiðju. Talið er hugsanlegt að nokkrar aðrar framandi tegundir hafi borist í fjörðinn með kjölfestuvatni (sjá Björn Gunnarsson *et al.* 2007; Anton Galan & Hrafnkell Eiríksson 2009; Karl Gunnarsson & Svanhildur Egilsdóttir 2010). Í Breiðafirði eru ferðir flutningaskipa frá fjarlægum stöðum hins vegar mun fátíðari og virðast fyrst og fremst tengdar flutningum á þangmjöli frá Þörungaverksmiðjunni á Reykhólum (munnl. upplýsingar, Siglingastofnun). Ekki er þó hægt að útiloka aðrar leiðir fyrir aðflutning tegundanna eins og til dæmis flutning með hafstraumum eða jafnvel farfuglum. Kísilþörungurinn *Neodenticula seminae* sem er nýlega fannst í Norður-Atlantshafi, meðal annars við Ísland, hefur að öllum líkindum borist með hafstraumum úr Norður-Kyrrahafi um Beringssund og Norður-Íshafið yfir í Norður-Atlantshaf (Reid *et al.* 2007). Talið er að minnkun sem hefur orðið á útbreiðslu sumaríss í Norður-Íshafinu á undanförunum áratugum hafi m.a. gert það kleift.

Ekki er vitað til þess að framandi tegundir í sjó hafi áður fundist fyrst hér við land í Breiðafirði. Nokkrar nýlegar tegundir í lífríki sjávar við landið hafa hins vegar borist í fjörðinn skömmu eftir að þær náðu fótfestu í Faxaflóa (Björn Gunnarsson *et al.* 2007; Anton Galan & Hrafnkell Eiríksson 2009).

Spurningunni um hvaðan tegundirnar hafa borist hingað að landi verður varla svarað nema með ítarlegum athugunum á skyldleika íslensku

stofnanna og stofna tegundanna á hugsanlegum upprunastöðum. Báðar tegundirnar lifa við Evrópu og við austurströnd Norður-Ameríku auk þess sem *Stephanopyxis turris* vex víða í Norður-Kyrrahafi.

Heimildir

- Agnes Eydal, 2003. Áhrif næringarefna á tegundasamsetningu og fjölda svifþörungum í Hvalfirði. *Hafrannsóknastofnunin, Fjölrít 94*: 44 s.
- Anton Galan & Hrafnkell Eiríksson, 2009. Töskutann- og klettakrabbar. *Náttúrufræðingurinn 77*: 101-106.
- Beaugrand, G., Reid, P.C., Ibañez, F., Lindley, J.A. & Edwards, M., 2002. Reorganization of North Atlantic marine copepod biodiversity and climate. *Science 296*: 1692-1694.
- Björn Gunnarsson, Þór H. Ásgeirsson & Agnar Ingólfsson, 2007. The rapid colonization by *Crangon crangon* (Linnaeus, 1758) (Eucarida, Caridea, Crangonidae) of Icelandic coastal waters. *Crustaceana 80(6)*: 747-753.
- Brander, K., Blom, G., Borges, M.F., Ezini, K., Henderson, G., MacKenzie, B.R., Mendes, H., Ribeiro, J., Santos, A.M.P. & Toresen, R., 2003. Changes in fish distribution in the eastern North Atlantic: Are we seeing a coherent response to changing temperature? *ICES Marine Science Symposia 219*: 261-270.
- Carlton, J.T. & Geller, J.B., 1993. Ecological roulette: the global transport of non-indigenous marine organisms. *Science 261*: 78-82.
- Cupp, E. E., 1943. Marine Plankton Diatoms of the West Coast of North America. *Bulletin of the Scripps Inst. Oceanogr. of the University of California 5*: 1-237.
- Guðrún G. Þórarinsdóttir, 1987. *Dyrkning af blá muslingur (Mytilus edulis) í Hvitanes, Hvalfördur, Ísland*. Specialopgave i biologi ved Århus Universitet, 61 s.
- Harley, C.D.G., Hughes, A.R., Hultgren, K.M., Miner, B.G., Sorte, C.J.B., Thornber, C.S., Rodriguez, L.F., Tomanek, L. & Williams, S.L., 2006. The impacts of climate change in coastal marine systems. *Ecology Letters 9*: 228-241.
- Héðinn Valdimarsson, Höskuldur Björnsson & Kristinn Guðmundsson, 2005. Breytingar á ástandi sjávar á Íslandsmiðum og áhrif þeirra á lífríki. Í *Þættir úr vistfræði sjávar. Hafrannsóknastofnunin Fjölrít 116*: 23-28.

-
- Hoppenrath, M., Elbrächter, M. & Drebes, G., 2010. *Marine phytoplankton. Selected microphytoplankton species from the North Sea around Helgoland and Sylt*. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart. 264 s.
- Hughes, S.L., Holliday, N.P., Colbourn, E., Héðinn Valdimarsson, Østerhus & S. Wilshire, K., 2009. Comparison of *in situ* time-series of temperature with gridded sea surface temperature datasets in the North Atlantic. *ICES Journal of Marine Science* 66: 1467-1479.
- Karl Gunnarsson & Svanhildur Egilsdóttir, 2010. Framandi tegundir botnþörunga í sjó við Ísland. Í *Þættir úr vistfræði sjávar 2009*. *Hafrannsóknir* 152: 47-51.
- Kühn, S.F., Klein, G., Hallinger, H., Hargraves, P.E. & Medlin, L.K., 2006. A new diatom *Mediopyxis helysia* gen. nov. et sp. nov. (Mediophyceae) from the North Sea and Gulf of Main as determined from morphological and phylogenetic characteristics. *Nova Hedwigia, Beiheft* 130: 307-323.
- Martin, J.L. & LeGresley, M.M., 2008. New phytoplankton species in the Bay of Fundy since 1995. *ICES J. Mar. Sci.* 65(5): 759-764.
- McCarthy, H. P. & Crowder L.B., 2000. An overlooked scale of global transport: phytoplankton species richness in ships ballast water. *Biological Invasions* 2: 321-322.
- McCollin, T., 2008. Observation of *Mediopyxis helysia* in Scottish waters. *ICES CM 2008/A:10* Poster
- Nielsen, E. Steemann, 1935. The production of phytoplankton at the Faero Isles, Iceland, East Greenland and the waters around. *Meddr. Kommn. Havunders. Ser. Plankton* 3: 1-93.
- Ólafur S. Ástþórsson, 2008. Veðurfar og lífríki sjávar á Íslandsmiðum. Í *Þættir úr vistfræði sjávar*. *Hafrannsóknastofnunin Fjölrít* 139: 29-34.
- Ólafur S. Ástþórsson & Jónbjörn Pálsson, 2006. New fish records and records of rare southern fish species in Icelandic waters in the warm period 1996-2005. *ICES CM 2006/C:20*, 22 s.
- Paulsen, O., 1904. Plankton investigations in the waters around Iceland in 1903. *Medd. Komm. f. Havunders. Ser. Plankton I. nr. 1*: 1-40, 2 pl.
- Reid, P., Johns, D.G., Edwards, M.I., Starr, M., Poulins, M. & Snoeijs, P.I., 2007. A biological consequence of reducing Arctic ice cover: arrival of the Pacific diatom *Neodenticula seminae* in the North Atlantic for the first time in 800 000 years. *Global Change Biology* 13: 1910-1921, doi: 10.1111/j.1365-2486.2007.01413.x.
-

RANNSÓKNIR Á FRUMFRAMLEIÐSLU SVIFÞÖRUNGA Í HAFINU UMHVERFIS ÍSLAND, FYRR OG NÚ / RESEARCH ON THE PRIMARY PRODUCTION AROUND ICELAND, PAST AND PRESENT

Kristinn Guðmundsson
Hafrannsóknastofnunin, Reykjavík

Ágrip

Mælingar á framleiðni svifþörungum hefur verið hluti af ýmsum rannsóknaverkefnum Hafrannsóknarstofnunarinnar frá árinu 1958 og því liggur fyrir álitlegt safn gagna. Ákveðinnar íhaldsemi hefur gætt varðandi breytingar á aðferðum til mælinga á frumframleiðni og það gerir allan samanburð auðveldari. Fyrirliggjandi gögn skiptast engu að síður í tvo hópa þar sem beitt var mismunandi aðferðum til að reikna frumframleiðslu yfir dag, undir fermetra yfirborðs. Eldri aðferðin var einfaldari og því ekki eins sveigjanleg. Í greininni eru aðferðirnar reifaðar og seinni tíma breytingar rökstuddar. Loks eru ræddir kostir breytinga sem auðvelda nýtingu á niðurstöðum fjarmælinga frá gervitunglum, til rannsókna á framvindu gróðurs og frumframleiðslu í sjó.

Abstract

Measurements of primary production have been an integral part of various research projects at the Marine Research Institute (MRI), ever since 1958. Hence, a considerable amount of primary production data has accumulated in MRI's database. A reluctance to change applied methods for the measurements of primary productivity at MRI makes comparison of all the available data relatively easy. Nevertheless, the data collection belongs to two different eras, i.e. before and after the introduction of remote satellite sensors, late in the last century. These two different data collection approaches are discussed, and some possible future research is mentioned, that may gain from the new opportunities in monitoring the oceans.

Inngangur

Ljóstillífur svifþörungum er óumdeilanlega undirstaða fæðukeðja í hafinu. Sólin er orkugjafinn og uppleyst næringarefni og koltvísýringur í sjónum efniviðurinn sem þessar smáu lífverur nýta til nýmyndunar á lífrænum efnum, sér til vaxtar. Aðrar lífverur nærast svo á svifþörungunum, eða á lífverum sem hafa fengið næringu sína frá framleiðslu þeirra. Lykillinn að þessari starfsemi svifþörungum er flókið frumulíffæri sem nefnist litberi og inniheldur ýmis litarefni og ávallt sameindir sem nefnast blaðgræna. Blaðgrænan er sameiginleg öllum gróðri.

Á sama hátt og grasvöxtur er undirstaða að framleiðslu bænda, þá er framangreindur vöxtur svifþörungum forsenda fiskveiða. Því er mikilvægt að meta frumframleiðsluna í sjónum til að geta gert sér grein fyrir hvers má vænta varðandi afrakstur af viðkomandi hafsvæði. Að vísu er ekki eins einfalt að áætla hæfilega veiði í ljósi mats á frumframleiðslu og að áætla hæfilegt beitarálag í samræmi við sprettu, sem þess utan er oft stjórnað með áburðagjöf. Hefðbundinn landbúnaður byggir á ræktun gróðurs sem grasbítar nærast á milliliðalaust. Nytjafiskar okkar eru hins vegar ofar í fæðukeðjunni og yfirleitt nokkrir milliliðir milli frumframleiðslu og fiskafla (Ólafur Karvel Pálsson 1977). En þótt það geti verið flókið að vega fæðuframboð á móti fiskafla er engu að síður áhugavert að varpa ljósi á það hvernig í pottinn er bóúð.

Árleg framvinda gróðurs ræður vitanlega afkomu lífvera sem lifa á svifþörungum, beint eða óbeint. Með framvindu er átt við breytingar bæði í magni og tímasetningu gróðurs og því má ráða af rannsóknum á ársferlum svifþörungum og -dýra hvort fæðuframboð og fæðuþörf sé samstillt í tíma (Kristinn Guðmundsson 1999). Þess utan hefur verið sýnt fram á að það geti skipt sköpum fyrir lífverur sem nærast á svifþörungum hvaða tegundir þörungum vaxa og verða ríkjandi á viðkomandi stað og tíma (Starr et al. 1999) og því ástæða til að gæta bæði að magni og tegundasamsetningu svifþörungum í sjó.

Efniviður

Mikill fjöldi mælinga á frumframleiðni í sjó liggur fyrir í gagnasafni Hafrannsóknarstofnunarinnar, allt frá því fyrstu mælingarnar voru skráðar 1958. Ýmsar samantektir sem eru byggðar á þessum niðurstöðum hafa verið kynntar áður og meðal annars greint frá útreikningum á meðal ársframleiðslu svifþörungum við Ísland fyrir árabilið 1958 – 1982 og í einstökum tilfellum verið sýnd dæmi um árlegan breytileika. Runa sambærilegra mælinga er til fram til ársins 1999. Hins vegar, eftir að farið var að mæla blaðgrænu frá gervitunglum er

orðið raunhæft að framvindu gróðurs á hverju ári og þá væntanlega hægt að svara flóknari spurningum en áður var talið gerlegt. Til að nýta kosti nýrrar nálgunar hefur verið safnað markvisst upplýsingum um afkastaferla ljóstillífunar svifþörungum frá árinu 1981, eða í þrjú áratugi. Þessar niðurstöður eru efniviður í nýrri úttekt á frumframleiðslu við Ísland.

Mat á árlegri frumframleiðslu og dreifing meðaltala fyrir árin 1958 - 1982

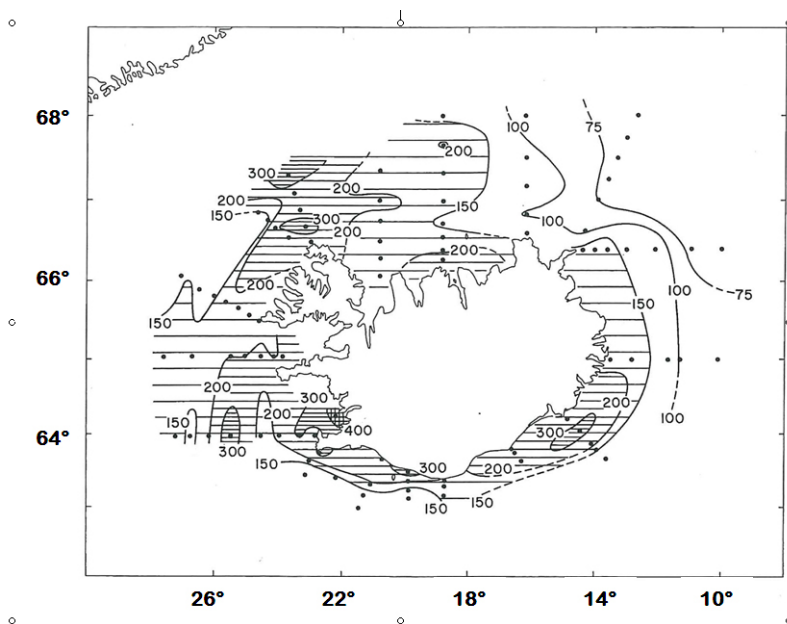
Þegar Þórunn heitin Þórðardóttir, sérfræðingur í svifþörungum, hóf rannsóknir sínar á miðri tuttugustu öldinni ákvað hún að meta frumframleiðni í hafinu umhverfis Ísland. Hún valdi að beita svokallaðri geislakolsaðferð (Steemann Nielsen 1952), en það er einföld aðferð sem þá var ný af nálinni og var mikið notuð í rannsóknum á frumframleiðni í sjó næstu áratugina á eftir. Framan af notaði Þórunn hvert tækifæri til að gera mælingar eins oft og víða og mögulegt var, með þeim ásetningi að byggja upp gagnasafn sem dygði til að meta heildarframleiðni svifþörungum í hafinu umhverfis landið, að meðaltali. Hún líkti þessu verkefni við það að fylla út í mosaik mynd. Þórunn greindi frá niðurstöðum nefndra rannsókna frá árunum 1958 – 1982 á ráðstefnu Vísindafélags Íslendinga í september 1992 og sýndi kort með láréttri dreifingu meðal ársframleiðni svifgróðurs á rannsóknasvæðinu (1. mynd).

Það tók rúma þrjú áratugi að safna efnivið sem þótti duga til að reikna meðal ársframleiðslu svifþörungum í sjó yfir landgrunninu

umhverfis Ísland. Ekki er að vænta verulegra breytinga á þeim niðurstöðum þótt mælingum á frumframleiðni í sjó hafi verið haldið áfram, en niðurstöðurnar nýtast í öðru samhengi. Samfara aukinni reiknigetu hafa síðar nýjar áherslur og sveigjanlegri aðferðir tekið við og meðal annars er orðið auðveldara en áður að taka fleiri breytistærðir, sem geta haft áhrif á framleiðni svifþörungum, með í reikninga á frumframleiðslu svifþörungum í sjó.

Endurmat á árlegri frumframleiðslu og fjarmælingar

Skráðar tilraunir til gagngerra breytinga á áherslum og aðferðum við mælingar á frumframleiðni á Hafrannsóknastofnuninni má rekja til ársins 1980. Frá og með árinu 2000 hafa allar mælingar á frumframleiðni svifþörungum tekið mið af þeirri nálgun að mæla framleiðniafköst sem fall af ljósstyrk í stað þess að mæla framleiðnina við ljósmettun, eins og áður hafði verið gert. Enn er þó svokallaðri geislakolsaðferð beitt, þar sem þekktum styrk af geislavirku kolefni er bætt út í sjósýni frá völdum stað og dýpi. Síðan eru sýnin ræktuð við umhverfishita á sýnatökustaðnum í ákveðinn tíma, við mismunandi ljósstyrk. Að ræktun lokinni eru svifþörungarnir síaðir frá og mælt hve mikið af geislakolinu hefur bundist í lífmassa svifþörunganna. Með einföldum hlutfallsreikningi er loks fundin heildar kolefnisbinding á tímaeiningu. Slíkar tilraunir, sem sýna kolefnisbindingu svifþörungum sem fall af ljósstyrk, eru nefndar afkastaferlar. Miklum fjölda afkasta-



1. mynd. Ársframleiðsla svifþörungum ($\text{g C m}^{-2} \text{dag}^{-1}$), meðaltöl rannsókna 1958 – 1982. Myndin er endurbirt úr grein Þórunnar Þórðardóttur (1994), með góðfúslegu leyfi frá Vísindafélagi Íslendinga.

Figure 1. Annual primary production ($\text{g C m}^{-2} \text{day}^{-1}$), average of water sample measurements 1958 – 1982. From Þórunn Þórðardóttir (1994), with permission of the Societas scientiarum Islandica.

ferla, frá mismunandi stöðum og tímum árs, hefur verið safnað á liðnum áratugum.

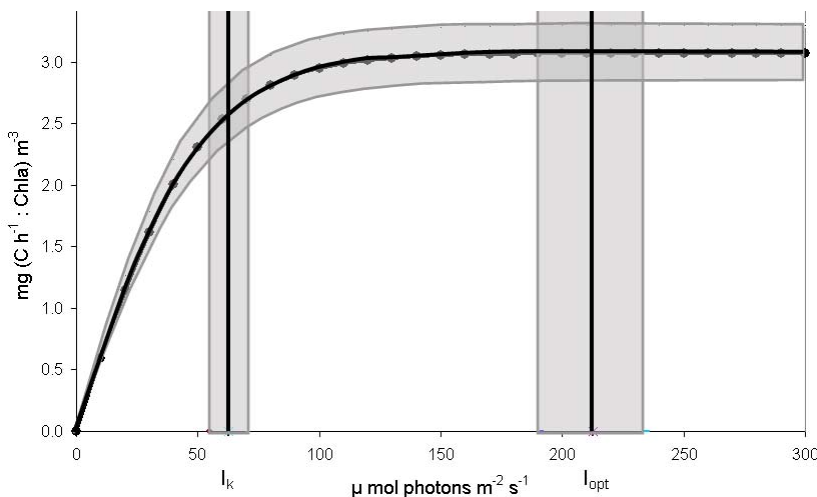
Blaðgræna er nauðsynleg til ljóstíllifunar, eins og áður hefur verið vikið að, og því er algengt að miða kolefnisbindingu (mg C klst^{-1}) við magn blaðgrænu (mg Chl-a) í viðkomandi sjósýni í afkastaferlum, þ.e.a.s. framleiðsla/lífmassa ($P^B = \text{mg [C h}^{-1} : \text{Chla]} \text{ m}^{-3}$). Framangreint viðmið auðveldar allan samanburð einstakra ferla (2. mynd).

Gert er ráð fyrir að afkastaferlar endurspegli ljóstíllifun svifþörungna á viðkomandi svæði og tíma, meðan breytingar á aðstæðum eru ekki verulegar. Einnig er mögulegt að tengja breytingar á afkastaferlum við árstíma, staðsetningu og valdar mælanlegar umhverfisbreytur og nýta síðan spád gildi til útreikninga á frumframleiðslu í samræmi við tiltækar mælingar. Magn blaðgrænu og ljóss getur verið afar breytilegt, bæði hvað varðar lárétta og lóðrétta dreifingu, og frá einni stundu til annarrar. Einn helsti kostur þess að nota afkastaferla í stað fyrri mælinga á framleiðni við ljósmettun til reikninga á frumframleiðslu er að magn svifþörungna og ljóss eru breytistærðir í jöfnunni.

Markmið áralangra mælinga á afköstum ljóstíllifunar og úrvinnsla hefur einmitt verið að greina kerfisbundnar breytingar miðað við stað, tíma og aðra mælanlega umhverfisþætti. Takmarkið er að geta metið frumframleiðslu á skilgreindum hafsvæðum og tímabilum og nýta gögnin til vistfræðilegra rannsókna. Slíkt hefur hingað til verið óraunhæft, enda krefst það mikilla fjármuna, skipatíma og mannafla að gera slíkar mælingar á sjó. Með tengingu við upplýsingar frá gervitunglum, um dreifingu blaðgrænu og skýjahulu, opnast ný vídd miðað

við fyrrgreinda reikninga á meðaltölum. Ekki síst er orðið kleyft að fylgjast með gróðurfarsbreytingum yfir skemmri tímabil, jafnvel frá degi til dags þegar best lætur.

Umtalsverðar upplýsingar liggja nú fyrir um afkastaferla svifþörungna í hafinu við Ísland, á mismunandi árstímum og við mismunandi umhverfisaðstæður eins og komið er fram. Hingað til hafa þessar niðurstöður aðeins verið notaðar til reikninga á frumframleiðslu á afmörkuðum svæðum í tengslum við sérstök rannsóknaverkefni (Kristinn Guðmundsson et al. 2002), enda auðveldara og fljótlegra að mæla blaðgrænu en frumframleiðni þó svo að í báðum tilfellum hafi verið nauðsynlegt að fara á staðinn og taka sjósýni. Þess utan eru ýmsar leiðir notaðar til að mæla magn blaðgrænu með óbeinum hætti, bæði í sjó með svokölluðum flúrljómunamælingum og með skráningum frá fjarlægum í gervihöttum. Síðarnefndu mælingarnar byggja á fylgni ákveðinna bylglengda í endurvarpi ljóss frá yfirborði sjávar og magni blaðgrænu við yfirborðið. Tækniþróun á þessu sviði hefur fleygt fram á undangengnum áratugum og þar með opnast raunhæf leið til að fylgjast með framvindu gróðurs á stórum hafsvæðum frá degi til dags. Helsti veikleiki nálgana af þessu tagi er hve „yfirborðslegar“ fjarlægðarmælingarnar eru þ.e.a.s. þær mæla aðeins blaðgrænu í efstu metrum sjávar. Það er því mikilvægt að afla staðgóðrar þekkingar á dýptardreifingu blaðgrænu. Jafnframt þarf að afla upplýsinga um þær svifþörungna- og dýrategundir sem þar vaxa og um umhverfið og breytileikann sem vænta má. Loks þarf að vanda kvörðun fjarnefna, svo þær megi nýta sem best til rannsókna á framvindu gróðurs og áhrifum breytinga á gróðurmagni og frumframleiðslu.



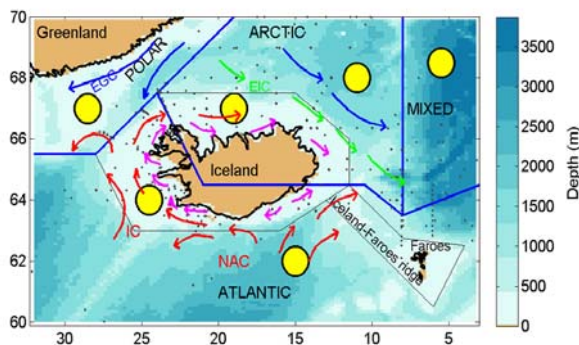
2. mynd. Afkastaferill, þ.e. hlutfall kolefnisbindingar og blaðgrænu sýnt sem fall af mismunandi ljósstyrk (I). Myndin sýnir meðaltal og 95% öryggismörk ferla 1982 – 2008, mörk ljósháðrar og ljósmettaðrar tillifunar (I_k) og kjörlyfsingu (I_{opt}) ljóstíllifunar.

Figure 2. *PvsI* curve, a mean of experimental constants 1982 – 2008 for α^B , P^B_{max} , I_k and I_{opt} and the 95% confidence limits (grey).

Kanadískt teymi vísindamanna birti árið 1995 niðurstöður um frumframleiðslu í heims-höfunum, byggða á reiknilíkani sem nýtir áður nefndar upplýsingar frá gervihnöttum (Longhurst *et al.* 1995). Reikningarnir byggja á svæðaskiptingum, fyrirbyggjandi niðurstöðum mælinga á afkastaferlum, dýptardreifingu blaðgrænu, lagskiptingu og upplýsingum frá gervihnöttum (Platt *et al.* 1995). Reiknilíkanið var mótað af umfangsmiklu gagnasafni rannsókna sem teymið hafði víðað að sér úr ýmsum áttum (Sathyendranath *et al.* 1995). Síðan þetta var gert hefur mikið af gögnum bæst við og þess utan er búið að endurskoða og betrubæta marga þætti í útreikningum á dags-framleiðni.

Gögn Hafrannsóknastofnunarinnar voru ekki notuð í reikningum Longhurst *et al.* (1995) og því var það kærkomið tækifæri er Dr. Trevor Platt sendi fyrirspurn um fyrirbyggjandi íslensk gögn og bauð okkur síðan að taka þátt í endurmati á frumframleiðni á norðanverðu Atlantshafi.

Fyrstu niðurstöður þessa endurmats fyrir Norður Atlantshaf voru kynntar á ráðstefnu í Færeyjum í september 2010. Eins og komið hefur fram var endurmatið að þessu sinni byggt á niðurstöðum Hafrannsóknastofnunarinnar, auk þess sem hafsvæðinu umhverfis Ísland var nú



3. mynd. Svæðaskipting og straumar. Kortið sýnir helstu hafstraumana innan þess ramma sem skilgreint er í reiknilíkani til að meta frumframleiðni, mörk milli einsleitra svæða innan og utan landgrunnins, valdar staðsetningar til viðmiðunar innan hvers svæðis (gulir hringir) og stöðvar þar sem sjósýnum var safnað til að afla upplýsinga um afkastaferla ljóstillifunar svifþörungna (svartar punktar).

Figure 3. The model region and currents. The maps show the main currents in the region of the primary production model, selected reference points (yellow) and the subdivision of relatively homogenic areas over and outside the Icelandic shelf and the locations where water samples for analysis of P vs. I were sampled (black dots)

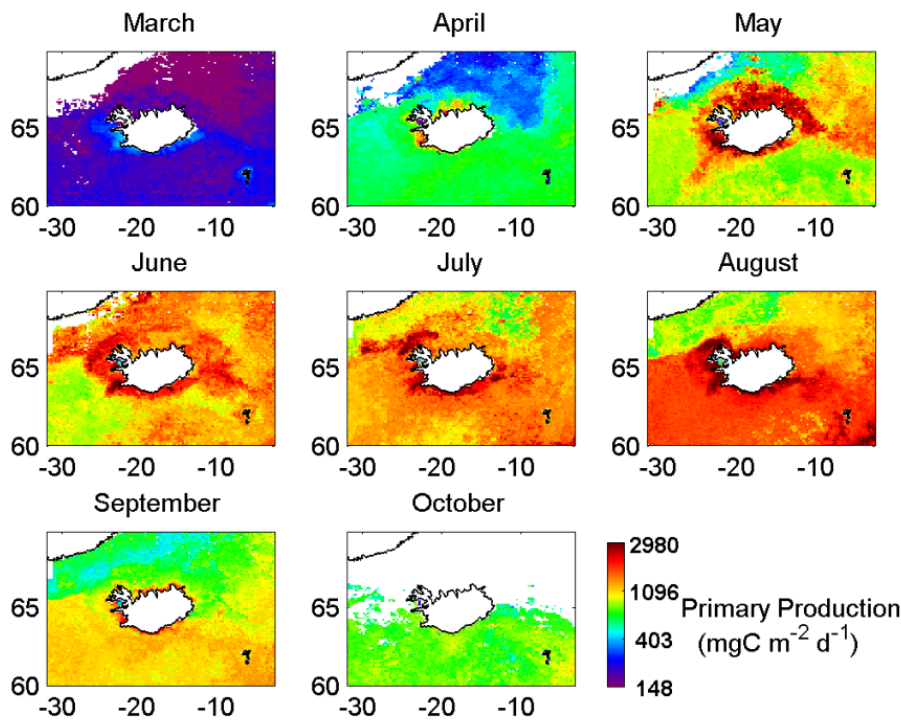
skipt upp í fleiri reiti í reiknilíkaninu, með tilliti til landfræðilega sérkenna, þekktra hafstrauma og þekkingar á ástandi sjávar (3. mynd). Önnur fyrirbyggjandi gögn, svo sem niðurstöður afkastaferla, dýptarsnið blaðgrænu og dreifing eðlisþyngdar, 1981 – 2009, voru aðgreind og metin miðað við reitaskiptinguna.

Ennfremur voru upplýsingar um blaðgrænu, frá fjarnemanum SeaWiFS um borð í gervihnetti NASA, SeaStar 1998 – 2007, og aðrar tiltækar upplýsingar nýttar eins og frekast var unnt. Í stuttu máli voru fyrirbyggjandi niðurstöður, sem eiga best við viðkomandi stað og stund, valdar samkvæmt „nearest neighbour method“ (Platt *et al.* 2008). Þannig var skapaður grundvöllur til að reikna dagsframleiðslu og heilda hana síðan yfir lengri eða skemmri tíma eftir því sem hentaði hverju sinni. Á ráðstefnunni í Færeyjum voru sýnd mánaðarleg meðaltöl lárétrar dreifingar frumframleiðslu í hafinu milli Grænlands og Færeyja (4. mynd), auk ársmeðaltals fyrir hafsvæðið næst Íslandi (5. mynd).

Mánaðarleg dreifing niðurstaðna reikninga á daglegri framleiðni (4. mynd) sýnir meðaltals framvindu gróðurs frá mars til október, á því svæði sem skilgreint er í reiknilíkaninu. Vegna þess hve lágt á lofti sólin er yfir vetrarmánuðina er ekki mögulegt að beita fjarmælingum til að mæla blaðgrænu, en það kemur vart að sök því það er jafnframt utan gróðurtímabilsins.

Það er athygli vert að bera saman niðurstöður framangreinds reiknilíkans og eldri niðurstöður Þórunnar Þórðardóttur (1994) sem sýndar voru hér frammar (1. mynd). Um er að ræða tvö aðskilin gagnasett, frá sitt hvoru tímabilinu, og þess utan er ólíkum nálgunum beitt á gögnin. Augljóst er, við samanburð á 1. og 5. mynd, að lárétt dreifing ársframleiðslunnar er sláandi lík.

Ársframleiðslan er að vísu metin umtalsvert hærrí nú en áður, en áhöld geta verið um hvort er réttara. Í því sambandi er viðeigandi að benda á að stóran hluta gróðurtímabilsins, ár hvert, er magn blaðgrænu líkast til ofmetið fyrir hafsvæðið umhverfis Ísland í reikningum SeaWiFS verkefnisins / NASA Goddard Space Flight Center (Kristinn Guðmundsson *et al.* 2009). Það getur hafa leitt til ofmats á frumframleiðslu, að öðrum forsendum óbreyttum. Því er mikilvægt að undirstrika áður nefnda þörf fyrir staðbundna kvörðun fjarmælingagagna og tilsvareandi útreikninga á blaðgrænu.



4. mynd. Frumframleiðni í Norður Atlantshafi. Mánaðarleg framvinda miðað við miðjan mánuð, skv. reiknilíkani sem nýtir bæði niðurstöður mælinga á sjósýnum árin 1990 – 2009 og fjarmælingar frá gervihnöttum 1998 - 2007. Hvítt yfirborð sjávar endurspeglar skort á upplýsingum.

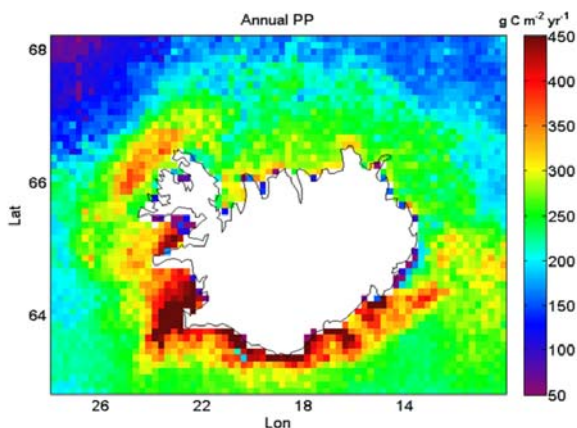
Figure 4. Monthly primary production in the North Atlantic Ocean, by the 15th of each month, based on in situ data 1990 – 2009 and satellite records 1998 – 2007. White surface areas reflect a lack of information.

Nýting frumframleiðslu í hafinu við Ísland

Frekar takmarkaðar upplýsingar liggja fyrir um orkuflæði í fæðuvef hafsins umhverfis Ísland, frá frumframleiðni til nytjastofna (Ólafur Karvel Pálsson 1977), þó svo að rannsóknir hafi verið stundaðar á fæðuvali fiska, fugla og sjávarspendýra um nokkurt skeið. Nýlegar rannsóknir um flutning fituefna og hlutföll kolefnisísótópa í mismunandi hópum lífvera hafa gefið nýjar

upplýsingar um byggingu fæðuvefsins. Gróf einföldun á nýtingarhlutfalli við flutning orku frá bráð til afræningja gerir ráð fyrir að 10% orkunnar skili sér á milli þrepa, sem er kannski ekki fjarri sanni (Mendy 1998). Samhengið er þó öllu flóknara en gert er ráð fyrir í framangreindu dæmi. Sum dýr, eins og t.d. loðna, síld, kolmunn, makrill, sjófuglar og hvalir, geta borið orku yfir langar vegalengdir frá þeim stað þar sem hennar er aflað og þangað sem viðkomandi einstaklingar skila orku sinni yfir á næsta þrep. Til að mögulegt verði að greina á milli framleiðslu innan skilgreinds svæðis annars vegar og inn- og útflutning orku hins vegar þarf að vera gerlegt að meta breytingar í framleiðslu miðað við árstíma og stað.

Til að auka skilning okkar á flóknum umfangsmiklum vistkerfum er nauðsynlegt að rannsaka bæði heildina og afmarkaða þætti. Því er eftirsóknavegt að þróa leiðir til að geta fylgst með framvindu gróðurs yfir árið, og á völdum svæðum, eins og hentar fyrir mismunandi rannsóknarverkefni. Slíkt var lengst af nær ókleyft, en nú er öldin önnur og með aukinni þekkingu og betra aðgengi að upplýsingum sem eru óháðar dýrum skipatíma og tímafrekri handavinnu eru nú forsendur fyrir þróun reiknilíkana til að meta frumframleiðsluna, eins og að var stefnt. En, til að ná ásættanlegum árangri er nauðsynlegt að taka mið af staðbundnum sérkennum.



5. mynd. Niðurstöður endurmats á frumframleiðni í hafinu umhverfis Ísland. Ársmeðaltal samkvæmt mælingum á sjó árin 1990 – 2009 og fjarmælingum frá gervihnöttum 1998 – 2007.

Figure 5. Annual primary production around Iceland, an average based on water sample measurements 1990 – 2009 and satellite records 1998 – 2007.

Þakkir

Ég vil þakka samstarfsfólki, bæði verkefnahópi undir stjórn dr. Trevor Platt og Li Zhai í Kanada og á Hafrannsóknastofnuninni. Hafsteini Guðfinnssyni og Konráði Þórisssyni er þakkað fyrir yfirlestur á handriti og góðar ábendingar

Heimildir

- Kristinn Guðmundsson, 1999. Ársferlar þörungagróðurs. Hafrannsóknastofnunin, *Fjölrit*, 77: 25-26.
- Kristinn Guðmundsson, Mike R. Heath & Elizabeth D. Clarke 2009. Average seasonal changes in chlorophyll a in Icelandic waters. *ICES Journal of Marine Science*, 66:2133-2140.
- 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, 2002. Hafrannsóknastofnunin, *Fjölrit*, 89, 129 bls.
- Longhurst, Alan, Shubha Sathyendranath, Trevor Platt & Carla Caverhill, 1995. An estimation of global primary production in the ocean from satellite radiometer data. *Journal of Plankton Research*, 17:1245-1271.
- Mendy, Asberr Natoumbi, 1998. *Trophic modelling as a tool to evaluate and manage Iceland's multispecies fisheries*. Synthesis at United Nations University – Fisheries training Programme, Reykjavík, Iceland, 31 pp. [http://www.unuftp.is/static/fellows/document/asberr_prf.pdf]
- Ólafur Karvel Pálsson 1977. Framleiðslugeta og nýting dýrastofna á Íslandsmiðum. Í Vilhjálmur Lúðvíksson (ritstj.): Fæðubúskapur. *Rit Landverndar*, 5:43-55.
- Starr, Michel, Jeffrey A. Runge & Jean-Claude Therrizult, 1999. Effects of diatom diet on the reproduction of the planktonic copepod *Calanus finmarchicus*. *Sarsia*, 84:379-389.
- Steemann Nielsen, Einar, 1952. The use of radioactive carbon (C-14) for measuring organic production in the Sea. *Journal du Conseil Permanent International pour l'Exploration de la Mer*, 18:117-140.
- Platt, Trevor, Shubha Sathyendranath, Marie-Hélène Forget, George N. White III, Carla Caverhill, Heather Bouman, Emmanuel Devred & Seung-Hyun Son, 2008. Operational estimation of primary production at large geographical scales. *Remote Sensing of Environment*, 112: 3437-3448.
- Platt, Trevor, Shubha Sathyendranath & Alan Longhurst, 1995. Remote sensing of primary production in the ocean: promise and fulfilment. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B*, 348:191-202.
- Sathyendranath, Shubha, Alan Longhurst, Carla M. Caverhill & Trevor Platt, 1995. Regionally and seasonally differentiated primary production in the North Atlantic. *Deep-Sea Research*, 42:1773-1802.
- Þórunn Þórðardóttir, 1994. Plöntusvif og frumframleiðni í sjónum við Ísland. Í Unnsteinn Stefánsson (ritstj.). *Íslendingar, hafið og auðlindir þess*. Vísindafélag Íslendinga, Ráðstefnurit 4:65-88.

KLAKÁRANGUR RAUÐÁTU AÐ VORLAGI VIÐ ÍSLAND / HATCHING SUCCESS OF CALANUS FINMARCHICUS IN SPRING IN ICELANDIC WATERS

Ingibjörg G. Jónsdóttir
Hafrannsóknastofnunin, Reykjavík

Inngangur

Rauðáta (*Calanus finmarchicus*) er algengasta dýrasvifstegundin í hafinu umhverfis Ísland og er ein mikilvægasta fæðutegundin fyrir lirfur og seiði ýmissa nytjafiska (Konráð Þórisson 1989). Hafrannsóknastofnunin hefur fylgst með magni og útbreiðslu rauðátu í vorleiðöngrum allt í kringum landið frá árinu 1971. Á síðustu árum hafa einnig nokkrum sinnum verið gerðar athuganir á frjósemi rauðátu með eggjaframleiðslutilraunum (sjá t.d. Ástþór Gíslason 2005). Nýliðun og vöxtur dýrasvifstofna ræðst að verulegu leyti af frjósemi stofnanna. En hlutfall eggja sem ná að klekjast út, klakárangurinn, er einnig mjög mikilvægur þáttur í þessu sambandi. Það er því mikilvægt að rannsaka það hlutfall eggja sem klekst út en það getur verið mjög breytilegt í tíma og rúmi (Poulet *et al.* 1995). Í vorleiðangri í maí 2001 var klakárangur rauðátu kannaður á hafsvæðinu allt í kringum Ísland.

Abstract

Hatching success of Calanus finmarchicus was studied in the annual spring survey in May 2001. The mean hatching success was 72.3%. Hatching success was highest north and east of Iceland (4.2-100%) and lowest west of the island (9.5-50%).

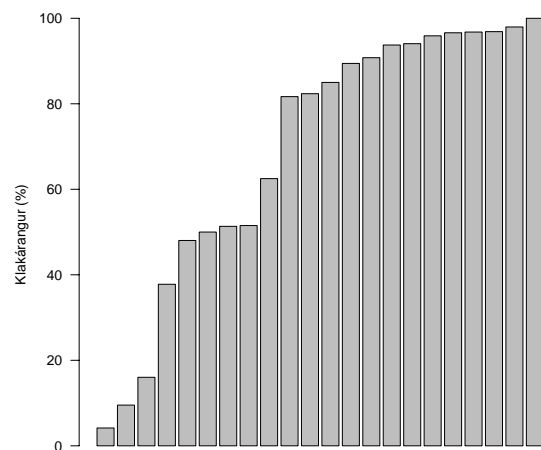
Aðferðir

Í vorleiðangri var dýrasvifi safnað á staðalstöðvum allt í kringum landið. Sýnum var safnað með háfi (möskvastærð 200 μm) sem dreginn var lóðrétt frá 100 m dýpi og upp að yfirborði. Klaktilraunir voru gerðar á um það bil þriðju hverri stöð. Illa gekk þó að ná lifandi rauðátum suðaustur af landinu þar sem lítið fékkst af henni á því svæði, og því voru tilraunirnar færri þar. Fjórar rauðátur (kvendýr) voru valdar af handahófi úr hverju sýni og voru tvær tilraunir settar upp á hverri stöð með tveimur dýrum í hverri tilraun. Dýrin voru sett í lokuð glös með um það bil 140 ml af síuðum sjó (möskvi í síu: 65 μm). Glösin voru geymd við 6° C. Kvendýrin fengu að hrygna í einn sólarhring, en voru síðan fjarlægð. Við 6°C tekur það egginn rúmlega tvo sólarhringa að klekjast (Corkett *et al.* 1986), en eftir fjóra sólarhringa (í þrjú skipti eftir sjö sólarhringa) var tilraunin stöðvuð með því að setja nokkra dropa af Lugol lausn í glösin. Glösin voru geymd þar til komið var í

land þar sem egg og náplíur (lirfustig) voru taldar úr hverju glasi. Alls voru settar upp tilraunir á 25 stöðvum (alls 50 tilraunir). Klakárangur var reiknaður sem hlutfall klakinna eggja af heildarfjölda eggja (klakinna og óklakinna). Tilraunirnar gengu mjög vel og auðvelt var að halda dýrunum lifandi og aðeins ein tilraun mistókst.

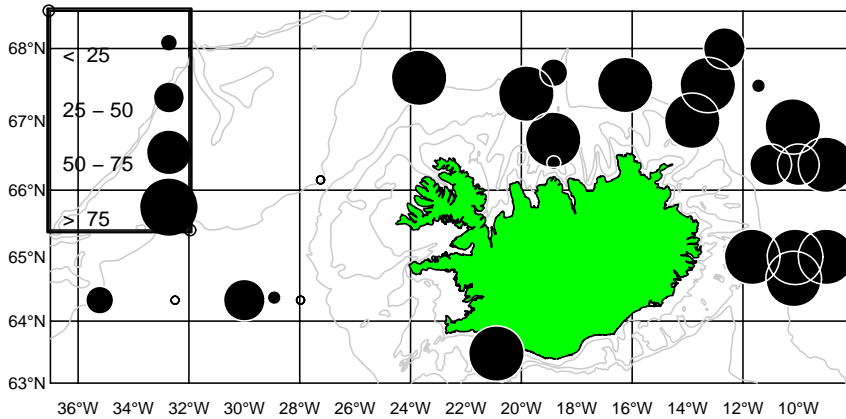
Niðurstöður og umræður

Eggjaframleiðslan var mjög misjöfn, frá 0 til 56 egg, eða að meðaltali 37 egg á hvert kvendýr á sólarhring. Rauðátturnar voru hrygnandi á flestum athugunarstöðvum og á aðeins þremur stöðvum mældist engin eggjaframleiðsla. Eggjaframleiðsla rauðátu hefur nokkrum sinnum verið könnuð við Ísland. Í þeim rannsóknum reyndist meðal eggjaframleiðsla að vorlagi vera á bilinu 26 til 45 egg á sólarhring (Ástþór Gíslason 2005). Í rannsókn Ástþórs kom í ljós að eggjaframleiðsla var mismunandi eftir árstíma og svæðum. Niðurstöður mínar um eggjaframleiðslu rauðátu á Íslandsmiðum gefa ekki nákvæmar upplýsingar um eggjaframleiðslu þar sem ekki var tryggt að rauðátan æti ekki sín eigin egg, en rannsóknir hafa sýnt að kvendýrin geta étið eigin egg (Laabir *et al.* 1995). Þó er ólíklegt að eggjaframleiðslan hafi verið verulega vanmetin því egginn féllu til botns og því ólíklegt að dýrin hafi náð að éta þau. Einnig má



1. mynd. Meðal klakárangur (%) rauðátu raðað eftir klakárangri.

Figure 1. Mean hatching success (%) of Calanus finmarchicus per station.



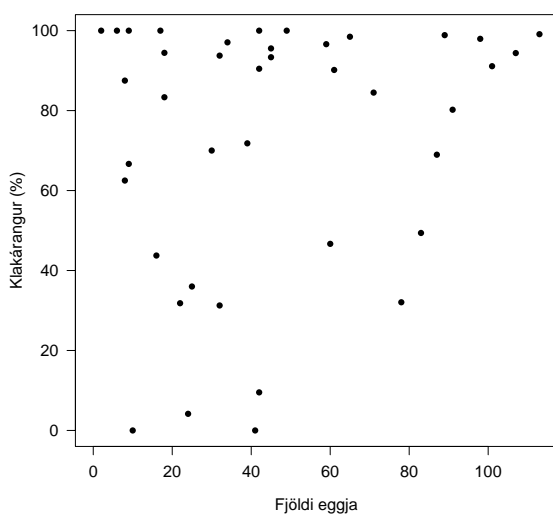
2. mynd. Meðal klakárangur rauðátu (%). Auðir hringir eru þar sem engin eggjaframleiðsla var.

Figure 2. Mean hatching success of *Calanus finmarchicus*. Empty circles indicate no egg production.

benda á að meðal eggjafjöldi í þessari rannsókn (37 egg), er vel í meðallagi, miðað við mælingar Ástþórs.

Klakárangur var allt frá 0 til 100% (1. mynd) en að meðaltali 72,3%. Suðvestur af Íslandi mældist klakárangur milli 23 og 94% í apríl til júní 1993 og 1994 (Sigrún H. Jónasdóttir *et al.* 2002). Á Íslands-Færeyjahryggnum var klakárangur í apríl 1997 á flestum stöðum yfir 90% (Sigrún H. Jónasdóttir *et al.* 2008). Á Georgs banka mældist klakárangur að vorlagi um 79% (Runge *et al.* 2006). Ef klakárangur rauðátu samkvæmt mínum tilraunum er borinn saman við aðrar dýrasvifstegundir þá er hann lægri en hjá náskyldri tegund, helgolandsátu (*Calanus helgolandicus*) (83%, Pond *et al.* 1996) og annarri minni dýrasvifstegund, sporðkleyf (*Temora stylifera*) (77,31%, Ianora & Poulet 1993).

Meðal klakárangur rauðátu mældist lægstur fyrir vestan landið, 0-50% (2. mynd). Fyrir



3. mynd. Sambandið milli fjölda framleiddra eggja á sólarhring og klakárangurs rauðátu.

Figure 3. The relationship between egg production and hatching success.

vestan landið voru þrjár stöðvar þar sem engin hrygning átti sér stað. Lítil eggjaframleiðsla og lítill klakárangur á þessum svæðum gæti hugsanlega verið tengt því að þar var lítil gróður og vorvöxtur gróðurs greinilega ekki almennilega kominn í gang þetta árið (lítið magn blaðgrænu og hár styrkur næringarefna, en lægstu gildi blaðgrænumælinga við landið voru 2001 var einmitt á þessu svæði, sbr Anon. 2003). Hins vegar fannst ekkert samband milli klakárangurs rauðátu og yfirborðshitastigs sjávar. Það er lítið vitað um hvaða þættir hafa áhrif á klak rauðátu. Ýmsir þættir hafa verið nefndir, svo sem magn og hlutföll ákveðinna fitusýra í fæðu (Lacoste *et al.* 2001, Sigrún H. Jónasdóttir *et al.* 2005), magn ákveðinna kísilþörunga (Paffenhöfer 2002) eða að frjógung eggja hafi misheppnast (Diel & Tande 1992). Áhrif umhverfisþátta eins og hitastigs, blaðgrænumagns og seltu hafa lítið verið rannsökuð. Þó fannst ekki samband milli klakárangurs og hitastigs í rannsókn sem var gerð í Norðursjónum (Sigrún H. Jónasdóttir *et al.* 2005).

Í nokkrum tilvikum sást náplía inni í egginu. Hugsanlega hefur þroskun náplía stöðvast af einhverjum orsökum. Ástæður þess að egg ná ekki að klekjast út eru margvíslegar, meðal annars að náplíurnar í þeim séu óheilbrigðar og festist inni í egginu (Starr *et al.* 1999). Einnig er hugsanlegt að fjórir sólarhringar séu of stuttur tími til að fá fram raunverulegan klakárangur rauðátu. Tilraunirnar á þremur austustu stöðvunum á Krossanessniði voru látnar ganga í lengri tíma en á hinum stöðvunum (í sjö sólarhringa í stað fjögurra). Meðal klakárangurinn á þessum stöðvum var 93,8-98% sem er töluvert hærri en meðal klakárangur annars staðar. Þannig að það er hugsanlegt að á öðrum svæðum hefðu egg náð að klekjast út ef tilraunir hefðu verið látnar ganga lengur.

Ekki reyndist marktækt samband milli eggjaframleiðslu og klakárangurs (3. mynd; $R^2=0,04$). Það er í samræmi við rannsóknir Sigrúnar H. Jónasdóttur *et al.* (2002). Sama er upp á teningnum hjá helgolandsátu (*Calanus helgolandicus*) (Poulet *et al.* 1995). Það bendir því til að ólíkir þættir hafi áhrif á eggjaframleiðslu annars vegar og hlutfall eggja sem klekst út hins vegar (Sigrún H. Jónasdóttir *et al.* 2002).

Þó frjósemi skipti miklu máli fyrir vöxt rauðátu er klakárangurinn einnig mikilvægur þáttur og því mikilvægt að rannsaka hvaða þættir hafa áhrif á klak og lífslíkur fyrstu náplústiganna. Rannsóknir á Georgs banka hafa til dæmis sýnt að aðeins um 10% náplía nái að þroskast fram yfir þriðja náplústigið (Ohman *et al.* 2002). En klakárangur getur einnig haft veruleg áhrif á nýliðun rauðátu. Til að skilja betur hvaða þættir hafa áhrif á klak og þar með nýliðun rauðátu væri nauðsynlegt að skoða áhrif mismunandi þátta svo sem hitastigs, blaðgrænumagns, seltu, styrks næringarefna og þéttleikaháðra þátta eins og magns rauðátu eða annars dýrasvífs.

Þakkir

Konráði Þórisssyni þakka ég fyrir yfirlestur handritsins og góðar ábendingar.

Heimildir

- Anon., 2003. Þættir úr vistfræði sjávar 2001 og 2002. Hafrannsóknastofnunin, *Fjölrít*, 96, 43 s.
- Ástþór Gíslason, 2005. Seasonal and spatial variability in egg production and biomass of *Calanus finmarchicus* around Iceland. *Marine Ecology Progress Series*, 286: 177-192.
- Corkett, C.J., McLaren, I.A. & Sevigny, J.M., 1986. The rearing of the marine calanoid copepods *Calanus finmarchicus* (Gunnerus), *C. glacialis* Jaschnov and *C. hyperboreus* Kroyer with comment on the equiproportional rule. *Sylogenus*, 58: 539-546.
- Diel, S. & Tande, K., 1992. Does the spawning of *Calanus finmarchicus* in high latitudes follow a reproducible pattern? *Marine Biology*, 113: 21-31.
- Ianora, A. & Poulet, S.A., 1993. Egg viability in the copepod *Temora stylifera*. *Limnology and Oceanography*, 38: 1615-1626.
- Konráð Þórisson, 1989. The food of larvae and pelagic juveniles of cod (*Gadus morhua* L.) in the coastal waters west of Iceland. *Rapports et Procés-Verbaux des Réunions du Conseil International pour l'Exploration de la Mer*, 191: 264-272.
- Laabir, M., Poulet, S.A. & Ianora, A., 1995. Measuring production and viability of eggs in *Calanus helgolandicus*. *Journal of Plankton Research*, 17: 1125-1142.
- Lacoste, A., Poulet, S.A., Cueff, A., Kattner, G., Ianora, A. & Laabir, M., 2001. New evidence of the copepod maternal food effects on reproduction. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 259: 85-107.
- Ohman, M.D., Runge, J.A., Durbin, E.G., Field, D.B. & Niehoff, B., 2002. On birth and death in the sea. *Hydrobiologia*, 480: 55-68.
- Paffenhöfer, G.-A., 2002. An assessment of the effects of diatoms on planktonic copepods. *Marine Ecology Progress Series*, 227: 305-310.
- Pond, D., Harris, R., Head, R. & Harbour, D., 1996. Environmental and nutritional factors determining seasonal variability in the fecundity and egg viability of *Calanus helgolandicus* in coastal waters off Plymouth, UK. *Marine Ecology Progress Series*, 143: 45-63.
- Poulet, S.A., Laabir, M., Ianora, A. & Miralto A., 1995. Reproductive response of *Calanus helgolandicus*. I. Abnormal embryonic and naupliar development. *Marine Ecology Progress Series*, 129: 85-95.
- Runge, J.A., Plourde, S., Joly, P., Niehoff, B. & Durbin, E., 2006. Characteristics of egg production of the planktonic copepod, *Calanus finmarchicus*, on Georges Bank: 1994-1999. *Deep-Sea Research II*, 53: 2618-2631.
- Sigrún H. Jónasdóttir, Ólafur S. Ástþórsson, Ástþór Gíslason & Hafsteinn G. Guðfinnsson, 2002. Diet composition and quality for *Calanus finmarchicus* egg production and hatching success off south-west Iceland. *Marine Biology*, 140: 1195-1206.
- Sigrún H. Jónasdóttir, Trung, N.H., Hansen & F., Gärtner, S., 2005. Egg production and hatching success in the calanoid copepods *Calanus helgolandicus* and *Calanus finmarchicus* in the North Sea from March to September 2001. *Journal of Plankton Research*, 27: 1239-1259.
- Sigrún H. Jónasdóttir, Richardson, K., Heath, M.R., Anna Ingvarsdóttir & Christoffersen, A., 2008. Spring production of *Calanus finmarchicus* at the Iceland-Scotland Ridge. *Deep-Sea Research*, 55: 471-489.
- Starr, M., Runge, J.A. & Therriault, J.-C., 1999. Effects of diatom diets on the reproduction of the planktonic copepod *Calanus finmarchicus*. *Sarsia*, 84: 379-389.

MAGN OG DREIFING PÍLORMA Á SIGLUNESSNIÐI NORÐAN ÍSLANDS VORIN 2008, 2009 og 2010 / DISTRIBUTION AND ABUNDANCE OF CHAETOGNATHS AT SIGLUNES TRANSECT NORTH OF ICELAND DURING SPRING 2008, 2009 and 2010

Ástþór Gíslason og Teresa Silva
Hafrannsóknastofnunin

Ágrip

Í greininni er gefið stutt yfirlit yfir líffræði pílorma og fjallað um magn og dreifingu þeirra á Siglunessniði í maí árin 2008, 2009 og 2010. Tvær pílormategundir fundust í sýnunum, *Eukrohnia hamata*, sem aðeins fannst á tveimur ystu stöðvunum og *Parasagitta elegans* sem fannst bæði grunnt og djúpt. Pílormaegg voru áberandi í sýnunum og reyndist fjöldi þeirra yfirleitt mestur um og rétt utan við mitt Siglunessnið. Ekki var marktækur munur á fjölda eggja milli dags og nætur. Meira fannst af yngri pílormum (<10 mm) árið 2010 en árin 2008 og 2009. Ófugt við eggin reyndist hvorki vera marktækur munur á fjölda yngri (<10 mm) né eldri dýra (>10 mm) eftir stöðvum Þessar niðurstöður eru ræddar í ljósi fyrirbyggjandi vitneskju um botnlögun og dýpi, sjófræðilega þætti og fæðu pílormanna.

Abstract

After a short overview of the biology of chaetognaths, the paper describes the abundance and distribution of chaetognaths along the Siglunes-transect extending from coastal to offshore waters north of Iceland in May 2008, 2009 and 2010. Two species of chaetognaths were identified from the samples, *Eukrohnia hamata*, that were only found at the two outermost stations and *Parasagitta elegans* that was found in both shallow and deep waters. Chaetognath eggs were abundant in the samples, and their numbers were greatest on the mid-part of the transect. No difference was detected in the number of chaetognath eggs between day and night. Young chaetognaths (<10 mm) were more abundant in 2010 than in 2008 and 2009. The numbers of young (<10 mm) and older (>10 mm) chaetognaths were not significantly different between stations. These results are discussed in relation to available information on topography, hydrography and potential food for the chaetognaths.

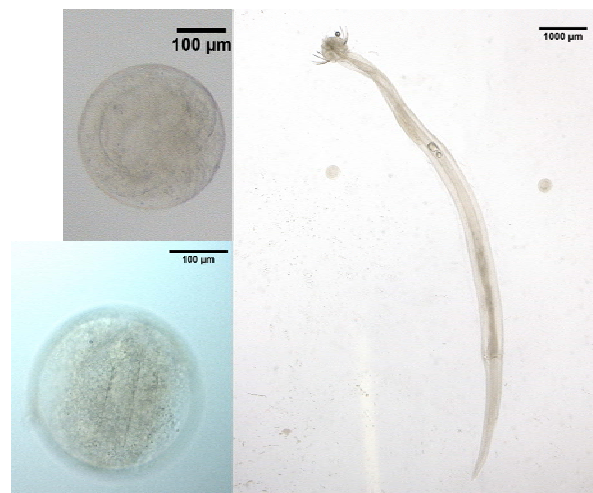
Inngangur

Pílormar eru oft mikilvægur hluti af vistkerfum uppsjávar, þar sem þeir geta verið annar eða þriðji algengasti hópur dýrasvifs, næst á eftir krabbablóm, og eru rándýr (Raymont 1983). Ungir pílormar éta aðallega smágerð dýrasvif eins og tintinníða og krabbablóanaplíur, en eldri og stærri pílormar éta stærri bráð, svo sem hrúðurkarlalirfur, fullvaxnar krabbablær, lirfu-

hala, sjávarflær, fisklirfur og jafnvel aðra pílorma (Baier & Purcell 1997, Tönnesson & Tiselius 2005). Fjölmargar rannsóknir hafa sýnt að afrán pílorma getur haft mikil áhrif á stofnstærð krabbablóa (Sameoto 1973, Kimerer 1984, Baier & Terazaki 2005, Ástþór Gíslason & Ólafur S. Ástþórsson 1998) og þar með haft neikvæð áhrif á vöxt og viðkomu dýra sem eru háð þeim um fæðu, eins og á við um margar tegundir fisklirfa (Baier & Purcell 1997).

Samkvæmt rannsóknum frá fyrri hluta síðustu aldar eru þrjár pílormategundir algengar við Ísland (Jespersen 1940): *Parasagitta elegans* (eldra nafn *Sagitta elegans*, WoRMS 2011), *Pseudosagitta maxima* (eldra nafn *Sagitta maxima*, Thuesen 2011) og *Eukrohnia hamata*. Af þessum tegundum er *Parasagitta elegans* algengari á strandsvæðum en hinar tvær tegundirnar (Jespersen 1940). Þrátt fyrir takmarkaða vitneskju á magnbundinni útbreiðslu pílorma hér við land, virðast þeir algengari fyrir norðan, þar sem þeir hafa verið metnir um 2% dýrasvifsins miðað við fjölda (Ástþór Gíslason & Ólafur S. Ástþórsson 1998) en sjaldgæfir fyrir sunnan (Ástþór Gíslason & Ólafur S. Ástþórsson 1995).

Útbreiðsla pílormategunda getur verið háð eðliseiginleikum sjávar (hita og seltu)



1. mynd. Pílormaegg og ungur pílormur. Athugið að myndirnar eru í mismunandi kvarða.

Figure 1. Image of chaetognath eggs and a juvenile. Note that the images have different scales

(Chirardelli 1968). Þannig er *E. hamata* norræn tegund sem einkum er að finna í köldum sjó á meðan *P. elegans*, sem einnig er norræn, finnst aðallega í blöndu úthafssjávar og strandsjávar (Fraser 1957).

Í flokkunarkerfi dýraríkisins er pílormum skipað í eigin fylkingu, fylkingu pílormar, Chaetognatha. Fylkingin finnst eingöngu í hafinu og alls eru þekktar um 50 tegundir (Lenz 2000), þó einungis séu þrjár tegundir algengar hér við land eins og áður er komið fram. Fræðiheitið Chaetognatha, er dregið úr latínu þar sem fyrri liðurinn, „Chaeto“ merkir bursti, en sá síðari „gnathos“ kjálki. Þannig að bein þýðing á fræðiheitinu er „burstakjálki“, enda hafa dýrin sveigða hárabursta úr kítíni fremst við ginið sem þeir nota til að grípa bráðina með (1. mynd). Aftan við höfuðið er kápa sem dýrið getur skotið fram yfir burstana, sennilega til að hlífa þeim og til að minnka viðnámið á sundi. Hliðstæðir uggarnir eru sérkennandi fyrir burstormana. Sumar tegundir, t.d. af ættkvíslinni *Parasagitta*, hafa tvö pör, en flestar tegundir hafa aðeins eitt par. Aftast er svo sporðblaðka. Bæði í uggum og sporðblöðku eru geislar.

Á höfði sumra tegunda eru tvö lítil augu, sem talið er að nýtist illa við leit að bráð, en aðrar tegundir eru blindar. Aðalskynfærið við leit að bráð eru nokkrar raðir af sérstökum skynfrumum eftir endilöngum líkamanum sem skynja hreyfingar í sjónum, t.d. þær sem sund annarra dýra veldur. Talið er að við veiðar bíði pílormarnir hreyfingarlausir í sjónum og ráðist svo skyndilega á bráðina þegar hún er í nánd. Sjálfir eru þeir næstum glærir og sjást því illa.

Pílormar eru tvíkynja, á ensku „protandrous hermaphrodites“, þ.e. eistun þroskast á undan eggjastokkunum (Pearre 1991). Sennilega er aðallega um víxlfrjóvgun að ræða, en þó er sjálffrjóvgun hugsanleg. Sumar tegundir, t.d. af ættkvíslinni *Eukrohnia*, fæða lifandi unga, þ.e. þau bera afkvæmin í sérstökum líffærum þar til þau eru ca. 3 mm löng, á meðan aðrar, t.d. ættkvíslin *Parasagitta*, sleppa eggjum út í sjóinn þar sem þau þroskast og klekjast út (Alvariño 1990a, Alvariño 1990b, Pearre 1991). Hvort sem eggin klekjast inni í dýrinu eða utan við það, er ekkert eiginlegt lirlustig og líkjast ungviðin foreldrunum í flestu öðru en stærð.

Engar upplýsingar eru til um æxlunartíma pílorma við Ísland. Í Grænlandshafi er hrygningartímabil *P. elegans* tiltölulega langt (apríl-september) en styttra í Noregshafi (apríl-

maí) (Alvariño 1990a). Í Balsfirði í Norður Noregi hrygnir *P. elegans* frá maí til október (Tande 1983). en í Grænlandshafi hrygnir *E. hamata* á sumrin (Alvariño 1990a).

Ævilengd pílorma er breytileg eftir breiddargráðum, minni en eitt ár á suðlægum slóðum en getur orðið yfir tvö ár norðarlega. Þannig lýkur *P. elegans* lífsferlinum á um einum og hálfum mánuði í Ermasundi (Russel 1932), þrem til átta mánuðum út af austurströnd Norður Ameríku (44-30°N, Terazaki, 2004), um einu ári í Os-lófirði (60°N, Jakobsen 1971) og Balsfirði (69° N, Tande 1983) og tveimur til tveimur og hálfu ári í Hudson flóa (65°N, Welch *et al.* 1996) og við Svalbarða (77°N, Weslawski *et al.* 1991).

Eins og lýst er hér að ofan eru upplýsingar um útbreiðslu og þroska pílorma hér við land fremur fátæklegar. Markmið þeirrar athugunar sem hér er lýst er að bæta úr því með því að lýsa útbreiðslu pílorma á Siglunessniði að vorlagi í þrjú ár í tengslum við sjávarhita, seltu og tíma sólarhrings.

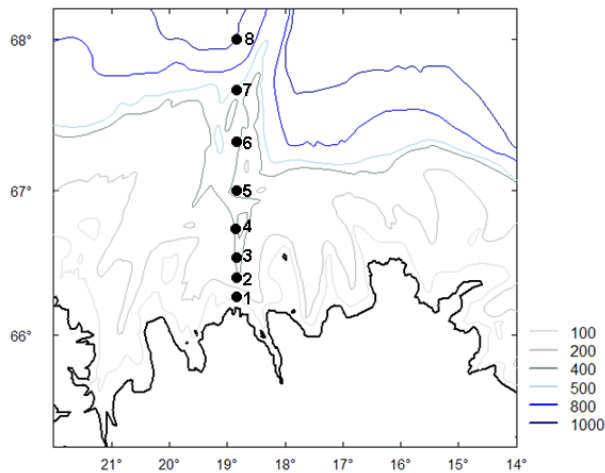
Aðferðir

Sýnum var safnað á átta staðalstöðvum á Siglunessniði í maí árin 2008, 2009 og 2010 á 0-50 m dýpi (2. mynd). Sjávarhiti og selta voru mæld með síritandi sondu (Sea Bird Electronics SBE-9).

Átusýnum var safnað með WP2 háfi (0,25 m² opnun, 200 µm möskvastærð) sem dreginn var frá 50 m dýpi og upp að yfirborði. Í miðju háfopinu var komið fyrir flæðismæli sem notaður var til að reikna út hversu mikinn sjó háfurinn síaði. Sýnin voru varðveitt í 4% formalin lausn sem hlutleyst var með boraxi. Á öllum stöðvum var sjávarhiti og selta mæld með sondu.

Á rannsóknastofu í landi var sýnunum skipt með Motoda skiptara (Motoda 1959) og pílormar taldir úr hlutsýnum. Allir pílormar voru mældir en einungis var unnt að greina þá stærri (>10 mm) til ættkvísla eða tegunda. Egg pílorma voru einnig talin (sjá næstu málsgrein). Allar fjöldatölur voru staðlaðar miðað við einn rúmmetra af sjó.

Við greiningu sýna frá maí 2010 tókum við eftir nokkrum eggjum með pílormafóstri í (1. mynd). Þvermál eggjanna var á bilinu 0,275-0,392 mm. Athugun í gagnabanka leiddi í ljós að áður höfðu verið skráð egg af svipaðri stærð (~0,250-0,400 mm) í sýnum sem tekin voru í maí 2008 og 2009, og þótt þau hefðu ekki verið



2. mynd. Kort sem sýnir rannsóknastöðvarnar á Siglunesniði.

Figure 2. Location of the sampling stations along Siglunes transect.

skoðuð aftur m.t.t. þess hvort í þeim væru pílormafóstur, þá teljum við engu að síður á grundvelli útlits þeirra og stærðar að þau séu líka frá pílormum og meðhöndlum þau hér sem slík.

Niðurstöður og umræða

Meðalhiti á 0-50 m dýpi á Siglunesniði í maí árin 2008, 2009 og 2010 var á bilinu $\sim 0-5,5^\circ\text{C}$, en meðalselta á bilinu $\sim 34,5-35,05$ (3. mynd). Hiti og selta voru fremur lág næst landi (stöð 1) og lengst frá landi (stöð 8). Hin lágu gildi næst landi tengjast sennilega ferskvatnsáhrifum frá landi en á ystu stöðinni endurspeglar þau sennilega áhrif seltulágs svalsjárur úr norðri.

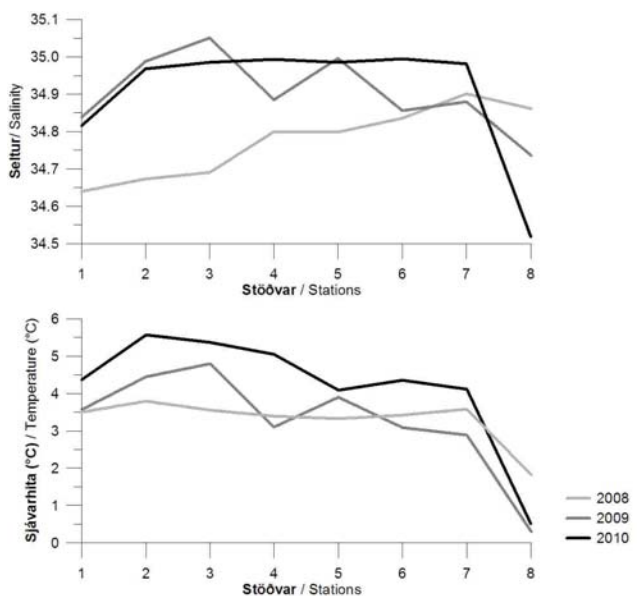
Tvær pílormategundir greindust í sýnunum, *E. hamata*, sem aðeins fannst á tveimur ystu stöðvunum og *P. elegans* sem fannst á flestum stöðvum, bæði grunnt og djúpt. Það að finna *E. hamata* aðeins á ystu stöðvunum tengist sennilega því að tegundin er norræn úthafstegund sem er algengust í köldum sjó (Fraser 1957, Pierrot-Bults & Nair 1991), á meðan víðari útbreiðsla *P. elegans* er í samræmi við eldri niðurstöður um að tegundin sé ekki bundin við úthafið heldur finnist einnig á strandsvæðum (Fraser 1957).

Árin 2008, 2009 og 2010 hafa öll verið skilgreind sem „hlý“ í þeim skilningi að innflæði Atlantssjárur norður fyrir land var tiltölulega mikið þessi ár, í langtíma samanburði (Anonymous 2010, Héðinn Valdimarsson, persónulegar upplýsingar). *P. elegans* fannst hins vegar aðeins árið 2009, sem kann að endurspeglar að einhverju leyti ólíkar sjófræðilegar

aðstæður á Siglunesniði í maí árið 2009 samanborið við árin 2008 og 2010. Þar sem tilvist pílormanna getur verið góð vísbending um ólíkar sjógerðir þá væri áhugavert að fylgjast með þeim í vöktunarsýnum, bæði í „hlýjum“ og „köldum“ árum.

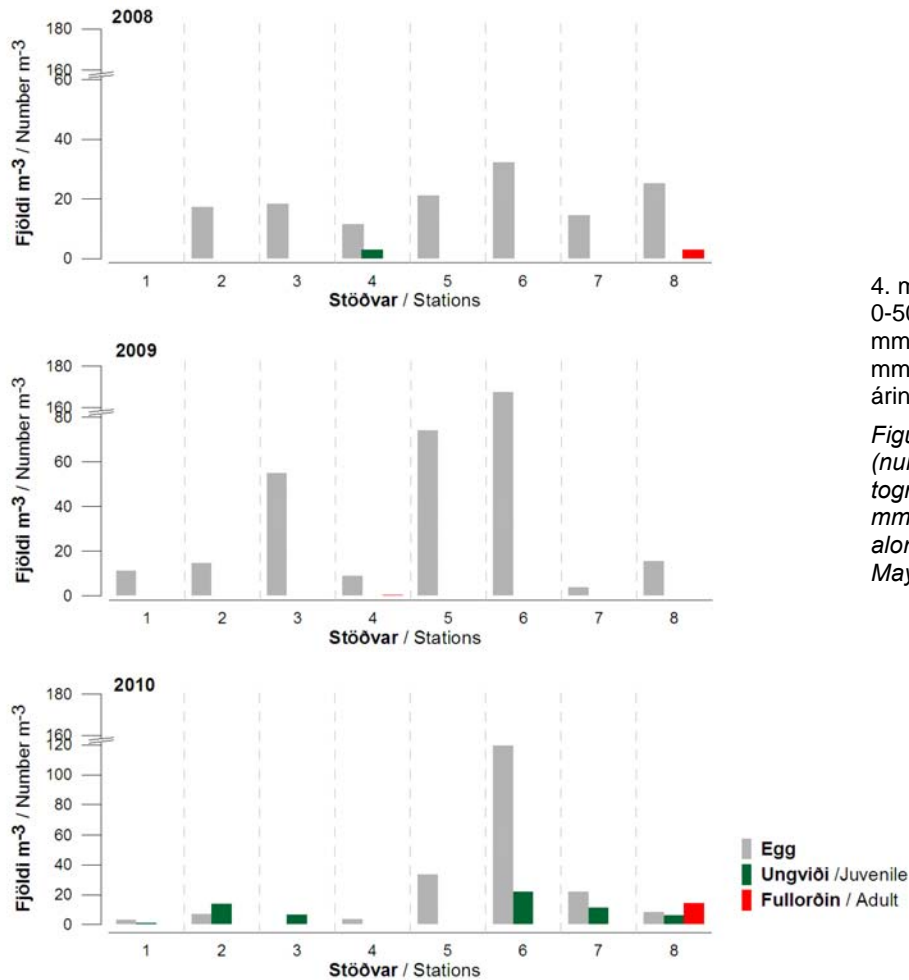
Pílormaeðgin voru hnattlaga og fóstrið í þeim var oftast spírallaga (1. mynd). Þvermál eggjanna var á bilinu 0,275-0,392 mm og meðalþvermálið 0,328 mm ± 0.036 .

Á 4. mynd er sýndur þéttleiki pílormaeðgja, yngri (<10 mm) og eldri pílormanna (>10 mm) á Siglunesniði í maí árin 2008, 2009 og 2010. Ekki reyndist marktækur munur á fjölda þeirra á milli ára (Wilcoxon röðunarpróf, $p > 0,05$). Fjöldi eggja var yfirleitt mestur á stöðvum 5 og 6 og minnstur á stöð 4. Séu gögn frá öllum árum tekin saman kemur í ljós að fjöldi eggja var marktækt hærri á stöð 6 en hinum stöðvunum (Tuckey próf, $p < 0,05$). Hugsanlega tengist þetta því að stöðin er á tiltölulega miklu dýpi rétt norðvestan við grynna svæði nær Kolbeinsey sem virðist hafa talsverð áhrif á strauma á svæðinu (sbr. Héðinn Valdimarsson & Svend Aage-Malmberg 1999). Mikill fjöldi eggja á þessu svæði kann líka að endurspeglar heppileg fæðuskilyrði og má í því sambandi geta þess að fjöldi krabbaflóanápía var tiltölulega hár við stöð 6 öll árin.



3. mynd. Meðalhiti og -selta (meðaltöl frá 0-50 m dýpum) á Siglunesniði í maí árin 2008, 2009 og 2010.

Figure 3. Variation of mean temperature and mean salinity (mean from 0-50 m depth) at Siglunes transect in May 2008, 2009 and 2010.



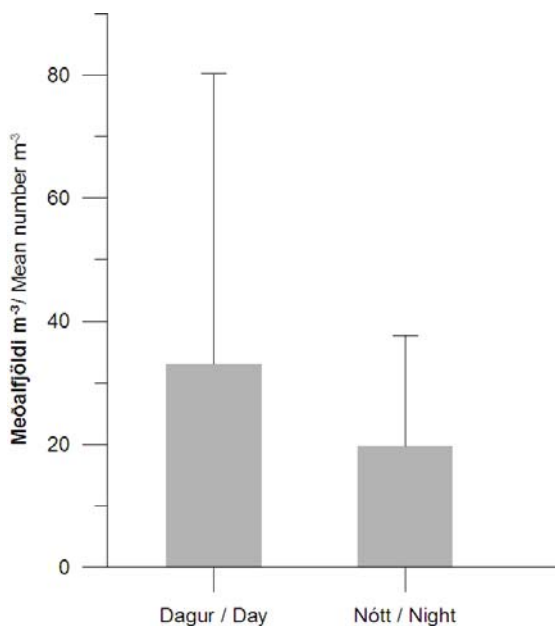
4. mynd. Þéttleiki (fjöldi m^{-3} , 0-50 m) eggja, yngri (<10 mm) og eldri pílorma (>10 mm) á Siglunessniði í maí árin 2008, 2009 og 2010.

Figure 4. Abundance (number m^{-3} , 0-50m) of chaetognath eggs, juveniles (<10 mm) and adults (>10 mm) along the Siglunes transect in May 2008, 2009 and 2010.

Mun meira fannst af yngri pílorum (<10 mm) árið 2010 en árin 2008 og 2009 (Wilcoxon röðunarpróf, $p < 0,05$), en hins vegar var ekki marktækur munur á fjölda eldri dýra (>10 mm) á milli ára (Wilcoxon röðunarpróf, $p > 0,05$). Öfugt við eggin reyndist hvorki vera marktækur

munur á fjölda yngri né eldri dýra eftir stöðvum (fervikagreining, $p > 0,05$) sem kann að endurspegla að straumar hafi minni áhrif á útbreiðslu yngri og eldri dýra en eggja.

Til að athuga hugsanlegan breytileika í hrygningu eftir tíma dags tókum við saman gögn um eggjafjölda eftir tímum sólarhrings. Sýni sem tekin voru á tímabilinu frá kl. 5 að morgni til miðnættis voru skilgreind sem dagsýni, en þau sem tekin voru frá miðnætti til kl. 5 að morgni sem nætursýni. Þegar gögnin voru tekin saman á þennan hátt fyrir árin þrjú kom ekki fram neinn munur í meðalþéttleika eggja milli dags og nætur (t-próf, $p > 0,05$) (5. mynd). Þótt munurinn á milli dags og nætur væri ekki



5. mynd. Meðalþéttleiki pílormaeggja (fjöldi m^{-3} , 0-50 m) að degi og nóttu á Siglunessniði í maí árin 2008, 2009 og 2010. Myndin sýnir meðaltöl frá öllum stöðvum fyrir árin þrjú. Einnig er sýnd staðalskekkja.

Figure 5. Mean chaetognath eggs numbers (numbers m^{-3} , 0-50m) during day and night. The values are means of samples collected at eight stations in May 2008, 2009 and 2010. Error bars represent standard

marktækur viljum við þó geta þess að tölur um eggjapöttleika voru yfirleitt tiltölulega háar rétt fyrir sólarupprás (kl. 04:45-05:25). Þetta væri áhugavert að rannsaka betur með frekari gagnasöfnun og/eða úrvinnslu eldri sýna.

Eins og lýst var í inngangi hafa pílormar mikla vistfræðilega þýðingu og því væri vistfræði þeirra verðugt rannsóknarefni. Á meðal áhugaverðra atriða sem vert væri að skoða eru útbreiðsla og breytingar ár frá ári í magni og tegundasamsetningu í tengslum við sjófræðilegar aðstæður. Einnig hrygningartími og vöxtur mismunandi tegunda og fæðuvistfræði tegundanna, einkum með tilliti til þess hvaða áhrif pílormar geta haft á stofnstærðir annarra svifdýra.

Þakkir

Við viljum þakka dr. Guðrúnu G. Þórarinsdóttur fyrir margar gagnlegar ábendingar.

Heimildir

- Alvarino, A., 1990a. Chaetognatha. Í: K.G. & R.G. Adiyodi (ritstj.), *Reproductive biology of invertebrates, vol. 4, part B, Fertilization, development, and parental care*, Oxford and IBH Publishing, s. 255-282.
- Alvarino, A., 1990b. Chaetognatha. Í: K.G. & R.G. Adiyodi (ritstj.), *Reproductive biology of invertebrates, vol. 5, Sexual differentiation and behavior*, Oxford and IBH Publishing, s. 425-470.
- Alvarino, A., 1968. Egg pouches and other reproductive structures in pelagic chaetognatha. *Pacific Science* 22 (4): 488-492.
- Anonymous, 2010. Þættir úr vistfræði sjávar 2009. *Hafrannsóknir*, 152, 53 s.
- Ástþór Gíslason & Ólafur S. Ástþórsson 1995. Seasonal cycle of zooplankton southwest of Iceland. *Journal of Plankton Research*, 17: 1959-1976.
- Ástþór Gíslason & Ólafur S. Ástþórsson, 1998. Seasonal variations in biomass, abundance and composition of zooplankton in the subarctic waters north of Iceland. *Polar Biology*, 20: 85-94.
- Baier, C.T. & Purcell, J.E., 1997. Trophic interactions of chaetognaths, larval fish, and zooplankton in the South Atlantic Bight. *Marine Ecology Progress Series*, 146: 43-53.
- Baier, C.T. & Terazaki, M., 2005. Interannual variability in a predator-prey interaction: climate, chaetognaths and copepods in the southeastern Bering Sea. *Journal of Plankton Research*, 27: 1113-1125.
- Conway, D.V.P. & Williams, R., 1986. Seasonal population structure, vertical distribution and migration of the chaetognath *Sagitta elegans* in the Celtic Sea. *Marine Biology*, 93 (3): 377-387.
- Fraser, J.H., 1957. Chaetognatha. *Fiches d'identification du zooplancton*. 1 (Rev.1). ICES: Copenhagen, Denmark, 6 s.
- Froneman, P.W., Pakhomov, E.A., Perissinotto, R. & Meaton, V., 1998. Feeding and predation impact of two chaetognath species, *Eukrohnia hamata* and *Sagitta gazellae*, in the vicinity of Marion Island (southern ocean). *Marine Biology*, 131: 95-101.
- Ghirardelli, E., 1968. Í Russel, S.F.S., Yonge, S.M. (ritstj.), Some aspects of the biology of the Chaetognaths. *Advances in Marine Biology*, 6: 271-375.
- Héðinn Valdimarsson & Svend Aage-Malmberg, 1999. Near-surface circulation in Icelandic waters derived from satellite tracked drifters. *Rit Fiskideildar*, 16: 23-39.
- Jakobsen, T., 1971. On the biology of *Sagitta elegans* Verrill and *Sagitta setosa* J. Muller in inner Oslofjord. *Norwegian Journal of Zoology*, 19: 201-225.
- Jespersen, P., 1940. Investigations on the quantity and distribution of zooplankton in Icelandic waters. *Meddeleser fra Kommissionen for Danmarks Fiskeri- og Havundersøgelser, (Serie Plankton)*, 3(5): 1-77.
- Kimmerer, W.J., 1984. Selective predation and its impact on prey of *Sagitta enflata* (Chaetognatha). *Marine Ecology Progress Series*, 15: 55-62.
- Lenz, J., 2000. Introduction. Í: Harris, R., Wiebe, P., Lenz, J., Skjoldal, H. R., Huntley, M (ritstj.), *ICES Zooplankton Methodology Manual*. Academic Press, New York, s. 1-32.
- Motoda S., 1959. Devices of simple plankton apparatus. *Memoirs of the Faculty of Fisheries, Hokkaido University*, 7: 73-94.
- Pearre, S. Jr., 1991. Growth and reproduction. Í: Bone, Q., Kapp, H., Pierrot-Bults, A.C. (ritstj.), *The Biology of Chaetognaths*. Oxford University Press, Oxford, s. 137-146.
- Pierrot-Bults, A.C., Nair V.R., 1991. Distribution patterns in Chaetognatha. Í: Bone Q, Kapp H, Pierrot-Bults AC (ritstj.) *The biology of Chaetognaths*. Oxford press, Oxford, s. 86-116.
- Pierrot-Bults, A.C., 2008. A short note on the biogeographic patterns of the Chaetognatha fauna in the North Atlantic. *Deep Sea Research*, 55: 137-141.

-
- Raymont, J.E.G., 1983. *Plankton and Productivity in the Oceans*, 2nd edition. Volume 2 Zooplankton. Pergamon Press, Oxford, 824 s.
- Russell, F.S., 1932. On the biology of *Sagitta*. The breeding and growth of *Sagitta elegans* Verrill in the Plymouth area, 1930-31. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 18: 131-146.
- Sameoto, D.D., 1973. Annual life cycle and production of the chaetognath *Sagitta elegans*, Bedford Basin, Nova Scotia. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 30: 333-344.
- Sweatt, A.J. & Forward, R.B. Jr., 1985. Diel vertical migration and photoresponses of the chaetognath *Sagitta hispida* Conant. *The Biological Bulletin*, 168: 18-31.
- Tande, K., 1983. Ecological investigations of the zooplankton community of Balsfjorden, Northern Norway: Population structure and breeding biology of the chaetognath *Sagitta elegans* Verrill. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 68: 13-24.
- Terazaki, M., 2004. Life history strategy of the chaetognath *Sagitta elegans* in the World Oceans. *Coastal Marine Science*, 29(1): 1-12
- Thuesen, E.V., 2011. *Sagitta maxima*. World Register of Marine Species (<http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=105457>), 7. mars 2011.
- Tönnesson, K. & Tiselius, P., 2005. Diet of the chaetognaths *Sagitta setosa* and *S. elegans* in relation to prey abundance and vertical distribution. *Marine Ecology Progress Series*, 289: 177-190.
- Welch, H.E., Siferd, T.D. & Bruecker, P., 1996. Population densities, growth, and respiration of the chaetognath *Parasagitta elegans* in the Canadian high Arctic. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 53: 520-527.
- Weslawski, J.M., Kwasniewski, S. & Wiktor, J., 1991. Winter in a Svalbard Fjord Ecosystem. *Arctic*, 44 (2): 115-123.
- WoRMS, 2011. *Sagitta elegans*. World Register of Marine Species (<http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=105450>), 7. mars 2011.
-

FÆÐA MAKRÍLS Í KRINGUM ÍSLAND AÐ SUMARLAGI 2009 OG 2010 / THE DIET COMPOSITION OF ATLANTIC MACKEREL IN ICELANDIC WATERS DURING THE SUMMERS 2009 AND 2010

Guðmundur J. Óskarsson og Sveinn Sveinbjörnsson
Hafrannsóknastofnunin, Reykjavík

Ágrip

Makríls hefur orðið vart í síauknum mæli á Íslandsmiðum, síðan árið 2005. Afli veiðiskipa og magnákvæðanir á makríl í rannsóknarleiðangrum innan lögsögunnar benda til að fæðugöngur makríls á Íslandsmiðum séu verulegar og tegundin því orðinn þýðingarmikill þáttur í vistkerfi hafsins við Ísland. Þetta var hvatinn að því að rannsaka fæðu hans með söfnun magasýna sumrin 2009 og 2010. Ekki var að sjá mikinn mun á fæðu í makríl þessi tvö ár. Krabbaflær, ljósáta og önnur sviflæg krabbadýr voru fyrirferðamestu fæðuhópar makrílsins eða um 70-99% af þyngd fæðunnar. Á stökum svæðum fannst fiskbráð í magasýnum og vógu síli og loðnungviði þar mest. Þegar höfð er í huga dreifing makrílsins á íslenska hafsvæðinu benda niðurstöður til þess að áhrif makríls á aðra nytjastofna í hafinu kringum Ísland sé fyrst og fremst vegna fæðusamkeppni, en síður vegna afráns á viðkomandi stofnum.

Abstract

*The quantity of mackerel in Icelandic waters has increased continuously since 2005 according to catch data and research surveys aimed for the mackerel stock. Quantity estimates imply that mackerel feeding migrations have become a significant factor in the ecosystem around Iceland. This was the motivation for this examination of its diet composition in Icelandic waters in the summers of 2009 and 2010. The diet composition in these two years was comparable. Calanoida, krill and other zooplankton groups were most abundant in the mackerel stomachs, contributing to around 70-99% of the wet weight. Fish preys were observed in the stomachs in a significant amount in few areas, particularly capelin and *Ammodytes sp.* When considering the distribution of the mackerel stock around Iceland, the results of this research imply that the impact of the mackerel stock on other stocks of commercial value in the ecosystem is mainly in the form of competition for prey resources, but to a limited extent as a predatory factor.*

Inngangur

Makríll (*Scomber scombrus*) er ein nýjasta nytjategundin á Íslandsmiðum. Makríll er uppsjávarfiskur og eru taldar vera þrjár stofneiningar í norðaustanverðu Atlantshafi. Stofneiningarnar eru skilgreindar út frá þremur hrygningarsvæðum, í Norðursjó, vestur af Bretlandseyjum og vestur af Iberíuskaganum og í

Biskajaflóanum. Stofneiningin vestur af Bretlandi er talin vera langstærst, eða um 75-80% af heildarstofni. Eitt sameiginlegt stofnmat er gert innan Alþjóðahafrannsóknaráðsins fyrir þessar stofneiningar, meðal annars vegna blöndunar á þeim í afla og örðuleika við að greina á milli þeirra í aflasýnum. Frekari umfjöllun að neðan tekur því ekki tillit til mismunandi stofneininga. Að lokinni hrygningu, sem nær yfir tímabilið frá febrúar til júlí að öllu jöfnu (ICES 2010), fer makríllinn í fæðuleit norður í Noregshaf og til aðliggjandi hafsvæða en leitar svo aftur suður á haustin til vetrardvalar.

Heimildir eru fyrir því að makríll hafi verið í einhverju magni á Íslandsmiðum á fyrri hluta síðustu aldar en síðan þá og fram að árinu 2005 hafa einungis stöku fiskar veiðst. Makríls varð svo vart á íslensku hafsvæði sumarið 2005 og í enn meira magni árið eftir við veiðar á norsk-íslenskri síld austur af landinu. Frá þeim tíma hefur makrílflinn aukist árlega og endurspeglar það bæði aukningu í aflaheimildum, og ekki síður aukningu í makrílgöngum inn á íslensk hafsvæði. Makríls varð þannig vart umhverfis nær allt landið sumarið 2009 og í enn ríkari mæli sumarið eftir samkvæmt leiðangrum Hafrannsóknastofnunarinnar sem höfðu það markmið að ákvarða göngur og magn makríls inn á íslensk hafsvæði. Þessir leiðangrar voru hlutur Íslands í samstarfsverkefni með Færeyjum og Noregi um makríl- og vistfræðirannsóknir á Norðaustanverðu Atlantshafi og í þeim var magn makríls í júlí/ágúst 2010 á íslensku hafsvæði metið með gögnum um afla í hverju togi, stærð veiðarfæris, togtíma og stærð svæðis (svokölluð "swept area" aðferð; Nøttestad o.fl. 2010), og reyndist vera um 1.1 milljón tonna. Þó óvissa sé í þessu mati þá er ljóst að magnið er mikið og makríllinn er því áhrifamikill þáttur í vistkerfi hafsins við Ísland þar sem hann er eingöngu í fæðuöflun þar.

Markmið þessarar rannsóknar, sem hér er kynnt, var því fyrst og fremst að afla gagna um breytileikann í fæðu makríls á Íslandsmiðum og meta þannig afrán hans bæði á svifdýrum og ef til vill öðrum nytjastofnum og samkeppni hans við aðrar tegundir nytjastofna um fæðu.

Söfnun sýna og úrvinnsla

Árið 2009 var makrílnum safnað í tveimur leiðöngrum á tímabilinu 4.-18. ágúst á r.s. Árna Friðrikssyni út af vesturlandi, suðurströndinni og út af austfjörðum og m.b. Hoffelli út af norðausturlandi og norðurlandi í beinu framhaldi af leiðangri Árna. Sýnasöfnun árið 2010 var gerð í leiðangri r.s. Árna Friðrikssonar á tímabilinu 20. júlí – 12. ágúst allt í kringum landið (1. mynd). Bæði árin voru tekin yfirborðstog með flotvörpu með fyrirfram ákveðnu millibili á fyrirfram ákveðnum sniðum. Hver fiskur var lengdarmældur (heildarlengd), veginn, kyn og kynþroski ákvarðaður, kvörnum safnað til aldursákvörðunar og magar frystir til greiningar á fæðuleifum. Fjöldi magasýna á hverri stöð var að öllu jöfnu 10 til 15. Alls var safnað 829 makrílmagasýnum til greiningar árið 2009 og reyndust 815 þeirra innihalda fæðu, en 756 af alls 778 mögum árið 2010.

Magasýnin voru greind af starfsmönnum á Rannsóknarsetrinu í Sandgerði. Leitast var við að greina alla fiska í mögunum til tegundar og aðra fæðu til ættkvíslar eða tegundar. Þegar hvert magasýni hafði verið flokkað, í samræmi við mismunandi hópa í fæðunni, var fjöldi einstaklinga í hverjum hópi skráður og viðkomandi flokkur síðan viktaður (“blautvigti”). Gilti það einnig ef aðeins smá hluti bráðar væri heillegur, t.d. fiskkvörn eða ljósátu auga.

Niðurstöður

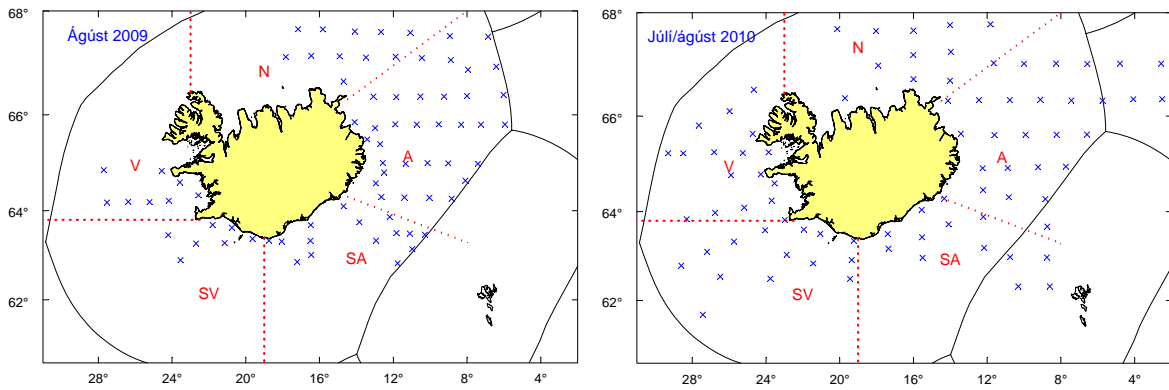
Lengdardreifingar fiska, sem teknir voru til fæðugreiningar, voru svipaðar bæði árin á fimm skilgreindum svæðum umhverfis Ísland (1. mynd). Fiskurinn fyrir suðaustan og austan landið var þó lítið eitt minni en annarsstaðar (2. mynd, a,d). Þá var makríllinn frá 2009 með hærri holdafarsstuðul en makríllinn frá 2010 (2. mynd, b,e) og jafnframt með meiri magafylli (2. mynd, c,f).

Stór hluti fæðunnar var flokkaður sem ógreinanlegur árið 2009 eða um 40-85% af heildarþyngd hennar, talsvert mismunandi eftir svæðum (3. mynd, a). Stærstur hluti ógreinanlegu fæðunnar var sviflæg krabbadýr. Við greiningu á magasýnum sem safnað var 2010 var leitast við að flokka þessa illgreinanlegu “súpu” frekar niður í ættkvíslir og/eða hópa. Fyrir vikið er þetta sá munur sem er mest áberandi í fæðu makríls eftir svæðum þegar niðurstöður frá árunum 2009 og 2010 eru bornar saman (3. mynd). Krabbaflær (*Calanoida*) voru

yfirleitt fyrirferðamesti fæðuhópurinn í þyngd og af þeim sem greindar voru til tegunda var aðallega um að ræða rauðátu (*Calanus finmarchicus*), en póláta (*Calanus hyperboreus*) var einnig greind fyrir norðan land. Aðrir fyrirferðamiklir fæðuhópar voru ljósáta (*Euphausiacea*), sviflægar marflær (*Hyperiidae*) og á stöku svæðum fisktegundir. Þannig var síli (*Ammodytidae*) í töluverðu magni í fæðunni á Faxaflóasvæðinu 2009 en loðnuseiði (*Mallotus villosus*) fyrir norðan land árið 2010. Aðrir fiskar sem greindir voru í magasýnunum í einhverju mæli voru norræna gulldepla (*Maurolicus muelleri*) og laxsildar (*Myctophyidae*). Lindýrin (*Mollusca*) í fæðunni voru vængjasniglar (*Pteropoda*) og ungvíði kuðunga (*Gastropoda*) og samloka (*Bivalvia*). Egg hryggleysingja, og að einhverju leyti fiska, vógu lítið í fæðunni en fjöldi þeirra var samt talsverður og ógreind egg fundust í um 10-20% maga á öllum svæðum bæði árin. Ekki var greinanlegur mikill munur á fæðunni eftir lengd fiskanna (4. mynd) og niðurstöður að þessu leyti svipaðar bæði árin. Einhver tilhneiging var þó til að stærri makríll æti meira fiskmeti árið 2010, en svo var ekki 2009.

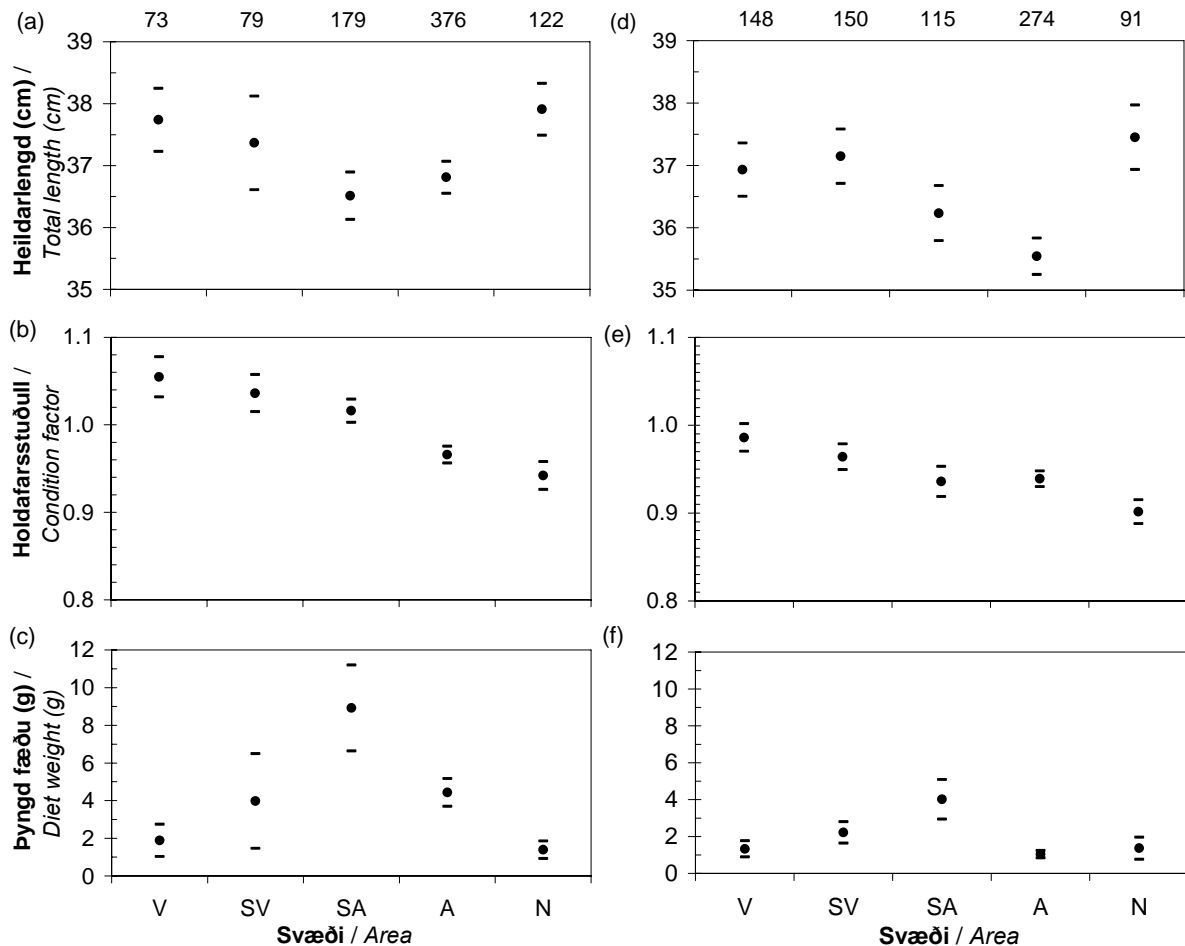
Umræða

Helstu niðurstöður þessarar fæðukönnunar á makríl á íslenskum hafsvæðum voru að krabbaflær, ljósáta og önnur sviflæg krabbadýr eru um 70-99% af þyngd fæðunnar. Fiskát getur verið umtalsvert á ákveðnum svæðum, t.d. á síli og loðnu. Fæðusamsetningin við Ísland þessi tvö sumur, 2009 og 2010, svipar til fæðu makríls í Noregshafi 2001-2002, þar sem rauðáta var 52-98% af þyngd fæðunnar og aðrar smáar tegundir krabbaflóa og ljósáta voru einnig algengar (Prokopchuk & Sentyabov 2006). Rannsóknir á fæðu fullorðins makríls í Biskayaflóa sýndu mun eftir árstíma þar sem 90% fæðunnar að vori var ljósáta svo og nokkurt sjálfrán á eigin eggjum, en að hausti var kolmuni fyrirferðamestur í fæðunni (Olaso o.fl. 2005). Þessi fjölbreytni í fæðuvali makríls skýrist að einhverju leyti af mismunandi atferli sem makríll viðhefur við fæðuöflun, þ.e.a.s. fiskurinn ýmist sjar sjóinn meðan hann syndir eða eltir upp bráð sína (Pepin o.fl. 1988). Breytileiki í fæðuvali frá einu hafsvæði til annars skýrist þó líkast fyrst og fremst af fæðuframboðinu á hverjum stað, því makríll er talinn vera mikill tækifærissinni í fæðuvali og hafa



1. mynd. Staðsetning magasýna makríls í ágúst 2009 (a) og júlí/ágúst 2010 (b) og afmörkun íslenska hafsvæðisins í fimm svæði fyrir úrvinnslu gagnanna.

Figure 1. Location of the mackerel stomachs' sampling in August 2009 (a) and July/August 2010 (b) and the separation of the Icelandic waters into five subareas for analuse of the data.



2. mynd. Yfirlit yfir makríl sem safnað var til fæðugreininga sumrin 2009 (a-c) og 2010 (d-f) á fimm svæðum kringum Ísland (sbr. 1. mynd) varðandi (a,d) meðallengd ($\pm 2 \times$ staðalskekkjur), (b, e) holdafarsstuðull (= $100 \times$ þyngd/lengd³) og (c, f) þyngd magainnihalds (magafylli). Fjöldi fiska er gefinn að ofan.

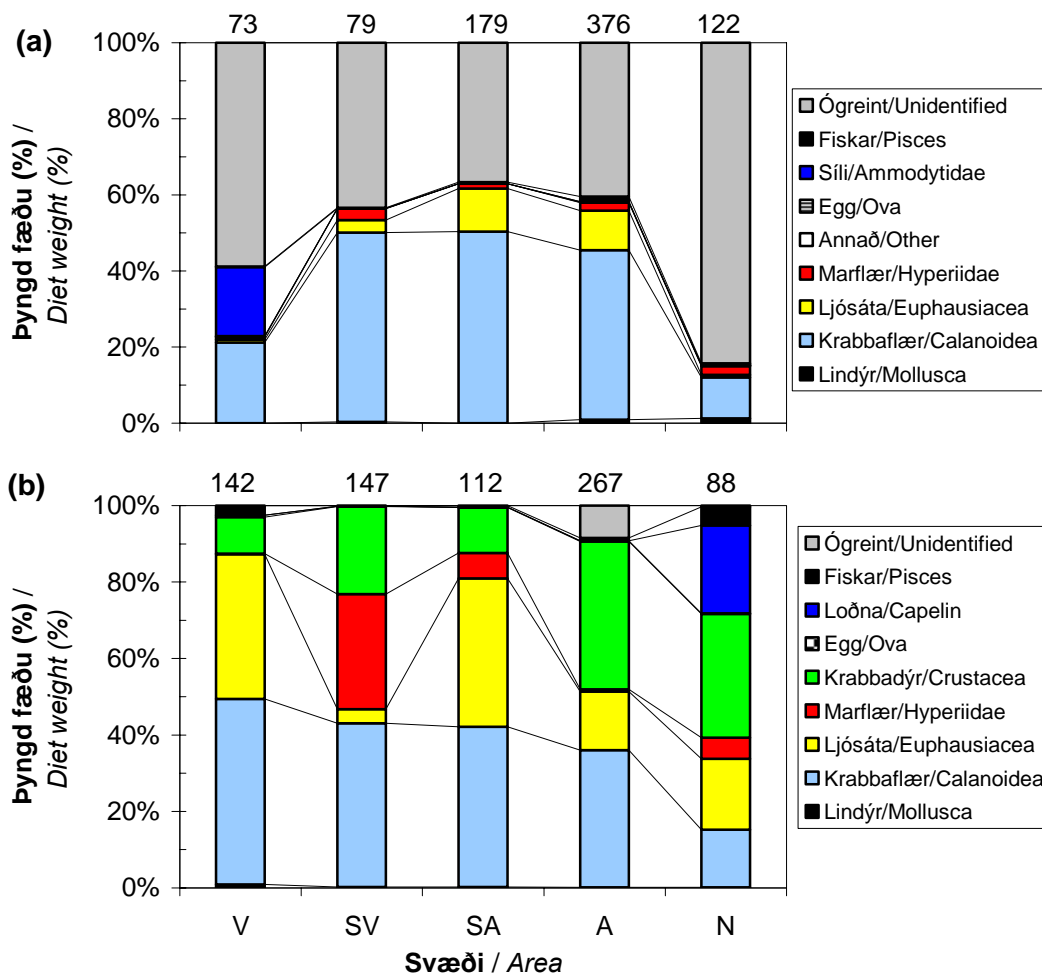
Figure 2. The mean (± 2 SE of the means) of mackerel taken for stomach analyses in August 2009 (a-c) and in July/August 2010 (d-f) in five different areas around Iceland (see Fig. 1) with regards to (a and d) total fish length, (b and e) body condition factor (= $100 \times$ weight/length³), and (c and f) weight of stomach content. The number of fish is provided on the top.

rannsóknir sýnt sterk tengsl milli samsetningar fæðunnar í magasýnum og samsetningar dýrasvífs á viðkomandi stað (Olaso o.fl. 2005).

Fæðu makríls við Ísland þessi tvö sumur svipar mjög til fæðu síldar í Noregshafi (Ástþór Gíslason & Ólafur Ástþórsson 2002; Prokopchuk & Sentyabov 2006) og í kringum Ísland (óbirt gögn Hafrannsóknastofnunarinnar frá sama leidangri 2010). Fæða síldarinnar samanstendur, samkvæmt þeim niðurstöðum sem fyrir liggja, aðallega af krabbaflóm (rauðátu), ljósátu og marflóm. Líkt og á við um makrílinn þá á síldin á þessum slóðum einnig til að éta fiskbráð svo sem síldar- og karfaungviði út af ströndum Noregs (Prokopchuk & Sentyabov 2006) og loðnuseiði norðaustur af Íslandi (óbirt gögn Hafrannsóknastofnunarinnar frá 2010). Makríll og síld, bæði íslensk sumargots-

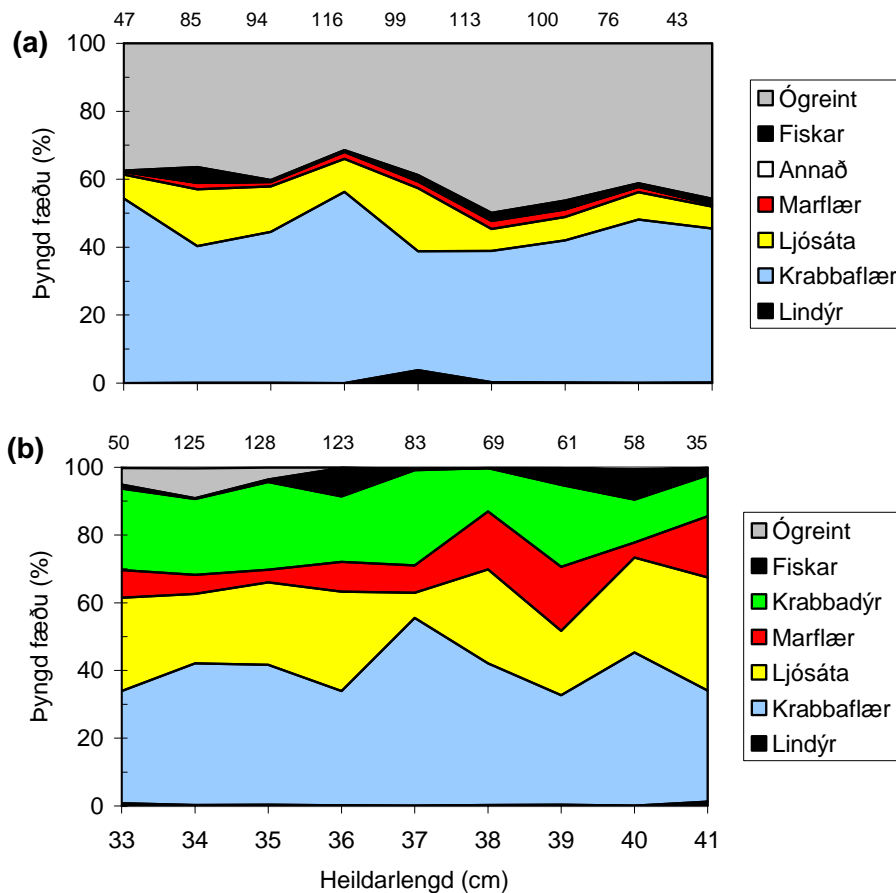
og norsk-íslensk vorgotssíld, eru því í beinni samkeppni um fæðu á Íslandsmiðum og á aðliggjandi hafsvæðum. Fjölmargar aðrar fisktegundir nýta sér sama vistkerfi og fæðuhópa, svo sem aðrir uppsjávarfiskstofnar, miðsjávarfiskstofnar og ungvíði hinna ýmsu botnfiska (Ólafur K. Pálsson 1980).

Eru þá áhrif makríls á aðra nytjastofna í vistkerfinu við Ísland eingöngu vegna samkeppni um fæðu? Árið 2009 var sili umtalsverður hluti af fæðunni á vestursvæðinu (3. mynd, a) og eins var loðna áberandi árið 2010 á norðursvæðinu (3. mynd, b), sem er vísbending um að hugsanlega gæti makríll haft áhrif á afkomu þessara tveggja stofna. Hins vegar, þegar horft er til þess að magn makríls var lágt á umræddum tveimur svæðum, þ.e. á vestursvæðinu 2009 og svæðinu fyrir norðan land 2010, þá má túlka



3. mynd. Hlutdeild helstu fæðuhópa í þyngd (%) í mögum makríls á fimm hafsvæðum í kringum Ísland (1. mynd) sumrin (a) 2009 og (b) 2010. Fjöldi fiska með fæðu er sýndur ofan við súlurnar.

Figure 4. The main prey items of mackerel by weight (%) in (a) August 2009 and (b) July/August 2010 for five different areas around Iceland (see Fig. 1). The number of fish is given above the columns



4. mynd. Hlutdeild helstu fæðuhópa í þyngd (%) í mögum makríls eftir fisklengd í kringum Ísland sumrin (a) 2009 og (b) 2010. Fjöldi fiska er gefinn að ofan.

Figure 4. The main prey items of mackerel by weight (%) in (a) August 2009 and (b) July/August 2010 for the different length groups in Icelandic waters. The number of fish is provided on the top.

niðurstöður fæðurannsóknarinnar þannig að mikilvægi fiskbráðar fyrir makrílstofninn og áhrifin á viðkomandi fiskistofna hafi verið lítil. Niðurstöður þessarar rannsóknar benda því til þess að áhrif makríls á aðra nytjastofna í hafinu kringum Ísland séu fyrst og fremst afleiðing af fæðusamkeppni en síður vegna afráns á þeim fisktegundum sem fyrir eru. Rétt er þó að benda á að þessar rannsóknir eru á frumstigi.

Rannsóknir hafa sýnt að tíminn sem það tekur makríl að melta og tæma magann af fæðuleifum krabbadýra er allt að 60% styttri en það tekur að melta fiskmeti eins og t.d. síli (Temming o.fl. 2002). Þegar tekið er tillit til þessa þá er ljóst að niðurstöður okkar um afrán makríls á fiski á íslensku hafsvæði er frekar ofmat en vanmat.

Makrill sem fékkst til rannsókna á fæðunámi sumarið 2009 var almennt í betri líkamlegum holdum og með meiri fæðu í maga en tilfellið var sumarið 2010. Tímasetningin á sýnasöfnuninni var um 10 dögum fyrr árið 2010 og það gæti hugsanlega skýrt einhvern mun á holdafarsstuðli, því makrill fitnar og þyngist hratt yfir sumarmánuðina. Þó eru til óbirt gögn á

Hafrannsóknastofnuninni sem sýna að fituinnihald makríls í afla fiskiskipa var lægra sumarið 2010 en 2009 og er nærtækasta skýringin því fremur fæðuskortur. Þessa tilgátu þyrfti þó að skoða betur með nánari rannsóknum og samanburði við aðrar tegundir.

Frekari rannsóknir á fæðu makríls við strendur Íslands eru fyrirhugaðar í ágúst 2011, í leiðangri umhverfis landið. Þá verður einnig safnað magasýnum úr öðrum uppsjávarfiskum til samanburðar, þ.e.a.s. kolmunna og síld, bæði af íslenska sumargotsstofninum og norsk-íslenska vortgotsstofninum. Einnig verður safnað átusýnum með háfum til að rannsaka breytileikann í fæðuframboði og fylgni við niðurstöður um fæðuval fiskistofnana á sama tíma. Ennfremur verður viðfangsefni þessara rannsókna að meta vægi og magn mismunandi hópa í fæðu makrílsins þessi þrjú sumur, í ljósi þess magns makríls sem álitíð er að hafi verið á rannsóknasvæðinu hverju sinni og metið hversu mikilli þyngd hann bætir á sig á Íslandsmiðum meðan á fæðugöngunum stendur yfir sumarmánuðina.

Þakkir

Við viljum þakka rannsóknarfólki á Haf-rannsóknastofnuninni og áhöfnum á r.s. Árna Friðrikssyni og á m.s. Hoffelli, sem tóku þátt í að safna magasýnunum. Sömuleiðis viljum við þakka starfsmönnum Rannsóknarsetursins í Sandgerði fyrir að greina öll magasýnin úr makrilleiðöngrunum. Þá er Ólafí K. Pálssyni þakkaður yfirlestur á greininni.

Heimildir

- Ástþór Gíslason & Ólafur Átþórsson, 2002. The food of Norwegian spring-spawning herring in the western Norwegian Sea in relation to the annual cycle of zooplankton. *Sarsia*, 87: 236-247.
- ICES, 2010. Report of the Working Group on Mackerel and Horse Mackerel Egg Surveys (WGMEGS), By Correspondence, Venue. ICES CM 2010/SSGESST:02. 59 bls.
- Olaso, I., J.L. Gutiérrez, B. Villamor, P. Carrera, L. Valdés & P. Abaunza, 2005. Seasonal changes in the north-eastern Atlantic mackerel diet (*Scomber scombrus*) in the north of Spain (ICES Division VIIIc). *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 85, 415-418.
- Ólafur K. Pálsson, 1980. On the biology of juvenile gadoids (age groups 0, I and II) in Icelandic waters. *Ber. dt. wiss. Kommn. Meeresforsch.*, 28:101-145.
- Temming, A., B. Bøhle, D.W. Skagen & F.R. Knudsen, 2002. Gastric evacuation in mackerel: the effects of meal size, prey type and temperature. *Journal of Fish Biology*, 61: 50–70.
- Pepin, P., J.A. Koslow & S. Pearre, Jr., 1988. Laboratory study of foraging by Atlantic mackerel, *Scomber scombrus*, on natural zooplankton assemblages. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 45: 879-887.
- Prokopchuk, I. & E. Sentyabov, 2006. Diets of herring, mackerel, and blue whiting in the Norwegian Sea in relation to *Calanus finmarchicus* distribution and temperature condition. *ICES Journal of Marine Science*, 63: 117-127.

FJÖLÞJÓÐLEGUR MAKRÍLEGGJALEIÐANGUR ÁRIÐ 2010 / THE INTERNATIONAL MACKEREL EGG SURVEY IN 2010

Björn Gunnarsson og Konráð Þórisson
Hafrannsóknastofnunin, Reykjavík

Ágrip

Árið 2010 tóku Íslendingar í fyrsta sinn þátt í að meta stærð hrygningarstofns makrils í NA-Atlantshafi. Stofnstærðin er metin þriðja hvert ár og að því koma níu þjóðir undir stjórn Alþjóðahafrannsóknaráðsins (ICES). Á tímabilinu 9.-22. júní voru tekin svífsýni á r.s. Árna Friðrikssyni á 111 stöðvum á svæði sem náði allt frá Suðausturdjúpi og langt austur fyrir Færeyjar. Útbreiðsla makrileggja náði mun lengra til vesturs en búist var við og staðfestir það að makrill er farinn að hrygna innan íslensku lögsögunnar.

Abstract

Iceland took part in the international northeast Atlantic mackerel egg survey for the first time in 2010. Nine nations participate in the tri-annual survey, coordinated by the International Council for the Exploration of the Sea (ICES), to estimate the size of the spawning stock of mackerel. RV Árni Friðriksson sampled 111 stations in the area around the Faroe Islands, during June 9-22. The distribution of mackerel eggs extended farther west than anticipated and the spawning of mackerel inside the Icelandic EEZ was confirmed for the first time.

Inngangur

Makrill (*Scomber scombrus*) er útbreiddur beggja vegna Norður-Atlantshafs. Að austanverðu nær útbreiðslusvæðið frá ströndum Marokkó til Norður-Noregs og einnig inn í Svartahaf, Miðjarðarhaf og Eystrasalt. Að vestanverðu nær útbreiðslan frá miðri strandlengju Bandaríkjanna norður til Labrador (Gunnar Jónsson & Jónbjörn Pálsson 2006). Á undanförunum árum hefur makrill gengið bæði norðar og vestar en áður Evrópumegin í N-Atlantshafi. Samfara því hefur útbreiðsla og magn makrils á Íslandsmiðum aukist verulega. Það er talið tengjast hlýnun sjávar á sama tíma og líklegt má telja að makrill sækir áfram hingað norðureftir meðan núverandi hlýviðrisskeið varir (Ólafur S. Ástþórsson & félagar 2009). Verðmæti makrilafla Íslendinga hefur aukist jafnt og þétt og eru tekjurnar af þessum veiðum nú orðnar mikilvægur hluti af heildarverðmæti sjávarflans.

Makrillinn í Norðaustur-Atlantshafi hrygnir á þremur svæðum og stendur hrygningin yfir frá janúar og fram í júlí, en Alþjóðahafrann-

sóknaráðið veitir veiðiráðgjöf miðað við að um einn stofn sé að ræða (ICES 2009). Stofninn er þó álitinn vera samsettur af þremur hrygningareiningum, suður-, vestur-, og Norðursjávareiningu. Suðureiningin hrygnir skammt undan ströndum Spánar og Portúgals en vestureiningin allt frá Biskajaflóa og norður á bóginn vestur af Bretlandi og Írlandi og allt norður fyrir Færeyjar. Þriðja stofneiningin hrygnir um miðbik Norðursjávar og norður í Skagerak (ICES, 2009). Vesturstofneiningin er langstærsti hluti heildarstofnsins eða um 95% (ICES, 2010) og verður hér eftir kallaður „vesturstofn“. Alþjóðahafrannsóknaráðið, sem metur stærð makrilstofnsins, byggir á fjölda fiska í afla eftir árgöngum og mati á stærð hrygningarstofnsins. Þar sem makrill er ekki með sundmaga, en endurvarp frá fiski stafar aðallega frá honum, þá hefur ekki verið unnt að beita bergmálmælingum við mælingar á stærð stofnsins. Þess í stað hafa um árabíl verið stundaðar víðtækar rannsóknir á vegum Alþjóðahafrannsóknaráðsins á hrygningarslóðum makrils þar sem metin er eggjaframleiðsla¹ stofnsins. Síðan er stofnstærð makrils bakreiknuð út frá framleiðslugetu einstakra hrygna og þekktu kynjahlutfalli. Þetta eru einu rannsóknirnar, óháðar veiðum, sem notaðar eru við stofnmat á makríl. Í júní á síðasta ári tók Hafrannsóknastofnunin í fyrsta skipti þátt í eggjatalningarverkefninu og var rannsóknaskipið Árni Friðriksson nýtt til verksins.

Rannsóknirnar miða að því að áætla magn nýhryndra eggja í sjó á hrygningarslóð. Eggjum var safnað með háfum á öllu útbreiðslusvæðinu svo hægt væri að meta heildarfjölda hryndra eggja. Hrygningarfiskur var veiddur í flotvörpu og hann kyngreindur til að meta kynjahlutföll. Auk þess voru tekin sýni úr hrognasekkjum til að meta framleiðslugetu einstakra hrygna. Afföll makrileggjanna eru mjög mikil, þannig að einungis er miðað við nýhrynd egg, en þroskastig eggjanna má aðgreina við talsverða stækkun (1. mynd). Egginn klekjast út á u.þ.b. viku, þannig að fara þarf yfir sömu svæðin mörgum sinnum til að missa ekki af hámarkinu í hrygningunni.



1. mynd. Makrílegg á ýmsum þroskastigum í háfsýni (Ljós. Björn Gunnarsson).

Figure 1. Mackerel eggs at various developmental stages in a sample (Photo: Björn Gunnarsson).

Þar sem útbreiðslusvæði makríls er gríðarstórt og hrygningin stendur yfir í um fimm mánuði þarf mörg rannsóknaskip í langan tíma til að sinna þessu verkefni á viðunnandi hátt og því er það ekki á færi einnar þjóðar. Eggjatalningar þessar eru reyndar það dýrar að þótt kostnaðurinn skiptist nú á níu þjóðir, þá eru þær aðeins framkvæmdar þriðja hvert ár. Hin árin er fyrst og fremst stuðst við sýnatöku úr afla, en hrygningarstofninn frá seinustu eggjarannsókn framreiknaður til viðmiðunar.

Fyrsta eggjarannsóknin var gerð árið 1977. Þá tóku einungis tvær þjóðir þátt og ekki tókst að rannsaka allt útbreiðslusvæði stofnsins. Síðan hafa fleiri þjóðir bæst í hópinn og árið 2010 tóku Íslendingar og Færeyingar þátt í fyrsta skipti á nyrsta hluta útbreiðslusvæðisins. Í heild stóðu rannsóknirnar yfir frá því í janúar og fram í júlí en tilgangurinn var að áætla lífmassa bæði makríl- og brynstirtlustofna (*Trachurus trachurus*) í austanverðu Norður-Atlantshafi. Brynstyrtla fannst ekki á rannsóknasvæðinu sem Árni Friðriksson fór um og því er ekki minnst á hana frekar í þessum pistli.

Makríleggjarannsóknin 2010

Hrygningin í vesturstofninum hefst í Biskajaflóa í lok desember og heldur síðan áfram norður með Evrópu síðla vetrar og með vorinu með hækkandi hitastigi. Hrygningin nær venjulega hámarki í apríl-maí úti fyrir vesturströnd Írlands og suðvesturströnd Englands. Á sama tíma er

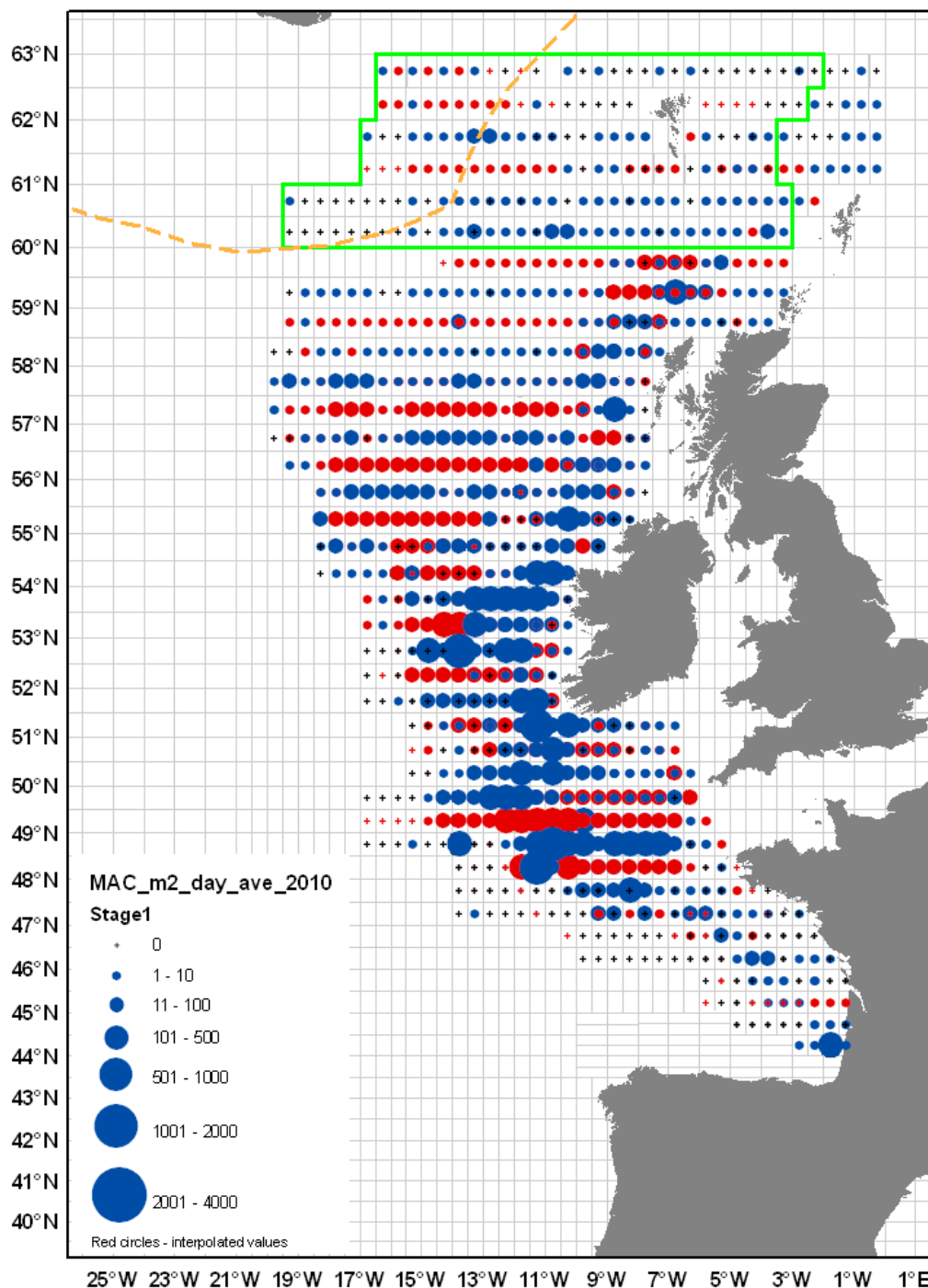
töluverð en dreifðari hrygning suður í Biskajaflóa og á stóru svæði allt norður fyrir Færeyjar (2. mynd). Á nyrstu svæðunum varir hrygningin fram undir lok júlí.

Til þess að hægt sé að áætla fjölda eggja og frjósemi er þörf á mjög umfangsmikilli vöktun á hrygningarslóðinni, bæði í tíma og rúmi. Eins og áður segir, er eggjunum safnað með háfum, sem dregnir eru á eftir rannsóknaskipunum. Á hverju svæði er eggjamagnið metið nokkrum sinnum yfir hrygningartímabilið og samtölur allra svæða fyrir hvert tímabil fyrir sig mynda síðan feril hrygningar það árið (3. mynd). Heildarfjöldi hryndra eggja er síðan flöturinn undir þessum ferli eggjamagns yfir allan hrygningartímann.

Lífmassi hrygningarstofnsins er bakreiknaður út frá heildarfjölda hryndra eggja, en til þess verður einnig að áætla frjósemi hrygna á hverju svæði fyrir sig. Þetta er gert þannig að hrognasekkjum úr makrílhrygnum er safnað fyrir, eftir og á meðan á hrygningu stendur. Vefjafræðilegum aðferðum er síðan beitt til þess að meta hversu stórum hluta eggja í hrognasekknum verður hrygnt það árið. Eggjafjöldi í sjó, áætluð frjósemi og kynjahlutaföll eru síðan notuð til þess að reikna út lífmassa hrygningarstofnsins.

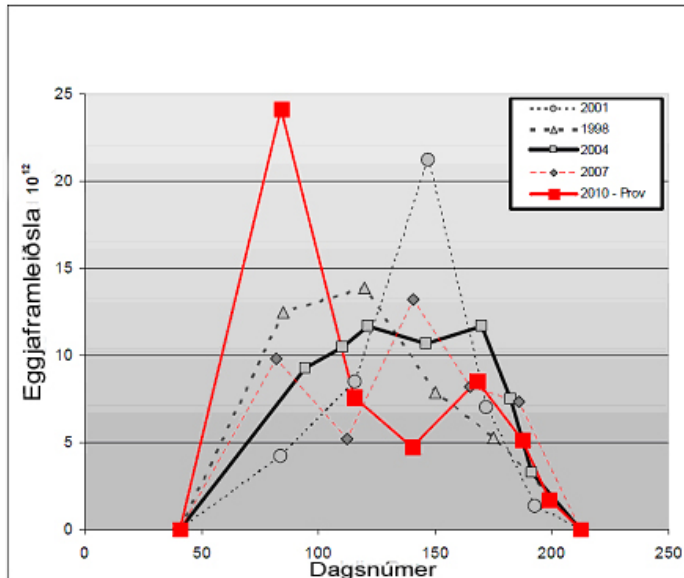
Þar sem hrygning makrílsins spannar langan tíma og nær yfir víðfeðmt svæði byggja þessar frjósemis- og eggjarannsóknir á því að rannsóknaskip margra þjóða komi að verkefninu. Árið 2010 voru farnir 16 “undir”-leiðangrar sem sköruðust mismikið í tíma og stóðu samanlagt í 334 daga með þátttöku Spánverja (92 dagar), Skota (58 dagar), Íra (44 dagar), Hollendinga (36 dagar), Þjóðverja (36 dagar), Portúgala (35 dagar), Norðmanna (25 dagar) og í fyrsta skipti Færeyinga (15 dagar) og Íslendinga (14 dagar).

Eggjaframleiðslan var metin á sex fyrirfram skilgreindum hrygningarskeiðum frá janúar fram í júlí á allri hrygningarslóð makrílsins. Hafsvæðinu var skipt upp í reiti, sem voru 0,5 breiddarbaugur x 0,5 lengdarbaugur (u.þ.b. 15 sjómílar á okkar svæði) og háfsýni tekin á hverju lárétu reitasniði (30 sjómílar milli sniða) eða í öðru hverju reitasniði (60 mílar á milli), allt eftir því sem tími og aðstæður leyfðu (2. mynd). Í þeim tilvikum þar sem annað hvert snið var tekið var reiknað gildi í auða reiti. Þátttaka Íslendinga og Færeyinga gerði það að verkum að hægt var að stækka rannsóknasvæðið



2. mynd. Meðalframleiðsla makríleggja í vesturstofni í fjölþjóðlegum eggjasöfnunarleiðangri 2010 (bráðabirgðaniðurstöður). Bláir hringir sýna raungildi, rauðir hringir reiknuð gildi, svartir krossar sýna mæld 0-gildi og rauðir krossar sýna áætluð 0-gildi. Athafnasvæði rs. Árna Friðrikssonar er afmarkað með grænum lit. Gul brotin lína sýnir mörk íslensku efnahagslögsögunnar (breytt mynd frá ICES, 2010).

Figure 2. The average mackerel egg production in the western area of the 2010 survey integrated over all periods (preliminary results). Filled blue circles represent observed values, filled red circles interpolated values, black crosses observed zeroes, red crosses interpolated zeroes. The Icelandic survey area is outlined with a green line. Yellow dotted line represents the Icelandic economic zone (modified from ICES, 2010).



3. mynd. Árleg eggjaframleiðsla makríls í vesturstofni (bráðabirgðaniðurstöður fyrir 2010). Ferlarnir fyrir árin 1998, 2001, 2004 og 2007 eru sýndir hér til samanburðar (ICES, 2010).

Figure 3. Provisional annual egg production curve for mackerel of the western spawning component in 2010. The curves for 1998, 2001, 2004 and 2007 are included for comparison (ICES, 2010).

töluvert til vesturs og norðurs samanborið við sambærilega rannsókn árið 2007. Í þessari fjölþjóðlegu rannsókn voru alls tekin 2271 háfsýni og 1273 hrognasekkjasýni.

Þáttur Íslendinga

Um borð í r.s. Árna Friðrikssyni var makríleggjum safnað með svokölluðum „Bongo-60“ háfi á tímabilinu 9.-22. júní. Háfnum, sem er hringlaga, 60 cm í þvermál með 2,5 m löngu neti, með 280 μm (0,28 mm) möskvastærð, var slakað frá yfirborði og niður á 200 metra dýpi á meðan skipið sigldi á hægri ferð (~2,1 hnútur). Í opi háfsins var flæðismælir þannig að hægt var að meta magn síaðs sjávar sem fór um háfinn og staðla sýnin miðað við það. Alls voru teknar 111 háfstöðvar í leiðangri Hafrannsóknastofnunarinnar á svæðinu á milli 60° 15'N, 19°15'V og 62°45'N, 2°15'V (2. mynd). Sýnin voru unnin um borð þannig að öll fiskegg voru tínd úr sýnunum og þau ljósmynduð með stafrænni myndavél. Þá voru þau greind til tegunda en makríleggin voru stærðarmæld og greind til sex mismundandi þroskastiga. Þegar komið var í land voru sýnin skoðuð aftur og tegundagreining og greining þroskastiga yfirfarin. Á hverri stöð var siritandi hita- og seltumælir (sonda) látin síga niður á 200 m dýpi. Þá voru tekin sýni af hrygningarfiski með flotvörpu og makrílaflí lengdarmældur, kyngreindur og hrognasekkir teknir til mælingar á frjósemi.

Niðurstöður

Útbreiðsla makríleggja náði mun lengra til vesturs en upphaflega var gert ráð fyrir og var upphaflega áætlað rannsóknasvæði því aukið mikið til vesturs. Ef til vill náði útbreiðslan einnig eitthvað norðar en áætlað var (einkum vestast), en vegna takmarkaðs tíma var ekki hægt að víkka út rannsóknasvæðið í þá átt. Ljóst er af niðurstöðunum að hrygning makríls hafði átt sér stað í nokkrum mæli á íslensku hafsvæði og er þetta, okkur vitanlega, í fyrsta skipti sem það er staðfest. Þetta er í samræmi við mjög aukna útbreiðslu makríls inn á íslenska hafsvæðið (Ólafur Ástþórsson & félagar 2009). Einnig má nefna að makrílseiða hefur ekki orðið vart hér við land fyrir en á allra seinustu árum (fyrst 2005). Haustið 2010 fundust hins vegar makrílseiði víða við suðurströndina (Hafrannsóknastofnunin, óbirt gögn).

Niðurstöður úr leiðangri Hafrannsóknastofnunarinnar verða metnar frekar af makríl- og brynstirtluvinnuhópi Alþjóða hafrannsóknaráðsins (WGMEGS – Working Group on Mackerel and Horse Mackerel Egg Survey) og um þær fjallað í samhengi við niðurstöður annarra leiðangra.

Samkvæmt bráðabirgðaniðurstöðum úr öllum rannsóknaleiðöngnum ársins 2010 er áætlað að heildar eggjaframleiðsla hjá vesturstofninum hafi verið $1,54 \times 10^{15}$ egg. Þetta er 21% aukning samanborið við árið 2007 en þá var framleiðslan áætluð $1,21 \times 10^{15}$ egg. Þá kom jafnframt fram augljós munur í tímasetningu hrygningarinnar árið 2010 samanborið við rannsóknir undan-

farinna ára, en árið 2010 var áætlað að 66% allrar eggjaframleiðslunnar hafi átt sér stað frá 10. febrúar til 26. apríl. Þetta er mun fyrr en í undangengnum rannsóknum þar sem kúfur framleiðslunnar hefur vanalega verið í maí eða júní (3. mynd).

Þakkir

Ólafur S. Ástþórsson og Ástþór Gíslason lásu yfir handrit að greininni og færum við þeim þakkir fyrir góðar ábendingar.

¹ Það kann að hljóma skringilega að tala um egg í þessu sambandi, en meðal þeirra sem vinna við hrygningarrannsóknir hefur tíðkast að kalla hrognin sínu rétta nafni, meðan þau eru enn í hrognaseknum, en egg, þegar þau rekur um í sjónum eftir hrygningu.

Heimildir

Gunnar Jónsson & Jónbjörn Pálsson, 2006. *Íslenskir fiskar*. Vaka-Helgafell, Reykjavík, 334, bls.

ICES, 2009. *Report of the Working Group on Widely Distributed Stocks (WGWISE)*, 2-8 September 2009, ICES CM 2009/ACOM 12. Copenhagen, Denmark, 563 bls.

ICES, 2010. *2010 International Mackerel and Horse Mackerel Egg survey – Preliminary results*. Working Document / Survey Report. Jens Ulleweit, Finlay Burns, Cidy van Damme, Merete Fonn, Matthias Kloppmann, Steve Milligan, Anders Thorsen. Copenhagen, Denmark, 33 bls.

Ólafur S. Ástþórsson, Þorsteinn Sigurðsson & Sveinn Sveinbjörnsson, 2010. Makrill á Íslandsmiðum. Í, Þættir úr vistfræði sjávar 2009, *Hafrannsóknir*, 152: 25-32.

ERFÐAFRÆÐILEGAR BREYTINGAR Á PAN I GENI Í ÞORSKI Á SEINNI HLUTA SÍÐUSTU ALDAR / HISTORICAL CHANGES IN GENOTYPIC FREQUENCIES AT THE PANTOPHYSIN LOCUS IN ATLANTIC COD (GADUS MORHUA) IN ICELANDIC WATERS

Klara Björg Jakobsdóttir
Hafrannsóknastofnunin, Reykjavík

Ágrip

Kvörnum úr fiskum er safnað til aldursgreininga framfarir í aðferðarfræði hafa leitt til þess að sækja má ýmsar aðrar mikilvægar upplýsingar í gamlar kvarnir, m.a. erfðaupplýsingar. Í þessari rannsókn var DNA einangrað af yfirborði kvarna úr allt að 60 ára gömlum sýnum og notað til að kanna langtíma breytingar á arfgerðatíðni Pan I gensins (tíðni $Pan I^{AA}$, $Pan I^{AB}$ og $Pan I^{BB}$) í hrygnandi þorski við Ísland. Talið er að valþrýstingur geti haft áhrif á tíðni arfgerða Pan I gensins, en til samanburðar voru notuð hlutlaus erfðamörk (microsatellites). Helstu niðurstöður eru þær, að jafnframt því sem að meðalaldur fiska lækkaði á tímabilinu mátti finna sterkt samband á milli aldurs og arfgerðar annars vegar en tíma og arfgerðar hins vegar. Þannig minnkaði hlutdeild eldri þorsks sem jafnframt var líklegri til að vera af $Pan I^{BB}$ arfgerð yfir rannsóknartímabilið. Einnig bentu niðurstöður til þess að þorskur af arfgerðinni $Pan I^{AA}$ yxi hraðar og yrði fyrr kynþroska en hinar tvær arfgerðirnar, $Pan I^{AB}$ og $Pan I^{BB}$. Niðurstöðurnar má líklega útskýra með því að þorskstofninn samanstandi af mismunandi atferlishópum sem þó hrygna á svipuðum árstíma og á svipuðum svæðum. Aukin og breytt sókn yfir það 60 ára tímabil sem rannsóknin spannar gæti hafa valdið því að gengið var meira á einn hópinn en annan með þeim afleiðingum að hlutfall hans minnkaði í stofninum. Rannsóknin sýnir mikilvægi langtímarannsóknna til að greina erfðafræðilegar breytingar og nauðsyn þess að hefja kerfisbundna söfnun erfðafræðisýna þannig að fylgja megi eftir mögulegum breytingum í þróun mikilvægra nytjastofna um ókomin ár.

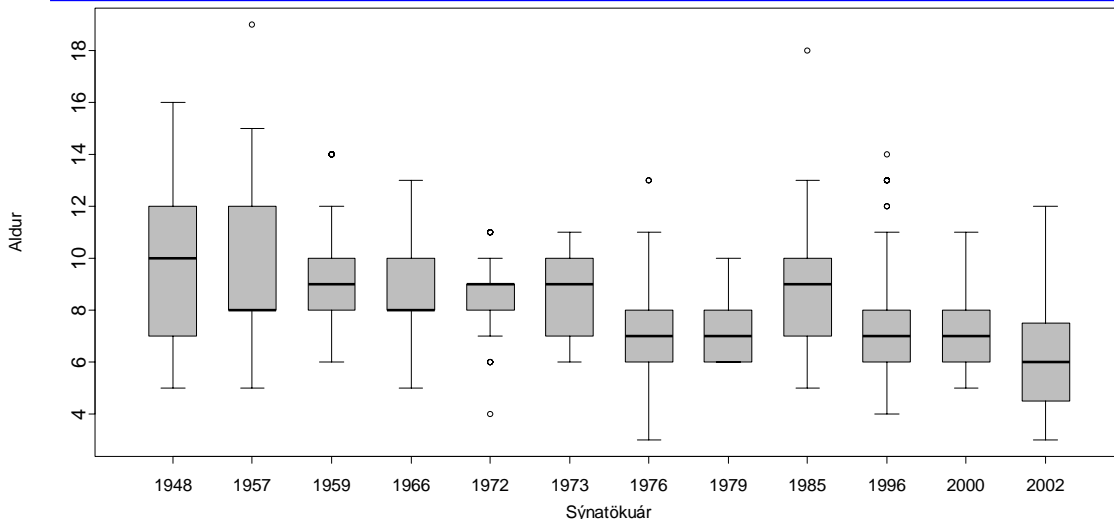
Abstract

The intense fishing mortality imposed on Atlantic cod in Icelandic waters during recent decades has resulted in marked changes in stock abundance, as well as in age and size composition. Using a molecular marker known to be under selection (Pan I) along with a suite of six neutral microsatellite loci, we analysed an archived otolith data set and revealed evidence of distinct temporal changes in the frequencies of genotypes at the Pan I locus among spawning Icelandic cod, collected between 1948 and 2002, a period characterized by high fishing pressure. Concurrently, temporal stability in the composition of the microsatellite loci was established within the same dataset. The frequency of the $Pan I^{BB}$

genotype decreased over a period of six decades, concomitant with considerable spatial and technical changes in fishing effort that resulted in the disappearance of older individuals from the fishable stock. Consequently, these changes have likely led to a change in the genotype frequencies at this locus in the spawning stock of Icelandic cod. The study highlights the value of molecular genetic approaches that combine functional and neutral markers examined in the same set of individuals for investigations of the selective effects of harvesting and reiterates the need for an evolutionary dimension to fisheries management

Inngangur

Um heim allan hafa átt sér stað miklar breytingar á lífsögu fiskistofna sem talið er að rekja megi til sóknar (Jørgensen o.fl. 2007). Erfitt hefur reynt að ákvarða hvort þessar breytingar hafa valdið þróunarfræðilegum breytingum þ.e.a.s. að þær svipgerðarbreytingar sem hafa átt sér stað, eins og lækkaður meðalaldur við kynþroska, eigi rætur að rekja í arfgerð (Marshall & Browman 2004; Kuparinen & Merilä 2008). Undanfarin ár hafa margar rannsóknir sýnt, með notkun svörunarfalla (Probabilistic maturation reaction norm, PMNR; Heino o.fl. 2002), að líklega er um erfðafræðilegar breytingar að ræða. Hins vegar, er því næst ógerlegt að greina fullkomlega á milli arfgerða og svipgerðarbreytinga með notkun svörunarfalla og einungis beinar erfðafræðirannsóknir geta svarað þessum vangaveltum með skýrum hætti (Kuparinen and Merilä 2007). Erfðafræðileg nálgun hefur hingað til reynt erfið þar sem víðeigandi erfðamörk hafa verið af skornum skammti og erfðaeefni af sögulegum sýnum eru yfirleitt ófáanleg (Conover o.fl. 2006). Hlutlaus erfðamörk (t.d. “míkrósatellítar”, en þeir eru margendurteknar 2-6 basapara raðir, sem ekki stjórna próteinmyndun) hafa talsvert verið notuð til að rannsaka og skilja betur erfðafræðilegan stöðugleika í stofninum, stofngerðir, undirstofna og far þeirra á milli. Hins vegar henta “míkrósatellítar” illa til að rannsaka utanaðkomandi áhrif svo sem áhrif af völdum sóknar eða umhverfis yfir



1. mynd 1.
Aldursdreifing
fyrir hvert sýna-
tökuár.

Figure 1. Box
and whiskers
plot of the age
distribution of
Icelandic cod in
each sampling
year.

þróunarfræðilegan stuttan tíma (10-20 kynslóðir). Það er einkum vegna þess að hlutlaus erfðamörk mæla einkum afdrif samsæta (allele; mismunandi form af sama geni) vegna áhrifa reks (genetic drift), en áhrifa reks gætir lítið sem ekkert þegar erfðafræðileg stofnstærð er talin há (> 500 einstaklingar) eins og í stórum fiskistofnum. Undanfarin ár hefur því áhugi aukist á að kanna afdrif gena sem erfast undir áhrifum valkrafta. Framboð af þess háttar erfðamörkum hefur hins vegar hingað til verið nokkuð takmarkað. Einnig er nauðsynlegt að skoða erfðir yfir margar kynslóðir en þar sem erfðasýnataka er frekar nýlegt fyrirbæri þá hafa “gömul sýni” verið af skornum skammti fyrir stofnerfðafræðilegar mælingar.

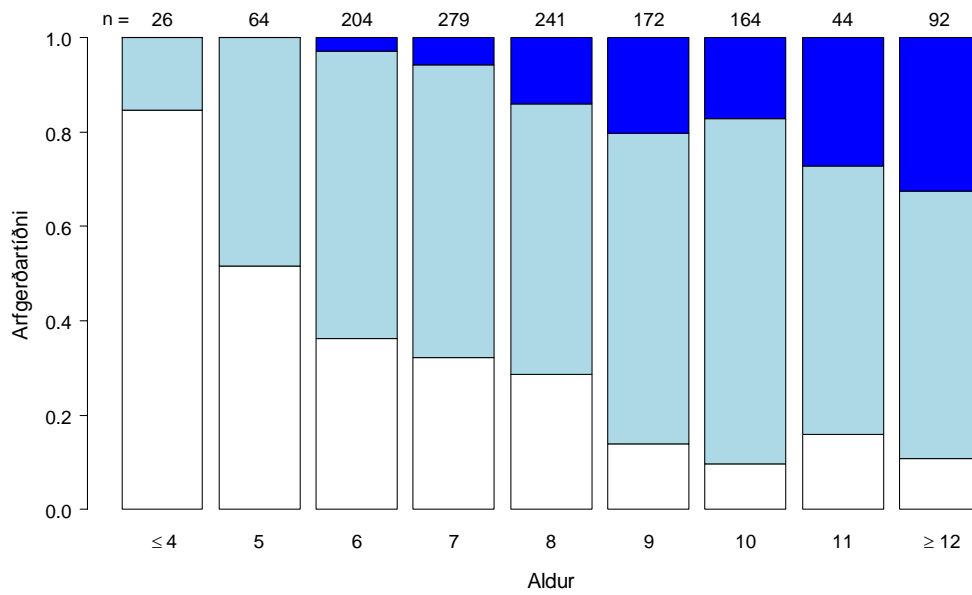
Líkt og hjá öðrum stofnum þorsks í N-Atlantshafi, hefur íslenski stofninn tekið miklum breytingum síðan kerfisbundnar mælingar hófust eða allt frá lokum seinna stríðs (Anon 2009). Sóknin í stofnin hefur verið mikil og vaxandi á þessu tímabili. Stærð íslenska stofnsins hefur minnkað mikið en auk þess hafa orðið töluverðar breytingar á lífsögu þorsks á sama tíma. Aldursamsetningin hefur breyst í stofninum (Schopka 1994, Marteinsdóttir & Thórarinnsson 1998) og sýnt hefur verið fram á að meðallengd hefur minnkað og kynþroskaaldur lækkað (Marteinsdóttir & Begg 2002). Svörunarföll hafa sýnt að minnkun í kynþroska var ekki háð ástandi og vexti fiskanna eða hitastigi (Pardoe o.fl. 2009). Það bendir því til þess að breytingar í kynþroska séu ekki eingöngu af völdum umhverfisþátta heldur frekar að þær endurspeglir breytingar á erfðum. Þessar breytingar gætu haft margvíslegar afleiðingar eins og að nýliðun versni, frjósemi minnki og hæfileikinn til að standa undir miklum veiðum

og/eða breytingum í umhverfi þverri. Það telst því afar mikilvægt að kanna hvort að fiskveiðar hafi á löngum tíma haft áhrif á erfðabreytileika í þorskinum.

Í þessari rannsókn var leitast við að svara því hvort mögulegar breytingar hafi átt sér stað í arfgerð þorsks á PanI geninu yfir síðustu áratugina og hvort þær breytingar væru í samhengi við þær svipgerðarbreytingar sem hafa átt sér stað yfir sama tímabil. Þessi rannsókn er sú fyrsta af sinni tegund þar sem arfgerðir ásamt fiskifræðilegum greiningum eru notaðar til að útskýra langtíma breytingar í fiskistofni sem hefur verið undir miklu fiskveiðiálagi um margra áratuga skeið.

Efni og aðferðir

Við kvörnun verða vefjaleifar eftir á yfirborði kvarnanna. Oftast er einungis önnur kvörnin notuð til aldursákvæðana og því er hægt að nota hina kvörnina til að einangra erfðafni úr þessum þornuðu vefjaleifum. Þannig má nálgast erfðaupplýsingar af þorski úr margra áratuga gömlum kvarnasýnum. Kvarnasafn Haf-rannsóknastofnunarinnar geymir kvarnir allt frá aldamótum 1900 en segja má að kerfisbundin söfnun hafi ekki hafist fyrr en eftir stríð. Í rannsókninni voru notuð 16 kvarnasýni úr hrygningarþorski. Hvert sýni samanstóð af 68-132 einstaklingum eða samtals 1471 kynþroska þorskum. Elsta sýnið var frá 1948 en það yngsta frá 2000 en einu samtíma sýni frá 2002 var bætt við sem innihélt erfðafni úr tálknþráðum. Sýnin voru tekin á svipuðum tíma árs (mars-apríl) á þremur þekktum hrygningarsvæðum á grunnslóð, sunnan og suðvestan við landið. Líffræðilegar upplýsingar (lengd, aldur, kyn og kynþroski) voru sóttar í gagnagrunn Haf-



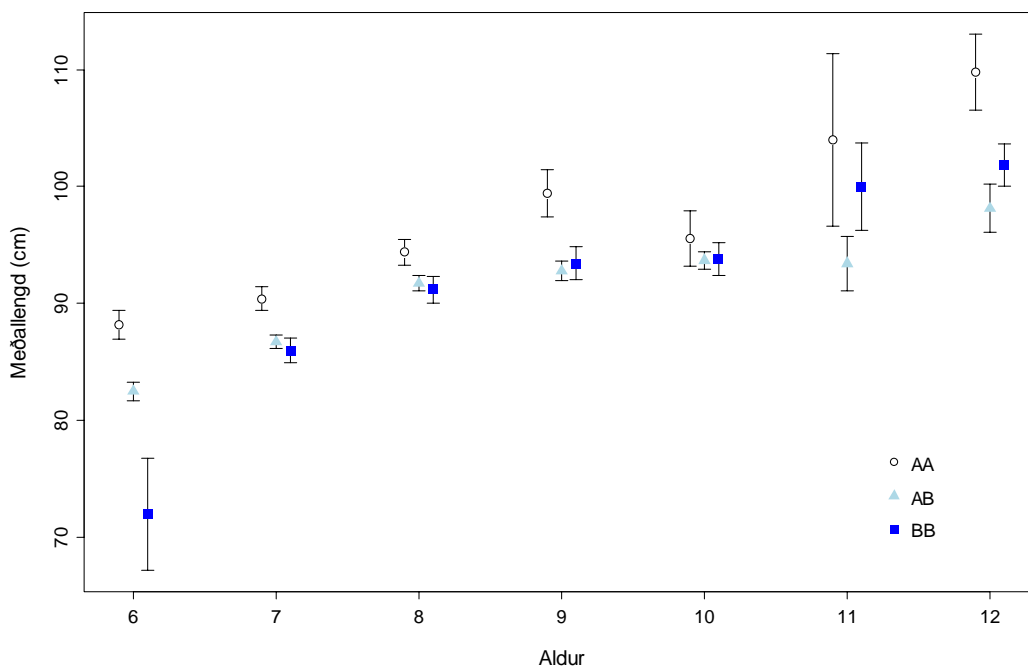
2. mynd. Arfgerðartíðni aldurs hópa. (hvítur: $Pan I^{AA}$, ljósblár: $Pan I^{AB}$, blár: $Pan I^{BB}$). Öll gögn yfir tímabilið 1948-2002. Sýnastærð er sýnd fyrir ofan hverja súlu.

Figure 2. Age-specific distribution of *Pan I* genotype frequencies (white: $Pan I^{AA}$, light blue: $Pan I^{AB}$, blue: $Pan I^{BB}$) in samples of Icelandic cod collected between 1948 and 2002. Sample size is shown above each column.

rannsóknarstofnunarinnar eða lesnar beint af kvarnapokum. *Pan I* genið sem er talið vera undir áhrifum vals var notað sem erfðamark. Eftir beitingu PCR (þ.e.a.s. aðferð til að fjölfalda ákveðin svæði í erfðaeftinu) og skerðensíma voru afurðir rafdrengar og meðhöndlun gaf þrjár arfgerðir *Pan* gensins: $Pan I^{AA}$ (arfhrein), $Pan I^{AB}$ (arfblandin) og $Pan I^{BB}$ (arfhrein). Arfgerðir voru skoðaðar með tilliti til aldurs, árganga og vaxtar. Vegna takmarkaðrar sýnastærðar og ójafna dreifingar í árgöngum voru 10 árgangar flokkaðir saman og þannig myndaðir sjö árgangahópar. Greining fór einnig fram með notkun 6 “míkrósattellita” sem taldir eru erfast hlutlaust. Nánari lýsingu á efnun og aðferðum má finna í Jakobsdóttir o.fl. (2011)

Niðurstöður og umræða

Könnun á aldursdreifingu í sýnunum leiddi í ljós að aldursbil þrengdist og meðalaldur minnkaði marktækt yfir rannsóknartímabilið (1. mynd). Þetta er í samræmi við þekktar breytingar sem hafa orðið í stofninum og er talið vera bein afleiðing stífrar sóknar (Marteinsdóttir & Begg, 2002). Arfgerðargreining leiddi í ljós samband á milli arfgerðar og aldurs. Arfhreinn yngri fiskur var líklegri til að vera af $Pan I^{AA}$ arfgerð en arfhreinn eldri fiskur var líklegri til að vera af $Pan I^{BB}$ arfgerð (2. mynd). Enginn hrygningarporskur undir sex ára aldri reyndist vera af $Pan I^{BB}$ arfgerð. Þorskur af $Pan I^{AA}$ virðist sem sagt verða kynþroska yngri en sá af



3. mynd. Meðallengd hvers aldurs hóps frá 6-12 ára fyrir hverja arfgerð ($Pan I^{AA}$, $Pan I^{AB}$, $Pan I^{BB}$). Öll gögn yfir tímabilið 1948-2002

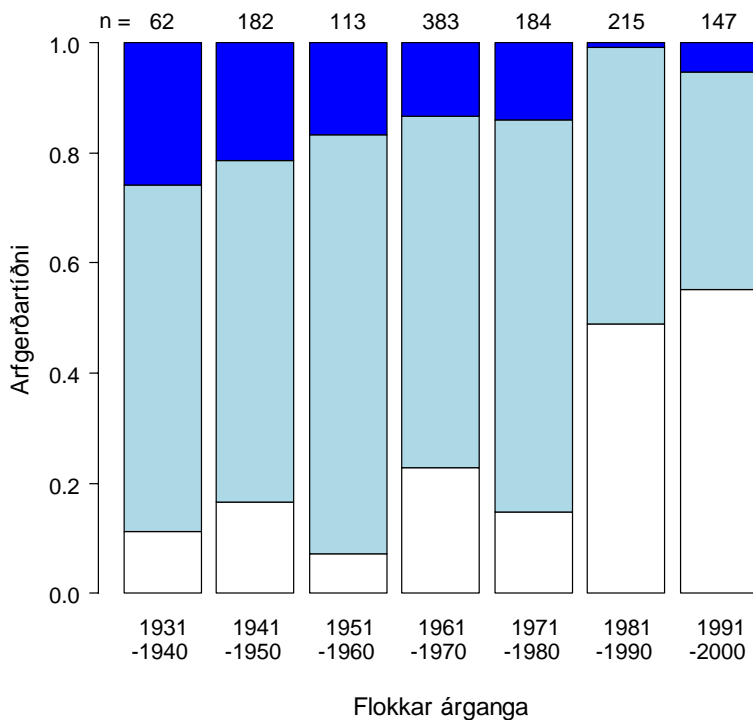
Figure 3. Average length (± 1 S.E.) of Icelandic cod aged 6 to 12 years, sampled in the period 1948 to 2002, and carrying either $Pan I^{AA}$, $Pan I^{AB}$ or $Pan I^{BB}$ genotype.

$Pan I^{BB}$ arfgerð og hrygnir fyrr á ævinni. Þessi kenning er í samræmi við þá niðurstöðu að þorskur af $Pan I^{AA}$ arfgerð vex marktækt hraðar en hinar tvær arfgerðirnar (3. mynd). Þar af leiðandi er talið líklegt að í sýnunum okkar séu tveir hópar þorska með ólíka lífssögu, sem báðir hrygna á svipuðum svæðum og á svipuðum árstíma. Vísbending um að tveir atferlishópar þorsks finnast hér við land var fyrst kynnt í niðurstöðum úr greiningum á rafrænum merkingargögnum um fæðugöngur þorsks (Pálsson & Thorsteinsson 2003). Svokallaður “grunnfars” þorskur virðist halda sig á grunnslóð, í tiltölulega stöðugu hitastigi, allt árið um kring en þorskur sem stundar “djúpfar” virðist leita í hitaskil á miklu dýpi (>250m). Pampoulie o.fl. (2008) sýndu seinna fram á að grunnfarsþorskur sem hrygnir við sunnanvert landið væri líklegri til að vera af $Pan I^{AA}$ arfgerð en djúpfarsþorskur var líklegri til að vera af $Pan I^{BB}$ arfgerð á meðan arfblendnir þorskar af $Pan I^{AB}$ virtust stunda bæði atferli. Af framansögðu teljum við nokkuð ljóst að tveir atferlishópar þorsks hrygni á svipuðum tíma og svipuðum svæðum.

Greining arfgerða m.t.t. árganga leiddi í ljós mikla breytingu yfir þá hálfu öld sem rannsóknartímabilið spannar (4. mynd). Hlutfall $Pan I^{BB}$ arfgerðar sem virðist tengjast eldri fiski minnkaði jafnt og þétt yfir rannsóknartímabilið. Á sama tíma jókst hlutdeild þorsks af $Pan I^{AA}$ arfgerð. Greina má þessa marktæku aukningu í

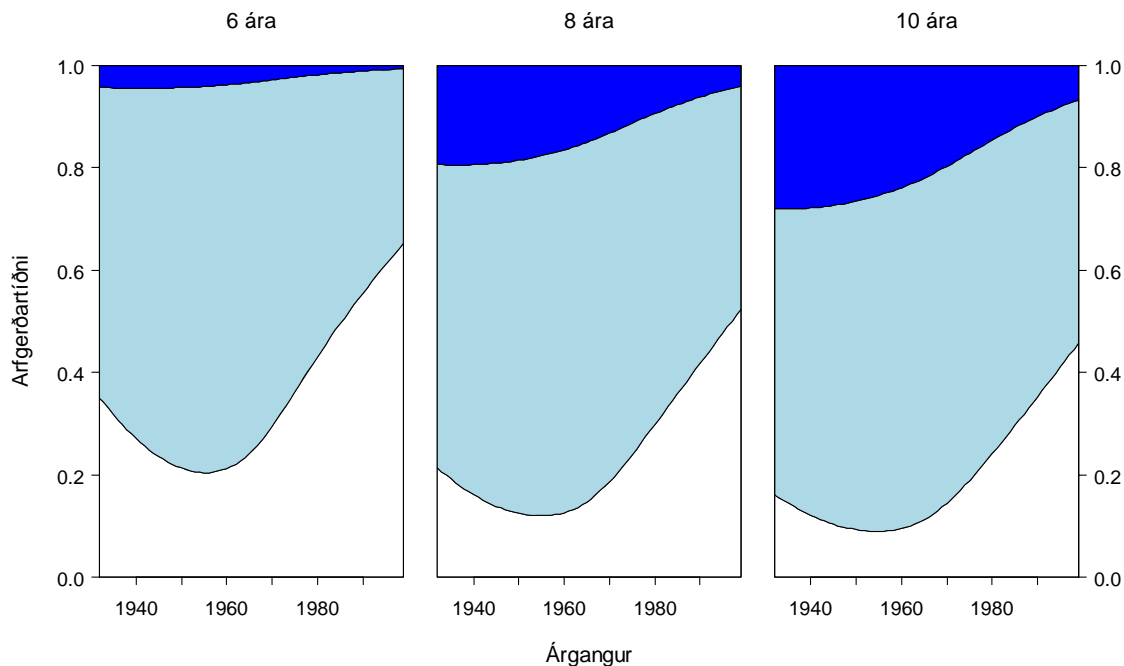
$Pan I^{AA}$ í flestum aldursflokkum yfir tímabilið (5. mynd).

Ástæður breytingar á hlutdeild $Pan I$ arfgerða yfir þá hálfu öld sem rannsóknartímabilið spannar geta verið margvíslegar og jafnvel samtvinnaðar. Breytt aldursamsetning og minnkandi meðallengd vegna sóknar í stórþorskur stofninum gæti, í ljósi framangreinds samhengis milli arfgerðar og stærðar, þýtt meira brotnám á arfgerð $Pan I^{BB}$ og þá tilsvareandi að tíðni yngri fisks og þar með $Pan I^{AA}$ hafi aukist. Í öðru lagi gæti ástæða þessarar þróunar í arfgerðatíðni verið sú mikla breyting sem hefur átt sér stað í sókn á seinni hluta síðustu aldar (Jón Þ. Þór 2005). Í upphafi rannsóknartímabilsins var mesta veiðiálagið á grunnslóð. Samfara miklum framförum í þróun skipa, veiðarfæra og veiðitækni, samhliða stækkun flotans og útvíkkun landhelginnar jukust veiðar verulega á djúpmiðum auk þess sem veiðitímabilið lengdist og úthald jókst. Rannsóknir annarra hafa sýnt fram á að sterkt samband er milli arfgerðar og dreifingar þorsks með tilliti til dýpis, þ.e. sýnt fram á að þorskur af $Pan I^{BB}$ arfgerð heldur sig á meira dýpi en sá af $Pan I^{AA}$ arfgerðinni (Árnason o.fl. 2009). Aukin sókn á dýpri miðjók væntanlega sókn í síðarnefndan atferlishópin (djúpfar), sem hafði áður aðallega verið veiðanlegur þegar hann kom til hrygningar upp á grunnin og þá hugsanlega með þeim afleiðingum að dregið hafi úr hlutdeild þessarar arfgerðar. Í þriðja lagi ber að nefna möguleg



4. mynd. Arfgerðartíðni eftir flokkum árganga^{NB} yfir rannsóknartímabilið (hvítur: $Pan I^{AA}$, ljósblár: $Pan I^{AB}$, blár: $Pan I^{BB}$).

Figure 4. Observed $Pan I$ genotype frequencies (white: $Pan I^{AA}$, light blue: $Pan I^{AB}$, blue: $Pan I^{BB}$) for Icelandic cod from different (10 year) cohort classes.



5. mynd. Spágildi úr fjölkostalíkani um arfgerðardreifingu innan árganga yfir rannsóknartímabilið. Þrjár aldurs-
hópar sýndir: 6 ára, 8 ára og 10 ára

Figure 5. Predicted distributions of cohort-specific *Pan I* genotype frequencies for Icelandic cod aged 6, 8 and 10 years, from a multinomial model (smoothing allowing for three degrees of freedom).

áhrif umhverfisbreytinga, og þá sérstaklega hitastigs, á þessa þróun í arfgerðartíðni *Pan I* gensins, enda hefur erlend rannsókn sýnt fram á samband þar á milli (Case o.fl. 2005). Runa mælinga á yfirborðshita í sjó við Norðurland fyrir umrætt tímabil var notuð til að leita að sambandi á milli hitabreytinga og breytinga í arfgerðum þorsks (Hanna o.fl. 2006) en líklegt er að yfirborðshiti fyrir norðan land endurspegli hitastig á fæðuslóð þorsks við Norðvesturland. Engin marktæk fylgni fannst, þrátt fyrir afgerandi sveiflur í yfirborðshita norðan lands á þeim tíma sem rannsóknin nær yfir (Malmberg 1986; Ásthorsson o.fl. 2007) Er lítil sem engin samsvörun milli breytinga í mældum hita og stöðugs samdráttar í hlutfalli *Pan I^{BB}* arfgerðar í sýnaúrtakinu. Að vísu er ekkert vitað á hvaða æviskeiði þorsks hiti gæti hugsanlega haft áhrif á umræddar arfgerðir og úr því er líklega aðeins hægt að fá skorið með beinum mælingum. Niðurstöður úr framangreindum rannsóknum útiloka því ekki hugsanleg áhrif hita á tíðni *Pan I* arfgerðar, en fyrrnefndar breytingar í sóknarmynstri eru álitnar líklegri til að hafa valdið þeim breytingum í þorski við Ísland sem mælingarnar frá undangenginni hálfri öld sýna.

Samantekt

Í stórum dráttum má segja að arfgerðargreining hafi leitt í ljós að mikil og stöðug breyting hefur átt sér stað á arfgerðum *Pan I* gensins í hrygningarþorski á þeirri hálfu öld sem rannsóknartímabilið spannaði. Greiningar á hlutlausum erfðamörkum staðfestu langtíma stöðugleika stofnsins yfir sama tímabil. Hlutdeild *Pan I^{BB}* hefur minnkað stöðugt samfara þekktum breytingum í stofninum, eins og í aldursamsetningu og kynþroskaaldri. Niðurstöðurnar vekja upp frekari spurningar um afleiðingar þessarar breytinga á stofninn til lengri tíma, enda þykir fullvíst að almenn rýrnun á erfðabreytileika getur haft neikvæð áhrif á afkomumöguleika þorskstofnsins, sem þarf að vera í stakk búinn til að mæta utanaðkomandi breytingum í umhverfi og á aðstæðum. Niðurstöðurnar benda til þess að fiskveiðar geti haft áhrif á samsetningu arfgerða í stofninum á tiltölulega skömmum tíma, með ófyrirsjáanlegum afleiðingum, og því teljum við brýnt að hefja vöktun á erfðafræðilegum breytileika. Jafnframt er lagt til að farið verði að huga að fyrirliggjandi vísbendingum um áhrif fiskveiða á erfðaeigileika fiskstofna við stjórnun fiskveiða, sem telja má nauðsynlegt þegar stefnt er að sjálfbærri veiði til lengri tíma.

Rannsóknin er samstarfsverkefni Hafrannsóknastofnunarinnar og Háskóla Íslands. Rannsóknin er hluti stærra rannsóknarverkefnis til doktorsprófs undir leiðsögn Dr. Guðrúnar Marteinsdóttur, Dr. Christophe Pampoulie og Dr. Daniels E. Ruzzante.

Heimildir

- Anon, 2009. Nytjastofnar sjávar 2008/2009. Aflahorfur fiskveiðiárið 2009/2010. *Hafrannsóknir* 146. 174 bls.
- Astthorsson, O. S., A. Gislason & S. Jonsson. 2007. Climate variability and the Icelandic marine ecosystem. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 54:2456–2477.
- Árnason, E., U. B. Hernandez & K. Kristinsson. 2009. Intense habitat-specific fisheries-induced selection at the molecular *Pan I* locus predicts imminent collapse of a major cod fishery. *PLoS ONE* 4:e5529.
- Case, R. A. J., W. F. Hutchinson, L. Hauser, C. Van Oosterhout & G. R. Carvalho. 2005. Macro- and micro-geographic variation in Pantophysin (*Pan I*) allele frequencies in NE Atlantic cod *Gadus morhua*. *Marine Ecology Progress Series* 301:267–278.
- Conover, D. O., L. M. Clarke, S. B. Munch & G. N. Wagner, 2006. Spatial and temporal scales of adaptive divergence in marine fishes and the implications for conservation. *Journal of Fish Biology*, 69:21–47.
- Hanna, E., T. Jónsson, J. Ólafsson & H. Valdimarsson. 2006. Icelandic coastal sea surface temperature records constructed: putting the pulse on air-sea-climate interactions in the northern north Atlantic. Part I: comparison with hadisst1 open-ocean surface temperatures and preliminary analysis of long-term patterns and anomalies of SSTs around Iceland. *Journal of Climate* 19:5652–5666.
- Jakobsdóttir, K.B., H. Pardoe, Á. Magnússon, H. Björnsson, C. Pampoulie, D.E. Ruzzante & G. Marteinsdóttir. 2011. Historical changes in genotypic frequencies at the Pantophysin locus in Atlantic cod (*Gadus morhua*) in Icelandic waters: evidence of fisheries-induced selection? *Evolutionary Applications*. Samþykkt handrit.
- Kuparinen, A., J. Merila. 2007. Detecting and managing fisheries-induced evolution. *Trends in Ecology & Evolution* 22:652–659.
- Kuparinen, A., J. Merila. 2008. The role of fisheries-induced evolution. *Science* 320:47–48.
- Malmberg, S.A. 1986. The ecological impact of the East Greenland Current on the North Icelandic waters. In: Skreslet, S. (Ed.), *The Role of Freshwater Outflow in Coastal Marine Ecosystems*. NATO ASI Series, vol. G7. Springer, Berlin, pp. 389–404.
- Marshall, C. T. & H. I. Browman. 2007. Disentangling the causes of maturation trends in exploited fish populations. *Marine Ecology Progress Series* 335:249–251.
- Marteinsdóttir, G. & G. A. Begg. 2002. Essential relationships incorporating the influence of age, size and condition on variables required for estimation of reproductive potential in Atlantic cod *Gadus morhua*. *Marine Ecology Progress Series* 235:235–256.
- Marteinsdóttir, G. & K. Thorarinnsson. 1998. Improving the stock-recruitment relationship in Icelandic cod (*Gadus morhua* L.) by including age diversity of spawners. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 55:1372–1377.
- Nielsen, E.E., E. B. R. MacKenzie, E. Magnussen & D. Meldrup. 2007. Historical analysis of *Pan I* in Atlantic cod (*Gadus morhua*): temporal stability of allele frequencies in the southeastern part of the species distribution. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 64:1448–1455.
- Pampoulie, C., K. B. Jakobsdóttir, G. Marteinsdóttir & V. Thorsteinsson. 2008. Are vertical behaviour patterns related to the Pantophysin locus in the Atlantic cod (*Gadus morhua* L.)? *Behavior Genetics* 38:76–81.
- Pardoe, H., A. Vainikka, G. Thordarson, G. Marteinsdóttir & M. Heino. 2009. Temporal trends in probabilistic maturation reaction norms and growth of Atlantic cod (*Gadus morhua*) on the Icelandic shelf. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 66:1719–1733.
- Pálsson, O. K. & V. Thorsteinsson. 2003. Migration patterns, ambient temperature, and growth of Icelandic cod (*Gadus morhua*): evidence from storage tag data. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 60:1409–1423.
- Schopka, S. A. 1994. Fluctuations in the cod stock off Iceland during the twentieth century in relation to changes in the fisheries and environment. *ICES Marine Science Symposia reports* 198:175–193.
- Þór, J.Þ. 2005. *Nýsköpunaröld. Saga sjávarútvegs á Íslandi III. Bindi 1939–1973*. Saga Sjávarútvegs á Íslandi, Bókaútgáfan Hólar.

4. VIÐAUKI. UMHVERFISÞÆTTIR Í MAÍ-JÚNÍ 1952-2010 / APPENDIX. ENVIRONMENTAL VARIABLES IN MAY-JUNE 1952-2010

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 á Siglunesniði (**). Aftasti dálkurinn sýnir reiknaða ferskvatnsþykkt (m) á 2. og 3. stöð á Látrabjargssniði, en hún er mælikvarði á styrk strandstraums fyrir Vesturlandi (***). Þá er söfnunardagur á stöð 3 á Siglunesniði sýndur sem númer dags frá upphafi árs.

Temperature and salinity deviations from the 1961-1980 average (3,288°C and 34,727). Weighted mean from 0-200 m depth at stations 1–5 on the Siglunes section (). The table also shows the average zooplankton biomass (g dry weight m⁻²) in 0-50 m on the Siglunes section (**). The last column shows the calculated freshwater thickness (m) at stations 2 and 3 on the Látrabjarg section (***). The sampling day on station 3 at the Siglunes section is also shown (Julian day).*

ÁR	Söfnunardagur	Hitafrávik *	Seltufrávik *	Átumagn**	Ferskvatn***
1952	167	0,921	0,277		
1953	160	1,154	0,117		
1954	162	1,916	0,255		
1955	167	1,902	0,260		
1956	174	1,566	0,073		0,491
1957	163	1,424	0,224		
1958	155	0,256	0,098		0,237
1959	173	1,882	0,263		0,515
1960	163	2,050	0,320		
1961	164	1,698	0,345	10,2	0,738
1962	154	1,007	0,310	11,5	
1963	166	-0,081	0,079	3,3	
1964	160	1,916	0,245	6,9	0,880
1965	157	0,084	-0,237	1,5	0,254
1966	156	-0,195	0,145	0,7	
1967	152	-2,122	-0,173	0,5	0,235
1968	170	-0,730	-0,223	2,5	
1969	157	-1,558	-0,356	0,7	
1970	161	-0,992	-0,232	1,7	0,549
1971	145	-1,757	-0,133	4,4	0,875
1972	157	0,683	0,077	2,5	0,836
1973	161	1,124	0,134	1,8	1,501
1974	149	1,137	0,158	0,8	1,230
1975	149	-1,100	-0,129	1,6	0,365
1976	157	0,295	0,041	2,7	1,395
1977	148	-0,109	-0,123	5,1	0,632
1978	152	0,755	0,033	3,9	0,549
1979	154	-1,496	-0,236	3,1	0,177
1980	150	1,438	0,266	2,0	0,667
1981	148	-1,083	0,084	1,2	0,613
1982	158	-0,616	-0,101	0,7	0,393
1983	155	-1,280	-0,071	1,4	0,620
1984	150	-0,200	0,091	2,4	1,279
1985	154	1,075	0,234	2,9	1,131
1986	150	-0,045	0,184	1,0	0,914
1987	154	1,041	0,106	3,0	0,532
1988	143	-0,725	-0,135	0,9	0,647
1989	151	-0,470	0,125	0,8	0,858
1990	148	-1,049	-0,027	1,1	0,895
1991	142	0,144	0,214	3,4	0,735
1992	139	0,241	0,183	3,6	1,387
1993	143	0,215	0,188	6,5	1,778
1994	144	0,557	0,174	8,2	0,442
1995	143	-2,697	-0,111	4,6	0,477
1996	148	0,550	0,018	4,4	0,977
1997	147	-0,063	-0,018	4,2	0,507
1998	152	-0,306	-0,105	1,7	0,816
1999	145	0,700	0,238	4,8	0,549
2000	143	0,821	0,147	7,3	1,636

ÁR	Söfnunardagur	Hitafrávik *	Seltufrávik *	Átumagn**	Ferskvatn***
2001	143	0,048	0,187	4,6	0,637
2002	141	-1,255	0,001	1,2	0,295
2003	141	2,133	0,272	3,4	1,606
2004	145	0,839	0,211	1,5	0,963
2005	145	0,639	0,076	9,2	1,036
2006	135	0,069	0,079	5,4	1,276
2007	139	0,151	-0,055	3,5	0,977
2008	140	0,049	0,108	2,2	0,363
2009	138	-0,108	0,227	1,4	0,734
2010	140	1,039	0,254	4,7	0,935

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

** Til ársins 2001 voru sýnin rúmmálmæld um borð og þurrvigt ákvörðuð með því að nota umreiknistuðul (Matthews, J. B. L. og Heimdal, B. R. 1980. Pelagic productivity and food chains in fjord systems. Í Freeland, H. J., Farmer, D. M. og Levings, C. D. (ritsj.), *Fjord Oceanography*. Plenum Press, New Yoork, s. 377-398). Frá og með 2002 voru sýnin fryst um borð, og þurrkuð og vegin í landi (Postel, L., Fock, H., Hagen, W. 2000. Biomass and abundance. Í Harris, R., Wiebe, P., Lenz, J., Skjoldal, H. R., Huntley, M. (ritsj.), *ICES Zooplankton Methodology Manual*, Academic Press, New York, s. 83-192).

*** Jón Ólafsson, 1985. ICES C.M. 1985/G:59.

Hafrannsóknir – var Fjölrít

Marine Research

Pessi listi ásamt öllum texta fjölrítanna er aðgengilegur á netinu:
This list with full text of all the reports is 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 fjöruþörungum í nágrenni Reykjavíkur. Reykjavík 1977. 19 s. (Ófáanlegt - Out of print).
4. **Einar Jónsson:** Meingunarrannsóknir í Skerjafirði. Áhrif frárennslis á botndýralíf. Reykjavík 1976. 26 s. (Ófáanlegt - Out of print).
5. **Karl Gunnarsson, Konráð Þórisson:** Stórpari á Breiðafirði. Reykjavík 1979. 53 s.
6. **Karl Gunnarsson:** Rannsóknir á 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 Suðvesturland. Reykjavík 1983. 50 s.
11. Nytjastofnar sjávar og umhverfisþættir 1987. Aflahorfur 1988. *State of Marine Stocks and Environmental Conditions in Icelandic Waters 1987. Fishing Prospects 1988.* Reykjavík 1987. 68 s. (Ófáanlegt - Out of print).
12. Haf- og fiskirannsóknir 1988-1992. Reykjavík 1988. 17 s. (Ófáanlegt - Out of print).
13. **Ólafur K. Pálsson, Björn Æ. Steinarsson, Einar Jónsson, Gunnar Jónsson, Gunnar Stefánsson, Sigfús A. Schopka:** Stofnmæling botnfiska á Íslandsmiðum. Reykjavík 1988. 76 s. (Ófáanlegt - Out of print).
14. Nytjastofnar sjávar og umhverfisþættir 1988. Aflahorfur 1989. *State of Marine Stocks and Environmental Conditions in Icelandic Waters 1988. Fishing Prospects 1989.* Reykjavík 1988. 126 s.
15. Ástand humar- og rækjustofna 1988. Aflahorfur 1989. Reykjavík 1988. 16 s.
16. **Kjartan Thors, Jóhann Helgason:** Jarðlög við Vestmannaeyjar. Áfangaskýrsla um jarðlagagreiningu og könnun neðansjávareldvarpa með endurvarpsmælingum. Reykjavík 1988. 41 s.
17. **Stefán S. Kristmannsson:** Sjávarhitamælingar við strendur Íslands 1987-1988. Reykjavík 1989. 102 s.
18. **Stefán S. Kristmannsson, Svend-Aage Malmberg, Jóhannes Briem:** *Western Iceland Sea. Greenland Sea Project. CTD Data Report. Joint Danish-Icelandic Cruise R/V Bjarni Sæmundsson, September 1987.* Reykjavík 1989. 181 s.
19. Nytjastofnar sjávar og umhverfisþættir 1989. Aflahorfur 1990. *State of Marine Stocks and Environmental Conditions in Icelandic Waters 1989. Fishing Prospects 1990.* Reykjavík 1989. 128 s. (Ófáanlegt - Out of print).
20. **Sigfús A. Schopka, Björn Æ. Steinarsson, Einar Jónsson, Gunnar Jónsson, Gunnar Stefánsson, Ólafur K. Pálsson:** Stofnmæling botnfiska á Íslandsmiðum 1989. Rannsóknaskýrsla. Reykjavík 1989. 54 s.
21. Nytjastofnar sjávar og umhverfisþættir 1990. Aflahorfur 1991. *State of Marine Stocks and Environmental Conditions in Icelandic Waters 1990. Fishing Prospects 1991.* Reykjavík 1990. 145 s.
22. **Gunnar Jónsson, Björn Æ. Steinarsson, Einar Jónsson, Gunnar Stefánsson, Ólafur K. Pálsson, Sigfús A. Schopka:** Stofnmæling botnfiska á Íslandsmiðum 1990. Reykjavík 1990. 53 s. (Ófáanlegt - Out of print).
23. **Stefán S. Kristmannsson, Svend-Aage Malmberg, Jóhannes Briem, Erik Buch:** *Western Iceland Sea - Greenland Sea Project - CTD Data Report. Joint Danish Icelandic Cruise R/V Bjarni Sæmundsson, September 1988.* Reykjavík 1991. 84 s. (Ófáanlegt - Out of print).
24. **Stefán S. Kristmannsson:** Sjávarhitamælingar við strendur Íslands 1989-1990. Reykjavík 1991. 105 s. (Ófáanlegt - Out of print).
25. Nytjastofnar sjávar og umhverfisþættir 1991. Aflahorfur 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. Nytjastofnar 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 Gatnamalástjórnann 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: Rannsókn- 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:** Lífríki sjávar í Breiðafirði: Yfirlit rannsókna. *A review of literature on marine biology in Breiðafjörður.* 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. *dst² 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 sjávarnytjar 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:** Sjávarnytjar 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. *dst² 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.). Sníkjuormar 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 I. 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.
131. **Höskuldur Björnsson ofl:** Stofnmæling botnfiska á Íslandsmiðum (SMB) 1985-2006 og stofnmæling botnfiska að haustlagi (SMH) 1996-2006. Reykjavík 2007. 220 s. (*With English summary*)
132. **Valdimar I. Gunnarsson o.fl.:** Þorskeldiskvóti: Yfirlit yfir föngun og áframeldi þorsks á árinu 2005. Reykjavík 2007. 42 s.
133. **Sigfús A. Schopka:** Friðun svæða og skyndilokanir á Íslandsmiðum – Sögulegt yfirlit. Reykjavík 2007. 86 s.

134. **Ólafur K. Pálsson o.fl.:** Mælingar á brottkasti botnfiska 2006. Reykjavík 2007. 17 s.
135. **Gunnar Karlsson:** Afli og sjósókn Íslendinga frá 17 öld til 20. aldar. Reykjavík 2007. 64 s.
136. **Valdimar Ingi Gunnarsson:** Reynsla af sjókvíældi á Íslandi. Reykjavík 2008. 46 s.
137. **Valdimar Ingi Gunnarsson o.fl.:** Þorskeldiskvóti: Yfirlit yfir föngun og áframeldi þorsks á árinu 2006. Reykjavík 2008. 40 s.
138. Nyttastofnar sjávar 2007/2008. Aflahorfur fiskveiðiárið 2008/2009. *State of Marine Stocks in Icelandic Waters 2007/2008. Prospects for the Quota Year 2008/2009.* Reykjavík 2008. 180 s.
139. Þættir úr vistfræði sjávar 2007. *Environmental Conditions in Icelandic Waters 2007.* Reykjavík 2008. 40 s.
140. **Hrafnkell Eiríksson:** Dragnót og dragnótaveiðar við Ísland. Reykjavík 2008. 19 s.
141. **Steinunn Hilma Ólafsdóttir og Sigmar Arnar Steingrímsson:** Botndýralíf í Héraðsflóa: grunnástand fyrir virkjun Jökulsár á Dal og Jökulsár í Fljótsdal (Kárahnjúkavirkjun). Reykjavík 2008. 34 s.
142. **Ólafur K. Pálsson o.fl.:** Mælingar á brottkasti botnfiska 2007 og Göngur þorsks á Íslandsmiðum kannaðar með GPS staðsetningu, bergmálstækni og rafeindamerkjum. Reykjavík 2008. 30 s.
143. Sjór og sjávarlífverur, Ráðstefna Hafrannsóknastofnunarinnar á Hótel Lofleiðum, Reykjavík 20. og 21. febrúar 2009 Ocean and marine biota, Marine Research Institute Conference at Lofleiðir Hótel, Reykjavík, February 20 and 21, 2009. Reykjavík 2009. 79 s.
144. **Valdimar I. Gunnarsson o.fl.:** Þorskeldiskvóti: Yfirlit yfir föngun og áframeldi þorsks á árinu 2007. Reykjavík 2009. 35 s.
145. Þættir úr vistfræði sjávar 2008. *Environmental Conditions in Icelandic Waters 2008.* Reykjavík 2009. 74 s.
146. Nyttastofnar sjávar 2008/2009. Aflahorfur fiskveiðiárið 2009/2010. *State of Marine Stocks in Icelandic Waters 2008/2009. Prospects for the Quota Year 2009/2010.* Reykjavík 2009. 174 s.
147. **Ólafur K. Pálsson o.fl. og Sigmar Arnar Steingrímsson:** Mælingar á brottkasti botnfiska 2008 og Botndýralíf í Seyðisfirði: Rannsókn gerð í tengslum við undirbúning á laxeldi í sjó. Reykjavík 2009. 34 s.
148. **Valdimar Ingi Gunnarsson, Björn Björnsson og Einar Hreinsson:** Föngun á þorski. *Capture of cod.* Reykjavík 2009. 122 s.
149. **Svend-Aage Malmberg og Jóhannes Briem:** Hita, seltu og strammælingar í Botnsvogi, Hvalfirði 1973. Reykjavík 2010. 47 s.
150. **Valdimar I. Gunnarsson o.fl.:** Þorskeldiskvóti: Yfirlit yfir föngun og áframeldi þorsks á árinu 2008. *Cod quota for on-growing: results for the year 2008.* Reykjavík 2010. 35 s.
151. **Guðrún G. Þórarinsdóttir o.fl.:** Áhrif dragnótaveiða á lífríki botns í innanverðum Skagafirði. Reykjavík 2010. 19 s.
152. Þættir úr vistfræði sjávar 2009. *Environmental Conditions in Icelandic Waters 2009.* Reykjavík 2010. 53 s.
153. Nyttastofnar sjávar 2009/2010. Aflahorfur fiskveiðiárið 2010/2011. *State of Marine Stocks in Icelandic Waters 2009/2010. Prospects for the Quota Year 2010/2011.* Reykjavík 2010. 178 s.
154. **Ólafur K. Pálsson o.fl.:** Mælingar á brottkasti botnfiska 2009. Reykjavík 2010. 16 s.
155. **Ingbjörg G. Jónsdóttir o.fl.:** Stofmæling hrygningarþorsks með þorsknetum 1996-2009. *Gill-net survey of spawning cod in Icelandic waters 1996-2009.* Reykjavík 2010. 53 s.
156. *Manuals for the Icelandic bottom trawl surveys in spring and autumn* (Enskar útgáfur handbóka stofnmælinga með botnvörpu að vori og hausti) Reykjavík 2010. 125 pp.
157. **Valdimar Ingi Gunnarsson, Björn Björnsson o.fl.:** Þorskeldiskvótaverkefnið 2010. Reykjavík 2011. 87 s.
158. Þættir úr vistfræði sjávar 2010. *Environmental Conditions in Icelandic Waters 2010.* Reykjavík 2011. 80 s.
159. Nyttastofnar sjávar 2010/2011. Aflahorfur fiskveiðiárið 2011/2012. *State of Marine Stocks in Icelandic Waters 2010/2011. Prospects for the Quota Year 2011/2012.* Reykjavík 2010. 180 s.