



Hafrannsóknir nr. 175

# **Þættir úr vistfræði sjávar 2013**

*Environmental conditions in Icelandic waters 2013*

Reykjavík 2014



## Formáli

### Foreword

Á Hafrannsóknastofnun 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 2013, en að vanda eru niðurstöðurnar settar í samhengi við langtímapróun. Árið 2013 var hitastig í yfirborðslögum sjávar umhverfis landið um og yfir meðallagi fyrir sunnan og vestan land en um meðallag fyrir norðan og austan landið. Selta fór áfram lækkandi líkt og árin 2011 og 2012.

Eins og undanfarin ár, þá er að finna í þriðja kafla ritsins safn stuttra greina um ýmsar athuganir á vistfræði sjávar eftir starfsmenn stofnunarinnar. Greinarnar eru um óvenju fjölbreytt efni og fjalla m.a. um lækkandi kalkmettun sjávar, frumbjarga örverur, kalkþörungablóma, nýfundna svifþörungategund, minnkandi útbreiðslu og magn úthafsækju, tilraunaveiðar á grjótkrabba, makríleggjaleiðangur og viðgerð á þorskvörnum. Er það von aðstandenda að með greinum þessum fái lesendur innsýn í áhugaverð og mikilvæg viðfangsefni sérfræðinga stofnunarinnar á sviði vistfræði sjávar, en greinarnar birtast undir nafni höfunda.

Nokkur tímamót urðu, þegar hætt var að prenta skýrsluna, en frá 2013 koma *Þættir úr vistfræði sjávar* eingöngu út á rafrænu formi. Á seinasta ári vannst ekki tími til að aðlaga útgáfuna að netinu, en nú hefur skjálestur verið auðveldaður með leturbreytingu og eindálka texta. Ef nauðsynlegt reynist að prenta út kafla eða greinar fjölgar blaðsíðum óhjákvæmilega nokkuð við þetta. Á móti kemur að útgáfusögu ritsins hefur nú verið sleppt, enda er hún aðgengileg annars staðar á heimasíðunni.

Sérstakur starfshópur sá um útgáfu skýrslunnar. Í ritstjórn eru Ástþór Gíslason, Héðinn Valdimarsson, Kristinn Guðmundsson, Sólveig Ólafsdóttir og Konráð Þórisson sem jafnframt er ritstjóri þessarar útgáfu, en hann bjó einnig skýrsluna til prentunar. Er þeim öllum þökkúð 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 14. maí 2014  
Jóhann Sigurjónsson

## Efnisyfirlit Contents

Ágrip.....	4
<i>English summary</i> .....	5
<b>1. ÁSTAND SJÁVAR OG SVIFSAMFÉLÖG</b> <i>ENVIRONMENTAL CONDITIONS AND PLANKTON COMMUNITIES</i> .....	6
<b>2. LANGTÍMABREYTINGAR</b> <i>LONG-TERM CHANGES</i> .....	20
<b>3. STUTTAR GREINAR UM VISTFRÆÐI SJÁVAR</b> <i>SHORT NOTES ON MARINE ECOLOGY</i> .....	26
<b>3.1. Helstu kalkmyndandi tegundahópar á botni í Íslandshafi og kalkmettun.</b> Hrönn Egilsdóttir og Jón Ólafsson <i>Major calcifying benthic taxa in the Iceland Sea and calcium carbonate saturation states</i> .....	26
<b>3.2. Fjölbreytileiki og mergð örvera í sjó umhverfis Ísland.</b> Eyjólfur Reynisson, Kristinn Guðmundsson, Sveinn Haukur Magnússon, Sigmar Karl Stefánsson, Kristín J. Valsdóttir, Viggó Þór Marteinson <i>Diversity of marine microorganisms in icelandic waters</i> .....	36
<b>3.3. Kalkþörungaflekkur norðvestur af Íslandi í júlí 2012.</b> Hafsteinn G. Guðfinnsson og Ingibjörg Jónsdóttir <i>A Coccolithophore Bloom NV of Iceland in July 2012</i> .....	46
<b>3.4. <i>Peridiniella catenata</i> (Dinophyceae) fundinn í Jökulsárlóni á Breiðamerkursandi.</b> Hafsteinn G. Guðfinnsson og Jón Ólafsson <i>Peridiniella catenata (Dinophyceae) discovered in Jökulsárlón, Breiðamerkursandur, Southeast Iceland</i> .....	53
<b>3.5. Umhverfisbreytingar og útbreiðsla úthafsækju við Ísland.</b> Anika K. Guðlaugsdóttir, Jörundur Svavarsson og Ingibjörg G. Jónsdóttir <i>Climate change and the distribution of northern shrimp</i> .....	63
<b>3.6. Tilraunaveiðar á grjótkrabba (<i>Cancer irroratus</i>) í Faxaflóa og Breiðafirði.</b> Jónas Páll Jónasson og Óskar Sindri Gíslason <i>Experimental fishing for the Atlantic rock crab (Cancer irroratus) in Faxaflói and Breiðafjörður</i> .....	72
<b>3.7. Fjölpjóðlegur makrileggjaleiðangur árið 2013.</b> Björn Gunnarsson og Konráð Þórisson <i>International mackerel egg survey in 2013</i> .....	80
<b>3.8. Athugun á nýtingarmöguleikum brotinna kvarna í aðgreiningu mismunandi vistgerða þorsks við Ísland.</b> Hlynur Bárðarson, Bruce McAdam, Gróa Pétursdóttir, Guðrún Marteinson <i>Testing the applicability of reassembled broken otoliths in population discrimination of cod in Iceland</i> .....	87
<b>4. VIÐAUKI. UMHVERFISÞÆTTIR Í MAÍ-JÚNÍ 1952-2013</b> <i>APPENDIX. ENVIRONMENTAL VARIABLES IN MAY-JUNE 1952-2013</i> ....	93

## Ágrip

Fyrsti kafli skýrslunnar fjallar um niðurstöður vistfræðirannsókna í sjó við Ísland árið 2013, en þær rannsóknir eru hluti af umhverfisvöktun Hafrannsóknastofnunar. Gerð er grein fyrir ársfjórðungslegum rannsóknum á hita og seltu sjávar, en sérstök áhersla er lögð á umhverfis- og vistfræðiathuganir í Vorleiðangri, sem farinn er í maímánuði á ári hverju. Þar er, auk mælinga á seltu og hita, mældur styrkur næringarefna og könnuð útbreiðsla og magn plöntu- og dýrasvifs í yfirborðslögum sjávar við landið. Að auki er í fyrsta kaflanum greint frá vöktun á eiturbörungum við strendur landsins. Í öðrum kafla skýrslunnar er lýst langtímabreytingum á hita, seltu og dýrasvifi á Íslandsmiðum. Í þriðja kafla skýrslunnar eru nokkrar stuttar greinar um afmörkuð efni, sem tengjast vistfræði sjávar. Loks er í viðauka, tafla með tölugildum nokkurra umhverfispátta fyrir hvert ár.

Árið 2013 var hiti í yfirborðslögum sjávar umhverfis landið um og yfir meðallagi fyrir sunnan og vestan land en um meðallag fyrir norðan og austan landið. Selta fór áfram lækkandi umhverfis landið líkt og árin 2011 og 2012. Hitastig við botn breytist lítið milli ára á 3. stöð á Siglunessniði, en botnhiti annars staðar við landið var áfram hár á árinu 2013, eins og verið hefur frá aldamótum.

Vorkoma gróðurs var óvenju skammt á veg komin í vorleiðangri (14.-29. maí) og fádæma lítill gróður norðan og austan lands. Með hjálp næringarefna mælinga og gerfitunglamynda (MODIS) má ráða að vorblómi svifþörungna hafi orðið norður og austur af landinu í lok maí og byrjun júní. Mestallur kísill var hins vegar upp urinn úti fyrir suðurlandi og vorhámarkið um garð gengið skömmu áður en komið var á það svæði í lok maí. Þegar á heildina er litið var átumagn við landið í Vorleiðangri undir meðallagi. Á Vesturmiðum var átumagn nálægt meðallagi en annars staðar við landið var það talsvert undir meðallagi.

Viðunnandi sýnataka vegna vöktunar eiturbörunga náðist á öllum þremur vöktunarstöðum á vesturlandi á árinu 2013. Frá öðrum stöðum af landinu bárust einungis fáein sýni frá hverjum stað. Eitraðir þörungar fundust helst í júní og júlí (bæði DSP og PSP), en fundust þó einnig í ágúst, október og nóvember í Hvalfirði (DSP).

Í þriðja hluta skýrslunnar eru átta smágreinar um málefni sem tengjast vistfræði sjávar. Meðal helstu niðurstaðna var: 3.1. Kalkgerð sumra lindýra í Íslandshafi (aragónít), gæti þegar verið farin að leysast upp á neðri mörkum útbreiðslu þeirra. 3.2. Mikill munur fannst á magni og tegundasamsetningu örvera á suður- og vesturmiðum annars vegar og norður- og austurmiðum hins vegar. 3.3. Kalkþörungaflekkur fannst út af vesturlandi í júlí 2012, en flekkinn myndaði svifþörungurinn *Emiliana huxleyi*. 3.4. Ný svifþörungategund fyrir Ísland (*Peridiniella catenata*) fannst í Jökulsárlóni á Breiðamerkursandi í ágúst 2012. 3.5. Yfirborðshiti og þorskmagn hafa áhrif á magn og útbreiðslu úthafsækjunnar. 3.6. Veiðanlegur stofn grjótkrabba (*Cancer irroratus*), er að byggjast upp í Faxaflóa. 3.7. Í fjölþjóðlegum makrileggjaleiðangri kom í ljós að hrygningarstofn makríls hefur stækkað hratt og hrygningin breiðst út til vesturs. 3.8. Samlímdar brotnar kvarnir úr rafeindamerktum þorskum reyndust jafn gagnlegar og heilar kvarnir til að aðgreina mismunandi vistgerðir þorsks.

## Summary


In the first section of this report the results of environmental monitoring of the waters around Iceland in 2013 are presented. The oceanographic and biological research carried out during the annual spring survey, during the latter half of May, is emphasized. Long-term trends in hydrography and zooplankton abundance are presented in the second section, while the third section is a collection of short notes on some of the marine ecological work carried out by the Marine Research Institute. The last section is an appendix table showing the annual value of some environmental variables during the spring survey.

In 2013 temperature and salinity in upper layers was close to or slightly above the long-term average south and west of Iceland, but close to the long-term average north and east of Iceland. Similar to 2011-2012 salinity continued to decrease in 2013. Bottom temperature at station Siglunes 3 remained very stable, but the bottom temperature at the other monitored stations was relatively high, as it has been from the turn of the century.

The following observations were made during the spring survey in May 14-29. The onset of spring growth of phytoplankton had not occurred at the start of the survey and hence the phytoplankton biomass was low west of Iceland, and further, it was exceptionally low north and east of Iceland. Nutrient measurements and remote sensing of chlorophyll-a (MODIS) showed that the spring bloom of phytoplankton off the north and east coasts took place in late May and early June. South of Iceland the silicate concentration was already low and the spring bloom was already declining during the last days of the survey. Overall the total zooplankton biomass was below the long term average in May. West of Iceland the zooplankton biomass was close to the average, but well below the long time average elsewhere around Iceland.

In 2013 an acceptable sampling frequency for monitoring of harmful algae was only obtained at the three sampling stations along the west coast. Warnings were announced most frequently in June and July (both DSP and PSP), but also once in the months of August, October and November in Hvalfjordur (DSP).

The third section of the report presents a collection of eight short notes on marine ecology in Icelandic waters. The following main findings are presented from the respective notes: 3.1. A work on the calcium carbonate saturation in the Iceland Sea, indicates that the saturation state may already be getting too low at the depth maximum for some molluscs species. 3.2. A study on marine microorganisms showed a large difference in abundance and taxa composition between the waters south and west versus north and east of Iceland. 3.3. A coccolithophore bloom by *Emiliana huxleyi* was observed northwest of Iceland in July 2012. 3.4. A new dinoflagellate species for Iceland, *Peridiniella catenata*, was found in a glacier lagoon in August 2012. 3.5. An investigation on the distribution of Northern shrimp (*Pandalus borealis*) indicated that SST and cod abundance influenced both its abundance and distribution. 3.6. An experimental fishing for Atlantic rock crab, indicates that a sustainable rock crab stock is building up in Faxaflói. 3.7. An international mackerel egg survey indicates a steep increase in the spawning stock and a 37% increase in egg production from 2010. 3.8. A study on reassembled broken cod otoliths demonstrated that they can still be used to discriminate between different ecotypes of cod.



# 1. ÁSTAND SJÁVAR OG SVIFSAMFÉLÖG

## ENVIRONMENTAL CONDITIONS AND PLANKTON COMMUNITIES

### Inngangur

Flókið samspil margra umhverfisþátta hefur áhrif á fæðuvefinn í sjónum og þar með á vöxt og viðgang nytjastofna við landið. Á hverju ári fylgist Hafrannsóknastofnun því með helstu umhverfisþáttum og svifsamfélögum á Íslandsmiðum og er í þessu hefti gerð grein fyrir niðurstöðum athugana sem gerðar voru á árinu 2013.

Á tímabilinu frá febrúar 2013 til desember 2013 voru hiti og selta mæld í hafinu umhverfis Ísland á fjórum árstíðum. Mælt var á staðalsniðum (1. mynd): í vetrarleiðangri í febrúar, vorleiðangri í maí, í ágúst í tengslum við straummælingar og síðan í haustleiðangri í nóvember og byrjun desember. Umhverfismælingar fóru einnig fram í síldarleiðangri í maí og eru þau gögn notuð að hluta hér ásamt árstíðarbundnum mælingum.



1.mynd. Staðalsnið með stöðvum þar sem fara reglubundnar mælingar og sýnatökur til sjó- og svifrannsóknna umhverfis Ísland. Dýptarlínur eru sýndar fyrir 200, 500 og 1000m.

Figure 1. Standard sections used in routine hydrographic and plankton research in Icelandic waters. Depth contours are shown for 200, 500 and 1000m.

## Hiti og selta

### *Temperature and salinity*

#### *Yfirborðslög*

Á árinu 2013 voru hiti og selta sjávar fyrir sunnan og vestan land um eða yfir meðallagi þess tíma sem mælingar hafa staðið en hafa lækkað nokkuð frá 2010 einkum selta. Hiti í efri lögum sjávar fyrir norðan land var um eða lítillega yfir meðallagi en seltan var undir langtímameðaltali. Líkt og 2012 var seltan úti fyrir norðausturlandi yfir meðallagi megnið af árinu en hiti nálægt meðaltali áranna 1970 til 2012.

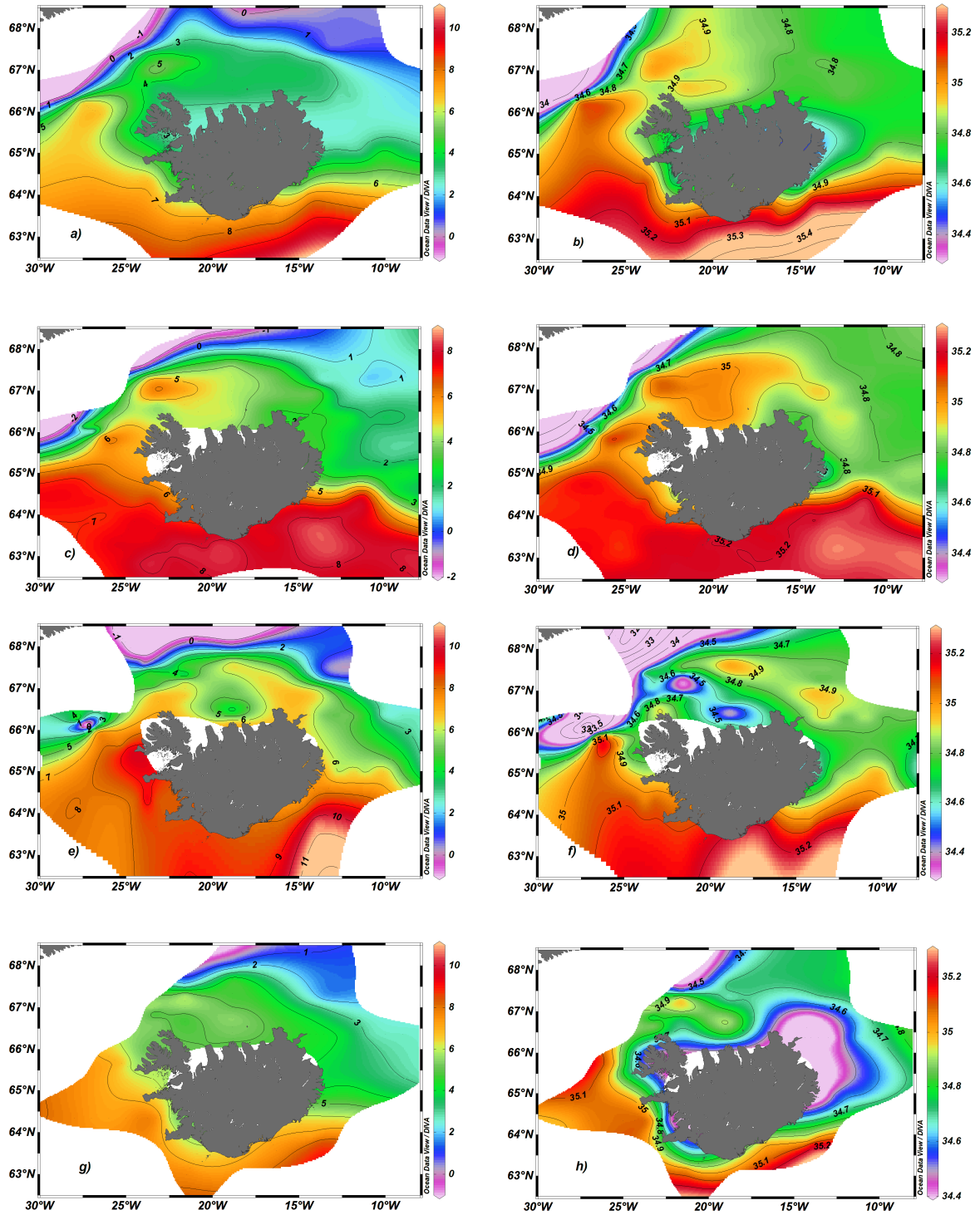
Hiti og selta í hlýsjónum sunnan og vestan við landið fóru hækkandi eftir 1995 og þar til 2003 og 2004 en þá mældist mesta útbreiðsla hlýsjávar umhverfis landið í 30 ár (2. mynd). Gildi lækkuðu lítillega 2005 er hafís rak inn á Norðurmið í lok vetrar. Eftir árið 2005 voru hiti og selta í hlýja sjónum sunnan og 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, 2009 og 2010 jókst útbreiðsla hlýsjávar fyrir norðan land einkum að sumrinu og yfirborðslög voru áberandi heitari en 2007. Árin 2011 og 2013 voru hiti og selta yfir meðallagi fyrir sunnan og vestan land en fóru þó lækkanði.

Í vetrarleiðangi í febrúar 2013 var hlýsjórinn fyrir sunnan og vestan land áfram vel yfir meðallagi heitur og selta yfir meðallagi. Hiti vestan við landið var áfram hár miðað við árstíma en seltan var lægri en áður. Atlantssjávar gætti norður fyrir Vestfirði og austur fyrir Húnaflóa. Á norðurmiðum var hiti um, en selta undir meðallagi þessa árstíma (  $\sim 2-4^{\circ}\text{C}$ ,  $\sim 34.7$  ) og heldur lægri en á sama árstíma árið áður. Hiti og selta í Austur- Íslandsstraumi voru yfir meðaltali ( $1-4^{\circ}\text{C}$ ,  $>34.7$ ).

Í vorleiðangri (maí) var Atlantsjórinn að sunnan yfir meðallagi bæði í hita og seltu (hiti  $6-8^{\circ}\text{C}$  og selta 35,0-35,2). Innflæði hlýsjávar inn á Norðurmið gætti austur að Langanesi. Hiti úti fyrir Mið-Norðurlandi var um og yfir meðaltali þessa árstíma ( $3-5^{\circ}\text{C}$  og 34,7-35,0). Í Austur-Íslandsstraumi mældust hiti og selta yfir meðallagi. Úti fyrir Austfjörðum voru sjávarhiti og selta í efri lögum sjávar um meðallag þessa árstíma.

Í ágúst 2013 var hiti efri laga vestan við land áfram hár líkt og árin 2011 og 2012 en selta var lægri en áður. Úti fyrir vestanverðu Norðurlandi og inná Norðurmið lá ferskvatnslag nokkru þykkara en sést hefur undanfarin ár. Yfirborðslög voru því kaldari og all nokkru ferskari en síðari ár. En árið 2012 var sömuleiðis þunnt ferskvatnslag yfir Norðurmiðum. Bæði þessi sumur var selta yfirborðslaga nokkuð undir meðallagi. Úti fyrir Norðausturlandi í Austur-Íslandsstraumi voru hiti- og selta hins vegar um og yfir meðallagi. Austur af landinu voru hiti og selta nærri langtímameðaltali.

Í nóvember var áfram hlýtt vestan við landið en selta hafði lækkað enn frá sama árstíma árið áður og hafði ekki verið lægri í yfir



2.mynd. Vinstri dálkur sýnir sjávarhita (°C) og hægri dálkur sýnir seltu á 50 m dýpi í hafinu umhverfis Ísland, í febrúar (a og b), maí (c og d), ágúst (e og f) og í nóvember (g og h) 2013.

Figure 2. Sea temperature (°C, left column), and salinity (right column) at 50 m depth in Icelandic waters for February (a and b), May (c and d), August (e and f) and November (g and h) 2013.



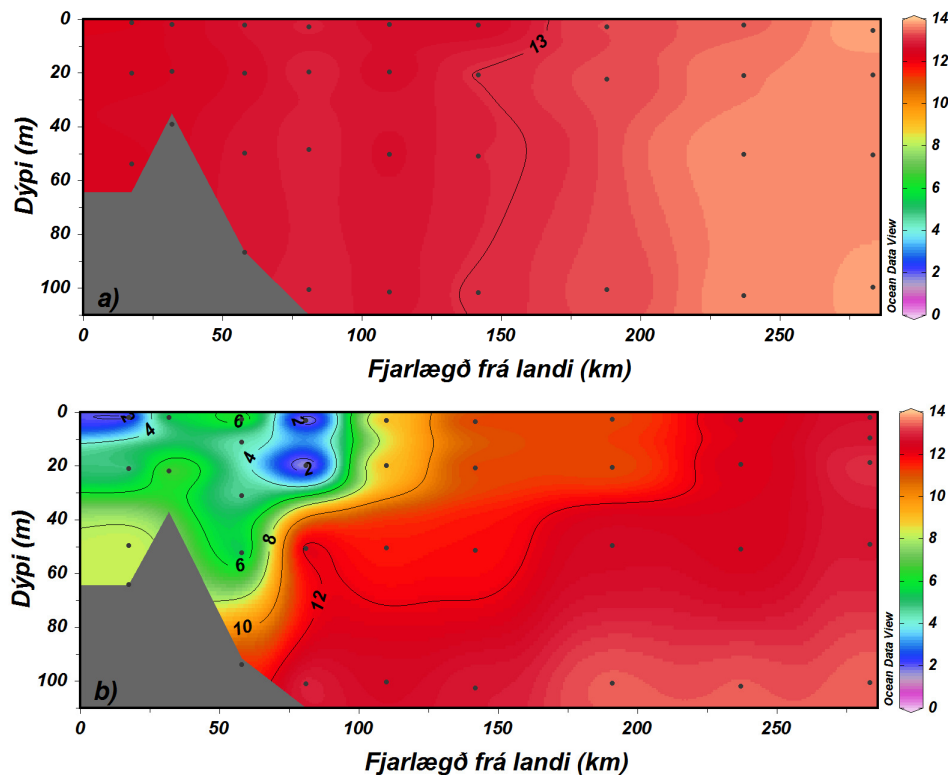
áratug. Fyrir Norðurlandi var hiti yfirborðslaga (0-50m) vel yfir meðallagi þessa árstíma en selta nær meðallagi. Fyrir norðaustan landið voru hiti og selta um meðallag. Seltan úti í Austur-Íslandsstraumi var um 34,7 og hiti var yfir meðallagi. Hiti fyrir austan landið var um meðallag en sjór yfir landgrunni fyrir norðaustan og austan við land var frekar ferskur. Hiti á þessum árstíma var því að jafnaði heldur yfir meðallagi en selta um og undir meðatali.

Í meginráttum má segja að árið 2013 hafi hiti í yfirborðslögum sjávar umhverfis landið verið um og yfir meðallagi fyrir sunnan og vestan land en um meðallag fyrir norðan og austan landið. Selta var áfram lækandi umhverfis landið líkt og árin 2011 og 2012 og lækkaði jafnvel heldur er leið á árið 2013. Þessi þróun hefur verið einkennandi fyrir norðanvert Atlantshaf þessi síðustu tvö til þrjú ár. Líkt og oft áður er ekki að finna einhlítar skýringar en líkur eru til að um samspil hringrásar andrúmsloftsins, ísbráðunar á Grænlandsjökli og ferskvatnsflutnings norðan úr Íshafi sé að ræða. Eftir tímabil með hækkandi seltu í norður Atlantshafi er hér um nokkurn viðsnúning að ræða og full ástæða til þess að fylgjast náið með breytingum af slíkum toga.

## Næringarsölt

### Nutrients

Styrkur næringarefna var kannaður í maí á hafsvæðinu umhverfis Ísland og einnig voru gerðar mælingar á völdum rannsóknar-



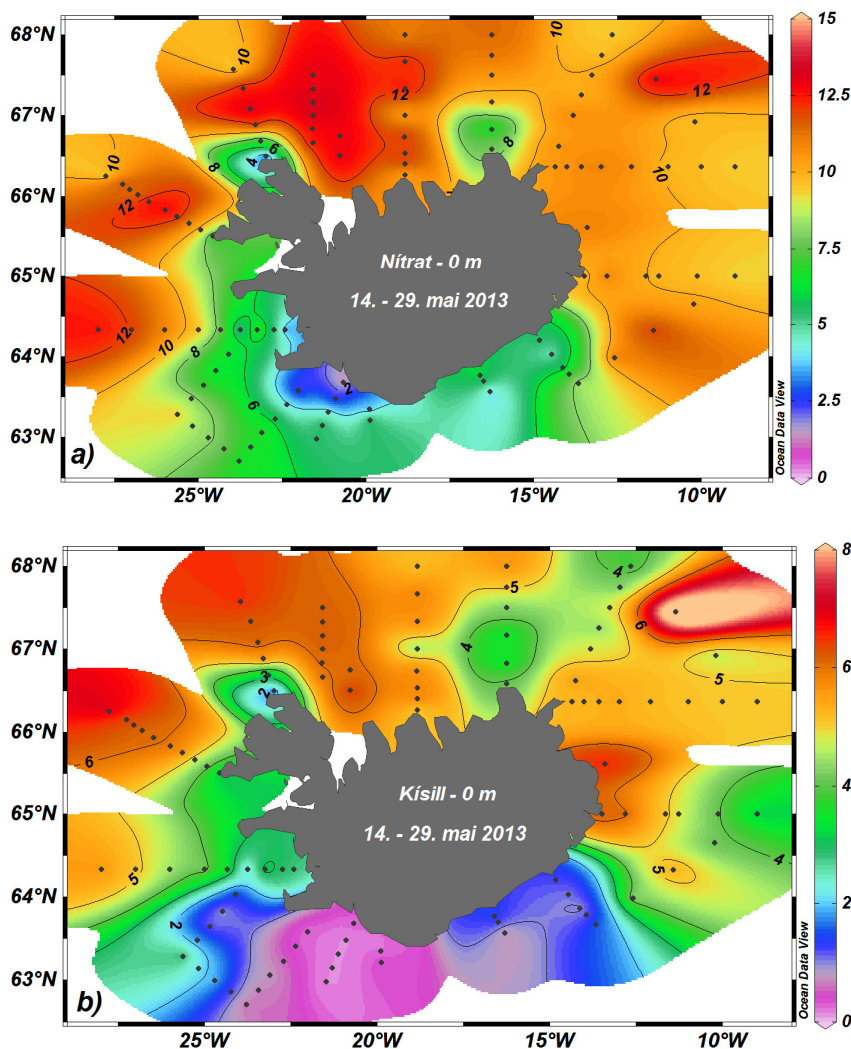
3. mynd. Lóðrétt dreifing nitrats ( $\mu\text{mol l}^{-1}$ ) á Faxaflóasniði a) 5. – 6. febrúar 2013 og b) 14. – 15. maí 2013.

Figure 3. Vertical profiles of nitrate ( $\mu\text{mol l}^{-1}$ ) on the Faxaflói section a) 5.-6. February 2013 and b) 14.-15. May 2013.

sniðum (1. mynd) í febrúar. Styrkur næringarefna í yfirborðslögum sjávar breytist reglulega með árstíma. Árlegt hámark er síðla vetrar þegar lóðrétt blöndun sjávarins nær langt niður í vatnsúluna og færir uppleyst næringarefni til yfirborðsins. Styrkur uppleystra næringarefna nærri yfirborði lækkar að vori þegar svifþörungur fara að vaxa.

Styrkur nítrats í efstu 100 metrunum á Faxaflóa 5. – 6. febrúar 2013 er sýndur á 3. mynd a. Nítratstyrkur var lægri nær landi heldur en á ystu stöðvunum og var að meðaltali  $12,5 \mu\text{mol l}^{-1}$  á stöðvum 1 – 3. Yst á sniðinu var styrkurinn  $13,7 \mu\text{mol l}^{-1}$  í efstu 200 metrunum á stöðvum 8 – 9. Á 3. mynd b er sýndur nítratstyrkur á sömu stöðvum í maí. Einungis hafði orðið lækkun á nítratstyrk næst landi vegna frumframleiðni þó að sú lækkun hafi ekki verið mikil.

Dreifing nítrats og kísils við yfirborð á rannsóknasvæðinu dagana 14. – 29. maí 2013, sést á 4. mynd. Einungis næst landi

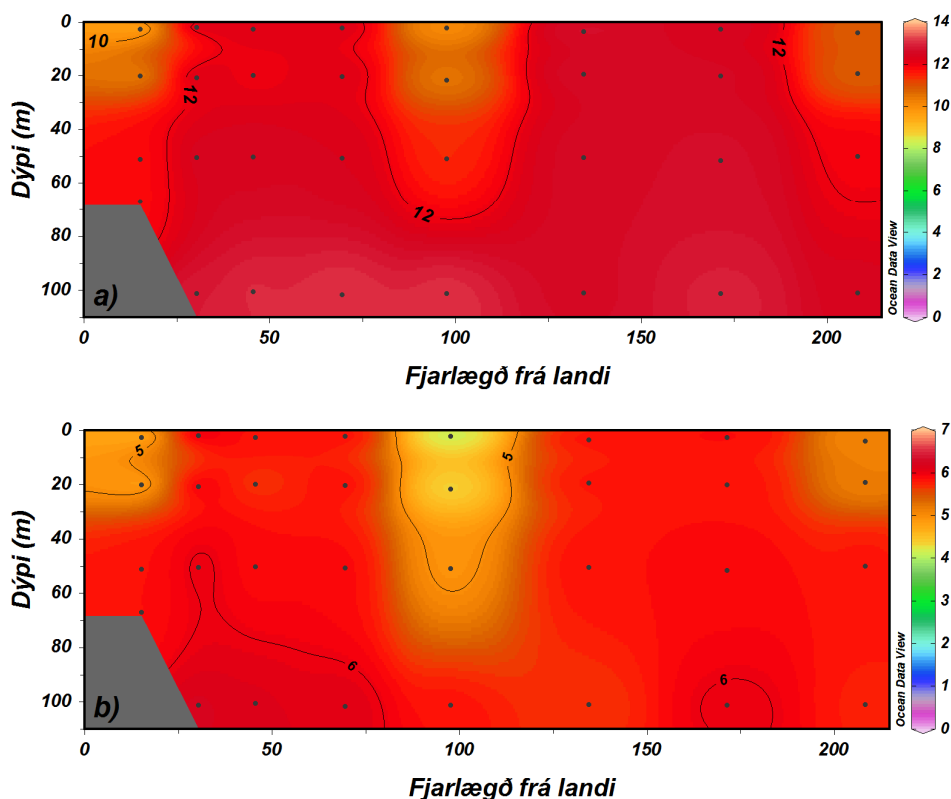


4. mynd. Styrkur næringarefna við yfirborð í hafinu umhverfis Ísland 14. – 29. maí 2013, a) nítrat ( $\text{NO}_3$ ,  $\mu\text{mol l}^{-1}$ ) og b) kísill ( $\text{Si}$ ,  $\mu\text{mol l}^{-1}$ ).

Figure 4. Nutrient concentrations at the surface in Icelandic waters 14.-29. May 2013 a) nitrate ( $\text{NO}_3$ ,  $\mu\text{mol l}^{-1}$ ) and b) silicate ( $\text{Si}$ ,  $\mu\text{mol l}^{-1}$ ).

hafði styrkur næringarefna lækkað frá vetrinum. Styrkurinn var víðast jafn frá yfirborði og allt niður á 50 metra dýpi. Styrkur næringarefna við yfirborði í Faxaflóa var enn hár þó að einhver upptaka hafi verið vegna vaxtar svifþörungna næst landi en sú upptaka náði óvenju stutt út eftir sniðinu. Vestur af landinu var styrkur næringarefna óbreyttur frá því sem búast má við að vetrarlagi utan við þær allra grynstu stöðvarnar. Úti fyrir öllu Norðurlandi og austur um, allt suður að Stokknesi hafði styrkur næringarefna vart lækkað frá vetrarhámarki og ljóst að vorblómi svifþörungna var ekki hafinn er mælingin var gerð. Úti fyrir Suðurlandi hafði hins vegar orðið töluverð lækkun á styrk næringarefna en þar var þó enn gnótt nitrats sem getur staðið undir miklum vexti svifþörungna til viðbótar (4. mynd). Lágur styrkur kísils í yfirborðslögum úti fyrir Suðurlandi fylgdi vel lækkun á nitratsstyrk, sem bendir til þess að kísilþörungar hafi staðið fyrir stórum hluta vorblómans þar.

Dreifing nitrats og kísils með dýpi á Siglunessniði í maí er sýnd á 5. mynd. Styrkur er nær óbreyttur frá vetrargildum þó greina megi örlitla lækkun næst landi og á 5. stöð frá landi talið.



5. mynd. Lóðrétt dreifing a) nitrats ( $\mu\text{mol l}^{-1}$ ) og b) kísils ( $\mu\text{mol l}^{-1}$ ) á Siglunessniði 18. – 19. maí 2013.

Figure 5. Vertical profiles of a) nitrate ( $\mu\text{mol l}^{-1}$ ) and b) silicate ( $\mu\text{mol l}^{-1}$ ) on the Siglunes section 18. – 19. May 2013.

## Svifpörungar

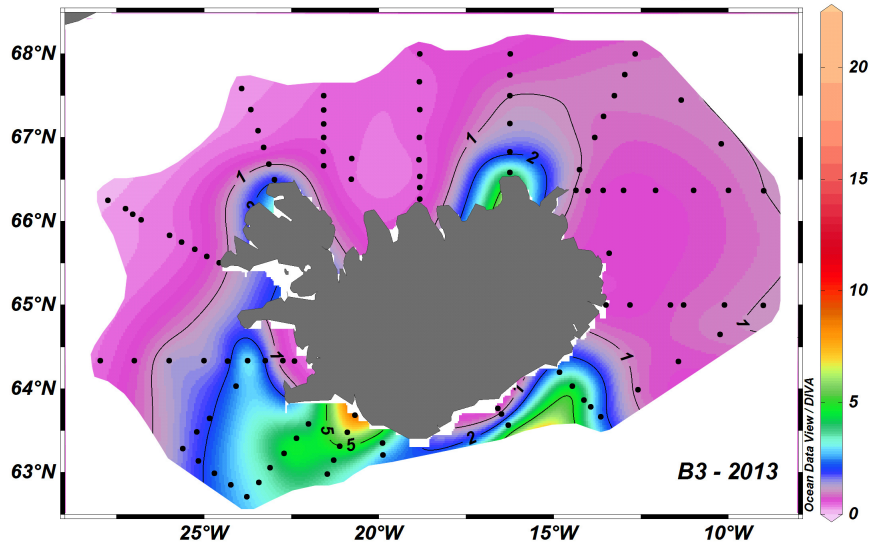
### *Phytoplankton*

Gera má ráð fyrir að sjórinn við Ísland sé víðast hvar uppblandaður í yfirborðslagi sem nær niður á u.þ.b. 20 metra dýpi. Enn fremur er gert ráð fyrir að mæld blaðgræna standi í réttu hlutfalli við lífmassa svifgróðurs. Þegar aðstæður til vaxtar svifgróðurs eru hentugar fer megnið af frumframleiðni og fjölgun svifpörunga fram í yfirborðslaginu og vöxturinn getur magnast upp á skömmum tíma snemmsumars. Þessi vaxtakippur kallast vorblómi og magn nýmyndunar á lífmassa ræðst fyrst og fremst af magni uppleystra næringarefna í yfirborðslaginu. Magn blaðgrænu mælist oft yfir 10 mg í rúmmetra í vorblóma (mælt hefur verið rúmlega 25 mg m<sup>-3</sup>). Á móti kemur að beit dýrasvifs getur haldið gróðurmagninu í skefjum og þá getur vöxturinn dregist á langinn, þó svo að heildar framleiðslan verði engu minni. Þegar þannig ber við er vöxtur svifgróðurs að nýtast betur til vaxtar dýrasvifs í yfirborðslaginu en þegar óhaminn vöxturinn á sér stað yfir skamman tíma. Hröð fjölgun svifpörunga og mikil uppsöfnun lífmassa leiðir gjarnan til þess að meirihluti frumframleiðslunnar hripar niður úr yfirborðslaginu og fellur til botns.

Styrkur uppleystra næringarefna er í hámarki í lok vetrar, eftir lóðréttu blöndun sjávar, en lækkar aftur í takt við vöxt svifpörunga þegar birtan eykst og yfirborðslag sjávar myndast á ný. Frumframleiðslan takmarkast síðan af því að styrkur uppleystra næringarefna mætir ekki lengur þörfum svifpörunganna. Hluti svifpörunganna hripar þá niður og tapast úr ljóstillífunarlaginu, en annað étur dýrasvifið og það verður hugsanlega fæða stærri dýra ofar í fæðukeðjunni. Eins og áður sagði ræðst það af næringarefnaforða í upphafi gróðurtímabils hver árleg frumframleiðsla svifpörunga verður á hverju svæði. Undantekning frá þessu er á svæðum þar sem næringarefni berast annar staðar að t.d. í kjölfar blöndunar og uppstreymis á mótum hafstrauma, eða þar sem djúpsjór þröngvast upp til yfirborðsins vegna botnlögunar. Frjósöm hafsvæði eru einmitt að finna á stöðum þar sem svona hagar til.

Magndreifing svifgróðurs í maí 2013, samkvæmt niðurstöðum mælinga á blaðgrænu í sjósýnum frá 10 metra dýpi, er sýnd á 6. mynd. Af framansögðu má vera ljóst að til að átta sig á árferði hvað frumframleiðslu varðar er vert að skoða saman niðurstöður mælinga á eðlisþyngdardreifingu sjávar með dýpi, styrk uppleystra næringarefna (níturat, fosfat og kísill) og breytingar á magni gróðurs og dýrasvifs.

Ráða má af dreifingu blaðgrænu (6. mynd) og fyrrgreindri dreifingu á næringarefnastyrk (4. mynd) að vorkoma gróðurs var óvenju skammt á veg komin þegar farið var um svæðið í vorleiðangri. Undanfarin ár hefur vorblómi í Faxaflóa verið yfirstaðinn á þeim tíma sem lagt er af stað í vorleiðangra og hæstu gildin vestur af landinu yfirleitt mælist í mynni Flóans og á gryninstu stöðvum sniða vestur og norðvestur af landinu. Sama átti við vorið 2013, en að því slepptu

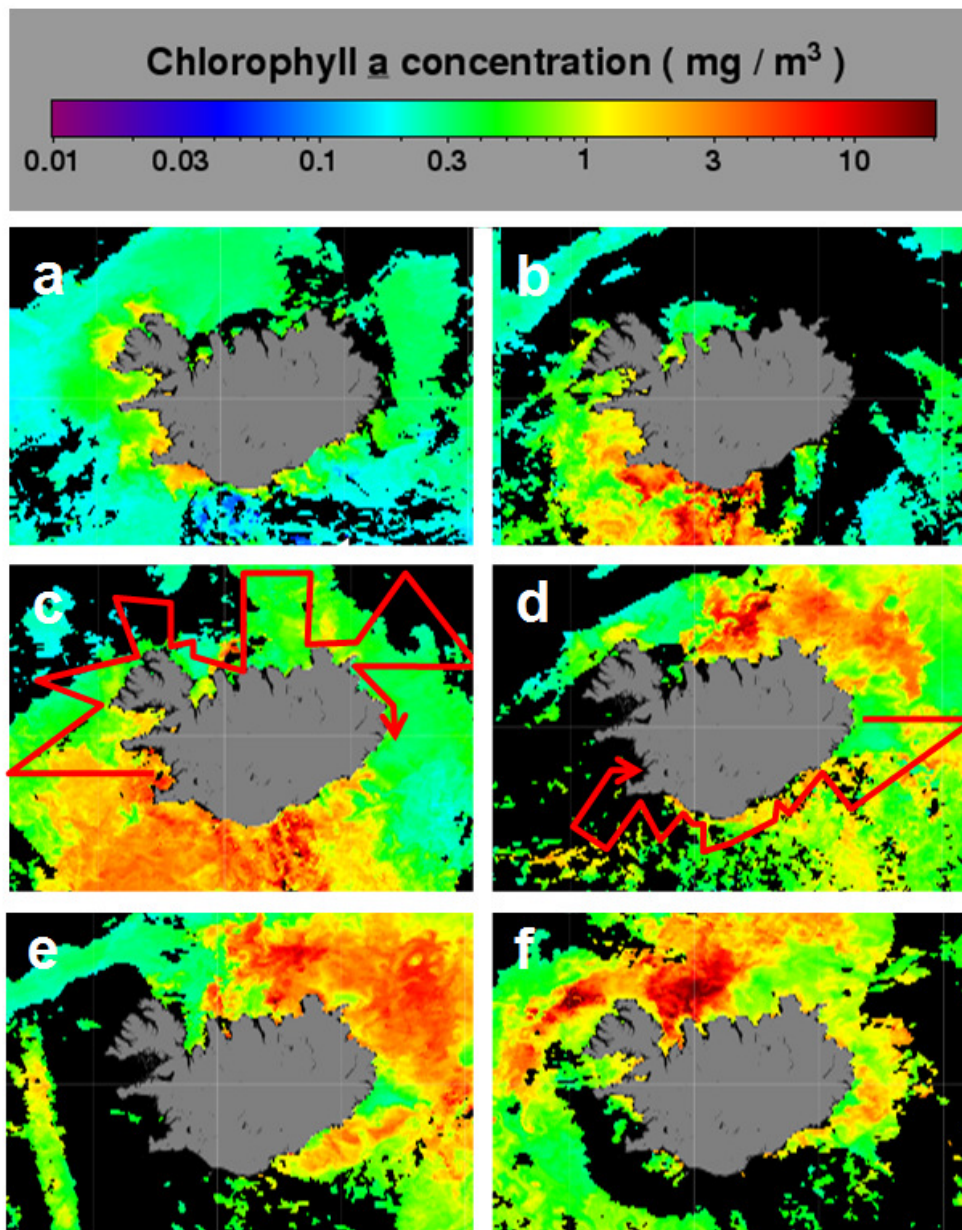


6. mynd. Magn a-blaðgrænu ( $\text{mg m}^{-3}$ ) á 10 m dýpi í hafinu umhverfis Ísland, 14. - 29. maí 2012.

Figure 6. Distribution of chlorophyll a ( $\text{mg m}^{-3}$ ) around Iceland, at 10 m depth, during May 14 - 29 2012.

fannst fádæma lítill gróður á svæðinu í heild sinn norðan og austan landsins. Lág blaðgrænegildi og hár styrkur bæði nítrats og kísils báru vott um að vorkoma gróðurs fór óvenju seint af stað þetta árið. Af niðurstöðum mælinga á styrk nítrats mátti þó greina að gróður hafi tekið við sér grunnt út af norðaustur horni landsins. Þegar komið var á Selvogsbanka í lok leiðangursins, mældist þar talsverð blaðgræna. Jafnframt sést (4. mynd) að umtalsverð lækkun hafði átt sér stað í bæði nítrati og kísli á stóru svæði suður af landinu og að styrkur kísils var orðinn það lítill að hann takmarkaði vöxt kísilþörunga. Af þessu má ráða að kísilþörungar höfðu náð að vaxa sunnan landsins áður en við komum á svæðið og að vorblómi kísilþörunga var yfirstaðinn þar.

Vísbendingar um það hvernig framvinda svifgróðurs varð vorið 2013 má fá með því að rýna í fjarmælingar frá gervitunglum. Af myndum frá MODIS fjarnefna bandarísku geimferðastofnunarinnar (NASA), má ráða að skömmu eftir að við sigldum yfir rannsóknasvæðið varð umtalsverð aukning í blaðgrænu norður og austur af landinu (7. mynd d-f) og myndirnar staðfesta að hámarkið sunnan landsins á umræddu tímabili hafði gengið yfir skömmu áður en komið var að svæðinu (7. mynd b-c). Ekki verður farið nánar út í túlkun þessara gagna að sinni, en í næsta hefti af "Þættir úr vistfræði sjávar" verður sagt frá ítarlegu mati á gervitunglagögnum, sem sækja má frá opnum gagnaveitum um magn blaðgrænu í efstu metrum sjávar, samkvæmt úttekt sem verið er að vinna fyrir hafsvæðið umhverfis Ísland. Sýnt er að með staðbundinni aðlögun má bæta niðurstöður staðlaðra gagna yfir blaðgrænu frá gervitunglum og að leiðrétt gögn gefa umtalsvert réttari mynd af framvindu gróðurs við Ísland.



7. mynd. Framvinna gróðurs í hafinu umhverfis Ísland vorið 2013, skv. breytingum á magni blaðgrænu við yfirborð sjávar (MODIS), skráð meðaltöl fyrir átta daga í senn frá byrjun maí (a) til miðs júní (f). Leiðarlína skipsins er sýnd með rauðri hlykkjóttri línu á mynd c og d. Lönd eru lituð grá, en svart þekur svæði sem ýmist er hulin ís- eða skýjum. Fjarmælingarnar eru sóttar af vefsvæðinu <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cgi/l3> og birtar með góðfúslegu leyfi NASA.

*Figure 7. Development of phytoplankton spring bloom around Iceland 2013, according to remote sensing of the changes in surface chlorophyll *a* concentrations (MODIS) averaged for every 8 days from early May(a) to mid June (f). Landmasses are grey and the black areas are covered by ice or clouds. The maps were downloaded from <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cgi/l3>, and published, with the courtesy of NASA.*

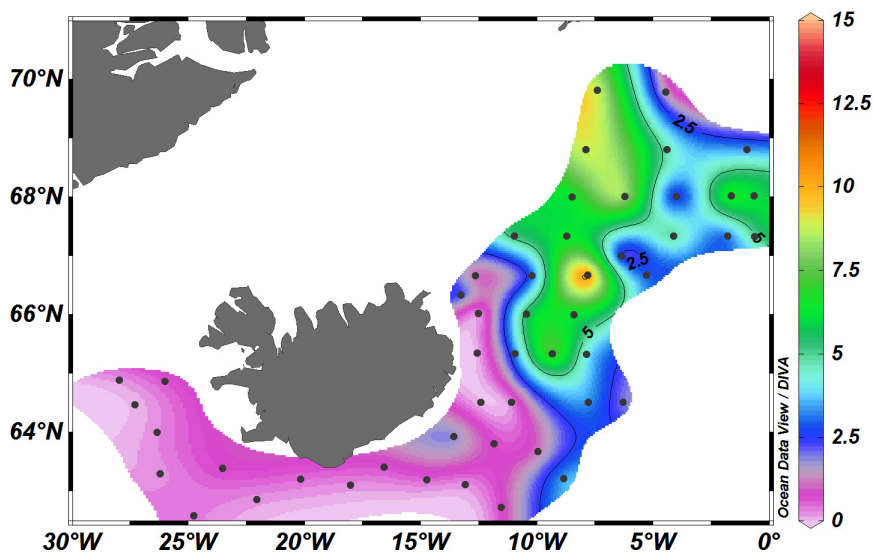
## Dýrasvif

### Zooplankton

Árið 2013 var magn og útbreiðsla átu könnuð í síldar- og kolmunnaleiðangri (30. apríl-18. maí), vorleiðangri (14.-29. maí) og makrilleiðangri (12. júlí-7. ágúst). Í síldar- og kolmunnaleiðangrinum var megináherslan á að rannsaka átumagn í Austurdjúpi en einnig voru teknar rannsóknastöðvar yfir köntunum vestur og suður af landinu. Í vor- og makrilleiðöngnum voru tekin sýni allt umhverfis landið, í fyrrnefnda leiðangrinum voru flestar rannsóknastöðvar yfir landgrunninu en í þeim síðari í úthafinu. Rannsóknir þessar eru liður í að auka skilning okkar á tengslum umhverfispáttá, plöntu- og dýrasvifs, og vexti og viðgangi fiskistofnanna við landið. Í öllum þessum leiðöngnum er sýnataka sambærileg, sýnum er safnað úr yfirborðslögum (0-50 m) með fínriðnum háfum (WP2, 200 $\mu$ ) og þau greind með tilliti til þurrvigtar strax að afloknum leiðöngnum.

Í fyrri hluta maí fannst mjög lítið af átu fyrir sunnan landið og á grunnmiðum fyrir austan (8. mynd). Í Austurdjúpi fannst hins vegar mikið af átu, einkum var mikið af átu austan við 10°. Norðarlega á þessu svæði voru póláta og sviflægar marflær áberandi en rauðáta sunnar. Í Noregshafi hefur átumagn verið að aukast smávægilega frá 2009 þegar áta mældist í lágmarki á því svæði.

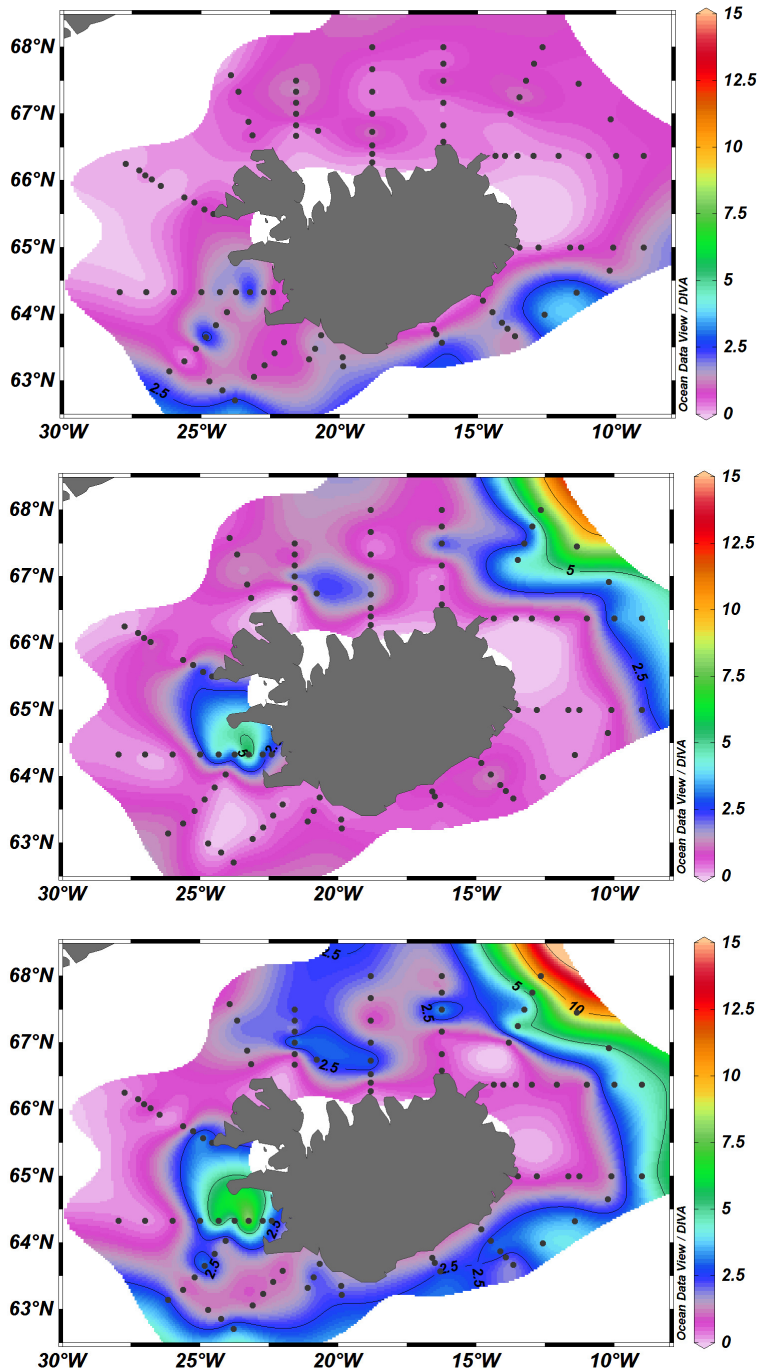
Á 9. mynd er sýnd útbreiðsla átu í vorleiðangri. Áður en sýnin voru vegin voru þau stærðarflokkuð með því að sía þau í gegnum sigti með 1 mm möskva. Það sem fer í gegnum sigtin eru aðallega smærri



8. mynd. Útbreiðsla dýrasvifs í yfirborðslögum (g þurrvigt  $m^{-2}$ , 0-50 m) fyrir suðvestan, sunnan og austan landið og í Austurdjúpi 30. apríl-18. maí 2013.

Figure 8. Zooplankton distribution (g dry weight  $m^{-2}$ , 0-50 m) southwest, south and east of Iceland during 30 April - 18 May 2013.

svifdýr, eins og ungstig rauðátu, og hrúðurkarlalirfur og sjávarflær næst landi (<1 mm, 9. mynd A), en það sem verður eftir eru einkum tiltölulega stórar krabbaflær t.d. eldri þroskastig rauðátu, póláta og ljósáta (>1 mm, 9. mynd B). Smærri svifdýrin voru algengust fyrir utan landgrunnsbrúnirnar suður af landinu (9. mynd A), en þau stærri í Faxaflóa og djúpt norðaustur af landinu (9. mynd B). Líkt og í fyrri hluta máí var heildarmagn átu mest djúpt norðaustur af landinu en þar voru rauðáta og póláta mest áberandi í sýnunum (9. mynd C). Fyrir norðan, austan og sunnan var heildarmagnið yfirleitt meira á djúp-



9. mynd. Útbreiðsla dýrasvifs í yfirborðslögum (g þurrvigt m<sup>-2</sup>, 0-50 m) í hafinu við Ísland 14.-29. maí 2013; smááta (fer í gegnum 1000 μ síu, A), stóráta (verður eftir á 1000 μ síu, B) og heild (C).

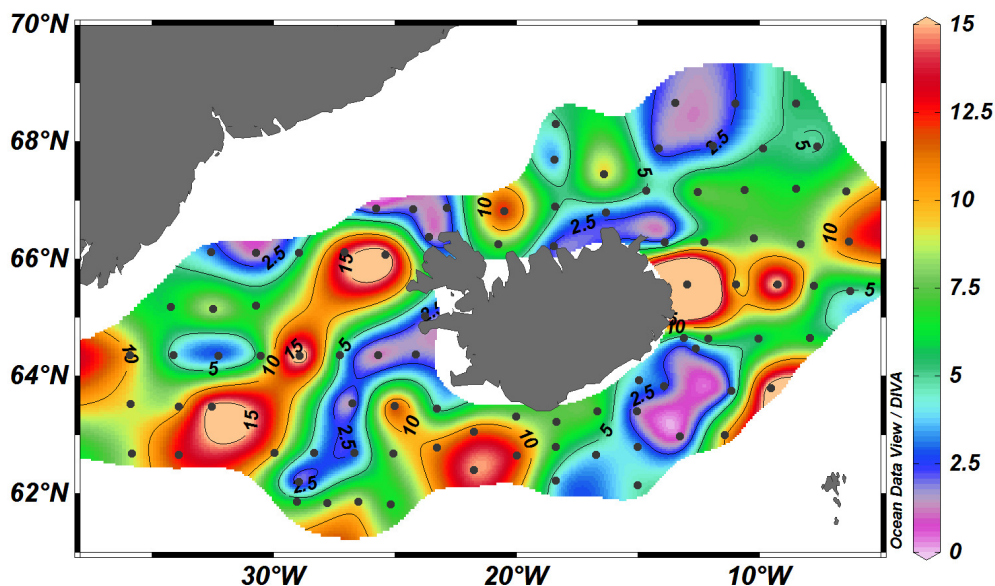
Figure 9. Zooplankton distribution (g dry weight m<sup>-2</sup>, 0-50 m) in the sea around Iceland during 14-29 May 2013, divided into <1000 μ (A) and >1000 μ (B) size classes and total (C).



miðum en grynna, en fyrir vestan landið var þessu öfugt farið, þar var magnið mest í Faxaflóa og grunnt út af Látrabjargi en minna utar (9. mynd C).

Þegar á heildina er lítið var átumagn við landið í vorleiðangri undir meðallagi. Á Vesturmiðum var átumagn nálægt meðallagi en annars staðar við landið var það talsvert undir meðallagi. Séu niðurstöður um átu bornar saman við vorið 2012 kemur í ljós að átumagníð var heldur meira á Austurmiðum en minna annars staðar við landið. Rauðáta var áberandi í flestum sýnum, einkum fyrir sunnan og vestan.

Í síðari hluta júlí og fram í ágúst hafði átumagn aukist mjög í yfirborðslögum á flestum stöðum við landið (10. mynd). Magnið var yfirleitt mest utan við landgrunnsbrúnirnar, einkum í Suðurdjúpi, Grænlandshafi, á grunnmiðum fyrir austan og í Austurdjúpi. Eins og í fyrri leiðöngrum var rauðáta algengasta tegundin.



10. mynd. Útbreiðsla dýrasvifs í yfirborðslögum (g þurrvigt  $m^{-2}$ , 0-50 m) í hafinu við Ísland 12. júlí. – 7. ágúst 2013.

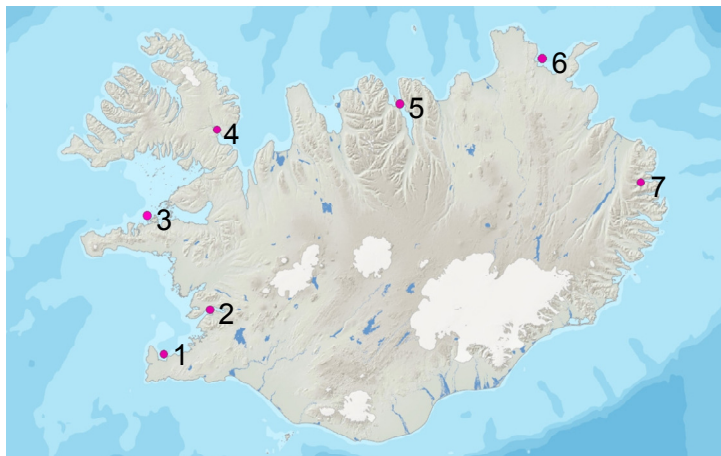
Figure 10. Zooplankton distribution (g dry weight  $m^{-2}$ , 0-50 m) in the sea around Iceland during 12 July – 7 August 2013.

## Vöktun eiturbörunga

### Harmful algae

Vöktun á eiturbörungum á hefðbundnum svæðum árið 2013 var heldur umfangsminni en undanfarin ár. Í Eyjafirði lagðist skelfiskræktun af fyrri hluta ársins og bárust einungis 3 sýni úr firðinum, það síðasta 10. apríl. Í Hvalfirði var vöktun meirihluta ársins eða frá lokum febrúar og fram til loka nóvember, sýnataka þar var heldur meiri

en 2012 (18 sýni 2013 en 11 sýni 2012). Í Mjóafirði eystri dróst sýnataka verulega saman, 15 sýni voru tekin 2012 en einungis 5 sýni 2013, eitt í janúar og fjögur yfir hágróðurtímann 18. júní til 17. júlí. Í Breiðafirði dróst sýnataka einnig saman úr 30 sýnum árið 2012 í 18 sýni 2013, en sýnum var safnað frá lokum janúar til loka október. Í Stakksfirði var hins vegar sýnataka allt árið 2013, tekin voru 20 sýni frá janúar og fram í desember. Aðrir sýnatökustaðir árið 2013 voru Steingrímsfjörður, en þaðan bárust 3 sýni og Þistilfjörður, þaðan sem 5 sýni bárust (11. mynd).



11. mynd. Sýnatökustaðir vegna vöktunar eiturbörunga árið 2013. 1: Stakksfjörður, 2: Hvalfjörður, 3: Breiðafjörður, 4: Steingrímsfjörður, 5: Eyjafjörður, 6: Þistilfjörður, 7: Mjóifjörður eystri.






Figure 11. Monitoring stations for toxic algae in 2013. 1: Stakksfjordur, 2: Hvalfjordur, 3: Breidafjordur, 4: Steingrimsfjordur, 5: Eyjafjordur, 6: Thistilfjordur, 7: Mjoifjordur.

Frekar lítið var um lokanir á árinu vegna hættu á skelfiskeitrun (Tafla 1). Oftast var varað við neyslu í Hvalfirði eða 5 sinnum, einu sinni í Breiðafirði, þrisvar sinnum í Mjóafirði eystri og aðeins einu sinni í Stakksfirði. Annars staðar var ekki varað við neyslu skelfisks árið 2013. Oftast var varað við hættu á DSP-eitrun í skelfiski vegna fjölda *Dinophysis* tegunda í svifinu, eða 7 sinnum. Vegna hættu á PSP-eitrun af völdum *Alexandrium* tegunda var varað við neyslu skelfisks 3 sinnum, en aldrei vegna hættu á ASP-eitrun af völdum *Pseudonitzschia* tegunda.

Vöktun á eiturbörungum í tengslum við tínslu, veiðar og ræktun skelfisks er samstarfsverkefni Matvælastofnunar, Hafrannsóknastofnunar, skelfiskveiðimanna og kræklingræktenda. Umsjón og ábyrgð með verkefninu hefur Matvælastofnun, en Hafrannsóknastofnun hefur umsjón með sýnatökubúnaði, móttöku sýna, tegundagreiningu svifbörunga og talningu á eiturbörungum ásamt því að halda úti heimasíðu vöktunarinnar á [www.hafro.is/voktun](http://www.hafro.is/voktun), þar sem hagsmunaaðilar og almenningur getur fylgst með ástandi þeirra svæða sem vöktuð eru hverju sinni.

Tafla 1. Lokanir vegna hættu á skelfiskeitrun árið 2013.  
 Table 1. Status of monitoring areas according to toxic algal cell counts during 2013.

2013	3.-9./6	10.-16./6	17.-23./6	24.-30/6	1.-7./7	8.-14./7	15.-21./7	22.-28./7	29./7-4./8	5.-11./8	12.-18./8	19.-25./8	26./8-1./9	2.-8./9	9.-15./9	16.-22./9	23.-29./9	30./9-6./10	7.-13./10	14.-20./10	21.-27./10	28./10-3./11	4.-10./11	11.-17./11	18.-24./11	25.-30/11	des.,2013	
Hvalfjörður			D			D																						
Breiðafjörður	P																											
Mjólfjörður					P		PD																					
Stakksfjörður		D																										

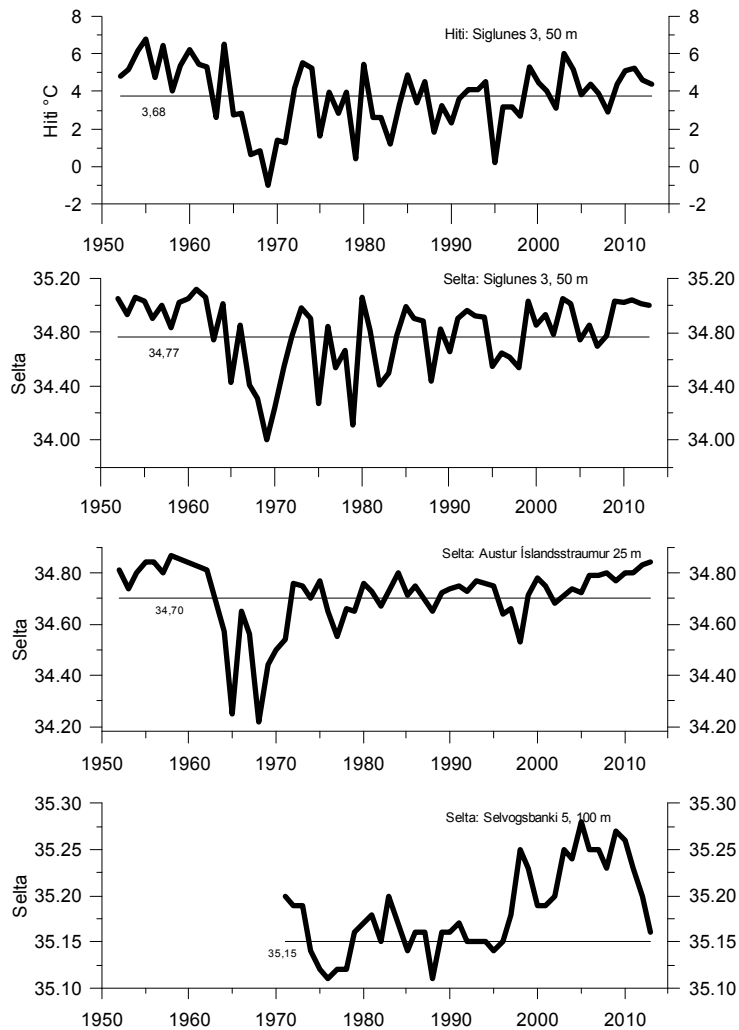
	Ekkert sýni tekið ( <i>no sample</i> )
	Ekki talin hættu á skelfiskeitrun ( <i>no warning</i> )
	Varað við hættu á DSP-eitrun ( <i>danger of Diarrhetic Shellfish Poisoning</i> )
	Varað við hættu á PSP-eitrun ( <i>danger of Paralytic Shellfish Poisoning</i> )
	Varað við hættu á ASP-eitrun ( <i>danger of Amnesic Shellfish Poisoning</i> )

Matvælastofnun hefur umsjón með eiturmælingum í skelfiski, en til þess að markaðsetja skelfisk verður hann að bera auðkennismerki Matvælastofnunar, sem er staðfesting á því að framleiðslan sé undir eftirliti stofnunarinnar, að eiturbörunar séu vaktaðir og að mælingar á þörungaeitri hafi verið gerðar.

## 2. LANGTÍMABREYTINGAR LONG-TERM CHANGES

### Hiti og selta

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 einu ári til annars í ljósi sjógerða og orkuskipta lofts og lagar (12. mynd).



12. mynd. Hiti og selta á 50 m dýpi á 3. stöð á Siglunessniði, 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 hlýsjarvar. Línuna fyrir A-Íslandsstráur má einnig nota til viðmiðunar fyrir hlý og köld ár, en þau gildi eru í raun mörkin þar sem nýismyndun 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).

(Note: English legend on top of the following page)

*Figure 12. Temperature and salinity 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 lines 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 the East-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).*

## Hiti og selta á Selvogsbanka

Í hlýja sjónum utan við landgrunnsbrún sunnan Selvogsbanka eru umhverfisaðstæður stöðugri en víðast hvar annars staðar við landið (sbr. fínni skala fyrir Selvogsbanka á 12. mynd). Þó er breytileiki í seltu og hita þar eins og annars staðar og skiptast á tímabil með seltu hærri en 35,15 og lægri en 35,15 (12. mynd). Seltan þar var tiltölulega lág á árunum 1974-1978, 1985-1988 og svo aftur 1992-1995. Lægri seltu á Selvogsbanka fylgir að jafnaði 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 2000-2002 en hækkaði aftur 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, litlu lægri vorið 2010 en lækkaði síðan vorin 2011 og 2012. Vorið 2013 lækkaði seltan enn og var nú sú lægsta frá því 1996. Þessar breytingar á seltu eru einkennandi fyrir Norður-Atlantshaf síðustu árin.

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 síðan oft í áhrifum á ástand sjávar fyrir norðan land þegar litið er til lengri tíma.

## Hiti og selta á Norðurmiðum

Hitastig og selta hafa verið mæld árlega að vori út af Siglunesi í meira en sex áratugi (12. mynd). Eftir hlýindaskeið á norðanverðu Norður-Atlantshafi tók að kólna um miðjan sjöunda áratugin er við tóku hafísár 1965-71 með köldum og seltulágum pólsjó í Íslandshafi.

Eins og sjá má á 12. mynd hafa síðan 1971 skipst á „hlýrri“ ár (1972-74, 1980, 1984-87, 1991-94) og „kaldari“ ár (1975, 1977, 1979, 1981-83, 1988-90, 1995, 1998) á Norðurmiðum. Þeim síðarnefndu má skipta í pólsjárvarár og svalsjárvarár eftir ríkjandi sjógerðum og lagskiptingu í sjónum. Þannig flokkast árin 1981-83, 1989, 1990 og 1995 til svalsjárvarára í sjónum fyrir Norðurlandi, en þá var lagskipting

tíltölulega lítil. Þetta ástand var sérstaklega áberandi árið 1995. Niðurstöður frá árunum 1996-98 sýna að heldur hlýnaði á Norðurlandi 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, sem var lægri en mælt hafði síðan á hafísárinu 1988. Árið 1999 var sjórinn fyrir norðan vel yfir meðalagi 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 vel yfir meðallagi árið 2003, einkum var útbreiðsla hlýsjávar mikil. Útbreiðslan minnkaði lítillega árið 2004 með heldur lægri hita og seltu. Það hefur einkennt áratuginn 2000 til 2010 að hiti og selta efri laga að vori hafa verið yfir eða nærri meðallagi og að vetrarhiti og selta hafa verið yfir eða nærri meðallagi að frátöldu árinu 2002. Árið 2011 lækkaði hins vegar vetrarselta og 2012 og 2013 hefur seltan að haust- og vetrarlagi verið lægri á Norðurlandi einkum vestanvert.

Seltan í Austur-Íslandsstraumi náði hámarki 1999 eftir fersk ár þar á undan, lækkaði síðan lítillega niður fyrir meðallag vorið 2002 en hefur farið stöðugt hækkandi síðan og hefur seltan að vori síðustu árin verið með hæstu gildum frá því fyrir hafísárin 1965-1971. Vetrarmælingar 2013-2014 sýna þó lækkandi seltu á þessum slóðum.

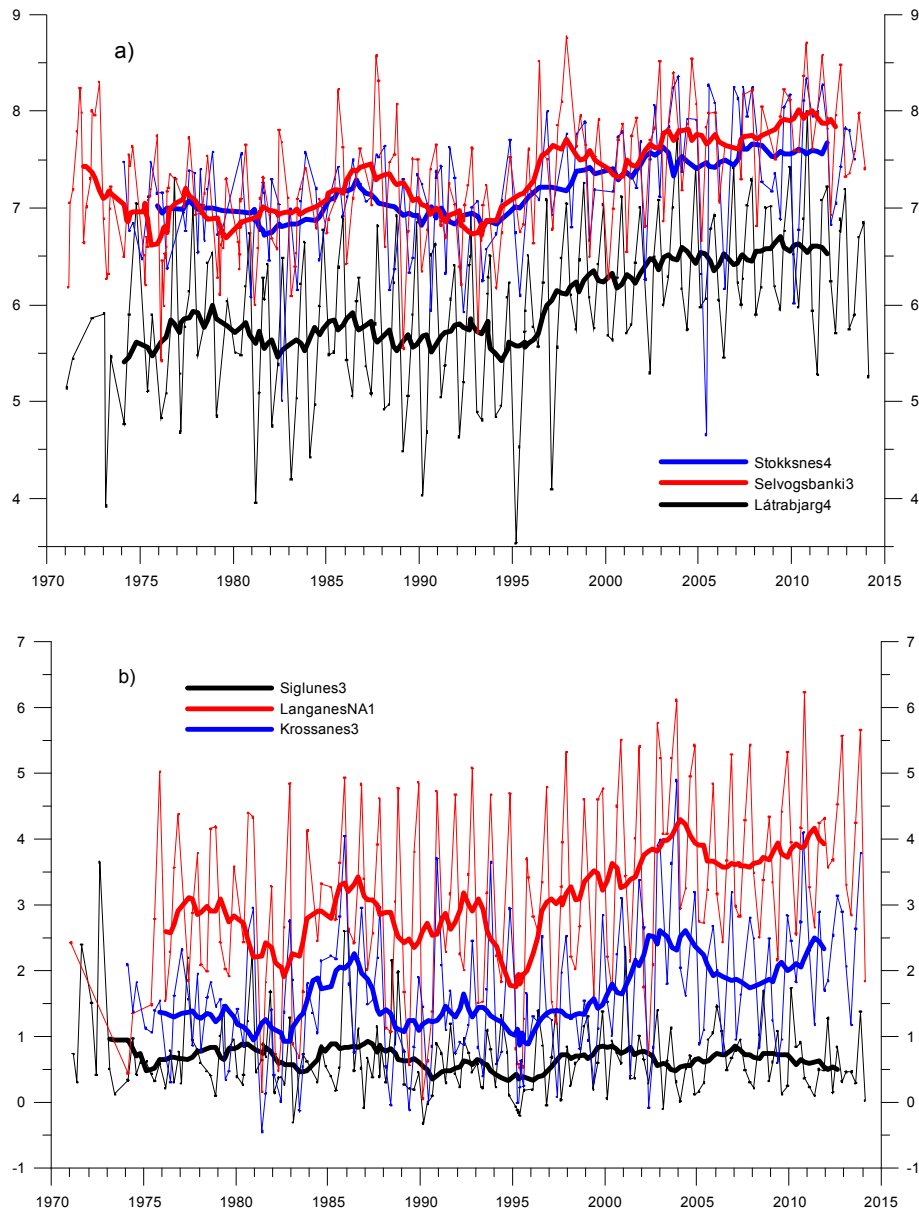
## **Botnhiti**

### *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 13. 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. Tekið er meðaltal af jafndreifðum 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 mest þar sem grynnt er við landið, en minnkar með vaxandi dýpi. Utan við landgrunnsbrúnina norðan og austan lands er botnhiti jafnan undir 0° C (djúpsjór Norðurhafa). Úti fyrir miðju Norðurlandi (í Eyjafjarðarál, dýpi allt að 700 m) nær kaldur djúpsjórinn langt inn að landi og en állinn skiptir norðurlandi í vestari og eystri hluta. Í landgrunnshlíðunum sunnan og vestan lands fer botnhiti einnig lækkandi með vaxandi dýpi, en þó fer hann ekki mikið niður fyrir 4°C.

Dýpi mælistöðva á 13. mynd er mismunandi og ársveiflan (grennri línan) því mismikil. Þykka línan sýnir hlaupandi meðaltal og



13. 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 keðjumeðaltal 13-gilda sem nálgast þriggja ára hlaupandi meðaltal (þykk lína í sama lit). Gildi frá árunum fyrir 1990 eru meðaltal línulega brúaðra óreglulegra punktmælinga (sjótaka). Gildi frá árunum eftir 1990 eru meðaltal samfelldra mælinga eftir dýpi (síríta). a) Botnhiti á stöðvum sunnan og vestan við landið. Stokksnes4 (botndýpi um 540 m), Selvogsbanki3 (botndýpi um 150 m) og Látrabjarg4 (botndýpi um 180 m). 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 13. 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 in same color). Values from before 1990 are from interpolated water-sampler data. Values from after 1990 are from continuous CTD data. a) Near-bottom temperature at stations south and west of Iceland. Stokksnes4 (bottom depth about 540 m), Selvogsbanki3 (bottom depth about 150 m) and Látrabjarg4 (bottom depth about 180 m). b) Near-bottom temperature at stations north and east of Iceland. Siglunes3 (bottom depth about 470 m), Langanes NA1 (bottom depth about 190 m) and Krossanes3 (bottom depth about 210 m).

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 austurs eftir landgrunninu. Stöðvarnar sunnanlands sýna að hiti yfir botni hefur haldist hár seinustu 17 árin og að hlýrri sjór var jafnvel meira áberandi vestanlands og hlýindi héldust við botn á þessum slóðum í stórum dráttum áfram 2013 þó þau hafi minnkað aðeins eftir 2011. Sumarmælingar (í ágúst) á Selvogsbanka og á Stokksnesi hafa verið óreglulegar síðustu ár.

Hitabreytingar við botn eru að jafnaði tiltölulega litlar á stöð 3 á Siglunessniði (Siglunes 3) þar sem botndýpi er meira en á hinum stöðvunum fyrir norðan og austan (13. mynd b). Merkja má hærri botnhita á landgrunninu norðaustan og austanlands á stöð 1 á Langanesi NA og stöð 3 á Krossanesi frá því um eða upp úr aldamótum. Fyrir norðan land hefur síðasti áratugur almennt einkennst af því að vetrarhiti við botn hefur að jafnaði verið ívið hærri en áratuginna þar á undan.

### Dýrasvif

Í meira en 50 ár hafa farið fram árlegar athuganir á átu umhverfis landið í því augnamiði að fylgjast með langtímabreytingum í vexti og viðgangi átunnar. Í upphafi voru þær eingöngu stundaðar út af Norðurlandi í sambandi við síldarleit og á þeim slóðum ná gögnin því lengst aftur í tímann, en frá árinu 1971 hefur rannsóknunum verið sinnt allt í kringum landið í vorleiðöngrum. Til að gögnin verði samanburðarhæf hefur þeim verið safnað á nokkurn veginn sama árstíma ár hvert (maí-júní) og með svipuðum aðferðum. Á vorin er átan í örum vexti og er talið að breytileikinn í átumergð frá ári til árs á þessum árstíma gefi vísbendingu um mismunandi heildarframleiðslu átu yfir sumarið, en bæði vorvöxtur og heildarframleiðsla dýrasvifsins eru talin ráðast af atriðum eins og umhverfisskilyrðum og fæðuframboði

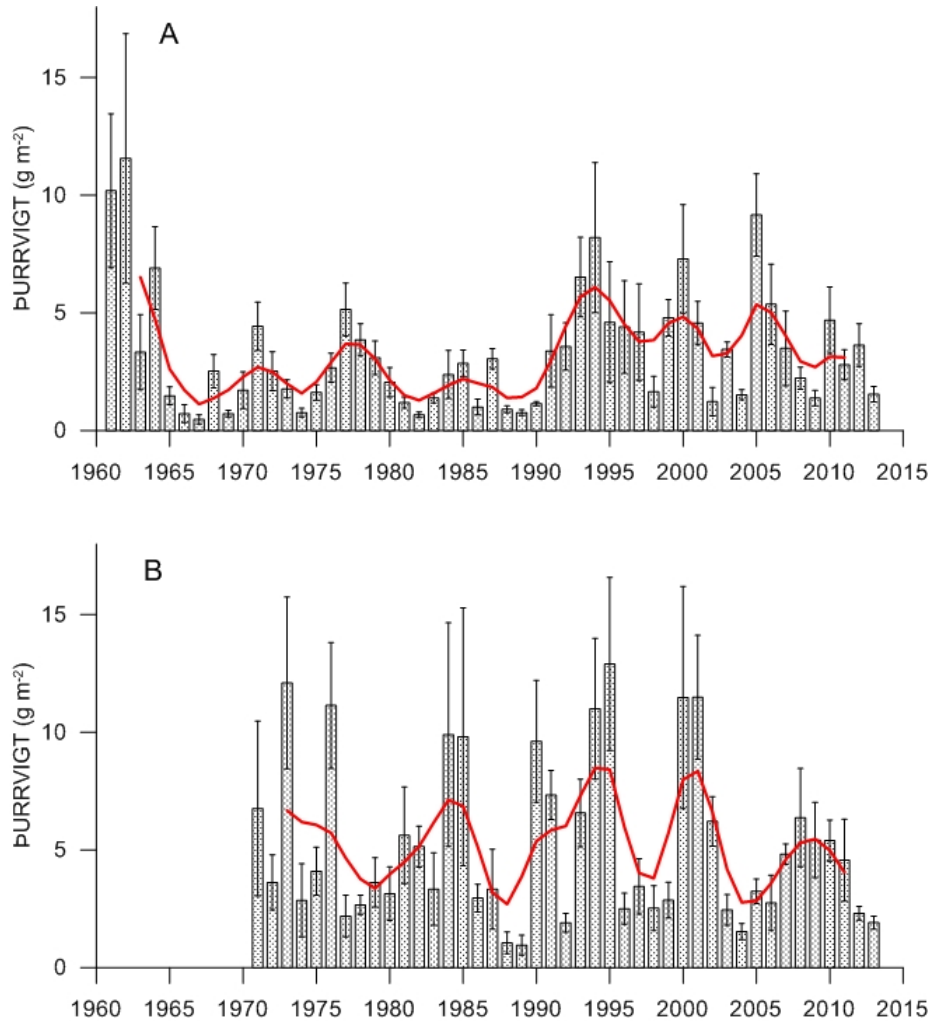
Langtímabreytingar á átumagni á Selvogsbanka- og Siglunessniðum eru sýndar á 14. mynd. Gildin sem sýnd eru á myndinni eru meðaltalsgildi fyrir allar stöðvar á viðkomandi sniðum. Einnig eru sýnd 5 ára keðjumeðaltöl. Fram kemur að miklar sveiflur hafa verið í átumagni á báðum sniðum þar sem skiptast á 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 mjög mikið af átu þegar rannsóknirnar hófust í upphafi sjöunda áratugarins, en síðan hafa liðið um 5-10 ár á milli hæstu gilda (sbr. keðjumeðaltölin á 14. mynd A). Vorið 2013 var átumagn á Siglunessniði undir langtímameðaltali.

Á Selvogsbanka voru miklar sveiflur í átumagni milli ára í upphafi mælitímabilsins (1971-1977). Eftir það verða breytingar milli ára reglubundnari, með 5-10 ára bili milli hágilda líkt og fyrir norðan (sbr.



keðjumeðaltölin á 14. mynd A og B). Áta var síðast í hámarki á Selvogsbanka vorið 2008, en síðan hefur átumagn farið lækkandi á sniðinu og var undir meðallagi vorið 2013.



14. mynd. Breytingar í átumagni ( $\text{g þurrvigt m}^{-2}$ , 0-50 m) að vorlagi á A) Siglunessniði árin 1961-2013 og B) Selvogsbankasniði árin 1971-2013. Súlurnar sýna meðaltöl allra stöðva á sniðinu. Staðalskekka 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 14. Variations in zooplankton biomass ( $\text{g dry weight m}^{-2}$ , 0-50 m) in spring at A) Siglunes section 1961-2013, and B) Selvogsbanki section 1971-2013. The columns show means for all stations at the respective sections and the vertical bars denote standard error. The curved red lines show 5 year running mean. For location of the sections see Figure 1.

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

#### 3.1. HELSTU KALKMYNDANDI TEGUNDAHÓPAR Á BOTNI Í ÍSLANDSHAFI OG KALKMETTUN *MAJOR CALCIFYING BENTHIC TAXA IN THE ICELAND SEA AND CALCIUM CARBONATE SATURATION STATES*

Hrönn Egilsdóttir<sup>1,2</sup> og Jón Ólafsson<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Hafrannsóknarstofnun, <sup>2</sup> Háskóli Íslands, Jarðvísindadeild

##### **Ágrip**

Á heimsvísu er aukning á koldíoxíði ( $\text{CO}_2$ ) í sjó að valda súrnun sjávar og lækkandi kalkmettun. Vegna áhrifa hitastigs er kalkmettun lág í köldum sjó og í Íslandshafi lækkar pH og kalkmettun hraðar en þekkt er frá suðlægari mælistöðvum í Atlantshafi. Þrýstingur og lágt hitastig eykur uppleysanleika kalks og neðan ákveðins dýpis, kalkmettunardýpis, leysist kalk upp. Almennt liggur kalkmettunardýpið djúpt á hlýjum hafssvæðum en grynna á köldum hafssvæðum, t.d. norðan við Ísland. Kalkmettun er mikilvæg umhverfisbreyta fyrir kalkmyndandi lífríki því ef kalkmettun er of lág geta lífverur ekki framleitt kalk, og ef sjór er undirmettaður með tilliti til kalks leysast óvarðar kalkskeljar upp. Kalkgerðir hafa ólíka eðliseiginleika en margir hópar lífvera mynda kalkgerðina aragónít. Í Íslandshafi er mettunardýpið fyrir aragónít um 1700 metrar og grynna um 4 metra á ári hverju. Markmið þessarar greinar er upplýsa um helstu kalkmyndandi dýrahópa á botni Íslandshafs og í því sambandi er stuðst við fyrirliggjandi gögn sem safnað var á vegum BIOICE verkefnisins árin 1992-2004. Til viðmiðunar var reiknað mettunarstig kalkgerðanna kalsít og aragónít í vatnssúlunni niður að 2100 metra dýpi árið 2000, sem er innan þess tímaramma sem sýnataka á vegum BIOICE verkefnisins fór fram. Meðal hópa sem takmarkaðir voru við dýpi þar sem aragónít er yfirmettað má nefna hnytluætt, gimburkeljaætt, toppuætt, kuggsætt og nökkva.

##### **Abstract**

*Ocean acidification and decreasing calcium carbonate saturation is an ongoing global process due to a rise in carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ) levels. Calcium carbonate saturation is low in cold seawater and in the Iceland Sea pH and calcium carbonate saturation is decreasing at a more rapid rate compared to more southern sampling stations. Pressure increases the solubility of calcium carbonate and below a certain*

depth, the calcium carbonate compensation depth, calcium carbonate dissolves. Generally the calcium carbonate compensation depth is deep where oceans are warm, and shallow in cold waters, for example north of Iceland. Calcium carbonate saturation is an important environmental factor affecting calcifying organisms; if saturation states are too low organisms may not be able to calcify, and in undersaturated seawater unprotected shells dissolve. There are different types of calcium carbonates with different thermodynamic properties but many taxa produce aragonite. In the Iceland Sea the aragonite saturation horizon is at 1700 meters depth and shoaling at a rate of 4 meters per year. The aim of this article is to provide a list of major calcifying benthic taxa in the Iceland Sea based on data collected by the BIOICE project over the years 1992-2004. Saturation states for calcite and aragonite are calculated down to 2100 meters depth for the year 2000, which is within the time period of the BIOICE project. Among taxa identified to be limited to depths where aragonite is supersaturated are *nuculidae*, *astardidae*, *trochidae*, *scaphandridae* and *polyplacophora*.

## Inngangur

Áætlað er að 30% þess koldíoxíðs ( $\text{CO}_2$ ) sem losað hefur verið út í andrúmsloftið af manna völdum hafi verið tekið upp af heimshöfunum (Sabine et al., 2004). Vegna upptöku á  $\text{CO}_2$  hefur meðal sýrustig (pH) yfirborðssjávar lækkað úr 8,2 frá því fyrir iðnvæðingu, niður í pH 8,1 (Orr et al., 2005). Það þýðir að styrkur vetnisjóna hefur hækkað um 30%. Því er spáð að meðal pH yfirborðssjávar gæti fallið niður í 7.6 fyrir lok aldarinnar (Caldeira & Wickett, 2003).

Aukning á styrk koldíoxíðs í sjó veldur hliðrun á efnajafnvægi ólífræns kolefnis sem leiðir af sér súrnun sjávar og lægri kalkmettun. Áður en lengra er haldið er vert að skilgreina nokkur hugtök og fara yfir þá efnafræðilegu ferla sem eiga þátt að máli.

- Sýrustig er mælt á pH skala sem er veldisfall af styrk vetnisjóna ( $[\text{H}^+]$ ) og sýrustig lækkar eftir því sem styrkur vetnisjóna vex:  $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$
- Þegar koldíoxíð gengur í samband við vatn eykst styrkur vetnisjóna og bíkarbonatjóna:  $\text{CO}_2 (\text{aq}) + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$
- Vetnisjónir ganga í samband við karbonatjónir og því minnkar styrkur karbonatjóna:  $\text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-} \rightarrow \text{HCO}_3^-$
- Leysnimargfeldi kalks er skilgreint sem  $K_{\text{sp}} = [\text{Ca}^{2+}]_{\text{sat}} [\text{CO}_3^{2-}]_{\text{sat}}$ .
- Kalkmettunarstig (omega,  $\Omega$ ) stjórnast af styrk kalsíumjóna og karbonatjóna í sjó og af leysnimargfeldi kalks:  $\Omega = [\text{Ca}^{2+}][\text{CO}_3^{2-}] / K_{\text{sp}}$ .
- Minni styrkur karbonatjóna ( $[\text{CO}_3^{2-}]$ ) leiðir af sér lægri kalkmettunarstig og þar með aukna leysni kalks:  $\text{CaCO}_3 (\text{s}) \rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-}$
- $\Omega < 1$  táknar undirmettun en í undirmettuðum sjó getur upp-

leysing kalks átt sér stað.

- $\Omega > 1$  táknar yfirmettun. Ólífræn útfelling kalks er mjög hægfara ferli. Því getur yfirmettun kalks í sjó verið stöðugt ástand.
- $\Omega = 1$  táknar efnafræðilegt jafnvægi, og það dýpi í vatnsúlunni þar sem  $\Omega = 1$  kallast kalkmettunardýpi.

Kalkleysni vex við lágan hita, aukið dýpi og háan styrk  $\text{CO}_2$ . Þá mynda lífverur þrjár kalkgerðir sem hafa ólíka eðliseiginleika; aragónít, kalsít og magnesíumríkt kalsít (Mg-kalsít). Aragónít leysist auðveldar upp en kalsít, en uppleysanleiki kalsíts eykst hins vegar eftir því sem hlutfall magnesíum í því hækkar. Magnesíumríkt kalsít (Mg-kalsít) hefur hátt hlutfall af magnesíum karbónati ( $\text{MgCO}_3$ ) á móti kalsíum karbónati ( $\text{CaCO}_3$ ). Þegar  $\text{MgCO}_3$  er yfir u.þ.b. 12% er Mg-kalsít orðið uppleysanlegra en aragónít, en hlutfall  $\text{MgCO}_3$  getur náð allt að 30% hjá t.d. rauðþörungum í hlýsjó (Chave, 1954). Þegar kalkmettun sjávar lækkar verður sjórinn undirmettaður með tilliti til aragóníts og Mg-kalsíts áður en hann verður undirmettaður með tilliti til kalsíts. Þess vegna eru þær lífverur sem mynda aragónít (t.d. lindýr og kóralar) og Mg-kalsít (t.d. skrápdýr og rauðþörungar) taldar viðkvæmari fyrir súrnun sjávar heldur en lífverur sem mynda hreint kalsít (Guinotte & Fabry, 2008).

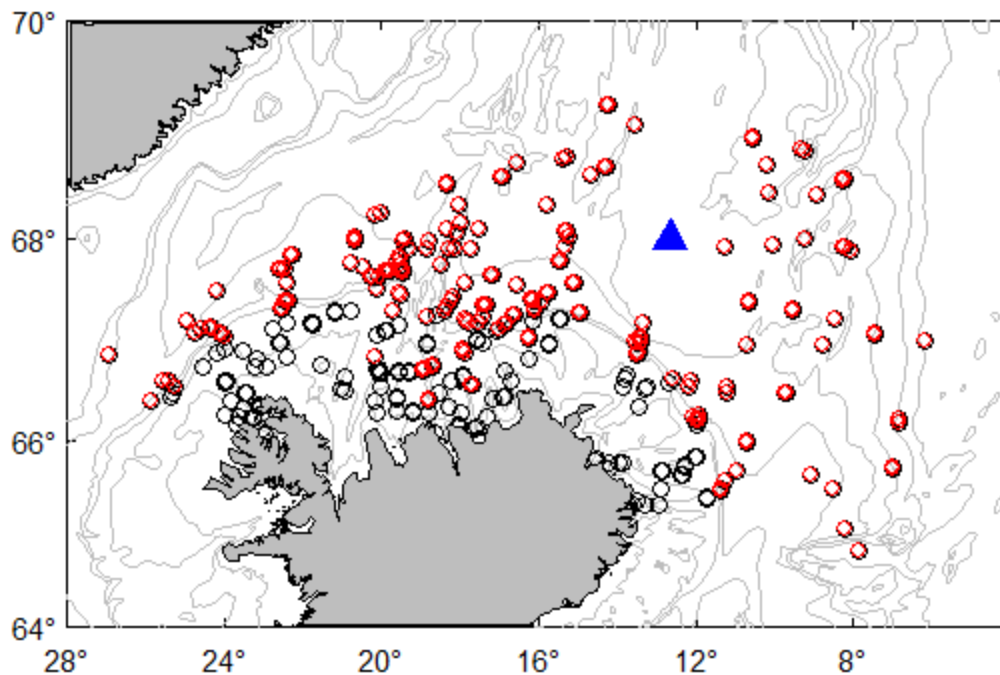
Á vegum Hafrannsóknarstofnunar hafa farið fram langtíma-mælingar á styrk koldíoxíðs í sjó á tveimur sýnatökustöðvum; annars vegar í Irmingerhafi ( $63^\circ\text{N}$ ,  $28^\circ\text{V}$ ) og hins vegar í Íslandshafi ( $68^\circ\text{N}$ ,  $12^\circ 40'\text{V}$ ). Frá árinu 1985 hefur styrkur koldíoxíðs í yfirborði verið mældur, en eftir 1994 var einnig farið að taka sjósýni úr allri vatnsúlunni niður að botni. Á heimsvísu eru fáar sambærilegar sýnatökustöðvar, þar sem mælt hefur verið úr vatnssúlunni líkt og gert er hér á landi, í jafn langan tíma. Við Ísland eru einnig norðlægustu langtíma sýnatökustöðvarnar. Því hafa þessar mælingar gefið einstakar upplýsingar um hraða súrnunar sjávar. Niðurstöðum frá langtímamælingum í Íslandshafi var lýst í tímaritsgrein sem út kom árið 2009 í tímaritinu Biogeosciences (Olafsson et al., 2009). Þar kom fram að súrnun sjávar við Ísland væri 50% hraðari en mælingar sem birtar höfðu verið frá suðlægari sýnatökustöðvum gáfu til kynna (t.d. BATS við Bermúda, og ESTOC við Kanaríeyjar) (Olafsson et al., 2009). Þá greindu höfundar frá því að kalkmettun ( $\Omega$ ) í yfirborði væri 1,5 fyrir aragónít en 2,5 fyrir kalsít en ef kalkmettun er undir 1 þá hefst uppleysing kalks. Kalkmettun lækkar almennt með dýpi vegna aukinnar leysni við lægra hitastig og meiri þrýsting og á ákveðnu dýpi, kalkmettunardýpi, hefst uppleysing kalks. Kalkmettunardýpið hefur m.a. áhrif á setmyndun í hafinu, en í hafdjúpunum, neðan við kalkmettunardýpið, einkennist set af kalklausum rauðum leir. Í fyrrnefndri grein kom fram að kalkmettunardýpi aragóníts ( $\Omega_{\text{aragónít}} = 1$ ) væri á um 1700 metra dýpi í Íslandshafi og að þessi mörk grynna um 4 metra á ári. Með því að byggja á gögnum um dýpi og lögum botns í Íslandshafi (Jakobsson, 2002) áætluðu höfundar að um  $800 \text{ km}^2$  af sjávarbotni bættust við það

svæði sem baðað væri í undirmettuðum sjó, ár hvert. Sjórinn var yfirmettaður af kalsíti á öllum dýpum á þessari mælistöð sem nær niður að 1850 metra dýpi.

Tengsl kalkmettunar og dreifingar kalkmyndandi lífvera með dýpi hafa lítið verið rannsökuð á heimsvísu en slíkar rannsóknir eru nauðsynlegar ef spá á fyrir um hvaða áhrif lækkandi kalkmettun mun hafa á vistkerfi í framtíðinni. Við framkvæmd slíkra rannsókna skal hafa hugfast að:

1. Kalkmyndandi lífverur þrífast best í umhverfi þar sem kalk er yfirmettað. Til dæmis er talið að hlýsjávarkóralrif þurfi mikla yfirmettun aragóníts ( $\Omega_{\text{aragonit}} > 3,3$ ; (Hoegh-Guldberg et al., 2007)) til að geta viðhaldið sér. Þær lífverur við Ísland sem mynda aragónít þola mun lægra  $\Omega$ , t.d.  $\Omega_{\text{aragonit}} > 1,2$ , en hvaða kalkmettunarstig takmarkar afkomu lífvera fer eftir tegund og aðstæðum hverju sinni. Þá eru til lífverur sem geta myndað kalk í sjó sem er undirmettaður m.t.t. kalks, en þær lífverur sýna þá sérstaka aðlögun, t.d. með því að breyta kalkmettun í nærumhverfi sínu svo það verði hagstæðara fyrir kalkmyndun og/eða vernda kalkið með lífrænum vefjum.
2. Á fyrstu stigum lífsferlisins, þegar kalkmyndun hefst, eru kalkmyndandi lífverur almennt hvað viðkvæmastar fyrir lágri kalkmettun í umhverfinu. Þau mörk kalkmettunar sem lífverur þola í umhverfi sínu geta því einkum tengst þessu stigi lífsferils þeirra (Wittmann & Portner, 2013). Þannig endurspeglar dreifing langlífra og/eða óstaðbundinna tegunda með dýpi ekki endilega kjörbúsvæði fyrir ungviði tegundanna.
3. Kalkmettun er einn af mörgum umhverfisþáttum sem kalkmyndandi lífverur verða fyrir áhrifum af en fæðuframboð, hiti, selta og þrýstingur eru dæmi um aðra mikilvæga umhverfisþætti (Wittmann & Portner, 2013). Umhverfisþættir geta verið samverkandi (Pörtner, Langenbuch, & Michaelidis, 2005) en sem dæmi þá virðist kræklingur þola betur hátt  $\text{CO}_2$ /lága kalkmettun ef fæðuframboð er nægilega mikið í umhverfi hans (Melzner et al., 2011).

Til að kanna hvaða kalkmyndandi lífríki væri að finna á hafsbotni í Íslandshafi voru skoðuð gögn sem safnað hafði verið í BIOICE verkefninu á árunum 1992-2004, en verkefnið hafði þann tilgang að safna upplýsingum um sjávarhryggleysingja á botni umhverfis Ísland og meta útbreiðslu þeirra. Alls voru tekin 436 sýni af botni Íslandshafs þar sem ein eða fleiri tegundir lífvera koma fyrir (1. mynd). Botndýpi á sýnatökustöðvunum var mjög mismunandi eða frá 18 til 3006 metrar. Við höfum sérstaklega skoðað sýni sem safnað var neðan við 350 metra dýpi þar sem árstíðabundinn breytileiki er hverfandi og voru þau alls 259 talsins. Neðan við 350 metra dýpi var hitastig á bilinu -0,9 til 0,6 °C en hitastig var ekki skráð fyrir 15 af 259 botnsýnum. Skoðað var mesta dýpi þar sem valdar fylkingar, flokkar eða ættir fundust. Þá var reiknað kalkmettunarstig ( $\Omega$ ) fyrir kalsít og aragónít á því dýpi árið



1. mynd. Hringir sýna staðsetningu botnsýna sem safnað var í Íslandshafi á vegum BIOICE verkefnisins. Svartir hringir sýna þær botnsýnastöðvar, þar sem dýpi var  $\leq 350$  metrar, rauðir hringir meira en 350 metra dýpi. Blár þríhyrningur táknar sýnatökustöð þar sem efnafræðilegum upplýsingum var safnað.

*Figure 1. Open circles represent the locations of benthic samples in the Iceland Sea collected during the BIOICE project. Black circles show the benthic sampling stations where the bottom depth was  $\leq 350$  meters, red circles indicate more than 350 meters bottom depth. Blue triangle indicates the location of the sampling station where information on chemical components of the sea water was collected.*

2000, sem er innan tímaramma sýnatöku BIOICE verkefnisins. Kalkmettunarstig ( $\Omega$ , tafla 1) var reiknað fyrir 350 til 2100 metra dýpi í Íslandshafi með sömu aðferð og notuð er í (Olafsson et al., 2009) til að reikna dýpi kalkmettunar. Líkt og (Olafsson et al., 2009) eru notuð gögn frá einni sýnatökustöð (blár þríhyrningur á mynd 1) til þess að lýsa ástandi á öllum botnsýnastöðvum undir 350 metra dýpi. Stuttlega er vitnað í gögn frá sýnatökustöð í Irmingerhafi til samanburðar. Þar var kalkmettunarstig ( $\Omega$ ) fyrir kalsít og aragónít 2.1 og 1.3 á 1000 metra dýpi árið 2000, en í Íslandshafi var kalkmettunarstig ( $\Omega$ ) fyrir kalsít og aragónít 1,9 og 1,2 á sama dýpi og ári. Þessi munur stafar einkum af hærra hitastigi í Irmingerhafi.

#### *Kalkmyndandi hryggleysingjar í Íslandshafi*

Á heimsvísu eru algengar fjórar fylkingar kalkmyndandi botndýra: lindýr, skrápdýr, liðdýr og götungar. Eins og búast mátti við voru þessar fylkingar einnig áberandi í botnsýnum frá Íslandshafi (tafla 1). Hér er stuttlega fjallað um dýpsdreifingu hvernar fylkingar eða

**Tafla 1.** Algengir kalkmyndandi dýrahópar á botni Íslandshafs. Tölur í sviga sýna fjölda sýna þar sem viðkomandi flokkunarfræðilegi hópur fannst við sýnatökur á vegum BIOICE verkefnisins, af alls 436 sýnum. Mesta dýpi er hámarksbotndýpi þar sem hóparnir fundust og mettunarstig ( $\Omega_{\text{aragónít}}$  og  $\Omega_{\text{kalsít}}$ ) eru reiknuð fyrir stöð á 68°N og 12°40' V.

**Table 1.** Common calcifying benthic taxa in the Iceland Sea. Numbers in brackets show the number of samples in which the taxa occurred during the BIOICE project, out of 436 samples in total. Maximum depth is the deepest station at which the taxa was sampled and the saturation state ( $\Omega_{\text{aragonite}}$  og  $\Omega_{\text{calcite}}$ ) is calculated for a station at 68°N and 12°40' V.

Fylking <i>Phylum</i>	Flokkur <i>Class</i>	Ætt <i>Family</i>	Kalkgerð* <i>Crystal form*</i>	Mesta dýpi <i>Maximum depth</i>	$\Omega_{\text{aragónít}}$ á mesta dýpi <i><math>\Omega_{\text{aragonite}}</math> at max depth</i>	$\Omega_{\text{kalsít}}$ á mesta dýpi <i><math>\Omega_{\text{calcite}}</math> at max depth</i>
Lindýr (Mollusca)	Samlokur (Bivalvia)	Trönuskeljarætt (Nuculanidae) (216)	A+K?	1648	1,1	1,6
		Ljósuskeljarætt (Ungulinidae) (208)	A+K?	2544	?	?
		Kesjuætt (Cuspidariidae) (202)	A+K?	2544	?	?
		Birðuætt (Arcidae) (189)	A+K?	2215	?	?
		Kræklingssætt (Mytilidae) (184)	A+K	1648	1,1	1,6
		Gimburskeljarætt (Astartidae) (178)	A	1130	1,2	1,8
		Diskaætt (Pectinidae) (114)	K+A?	3006	?	?
		Verticordiidae (91)	A+K?	1642	1,1	1,6
		Hnytluætt (Nuculidae) (87)	A	749	1,3	1,2
	Sniglar (Gastropoda)	Kóngætt (Buccinidae) (226)	A+K?	3006	?	?
		Belætt (Pleurotomidae) (216)	A+K?	2065	0,9	1,4
		Bauguætt (Rissoidae) (155)	A+K?	2002	0,9	1,5
		Poppuætt (Naticidae) (150)	A+K?	2069	0,9	1,4
		Bautaætt (Cancellariidae) (102)	A+K?	1648	1,1	1,6
		Kuggsætt (Scaphandriidae) (99)	A+K?	1306	1,2	1,8
		Toppuætt (Trochidae) (85)	A+K?	1012	1,3	1,9
	Sætennur / Hymur (Scaphopoda) (137)		A	1556	1,1	1,6
	Polyplacophora (Nökkvar) (40)		A	914	1,3	1,9
Skrápdýr (Echinodermata)	Sæstjörnur (Ophiuroidea) (87)		Mg-K	1648	?	?
	Krossfiskar (Asteroidea) (295)		Mg-K	3006	?	?
	Ígulker (Echinoidea) (84)		Mg-K	3006	?	?
Liðdýr (Arthropoda)	Stórkrabbar (Malacostraca) (236)		K+	1648	1,1	1,6
Götungar (Foraminifera) (158)			K-	1633	1,1	1,6

\*A: aragónít. K: kalsít. A+K?: annað hvort aragónít, kalsít eða hvorutveggja. K+: kalsít með öðrum efnum. Mg-K: magnesíumríkt kalsít. K- : kalsít eða ekki kalkmyndandi.

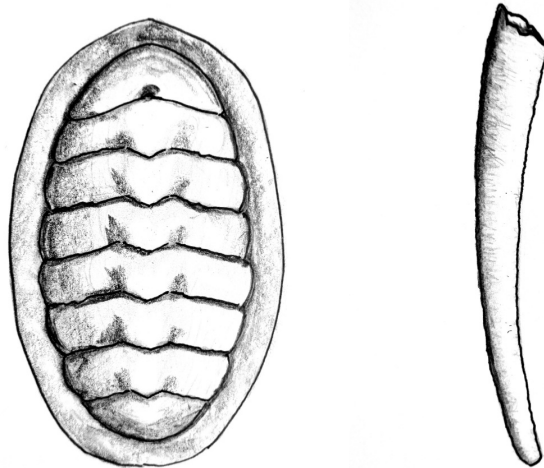
\* A: aragonite. K: calcite. A+K?: either aragonite, calcite or both. K+: calcite with other substances. Mg-K: high magnesium calcite. K- : calcite or non-calcifying.

flokka innan hennar. Vegna mikils fjölda tegunda innan flokka samloka og snigla er þeim skipt niður í algengar ættir.

#### *Lindýr (Mollusca)*

Samlokur og snigla er að finna í flestum botnsýnum í Íslandshafi, enda eru þeir meðal fjölbreyttustu flokka hryggleysingja í sjó og mikill fjöldi tegunda tilheyrir þessum flokkum. Í töflu 1 eru aðeins sýndar ættir samloka eða snigla sem voru í 85 eða fleiri sýnum í Íslandshafi. Samlokur og sniglar mynda aragónít, kalsít eða blöndu þessara kalkgerða en lifrustig samloka (og líklega snigla) mynda aragónít í upphafi, þó að kalsít myndist hjá sumum tegundum síðar (Gazeau et al., 2013). Mikill breytileiki eftir ættum er á mesta dýpi sem dýrin finnast á. Sumar ættir fundust á miklu dýpi þar sem sjór er undirmettaður m.t.t. aragóníts, og þar má nefna tegundir af diskaætt sem líklega mynda kalsít eða blöndu af kalsíti og aragóníti. Hins vegar voru tegundir af gimburkeljaætt mjög algengar á allt að 1000 metra dýpi en koma ekki fram í sýnum af meira en 1130 metra dýpi en líklega mynda þær einungis aragónít. Taka má fram að ekki eru til miklar upplýsingar um það hvaða kalkgerð ættir samloka og snigla sem finnast í Íslandshafi mynda.

Sætennur og nökkvar (2. mynd) mynda skeljar úr aragóníti en hvorugur hópurinn kom fram í sýnum af dýpi þar sem sjór er undirmettaður m.t.t. aragóníts. Báðir þessir hópar komu hins vegar fram í sýnum á talsvert meira dýpi í Irmingerhafi, suður af Íslandi, þar sem sjór er heitari og kalkmettunardýpið liggur dýpra.



2. mynd. Kalkskeljar a) nökkva (*Polyplacophora*) og b) sætanna (*Scaphopoda*) eru af kalkgerðinni aragónít.

*Figure 2. a) Chitons (Polyplacophora) and b) tusk shells (Scaphopoda) produce calcium carbonate shells with the crystal form aragonite.*



### *Skrápdýr (Echinodermata)*

Ígulker og krossfiskar fundust í sýnum af öllu dýptarbilinu en sæstjörnur var ekki að finna þar sem sjór er undirmettaður með tilliti til aragóníts. Þetta er áhugavert í ljósi þess að rannsóknir benda til þess að sæstjörnur séu viðkvæmari fyrir súrnun sjávar og lágri kalkmettun heldur en ígulker og krossfiskar (Dupont, Ortega-Martínez, & Thorndyke, 2010). Skrápdýr mynda Mg-kalsít en hlutfall magnesíum og kalsíum er breytilegt milli og innan tegunda. Ekki er hægt að ákvarða hvort skrápdýr í Íslandshafi búi við undirmettun eða ekki þar sem efna-samsetning kalks í skeljum þeirra er óþekkt. Á heimsvísu lækkar hlutfall magnesíum í kalki hjá skrápdýrum með vaxandi breiddargráðu og lækkandi hita (Lebrato et al., 2013) og að einhverju leiti með vaxandi dýpi (Lebrato et al., in review).

### *Liðdýr (Arthropoda)*

Stórkrabbar (Malacostraca) fundust í rúmlega helmingi þeirra sýna sem safnað var í Íslandshafi en voru ekki í sýnum sem tekin voru af meira en 1700 metra dýpi. Innan flokks stórkrabba eru margir ólíkir hópar og má þar telja krabba, rækjur, marflær og átu. Kalkmyndun í stórkröbbum er mjög breytileg en sumar tegundir hafa þykka skel en aðrar litla sem enga skel. Rannsóknir gefa til kynna að afleiðingar súrnunar sjávar munu verða breytilegar eftir tegundum en í heildina virðist þessi flokkur stórkrabba ekki vera jafn viðkvæmur gagnvart fyrirsjáanlegum breytingum og t.d. lindýr og skrápdýr (Whiteley, 2011; Wittmann & Portner, 2013).

### *Götungar (Foraminifera)*

Engir götungar voru í sýnum af meira en 1700 metra dýpi. Margir götungar mynda kalsít en einnig eru til tegundir sem mynda aragónít, og fer kalkmyndun yfirleitt fram innvortis (Lowenstam & Weiner, 1989). Sumir götungar mynda ekki kalk og til eru götungar sem líma saman korn úr seti eða mynda skeljar úr öðrum efna-samböndum en kalki. Á norðurslóðum eru götungar sem mynda kalk algengari ofan við kalkmettunardýpið en þar fyrir neðan eru götungar ríkjandi sem ekki mynda kalk (Scott & Vilks, 1991). Þannig gæti grynnkun kalkmettunardýpis í framtíðinni valdið breytingum á tegunda-samsetningu götunga á sjávarbotni en frekari rannsókna er þörf.

## **Umræða**

Hér hefur verið dregin upp gróf mynd af dreifingu algengra kalkmyndandi dýrahópa með dýpi, eins og hún birtist í gagnasafni BIOICE verkefnisins. Margir kalkmyndandi hópar fundust ekki í sýnum sem tekin voru af botni þar sem sjór er undirmettaður með tilliti til aragóníts. Illmögulegt er að ákvarða hvort kalkmettun sé þar ákvarðandi umhverfisþáttur fremur en t.d. dýpi, botngerð og hitastig, eða hvort dreifing lífverana eins og hún birtist í BIOICE verkefninu endurspeglir

takmarkaðan fjölda botnsýna. Útbreiðslumörk sumra hópa gætu bent til orsakasambands við lága kalkmettun við botn, því nokkrir hópar, þ.á.m. nökkvar og sætennur, komu fram í sýnum af talsvert meira dýpi suður af Íslandi þar sem kalkmettunardýpið liggur dýpra vegna hærra hitastigs. Þetta mynstur í dreifingu kalkmyndandi dýra styður þá tilgátu að kalkmettun sé áhrifaþáttur en þörf er á frekari rannsóknum. Almennt fækkar sýnum með dýpi í BIOICE verkefninu og af þeim 436 sýnum sem safnað var í Íslandshafi komu einungis 45 af meira en 1500 metra dýpi. Því er ekki útilokað að tegundahópar finnist á meira dýpi en gögnin gefa til kynna.

Ef tekið er mið af fyrirliggjandi rannsóknum á áhrifum súrnunar sjávar og lækkandi kalkmettunar á kalkmyndandi lífríki (AMAP, 2014; Wittmann & Portner, 2013), þá má telja líklegt að vistkerfi Íslandshafs verði fyrir áhrifum í framtíðinni. Þá er ekki er útilokað að kalkmettun hafi lækkað nægilega mikið frá iðnvæðingu til að hafa þegar valdið breytingum á vistkerfi Íslandshafs en erfitt er að fullyrða um slíkt. Ljóst er að þörf er á frekari rannsóknum á fyrirsjáanlegum breytingum í hafinu og líffræðilegum afleiðingum þeirra.

## Þakkir

Höfundar þakka Sólveigu Rósu Ólafsdóttur, Konráð Þórissyni og Kristjáni Guðmundssyni fyrir yfirllestur og góðar ábendingar.

## Heimildir

- AMAP. (2014). Arctic Ocean Acidification 2013: An Overview. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP) *Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP)* (pp. 27). Oslo, Norway.
- Bates, N., Astor, Y., Church, M., Currie, K., Dore, J., Gonaález-Dávila, M., Santa-Casiano, M. (2014). A Time-Series View of Changing Ocean Chemistry Due to Ocean Uptake of Anthropogenic CO<sub>2</sub> and Ocean Acidification. *Oceanography*, 27(1), 126-141.
- Caldeira, K., & Wickett, M. E. (2003). Anthropogenic carbon and ocean pH. *Nature*, 425, 365-365.
- Chave, K. E. (1954). Aspects of the Biogeochemistry of Magnesium 1. Calcareous Marine Organisms. *The Journal of Geology*, 62(3), 266-283.
- Dupont, S., Ortega-Martínez, O., & Thorndyke, M. (2010). Impact of near-future ocean acidification on echinoderms. *Ecotoxicology*, 19(3), 449-462. doi: 10.1007/s10646-010-0463-6
- Gazeau, F., Parker, L., Comeau, S., Gattuso, J.-P., O'Connor, W., Martin, S., Ross, P. (2013). Impacts of ocean acidification on marine shelled molluscs. *Marine Biology*, 160(8), 2207-2245. doi: 10.1007/s00227-013-2219-3
- Guinotte, J. M., & Fabry, V. J. (2008). Ocean Acidification and Its Potential Effects on Marine Ecosystems. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1134(1), 320-342. doi: 10.1196/annals.1439.013
- Hoegh-Guldberg, O., Mumby, P. J., Hooten, A. J., Steneck, R. S., Greenfield, P., Gomez, E., Hatzitolos, M. E. (2007). Coral Reefs Under Rapid Climate Change and Ocean Acidification. *Science*, 318(5857), 1737-1742. doi: 10.1126/science.1152509

- Jakobsson, M. (2002). Hypsometry and volume of the Arctic Ocean and its constituent seas. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 3(5), 1-18. doi: 10.1029/2001gc000302
- Lebrato, M., Andersson, A. J., Ries, J. B., McClintock, J. B., Egilsdottir, H., Lamare, M., Jones, D. O. B. (in review). Mg-calcite mineral dynamics of Echinoderms in the world's oceans: past, present, and future perspectives *Biogeosciences*.
- Lebrato, M., McClintock, J. B., Amsler, M. O., Ries, J. B., Egilsdottir, H., Lamare, M., Baker, B. J. (2013). From the Arctic to the Antarctic: the major, minor, and trace elemental composition of echinoderm skeletons. *Ecology*, 94(6), 1434-1434. doi: 10.1890/12-1950.1
- Lowenstam, H. A., & Weiner, S. (1989). *On Biomineralization*: Oxford University Press, USA.
- Melzner, F., Stange, P., Trübenbach, K., Thomsen, J., Casties, I., Panknin, U., Gutowska, M. A. (2011). Food Supply and Seawater CO<sub>2</sub> Impact Calcification and Internal Shell Dissolution in the Blue Mussel *Mytilus edulis*. *PLoS ONE*, 6(9), e24223. doi: 10.1371/journal.pone.0024223
- Olafsson, J., Olafsdottir, S. R., Benoit-Cattin, A., Danielsen, M., Arnarson, T. S., & Takahashi, T. (2009). Rate of Iceland Sea acidification from time series measurements. *Biogeosciences*, 6(11), 2661-2668. doi: 10.5194/bg-6-2661-2009
- Orr, J. C., Fabry, V. J., Aumont, O., Bopp, L., Doney, S. C., Feely, R. A., Yool, A. (2005). Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms. *Nature*, 437(7059), 681-686.
- Pörtner, H. O., Langenbuch, M., & Michaelidis, B. (2005). Synergistic effects of temperature extremes, hypoxia, and increases in CO<sub>2</sub> on marine animals: From Earth history to global change. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 110(C9), C09S10. doi: 10.1029/2004JC002561
- Sabine, C. L., Feely, R. A., Gruber, N., Key, R. M., Lee, K., Bullister, J. L., Rios, A. F. (2004). The Oceanic sink for anthropogenic CO<sub>2</sub>. *Science*, 305(5682), 367-371. doi: 10.1126/science.1097403
- Scott, D. B., & Vilks, G. (1991). Benthic foraminifera in the surface sediments of the deep-sea Arctic Ocean. *The Journal of Foraminiferal Research*, 21(1), 20-38. doi: 10.2113/gsjfr.21.1.20
- Whiteley, N. M. (2011). Physiological and ecological responses of crustaceans to ocean acidification. *Marine Ecology Progress Series*, 430, 257-271. doi: 10.3354/meps09185
- Wittmann, A. C., & Portner, H.-O. (2013). Sensitivities of extant animal taxa to ocean acidification. *Nature Clim. Change*, 3(11), 995-1001.

## 3.2. FJÖLBREYTILEIKI OG MERGÐ ÖRVERA Í SJÓ UMHVERFIS ÍSLAND

### DIVERSITY OF MARINE MICROORGANISMS IN ICELANDIC WATERS

Eyjólfur Reynisson<sup>1</sup>, Kristinn Guðmundsson<sup>2</sup>, Sveinn Haukur Magnússon<sup>1</sup>, Sigmar Karl Stefánsson<sup>1</sup>, Kristín J. Valsdóttir<sup>2</sup>, Viggó Þór Marteinsson<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Matís, <sup>2</sup> Hafrannsóknastofnun

#### Ágrip

Rannsóknir á örverum í sjó við Ísland hafa verið í burðarliðnum nokkur undanfarin ár. Þrátt fyrir að áformin hafi ekki öðlast brautar- gengi hefur nokkrum sjósýnum verið safnað þegar tækifæri hafa gefist. Sýnin hafa verið greind og því liggja nú fyrir fyrstu vísbendingar um örverur í sjó frá dreif sýnatökustaða umhverfis landið. Hér er sagt frá verkefninu og greint frá fyrstu niðurstöðum örverugreininga á sýnum sem safnað var í vorleiðöngnum Hafrannsóknastofnunar árin 2011 og 2012. Greinilegur munur er á tegundasamsetningu og magni örvera eftir því hvort sjósýnið var tekið á áhrifasvæði kaldra eða hlýrra hafstrauma. Sömuleiðis er áberandi munur á sjósýnum sem tekin eru nærri yfirborði og á grunnsævi (í strandraumnum) miðað við sjósýni sem tekin eru á 800 metra eða meira dýpi og fjarri landi.

#### Abstract

*A study on the diversity of small (nano- and pico- size) marine microorganisms in the waters around Iceland has been on the agenda in recent years but has not gained full establishment in scheduled cruises. Despite this, samples have been collected whenever possible and some of them have been analysed, providing the first indications on diversity and abundance of bacteria and smaller autotrophic microorganisms in the sea around Iceland. The present study reports data obtained from samples collected in the spring cruises of 2011 and 2012, operated by the Marine Research Institute. The results show that bacterial taxa composition and abundance differ in relation with oceans under warmer current influence and oceans in colder currents. Furthermore, apparent differentiation is observed in samples collected at the surface or shallower oceans and the ones collected at 800m depths and below.*

#### Inngangur

Lífmassi baktería, fornbaktería og annarra örvera í lífríki heimshafanna hefur líkast til lengst af verið vanmetinn, þó ljóst hafi verið að þessar smásæju lífverur gegna lykilhlutverkum varðandi hringrásir efna í öllum vistkerfum. Enginn vafi er á að bakteríur gegna mörgum

mikilvægum hlutverkum í vistkerfum sjávar, og án starfsemi örvera myndi hringrás efna því sem næst stöðvast bæði innan samfélaga lífvera og milli lífríkisins og hins ólífræna umhverfis (Simon o.fl. 2013). Bæði efna- og ljóstillifun og ekki síður niðurbrot örvera (rotnun) eru órjúfanlegir þættir í tilveru annarra lífvera.

Mikilvægt er að rannsaka nánar örverur í sjó við Ísland og að greina hugsanlegt samhengi milli dreifingar á magni og tegundasamsetningu svíflægra örvera og ríkjandi umhverfisaðstæðna í sjó. Slík vitneskja er t.d. forsenda vöktunar á áhrifum loftlagsbreytinga á samfélög örvera og hugsanlegra breytinga á umsvifum þeirra í vistkerfinu sem heild. Lítið er vitað um hvaða áhrifa má vænta af breytingum í umhverfinu, s.s. hlýnun sjávar, á samfélög baktería. En í ljósi þess að bakteríur gegna afgerandi hlutverki í öllum vistkerfum og enginn ágreiningur er um að sjálfbær framvinda innan fæðukeðja getur ekki gengið upp ef starfsemi baktería nýtur ekki við, eða raskast verulega, þá er brýnt að dýpka skilning okkar á þessu sviði.

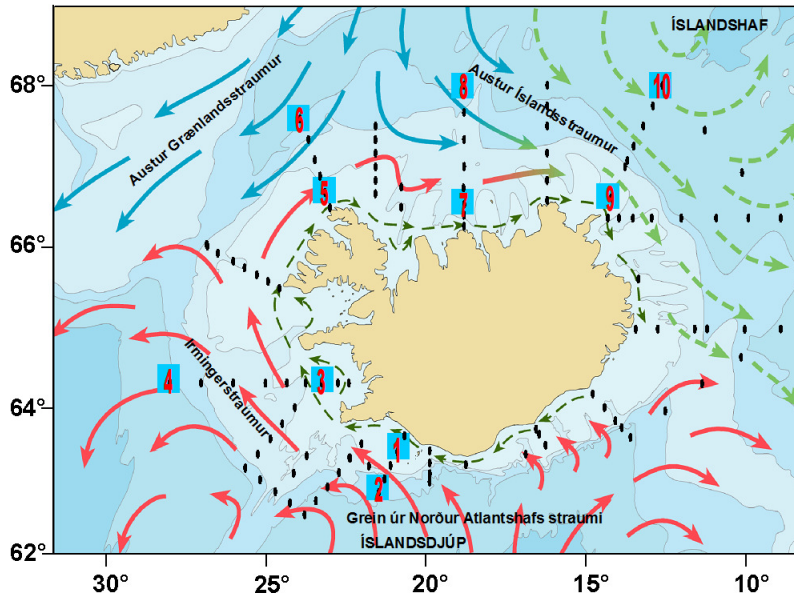
Nýjungar í tækni til raðgreininga á erfðaefni, notkun háþróaðra greiningaraðferða og hraðar framfarir í upplýsingatækni hafa á undanförunum árum varpað ljósi á áður óþekktar víddir í fjölbreytni örvera. Jafnframt eykst skilningur okkar á hlutverki og mögulegum afköstum örvera til að tryggja viðkomu svífsamfélaga og botnlægra samfélaga lífvera, sem og að annast umsetningu efnis bæði í sjó og í botnseti. En, eins og komið hefur fram er staðbundin þekking okkar á þessu sviði skammt á veg komin. Hér kynnum við fyrstu niðurstöður rannsókna á örverum í sjósýnum sem safnað var í vorleiðöngrum Haf-rannsóknastofnunar árin 2011 (DNA greiningar) og 2012 (talningar með örverugreini). Niðurstöðurnar sýna dreifingu örvera á rannsóknasvæðinu, sem miðast við landgrunn Íslands (1. mynd).

### Efniviður og aðferðir

Örverusýnum var safnað árin 2011 og 2012 í leiðöngrum Haf-rannsóknastofnunar, sem voru farnir seinni hluta maímánaðar til vöktunar á vistkerfi sjávar yfir landgrunninu umhverfis Ísland. Sjósýnum var safnað á völdum stöðum á stöðluðu stöðvaneti árferðisrannsókna (1. mynd). Í sýnum frá 2011 var tegundasamsetning örvera fundin í samræmi við niðurstöður raðgreininga á 16S rRNA geni baktería í sjósýnum. Upplýsingar um þekktar tegundir og hópa örvera streyma inn í sameiginlega gagnabanka og í takt við það eykst greiningarhæfni aðferðarinnar hröðum skrefum (Cole o.fl. 2014).

Magn aðskiljanlegra tegunda og/eða hópa örvera voru þess utan greindir í sjósýnunum sem tekin voru vorið 2012. Notaður var örverugreinir ('flow cytometer', sem telur og stærðargreinir agnir í samræmi við ljósfræðileg sérkenni, ýmist með eða án sértækra litunaraðferða). Með þessu móti er gerlegt að greina bæði ræktanlegar- og óræktanlegar örverur og umtalsvert fleiri sýni.

Markmið rannsóknaverkefnisins er að afla staðgóðrar þekkingar



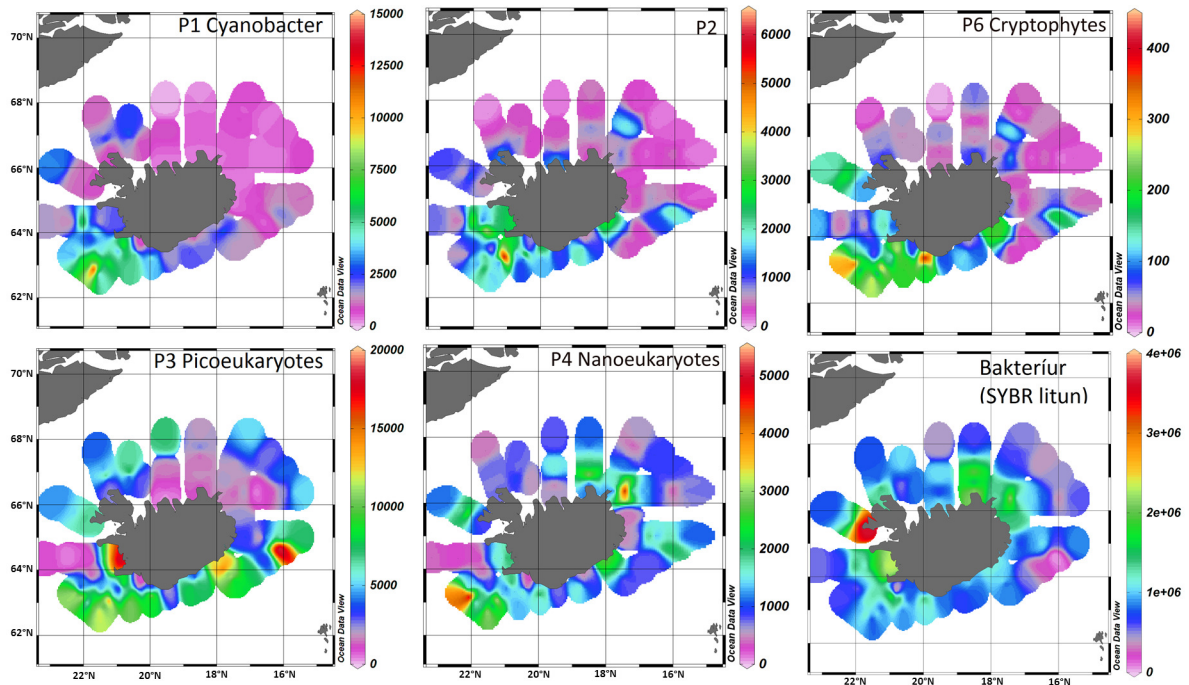
1. mynd. Yfirborðshafstraumar við Ísland [lítillega breytt kort frá Ólafur S. Ástþórsson ofl. 2007] og staðsetningar þar sem sjósýnum var safnað. Sýnatökustaðir til greininga á erfðarefni örvera (bláir reitir, númeraðir 1 – 10, safnað 2011), sem er grundvöllur upplýsinga um fjölbreytni og hlutföll tegundhópa, eins og kemur fram á 5. mynd. Sýni fyrir örverugreini: svartir puntar, var safnað 2012.

Figure 1. Surface ocean currents around Iceland [modified from Ástþórsson et al. 2007] and sampling stations. Samples collected for bacterial diversity analysis based on DNA sequencing are marked in blue (1-10, collected in 2011) while the samples analysed by flow cytometry (collected in 2012) are marked by black dots.

á dreifingu baktería í sjó sem víðast umhverfis Ísland. Bæði magn og tegundasamsetning örvera er greind í sjósýnum, sem safnað er á gunnsævi og opnu hafi, á mismunandi árstímum. Þess utan er ætlunin að endurtaka sýnasöfnun í nokkur ár þar sem því verður við komið. Þannig verður hægt að rannsaka dreifingu og væntanlegan breytileika örvera frá ári til árs. Mælingar í leiðöngrum Hafrannsóknastofnunar á völdum umhverfispáttum í vistkerfi sjávar (s.s. selta, sjávarhiti, næringarefnastyrkur og magn plöntu- og dýrasvífs) nýtast væntanlega til rannsókna á samhengi umhverfisaðstæðna, tegundasamsetningu og magni örvera.

### Niðurstöður og umræður

Dreifing dreifkjörnunga og annarra smárra ljóstíllifandi einfrumunga í yfirborðslagi sjávar kemur fram á 2. mynd. Sex mismunandi hópar smárra örvera (dreifkjörnungar og smáir einfrumungar sem geta ljóstíllífað) voru þannig aðgreindir í sjósýnum úr yfirborðslagi sjávar vorið 2012 og fjöldi innan hvers hóps talinn. Efstu þrjú kortin sýna frumbjarga örverur, annars vegar *Cyanobacteria* (P1) og annan ótilgreindan hóp dreifkjörnunga með blaðgrænu (P2), og hins vegar eina fylkingu smárra heilkjarna svifþörunga, *Cryptophyta* (P6). Neðri röðin sýnir síðan tvo stærðarflokka smárra frumbjarga heilkjörnunga, sem ekki var hægt að aðgreina frekar að svo stöddu. Stærðaflokkarnir eru



2. mynd. Dreifing smærri svifþörunga vorið 2012, samkvæmt niðurstöðum greininga og talninga (frumur/ml) úr yfirborðssýnum í örverugreini. P2 er hópur svifþörunga sem ekki var hægt að bera kennsl á að svo komnu máli og bakteríur er hópur allra sviflægra ófrumbjarga baktería (dreifkjörnunga) sem voru merktar með sértæku DNA litarefni SYBR green.

*Figure 2. Distribution of small plankton at the ocean surface in the spring 2012 as measured by flow cytometry. P2 is a group which is not identified with certainty and "Bakteríur" (bottom, right) is a group of all heterotrophic bacteria which were made detectable by SYBR green DNA staining.*

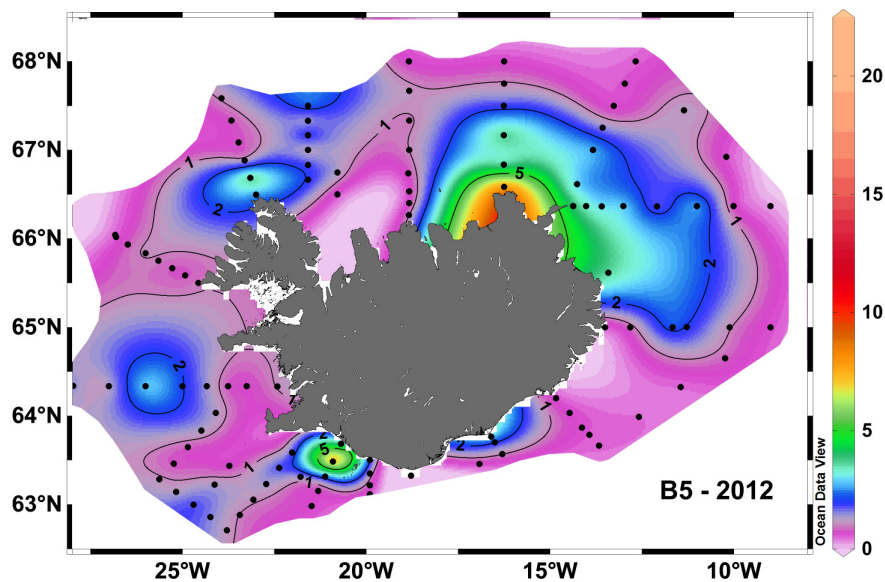
annars vegar pico- (P3) og hins vegar nano svif (P4). Að lokum er hópur allra dreifkjörnunga (ófrumbjarga og frumbjarga bakteríur) sem greindir voru eftir litun sýna (SYBR green litarefnið binst við erfðaeftni allra örvera og framkallar flúrljómun, sem gerir greiningu og talningu og mögulega í örverugreini).

Sjá má á 2. mynd að almennt var þéttleiki frumbjarga örveru-svifs hærrí sunnan og suðvestan landsins vorið 2012, sem hugsanlega helst í hendur við útbreiðslu hlýsjávar. Gera má ráð fyrir að sömu grunnforsendur séu fyrir vexti allra frumbjarga svifþörunga, þ.e. krafan um næringarefni og ljós og að lagskipting sjávar gerir fjölgun þeirra í yfirborðslaginu mögulega. Því má vænta að jákvæð fylgni geti orðið milli magns smárra hópa (2. mynd) og stærri svifþörunga (3. mynd), þegar niðurstöður frá afmörkuðu tímabili eru skoðaðar. Greina má nokkrar samfellur í dreifingu frumbjarga örvera annars vegar og útbreiðslu blaðgrænu vorið 2012 hins vegar, sem hugsanlega styðja þetta, en fylgnin er misgóð, enda þekkt að mismunandi hópar eiga sér hver sína sérstöðu og blómaskeið. Meðal annars er vel þekkt að kröfur mismunandi stærðaflokka svifþörunga hvað varðar styrk uppleystra næringarefna eru ólíkar. Smáar tegundir geta margar haldið áfram að fjölga sér þó svo að styrkur næringarefna takmarki flestar

þær tegundir sem stærri eru. Magndreifing ófrumbjarga (heterotrophic) dreifkjörnunga (baktería) er hins vegar mun jafnari og breytileiki tilviljanakenndur, samkvæmt þessum fyrstu niðurstöðum.

*Cyanobacter* eru frumbjarga dreifkjörningar og mikilvægasti hópur baktería hvað varðar frumframleiðslu og kolefnisbindingu. Ættkvíslarnar *Prochlorococcus* og *Synechococcus* eru langalgengastar *Cyanobacter* tegunda og sú fyrrnefnda er víðast hvar ráðandi (Coelho o.fl. 2013), nema þar sem kaldur eða kaldtempraður sjór er ríkjandi, líkt og á við um hafsvæðið umhverfis Ísland. Annan hóp frumbjarga dreifkjörnunga, P2 hópinn, sem greindist vel með örverugreini í þessari rannsókn, hefur að svo komnu máli ekki verið unnt að skilgreina flokkunarfræðilega.

Picoeukaryota og nanoeukaryota eru, eins og nafnið gefur til kynna, sviflægir heilkjörningar af mismunandi stærð. Þeir fyrrnefndu eru frá 0.2 - 2.0  $\mu\text{m}$  að stærð og geta verið ýmist frumbjarga eða ófrumbjarga. Flestar tegundir frumbjarga picoeukaryota tilheyra annað hvort fylkingu *Prasinophyceae* eða *Haptophyceae*. Nanoeukaryota eru frá 2 -10  $\mu\text{m}$  að stærð og ef nefna á dæmi um tegundir í hópi nanoeukaryota má vísa í ættkvíslirnar *Pseudo-nitzschia*, *Chaetoceros* og ættina *Chrysophyceae* (Balzano o.fl. 2012; Brandsma o.fl. 2012). Með magnmælingum í örverugreini er ekki unnt að greina pico- og nanoeukaryota niður á tegundir eða tegundahópa. *Cryptophyta* er



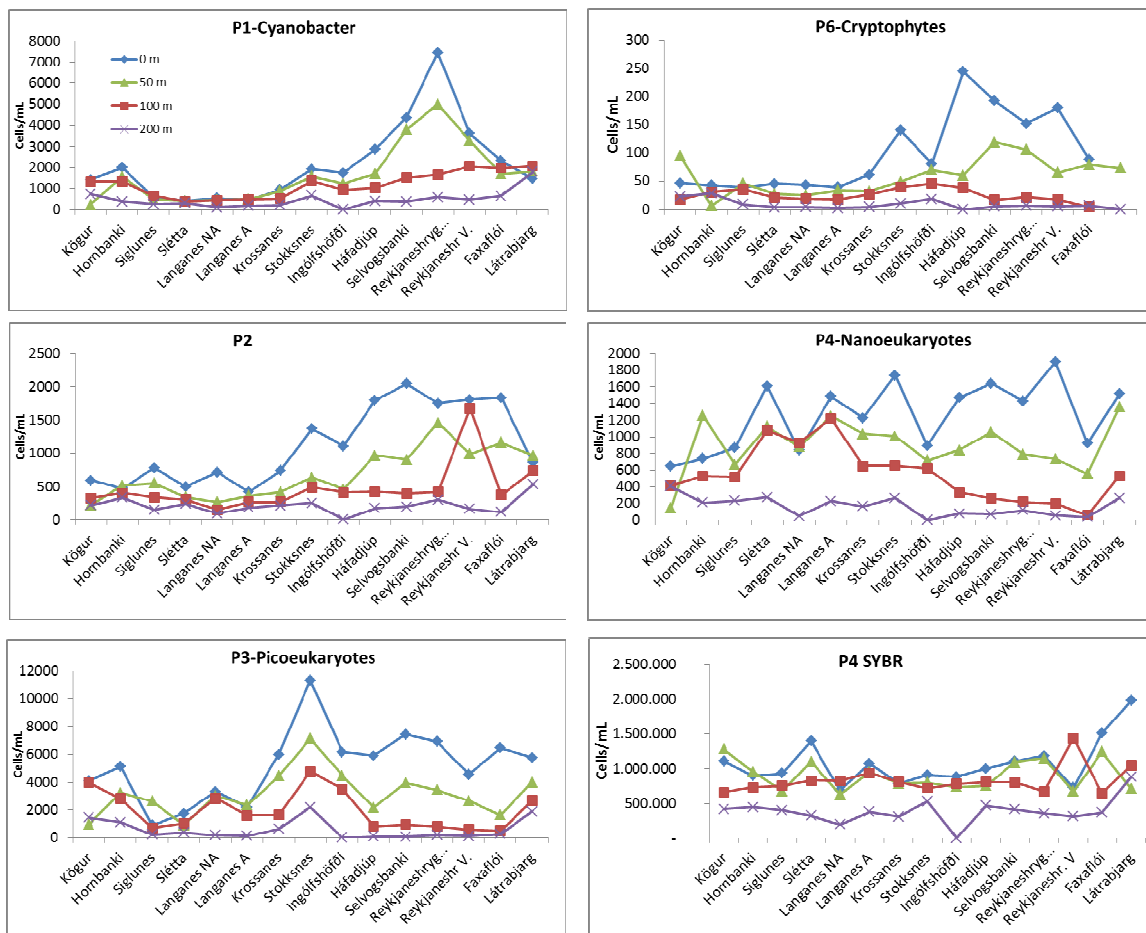
3. mynd. Dreifing svifþörunga vorið 2012, samkvæmt niðurstöðum mælinga á *a*-blaðgrænu ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) í sjósýnum frá 10 metra dýpi, þ.e. blaðgræna í ögnum sem eru stærri en 0.7  $\mu\text{m}$  að þvermáli.

Figure 3. Phytoplankton distribution in the spring 2012 according to chlorophyll-*a* ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) measurements from samples collected at 10m depth. These results are from chlorophyll in particles larger than 0.7  $\mu\text{m}$  in diameter.



hins vegar aðgreinanlegur hópur (fylking) einfruma svifþörunga, tegundir sem taka bæði þátt í kolefnisbindingu með ljóstillífun og eru mikilvæg fæða fyrir dýrasvif, t.d. bifdýr (ciliata) og skorupörunga. Hlutdeild þeirra í heildarfjölda örvera í svifinu er alla jafnan lítil, en engu að síður geta tegundir *Cryptophyta*, eins og *Rhodomonas salina* og *Mesodinium rubrum*, nýtt sér hentug skilyrði til vaxtar og fjölgað sér svo mikið að sjór verður áberandi mislitaður.

Á 4. mynd er sýnd magndreifing fyrrgreindra hópa af örverum (sbr. 2. mynd), sem fjöldi fruma í hverjum millilítra vorið 2012 samkvæmt greiningum á sjósýnum frá mismunandi dýpum frá yfirborði og niður að 200 metrum, allt umhverfis landið. Niðurstöðunum er raðað



4. mynd. Þéttni sviflægra örvera á 0, 50, 100 og 200 metra dýpi umhverfis Ísland vorið 2012. Sjósýnin eru tekin á völdum stöðvum, sem flestar eru á stöðluðum sniðum sem liggja þvert á landgrunnið allt umhverfis landið. Fjöldi örvera er mældur í örverugreini.

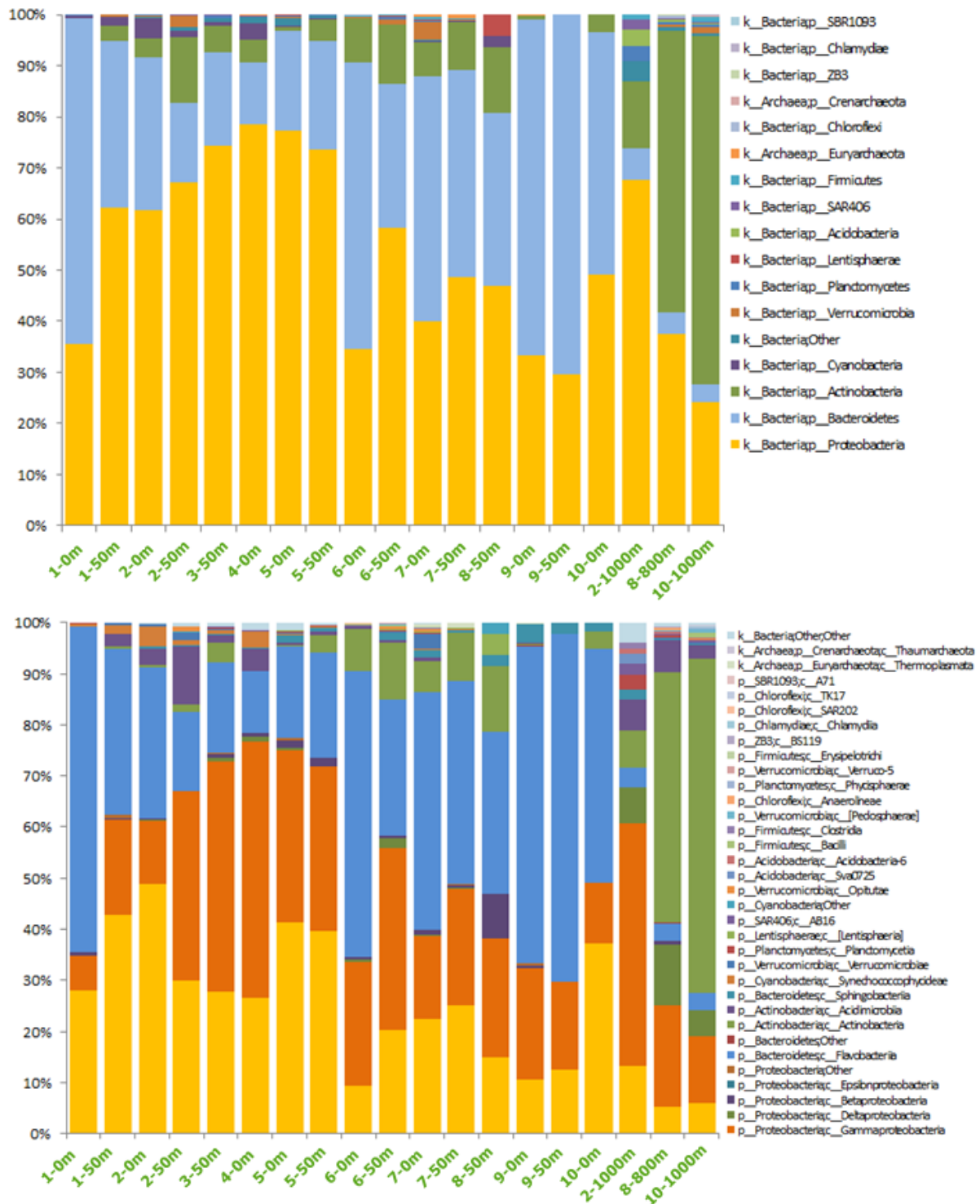
Figure 4. Density of planktonic microorganisms at 0, 50, 100 and 200 meter depth around Iceland in spring 2012. The samples were collected from selected stations in transects that lie right across the continental shelf all around the country. The density was measured by flow cytometry.

upp í samræmi við landfræðilega legu sýnatökustöðvanna réttisælis umhverfis landið frá Kögursniði og endar á Látrabjargssniði. Þessar mælistöðvar eru staðsettar til að mæla eiginleika sjávar í helstu sjógerðum umhverfis landið þar sem gróft á litið má segja að norður- og austur af landinu (Kögur – Krossanes) sé kaldari sjór heldur en sunnan og vestan landsins (Stokksnes – Látrabjarg). Sjá má að magn frumbjarga örvera per rúmmál er mest í sjónum sunnan landsins og áberandi minnst út af Norðausturlandi. Þess utan (ekki sýnt) er þéttni örvera almennt meiri á grynstu stöðvunum, næst landi. Að lokum er sýnd samsetning örverusamfélaga á völdum stöðum og mismunandi dýpum, samkvæmt raðgreiningum (5. mynd). Annars vegar eru niðurstöður teknar saman fyrir hverja fylkingu ('phyla') á 5. mynd (efri) og hins vegar eru sýndar aðgreinanlegir flokkar ('class') til að ná fram betri upplausn á 5. mynd (neðri). Gögnin á bak við 6. mynd (nánar fjallað um neðar) byggja á hæstu mögulegu upplausn sem fékkst með raðgreiningunni, sem nær þá jafnan niður á ættkvíslir og í einstaka tilvikum tegundir.

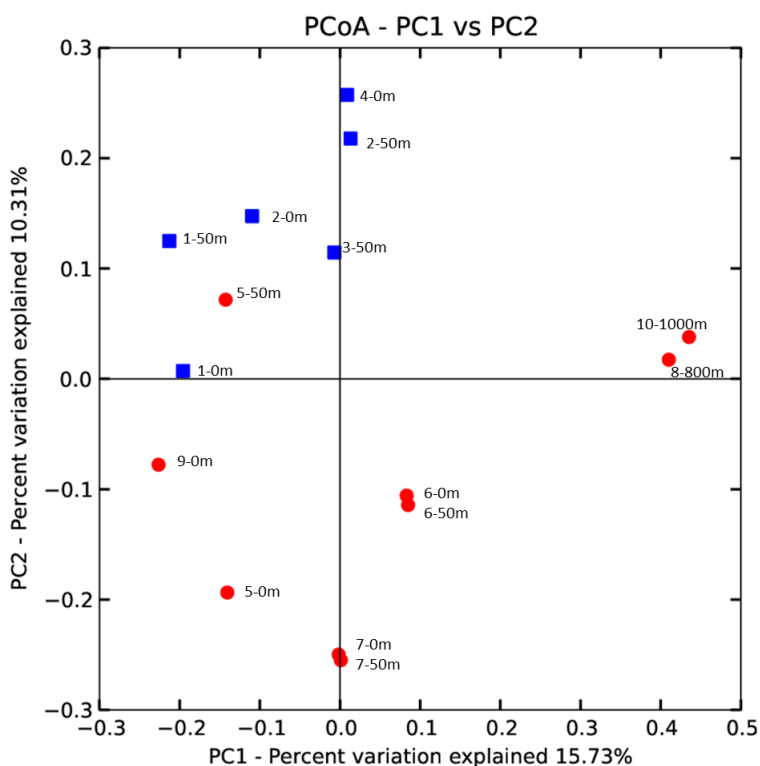
Niðurstöður liggja fyrir um bakteríusamsetningu 19 sýna, sem tekin voru af mismunandi hafsvæðum og dýpum vorið 2011 (bláir númeraðir fletir á 1. mynd). Í fjórum sýnum var raðgreining ófullnægjandi (stöð 8 á 50 m dýpi, stöð 10 á 0 m, stöð 2 á 1000 m og stöð 9 á 50 m) þar sem tiltölulega fáar raðir fengust (47-128 raðir) í samanburði við 888 raðir að meðaltali í hinum 15 sýnunum. Þessi sýni eru þó höfð með til glöggvunar, meðan öðru er ekki til að dreifa, enda gefa þau vísbendingar um ráðandi bakteríuhópa í sýnunum.

Í efri lögum sjávar (0 og 50 m) eru ráðandi bakteríur sem flokkast undir fylkinguna proteobacteria (56%) og næst á eftir koma bacteriodetes (36%) og actinobacteria (6%). Hlutfall proteobacteria greindist hærra að meðaltali í þeim sýnum sem safnað var út af suðvesturhorni landsins og grunnt út af Kögri (stöðvar 1-5, í atlantískum sjó) miðað við almennt norður af landinu (stöðvar 6-10), 66% í samanburði við 43%. Af proteobakteríum voru alpha- og gammaproteobakteríur algengastar (93%), flavobacteriia var algengust á meðal bacteriodetes. Sýni úr neðri lögum sjávar sýndu að actinobacteria fylkingin var þar algengust eða 46% að meðaltali. Ættkvíslin *Microbacterium* var þar einna mest áberandi. Sýni af djúpslóðum suður af landinu var þó með lægra hlutfall actinobacteria eða 13% samanborið við 68% úti fyrir Norðurlandi. Hlutfall *Cyanobacteria* af heildarbakteríufjöldanum reyndist vera frá 0 upp í 4% og að meðaltali 1% í efri lögum sjávar.

Ef bakteríusamsetning sýnanna er skoðuð með meiri flokkunarfræðilegri upplausn sést að fjölskyldurnar *Flavobacteriaceae* og *Pelagibacteriaceae* eru algengastar, í hlutfallinu 13% og 10% af öllum raðgreindum röðum. Fjallað hefur verið um *Pelagibacteriaceae* sem SAR11 clade og hefur verið sýnt fram á þennan hóp baktería í háu hlutfalli í sjó víðsvegar um heiminn, frá fjórðungi upp í helming (Brown o.fl. 2012).



Til að bera saman niðurstöður sýna m.t.t. til bakteríusamsetningar er beitt svonefndri "principal coordinate" greiningu (PCoA), sem er aðferð til að meta líkindi, eða ólíkindi vensla milli einstakra sýna og setja fram á myndrænan hátt. Í þessa greiningu voru eingöngu notuð sýni með nægjanlegan fjölda raða 16S rRNA gena, sem á við 15 af 19 framangreindum sýnum (5. mynd). PCoA-greiningin (6. mynd) leiddi í ljós að sýnin frá 800 m dýpi eða meira greinast best frá öðrum sýnum, en einnig má sjá að norður og suður sýnin aðgreinast ágætlega ef undan er skilið sýni 5 af 50 m dýpi (grunnt undan Kögri. Ástæða þess að þetta sýni fellur ekki inn í norðan hópinn er óljós en stöðin er á mörkum útbreiðslu hlý- og kaldsjávar sem gæti útskýrt þessa niðurstöðu.



6. mynd. „Principal Coordinate“ greining á raðgreiningargögnum úr 15 sýnum sem tekin voru umhverfis landið vorið 2011. Sýnin eru merkt með staðsetningarauðkenni (sbr. mynd 1) og dýpi. Bláir ferningar eru sýni að sunnan en rauðir hringir sýni að norðan.

*Figure 6. Principal Coordinate analysis on 16S rRNA sequence data from 15 samples collected around the country in spring 2011. The samples are labelled by location (see figure 1) and depth. Blue squares are samples from the south and red circles are samples from the north.*

### Samantekt

Hér hefur verið greint frá fyrstu niðurstöðum greininga á fjölda og tegundasamsetningu sviflægra baktería umhverfis Ísland. Niðurstöðurnar sýna, eins og við mátti búast, að mestur fjöldi örvera finnst á grynnstu stöðvunum og í yfirborðslögum sjávar. Þess utan sýna niður-

að þessar fyrstu niðurstöður talninga með örverugreini eru aðeins frá einu söfnunarári. Vænta má að talsverður áramunur verði á niðurstöðum þegar endurteknar mælingar liggja fyrir, eins og að er stefnt samkvæmt rannsóknáætlunum þessa verkefnis. Brýnt er að afla slíkrar vitneskju, sem grunnþekkingar á svæðinu. Í því sambandi er vert að benda á að áriðandi er að vinna umrætt verkefni nú, áður en grunur vaknar um að umtalsverðar breytingar hafi átt sér stað í tegundasamsetningu og fjölda örvera vegna hlýnunar jarðar. Mikilvægt er að tryggja með þessu móti grundvöll fyrir rökrænar ályktanir, er fram líða stundir, í stað þess að umræðan verði takmörkuð við getgátur um hugsanlegt orsakasamhengi þegar skýra á breytingar á vistkerfi sjávar. Ef fjöldi mælinga og greininga eykst, eins og lagt er til í áætlunum rannsóknaverkefnis, verður væntanlega hægt að greina mögulega samsvörun milli ríkjandi umhverfisaðstæðna, tegundasamsetningar og mergðar örvera í mismunandi vistkerfum á rannsóknasvæðinu.

### Þakkir

Verkefnið var styrkt af Verkefnasjóði Sjávarútvegsins og Evrópusambandinu í gegn um MicroB3 verkefnið. Einnig vilja höfundar þakka nemendunum Berglinni Þórólfsdóttur og Herdísi E. Hermundardóttur fyrir aðstoð við sýnatöku og greiningu sýna. Áhöfn og leiðangursmönnum Bjarna Sæm eru færðar þakkir fyrir aðstoð við sýnatöku.

### Heimildir

Atlas, R.M. and R. Bartha. 1993: *Microbial Ecology. Fundamentals and Applications*. Redwood City: The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc.

Balzano, S., D. Marie, P. Gourvil, D. Vaultot. 2012: Composition of the summer photosynthetic pico and nanoplankton communities in the Beaufort Sea assessed by T-RFLP and sequences of the 18S rRNA gene from flow cytometry sorted samples, *Isme Journal*, 6(8): 1480-1498.

Brandsma, J., E. C. Hopmans, C. P. D. Brussaard, H. J. Witte, S. Schouten, J. S. S. Damste. 2012: Spatial distribution of intact polar lipids in North Sea surface waters: Relationship with environmental conditions and microbial community composition, *Limnology and Oceanography*, 57(4): 959-973.

Brown, M. V., F. M. Lauro, M. Z. DeMaere, L. Muir, D. Wilkins, T. Thomas, M. J. Riddle, J. A. Fuhrman, C. Andrews-Pfannkoch, J. M. Hoffman, J. B. McQuaid, A. Allen, S. R. Rintoul, R. Cavicchioli. 2012: Global biogeography of SAR11 marine bacteria, *Molecular Systems Biology*, 8: 1-13.

Coelho, S. M., N. Simon, S. Ahmed, J. M. Cock, F. Partensky. 2013: Ecological and evolutionary genomics of marine photosynthetic organisms, *Molecular Ecology*, 22(3): 867-907.

Cole, J. R., Q. Wang, J. A. Fish, B. Chai, D. M. McGarrell, Y. Sun, C. T. Brown, A. Porras-Alfaro, C. R. Kuske, and J. M. Tiedje. 2014: Ribosomal Database Project: data and tools for high throughput rRNA analysis, *Nucleic Acids Research*, 41 (Database issue): D633-D642

Ólafur S. Ástþórsson, Ástþór Gíslason, Steingrímur Jónsson. 2007: Climate variability and the Icelandic marine ecosystem, *Deep-Sea Res II*, 54:2456-2477

Simon, E.J., Dickey, J.L., Reece, J.B. 2013: *Campbell Essential Biology*. ISBN 10:0-321-80729-4

### 3.3. KALKÞÖRUNGAFLEKKUR NORÐVESTUR AF ÍSLANDI Í JÚLÍ 2012

*A COCCOLITHOPHORE BLOOM NW OF ICELAND IN JULY 2012*

Hafsteinn G. Guðfinnsson<sup>1</sup> og Ingibjörg Jónsdóttir<sup>2</sup>  
Hafrannsóknastofnun<sup>1</sup>, Háskóli Íslands<sup>2</sup>

#### Ágrip

Flekkur kalksviþþörunga kom fram á gervihnattamyndum (MODIS) í júlí 2012 út af Vesturlandi og Vestfjörðum. Svifþörungasýnum var safnað úr flekknum á þremur stöðvum þann 12. og 13. júlí. Greiningar og talningar sýndu að aðaltegund í flekknum var kalksviþþörungurinn *Emiliana huxleyi* en frumufjöldi hans var frá 46 – 460 þúsund frumur í lítra. Fjöldi lausra kalkplatna í sjó var yfir 300 sinnum hærri en frumufjöldi *E. huxleyi*. Helsta tegund kísilþörunga í flekknum var *Cylindrotheca closterium*.

#### Abstract

*A coccolithophore bloom was observed on MODIS satellite images in July 2012 northwest of Iceland. Phytoplankton was sampled at three stations in the bloom area on the 12th and 13th of July. Identification and counting showed that the coccolithophore *Emiliana huxleyi* was the main species found in the bloom with cell numbers from 46 to 460 thousand cells pr litre. Number of coccoliths were more than three hundred times the cell number of *E. huxleyi*. The main diatom species found was *Cylindrotheca closterium*.*

#### Inngangur

Blómar kalksviþþörunga hafa verið þekktir um langan tíma og má þar til dæmis nefna geysi víðáttumikinn blóma suður af Íslandi sumarið 1991 sem var rannsakaður ítarlega (Holligan et al., 1993). Á síðasta áratug hefur mjög oft orðið vart við slíka blóma sem mjólkurlitaða flekki í sjónum suður af landinu að vorlagi og við suður- og vesturströnd Íslands þegar líða tekur á sumarið (Kristinn Guðmundsson og Agnes Eydal 2005, Kristinn Guðmundsson o. fl. 2008). Jafnvel hafa slíkir blómar fundist norðanlands síðsumars (Hafsteinn G. Guðfinnsson o. fl. 2009) svo og við Noreg og allt norður í Barentshaf (Sagen and Dalpadado 2004). Þetta tengist auknu streymi Atlantsjávar norður á bóginn og þar með að Íslandi á síðustu tíu til fimmtán árum (Anon 2008, Héðinn Valdimarsson og Steingrímur Jónsson 2004) en eitthvert mesta kalksviþþörungasvæði heims er að finna

suður af Íslandi frá 45°N að 65°N og er því í leið Atlantsstraumsins. Gervihnattamyndir hafa oft sýnt útbreiðslu þessara flekkja ágætlega og einnig tilfærslu þeirra með straumum eftir að þeir koma fram.

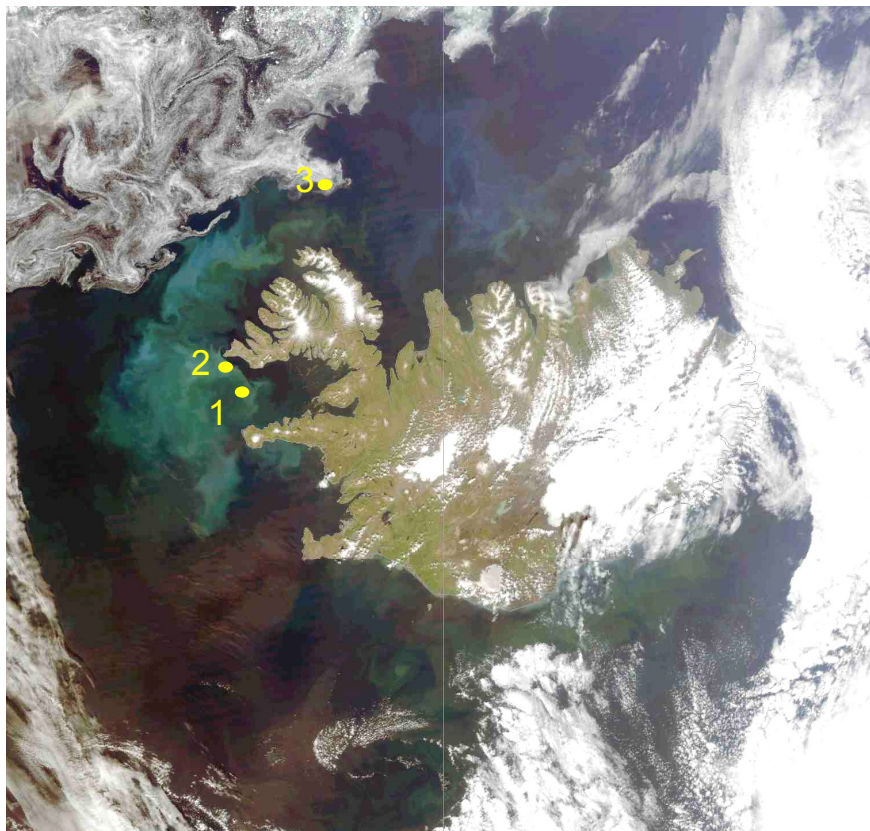
Venjan er sú að fyrst verður vart við slíka flekki í nágrenni Íslands á gervihnattamyndum suður, suðvestur eða vestur af landinu. Ástæða þessara flekkja er endurkast ljóss frá kalksviðþörungum sem þaktir eru kalkplötum. Við vissar aðstæður ná þeir að blómstra í gríðarlegu magni en talið er að fremur grunn lagskipting og mikil birta geti stuðlað að blóma þeirra. Mergð kalkplatna losnar frá frumunum en nýjar myndast í sífellu í staðinn. Lausu plöturnar eiga stærstan þátt í að mynda hinn mjólkurhvíta lit á sjónum, sem gerir það að verkum að flekkirnir koma vel fram á myndum. Algengasta tegund kalksviðþörunganna í slíkum flekkjum er *Emiliana huxleyi* og er hún lang útbreiddust kalksviðþörunganna í heimshöfunum. Hún hefur fundist frá hitabelti jarðar að hánorrænum svæðum, og frá miðju heimshafa inn á landgrunn og firði. Hún er trúlega sú lífvera sem framleiðir mest kalk á jörðinni í dag (Westbroek et al 1989). Hún myndar kalk ( $\text{CaCO}_3$ ) úr uppleystu kalsíum og bikarbonati þegar hún framleiðir nýjar kalkskeljar sem þekja frumur hennar. Sökum þessarar kalkmyndunar binst meira kolefni við blóma kalksviðþörunganna heldur en við blóma annarra sviðþörungategunda. Í þeim flekkjum sem komið hafa fram við Ísland síðustu árin hefur tegundin *Emiliana huxleyi* verið í langmestum fjölda fruma í þeim sýnum sem hafa verið skoðuð. *E. huxleyi* blómar tengjast venjulega frekar lágum styrk blaðgrænu fremur en háum og fjöldi fruma sem fundist hefur í flekkjum á opnum hafsvæðum hefur verið frá 0,5 til 10 milljónir í lítra en allt að tíu sinnum hærrí fjöldi fruma í lítra í blómum innan fjarða (Tyrrell and Merico 2004).

### Efniviður og aðferðir

Þann 10. júlí 2012 bárust gervihnattamyndir sem sýndu mikinn flekk kalksviðþörunganna á grunnslóð vestanlands sem teygði sig frá norðanverðum Faxaflóa allt norður fyrir Vestfirði (1. mynd). Ef grannt er skoðað má einnig sjá á ytri hluta landgrunnsins norður af Eyjafirði móta fyrir daufari flekk, sem teygir sig norður með Kolbeinseyjarhrygg, ekki ósvipað og gerðist í kalksviðþörungablóma á svæðinu í ágúst 2008 (Hafsteinn G. Guðfinnsson o. fl. 2009). Flekkur úti fyrir Suðurlandi er sennilega aðallega vegna aurs sem berst með ám frá landi til sjávar og/eða annarra sviðþörunganna í sjó enda annar litur þar en gerist í kalksviðþörungaflekkjum.

Aðrar gervihnattamyndir sýna að flekkurinn var þegar farinn að sjást þann 9. júlí 2012 og mynd frá 16. júlí sýnir að hann er enn til staðar á svæðinu og umlykur nú Snæfellsnes og nær norður fyrir Vestfirði, en er þó daufari en dagana á undan.

Rannsóknaskipið Árni Friðriksson sigldi í gegnum kalkþörungaflekkinn 12. og 13. júlí 2012 á leið sinni norður fyrir land. Tekin voru sviðþörungasýni á þremur rannsóknastöðvum á leið skipsins gegnum



1. mynd. Blómi kalksvífpörunga út af Vesturlandi og Vestfjörðum 10. júlí 2012. Rannsóknastöðvar (1, 2 og 3) eru merktar inn á myndina með gulum punktum. (Mynd birt með leyfi MODIS Rapid Response Project of NASA/GSFC).

*Figure 1. A coccolithophore bloom NW of Iceland 10. July 2012. Sampling stations (1,2 and 3) are shown on the figure as yellow circles (Image courtesy of MODIS Rapid Response Project of NASA/GSFC).*

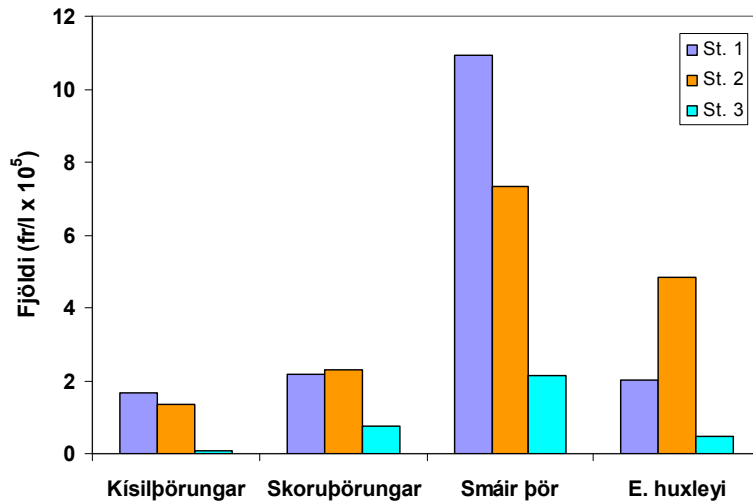
flekkinn. Sýnatökustöð 1 ( $65^{\circ}09'65''\text{N}$  og  $24^{\circ}02'36''\text{W}$ ) og 2 ( $65^{\circ}23'83''\text{N}$  og  $24^{\circ}31'95''\text{W}$ ) eru í mynna Breiðafjarðar en stöð 3 út af Kögri ( $67^{\circ}09'56''\text{N}$  og  $22^{\circ}39'45''\text{W}$ ), norðan Vestfjarða (1. mynd). Sjósýnum (100 ml) var safnað úr dælukerfi skipsins sem tekur inn sjó á um 4 metra dýpi. Sýnin voru varðveitt í formalíni. Talningar á svífpörungum voru gerðar úr öllum sýnunum. Hitamælingar liggja fyrir á söfnunarstöðvum en engum öðrum gögnum var safnað á stöðvunum. Gervihnattamyndir bárust af blómanum þann 9. 10, 12, og 16. júlí 2012.

### Niðurstöður

Sjávarhiti við yfirborð á stöðvum 1 og 2 var  $11,8^{\circ}\text{C}$  en  $5,7^{\circ}\text{C}$  á stöð 3. Fjöldi kísilpörunga var af svipaðri stærðargráðu á stöð 1 og 2 (167 þús. og 133 þús. frumur/lítra) en mun minni á stöð 3 (14 þús. fr/l) (2. mynd). Ein tegund, *Cylindrotheca closterium*, var uppistaðan í fjölda kísilpörunga á stöðvum 1 og 2 en tæpur helmingur á stöð 3. Fjöldi skorupörunga var svipaður á stöð 1 og 2 vel yfir 200 þúsund fr/l



en mun lægri á stöð 3 eða um þriðjungur af fjölda skorubörunga á stöðvum 1 og 2 (2. mynd). Megnið af skorubörungum voru ógreinanlegir til tegunda, en eru sennilega að miklu leyti ófrumbjarga tegundir. Af þeim tegundum sem greinanlegar voru fundust *Scrippsiella trochoidea*, *Ceratium fusus* og *C. longipes* og algengar *Protoperidinium* tegundir (*P. steinii*, *P. brevipes*, *P. depressum*, *P. bipes*, *P. pellucidum*) á öllum stöðum. Þá fundust einnig *Dinophysis acuminata* og *Alexandrium cf. ostenfeldii* á stöð 3 en þeir teljast til skorubörunga-tegunda sem geta valdið eitrunum í skelfiski.



2. mynd. Fjöldi kísilbörunga, skorubörunga, smárra svifbörunga og kalksvifbörungsins *Emiliana huxleyi* á þremur rannsóknastöðvum (sjá 1. mynd) í kalksvifbörungaflekk við Vesturland í júlí 2012.

Figure 2. Abundance of diatoms, dinoflagellates, flagellates and monads and the coccolithophore species *Emiliana huxleyi* at three sampling stations (see figure 1) in a coccolithophore bloom northwest of Iceland in July 2012.

Smáir svifbörungar voru algengastir í sýnunum. Fjöldi þeirra var langmestur á stöð 1 (1094 þús. fr/l), lægri á stöð 2 (732 þús. fr/l) en langminnstur á stöð 3 (200 þús. fr/l) (2. mynd). Uppistaða þeirra á öllum stöðvum voru ógreinanlegar tegundir en á meðal þeirra fundust algengar tegundir eins og *Leucocryptos marina* í litlu magni.

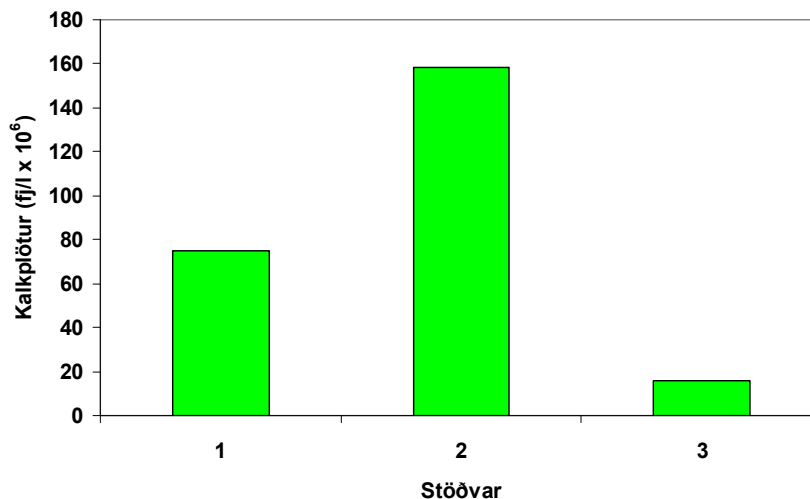
Tegundin *Emiliana huxleyi* er smá og er því oft tekin með í talningum á fjölda smárra svifbörunga. Í þessu tilfalli er hún talin sérstaklega þar sem fjöldi hennar er mjög mikill. Fjöldi *E. huxleyi* var hæstur á stöð 2 (tæp 500 þús. fr/l), næst hæstur á stöð 1 (rúmar 200 þús fr/l) en lang lægstur á stöð 3 (um 46 þús. fr/l) (2. mynd). Nokkrar aðrar tegundir kalksvifbörunga fundust í litlum mæli og má þar nefna *Acanthoica quattrosipina*, *Gephyrocapsa oceanica* og tvær tegundir sem ekki var unnt að greina til tegunda.

Gerðar voru talningar á lausum kalkplötum *E. huxleyi* í sjó en það er einmitt magn þeirra sem mestu veldur um þann lit sem sjórinn

tekur. Fjöldi kalkplatna var mestur á stöð 2 tæpar 160 milljónir platna í lítra, um helmingi minna á stöð 1 en langminnstur á stöð 3 um 16 milljónir kalkplatna í lítra (3. mynd). Fjöldi kalkplatna í sjó var því 320-370 sinnum fleiri en fjöldi fruma af *Emiliana huxleyi*.

### Umræða

Enn varð vart við blóma kalksviðþörungum við Ísland á gervihnattamyndum í annari viku af júlí 2012. Um allstóran flekk var að ræða út af Vesturlandi og Vestfjörðum. Greiningar á sviðþörungum úr þremur sýnum úr flekknum sýndu að *Emiliana huxleyi* var aðaltegund í svifinu. Fjöldi *E. huxleyi* var einungis um tuttugasti hluti af mestu þéttni í flekk við Vesturland um miðjan júlí 2007 (Kristinn Guðmundsson og fleiri 2008) og minna en tíundi hluti af mestu þéttni í flekk sem kannaður var við Norðurland árið 2008 (Hafsteinn G. Guðfinnsson og fleiri, 2009). Lægri fjöldi fruma í flekknum 2012 gæti að hluta stafað af því að sýnin sem bárust nú voru tekin í jaðri flekksins þar sem fjöldi sviðþörungum er sennilega minni en innar í flekknum ef marka má litbrigði á 1. mynd. Fjöldi *E. huxleyi* sem fannst í útjaðri kalksviðþörungaflekksins árið 2007 var af svipaðri stærðargráðu og í þessum sýnum þ.e. hundruðir þúsunda fruma í lítra (Kristinn Guðmundsson og fleiri 2008). Fjöldi kalkplatna var einnig mun minni í flekknum 2012 en í flekknum fyrir Norðurlandi 2008. Fjöldi kalkplatna var þó hlutfallslega meiri miðað við frumufjölda í flekknum 2012 en í flekknum árið 2008 (50 sinnum fleiri). Þetta hlutfall kalkplatna árið 2012 (320-370 sinnum fleiri miðað við frumufjölda) er mun hærra heldur en áður hefur fundist



3. mynd. Fjöldi kalkplatna af kalksviðþörungum *Emiliana huxleyi* á þremur rannsóknastöðvum (sjá 1. mynd) í kalksviðþörungaflekk við Vesturland í júlí 2012.

Figure 3. Abundance of coccoliths from the species *Emiliana huxleyi* at three sampling stations (see figure 1) in a *E. huxleyi* bloom northwest of Iceland in July 2012.

(Balch et al. 1991, <http://www.noc.soton.ac.uk/soes/staff/tt/eh/>). Fjöldi kalkplatna í sjó skiptir mjög miklu um hvort flekkirnir sjáist vel á myndum eins og bent hefur verið á.

Engar upplýsingar liggja fyrir um styrk næringarefna í sjó í þessari rannsókn. En það hefur komið fram í mörgum rannsóknum á slíkum kalksviþörungaflekkjum að kísilstyrkur er oft mjög lágur auk þess sem hlutföll milli styrks næringarefna raskast mjög frá því sem venjulegt er í lok vetrarblöndunnar sjávar (Sólveig R. Ólafsdóttir, 2006 ;Tyrell og Merico, 2004). Þetta er því eitt af þeim atriðum sem gerir samkeppnisstöðu kalksviþörunga betri gagnvart kísilþörungum sem ýtir undir fjölgun þeirra umfram kísilþörunga. Þetta kemur líka greinilega fram í talningum á sviþörungunum þar sem fjöldi kísilþörunga er mjög lágur nema einnar tegundar *Cylindrotheca closterium*. Þessi tegund ásamt skyldum tegundum af ættum *Nitzschia* og *Pseudonitzschia* virðast geta lifað og fjölgað sér við mjög lágan kísilstyrk (Agnes Eydal, 2003, Sommer, 1994, Hafsteinn G. Guðfinnsson, óbirt gögn) því þær finnast oft samhliða *E. huxleyi* blómum í umhverfi þar sem styrkur kísils er mjög lágur en einnig styrkur nítrats og fosfats (Kristinn Guðmundsson og fleiri, 2008; Hafsteinn Guðfinnsson og fleiri, 2009).

Flekkurinn var farinn að dofna á myndum þann 16. júlí frá því sem var 10. til 12. júlí 2012 og fjöldi kalksviþörunga því sennilega að minnka. Myndir eftir 16. júlí voru því miður ekki tiltækar og því ómögulegt að segja til um hvort kalkþörungablóminn hafi rénað eða átt sér lengri lífdaga þar sem tilvera slíkra flekkja er mjög háð veðri og vindum. Sviþörungar fjölga sér í yfirborðslögum sjávar og færast því úr stað með yfirborðsstraumum. Búast má við að flekkurinn hafi borist norður fyrir Vestfirði næstu vikur á eftir í samræmi við flæði strauma ef slæm veður hafa ekki brotið hann upp en ekki liggja fyrir frekari gögn um tilfærslu hans eftir 16. júlí.

## Þakkir

Við þökkum Konráð Þórisssyni og Hildi K. Oddgeirsdóttur fyrir yfirllestur á handriti og ágætar breytingar og ábendingar.

## Heimildir

Anon 2008. Þættir úr vistfræði sjávar. Langtímabreytingar. *Hafrannsóknastofnunin. Fjölrit* 139: 14-17.

Agnes Eydal, 2003. Áhrif næringarefna á tegundasamsetningu og fjölda sviþörunga í Hvalfirði. *Hafrannsóknastofnunin, Fjölrit* nr. 99.

Balch W.M., P.M. Holligan, S.G. Ackleson and K.J. Voss 1991. Biological and optical properties of mesoscale coccolithophore blooms in the Gulf of Maine. *Limnol. Oceanogr.* 36(4):629-643.

Hafsteinn G. Guðfinnsson, Sólveig R. Ólafsdóttir og Ingibjörg Jónsdóttir, 2009. Kalkþörungaflekkur norðanlands í ágúst 2008. *Hafrannsóknir* nr. 145, bls. 60-65.

Héðinn Valdimarsson og Steingrímur Jónsson, 2004. Area 3. Icelandic waters. Annex in: Report of the Working

Group on Ocean Hydrography, *ICES CM 2004/C:06*: 99-103.

Holligan, P.M., E. Fernandez, J. Aiken, W.M. Balch, P.H. Burkill, M. Finch, S.B. Groom, G. Malin, K. Muller, D.A. Purdie, C. Robinson, C.C. Trees, S.M. Turner and P. Van der Wal 1993. A biogeochemical study of the coccolithophore *Emiliana huxleyi* in the north Atlantic. *Global Biogeochem Cy*7:879-900.

Kristinn Guðmundsson og Agnes Eydal 2005. Blómi kalksvífpörunga í Norður-Atlantshafi. *Hafrannsóknastofnunin. Fjölrit* 116: 33-36.

Kristinn Guðmundsson, Sólveig R. Ólafsdóttir, Agnes Eydal og Þórarinn S. Arnarsson 2008. Kalksvífpörungaflekkur vestur af Íslandi. *Hafrannsóknastofnunin. Fjölrit* 139: 18-20.

Sagen H. og P. Dalpadado 2004. *Emiliana huxleyi* – oppblomstringen i Barentshavet sommeren 2003 observert ved hjelp af satellitt. *Fisken og havet*, særnummer 2: 96-97.

Sommer, U., 1994. Are marine diatoms favoured by high Si:N ratios? *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 115: 309-315.

Sólveig R. Ólafsdóttir, 2006. Styrkur næringarefna í hafinu umhverfis Ísland, Hafrannsóknastofnunin Fjölrit, Reykjavík, p. 24 pp.

Tyrrell, T. and A. Merico 2004. *Emiliana huxleyi*: bloom observations and the conditions that induce them. In: *Coccolithophores. From Molecular Processes to Global Impact 2004*, Ed. H.R. Thierstein and J.Young:Springer Verlag Berlin Heidelberg 2004: p. 75-97.

Westbroek, P., P.R. Young and K. Linschooten 1989. Coccolith production (biomineralization) in the marine alga *Emiliana huxleyi*. *J. Protozool.* 36: 368-373.

Vefsíður: <http://www.noc.soton.ac.uk/soes/staff/tt/eh/>)

Vefsíður: <http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/gallery/>)

### 3.4. PERIDINIELLA CATENATA (DINOPHYCEAE) FUNDINN Í JÖKULSÁRLÓNI Á BREIÐAMERKUR- SANDI

PERIDINIELLA CATENATA (*DINOPHYCEAE*) DISCOVERED  
IN JÖKULSÁRLÓN, BREIÐAMERKURSANDUR, SOUTHEAST  
ICELAND

Hafsteinn G. Guðfinnsson<sup>1</sup> og Jón Ólafsson<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Hafrannsóknastofnun, <sup>2</sup>Jarðvísindastofnun Háskólans

#### Ágrip

Við sýnatökur í Jökulsárlóni á Breiðamerkursandi 23. ágúst 2012 varð vart við rauðbrúnan lit á sjó í kjölfari báta sem sigldu um lónið. Sýni voru tekin af sjónum og við smásjárskoðun síðar kom í ljós að liturinn stafaði af skorupörungnum *Peridiniella catenata* en hann hefur ekki fundist hér við land áður svo vitað sé. Gerðar voru talningar á fjölda *P. catenata* í sýnum úr lóninu og fundust allt að 4.8 milljónir frumna í líter af *P. catenata* í þunnu yfirborðslagi á afmörkuðu svæði utarlega í lóninu. Hita og seltugögn sýndu lágan hita (<3°C) og lága seltu (8-9,5) í lóninu og afgerandi lagskiptingu í efstu metrunum. Styrkur nitrats og fosfats var mjög lágur í yfirborðslaginu en styrkur uppleysts kísils mjög hár.

#### Abstract

*Jökulsárlón at Breiðamerkursandur, Iceland, is a lake just inside the coastal line. Runoff from the glacier Vatnajökull goes through the lake to the sea. During sampling for hydrography and nutrients in Jökulsárlón 23 August 2012 a redbrownish colour was noticed in the surface water. A microscopic examination of the surface water revealed for the first time for Icelandic waters, the dinoflagellate Peridiniella catenata. Countings of P. catenata from four stations, indicated up to 4.8 millions cells per litre in a shallow low density surface layer in a limited area in the outer part of the lake. Salinity and temperature profiles show low salinity (8-9.5) and temperature (<3°C). Concentration of nitrate and phosphate where low but high for silicate.*

#### Inngangur

Allmargir svifpörungar eru þekktir að því að valda óvenjulegum lit á sjó þegar þeir ná að fjölga sér mikið á stuttum tíma. Hugtakið blóðsjór á Íslandi á sennilega einmitt rætur sínar að rekja til blóma svifpörunga en einnig er mögulegt að bifdýr, rauðáta eða ljósáta geti valdið rauðum lit á sjó þegar fjöldi þeirra verður mikill í flekkjum og þaðan komi heitið blóðsjór. Gunnar Steinn Jónsson (1986) gerði

ágæta grein fyrir blóðsjó við Ísland í grein sinni “Blóðsjór við Ísland”. Blómar svifpörungategunda geta verið gulir, grænir, brúnir, rauðbrúnir, mjólkurlitaðir eða í ýmsum afbrigðum af þessum litum. Oft tengjast slíkir blómar eitruðum svifpörungum en einnig er algengt að svifpörungar sem valda litríkum blómum séu óeittraðir. Blómi þeirra getur þó oft valdið bæði mönnum og dýrum óþægindum á meðan þeir standa yfir.

Jökulsárlón við sporð Breiðamerkurjökuls tók að myndast upp úr 1930. Lónið tók við aurframburði sem annars hefði borist til sjávar og því jókst strandrof með tímanum og hefur strandlínan færst a.m.k. 700 metra í norðurátt (Helgi Björnsson og fleiri, 2001). Að því kom að sjór tók að flæða inn í lónið og nú gætir þar reglulegra sjávarfalla. Sjórinn sem inn flæðir flytur með sér varma sem flýtir fyrir bráðnun jökulíss, hopi jökulsins og stækkunar lónsins. Á Jarðvísindastofnun Háskólans er unnið að rannsóknum á breytingum á jöklinum og lóninu og gerðar reglulegar mælingar á hita, seltu, næringarefnum í því.

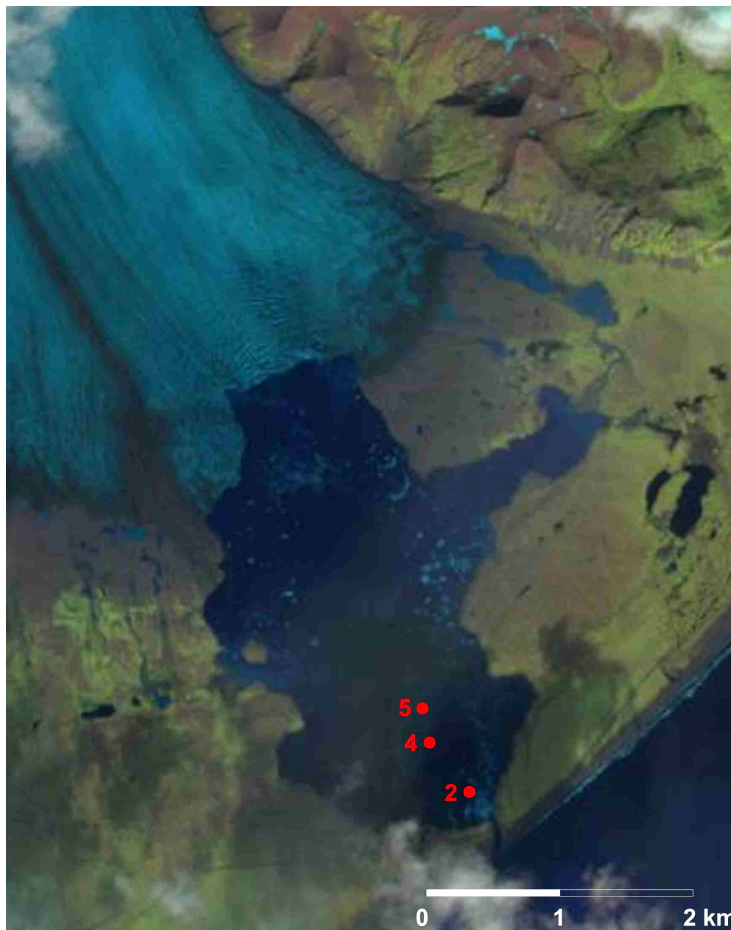
Við rannsóknir í Jökulsárlóni í ágúst 2012 urðu vísindamenn varir við rauðbrúnan lit á sjó í kjölfari báta sem þar sigldu um. Ekki voru tekin sérstök sýni til að kanna hverju þetta sætti en tekin voru næringarefnasýni á staðnum auk frekari athuganna sem gerðar voru. Við heimkomu á Hafrannsóknastofnun minntist Jón Ólafsson haf-fræðingur á þetta fyrirbrigði við samstarfsmenn sína sem stunda svifpörungarannsóknir. Varð þá að ráði að kanna með smásjárskoðunum hvort nýta mætti næringarefnasýnin til að athuga hvort einhverjar svifpörungategundir ættu hér hlut að máli. Þessi grein lýsir niðurstöðum þeirra rannsókna auk þess sem gerð er grein fyrir hita, seltu og næringarefnum í Jökulsárlóni 23. ágúst 2012.

## Aðferðir

Í Jökulsárlóni voru tekin sjósýni til mælinga á næringarefnum þann 23. ágúst 2012 auk þess sem mældur var hiti og selta. á allmörgum stöðum í lóninu. Hér er sagt frá niðurstöðum mælinga og greininga á þremur stöðum nr 2, 4 og 5 (1. mynd) en til viðbótar liggja fyrir talningar og greiningar á svifpörungum á sýnatökustað, sem er milli staða 2 og 4, sennilega nær stað 2 (1. mynd). Staðurinn er nefndur 3 í texta en er ekki merktur á 1. mynd þar sem sýnið var tekið úr bátnum á ferð og nákvæm staðsetning því óviss.

Næringarefnasýnum (nítat, fosfat og uppleystur kísill) var safnað úr yfirborði. Sýnin voru greind á Hafrannsóknastofnun með aðferðum sem notaðar eru til að mæla sjó (Grasshoff et al., 1983). Hiti og selta voru mæld frá yfirborði að 60 m dýpi á sömu stöðum með sítandi Sea-Bird sondu (SBE 19).

Næringarefnasýnum frá fyrrnefndum stöðvum, sem geymd höfðu verið í kæli í nokkra daga, voru skoðuð í smásjá til að athuga hvort unnt væri að greina í þeim svifpörunga eða aðrar lífverur sem valdið gætu lit á sjónum. Svo vel tókst til að svifpörungarnir voru enn í



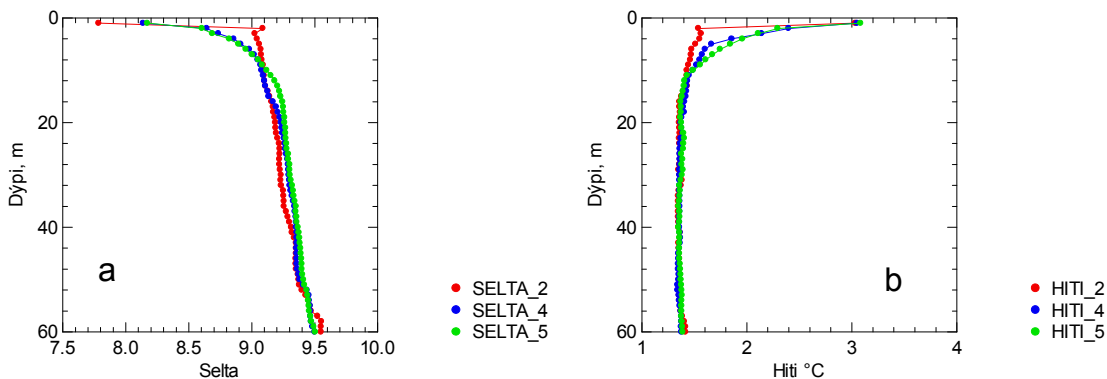
1. mynd. LANDSAT mynd frá NASA af Jökulsárlóni 3. september 2013. Inn á myndina eru merktir þrjár sýnatökustaðir (2, 4 og 5) 23. ágúst 2012

Figure 1. NASA/LANDSAT image from Jökulsárlón 23 August 2013. Sampling stations 2, 4 and 5 are labelled on the image.

góðu ásigkomulagi í næringarefnaflöskunum og því reyndist unnt að greina svifþörunguna í sýnunum. Þar á meðal fannst skorupörunga- tegundin *Peridiniella catenata* (*Dinophyceae*) í miklum mæli í tveimur sýnum. Í framhaldinu voru fleiri næringarefnasýni tekin og varðveitt með hltuleystu formalíni og geymd til frekari talninga og greininga á svifþörungum. Talningar voru gerðar með aðferð Utermöhl (Hasle 1978) í 10 ml hlutsýni. Ljósmyndir voru teknar af tegundinni *Peridiniella catenata* í lifandi sýni og í sýni sem var varðveitt með formalíni og er hluti þeirra birtur hér.

### Niðurstöður

Hita- og seltuferlar frá yfirborði að 60 m dýpi á stöðum 2, 4 og 5 má sjá á 2. mynd. Hiti við yfirborð er um 3°C en lækkar niður 1,5°C í efstu 8 metrunum en breytist eftir það lítið með dýpi. Selta er um 8 í bláfyfirborði en hækkar ört upp yfir 9 í efstu metrunum en vex svo hægt



2. mynd. Seltu (a) og hitaferlar (b) á stöðum 2, 4 og 5 í Jökulsárlóni frá yfirborði að 60 m dýpi.

Figure 2. Salinity (a) and temperture profiles (b) from surface to 60 m depth at stations 2, 4 and 5 in Jökulsárlón.

með dýpi. Það er því ljóst að í efstu 5 metrum þessara staða er greinileg lagskipting vegna breytinga bæði á hita og seltu.

Niðurstöður úr næringarefna mælingum í yfirborði á stöðum 2, 4 og 5 sýna að styrkur fosfats og nitrats er mjög lágur en styrkur kísils mjög hár (Tafla 1). Mælingar frá 10 m dýpi sýna örlítið hærri gildi fyrir fosfat og nítrat en svipuð gildi fyrir kísil.

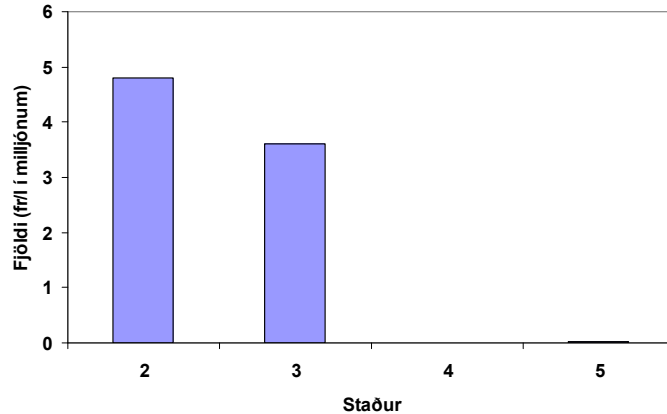
Tafla 1. Styrkur næringarefna ( $\mu\text{mol/l}$ ) (N, P, Si) í yfirborði á stöðum 2, 4 og 5 í Jökulsárlóni 23 ágúst 2012

Table 1. Concentration of nutrients ( $\mu\text{mol/l}$ ) (N, P, Si) in surface water at stations 2, 4 and 5 in Jökulsárlón 23 August 2012.

Staður	Fosfat	Kísill	Nítrat
2	0.19	26.9	0.24
4	0.07	25.8	0.28
5	0.08	25.8	0.27

*Peridiniella catenata* fannst á öllum þeim fjórum stöðum sem athugaðir voru bæði í yfirborðsýnum (0 m) og í sýnum frá 10 m dýpi (3. mynd). Frumufjöldi *P. catenata* var mestur á stað 2 á 10 m dýpi um 4,8 milljónir fr/l. Á stað 3 sem er milli staðar 2 og 4 var tekið sýni úr yfirborði en þar var frumufjöldi *P. catenata* um 3,6 milljónir fr/l (3. mynd). Á stöðum 4 og 5 fannst *P. catenata* en frumufjöldi hennar var miklu lægri en á fyrrnefndum stöðum. Fjöldi annarra skorubörunga og smárra svifbörunga er sýndur á mynd 4. Fjöldi skorubörunga var frá rúmlega 6 þúsund fr/l að rúmum 80 þúsund fr/l en fjöldi smárra svifbörunga var frá rúmum 40 þúsund fr/l á stað 4 að um 550 þúsund fr/l á stað 3 (4. mynd). Eitt sýni var skoðað frá 59 m dýpi á stað 2. Þar fannst ekki *Peridiniella catenata*. Þar fundust hins vegar nokkrar



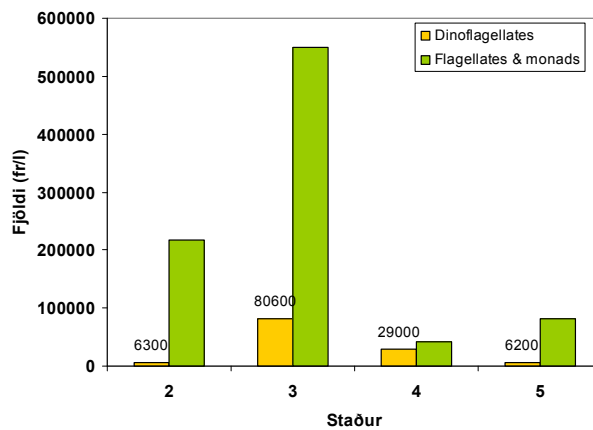


3. mynd. Fjöldi (milljónir fruma í lítra) *Peridiniella catenata* á fjórum stöðum í Jökulsárlóni 23. ágúst 2012.

Figure 3. Number (millions of cells/litre) of *Peridiniella catenata* at four stations in Jökulsárlón 23 August 2012

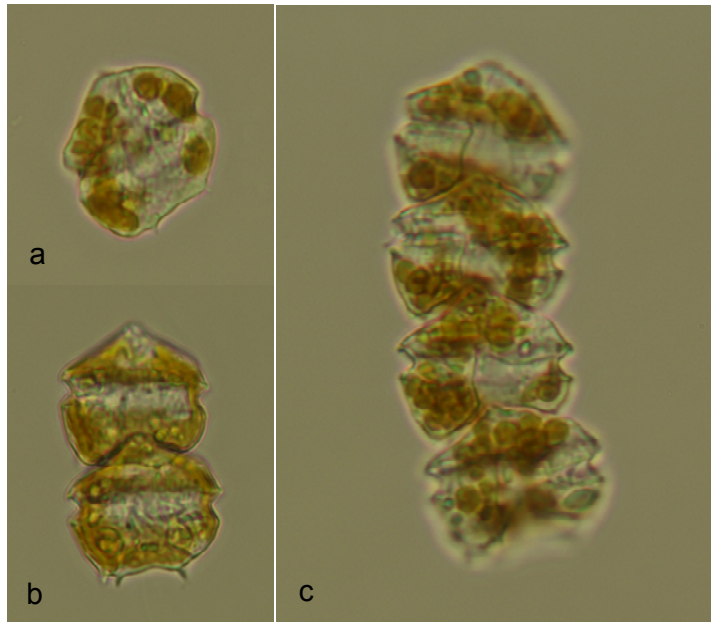
tegundir af skorupörungnum *Ceratium* en það voru *C. bucephalum* (20 fr/l), *C. furca* (400 fr/l), *C. fusus* (20 fr/l), *C. longipes* (180 fr/l), *C. cf. macroceros* (20 fr/l) og *C. tripos* (480 fr/l). Nær engir kísilpörungar fundust í þeim sýnum sem greint var úr í Jökulsárlóni.

*Peridiniella catenata* kom fyrir sem stakar frumur en einnig tvær, eða fjórar frumur saman í keðjum og má sjá myndir af lifandi frumum á 5. mynd. Myndir af frumum sem voru meðhöndlaðar með kalkflúorlausn til að greina betur form þeirra má sjá á 6. mynd.



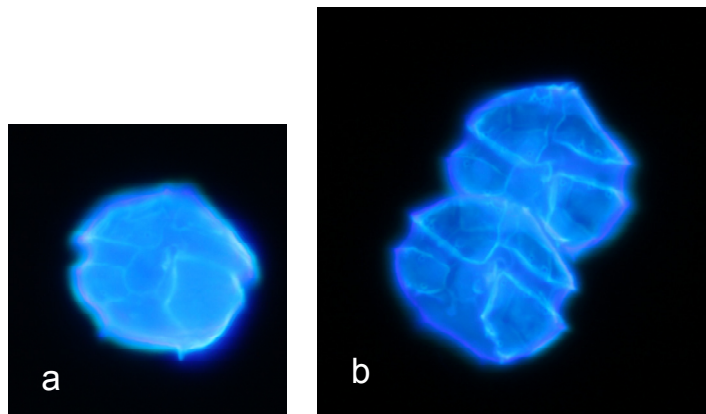
4. mynd. Fjöldi (frumur í lítra) skorupörunga (*Dinoflagellates*) annarra en *P. catenata* og smárra svifpörunga (*Flagellates & monads*) á fjórum stöðum í Jökulsárlóni 23. ágúst 2012.

Figure 4. Number (cells/litre) of dinoflagellates other than *P. catenata* and *Flagellates & monads* at four stations in Jökulsárlón 23 August 2012



5. myn. Lifandi eintök af *Peridiniella catenata* séð í ljósmásjá (400x stækkun) a) stök fruma, b) tvær frumur saman og c) 4 frumur í keðju.

*Figure 5. Life specimens of Peridiniella catenata seen through a light microscope (400x) a) single cell, b) two cells chain c) four cells chain.*



6. mynd. *Peridiniella catenata* séð í ljómunarsmásjá (400x stækkun) a) stök fruma, b) tvær frumur saman.

*Figure 6. Peridiniella catenata as seen through a fluorescence microscope (400x) a) single cell, b) two cells in chain*

## Umræða

Síðla sumars er styrkur næringarefna í yfirborðslögum í hafinu við Ísland yfirleitt lágur því þörungar hafa nýtt þessi næringarefni til vaxtar undangengnar vikur og mánuði. Vegna ferskvatnsáhrifa getur

kísilstyrkur í strandsjó þó verið miklu hærri en utar á landgrunninu (Sólveig R. Ólafsdóttir, 2006; Unnsteinn Stefánsson og Jón Ólafsson, 1991). Í Jökulsárlóni er blanda af sjó, bráðnum ís og jökulárvatni og lágur styrkur fosfats og nitrats endurspeglar árstímann, en hár kísilstyrkur áhrif jökulána.

Mest fannst af *Peridiniella catenata* yst í Jökulsárlóni á stað 2 (1. mynd). Mikill munur var á fjölda *P. catenata* á milli staða. Fjarlægðin milli staða 2 og 3 var aðeins um 500 m og fjöldi fruma taldi milljónir í lítra. Mun færri frumur fundust á stöðum 4 og 5 innar í lóninu þó fjarlægð milli þeirra og staða 2 og 3 væri ekki mikil. Þetta bendir til þess að útbreiðsla *P. catenata* hafi verið á fremur litlu svæði en innan þess hafi þéttleiki hennar verið mikill. *P. catenata* var til staðar frá yfirborði að 10 m dýpi samanber talningar á stað 2 og því sennilegast verið hnappdreifð innan hins eðlislætta yfirborðslags (2. mynd). Þessi útbreiðsla samsvarar vel þeirri almennu vitneskju að skorupörungar koma oft fyrir í flekkjum (patches) þar sem heppileg vaxtarskilyrði eru fyrir hendi eða þeir ná yfirhöndinni í samkeppni við aðra svifpörungahópa. Það er þó ekki hægt að greina miklar breytingar í umhverfisþáttum svo sem hita, seltu og næringarefnum á næstu stöðvum í Jökulsárlóni 23. ágúst 2012 þegar sýnatakan fór fram sem skýrt gætu þessa útbreiðslu. Kísilpörungar þurfa kísil til vaxtar og byggingar á skel sinni. Skorupörungar þurfa ekki og nýta ekki upp-leystan kísil heldur aðeins köfnunarefnissambönd og fosfórsambönd en af þeim var lítið á formi nitrats og fosfats. Margir skorupörungar geta einnig náð sér í nauðsynleg næringarefni með því að gleypa lífverur og nýta úr þeim næringarefnin sér til vaxtar (mixotrophy). Þá má nefna að skorupörungar eru með svipur og því færir um að synda upp og niður í vatnssúlunni sem gefur þeim forskot þar sem lagskipting er til staðar við svo lagskiptar aðstæður. Því er ljóst að skorupörungar, í þessu tilfalli *Peridiniella catenata* hefur haft mikla yfirburði til vaxtar fram yfir t.d. kísilpörunga þó kísill væri nægur.

Hugsanlega hefur bátaumferð á sunnanverðu lóninu aukið lóðréttu blöndun í efstu metrunum og bætt þannig vaxtarskilyrði *P. catenata*. Líklegast er þó að straumar innan Jökulsárlóns ráði meiru um dreifingu tegundarinnar en önnur atriði. Þeir eru einkum til suðurs og því er víst að þessi svifpörungur getur borist í átt til hafs með útfallinu. Hinu má ekki gleyma að sjávarfalla gætir í lóninu sem getur líka haft áhrif á útbreiðsluna inn eða út úr því. Einnig má vera að *P. catenata* hafi verið til staðar enn innar í lóninu en hér hefur verið sýnt en þaðan voru engin sýni tiltæk til skoðunar og því ekki hægt að fullyrða neitt um það.

Þrátt fyrir háan styrk kísils finnast varla kísilpörungar í sýnunum sem stafar af því að magn nitrats og fosfats er mjög lágt. Kísilpörungar eru í lágmarki við Ísland síðla sumars skv. mörgum rannsóknum (sjá t.d., Þórunn Þórðardóttir 1994, Kristinn Guðmundsson og fleiri, 2002, Agnes Eydal, 2003). Sýnt hefur verið fram á að

kísilpörungar eiga mjög erfitt uppdráttar í sjó ef styrkur næringarefna er lágur og lúta þeir þá í lægra haldi fyrir öðrum hópum t.d. skorupörungum. Einnig er selta lág í lóninu og því ekki ósennilegt að hún hafi sín áhrif til að kísilpörungar úr sjó eigi erfiðara uppdráttar í lóninu.

*Peridiniella catenata* (Levander) Balech er kaldsjávartegund með vítt seltupól, allt frá sjó með mjög lágri seltu (nánast ferskvatn) upp í fullsaltan sjó. Hún er gjarnan tengd ís á norðlægum slóðum og skilgreind sem “arctic-boreal” tegund sem lifir bæði í sjó og á ís (planktonic-sympagic). Hún er algeng kaldsjávartegund norðarlega í Eystrasalti (Autio et.al., 1990) og hefur oft fundist á eða undir hafís (Ikávalko and Thomsen, 1997). Tegundinni var fyrst lýst sem *Peridinium catenatum* Levander 1894 en síðar var hún flutt í ættkvísl *Amylax* (Meunier, 1910), þá í *Gonyaulax* (Kofoid, 1911) og að síðustu til *Peridiniella* (Balech 1977) (Hansen and Moestrup, 1998). Greiningar margra skorupörunga eru gerðar eftir plötubyggingu á efri (epicone) og neðri (hypocone) hluta frumunnar. Tegundin *Peridiniella catenata* hefur þá sérstöðu að efri helmingur hennar hefur plötumunstur ættkvíslarinnar *Peridinium* en neðri helmingurinn hefur plötumunstur ættkvíslarinnar *Gonyaulax* og passar því í hvoruga þessa ættkvísl (Hansen and Moestrup, 1998). Af þessum sökum er hún sett í ættkvíslina *Peridiniella*.

Tegundin finnst í köldum og kaldtempruðum sjó en finnst einnig í ísöltum sjó eins og áður sagði. Hún er algeng í Eystrasalti og Kattegat og finnst í Oslóarfirði og við suður Noreg. Sennilegt er að hún berist á þær slóðir frá Eystrasalti (Thronsen et al., 2003). Hún vex á hafís og getur borist með honum milli svæða. Hún er vel þekkt í höfum sem liggja að eða nærri Norðurpólnum svo sem í Chukchi hafi, Austur Síberíuhafi, Laptev hafi, Karahafi, Hvítahafi og í Barentshafi (Okolodkov, 1999) en einnig hefur hún fundist tengd hafís við Svalbarða og í Framsundi. Í aðeins tveimur tilvikum hefur hún fundist utan norðurhvels jarðar en það var á strandsvæðum við Angóla í Afríku (Okolodkov, 1999).

Í náttúrunni kemur *Peridiniella catenata* fyrir sem stakar frumur eða í stuttum keðjum (2, 4, 8 saman í keðju). Í Jökulsárlóni fundust stakar frumur og 2, eða 4 frumur saman í keðju (mynd 6). Þær tengjast þannig saman að efri hluti frumu (epicone) gengur upp í neðri hluta næstu frumu (hypocone) (5. og 6. mynd). Hver fruma er 20 – 35 µm og er hún álíka löng og hún er breið (Bjergskov et al. 1990, Kremp 2000) og reyndust frumur tegundarinnar í Jökulsárlóni innan þessara stærðarmarka. Á neðri hluta frumu eru allnokkrir gaddar og er það eitt af þeim atriðum sem greina tegundina frá öðrum líkum tegundum (6. mynd). Hún er ekki talin eitruð eða geta valdið eitrun í skelfiski eða öðrum lífverum en það á hins vegar við um aðrar tegundir sem líkjast henni svo sem *Gymnodinium catenatum* sem finnst í Evrópu og víða um heim (Bjergskov et al. 1990; Faust and Gullede, 2002) og

*Alexandrium catenata* sem finnst víða í Kyrrahafi og hefur fundist við vesturströnd Suður Afríku (Hallegraeff, 1991, Faust and Gullede, 2002). *P. catenata* er þekkt fyrir að koma fyrir í miklum fjölda og mynda blóma sem geta litað sjó með rauðbrúnum lit. Þegar vaxtar-skilyrði verða lakari er þekkt í Eystrasalti að *P. catenata* myndar dvalarform (cysts), sem fellur til botns og bíður betri lífsskilyrða til að geta spírað aftur og orðið að venjulegri frumu (Kremp 2000). Dvalarformið er mjög ólíkt móðurfrumunni í útliti en með því að rækta upp dvalarformið í venjulega sviflæga frumu hefur þetta komið í ljós (Kremp, 2000).

### Lokaorð

Eftir því sem næst verður komist er þetta í fyrsta skipti sem *Peridiniella catenata* er greind í sjó við Ísland. Engar heimildir eru til-tækar um að tegundin hafi fundist áður í strandsjó við Ísland eða í þeim fjörðum þar sem rannsóknir á svifþörungum liggja fyrir. Í fram-tíðinni væri forvitnilegt að rannsaka fleiri lón í þeim tilgangi að kanna hvort tegundin hefst þar við, sérstaklega lón þar sem ís er algengur, hvort sem er lagnaðarís eða jökulís.

### Þakkir

Við þökkum Alice Benoit-Cattin og Magnúsi Danielsen fyrir að gera mælingar á næringarefnum og seltu. Hildi K. Oddgeirsdóttur, Kristni Guðmundssyni og Konráð Þórisyni þökkum við fyrir yfirlestur á handriti og gagnlegar ábendingar.

### Heimildir

Agnes Eydal, 2003. Áhrif næringarefna á tegundasamsetningu og fjölda svifþörungum í Hvalfirði. Hafrannsóknastofnunin, Fjölrit nr. 99.

Autio, R., A-S Heiskanen, G. Hållfors, S. Hållfors, S. Kaitala, K. Kivi, H. Kuosa, J. Ku-parinen, P. Kuuppo-Leinikki, R. Lignell, K. Lindquist, R. Pajuniemi, R. Ranta, T. Tamminen and A. Uitto, 1990. Ecological plankton research of the Baltic Sea – Project PELAG: Final Report 1987-89. PELAG Press, Helsinki

Balech, E., 1977. Cuatro especies de 'Gonyaulax' sersu lata, y consideraciones sobre el genero (Dinoflagellata). Rev. Mus. Argent. Cien. Nat. 'Bernardino Rivadavia', Hidrobiologia,5: 115 - 143.

Bjergskov, Th., J. Larsen, Ø. Moestrup, H.M. Sørensen og P. Krogh, 1990. Toksiske og potentielt toksiske alger i danske farvande. Kontrolforanstaltninger, Taxonomi, Økologi, Toksikologi. Udgivet av Fiskeriministeriets Industritilsyn, september 1990.

Faust, M.A. and R.A. Gullede, 2002. Identifying Harmful Marine Dinoflagellates. Smithsonian Institution: Contribution from United States National Herbarium, vol. 42:1-144. Department of Systematic Biology – Botany, National Museum of Natural History, Washington, DC, 2002.

Grasshoff, K., Ehrhardt, M., Kremling, K., 1983. Methods of Seawater Analysis, 2nd ed. Verlag Chemie GmbH, Weinheim, pp. 419.

Gunnar Steinn Jónsson, 1986. Blóðsjór við Ísland. Hafrannsóknir, 35. hefti, bls. 69-75.

- Hallegraeff, G.H., 1991. Aquaculturists' Guide to Harmful Australian Microalgae. Fishing Industry Training Board of Tasmania, 25 Old Warf, Hobart, Tasmania 7000, Australia. Copyright © CSIRO Australia.
- Hasle, G., 1978. The inverted-microscope method. In Phytoplankton manual bls. 88-96, ed. A. Sournia, Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris. Unesco.
- Hansen, G. and Ö. Moestrup, 1998. Light and electron microscopical observation on *Peridiniella catenata* (Dinophyceae). Eur. J. Phycol. 33:293-305.
- Helgi Björnsson, Finnur Pálsson og Sverrir Guðmundsson, 2001. Jökulsárlón at Breiðamerkursandi, Vatnajökull, Iceland: 20th century changes and future outlook. Jökull 50, 1-18.
- Ikávalko, J. and H.A. Thomsen, 1997. The Baltic sea ice biota (March 1994): a study of the protistan community. Eur. J. Protistology, 33:229-243.
- Kofoed, C.A., 1911. On the skeletal morphology of *Gonyaulax catenata* (Levander). Univ. Calif. Publ. Zool., 8: 287 – 294.
- Kremp, A., 2000. Morphology and germination pattern of the resting cyst of *Peridiniella catenata* (Dinophyceae) from the Baltic Sea. Phycologia, 39(3):183-186.
- Kristinn Guðmundsson, Ástþór Gíslason, Jón Ólafsson, Konráð Þórisson, Rannveig Björnsdóttir, Sigmar A. Steingrímsson, Sólveig Ólafsdóttir og Öyvind Kaasa, 2002. Ecology of Eyjafjörður project in the period April 1992 – August 1993. Hafrannsóknastofnun, Fjölrit nr. 89.
- Levander, K. M., 1894. *Peridinium catenatum* n. sp. eine kettenbildende Peridinee im Finischen Meerbusen. Acta Soc. Fauna Flora Fenn., Helsingfors, IX, 10, 1-19, 1 pl.
- Meunier, A., 1910. Microplankton des Mers de Barents et de Kara. Duc D'Orléans Campagne Arctique de 1907, Brussels.
- Okolodkov, Y.B., 1999. An Ice-Bound Planktonic Dinoflagellate *Peridiniella catenata* (Levander) Balech: Morphology, Ecology and Distribution. Botanica Marina 42: 333-341.
- Sólveig R. Ólafsdóttir, 2006. Styrkur næringarefna í hafinu umhverfis Ísland, Hafrannsóknastofnunin Fjölrit, Reykjavík, p. 24 pp.
- Thronsen, J., G.R. Hasle og K. Tangen, 2003. Norsk kystplanktonflora. Almater Forlag AS, 341 s.
- Unnsteinn Stefánsson og Jón Ólafsson, 1991. Nutrients and fertility of Icelandic waters. Rit Fiskideildar 12, 1-56.
- Þórunn Þórðardóttir, 1994. Plöntusvif og framleiðni í sjónum við Ísland. Í: Íslendingar, hafið og auðlindir þess. Vísindafélag Íslendinga, Ráðstefnurit IV. Ritstjóri Unnsteinn Stefánsson. Reykjavík 1994, bls. 65-89

### 3.5. UMHVERFISBREYTINGAR OG ÚTBREIÐSLA ÚTHAFSRÆKJU VIÐ ÍSLAND

#### CLIMATE CHANGE AND THE DISTRIBUTION OF NORTHERN SHRIMP

Anika K. Guðlaugsdóttir<sup>1</sup>, Jörundur Svavarsson<sup>2</sup> og Ingibjörg G. Jónsdóttir<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Hafrannsóknastofnun, <sup>2</sup>Háskóli Íslands

#### Ágrip

Breytingar á útbreiðslu og þéttleika úthafsækju við Ísland frá árunum 1988–2013 voru rannsakaðar. Hitastig sjávar við Ísland hefur hækkað seinustu ár, auk þess sem þorskur fór að ganga inn á hefðbundin rækjувæði í auknum mæli um mitt rannsóknartímabilið. Á sama tíma hefur þéttleiki rækju farið minnkandi en vísitala úthafsækju var í sögulegu lágmarki árið 2004. Massamiðja rækjuútbreiðslu var reikuð fyrir hvert ár og tilfærsla hennar skoðuð í samhengi við helstu áhrifaþætti. Að auki var stofnvísitala rækju skoðuð með tilliti til sömu áhrifaþætta. Bæði úthafsækjuafli og þorskmagn á rækjuslóð höfðu marktæk áhrif á útbreiðslu úthafsækju, auk þess sem meðal yfirborðshiti sjávar í rækjuleiðangri hafði marktæk neikvæð áhrif á stofnstærð.

#### Abstract

*Changes in the distribution and abundance of the offshore shrimp stock in Icelandic waters in 1988–2013 were investigated. Temperature and cod abundance on the shrimp grounds increased during the study period and at the same time, shrimp abundance declined and reached a historical low in 2004. In this study, the centre of gravity of the shrimp distribution was estimated for each year and its displacement examined in terms of main influencing factors. The effect of the same factors on the shrimp biomass index was also examined. The offshore shrimp catch and the cod biomass index from the annual offshore shrimp surveys had significant effects on the centre of gravity and the mean sea surface temperature was found to influence the shrimp biomass index significantly in a negative way.*

#### Inngangur

Hitastig er einn af þeim umhverfisþáttum sem mótar útbreiðslu tegunda og fjölmargar rannsóknir á útbreiðslu fiska (Brander *et al.*,

2003; Choi *et al.*, 2004; Perry *et al.*, 2005) og hryggleysingja (Thompson *et al.*, 2002) hafa sýnt fram á breytingar í útbreiðslu samfara hlýnun sjávar.

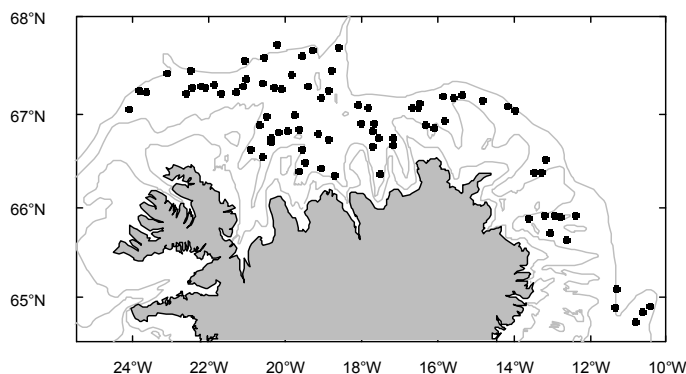
Hitastig sjávar við Ísland hefur hækkað um 1–2°C á seinustu árum (Steingrímur Jónsson & Héðinn Valdimarsson, 2012) en fyrri rannsóknir á úthafs-rækju hafa sýnt fram á áhrif hitastigs á stærð við kynþroska (Unnur Skúladóttir & Gunnar Pétursson, 1999), hámarksstærð (Unnur Skúladóttir & Gunnar Pétursson, 1999), lengd eggburðartímabils (Unnur Skúladóttir *et al.*, 1991) og á nýliðun (Ingibjörg G. Jónsdóttir *et al.*, 2013). Hitastig virðist því vera einn af helstu þáttum sem móta lífsögu úthafs-rækju og því líklegt til að hafa áhrif á þéttleika og útbreiðslu rækjunnar.

Markmið rannsóknarinnar var að athuga hvort sjávarhiti hafi áhrif á útbreiðslu og þéttleika úthafs-rækju. Auk hitastigs var athugað hvort þorskmagn í árlegum rækjuleiðangri og árlegur afli úthafs-rækju við Ísland hefðu áhrif. Massamiðja útbreiðslusvæðisins var reiknuð fyrir hvert ár til að skoða breytingar í útbreiðslu á árunum 1988–2013.

## Efni og aðferðir

Sýnasöfnun fór fram í árlegum rækjuleiðangri Hafrannsóknastofnunar árin 1988–2013. Fram til ársins 2006 voru sýnatökustöðvarnar 190 en árið 2006 var þeim fækkað niður í 92 og hafa þær verið það síðan. Til að hafa gögnin sambærileg öll árin byggir þessi rannsókn á þeim 92 stöðvum sem teknar voru öll árin. (1. mynd). Á hverri stöð var dýpi og hitastig mælt, auk þess sem þorskur var talinn.

Við sýnatöku var notast var við rækjuvörpu (1200 möskva). Toglengd var 4 sjómíllur árin 1988–1990 en minnkuð í 2–3 sjómíllur árið 1991 og í 1,5–2 árið 2004. Toghraði var 2,1–2,3 hnútar öll árin. Meðalhiti við yfirborð og botn var mældur og á hverri stöð var heildar afli rækju vigtaður og einstaklingar taldir. Massamiðja rækjuútbreiðslunnar var reiknuð fyrir hvert ár til að kanna hvort breytingar væru á útbreiðslu rækju og hvort útbreiðsluna væri hægt að tengja við



1. mynd Kort sem sýnir þær sýnatökustöðvar sem teknar voru öll árin í árlegum úthafs-rækjuleiðangri 1988–2013.

Figure 1. Sampling stations from the annual offshore shrimp surveys in 1988–2013.



umhverfisbreytur. Hnit massamiðju voru reiknuð með eftirfarandi formúlu:

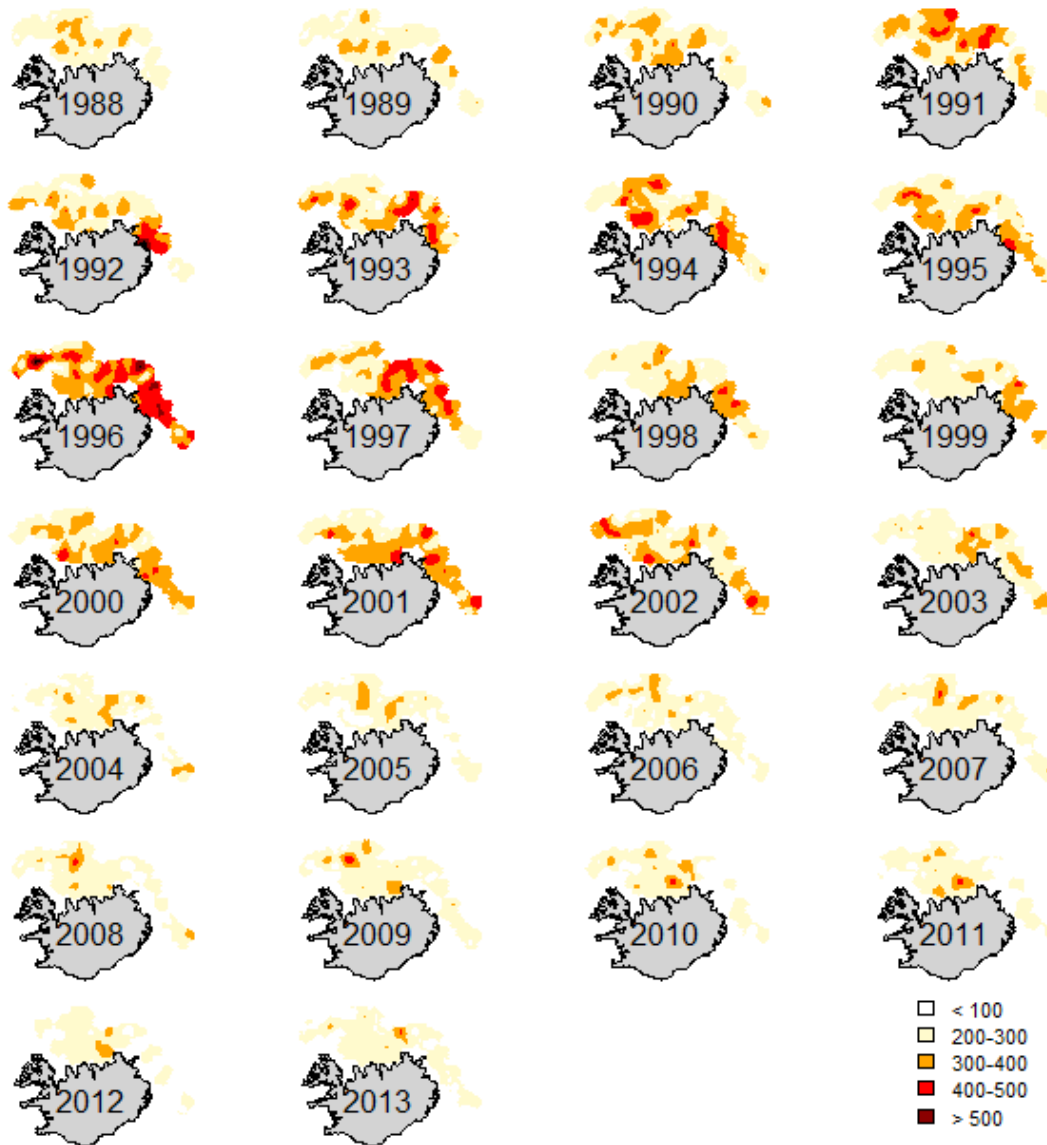
$$CG = \begin{cases} \frac{\sum_i u_i z_i}{\sum_i z_i} \\ \frac{\sum_i v_i z_i}{\sum_i z_i} \end{cases} \quad \text{þar sem } u_i \text{ er lengdargráða, } v_i \text{ er breiddargráða} \\ \text{og } z_i \text{ er mældur þéttleiki á sýnatökustöð } i.$$

Meginhlutagreining (Principal component analysis, PCA) var framkvæmd á staðsetningu massamiðjunnar (lengdar- og breiddargráðu hvers árs) og fengið með því eitt gildi sem notað var í aðhvarfsgreiningum, en aðferðin byggir á að fækka tengdum breytum og skýra þannig eins mikið og hægt er af heildardreifingunni með lágmarksfjölda þátta. Gildin voru því næst notuð sem svarbreyta í fjölþátta aðhvarfsgreiningu þar sem skýribreyturnar voru meðal- botnhiti og yfirborðshiti sjávar, vísitala þorsks úr árlegum rækjuleiðangri auk heildar- aflu úthafs-rækju á Íslandsmiðum. Sambandið var skoðað enn frekar með almennu samlagningarlíkani (Generalized additive model, GAM), þar sem skýribreytur geta verið þjálur (smooth). Lokalíkan var valið með aðferð Akaike's information criterion (AIC) fyrir litlar sýnastærðir en aðferðin byggir á því að meta æskilegan breytufjölda og valið er það líkan sem fellur best að gögnunum án þess að tilviljanaskekkjur hafi of mikil áhrif á það. Besta líkanið hefur lægsta AIC gildið. Áhrif vísitölu þorsks og meðal- botnhita og yfirborðshita sjávar í rækjuleiðangri á stofnvísitölu rækju voru einnig könnuð með aðhvarfsgreiningum en afli úthafs-rækju var ekki notaður þar sem um tilbúið samband er að ræða þar sem ráðgjöf tekur tillit til stofnstærðar. Stofnvísitalan var tafin um eitt ár til að athuga hvort aðstæður umhverfis frá árinu áður kæmu fram í breytingum árið eftir.

## Niðurstöður

### Rækja

Útbreiðsla úthafs-rækju náði yfir norður og austurmið frá Kögri að Krossanesi en dreifingin var nokkuð blettótt árin 1988–2002. Árin 1988–1990 var þéttleiki allstaðar lítill og fá svæði með miklum þéttleika. Árin 1991–2001 voru margir þéttleikar dreifðir um allt útbreiðslusvæðið og árið 1996 náði stofninn hámarksstærð. Þéttleikinn var þá mestur norðaustan við landið og mun minni norðvestan til. Eftir það fór stofnstærð minnkandi, einkum eftir 2002, og útbreiðslan varð mun strjálari. Svæðum með miklum þéttleika fækkaði árin 2003–2013 en árin 2012 og 2013 var þéttleiki alls staðar lítill (2. mynd).

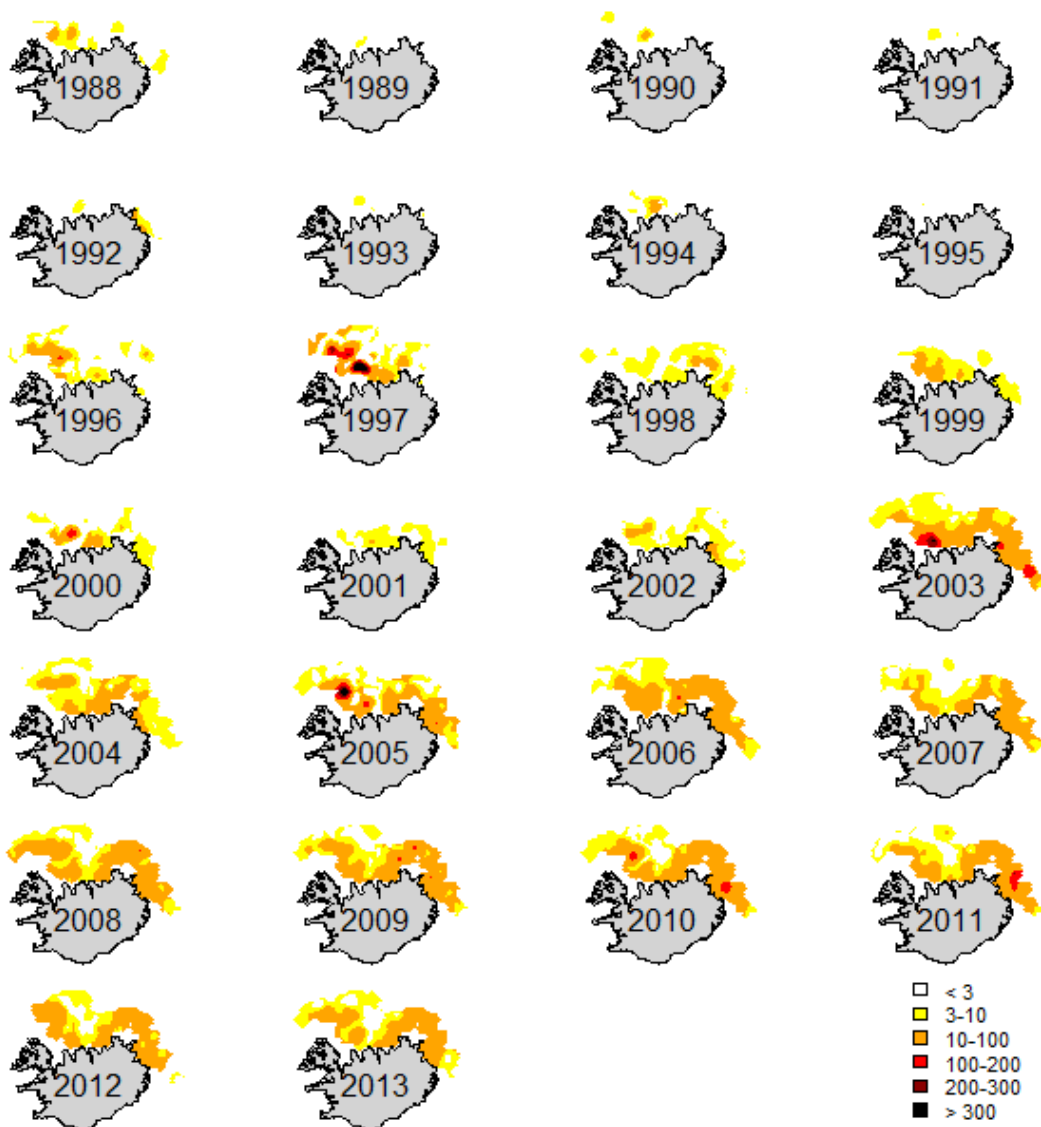


2. mynd. Útbreiðsla úthafsækju (kg/sjm) samkvæmt árlegum úthafsækjuleiðöngnum árin 1988–2013.

Figure 2. Geographical distribution of offshore shrimp (kg/nm) from the annual offshore shrimp surveys 1988–2013.

### Þorskur

Útbreiðslukort þorsks í rækjuleiðangri sýnir að þorskur var til staðar á rækjuslóð árið 1988. Þéttleiki var lítil árin 1988–1995 en árið 1996 fannst þorskur í talsverðum mæli á öllu svæðinu. Þéttleiki hélst áfram mikill næstu ár og var mestur árið 2003. Árin 2003–2013 var þéttleiki allstaðar mikill og nokkuð jafndreifður yfir allt svæðið (3. mynd).

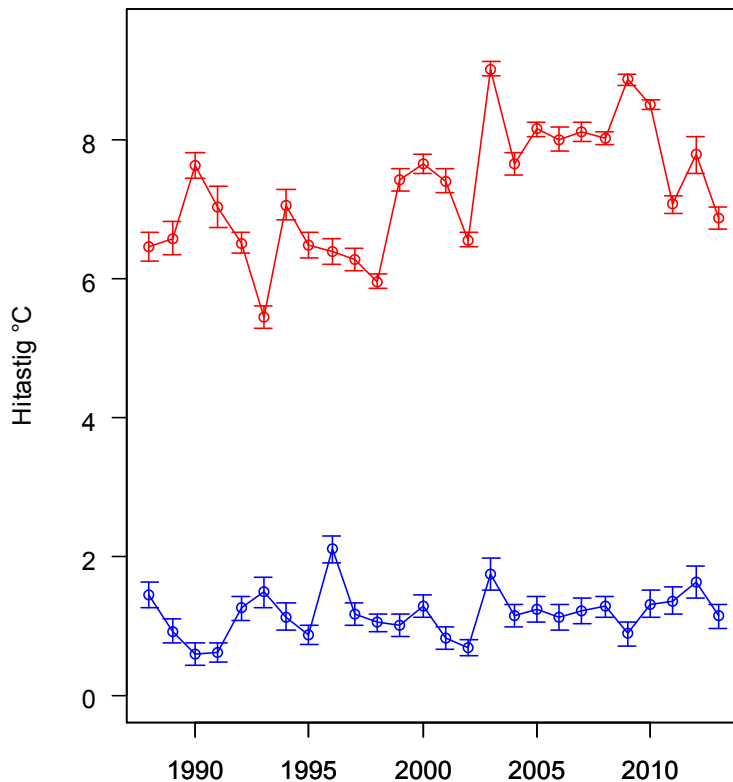


3. mynd. Útbreiðsla þorsks (fj/sjm) samkvæmt árlegum úthafs-rækjuleiðöngrum árin 1988–2013.

Figure 3. Geographical distribution of cod (number/nm) from the annual offshore shrimp surveys 1988–2013.

### Hitastig

Meðal yfirborðshiti mældist á milli 5,5 og 9,0°C yfir tímabilið og var lægstur árið 1993 og hæstur árið 2003. Árin fyrir 2003 var meðalhitinn á bilinu 5,5–7,7 °C en frá og með árinu 2003 var hann töluvert hærri, eða á bilinu 6,9–9,0°C (4. mynd). Einfalt línulegt aðhverfvarf sýnir að hækkun yfirborðshita milli þessara tímabila er marktæk ( $P < 0.05$ ). Meðal botnhiti í rækjuleiðöngrum árin 1988–2013 var á bilinu 0,6–2,1°C, lægstur árið 1990 en hæstur árið 1996 (4. mynd). Botnhiti var einnig hár árið 2003.



4. mynd. Meðal botnhiti (blátt) og yfirborðshiti (rautt) með staðalskekkjumörkum árin 1988–2013.

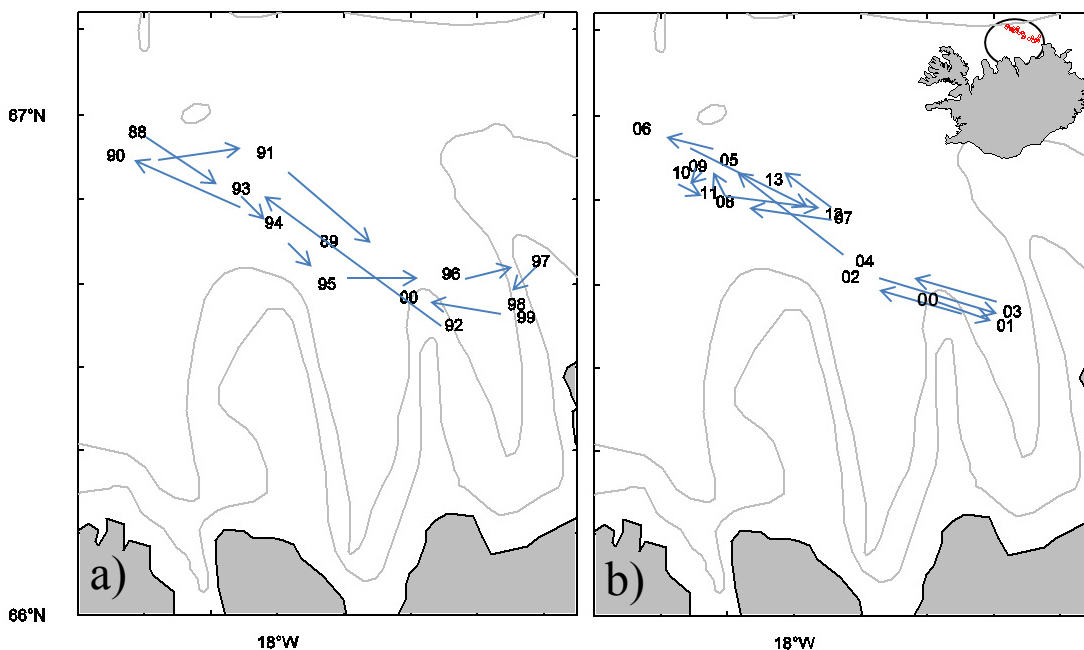
Figure 4. Mean bottom temperature (blue) and mean sea surface temperature (red) with standard errors for the years 1988–2013.

### Massamiðja

Massamiðjan á útbreiðslu úthafsækju var á svipuðum slóðum norðan við landið öll árin. Árin 1988–2000 er færsla hennar að mestu í suðaustur og að landi, en frá 2001 var færslan að mestu í norðvestur-átt og frá landi (5. mynd).

Línuleg aðhvarfsgreining milli massamiðju og áðurnefndra skýribreyta sýndi að úthafsækjuafli og vísitala þorsks í rækjuleiðangri breyttust í takt við tilfærslu massamiðjunnar en samanlagt útskýrðu breyturnar tvær 44,8% af breytileikanum ( $P < 0,05$ ). Sömu breytur höfðu marktæk áhrif í almenna samlagningarlíkaninu (GAM) og því voru aðrar breytur útilokaðar úr lokalíkaninu, þ.e meðal- botnhiti og yfirborðshiti. Lokalíkanið útskýrði 48,6% af breytileikanum og var valið besta líkanið samkvæmt gildum AIC (Tafla 1).

Línuleg aðhvarfsgreining fyrir vísitölu úthafsækju sýndi að meðal yfirborðshiti sjávar í rækjuleiðangri hafði marktæk ( $p < 0.05$ ) neikvæð áhrif á vísitöluna. Yfirborðshiti var eina marktæka breytan í líkaninu og útskýrt hlutfall breytileika var 27.5%. Sambandið var neikvætt með ferilinn -10.27 þar sem vísitalan lækkaði samfara auknum meðal yfirborðshita (Tafla 1).



5. mynd. Staðsetning massamiðjunnar og tilfærsla hennar árin (a) 1988–2000 og (b) 2000–2013.

Figure 5. Location of the centre of gravity and its displacement in the years (a) 1988–2000 and (b) 2000–2013.

Tafla 1. Samantekt líkana: Núll líkan ( $Null_{PC}$ ), fjölþátta aðhvaðfslíkan ( $LM_{PC}$ ) og almennt samlagningar líkan ( $GAM_{PC}$ ) fyrir massamiðju. Núll líkan ( $Null_{SBI}$ ), fjölþátta aðhvaðfslíkan ( $LM_{SBI}$ ) og almennt samlagningar líkan ( $GAM_{SBI}$ ) eru líkön fyrir vísitölu úthafs-rækju. Marktækar breytur voru úthafs-rækjuafli, vísitala þorsks og meðal yfirborðshiti sjávar úr rækjuleiðangri.  $\alpha$  er aðhvarfsstuðull,  $\beta_1, \beta_2$  og  $\beta_3$  eru stuðlar marktæku breytanna,  $K$  er fjöldi metinna parametra og AIC er gildi Akaike's information criterion.

Table 1. Summary of fitted regression models: null model ( $Null_{PC}$ ), multiple linear regression ( $LM_{PC}$ ) and a generalized additive model ( $GAM_{PC}$ ) for the centre of gravity model. Null model ( $Null_{SBI}$ ), multiple linear regression ( $LM_{SBI}$ ) and a generalized additive model ( $GAM_{SBI}$ ) are the shrimp biomass models. The significant external factors were offshore shrimp catch and cod biomass index from the annual offshore shrimp survey.  $\alpha$  is the regression intercept,  $\beta_1, \beta_2$  and  $\beta_3$  are regression coefficients of offshore shrimp catch, cod biomass index and the mean sea surface temperature,  $K$  is the number of estimated parameters, and AIC is Akaike's information criterion

Model	$\alpha$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$K$	AIC
$Null_{PC}$	$-6.1e^{-09}$				2	56.52
$LM_{PC}$	-4.391	0.421	0.172		4	45.08
$GAM_{PC}$	$-6.1e^{-09}$	3.536	1.000		6.5	43.10
$Null_{SBI}$	47.712				2	218.36
$LM_{SBI}$	122.539			-10.275	3	212.32

## Umræða

Markmið rannsóknarinnar var að kanna hvort hlýnun sjávar við Ísland hafi haft áhrif á þéttleika og útbreiðslu úthafsækju (*Pandalus borealis*). Að auki voru þættir eins og áhrif aukinnar þorskgengdar á rækjusrólóð um mitt tímabilið athuguð og áhrif rækjuveiða. Niðurstöður benda til umtalsverðra breytinga á útbreiðslu og þéttleika úthafsækju á tímabilinu frá 1988–2013. Innflæði Atlantssjávar norður fyrir landið jókst og sjávarhiti við Ísland hækkaði verulega á tímabilinu og hefur verið fyrir ofan langtíma meðaltal síðan 1996 (Steingrímur Jónsson & Héðinn Valdimarsson, 2012). Þorskgengd jókst einnig um mitt tímabilið á rækjusrólóðum auk þess sem veiðialag á úthafsækjustofninn var mikið frá árunum 1994–1998 (Ónefndur, 2013).

Niðurstöður sýndu að breytingar á útbreiðslu og stofnvísitölu úthafsækju má fyrst og fremst rekja til úthafsækjuaflla, þorskmagns á rækjusrólóð og meðal yfirborðshita sjávar í rækjuleiðangri. Sýnt hefur verið fram á margvísleg áhrif hitastigs á rækju, þar sem það hefur meðal annars áhrif á æxlun, kynskipti og vöxt (Unnur Skúladóttir & Gunnar Pétursson, 1999). Einnig hefur verið sýnt fram neikvæð áhrif hækkaðs yfirborðshitastigs að sumri á nýliðun en nýliðun hefur verið í lágmarki síðan árið 2004 (Ingibjörg G. Jónsdóttir *et al.*, 2013). Frekari hitastigsaukning á rækjusrólóð gæti því haft aukin neikvæð áhrif á stofnstærð rækju.

Þorskafla í úthafsækjuleiðangri hafði marktæk áhrif á útbreiðslu rækju en greinileg skörun var á útbreiðslu úthafsækju og þorsks á rannsóknartímanum. Þorskur er einn helsti afræningi á rækju (Savenkoff *et al.*, 2007) og fyrri rannsóknir hafa sýnt fram á neikvæð áhrif þorsk á þéttleika og magn rækju (Gunnar Stefánsson *et al.*, 1998; Berenboim *et al.*, 2000; Worm & Myers, 2003) auk þess sem þorskurinn hefur neikvæð áhrif á nýliðun rækju (Ingibjörg G. Jónsdóttir *et al.*, 2013). Aukin þorskgengd gæti því dregið enn frekar úr þéttleika og útbreiðslu rækju.

Afli úthafsækju við Ísland hafði einnig marktæk áhrif á útbreiðslu rækju. Samband vísitölu og aflla úthafsækju var ekki skoðað þar sem um tilbúið samband er að ræða. Vísitala úthafsækjustofnsins náði þó lágmarki samfara mikilli sókn árið 1994–1998. Sýnt hefur verið fram á að stofnar eru viðkvæmari fyrir veiðialagi þegar breytingar í umhverfinu hafa átt sér stað (Koeller, 2000). Því gætu frekari umhverfisbreytingar gert stofninn viðkvæmari fyrir aukinni sókn og haft frekari áhrif á þéttleika og útbreiðslu stofnsins. Það getur hinsvegar reynst erfitt að spá fyrir um áframhaldandi breytingar á þéttleika og útbreiðslu úthafsækju þar sem flókin samverkun hitastigs við aðrar breytur á sér hugsanlega stað.

## Heimildir

Berenboim, B. I., Dolgov, A. V., Korzhev, V. A., & Yaragina, N. A. 2000. The impact of cod on the dynamics of Barents sea shrimp (*Pandalus borealis*) as determined by

multispecies models. *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science*, 27, 69–75.

Brander, K. M., Blom, M. F., & Borges, M. . 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.

Choi, J. S., Frank, K. T., Leggett, W. C., & Drinkwater, K. 2004. Transition to an alternate state in a continental shelf ecosystem. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 61: 505–510.

Gunnar Stefánsson, Unnur Skúladóttir & Björn Æ. Steinarsson. 1998. Aspects of the ecology of a Boreal system. *ICES Journal of Marine Science*, 55: 859–862.

Héðinn Valdimarsson, Ólafur S. Ástþórsson & Jónbjörn Pálsson. 2012. Hydrographic variability in Icelandic waters during recent decades and related changes in distribution of some fish species. *ICES Journal of Marine Science*, 69: 816–825.

Ingibjörg G. Jónsdóttir, Árni Magnússon & Unnur Skúladóttir. 2013. Influence of increased cod abundance and temperature on recruitment of northern shrimp (*Pandalus borealis*). *Marine Biology*, 160: 1203–1211.

Koeller, P. 2000. Relative importance of abiotic and biotic factors to the management of the northern shrimp (*Pandalus borealis*) fishery on the Scotian shelf. *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science*, 27: 21–33.

Ónefndur. 2013. State of marine stocks in Icelandic waters 2012/2013. Prospects for the quota year 2013/2014. *Marine research, Fjölrit*, 163.

Perry, A. L., Low, P. J., Ellis, J. R., & Reynolds, J. D. 2005. Climate change and distribution shifts in marine fishes. *Science*, 308: 1912–1915.

Savenkoff, C., Swain, D. P., Hanson, J. M., Castonguay, M., Hammill, M. O., Bourdages, H., Morissette, L., *et al.* 2007. Effects of fishing and predation in a heavily exploited ecosystem: Comparing periods before and after the collapse of groundfish in the southern Gulf of St. Lawrence (Canada). *Ecological Modelling*, 204: 115–128.

Steingrímur Jónsson & Héðinn Valdimarsson. 2012. Water mass transport variability to the North Icelandic shelf, 1994-2010. *ICES Journal of Marine Science*, 69: 809–815.

Thompson, R. C., Crowe, T. P., & Hawkins, S. J. 2002. Rocky intertidal communities: past environmental changes, present status and predictions for the next 25 years. *Environmental Conservation*, 29: 168–191.

Unnur Skúladóttir, Jónbjörn Pálsson, Skúli Bragason & Stefán Brynjólfsson. 1991. The variation in size and age at change of sex, maximum length and length of ovigerous periods of the shrimp, (*Pandalus borealis*) at different temperatures in Icelandic waters. *ICES C.M.*, K:5: 16p.

Unnur Skúladóttir & Gunnar Pétursson. 1999. Defining populations of northern shrimp, *Pandalus borealis* (Krøyer 1938), in Icelandic waters using the maximum length and maturity ogive of females. *Rit Fiskideildar*, 16: 247–262.

Worm, B., & Myers, R. 2003. Meta-analysis of cod-shrimp interactions reveals top-down control in oceanic food webs. *Ecology*, 84: 162–173.

### 3.6. TILRAUNAVEIÐAR Á GRJÓTKRABBA (*CANCER IRRORATUS*) Í FAXAFLÓA OG BREIÐAFIRÐI

*EXPERIMENTAL FISHING FOR THE ATLANTIC ROCK CRAB  
(CANCER IRRORATUS) IN FAXAFLÓI AND BREIÐAFJÖRÐUR*

Jónas Páll Jónasson<sup>1</sup> og Óskar Sindri Gíslason<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Hafrannsóknastofnun, <sup>2</sup>Háskóli Íslands

#### Ágrip

Í þessu yfirliti eru kynntar kannanir á útbreiðslu krabba á grunnslóð í Faxaflóa og Breiðafirði árin 2012 og 2013. Bæði árin var grjótkrabbi (*Cancer irroratus*) algengasta tegundin, en hann veiddist á 76 af 164 stöðvum en trjónukrabbi (*Hyas araneus*) fékkst á 59 og bogkrabbi (*Carcinus maenas*) á 38 stöðvum. Mun minna veiddist af kröbbum í júlí árið 2012 (2,7 krabbar að meðaltali í gildru) en í september og október 2013 (12,8 krabbar í gildru). Að hluta til stafar þessi munur milli ára af því að veiðin er almennt betri á haustmánuðum en öðrum árstímum en einnig því að fyrra árið höfðu menn öðlast veiðir-eynslu sem nýttist við veiðarnar síðara árið. Þá má benda á að vel veiddist af grjótkrabba á nýjum athugunarsvæðum í Borgarfirði og á Mýrum árið 2013. Stærsti grjótkrabbi sem vitað er um (15,3 cm skjaldarbreidd, 577 g votvigt), veiddist í Borgarfirði árið 2013. Allar líkur eru á því að veiðanlegur stofn af grjótkrabba sé að byggjast upp í Faxaflóa en of snemmt er að spá um hvort það eigi einnig við um Breiðafjörð og Vestfirði.

#### Abstract

*Recent studies on crabs in the shallow waters of Faxaflói and Breiðafjörður in the years 2012 and 2013 are presented. In both years the Atlantic rock crab (*Cancer irroratus*) was the most abundant species, caught at 76 of the 164 stations while the spider crab (*Hyas araneus*) was caught at 59 and the European green crab (*Carcinus maenas*) at 38 stations. The crab catch was significantly lower in July 2012, (on average 2.7 crabs per trap) compared to September and October 2013 (12.8 crabs per trap). This difference between years can partly be explained by a higher catchability in the autumn, but also the fact that participants were more experienced in 2013 than 2012. The good fishing grounds discovered at Borgarfjörður and Mýrar in 2013 also contributed to greater catches in 2013 compared to 2012. To our knowledge the largest rock crab ever documented was captured in Borgarfjörður in 2013 (15.3 cm carapace width and 577 g in wet weight). The results indicate that a sustainable rock crab stock is building up in Faxaflói and there are indications that a similar development may take place in Breiðafjörður and in the Westfjords.*



## Inngangur

Veiðar á kröbbum við Ísland hafa hingað til lítið verið stundaðar. Helstu ástæður þess eru að hér finnast fáar tegundir af kröbbum og eftirspurn eftir flestum þeirra hefur verið lítil. Af algengum tegundum sem halda sig á grunnslóð má helst nefna trjónukrabba (*Hyas araneus*) og bogkrabba (*Carcinus maenas*), en þessar tegundir eru báðar frekar smáar. Gaddakrabbi (*Lithodes maja*) hefur nokkuð víða útbreiðslu við Ísland, hann finnst þó nokkuð dýpra en hinar tvær tegundirnar og er algengur sem meðafli við humarveiðar. Tröllakrabbi (*Chaceon affinis*) er stór krabbategund sem er þekkt djúpt undan Suðurlandi. Aðeins hafa veiðst fáein dýr í troll á djúpslóð og í skötu-selsnet í djúpköntunum. Grjótkrabbi (*Cancer irroratus*) er nokkuð stórvaxinn tegund sem fannst fyrst hér við land árið 2006. Náttúruleg heimkynni hans eru við austurströnd Norður-Ameríku, en hann barst að öllum líkindum til Íslands í kjölfestuvatni skipa (Óskar Sindri Gíslason *et al.*, 2014). Síðan 2006 hefur grjótkrabbinn fundist víða við Vesturland og nýlega einnig við Vestfirði. Heildarveiði á grjótkrabba í Vesturheimi hefur verið nærri 10 þús. tonnum síðustu árin ([www.fao.org](http://www.fao.org)).

Rannsóknir og veiðitilraunir voru stundaðar á trjónukrabba á níunda áratug síðustu aldar í Faxaflóa og í Breiðafirði. Meðalafli í hverja gildru var hæstur um 10 kg á svæði sem markast innan línu sem dregin er frá Akranesi í Vogastapa. Í kjölfarið fóru fram tilraunir með vinnslu krabbans á Akranesi, en þær skiluðu ekki tilætluðum árangri. Á næstu árum stóð Hafrannsóknastofnun fyrir frekari rannsóknum á trjónukrabba við Vestur-, Norður- og Austurland og reyndist Breiðafjörður vænlegasta veiðisvæðið utan Faxaflóa. Á þessum tíma var stofnstærð trjónukrabba metin og hún áætluð um 50 þúsund tonn í Breiðafirði og um 30 þúsund tonn í Faxaflóa (Sólmundur Tr. Einarsson, 1988). Nýlegar tilraunaveiðar í innanverðum Breiðafirði á vegum útgerðaraðila voru nokkuð jákvæðar og var afli í hverja gildru um 8 kg af nýtanlegum trjónukrabba.

Fáar rannsóknir hafa verið gerðar á bogkrabba hér við land en tegundin er útbreidd á grunnslóð og í fjörum um Suðvestur- og Vesturland. Bogkrabbi veiðist sem meðafli á grunnslóð og hefur fengist í miklu magni við þangskurð í Breiðafirði (Hrafnkell Eiríksson, munnlegar upplýsingar). Engar stofnstærðarmælingar hafa verið gerðar á bogkrabba hér við land.

Þó nokkrar athuganir fóru fram á útbreiðslu tröllakrabba árið 2003 djúpt suðaustur af landinu á vegum íslenskra aðila með aðkomu Hafrannsóknastofnunar, auk þess sem erlend krabbaveiðiskip stunduðu töluverðar veiðitilraunir árin 2004 og 2005. Tröllakrabbinn veiddist í stykkjatali og gaf magnið ekki tilefni til þess að geta staðið undir útgerð (Kristján Lilliendahl, munnlegar upplýsingar).

Gaddakrabbi er nokkuð stórvaxinn krabbi, náskyldur hinum stórvaxna kóngkrabba (*Paralithodes camtschaticus*), sem uppruninn

er í Kyrrahafi, en finnst nú einnig víða í Barentshafi (Nilssen & Sundet, 2006). Einn kynþroska karlkyns kóngakrabbi fannst í Breiðamerkur-dýpi í maí 2014. Gildruathuganir hafa farið fram á veiðanleika gaddakrabba hér við land, en þær bentu ekki til þess að hann myndist í veiðanlegu magni. Þessar athuganir voru þó ekki nægilega viðamiklar til að fullyrða um mögulegar veiðar. Gaddakrabbi hefur einnig verið rannsakaður í árlegum humarleiðangri Hafrannsóknarstofnunar frá árinu 1994 og var stofnstærð hans metin um 260 tonn samkvæmt útbreiðslu á humarslóð. Gera má þó ráð fyrir að stofnstærð hans sé meiri en nemur útbreiðslu hans á hefðbundinni humarslóð.

Í ljósi fyrri athugana á grjótkrabba við Ísland (Óskar Sindri Gíslason *et al.*, 2014; Óskar Sindri Gíslason *et al.*, 2013a; Óskar Sindri Gíslason *et al.*, 2013b) má ætla að hann sé möguleg nytjategund. Telja má nær öruggt að stofninn eigi enn eftir að stækka og breiða úr sér á komandi árum. Frekar brýnt er að meta þéttleika grjótkrabba, bæði vegna mögulegrar nýtingar og til að fá mynd af hugsanlegum áhrifum hans á lífríki botns. Í þessu yfirliti kynnum við kannanir á útbreiðslu grjótkrabba á grunnslóð í Faxaflóa og Breiðafirði árin 2012 og 2013.

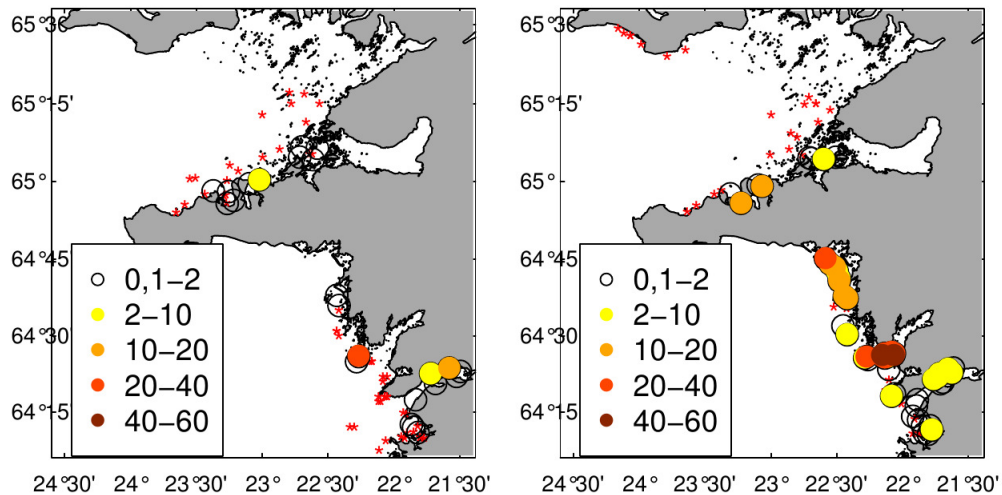
### Efni og aðferðir

Farinn var einn leiðangur á Hannesi Andrésyni SH-737 hvort ár, 2012 og 2013. Leiðangrarnir voru að undirlagi FISK Seafood ehf. en höfundar skipulögðu sýnatöku og val á veiðisvæðum. Leiðangurinn árið 2012 hófst þann 4. júlí og stóð til 25. júlí. Árið 2013 var farið til veiða síðar á árinu og hófst leiðangurinn þann 18. september og stóð til 16. október. Árið 2012 voru lagðar 78 trossur og 88 árið 2013 (1. mynd). Að jafnaði var lögð ein trossa á hverri stöð, en í Breiðafirði voru hins vegar lagðar tvær trossur fimm sinnum á hverri stöð árið 2013. Leitast var við að leggja trossurnar á mjúkum botni á 10 – 30 metra dýpi. Tíu gildir voru í hverri trossu árið 2012, en fimm árið 2013. Tólf faðmar voru hafðir á milli gilda. Gildir lágu yfirleitt í um 48 – 72 klst. í sjó. Beitt var afskurði þorskfiska, beinagörðum og hausum. Notast var við tveggja hólfa ílangar kassalaga krabbagildir sem framleiddar eru í Kanada (2. mynd).

Grjótkrabbar voru kyngreindir og flokkaðir í fjóra stærðarflokka eftir skjaldarbreidd, 8 cm og minni, 8-10 cm, 10–12 cm og 12 cm og stærri. Einungis er leyfilegt að landa karlkyns kröbbum og er lágmarks löndunarstærð grjótkrabbans miðuð við 10 cm skjaldarbreidd. Árið 2013 voru gildir lagðar þéttar í Borgarfirði en 2012 til að afmarka veiðisvæði þar betur og voru allir grjótkrabbar þar lengdarmældir. Heildarfjöldi trjónu- og bogkrabba var talinn úr hverri trossu.

### Niðurstöður og umræða

Samtals veiddust um 7900 krabbar í báðum leiðöngrunum. Þar



1. mynd. Meðalfjöldi grjótkrabba (*Cancer irroratus*) í hverri gildru úr leiðöngnum árunum 2012 (vinstra megin) og 2013 (hægra megin). Stöðvar þar sem engir grjótkrabbar veiddust eru merktar með rauðri stjörnu en hringur er dreginn utan um stöðvar þar sem grjótkrabbar veiddust og litakóði táknar fjöldann.

Figure 1. Average number of rock crab (*Cancer irroratus*) per pot from the surveys in 2012 (left figure) and 2013 (right figure). Stations with no rock crab catch are marked with a red asterisk but stations with a catch are marked with circles where the color code represents the numbers of individuals caught.

af voru um 3500 grjótkrabbar, 3500 trjónukrabbar og um 900 bogkrabbar. Bæði árin var grjótkrabbi útbreiddasta tegundin, en hann veiddist á 76 af 164 stöðvum en trjónukrabbi fékkst á 59 og bogkrabbi á 38 stöðvum. Mun minna veiddist af kröbbum árið 2012 eða 2,7 krabbar að meðaltali í hverja gildru samanborið við 12,8 krabba árið 2013. Að hluta til stafar þessi munur af því veiðin er best á haustmánuðum (Óskar Sindri Gíslason *et al.*, 2014) en einnig af reynslu fyrra árs og þeirri staðreynd að vel veiddist af grjótkrabba í Borgarfirði og á Mýrum, á svæðum sem ekki voru skoðuð árið 2012.



2. mynd. Gildrumar sem notaðir voru í könnuninni eru tveggja hólfa gildrur með tvo innganga á hliðunum.

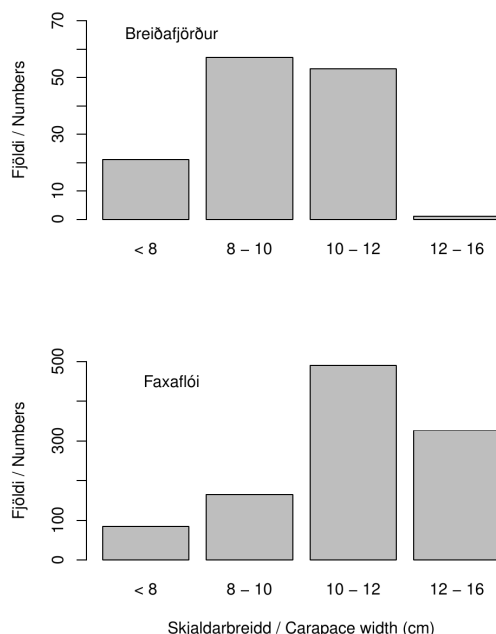
Figure 2. The pots used in the surveys were of Canadian origin, with two side-entries and two compartments.

### Grjótkrabbi

Árið 2012 var mesta veiðin á grjótkrabba við Þormóðssker í Borgarfirði og á tveimur stöðvum innanlega í Hvalfirði (1. mynd). Í Hvalfirði voru að meðaltali 9 – 12 krabbar í hverja gildru (~1,5 kg) á um 17 metra dýpi. Það svæði er þekkt veiðislóð og hefur verið vaktað nokkrum sinnum á ári frá árinu 2007 eftir að krabbinn fannst þar fyrst (Óskar Sindri Gíslason *et al.*, 2014). Óvenju mikið fékkst af kvenkyns grjótkrabba við Þormóðssker en yfirleitt er hlutfall karldýra hærra í veiði við Ísland. Einnig fékkst nokkuð af grjótkrabba innanlega í Breiðafirði, út af Kolgrafafirði og við Stykkishólm.

Árið 2013 voru gildir lagðar út víðar en áður á Mýrunum og var ágætis veiði í Borgarfirði og í Haffirði, en minna á öðrum svæðum (1. mynd). Magn grjótkrabba var mun meira nú heldur en í könnuninni árið 2012, en reyndar mátti búast við mun betri veiði á haustmánuðum heldur en snemma sumars (Óskar Sindri Gíslason *et al.*, 2013a, Óskar Sindri Gíslason *et al.*, 2014). Minna fékkst í Hvalfirði en árið áður, en gildrulagnirnar voru fyrir utan það svæði sem hefur gefið hvað best þar. Í Borgarfirðinum veiddust að meðaltali 5,5 kg af karldýrum yfir lágmarks löndunarstærð í hverja gildru (1,8 – 9,1 kg að meðaltali innan hvernar trossu). Mikið veiddist einnig af kvenkyns grjótkrabba á vissum stöðvum í Borgarfirði, líkt og árið áður. Nokkuð fékkst af grjótkrabba innanlega í Breiðafirði, bæði í Grundarfirði og Kolgrafafirði, en enginn grjótkrabbi veiddist í norðanverðum firðinum.

Stærð grjótkrabba var breytileg eftir veiðisvæðum og voru krabbarnir, einkum karldýrin, mun stærri í Faxaflóa en Breiðafirði (3. mynd). Flestar stöðvarnar í Borgarfirði eru ekki með í þessari mælingu en þar voru öll karldýrin nema eitt yfir 10 cm skjaldarbreidd. Í Borgarfirði veiddist einnig stærsti krabbi þessarar tegundar sem greinarhöfundar vita af, en skjaldarbreidd hans var 15,3 cm og votvigt 577 g



3. mynd. Stærðardreifing (skjaldarbreidd) karlkyns grjótkrabba (*Cancer irroratus*) sem veiddust í Breiðafirði (að ofan) og Faxaflóa (að neðan).

Figure 3. Size distribution (carapace width) of male rock crab (*Cancer irroratus*) from the northern area Breiðafjörður (above) and the southern area Faxaflói (below).

(4. mynd). Stærðardreifingin er í nokkuð góðu samræmi við það hvernig grjótkrabbinn virðist vera að dreifast út frá Hvalfjarðarsvæðinu, þar sem hann fannst fyrst árið 2006 (Óskar Sindri Gíslason *et al.*, 2014). Lirfur grjótkrabbans virðast dreifast norður eftir með ríkjandi straumum í Breiðafjörð og áfram til Vestfjarða (Óskar Sindri Gíslason *et al.*, 2013b) líkt og sýnt hefur verið fram á með aðrar tegundir (Jónas P. Jónasson *et al.*, 2009). Nyrsta staðfesta eintak af grjótkrabba er nú úr innanverðu Ísafjarðardjúpi.

Í þessari könnun veiddist grjótkrabbí á dýptarbilinu 5 – 29 m (stöðvarnar voru á 5 – 33 m dýpi). Ekki var nein fylgni milli dýpis og þess hversu margir krabbar veiddust. Þar sem besta veiðin var í Borgarfirðinum er dýpið um 20 metrar.

#### *Trjónukrabbí og bogkrabbí*

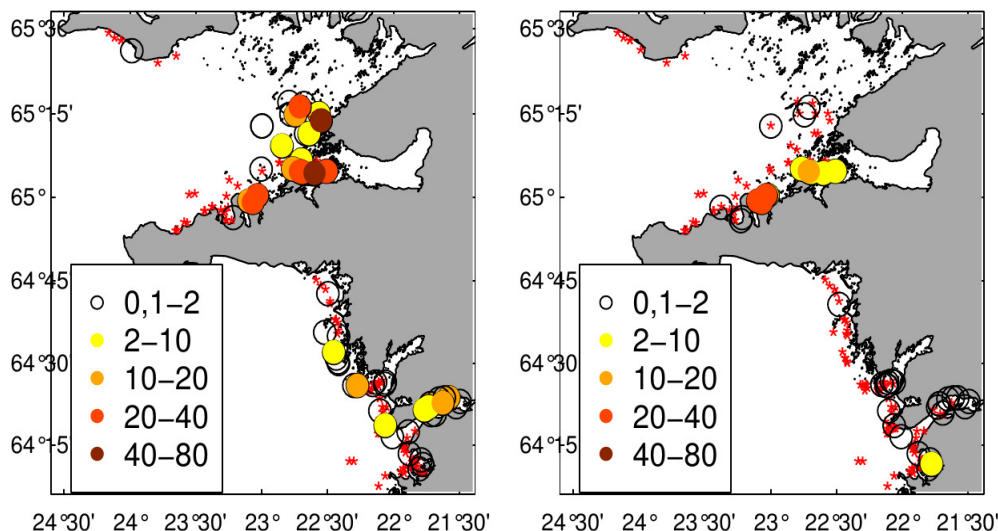
Trjónukrabbí fannst yfirleitt í frekar litlu magni ef undanskilin eru svæði innanlega í Breiðafirði og í Kolgrafafirði (5. mynd). Mest veiddist af honum við Veiðileysuboða og við Stykkishólm eða um 80 krabbar að meðaltali í gildru. Bogkrabbí fannst einungis í einhverju magni í Kolgrafafirði (5. mynd) og voru stöðvarnar þar á 5 – 15 m dýpi, en bogkrabba er einkum að finna mjög grunnt og í fjörum (Klassen & Locke, 2007).

Í þessum tilraunaveiðum fékkst ágætt yfirlit um aflabrögð á stóru svæði sem var að mestu leyti ókannað með tilliti til gildruveiða á kröbbum. Áhugavert væri í framhaldinu að kanna svæðin norðarlega



4. mynd. Stærsta eintak grjótkrabbá (*Cancer irroratus*) sem greinarhöfundar vita um veiddist í Borgarfirði árið 2013. Reyndist skjaldarbreiddin vera 15,3 cm og þyngdin (votvigt) 577 g. Ljós. Óskar Sindri Gíslason.

*Figure 4. To the authors knowledge the largest rock crab ever documented was captured in Borgarfjörður in 2013, 15.3 cm in carapace width and 577 g in wet weight. Photo: Óskar Sindri Gíslason.*



5. mynd. Meðalfjöldi trjónukrabba (vinstra megin) og meðalfjöldi bogkrabba (hægra megin) í gildru árin 2012 og 2013 saman. Stöðvar þar sem engir krabbar veiddust eru merktar með rauðri stjörnu en hringur er dreginn utan um stöðvar þar sem krabbar veiddust og litakóði táknar fjöldann.

Figure 5. Average number of spider crab per pot (left) and green crab (right) in the surveys from 2012 and 2013. Stations with no crab catch are marked with a red asterisk but stations with a catch are marked with circles where the color code represents the numbers of individuals caught.

út af Mýrunum enn betur. Samkvæmt könnuninni virðist grjótkrabba vera að fjölga í Breiðafirði, líkt og áður var talið, en trjónukrabbi er þar ríkjandi tegund innarlega í firðinum. Reynslan af krabbaveiðum hér við land, líkt og í Kanada, hefur til þessa berlega sýnt að haustmánuðir eru almennt best fallnir til veiða á grjótkrabba. Í Kanada er algeng meðalveiði af grjótkrabba um 5 – 13 kg í hverja gildru (DFO, 2008). Samkvæmt því og miðað við okkar veiði (1. mynd) virðist veiðanlegur stofn grjótkrabba vera í Borgarfirði. Ekki þótti ástæða til að leggja út gildirur að haustlagi innst í Hvalfirði þar sem tilraunaveiðar þar hafa til þessa verið með ágætum. Hins vegar verða frekari tilraunir að skera úr um hugsanlegt magn og hvernig stofninn bregst við veiðiálagi. Rannsóknir í Hvalfirði hafa sýnt að grjótkrabbinn virðist þar vera ríkjandi í fjölda, samanborið við hugsanlegar samkeppnistegundir bæði bogkrabba og trjónukrabba, hvort sem litið er til fullorðinna einstaklinga eða lirfa í svifi (Óskar Sindri Gíslason *et al.*, 2014). Niðurstöður úr þessum tilraunum gefa einnig til kynna að mun minna sé af trjónukrabba í Faxaflóa en áður (Sólmundur Tr. Einarsson, 1988). Sjávarhiti við Suðvestur- og Vesturland (Anon., 2012) er nú líkur því sem gerist í náttúrulegum heimkynnum grjótkrabbans í N-Ameríku, þó hámarkshiti sé nokkuð lægri, þannig að skilyrði hans hér eru sennilega nokkuð góð. Hér skortir jafnframt stórar samkeppnistegundir eins og ameríska humarinn (*Homarus americanus*) og spámannskrabba (*Cancer borealis*) sem takmarka stofnstærð grjótkrabba í N-Ameríku (Bigford, 1979). Allar líkur eru á því að veiðanlegur stofn sé að byggjast upp af grjótkrabba í Faxaflóa og mun tíminn leiða í ljós hvort það eigi einnig við um Breiðafjörð og Vestfirði.

## Pakkir

Við viljum þakka Ástþóri Gíslasyni og Konráði Þórissyni fyrir yfirlestur og góðar ábendingar. Skipstjóri í leiðöngrum var Bergur Garðarsson og á hann þakkir skildar fyrir að halda vel utan um skráningu og natni við að finna nýjar veiðislóðir.

## Heimildir

Anon., 2012. Umhverfissöggn/Sjávarhitamælingar við strendur Íslands. Reykjavík. Hafrannsóknarstofnunin. <http://www.hafro.is/Sjora> (skoðað 14.02.2012).

Bigford, T.E. 1979. Synopsis of biological data on the rock crab, *Cancer irroratus* Say. *NOAA Technical Report*. NMFS Circular. 426. 26.

DFO. 2008. Assessment of the rock crab (*Cancer irroratus*) fishery in the Southern Gulf of St. Lawrence lobster fishing areas (LFA's) 23, 24, 25, 26A & 26B for 2000 to 2006. *DFO Canadian Science Advisory Secretariat Science advisory Report* 2008/022.

Jónas P. Jónasson, Björn Gunnarsson & Guðrún Marteinsdóttir, 2009. Abundance and growth of larval and early juvenile cod (*Gadus morhua*) in relation to variable environmental conditions west of Iceland. *Deep-Sea Research II* 56, 1992–2000

Klassen, G. & Locke, A., 2007. A biological synopsis of the European green crab, *Carcinus maenas*. *Canadian Manuscript Report of Fisheries and Aquatic Science*. no. 2818: vii+75pp.

Nilseen, E.M. & Sundet, J.H., 2006. The introduced species red king crab (*Paralithodes camtschaticus*) in the Barents Sea II. Growth increments and moulting probability. *Fisheries Research* 82, 319–326.

Óskar Sindri Gíslason, Jónas Páll Jónasson, Jörundur Svavarsson & Halldór Pálmar Halldórsson, 2013a. Merkingar og þéttleikamat á grjótkrabba við Ísland. *Náttúrufræðingurinn* 83 1-2, 39-48.

Óskar Sindri Gíslason, Snæbjörn Pálsson, Niall J. Mckeown, Halldór Pálmar Halldórsson, Paul W. Shaw & Jörundur Svavarsson, 2013b. Genetic variation in a newly established population of the Atlantic rock crab *Cancer irroratus* in Iceland. *Marine Ecology Progress Series* 494: 219-230.

Óskar Sindri Gíslason, Halldór Pálmar Halldórsson, Marínó F. Pálsson, Snæbjörn Pálsson, Brynhildur Davíðsdóttir & Jörundur Svavarsson, 2014. Invasion of the Atlantic rock crab (*Cancer irroratus*) at high latitudes. *Biological Invasions* (doi:10.1007/s10530-013-0632-7).

Sólmundur Tr. Einarsson, 1988. The distribution and density of the common spider crab (*Hyas araneus*) in Icelandic waters. *ICES 1988 C.M.* 1988/K:28, 25.

### 3.7. FJÖLÞJÓÐLEGUR MAKRÍLEGGJALEIÐANGUR ÁRIÐ 2013

#### INTERNATIONAL MACKEREL EGG SURVEY IN 2013

Björn Gunnarsson og Konráð Þórisson  
Hafrannsóknastofnun

#### Ágrip

Árið 2013 tók Hafrannsóknastofnun í annað sinn þátt í að meta stærð hrygningarstofns makrils í Norðaustur-Atlantshafi. Stofnstærðin er metin þriðja hvert ár og að því koma níu þjóðir undir stjórn Alþjóða-hafrannsóknaráðsins (ICES). Á tímabilinu 10.-26. júní voru tekin svif-sýni á r.s. Bjarna Sæmundssyni á 145 stöðvum á svæði sem náði allt frá Selvogsbanka að Hjaltlandseyjum. Nokkur aukning var á fjölda makríleggja innan íslensku lögsögunnar samanborið við fyrri mælingu (2010), þar sem útbreiðslan náði lengra til vesturs og norðurs en áður. Í heild hefur þó þungamiðja hrygningar makrils flust til suðurs og meginhrygningin á sér nú stað nær þremur mánuðum fyrr en fyrir áratug síðan. Hrygningarstofn makrils í Norðaustur-Atlantshafi var metin um 37% stærri en árið 2010.

#### Abstract

*Iceland took part in the international northeast Atlantic mackerel egg survey for the second time in 2013. Nine nations participated 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. The RV Bjarni Sæmundsson sampled 145 stations in the area from the southwest of Iceland to the Shetland Islands during June 10-26, 2013. More mackerel eggs were found within the Icelandic EEZ and the distribution of mackerel eggs extended farther west than anticipated in this area. During the last decade there has been a gradual overall shift towards earlier spawning of mackerel in the North Atlantic. Also, from 2010-2013 the center of gravity of the spawning shifted significantly southwards, towards the Bay of Biscay. The spawning stock was estimated to be about 37% larger than in 2010.*

#### Inngangur

Makrill (*Scomber scombrus*) er útbreiddur beggja vegna Norður-Atlantshafs. Á undanförunum árum hefur makrill gengið bæði norðar og vestar en áður Evrópumegin í hafinu. Samfara því hefur útbreiðsla og magn makrils á Íslandsmiðum aukist verulega og er það



talið tengjast hlýnun sjávar. Verðmæti makrilafla Íslendinga hefur aukist jafnt og þétt og eru tekjurnar af þessum veiðum nú orðnar mikilvægur hluti af heildarverðmæti sjávaraflans.

Makrillinn í Norðaustur-Atlantshafi samanstendur af þremur stofneiningum, suður- og vestureiningum, og Norðursjávareiningu, en þar sem vesturstofneiningin er langstærsti hluti heildarstofnsins eða um 95% (Ólafur S. Ástþórsson o.fl., 2009), meðhöndlar ICES allan makríl í Norður Atlantshafi sem einn stofn. Hér verður einungis fjallað um vesturstofninn, en hrygning makríls í vesturstofninum hefst í Biskajaflóa í febrúar og færist síðan smám saman norður með Evrópu fram á vor með hækkandi hitastigi. Hrygningin nær venjulega hámarki í apríl-maí úti fyrir vesturströnd Írlands og suðvesturströnd Englands, en á sama tíma er í gangi töluverð en dreifðari hrygning allt frá Biskajaflóa og norður fyrir Færeyjar. Á nyrstu svæðunum hefst hrygning seint (sennilega ekki fyrr en í maí), en athugun á háfsýnum úr óháðri rannsókn á útbreiðslu og magni makríls á Íslandsmiðum í júlí 2013 sýnir að þá var hrygningu lokið hér við land (ICES, 2014).

Árið 2010 tók Hafrannsóknastofnunin í fyrsta skipti þátt í eggjaltingarverkefninu á r.s. Árna Friðrikssyni en r.s. Bjarni Sæmundsson var notaður til rannsóknanna árið 2013. Fyrsta eggjarannsóknin var gerð árið 1977. Þá tóku einungis tvær þjóðir þátt og ekki tókst að rannsaka nema hluta útbreiðslusvæðis stofnsins. Síðan hafa sífellt fleiri þjóðir bæst í hópinn og árið 2013 voru farnir 17 rannsóknaleiðangrar og tóku alls 14 rannsóknaskip frá 9 þjóðum þátt í rannsókninni og samtals voru notaðir 341 sjódagur í verkefnið. Í heild stóðu rannsóknirnar yfir frá því í janúar og fram í ágúst en tilgangurinn var að meta lífmassa bæði makríl- og brynstirlustofna (*Trachurus trachurus*) í austanverðu Norður-Atlantshafi. Brynstirtla fannst ekki á rannsóknasvæði Bjarna Sæmundssonar og því er ekki minnst á hana frekar í þessum pistli.

## Aðferðir

Alþjóðahafrannsóknaráðið metur stærð makrílstofnsins út frá aldursdreifingu fiska í afla og mati á stærð hrygningarstofnsins. Þar sem ekki er unnt að beita bergmálmælingum til að meta stærð stofnsins, hafa um árabil verið stundaðar umfangsmiklar rannsóknir á eggjaframleiðslu hans. Síðan er stofnstærð makríls bakreiknuð út frá framleiðslugetu einstakra hrygna og þekktu kynjahlutfalli. Vegna stærðar hrygningarsvæðisins og langs hrygningartíma er mat á eggjaframleiðslu einungis mögulegt með samvinnu fjölmargra þjóða. Mikill kostnaður verkefnisins veldur því að stofnstærðin er einungis metin á þennan hátt á þriggja ára fresti. Hin árin er fyrst og fremst stuðst við sýnatöku úr afla, en hrygningarstofninn frá seinustu eggjarannsókn framreiknaður til viðmiðunar.

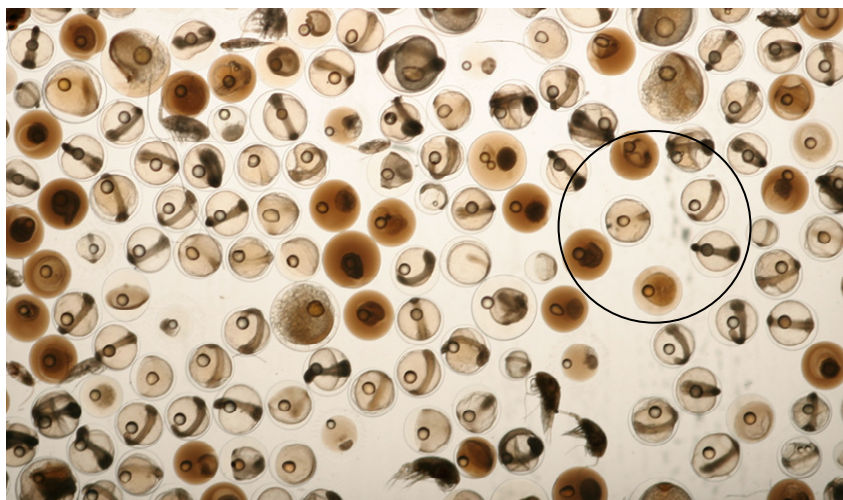
Eggjaframleiðslan var metin á 6 fyrirfram skilgreindum hrygningarskeiðum frá janúar fram í júlí á allri hrygningarslóð

makrílsins. Hafsvæðinu var skipt upp í reiti, sem voru 0,5 breiddargráða x 0,5 lengdargráða að stærð (u.þ.b. 30 x 15 sjómílar á okkar svæði) og háfsýni tekin í hverjum reit á öðru hverju sniði (sbr. 2. mynd í kafla um niðurstöður og umræður). Fáein sýni voru tekin á millisniðum þegar tími leyfði. Þar sem einungis annað hvert snið var tekið var reiknað vegið miðgildi í auða reiti á hinum sniðunum. Í þessari fjölpjóðlegu rannsókn voru alls tekin 2061 háfsýni og 1273 hrognasekkjasýni.

Eggjunum var safnað með háfum, sem dregnir eru á eftir rannsóknaskipunum, en hverju rannsóknaskipi er úthlutað ákveðnu rannsóknarsvæði og ákveðnu mælitímabili. Rannsókn okkar Íslendinga fór fram nyrst á útbreiðslusvæðinu á 5. mælitímabili (4.-26. júní). Á hverju svæði var eggjamagnið metið nokkrum sinnum yfir hrygningartímabilið og samtölur allra svæða eftir tímabilum mynda síðan feril hrygningar það árið (sbr 3. mynd í kafla um niðurstöður og umræður). Heildarfjöldi hrygndra eggja er síðan flöturinn undir þessum ferli.

Afföll makríleggja eru mjög mikil, þannig að í útreikningum var einungis miðað við nýhrygnd egg á fyrsta þroskastigi, en þroskastig eggja má aðgreina í víðsjá (1. mynd). Eggin klekjast út á u.þ.b. viku, þannig að fara þarf yfir sömu svæðin endurtekið, til að ná að kortleggja alla eggjaframleiðsluna.

Um borð í r.s. Bjarna Sæmundssyni var makríleggjum safnað með svokölluðum "Bongo-60" háfi á tímabilinu 10.-26. júní. Bongo háfur er í raun tveir samfastir hringlaga háfar. Þvermál hvors háfs er



1. mynd. Egg nokkurra fisktegunda í háfsýni. Nokkur makrílegg á mismunandi þroskastigum eru afmörkuð með hring (Ljósm. Björn Gunnarsson).

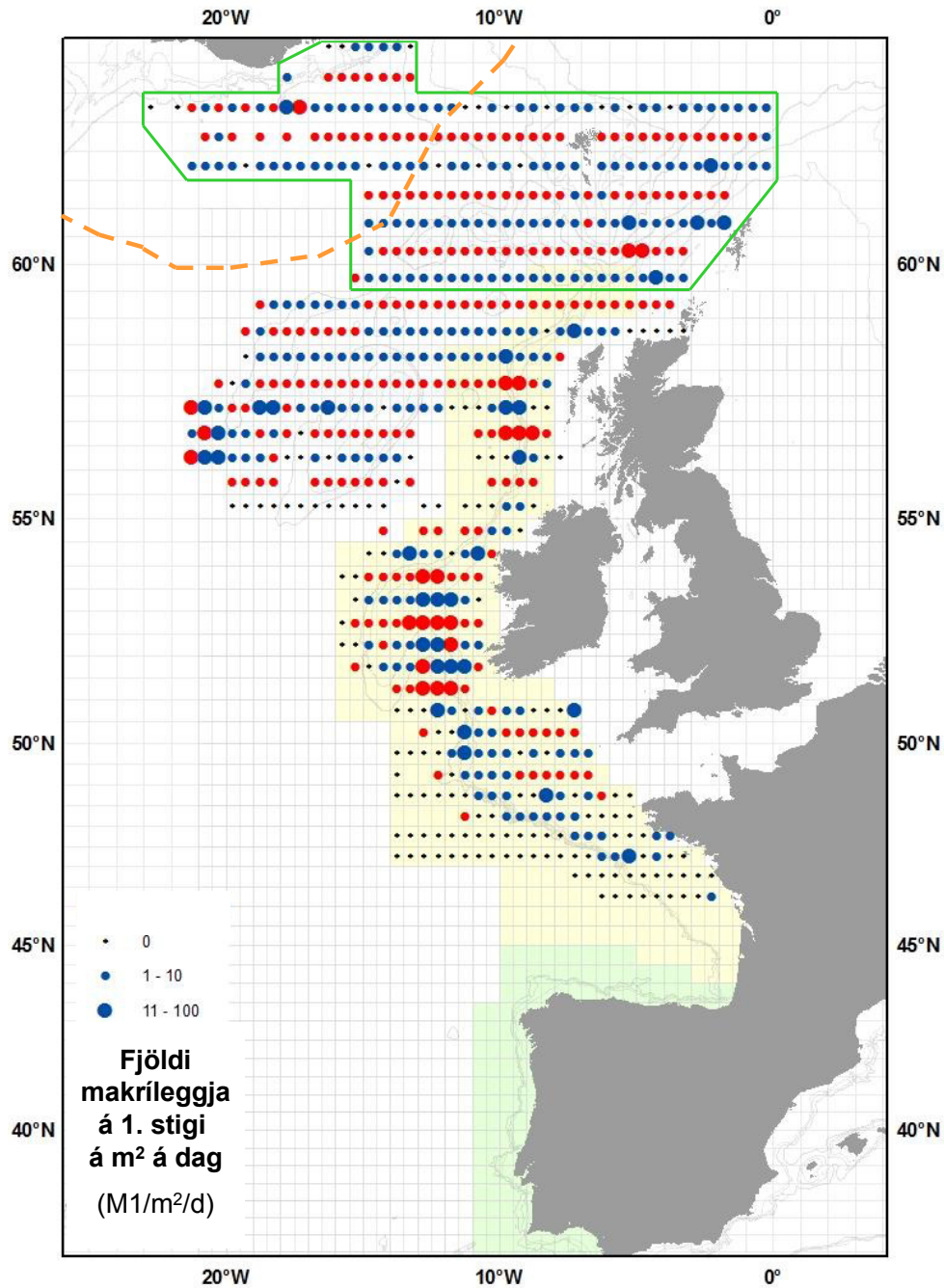
*Figure 1. Eggs of a few fish species from a net sample. Some mackerel eggs at various developmental stages are encircled (Photo: Björn Gunnarsson).*

60 cm, lengd netsins 2,5 m og möskvastærðin 280  $\mu\text{m}$  (0,28 mm). Háfnum var slakað frá yfirborði niður á 200 metra dýpi og hann síðan híffður upp aftur á meðan skipið sigldi á um 2 sjómílna ferð. Ferill háfsins í sjónum var þannig V-laga. Í opi annars háfsins var flæðismælir þannig að hægt var að meta magn síaðs sjávar. Alls voru teknar 145 háfstöðvar í leiðangrinum á svæðinu á milli 59°45'N að 63°45' N og 0°15'V að 22°15'V (sbr. 2. mynd í kafla um niðurstöður og umræður). 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 makríleggjin voru auk þess stærðarmæld og greind til sex mismundandi þroskastiga. Þegar komið var í land voru sýnin yfirfarin á ný og tegundir og greining þroskastiga staðfest. Á hverri stöð var síritandi hita- og seltumælir (sonda) látin síga niður á 200 m dýpi. Hitastig í umhverfi eggjanna er notað í útreikningum á eggjaframleiðslu, þar sem hærri hiti flýtir fyrir þroskun og þar af leiðandi eru eggjin skemur á fyrsta þroskastigi. Þá voru tekin sýni af hrygningarfiski á þremur stöðvum með flotvörpu og makrílafli lengdarmældur, kyngreindur og hrognasekkir teknir til mælingar á frjósemi.

### Niðurstöður og umræður

Árið 2013 teygði útbreiðsla makríleggja á rannsóknasvæði Hafrannsóknastofnunar sig lengra til vesturs en árið 2010 og því var upphaflega áætlað rannsóknasvæði stækkað til vesturs (2. mynd). Ef til vill náði útbreiðslan einnig eitthvað norðar, en vegna tímaskorts var lítið hægt að víkka út rannsóknasvæðið í þá átt. Ljóst er af niðurstöðunum að hrygning makríls átti sér stað í talsverðum mæli á íslensku hafsvæði og samanburður við niðurstöður frá árinu 2010 gefur til kynna að hrygning á þessu svæði hafi aukist frá því ári. Þetta er í samræmi við mjög aukna útbreiðslu makríls inn á íslenska hafsvæðið (Ólafur Ástþórsson o. fl., 2012) Einnig má nefna að nú hefur verið staðfest að makrílseiði hafa haft vetursetu hér við land (Björn Gunnarsson og fl., 2013).

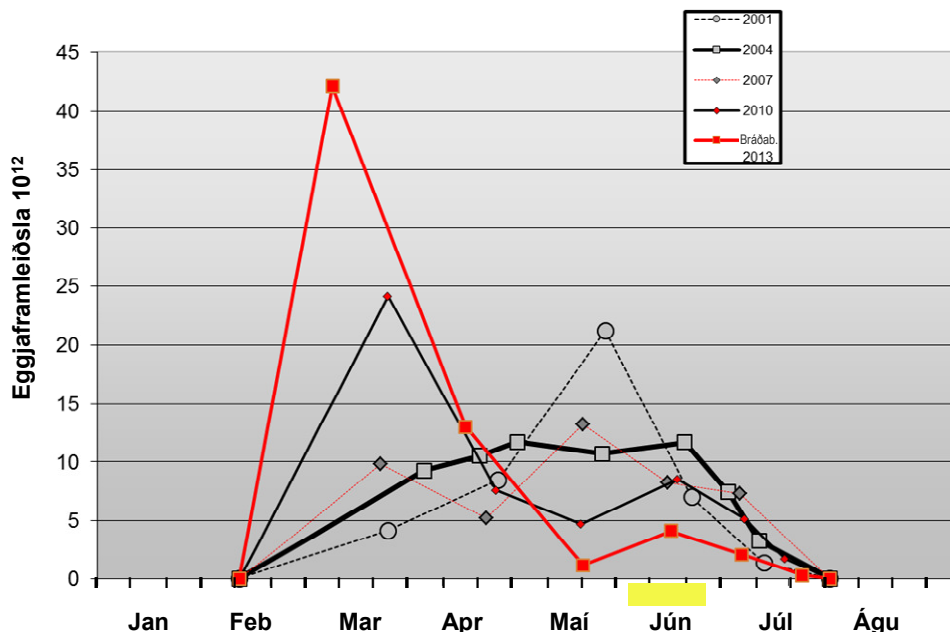
Niðurstöður úr leiðangri Hafrannsóknastofnunar verða metnar frekar og um þær fjallað í samhengi við aðrar niðurstöður af makríl- og brynstirtlúvinnuhópi Alþjóða hafrannsóknaráðsins (WGMEGS – Working Group on Mackerel and Horse Mackerel Egg Survey). Samkvæmt bráðabirgðaniðurstöðum úr öllum rannsóknaleiðöngurum ársins 2013 er áætlað að heildareggjaframleiðsla hjá vesturstofninum hafi verið  $2.31 \times 10^{15}$  egg. Þetta er 37% aukning samanborið við árið 2010 en þá var framleiðslan áætluð  $1,69 \times 10^{15}$  egg. Þá kom jafnframt fram augljós munur á tímasetningu hrygningarinnar árið 2013 samanborið við rannsóknir undanfarinna ára. Fram til 2004 var hrygningin tiltölulega jafndreifð yfir langan tíma, með hámarki í maí eða júní (3. mynd). Árið 2007 varð vart aukningar í eggjaframleiðslu í mars og árið 2010 fór langmestur hluti hrygningarinnar fram í þeim mánuði og jafnframt dró úr hrygningu á seinni hluta hrygningartímans. Árið 2013 hækkaði



2. mynd. Framleiðsla makríleggja á fyrsta þroskastigi á fimmta tímabili (4.-26. júní) í vesturstofni í fjölþjóðlegum eggjasöfnunarleiðangri 2013 (bráðabirgðaniðurstöður). Hringirnir tákna fjölda eggja á fermetra á dag. Því stærri sem hringirnir eru, þeim mun meiri er fjöldinn, sbr. kvarðann á myndinni. Bláir hringir sýna mæld gildi, rauðir reiknuð gildi, og svartar stjörnur mæld 0 – gildi. Athafnasvæði r.s. Bjarna Sæmundssonar er afmarkað með grænum ramma. Appelsínugul brotin lína sýnir mörk íslensku efnahagslögsögunnar. Ljósult svæði sýnir kjar- náútbreiðslu vesturstofns, sem er u.þ.b. hrygningarútbreiðslan snemma á hrygningartíma. Grænn litur sýnir útbreiðslu suðurstofns (breytt mynd frá ICES, 2013).

Figure 2. Mackerel egg production for period 5 (4th June – 26th June) in the western area of the 2013 survey (preliminary results). Filled blue circles represent observed values, filled red circles interpolated values, black stars show nil stations. The area surveyed by RV Bjarni Sæmundsson is outlined with a green line. Orange dotted line represents the Icelandic economic zone. Yellow area indicates the core distribution of the western stock, green area shows the core distribution of the southern stock (modified from ICES, 2013).

Þetta „vor-hámark“ enn og megnið af hrygningunni átti sér nú stað í febrúar-mars suður í Biskayaflóa. Árið 2013 er áætlað að um 70% allrar eggjaframleiðslunnar hafi átt sér stað í febrúar og mars. Á rúmum áratug (frá 2001) hefur því hrygningartíminn flust fram um næstum þrjú mánuði, frá maílokum fram í marsbyrjun. Frá 2010-2013 hefur síðan þungamiðja hrygningarinnar færst til suðurs frá svæði vestur af Írlandi og suður í Biskayaflóa.



3. mynd. Árleg eggjaframleiðsla makrúls í vesturstofni. Bráðabirgðaniðurstöður fyrir 2013 eru sýndar með rauðu. Ferlarnir fyrir árin 2001, 2004, 2007 og 2010 eru einnig sýndir til samanburðar (ICES, 2013). Tímasetning fimmta mælitímabils er sýnt með breiðri gulri rönd undir X-ás.

Figure 3. Provisional annual egg production curve for mackerel of the western spawning component in 2013 (in red). The curves for 2001, 2004, 2007 and 2010 are included for comparison (ICES, 2013). Survey period 5 is indicated by a broad yellow line below the X-axis.

## Þakkir

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

## Heimildir

Björn Gunnarsson, Jónas P. Jónasson, Kai Logemann og Guðmundur J. Óskarsson. 2013. Recent

occurrence of juvenile Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*) in Icelandic Waters. ICES CM 2013/N:16.

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

ICES, 2013. 2013 Mackerel and Horse Mackerel Egg survey – Preliminary results. Working

Document / Survey Report. Finley Burns, Cindy van Damme, Jens Ulleweit, Merete Fonn, Anders Thorsen, Concha Franco. Copenhagen, Denmark, 36 bls.

ICES, 2014. 2013 Mackerel and Horse Mackerel Egg survey – WGMEGS. Copenhagen, Denmark (In prep).

Ólafur S. Ástþórsson, Þorsteinn Sigurðsson og Sveinn Sveinbjörnsson, 2009. Makrill á Íslandsmiðum. Þættir úr vistfræði sjávar, Hafrannsóknir: 152. 8 bls.

Ólafur Ástþórsson, Héðinn Valdimarsson, Ásta Guðmundsdóttir og Guðmundur J. Óskarsson, 2012.

Climate-related variations in the occurrence and distribution of mackerel (*Scomber scombrus*) in Icelandic waters. ICES Journal of Marine Science, 69: 1289-1297.



### 3.8. ATHUGUN Á NÝTINGARMÖGULEIKUM BROTINNA KVARNA Í AÐGREINGU MISMUNANDI VISTGERÐA ÞORSKS VIÐ ÍSLAND

TESTING THE APPLICABILITY OF REASSEMBLED BROKEN  
OTOLITHS IN POPULATION DISCRIMINATION OF COD IN  
ICELAND

Hlynur Bárðarson<sup>1</sup>, Bruce McAdam<sup>2</sup>, Gróa Pétursdóttir<sup>3</sup>, Guðrún Mar-  
teinsdóttir<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Líf- og Umhverfissvísindastofun Háskóla Íslands, <sup>2</sup>Institute of  
Aquaculture, Stirling, <sup>3</sup>Hafrannsóknastofnun

#### Ágrip

Stórt safn kvarna nýtist ekki til rannsókna á formgerð þar sem þær hafa verið brotnar vegna aldursákvörðunar. Tuttugu og fimm þorsk-  
kvarnir (*Gadus morhua*) voru ljósmyndaðar bæði óbrotnar og límdar til  
að athuga möguleika á því að nýta samanlímdar kvarnir til að-  
greiningar stofngerða útfrá mælingum á útliti og lögun kvarna. Sjö af  
átta formeiginleikum en engin af sex Fourier skýribreytum breyttust  
marktækt hjá límdum kvörnum. Munurinn af völdum líms reyndist of  
lítill til að hafa áhrif á aðgreiningu einstaklinga með klasagreiningu (e.  
Cluster Analysis). Niðurstöðurnar eru mikilvægar fyrir sameiginlega  
rannsókn Hafrannsóknastofnunar, Háskóla Íslands og Matís á hag-  
nýtingu kvarna við aðgreiningu mismunandi vistgerða þorsks við  
Ísland.

#### Abstract

*Large archives of otoliths are not applicable for shape analysis since they have been broken for age determination. Twenty five Atlantic cod (*Gadus morhua*) otoliths were examined using eight shape measurements along with Fourier analysis of their outlines to test whether discrimination using otolith shape is affected by reassembling broken otoliths. Small differences in seven of the eight shape measurements were found between unbroken otoliths and the same otoliths after breaking and subsequently gluing together; however, none of the Fourier descriptors differed. Cluster analyses indicated that resultant morphological differences will have no impact when applying discriminant analysis. These results are important for shape analysis of otoliths between different ecotypes of Icelandic cod currently being studied by the Marine Research Institute, the University of Iceland, and Matís.*

#### Inngangur

Allt frá uppgötvun Johannes Reibisch árið 1899, hafa kvarnir í fiskum

verið mikilvægt verkfæri fiskirannsóknna. Reibisch uppgötvaði áhringi í kvörnum skarkola (*Pleuronectes platessa*) og þar með hófst saga aldursákvörðana á fiskum (Reibisch, 1899). Aldursákvörðun er ekki eina leiðin til að hagnýta kvarnir því þær virka í raun sem ígildi fjölfasa mælitækis sem gefur fiskifræðingum ekki bara upplýsingar um aldur fiska heldur geta einnig gefið talsvert góðar vísbendingar um vistfræðilega þætti úr umhverfi þeirra. Þannig hafa sérfræðingar á Hafrannsóknastofnun í samstarfi við innlenda og erlenda vísindamenn sýnt fram á að efnasamsetning kvarna getur gefið vísbendingar um hrygningarsvæði þorsks (Ingibjörg Jónsdóttir o.fl., 2006a) og að útlit og lögun kvarna getur einnig gegnt sama hlutverki (Ingibjörg Jónsdóttir o.fl., 2006b; Gróa Pétursdóttir o.fl., 2006). Ástæðan er að uppsöfnun snefilefna í kvörnum er háð efnasamsetningu sjávar og að aðrir þættir í umhverfi sem hafa áhrif á vöxt fiska s.s. hitastig og fæðuframboð geta haft óbein áhrif á vöxt og útlit kvarna (Campana and Casselman, 1993; Campana, 1999).

Hafrannsóknastofnun í samstarfi við Háskóla Íslands og Matís hafa unnið að verkefni sem nýtir meðal annars kvarnir úr endurheimtum þorski sem merktur var með gagnamerkjum (e. Data Storage Tags) frá Star-Odda á árunum 2002 til 2010. Með þessum merkjum, sem mæla hitastig og dýpi (brýstingsmælingar), er hægt að greina hegðunarmynstur einstaklinga og hafa greiningar á endurheimtum merkjum bent til þess að við Ísland sýni þorskar mismunandi farhegðun á fæðutíma. Hluti þorskstofnsins heldur sig á grunnsævi landsins allan ársins hring meðan annar hluti stofnsins syndir í fæðuleit út fyrir landgrunnið, niður fyrir 200m dýpi (Ólafur K. Pálsson og Vilhjálmur Thorsteinsson, 2003; Vilhjálmur Thorsteinsson og Kristinn Sæmundsson, 2006). Rannsóknaverkefnið felur í sér athugun á því hvort munur á farhegðun, umhverfi og erfðum þessara tveggja hegðunarmynstra sé nægjanlegur til að hann endurspeglar útlitsmun kvarna. Slíkur munur myndi þýða að hægt væri að nýta kvarnir til að greina í sundur hópa af þorski er sýna mismunandi hegðun. Þrátt fyrir að töluvert af merktum fiskum hafi endurheimst ( $n \sim 420$ ) þá hafa ekki allar kvarnir skilað sér og margar þeirra verið brotnar í tvennt til aldursákvörðunar og eru því ekki nýtanlegar í útlitsgreiningu í því ástandi. Þar sem þessar kvarnir teljast dýrmætar, í vísindalegum skilningi, var ákveðið að ráðast í rannsókn á því hvort hægt væri að nota slíkar brotnar kvarnir í útlitsgreiningu með því að líma þær aftur saman.

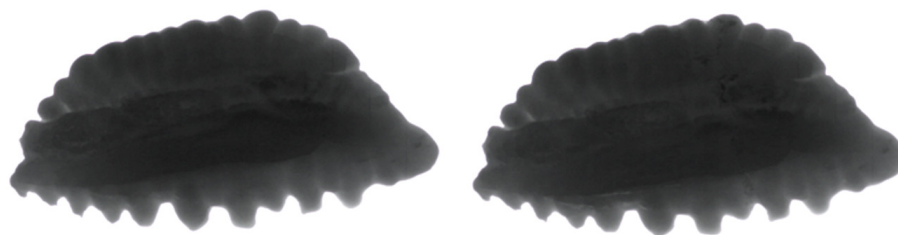
### Aðferðir

Tuttugu og fimm óbrotnar þorskkvornir úr safni Hafrannsóknastofnunar voru notaðar til útlitsgreiningar. Hver kvörn var ljósmynduð í heilu lagi undir smásjá og hún síðan brotin í höndum með sömu aðferð og notuð er við aldursákvörðun eða svokallaðri „Break (and burn)“ aðferð (Christensen, 1964). Að því loknu voru kvarnirnar límdar saman með algengu, hraðþornandi föndurlími og þeim leyft að þorna



áður en þær voru ljósmyndaðar aftur. Átta formeiginleikar voru greindir út frá ljósmyndunum með myndvinnsluforritinu ImageJ (Schneider o.fl., 2012, sjá Tafla 1). Útlínur voru einnig dregnar upp af svarthvítri mynd kvarna (1. Mynd) með greiningu á ljósstyrk myndeininga (e. pixels) og þær síðan greindar með svokallaðri “Fast Fourier Transform” aðferð, sem byggist á því að greina sveiflutíðni í útlínum forma og umbreyta þeim í 256 stiglækkandi skýribreytur (e. descriptors) (Lestrel, 1997).

Sex stærstu skýribreyturnar, sem saman skýra um 90% af breytileikanum í útlínum kvarna, voru notaðar í athugunum. Með því að endurtaka ljósmyndun kvarnanna sex sinnum, bæði fyrir og eftir að þær voru límdar, var möguleiki að greina á milli áhrifa vegna bjögunar í myndatöku annars vegar og vegna líms hinsvegar. Frávikagreining (ANOVA) var notuð til að athuga hvort límingaraðferðin hefði marktæk áhrif á útlitsgreiningu og klasagreiningu (e. Cluster Analysis) síðan notuð til að athuga hvort brotnar, límdar kvarnir flokkuðust á annan hátt, út frá útliti, en ef þær væru heilar og ólímdar.



1. Mynd. Ein af þorskvörnunum sem notaðar voru í athugunum á nýtingu brotinna kvarna í aðgreiningu mismunandi vistgerða þorsks við Ísland. Vinstra megin er kvörnin heil og óbrotin, hægra megin er búið að brjóta og líma hana saman aftur. Myndvinnsluforrit finnur útlínur kvarna með samanburði á ljósstyrk í mynddílum.

*Figure 1. One of the otoliths used in the examination of usefulness of broken otoliths in population discrimination of cod in Iceland. The figure on the left shows whole, unbroken otolith and on right the same otolith has been broken and glued back together. The outlines are found by analyzing the black and white difference in pixel gradient.*

### Niðurstöður og umræður

Sjö af átta formeiginleikum breyttust marktækt við það að kvarnirnar voru límdar, hinsvegar mældust engar breytingar á Fourier skýribreytum (Tafla 1).

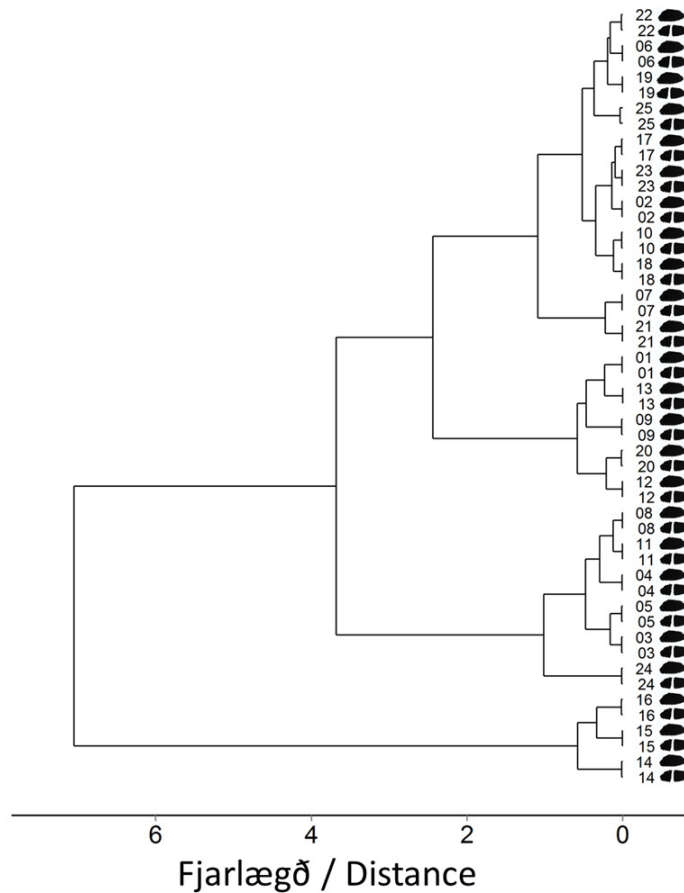
Þrátt fyrir að sumir eiginleikar hafi breyst marktækt við límingu, þá er breytingin það lítil að hún hefur nánast engin áhrif á það hvernig einstakur fiskur flokkast út frá útliti kvarnar. Öll 25 kvarnapörin, þ.e. kvörn fyrir og eftir límingu, mynda klasa með sjálfum sér, en ekki einhverri annari kvörn á flokkunartrénu (2. Mynd).

Tafla 1. Niðurstöður úr ferveikagreiningu (ANOVA) á áhrifum vegna bjögunar í myndatöku annars vegar og vegna áhrifa af lími hins vegar. Formeiginleikarnir eru átta og Fourier skýri-breyturnar eru sex. P-gildi eru breiðletruð þar sem áhrif vegna líms mældust marktæk, eftir Holm-Bonferroni leiðréttingar.

*Table 1. ANOVAs on the effect of gluing broken otoliths on shape measurement . The shape variables are eight (Area, Perimeter, Width, Height, Aspect Ratio, Roundness, Rectangularity, and Circularity respectively), and the Fourier Descriptors are six. P-values in bold indicate significant effect of gluing after corrected for multiple comparison using the Holm-Bonferroni method.*

Form eiginleiki Shape variables	Fritölur d.f.	Staðalfrávik vegna myndbjögunar Std. dev. due to photo distortion	Breyting vegna líms Difference caused by gluing	P-gildi P-value
Flatarmál	1	154	-342.5	<b>&lt;0.001</b>
Ummál	1	2.473	3.197	<b>&lt;0.001</b>
Breidd	1	0.373	-0.879	<b>&lt;0.001</b>
Hæð	1	0.433	0.105	>0.05
Hæð/Breidd	1	1.8*10-03	-2.2*10-03	<b>&lt;0.001</b>
Sívalningslöggun	1	4.5*10-04	4.9*10-04	<b>&lt;0.001</b>
Ferningslöggun	1	6.8*10-04	-6.5*10-04	<b>&lt;0.001</b>
Hringlöggun	1	1.4*10-03	-2.4*10-03	<b>&lt;0.001</b>
Fourier 1	1	3.3*10-03	-6.5*10-04	>0.05
Fourier 2	1	2.8*10-03	-5.9*10-05	>0.05
Fourier 3	1	1.5*10-03	-2.0*10-04	>0.05
Fourier 4	1	2.2*10-03	5.5*10-04	>0.05
Fourier 5	1	2.9*10-03	-1.8*10-05	>0.05
Fourier 6	1	6.8*10-03	3.3*10-04	>0.05

Heimfært yfir á rannsókn okkar á útliti kvarna úr þorskum með mismunandi hegðunarmynstur, þýða þessar niðurstöður að límd kvörn myndi flokkast á sama hátt og ef hún væri heil og óbrotin. Þetta er mikilvægt því með því að fjölga þeim kvörnum sem hægt er að nota af merktum fiskum verður greiningarlykill að hegðunarmynstri þorska við Ísland marktækari. Að lokum er hægt að upplýsa að fyrstu niðurstöður rannsókna Hafrannsóknastofnunar, Háskóla Íslands og Matís gefa til kynna að útlit kvarnar geti í allt að 90% tilfella sagt rétt til um fæðufar þorskanna. Límingaraðferðin mun ekki eingöngu nýtast við rannsóknina hér að ofan því hafrannsóknastofnanir um allan heim eiga stór kvarnasöfn, þar sem hluti kvarnanna hefur verið brotinn til aldursákvörðunar. Líklegt er að einhverjar þessara stofnana muni grípa til aðferðarinnar til að nýta verðmætar en brotnar kvarnir til samanburðarmælinga á útliti og lögum.



2. Mynd. Flokkunartré byggt á niðurstöðum úr klasagreiningu (e. Cluster Analysis). Aðferðin byggist á því að gera paraðan samanburð milli allra einstaklinga og para saman þá sem eru líkastir innbyrðis. Muninum er gefið tölulegt fjarlægðar gildi og því lengra til vinstri sem lóðréttu tengilínurnar myndast því meiri er munurinn. Númerin vísa til paranna 25 og hvert par samanstendur af óbrotinni kvörn og sömu kvörn samanlímdri. Eins og sést þá parast allar límdu, brotnu kvarnirnar við sína upprunalegu heilu kvörn, með fjarlægð nálægt núllgildi.

*Figure 2. Dendrogram showing the results from cluster analysis on shape measurements. The method is based on pair-wise comparisons between all otoliths and the most similar ones are paired. The less similar they are the more to the left the vertical connection lines are formed. The numbers refer to the 25 pairs used in the analysis, and each pair consists of an otolith before and after gluing. All individual pairs of otoliths before and after gluing are clustered together with a dissimilarity value (distance) close to zero.*

### Heimildir

Campana, S. E. (1999). Chemistry and composition of fish otoliths: pathways, mechanisms and applications. *Marine Ecology Progress Series* 188, 263-297.

Campana, S. E. & Casselman, J. M. (1993). Stock Discrimination Using Otolith Shape Analysis. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 50, 1062-1083.

Christensen, J. M. (1964). Burning of otoliths, a technique for age determination of soles and other fish. *Journal du conseil* 29, 73-81.

Ingibjörg Jónsdóttir, Campana, S. E. & Guðrún Marteinsdóttir. (2006a). Stock

structure of Icelandic cod *Gadus morhua* L. based on otolith chemistry. *Journal of Fish Biology* 69, 136-150.

Ingibjörg Jónsdóttir, Campana, S. E. & Guðrún Marteinsdóttir. (2006b). Otolith shape and temporal stability of spawning groups of Icelandic cod (*Gadus morhua* L.). *ICES Journal of Marine Science* 63, 1501-1512.

Lestrel, P. E. (1997). *Fourier descriptors and their applications in biology*. Cambridge ; New York: Cambridge University Press.

Ólafur K. Pálsson & Vilhjálmur 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.

Gróa Pétursdóttir, Begg, G. A. & Guðrún Marteinsdóttir. (2006). Discrimination between Icelandic cod (*Gadus morhua* L.) populations from adjacent spawning areas based on otolith growth and shape. *Fisheries Research* 80, 182-189.

Reibisch, J. (1899). Ueber die Eizahl bei *Pleuronectes platessa* und die Altersbestimmung dieser Form aus den Otolithen. *Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen (Kiel)* 4, 233-248.

Schneider, C. A., Rasband, W. S. & Eliceiri, K. W. (2012). NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature Methods* 9, 671-675.

Vilhjálmur Thorsteinsson. & Kristinn Sæmundsson. (2006). Vertical distribution and variable mortality rates of adult cod (*Gadus morhua*) in Icelandic waters (data from tagging with conventional tags and electronic archival tags combined). *International Council for the Exploration of the Sea ICES CM 2006/Q:10*.

#### 4. VIÐAUKI. UMHVERFISÞÆTTIR Í MAÍ-JÚNÍ 1952-2013

##### APPENDIX. ENVIRONMENTAL VARIABLES IN MAY-JUNE 1952-2012

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<sup>-2</sup>) í efstu 50 m á á Siglunessniði (\*\*). 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 Siglunessniði 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<sup>-2</sup>) 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 at the Siglunes section is also shown (Julian day).*

Ár Year	Söfnunardagur Julian day	Hitafrávik * Temp. deviation*	Seltufrávik * Salinity deviation*	Átumagn** Zoo.biomass**	Ferskvatn*** Freshw. thickness***
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 Year	Söfnunardagur Julian day	Hitafrávik * Temp. deviation*	Seltufrávik * Salinity deviation*	Átumagn** Zoo.biomass**	Ferskvatn*** Freshw. thickness***
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
2011	139	1,112	0,199	3,1	0,933
2012	140	1,345	0,265	3,6	1,491
2013	138	0,984	0,265	1,5	0,477

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

\*\* Til ársins 2001 voru ákusýnin rúmmálmæld um borð og þurrvigt ákvörðuð með því að nota umreiknistuðul (Matthews, J. B. L. og Heimdahl, 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).

\*\* Until 2001 the volume of zooplankton samples was measured at sea and the dry weight calculated (Matthews, J. B. L. og Heimdahl, 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). From 2002 onwards the samples were deepfrozen at sea and dried and weighed on shore (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.