



Áhrif lífrænnar mengunar á lífríki sjávarbotns í Breiðafirði

Valtýr Sigurðsson



Líf- og umhverfisvísindadeild
Háskóli Íslands
2015

ÁHRIF LÍFRÆNNAR MENGUNAR Á LÍFRÍKI SJÁVARBOTNS Í BREIÐAFIRÐI

Valtýr Sigurðsson

90 eininga ritgerð sem er hluti af
Magister Scientiarum gráðu í líffræði

Leiðbeinendur
Jón Einar Jónsson
Erla Björk Örnólfsdóttir
Róbert Arnar Stefánsson
Guðmundur Víðir Helgason

Líf- og umhverfisvísindadeild
Verkfræði- og náttúruvísindasvið
Háskóli Íslands
Reykjavík, júní 2015

Áhrif lífrænnar mengunar á lífríki sjávarbotns í Breiðafirði
90 eininga ritgerð sem er hluti af *Magister Scientiarum* gráðu í líffræði

Höfundarréttur © 2015 Valtýr Sigurðsson
Allur réttur áskilinn

Líf- og umhverfisvísindadeild
Verkfræði- og náttúruvísindasvið
Háskóli Íslands
Sturlugötu 7
101, Reykjavík
Ísland

Sími: 525 4000

Skráningarupplýsingar:

Valtýr Sigurðsson, 2015, Áhrif lífrænnar mengunar á lífríki sjávarbotns í Breiðafirði,
meistararitgerð, Líf- og umhverfisvísindadeild, Háskóli Íslands.

ISBN XX

Prentun: Háskólaprent, Fálkagötu 2, 107 Reykjavík
Ísland, júní 2015

Útdráttur

Síldargöngur inn Breiðafjörð undanfarin ár hafa borið með sér mikla næringu inn í vistkerfi fjarðarins. Síldin hefur drepist í stórum stíl, af mismunandi ástæðum, og fallið til botns þar sem hún rotnaði og olli ofauðgun svo að botninn varð ólífvænlegur fyrir flest dýr. Áhrif lífrænnar mengunar á botndýralíf í Breiðafirði voru könnuð með tveimur rannsóknum á grunnsævi. Önnur rannsóknin beindist að gildruveiði á marflóm á mismenguðum svæðum fyrir utan Stykkishólm á Snæfellsnesi. Þar voru helstu niðurstöður þær að marflóartegundin *Anonyx sarsi* var í ríkum mæli á svæðinu og fannst í meira magni á minna menguðum stöðvum. Hin rannsóknin sneri að áhrifum mikils síldardauða í Kolgrafafirði en þar drápust yfir 50 þúsund tonn af síld í kringum áramótin 2012 til 2013. Áhrif síldardauðans á botndýralíf voru borin saman við rannsókn Agnars Ingólfssonar sem var gerð árið 1999 vegna mats á umhverfisáhrifum þverunar Kolgrafafjarðar. Engar rannsóknir eru til við sambærilegar aðstæður hér á landi og sköpuðust í Kolgrafafirði veturinn 2012 og 2013. Norsk rannsókn á áhrifum dauða nokkurra hundruða tonna af síld í litlum firði í Norður-Noregi sýndi að það tók botninn um þrjú ár að komast í fyrra horf. Tegundasamsetning botndýra í Kolgrafafirði árin 1999 og 2013 var gjörólík. Mikil tegundafækkun varð í kjölfar síldardauðans. Mengunarsækni burstaormurinn *Capitella capitata* fannst í um 9.600 einstaklinga á fermetra að meðaltali í firðinum og mest í yfir 77.000 einstaklinga á fermetra á einni stöð. Aðeins fannst eitt eintak af tegundinni í Kolgrafafirði árið 1999.

Abstract

The overwintering Atlantic herring *Clupea harengus*, off the coast of the Snæfellsnes peninsula, western Iceland, has had a large impact on the marine ecosystem of the southern Breiðafjörður bay. In winter 2012 - 2013, over 50,000 tonnes of herring succumbed to oxygen depletion in a large scale die-off in the shallow silled fjord Kolgrafafjörður. Around 20,000 tonnes of dead herring accumulated on the seafloor and subsequently some of the benthic biota washed ashore. The effects of the oxygen depleted conditions caused by the organic material on benthic infaunal communities were assessed with bottom grab sampling. The results were compared with those from a similar study made in 1999 as part of an environmental assessment prior to construction of a bridge crossing the fjord. Data indicated lowered biodiversity and dominance of the polychaete *Capitella capitata*, in contrast to a species rich fauna in the area in 1999 (where only a single *C. capitata* specimen was found). Over 77,000 individuals/m² of *C. capitata* were recorded at one station in 2013. This species is particularly associated with disturbed or polluted sediments. Similar conditions have not been documented in Iceland before but the impact of a 500 tonne herring death on the benthic fauna of a small fjord in North Norway lasted for approximately three years. Another study on the effects of a smaller scale herring death was conducted at another location in southern Breiðafjörður bay. There, the catch of amphipod traps, baited for epifaunal lysianassids, indicated that the scavenging amphipod *Anonyx sarsi* avoided sources of organic pollution.

Efnisyfirlit

Útdráttur	v
Abstract	vi
Myndaskrá	ix
Töfluskrá	xi
Pakkir	xiii
1. Inngangur	1
1.1. Lífræn mengun á botni	1
1.2. Breiðafjörður	3
1.3. Síld í Breiðafirði	4
1.4. Aðdragandi rannsókna	6
1.4.1. Síld drepst við Stykkishólm	6
1.4.2. Síldardauðinn í Kolgrafafirði	6
1.5. Tengdar rannsóknir Agnars Ingólfssonar	6
1.6. Markmið	7
2. Aðferðir	9
2.1. Botngreiparsýni í Kolgrafafirði	9
2.1.1. Botnsýnatökur	9
2.2. Gildruveiðar á marflóm	12
2.3. Svæðislýsing	14
3. Niðurstöður	15
3.1. Botndýralíf í Kolgrafafirði	15
3.1.1. Setgerðarsýni	15
3.1.2. Talningar og tegundagreiningar	16
3.1.3. Samfélagsgerðir (community analysis)	17
3.1.4. Samanburður gagna frá 2013 og 1999	20
3.2. Marflær við Stykkishólm	25
3.2.1. Talningar og úrvinnsla	25
3.2.2. Lengdarmælingar	26
3.2.3. Meðaffli	26

4. Umræður	29
4.1. Botndýr í Kolgrafafirði	29
4.1.1. Viðmiðunarstöðvar utan brúar	31
4.1.2. <i>Capitella capitata</i> (Fabricius, 1780)	32
4.1.3. Framtíðarhorfur	33
4.2. Marflær við Stykkishólm	34
4.2.1. <i>Anonyx sarsi</i>	34
Heimildir	39
A. Viðauki. Botndýrarannsókn í Kolgrafafirði	49
A.1. Athuganir á vettvangi í Kolgrafafirði 21. júní 2013	49
A.2. Töflur með talningum úr botngreiparsýnum	51
A.3. Sigtun og glæðitap	57
A.4. Súrefnismælingar, líkan	58
B. Rannsókn á marflóm við Stykkishólm	61
B.1. Smíði á marflóagildrum	61

Myndaskrá

2.1. Rannsóknasvæðin á Snæfellsnesi	9
2.2. Sýnatökustöðvar í Kolgrafafirði 21. júní 2013	11
2.3. Staðsetningar sýnatökustöðva við Stykkishólm	13
2.4. Lengdarmælingar marflóa	13
3.1. Kornastærðargreining	16
3.2. Meginþáttagreining sýna úr Kolgrafafirði 2013	18
3.3. Fylgnigreining (CA) sýna úr Kolgrafafirði 2013	19
3.4. Klasagreining á botngreiparsýnum úr Kolgrafafirði 2013	20
3.5. Fjöldi tegunda í Kolgrafafirði árin 1999 og 2013	21
3.6. Fjöldi einstaklinga á m ² í Kolgrafafirði árin 1999 og 2013	21
3.7. Klasagreining á botngreiparsýnum úr Kolgrafafirði 1999 og 2013	22
3.8. Tíu algengustu tegundir/safnhópar á botni Kolgrafafjarðar 1999 og 2013	23
3.9. <i>AMBI biotic index</i> . Hlutfall mengunarpólinna/viðkvæmra tegunda í botngreiparsýnum frá 2013	23
3.10. Fjölbreytileikastuðullinn Shannon H	24
3.11. Línulegt aðhvarf AMBI biotic index og Shannon fjölbreytileikastuðulsins H.	24

MYNDASKRÁ

3.12. Fjöldi <i>Anonyx sarsi</i> m.v. legutíma	26
3.13. Tíðnirit lengdarmælinga	27
A.1. Set fyrir glæðingu	57
A.2. Súrefnis- og straumlíkan verkfræðistofunnar Vatnaskila ehf.	59
B.1. Nokkrar mismunandi marflóagildirur	62
B.2. Tvær típur af marflóagildrum	63
B.3. Marflóagildirur halaðar upp	63

Töfluskrá

3.1. Hlutfallsleg þyngd lífræns efnis í setgerðarsýnunum úr Kolgrafafirði 2013 fengin með glæðitapi í brennsluofni. Hlutfall lífræns efnis í leir ($< 63 \mu\text{m}$) er hér sýnt annars vegar, og hlutfall lífræns efnis af heildarþurrvigt sýnis hins vegar.	15
3.2. Veiði á <i>Anonyx sarsi</i>	25
3.3. Veiði á <i>Pandalus montagui</i>	27
A.1. GPS-hnit stöðva í Kolgrafafirði	49
A.2. Athuganir á vettvangi við sýnatökur í Kolgrafafirði 2013. Dýpi var leiðrétt eftir sjávarfallatöflum og er miðað við núllpunkt sjómælinga. .	50
A.3. Samanteknar talningar einstaklinga á stöð úr botngreiparsýnum 2013, flokkar (<i>class</i>).	51
A.4. Samanteknar talningar einstaklinga á stöð úr botngreiparsýnum 2013, burstaormar, ættir (<i>family</i>).	52
A.5. Talningar úr botngreiparsýnum í Kolgrafafirði 2013 uppreiknaðar frá hlutsýnum eftir atvikum og samanteknar úr 3 sýnum á stöð.	53
B.1. Talningar úr marflóagildrum við Stykkishólm frá ágúst 2012 til apríl 2013 (mynd 2.3) allar sýnatökur.	61

Þakkir

Leiðbeinendum mínum Jóni Einari Jónssyni, Erlu Björk Örnólfsdóttur, Róberti Arnari Stefánssyni og Guðmundi Víði Helgasyni þakka ég fyrir gott samstarf og góða leiðsögn við skrif og framkvæmd verkefnisins. Guðmundur Víðir Helgason á auk þess þakkir skildar fyrir leiðsögn í greiningu botndýra.

Símoni Sturlusyni vil ég þakka sérstaklega fyrir hjálpina við framkvæmd verkefnisins og góð ráð sem sneru að neðansjávarumhverfinu, en án hans miklu og óeigingjörnu vinnu hefði stór hluti rannsóknarinnar vart verið framkvæmanlegur. Árna Ásgeirsyni þakka ég fyrir að miðla af þekkingu sinni á svæðinu og verkviti.

Öðrum sem lögðu hönd á plóg vil ég færa bestu þakkir í engri sérstakri röð. Steinunn Kristín Jónsdóttir, tengdamóðir, fær bestu þakkir fyrir yfirlestur og ábendingar um uppbyggingu ritgerða. Konunni minni Ástrós Elísdóttur þakka ég prófarkalestur ritgerðarinnar. Árni Vésteinsson starfsmaður Landgæslunnar fær þakkir fyrir hjálpina við útreikninga stöðu sjávarfalla, Marteinn S. Sigurðsson hjá iskort.is fyrir kortin, Kristen Marie Westfall fyrir spjall um neðansjávarumhverfið og dýralífið þar, Stykkishólmsbær, Hreyfing (líkamsræktarstöð) sem útvegaði efni fyrir gildrusmíði (tóma próteindunka), ábúendur á Eiði og Kolgröfum fá sérþakkir fyrir að reka okkur ekki af jörðum sínum, Ásmundur Skeggjason og Skeggi faðir hans sem sigldu með okkur í Kolgrafafjörð, Nina Langwald fyrir hjálpina við úrvinnslu sýnanna, Jörundur Svavarsson, Hreiðar Þór Valtýsson fyrir lán á botngreip, Egill Erlendsson fyrir aðstoð við setgerðarsýnin, Sölvi Rúnar Vignisson fyrir aðstoð við sigtun, Smári Þór Baldursson fyrir samstarfið og beitningakallarnir í Hólminum fyrir að gefa makríl í beitu. Einnig þakka ég Þórhalli Aðalsteinssyni fyrir kaffið.

Verkefnið hlaut styrki úr rannsóknasjóði Vegagerðarinnar og úr Verkefnasjóði sjávarútvegsins.

1. Inngangur

1.1. Lífræn mengun á botni

Um það bil tveir þriðju hlutar jarðarinnar eru hafsvæði og mjúkur hafsbotn. Lífrænar leifar falla til botns í mismiklum mæli, minna í djúpunum og meira á grunnsævi þar sem frumframleiðsla er meiri m.a. vegna landrænna áhrifa, næringarefna sem berast frá landi með framburði úr ám og jafnvel með landfoki (Sólveig R. Ólafsdóttir, 2006; Þórunn Þórðardóttir, 1994). Yfir botninum í vatnssúlunni eru mismunandi vistir sem skiptast upp eftir grunneðlisþáttum vatns og ljóss (Large o. fl., 1994). Ljósið veitir orkuna sem þörungar þurfa til að byggja upp grunninn að öllu lífi í þessum risastóra fæðuvef en stór hluti lífræns efnis sest að lokum á botninn. Á botninum eru lífrænar leifar endurunnar af dýrum sem lifa í og við sjávarbotninn en einnig rotverum og bakteríum.

Fyrstur til að skilgreina mismunandi dýrasamfélög á hafsbotni var danski sjávarlíffræðingurinn Carl Georg Johannes Petersen sem rannsakaði samfélagsgerðir í Kattegat milli Svíþjóðar og Danmerkur árið 1911 (Petersen og Boysen-Jensen, 1914) og komst að því að hægt var að flokka mismunandi samfélög eftir umhverfisaðstæðum eins og dýpi og botngerð. Um miðja öldina fylgdi annar danskur vísindamaður, Gunnar Thorson, í kjölfarið og sýndi fram á hliðstæða svæðaskiptingu samfélaga á ólíkum breiddargráðum (Rosenberg, 2001).

Í yfirliti sínu yfir rannsóknir á grunnsævi á tuttugustu öld útskýrir Rosenberg (2001) hvernig athygli vísindamanna beindist að breytingum á gerð botndýrasamfélaga í tengslum við lífræna mengun, fyrst á Norðurlöndum en svo um allan heim. Ofauðgun lífræns efnis á botni veldur því að uppleyst súrefni í botnsetinu og í neðstu lögum sjávarins minnkar. Við lækkandi súrefnismettun flýja hreyfanleg sjávardýr (Ludsin o. fl., 2009) og botndýr sem hafast við ofan í botnsetinu færa sig upp í átt að sjónum (Sturdivant o. fl., 2012) þegar súlfíð, sem er eitrad flestum súrefnisháðum lífverum, byggist upp í setinu (Kanaya, 2014) samhliða því sem mörk ólífvænlegs, afoxaðs botnsets færast ofar (Kristensen, 2000). Botndýrin hætta allri starfsemi sem tengist ekki öndun (Diaz og Rosenberg, 1995) sem veldur enn hraðari afoxun í setinu (Nilsson og Rosenberg, 1994). Ef súrefnisskorturinn verður viðvarandi veldur hann fjöldadauða meðal botndýra og getur haft neikvæð áhrif á vistkerfið til lengri eða

1. Inngangur

skemmri tíma (Oug o. fl., 1991).

Fjöldadauði sjávardýra vekur jafnan athygli og spurningar um vistkerfi hafsins þegar þeim skolar á land. Algengar ástæður að baki slíkra atburða geta verið sjúkdómar, eitrunaráhrif, súrefnisskortur og aðrir umhverfisþættir (Harvell o. fl., 1999; Cebrian o. fl., 2011; Guðrún G. Þórarinsdóttir, 2009). Á síðustu öld hafa umsvif í landbúnaði og öðrum atvinnugreinum, ásamt losun á skólpi út í hafið, valdið ofauðgun næringarefna á strandsvæðum við þéttbýl svæði. Hár styrkur næringarefna eykur frumframleiðni svo að hún verður meiri en síðframleiðslan t.d. dýrasvif getur nýtt sér og fellur til botns. Í kjölfarið skapast súrefnisfirrtar aðstæður vegna niðurbrots baktería á þessu lífræna efni og sem hefur aukið enn á tíðni fjöldadauða sjávartegunda á heimsvísu (Diaz og Rosenberg, 2008; Dean, 2008). Súrefnisskortur á strandsvæðum er viðvarandi í síauknum mæli þar sem vatnsskipti eru skert og uppsöfnun lífrænna efna á sér stað (Rosenberg o. fl., 2001; Ludsins o. fl., 2009).

Efsta lag sjávarbotnsins, súrefnisríka lagið, er aðeins nokkurra millimetra þykkt (Revsbech o. fl., 1980) en sé mikil virkni í botnsetinu margfaldast yfirborðsflatarmálið í raun þar sem burstaormar, samlokur, marflær og stærri krabbadýr grafa sig í setið og auka þannig flatarmál botnsins sem er í beinni snertingu við sjó. Þetta hefur mikil áhrif á bakteríuflórana í setinu og hraðar endurvinnslu næringarefna (Kristensen o. fl., 1995). Undir súrefnisríka laginu tekur við oxað lag sem er ljóst á litinn og oft rauðbrúnt (Nilsson og Rosenberg, 1997). Oxunarefnin í oxaða undirlaginu eru aðallega málmjónir (Aller, 1988). Þar fyrir neðan er afoxaða lagið sem hýsir enga stórfánu nema fáar mengunarpólnar tegundir (Sutula o. fl., 2014). Það lag einkennist af brennisteinssamböndum þar sem efnahvörf súrefnisóháðra baktería losa súlfíð frá lífrænum sameindum þegar þær brotna niður í setinu (Rabus o. fl., 2013), til dæmis á formi brennisteinsvetnis, H_2S , sem hefur mjög einkennandi lykt. Súrefnisupptaka í botnseti er álíka mikil vegna súrefnisháðrar öndunar og enduroxunar á afoxuðum efnasamböndum (líkt og H_2S) nálægt mörkum oxunar/afoxunar laganna (Thamdrup o. fl., 1994). Í botnseti með mikið magn lífræns efns getur upptaka súrefnis vegna oxunar á súlfíði verið allt að 70 til 100% (Jørgensen og Revsbech, 1989). Við slíkar aðstæður verður síðframleiðsla á svæðunum lág og orkuflutningur upp fæðukeðjur stöðvast. Virkni mengunarpólinna botndýra í röskuðu botnseti hefur hvetjandi áhrif á framvindu þroskaðs botndýrasamfélags (Holmer o. fl., 1997).

Ekki er vitað til þess að súrefnisþurrðar hafi gætt við strendur Íslands til lengri tíma en súrefnisfirrtar aðstæður við botn á Íslandi eru vel þekktar í kringum fiskeldiskvíar á Vestfjörðum. Rannsóknir á botni við fiskeldiskvíar í Ísafjarðardjúpi sýndu að tegundafjölbreytileiki minnkar verulega á áhrifasvæðum þeirra þar sem ofauðgun vegna fæðunar og úrgangs frá kvíunum skapar súrefnisfirrtar aðstæður (Þorleifur Eiríksson o. fl., 2012a). Fiskeldiskvíar eru reglulega færðar til til þess að dreifa álaginu. Náttúrustofa Vestfjarða rannsakaði ástand botns við fiskeldiskvíar í Tálknafirði þar sem mikil uppsöfnun lífrænna efna átti sér stað vegna fæðurgjafar. Þar er því lýst hvernig tækifærissinnaðar tegundir burstorma og samloka dafna við aðstæður sem

flest önnur dýr þola ekki en hörfa svo þegar álaginu er létt og mengunin hjaðnar eða skolast í burtu (Böðvar Þórisson o. fl., 2012; Þorleifur Eiríksson o. fl., 2012a). Súrefnisskortur hefur verið staðfestur hér við land í sjávarlónum þar sem lagskipting er sterk vegna ólíkrar eðlisþyngdar sjávar og ferskvatns en fiskur drapst í eldiskvíum í Lóni í Kelduhverfi og í Miklavatni í Fljótum af þeim ástæðum (Steingrímur Jónsson, 2004). Í Grundarfirði árið 2007 drapst þorskur í eldiskvíum á sama tíma og mikil síld var í firðinum en um svipað leyti mældist styrkur súrefnis lágur í kringum kvíarnar (Valdimar Ingi Gunnarsson, 2008).

Marflær sem áviti á heilbrigði vistkerfa

Marflær eru notaðar sem áviti á heilbrigði vistkerfa. Þær hafa minna þol en margir aðrir hryggleysingar gagnvart ýmsum mengunarvöldum og sýnt hefur verið fram á breytt hegðunarmynstur hjá marflóm í tengslum við breytingar á seltu og sýrustigi en einnig vegna mannlegra athafna á borð við fiskveiðar og röskun strandlínu. Þær eru með takmarkaða dreifigetu því þær hafa ekki sviflægt lifrustig og eru almennt tiltölulega staðbundin dýr með sérhæft búsvæðaval við botninn (Thomas, 1993). Þær hafa náð fótfestu í öllum helstu vistkerfum sjávar jafnt á grunnsævi sem og í hafdjúpunum (Britton og Morton, 1994). Vegna smæðar sinnar og mikils fjölda eru þær einn helsti farvegur frumframleiðslu til hærri stiga fæðukeðjunnar (Mancinelli, 2012) ásamt því að geta sett mikið mark á uppbyggingu stórfánunnar í hafinu með afráni á lifrum stærri dýra (Duffy og Hay, 2000).

Tegundafjöldi marflóa við Ísland er yfir 150 (Jóhanna B. Weissappel og Jörundur Svavarsson, 1998). Þær eru smáar og finnast í miklu magni um allt land (Erlingur Hauksson, 1977; Agnar Ingólfsson, 1976). Það er eftirtektarvert hve lítið þekkt áhrif marflóa eru á samfélagsgerð dýra og fæðukeðjur grunnsævis og strandsvæða en þær eru mikilvæg fæða margra fiskitegunda og fugla, aðallega ungviðis, á strandsvæðum við Ísland (Agnar Ingólfsson, 1976; Jakob Jakobsson, 1992; Macneil, Dick og Elwood 1997).

1.2. Breiðafjörður

Umhverfið í Breiðafirði er um margt sérstakt. Þar er stór hluti íslensks grunnsævis og meirihluti íslenskra fjara, séu brimasamar sandfjörur sunnanlands undanskildar. Þekking á botndýralífi fjarðarins er talsverð og þar hefur fundist meiri tegundafjölbreytileiki í botnseti en annars staðar hér við land (Guðmundur Víðir Helgason, 1982). Ástæða þess getur verið sú að þar eru miklar fjörur og mikil frumframleiðsla sem safnast saman á botninum, botndýrum til nota ásamt hentugri botngerð.

1. Inngangur

Þrátt fyrir sérstöðu fjarðarins eru ýmsar gloppur í þekkingu manna á grunnþáttum svæðisins, lífrænum og ólífrænum, svo sem samsetningu dýrasamfélaga og eðlisástandi sjávarins. Þónokkrar rannsóknir á lífríki fjöru og sjávarbotns á grunnsævi hafa verið framkvæmdar í Breiðafirði og má þar benda á yfirlit Ævars Petersen og Gunnars Pórs Hallgrímssonar (2005) og yfirlit Halldóru Skarphéðinsdóttur og Karls Gunnarssonar (1997). Flestar þessara rannsókna eru gerðar með hliðsjón af nýtingu sjávarafurða og í tengslum við umhverfismat vegna vegaframkvæmda en þar er til dæmis reynt að meta hvaða áhrif breytingar á eðlisþáttum hafa á lífríkið.

Fimm firðir innan Breiðafjarðar hafa verið þveraðir með vegfyllingum og brúm, Hraunsfjörður og Kolgrafafjörður á Snæfellsnesi og Gilsfjörður, Kjálkafjörður og Mjóifjörður í Barðastrandarsýslu. Áhrifum framkvæmdanna voru gerð góð skil í Gilsfirði en þar var umhverfismati fylgt eftir með tveimur rannsóknarlotum (Agnar Ingólfsson, 2007) sem veittu mikilvæga innsýn í flókið samspil náttúru og lífríkis á strandsvæðum hér við land. Sú rannsókn var sú fyrsta hér á landi þar sem áhrif fyrir og eftir slíkar framkvæmdir voru könnuð (VSÓ Ráðgjöf, 2012).

Í lokaorðum þeirrar rannsóknar dregur Agnar fram lærdóm verkefnisins þar sem hann útskýrir hvernig betur hefði mátt standa að rannsókninni, að val á samanburðarstöðvum hefði verið innan áhrifasvæðis framkvæmdanna og þær því ekki virkað sem slíkar og að samskiptum fólks milli ólíkra rannsóknasviða hefði verið ábótavant. Lækkun seltu innan vegfyllingarinnar og dauði þaraskógar utan hennar komu mest á óvart en þó stóðust ýmsar spár, bæði verkfræðilegar og líffræðilegar.

1.3. Síld í Breiðafirði

Íslenska sumargotssíldin er aðeins einn stofn af Atlantshafssíldinni en hún skiptist í marga einangraða stofna með mismunandi lífsögu og þroskun. Þeir hafa til dæmis mismunandi hrygningarhegðun eins og nafnið sumargotssíld gefur til kynna. Mismunandi tímasetning hrygningar aðskilur stofnana, ásamt fleiri þáttum, og kemur í veg fyrir blöndun þeirra á milli. Hver stofn aðlagast sínum umhverfisaðstæðum og má sjá heilmikinn mun á líkamsbyggingu og frjósemi, svo dæmi séu tekin, milli mismunandi síldarstofna í Atlantshafinu. Íslenska sumargotssíldin hrygnir á botni íslenska landgrunnsins og dvelst á grunnsævi við strendur Íslands á veturna og fer aldrei út fyrir landgrunninn eins og t.d. norsk-íslenski stofninn (Guðmundur J. Óskarsson, 2009).

Í bókinni Íslenskir sjávarhættir (Lúðvík Kristjánsson, 1980) er fjallað um vísbendingar um síldveiðar á Íslandi til forna en elstu staðfestu heimildir um síldveiði eru frá því um lok 17. aldar. Síldin var ekki eftirsóttur fiskur eins og málshátturinn *svengdin gerir síld sæta* ber með sér en hún var aðallega nýtt í beitu og var ekki

veidd svo nokkru næmi fyrr en á seinni hluta 19. aldar. Heimildir frá því um miðja 20. öldina segja frá síldveiðum við Grundarfjörð og Kolgrafafjörð á 5. og 6. áratugnum og að síldar hafi orðið vart á þeim slóðum í byrjun þeirrar aldar líka en ekki þótt ástæða til að nýta hana þá (Kristján Hjaltason, 1951). Veturinn 1947 og 1948 var síld fyrst veidd í stórum stíl í hringnót í Hvalfirði en árið eftir hafði hún fært sig á aðrar vetrarstöðvar og þurftu menn að gera aðrar ráðstafanir til að ná til hennar það árið, en á þeim tíma var göngumynstur síldar ekki þekkt (Jakobsson og Stefánsson, 1999).

Uppeldisstöðvar síldar eru innfjarða fyrstu tvö árin en á þriðja sumri heldur hún út í fæðugöngur (Jakobsson, 1980). Síldin safnar forða fyrir vetrardvala en á veturna þraukar hún án þess að nærast nokkuð og þjappar sér í torfur til að forðast afrán. (Huse og Korneliussen, 2000).

Frá árinu 2007 hefur stór hluti íslensku sumargotssíldarinnar leitað inn á sunnanverðan Breiðafjörð yfir vetrartímann. Um miðjan vetur 2007 mældust yfir 800 þúsund tonn á því svæði og tæp 90% afla þess vetrar var við Grundarfjörð að mestu og svo við Kiðeyjarsund rétt vestur við Stykkishólm (Hafrannsóknastofnun, 2008). Afföll úr þessum hluta stofnsins hafa ekki síst verið mikil undanfarin ár vegna sýkingar. Árið 2008 varð vart við sníkjudýrið *Ichthyophonus hoferi* í síld úr Breiðafirði. Þetta sníkjudýr hefur fundist í minnst 80 tegundum fiska bæði í ferskvatni og sjó, víðsvegar um heim (Guðmundur J. Óskarsson og Jónbjörn Pálsson, 2011; El-Ghany og El-Ashram, 2008; Rahimian, 1998). Stór hluti íslensku sumargotssíldarinnar var sýktur á árunum 2008-2010 en seinna fór sýkingin að réna og mældist lág eða ekki til staðar í yngri árgöngum. Í Breiðafirði veturinn 2008 var ákvarðað að 37,7% síldarstofnsins (> 26 cm) væri sýktur eða $555,4 \times 10^6$ síldar (Guðmundur J. Óskarsson og Jónbjörn Pálsson, 2011). Það eru um 100 þúsund tonn, lauslega reiknað, ef miðað er við að hver síld sé 180 grömm en það er sú þyngd sem 26 cm löng síld á að jafnaði að hafa náð við þriggja til fjögurra ára aldur (Gunnar Jónsson, 1983). Við upphaf vertíðar 2014 var ljóst að síldin hafði fært sig frá vetrarstöðvum í Breiðafirði út fyrir Snæfellsnes en þó fannst 1. árs síld í Hvammsfirði snemma árs 2014 sem er nýmæli (Hafrannsóknastofnun, 2014b).

Áhrif síldargangna á strandsvæði fjarðarins hafa hingað til ekki verið könnuð með beinum hætti. Síldin ber með sér mikið magn næringarefna frá úthafinu þar sem hún nærast og eykur lífmassa sinn, inn á vetrarstöðvarnar á grunnsævi (Polis o. fl., 1997; Varpe o. fl., 2005). Þessi aukni næringarefnaflutningur til Breiðafjarðar kemur ýmsum dýrahópum til góða t.d. sjávarspendýrum og fuglum, sbr. grein Róberts A. Stefánssonar og Menju von Schmalensee í Fuglum (2013). En ljóst er að í tilfellum þar sem mikið magn síldar drepst í einu vetfangi fellur hún til botns og rotnar með tilheyrandi mengunaráhrifum og súrefnisskortri við botninn (Oug o. fl., 1991).

1.4. Aðdragandi rannsókna

1.4.1. Síld drepst við Stykkishólm

Seint á árinu 2011 misstu sjómenn heilmikinn afla úr nót við Lyngey vestan Stykkishólms. Erfitt er að henda reiður á magnið en grófleg áætlun heimamanna hljóðar upp á nokkur hundruð tonna (munnleg heimild Símon Már Sturluson). Á því svæði fannst grútarlykt allt sumarið 2012 og stöku sinnum sáust leifar af síld fljótandi uppi við yfirborðið og uppi í fjörum í Lyngey. Síldarfnykur barst yfir Stykkishólm í hlýrri suðvestanátt í marga mánuði eftir óhappið. Rúmu ári eftir óhappið (mars 2013) varð hrúgunnar enn vart með bergmálmæli á um 40 m dýpi en sumarið 2014 var hrúgan ekki greinanleg með slíkum mæli. Annað viðlíka óhapp varð suðvestan við Landey tæpu ári fyrr eða í kringum áramótin 2010/2011 en áhrif þess voru ekki eins áberandi.

1.4.2. Síldardauðinn í Kolgrafafirði

Í Kolgrafafirði drápust ríflega 50 þúsund tonn af síld í tveimur aðskildum atburðum í kringum áramótin 2012 og 2013. Þetta var um 14% hrygningarstofnsins árið 2012 miðað við mælingar Hafrannsóknastofnunar (Hafrannsóknastofnun, 2013b). Síldin dreifðist yfir fjörur og botn og er áætlað að um 20.000 tonn hafi verið urðuð í fjörunni. Um 1.300 tonn af malarblönduðum grút var fluttur í burtu til urðunar og svo voru um 500 tonn tínd og seld í minkafóður (Róbert A. Stefánsson og Menja von Schmalensee, 2013).

1.5. Tengdar rannsóknir Agnars Ingólfssonar

Þetta verkefni samanstendur af tveimur rannsóknum á stórfánu í og við sjávarbotn í tengslum við niðurbrot lífræns efnis á botni. Önnur rannsóknin snýr að marflóm við síldarmenguð svæði nálægt Stykkishólmi en hin rannsóknin fjallar um áhrif síldardauða í Kolgrafafirði á dýralíf í botnseti. Báðar rannsóknirnar eru gerðar að fyrirmynd tveggja rannsókna Agnars Ingólfssonar (1999a; 1999a).

Veði á marflónni *Anonyx sarsi*

Á árunum 1995 og 1996 framkvæmdu feðgarnir Agnar Ingólfsson og Ingi Agnarsson rannsókn miðaða að veiðum á marflónni *Anonyx sarsi* með beittum gildrum í fjöru. Heimildir um þá tegund voru af skornum skammti hér við land, sem og víðar, eins og á við um mörg önnur dýr sem finnast aðeins á flóði í fjöru. Þessi tegund er mjög útbreidd á grunnsævi í norðurhöfum og hún fannst í miklu magni í rannsókn þeirra feðga (1999a).

Umhverfismat í Kolgrafafirði

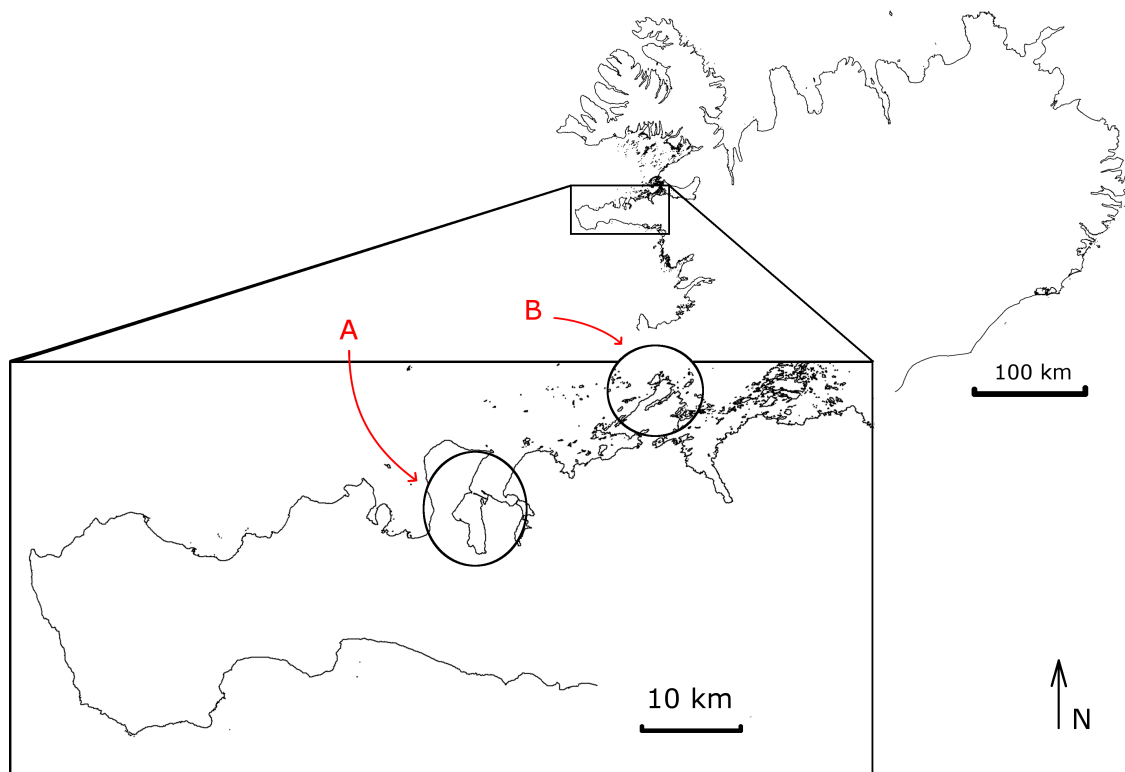
Vistfræðistofa Líffræðistofnunar Háskólans tók að sér að kanna áhrif fyrirhugaðra vegafarmkvæmda í Kolgrafafirði samkvæmt verksamningi við Vegagerðina árið 1999. Í því fólust athuganir á fuglalífi, fjörum og botni fjarðarins. Helstu niðurstöður þessa verkefnis sem snúa að botndýrarannsóknum eru þær að tegundasamfélög fjarðarins voru um margt lík öðrum botndýrasamfélögum hér við land, einna helst í Akureyrarpolli og í Hvalfirði þar sem samlokutegundirnar *Macoma calcarea*, *Yoldia hyperborea* og *Thyasira flexuosa* voru áberandi eins og í Kolgrafafirði. Þar var lífauðugur botn með sambærilega tegundaauðgi og magn líkt og í Gilsfirði fyrir þverun hans.

Í niðurlagi kemst höfundur að þeirri niðurstöðu að brú yfir fjörðinn milli Hjarðarbólsodda og Kolgrafarodda hefði líklega ekki mikil áhrif á botndýralíf svo fremi sem að vatnsskipti héldust óskert og selta breyttist ekki mikið (Agnar Ingólfsson, 1999a). Engar sýnatökur fóru fram eftir þverun fjarðarins til að meta áhrif framkvæmdanna á lífríki hans.

1.6. Markmið

Markmið verkefnisins var að kanna áhrif lífrænnar mengunar á botndýralíf í Breiðafirði með tvennum hætti. Annars vegar með rannsókn á skammtímaáhrifum síldardauðans í Kolgrafafirði á dýrasamfélög í botnseti, með því að bera saman gögn sem safnað var sumarið 2013 við gögn Agnars Ingólfssonar (1999a). Hins vegar með því að athuga áhrif síldarmengunar á dreifingu marflóa við botn á grunnsævi með, samanburði á milli svæða sem voru menguð af síld og ómenguð.

2. Aðferðir



Mynd 2.1: Rannsóknasvæði verkefnisins í Breiðafirði. Kolgrafafjörður er merktur með bókstafnum A og sýnatökusvæðið í kringum Stykkishólm með B. Í Kolgrafafirði voru tekin botnsýni í júní 2013. Við Stykkishólm voru marflóargildir hafðar úti hluta árána 2012 og 2013.

2.1. Botngreiparsýni í Kolgrafafirði

2.1.1. Botnsýnatökur

Botnsýnatökur fóru fram 21. júní 2013. Til sýnatöku var fenginn línubátur með krana og spili og notuð Shipek botngreip sem fengin var að láni hjá Hreiðari Valtýs-

2. Aðferðir

sýni, Háskólanum á Akureyri. Hún vegur 60 kg, er 0,04 m² að flatartaki og rúmar þriggja lítra sýni. Botnsýni voru tekin á 7 stöðvum, 3 sýni á hverri stöð. Einungis voru tekin sýni á stöðvum sem höfðu flokkast saman í flokk II í tölvuforritinu Twinspan, sem raðar stöðvum í flokka eftir tegundasamsetningu (Hill, 1979; Agnar Ingólfsson, 1999a). Þessar stöðvar voru að jafnaði tegundaauðugar árið 1999 og þóttu líklegar til að svara umhverfisbreytingum af völdum síldardauðans. Einnig var tekið mið af dreifingu mengunar (dauðrar síldar) um fjörðinn, þannig að stöðvar féllu bæði innan og utan mest mengaða svæðisins auk þess að ná yfir stóran hluta fjarðarins (mynd 2.2).

Staðsetning upprunalegu stöðvanna frá Agnari Ingólfssyni (1999a) var fundin með GPS mæli og dýpi fundið með dýptarmæli um borð. Við úrvinnslu gagna var reiknað með sveiflu sjávarfalla sem berst réttisælis hringinn um Ísland (Sverrir Óskar Elefsen, 2011). Samanburðarsýni voru tekin á tveimur viðmiðunarstöðvum utan brúar, U1 og U2 (sjá töflur í viðauka A: A.1 og A.2). Slíkar samanburðarstöðvar utan brúar voru ekki teknar í rannsókn Agnars Ingólfssonar (1999a).

Sýnin voru sigtuð um borð með 0,5 mm sigti og varðveitt í 5% formalínlausn. Eitt 1 L setgerðarsýni var tekið á hverri stöð sem var varðveitt í 96% etanóli til brennslu á lífrænu efni í seti.

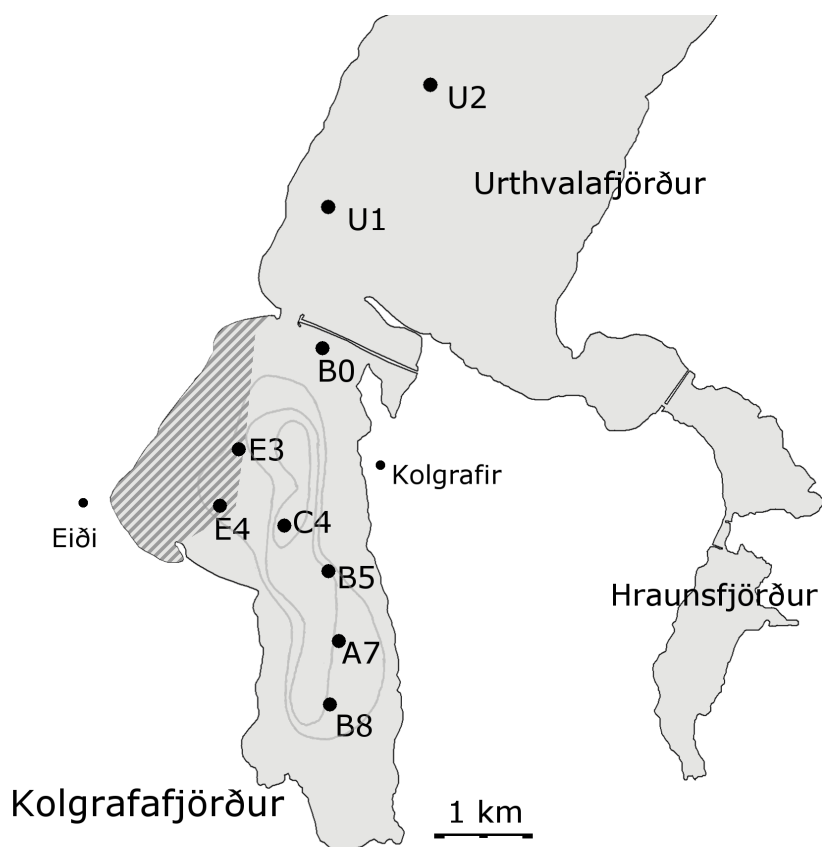
Sigtun og glæðing setgerðarsýna

Hluti setgerðarsýnanna var þurrkaður við 60°C í 24 klst. og hrært upp í þeim tvisvar til þrisvar til að forðast að þau steypust í harðan kubb. Sýnin voru sigtuð í gegnum sigtasúlu af möskvastærðum: 4000, 2000, 1000, 500, 250, 125 og 63 (μm). Hlutfall kornastærða af þurrvigð setgerðarsýnanna var fundið með því að vigta það sem eftir sat í hverju sigti.

Magn lífræns efnis í setgerðarsýnunum var fundið með glæðingu á finasta hluta setsins, leirs, með kornastærð undir 63 μm . Litill hluti leirsins, $2 \pm 0,05$ grömm, var settur í postulínsdeiglur og efnið glætt við 475°C í 2 klst. Samanburður á magni lífræns efnis í seti á milli stöðva byggir á meðaltali fjögurra hlutsýna úr setgerðarsýni hverrar stöðvar.

Tegundagreiningar

Á vinnustofu voru dýr tínd úr sýnunum, talin og tegundagreind eins og unnt var undir víðsjá eða smásjá. Eftirtaldir safnhópar voru ekki taldir: þráðormar (Nematoda), skelkrabbar (Ostracoda) og krabbafær (Copepoda) en fundur þeirra í sýnum skráð-



Mynd 2.2: Sýnatökustöðvar í Kolgrafafirði 21. júní 2013. Skyggða svæðið var þakið síldarhræjum þann 4. febrúar 2013 (Hafrannsóknastofnun, 2013a). Viðmiðunarstöðvar U1 og U2 voru utan brúar í Urthvalafirði. Sýndar eru áætlaðar 10 m, 20 m og 30 m dýptarlínur í Kolgrafafirði (Agnar Ingólfsson, 1999a).

ur. Hlutsýni voru tekin úr öllum sýnum eftir að stærstu dýrin (þau sem sáust með stækkunargleri) höfðu verið fjarlægð. Notaður var Endecotts deilir til þess að deila sýnunum þrisvar í tvennt. Stuðst var að mestu við greiningarlykil Arnþórs Gardars-sonar um burstaorma á grunnsævi í mjúkum botni við Ísland en einnig vefsvæðin species-identification.org og marinespecies.org.

Gagnaúrvinnsla

Út frá samanteknum talningum úr botngreiparsýnunum var fundinn Shannon fjölbreytileikastuðullinn, H , í reikniforritinu R (R Core Team, 2014; Oksanen o. fl., 2015) fyrir hverja stöð þar sem notast var við logra með grunntölunni 2. Gildi Shannon fjölbreytileikastuðulsins H er venjulega hæst þar sem flestar tegundir eru til staðar en hann tekur einnig tillit til jafndreifni tegundanna í sýninu (Krebs,

2. Aðferðir

1989). Samanburður á uppbyggingu dýrasamfélaga á milli stöðva var gerður með meginþáttagreiningu og fylgnigreiningu með reikniforritinu R (R Core Team, 2014; Oksanen o. fl., 2015) og klasagreiningu með forritinu Biodiversity Pro (McAleece o. fl., 1997). Klasagreiningin var gerð út frá ósköluðum talningum með Bray-Curtis skyldleikastuðli. Meginþáttagreining sýnir dreifingu stöðva á tveimur ásum eftir fjölda einstaklinga tegunda í sýnunum á meðan fylgnigreining sýnir dreifingu stöðva á ásunum miðað við innbyrðis vægi tegunda á stöðvunum (Oksanen, 2013).

Til að bera saman árin 1999 og 2013 var einnig notaður AMBI lífstuðullinn sem raðar tegundum/safnhópum í vistflokka og metur röskun svæða út frá fjölda einstaklinga af hverjum vistflokki. AMBI lífstuðullinn er unninn út frá rannsóknum á mjúkum botni víðsvegar um heim og gefur færi á að flokka svæði eftir vistgæðum. Í gagnabanka AMBI eru yfir 7000 tegundir sem hefur verið skipt í vistflokka, á skalanum I upp í V, eftir mengunarþoli. Mjög viðkvæmar tegundir falla í vistflokk I, tegundir sem þola litla mengun í vistflokk II, tegundir sem þola talsverða mengun í vistflokk III, mengunarþolnar tegundir falla í vistflokk IV og mengunarsæknar tegundir í vistflokk V (Borja o. fl., 2000).

2.2. Gildruveiðar á marflóm

Þrjár stöðvar voru valdar með hliðsjón af sögu síldardauða í kringum Stykkishólm árin 2010 og 2011 (mynd 2.3). Gildrur voru notaðar til að veiða marflær frá ársbyrjun 2012 til maí 2013. Trektargildrum var komið fyrir við sjávarbotninn 3 saman á hverri stöð (mynd af gildru í viðauka B.2). Þær voru tengdar með reipi og u.þ.b. 10 m hafðir á milli þeirra. Við hverja gildru var bundin sakka og flot þannig að hún héldist í um 0,3 m hæð frá botni og trektin vísaði niður.

Stöð 3, viðmiðunarstöðin, var á straummiklu svæði og voru gildrur stundum flæktar saman. Þrátt fyrir að vera staðsettar í hálfgerðu vari við litla vík þá var víkin ekki alveg lokuð og gat þá sennilega myndast straumrás með sjávarföllunum. Stöð 2 var berskjaldaðri, þar var meiri öldugangur en straumar ekki eins miklir. Botninn var mjúkur leðjubotn með miklu af litlum skeljabrotum og burstormatúpum þegar botnsýni voru tekin samfara botnsýnatökunum í Kolgrafafirði 2013. Á stöð 3 var minnst um strauma og liggur sú stöð í vari fyrir öldugangi þó það fari eftir áttum. Þar sáust reglulega selir. Botninn var sléttur leðjubotn með mikið af fiskibeinum og skeljabrotum á blettum hér og þar. Dýpi stöðvanna var á milli 15 og 25 metra eftir atvikum en gildrurnar gátu borist stutta leið með vindum og í verstu veðrum kom fyrir að gildrur töpuðust.

Ýmist var notast við makríl eða síld í beitu sem var sett frosin beint ofan í gildrurnar. Gildranna var vitjað eftir sólarhrings legu ef það var mögulegt en það gat dregist



Mynd 2.3: Staðsetning sýnatökustöðva í nágrenni Stykkishólms við norðanvert Snæfellsnes veturinn 2012-2013. Stöð 3 liggur við Skoreyjar og er ómengud viðmiðunarstöð, stöð 2 við Lundaklett sem er notuð sem millistig þar sem síldarmengun varð árið 2010 og stöð 1 við Lyngsey en þar var mengunar vart árið 2011 og var hún mengaðasta stöðin m.t.t. lífrænnar mengunar á sýnatökutímabilinu.

vegna óbliðs veðurfars yfir vetrartímenn. Alls voru gildrurnar dregnar upp 20 sinnum á öllum stöðvum yfir sýnatökutímabilið frá í lok ágúst 2012 til loka aprílmánaðar 2013. Aflinn var varðveittur í 95% etanóli, talinn og tegundagreindur. Marflær sem veiddust á tímabilinu maí til desember 2012 voru lengdarmældar.



Mynd 2.4: Lengdarmæling marflóa. Svarta línan eftir bakhlið dýrsins sýnir lengd þess frá rostrum að enda telson.

Lengdarmæling marflóa af tegundinni *Anonyx sarsi* var framkvæmd með myndvinnsluforritinu Image J (Schneider o. fl., 2012) þar sem lína var dregin frá rostrum aftur að enda telson á ljósmyndum sem teknar voru af sýnunum í hárrí upplausn

(mynd 2.4). Pixlafjöldi línunnar gaf lengd bakhliðar í millimetrum. Talninga- og mælingagögn voru færð inn í reikniforritið R til úrvinnslu.

2.3. Svæðislýsing

Breiðafjörður er um 70 km breiður flói á vesturströnd landsins og inn úr honum ganga margir smærri firðir. Hann er djúpur yst en grynningar eftir því sem innar dregur. Djúpir álar liggja inn með firðinum og á milli eyja og skerja. Miklir straumar eru á ýmsum svæðum í Breiðafirði og þar eru mesti munur flóðs og fjöru hér við land, um 4,5 m í Stykkishólmi. Breiðafjörður er gríðastaður fyrir margar fuglategundir og þar eru uppeldisstöðvar fiskistofna t.d. þorsks og skarkola svo að verndunargildi svæðisins er mikið. Meirihluti íslenskra fjara eru í Breiðafirði, þar af er stór hluti leirur og einnig er þar að finna meirihluta íslensks grunnsævis með miklum þaraskógum og þangbreiðum og ríkri botn- og fjörudýrafánu (Guðmundur Víðir Helgason, 1982; Ævar Petersen og Gunnar Þór Hallgrímsson, 2005).

Kolgrafafjörður er grunnur fjörður sem gengur inn af Breiðafirði og skerst inn í Snæfellsnesið norðanvert. Hann hefur takmörkuð vatnsskipti um op milli tveggja landála við fjarðarminnið sem var brúað árið 2004. Opið er um 150 metra vítt og 10 metra djúpt og tímamismunur sjávarfalla sitt hvorum megin er um 20 mínútur (Sverrir Óskar Elefsen, 2011). Innan við opið eykst dýpið snarpt svo þarna er sylla og því er líklegt að sjávarstraumar hreinsi fjörðinn ekki vel út og að hann sé uppsöfnunarsvæði lífrænna leifa úr fjöru og af landi (Lilja Oddsdóttir, 2014; Sólveig R. Ólafsdóttir o. fl., 2013). Ytri hluti fjarðarins hefur verið nefndur Urthvalafjörður (Hallgrímur J. Ámundason, 2013) og verður það heiti notað í þessari ritgerð til að aðgreina svæðin innan og utan brúarinnar. Kolgrafafjörður er um 6 km langur og 3 km breiður. Urthvalafjörður er aðeins styttri og breiðari og inn af honum gengur einnig Hraunsfjörður, lítill og mjög grunnur fjörður austan megin Kolgrafafjarðar.

3. Niðurstöður

3.1. Botndýralíf í Kolgrafafirði

3.1.1. Setgerðarsýni

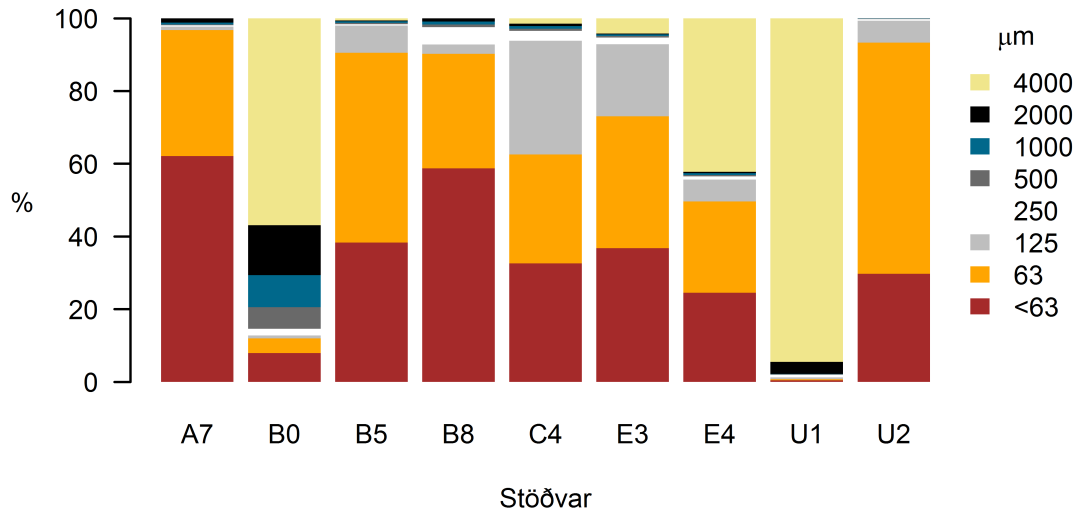
Leir og finn sandur var uppistaðan í flestum setgerðarsýnum, var 50 - 97% af þurrviggt alls staðar nema á malarstöðvunum U1 og U2 (mynd 3.1). Steina, möl og stærri skeljabrot var aðeins að finna á malarstöðvunum sitt hvorum megin við brúna, B0 og U1, þar sem grófari kornastærðir voru í meirihluta en hlutfall fins sands (kornastærð frá $63\ \mu\text{m}$ til $125\ \mu\text{m}$) og leirs (kornastærð $< 63\ \mu\text{m}$) var aðeins frá 0,7 til 11% af þurrviggt. Á stöð E4 við Eiði var einnig talsvert af möl en annars lítið af grófara seti.

Tafla 3.1: Hlutfallsleg þyngd lífræns efnis í setgerðarsýnunum úr Kolgrafafirði 2013 fengin með glæðitapi í brennsluofni. Hlutfall lífræns efnis í leir ($< 63\ \mu\text{m}$) er hér sýnt annars vegar, og hlutfall lífræns efnis af heildarþurrviggt sýnis hins vegar.

Stöð	% í leir	% af heildarþyngd
A7	17.51 ± 0.99	10.88 ± 0.62
B0	17.50 ± 2.05	1.39 ± 0.16
B5	16.46 ± 1.45	6.30 ± 0.56
B8	15.93 ± 2.50	9.36 ± 1.47
C4	14.30 ± 1.21	4.66 ± 0.39
E3	20.20 ± 9.66	7.43 ± 3.55
E4	12.57 ± 1.29	3.08 ± 0.32
U1	20.92 ± 2.69	0.09 ± 0.01
U2	8.42 ± 0.90	2.50 ± 0.27

Hlutfall lífræns efnis í leir mældist á bilinu 8,3% til 21,5%. Það var lægst á lepjústöðinni utan brúar (U2) en hæst á stöð E3, við Eiði. Það var hærra á malarstöðvum en leirstöðvum þegar möl og sandur hafði verið sigtað frá, en þegar miðað er við heildarþyngd sýnanna er hlutfall lífræns efnis ekki hátt á malarstöðvunum eða 0,09% á U1 og 1,39% á B0. (sjá töflu 3.1).

3. Niðurstöður



Mynd 3.1: Hlutfall ólíkra kornastærða af þurrvigt setgerðarsýna úr Kolgrafafirði 2013. Grjót > 4 mm, möl > 2 mm, mjög grófur sandur > 1 mm, grófur sandur > 500 µm, meðalgrófur sandur > 250 µm, fínn sandur > 125 µm, mjög fínn sandur > 63 µm og leir < 63 µm.

3.1.2. Talningar og tegundagreiningar

Alls voru 10.193 dýr talin og af þeim voru 7.095 greind til 54 tegunda. Þau 873 eintök sem ekki voru greind til tegunda voru greind til safnhópa á efri flokkunarþrepum, ætta (family) og flokka (class). Fjöldi tegunda/safnhópa í botngreiparsýnunum var 84, sem deildist niður á 37 ættir og 14 flokka (sjá töflu með talningum í viðauka A.5). Burstaormar (Polychaeta) voru ríkjandi á öllum stöðvum með 22 tegundir/safnhópa og voru 89% allra einstaklinga en 68% allra einstaklinga voru af tegundinni *Capitella capitata* (sjá töflur í viðauka A.3 og A.4). Ánar voru áberandi á flestum stöðvum en aðrir flokkar voru mun sjaldgæfari.

Innan brúar

Innan brúar fundust 27 tegundir/safnhópar og var fjöldi tegunda frá einni tegund á stöð A7 og tveimur á stöð B8, til 19 tegunda á stöð E3. Flest dýr fundust á stöð E3, 3271 einstaklingar en þar af voru 2877 einstaklingar af *Capitella capitata*. *C. capitata* var yfirgnæfandi í öllum sýnum innan brúar og var frá 46% eintaka til 100% eintaka á þeim stöðvum.

Utan brúar

Flestar tegundir/safnhópar fundust á viðmiðunarstöðvunum fyrir utan brú, 81 talsins. Þar af voru 61 tegund/safnhópur á stöð U1 en 31 á stöð U2. *C. capitata* var um það bil helmingur einstaklinga á stöð U2 en aðeins í litlu magni á U1. Af 10 algengustu tegundum/safnhópum á stöð U1 voru 3 á meðal 10 algengustu á stöð U2; burstaormategundin *Chaetozone setosa* sem er mengunarsækin og fellur í AMBI flokk IV, burstaormaættin Spionidae sem þolir talsverða mengun (AMBI flokkur III) og burstaormaættkvíslin hreisturbakar (*Harmothoe* sp.) sem þolir uppsöfnun lífræns efnis aðeins að litlu marki (AMBI flokkur II) (Borja o. fl., 2000).

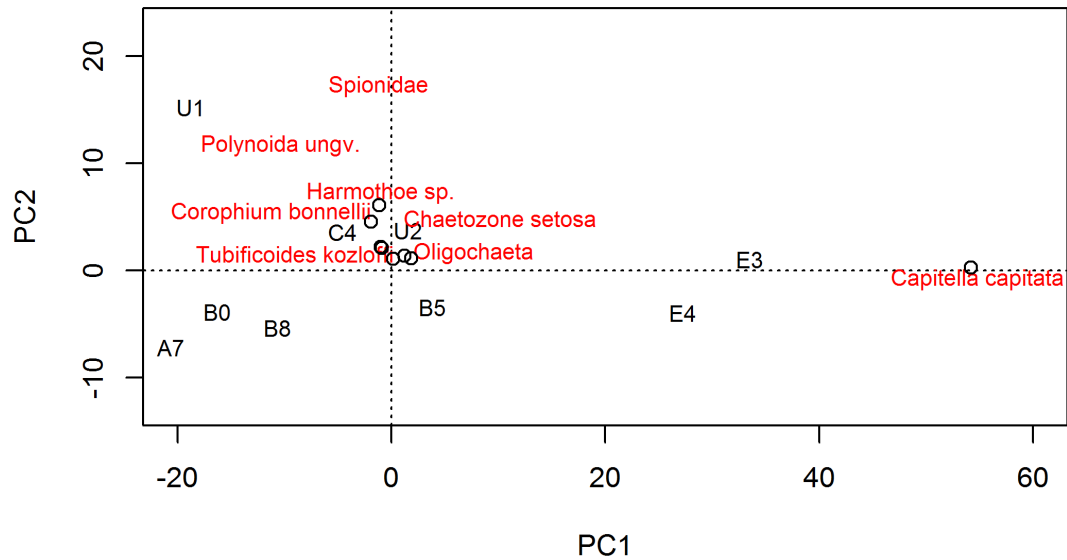
3.1.3. Samfélagsgerðir (community analysis)

Meginþátta- og fylgnigreining

Í meginþátta- og fylgnigreiningu voru eingöngu notaðar þær átta tegundir/safnhópar þar sem fjöldinn náði a.m.k. 1% af heildarfjölda einstaklinga í sýnunum en það sem var undanskilið samanstóð af 76 tegundum/safnhópum sem hver um sig var undir því marki.

Í meginþáttagreiningu (mynd 3.2) útskýrði 1. ás 95,7% breytileikans og 2. ás 2,4%. *C. capitata* hafði háa einkunn á 1. ási, $PC1 = 54,17$, og var vel aðskilin frá öðrum tegundum sem dreifðust á bilinu $PC1 = -1,95$ til $PC1 = 1,8$. Tegundirnar dreifðust jafnar um 2. ásinn og engin ein tegund skar sig úr líkt og *C. capitata* á fyrsta ásnum, $PC1$.

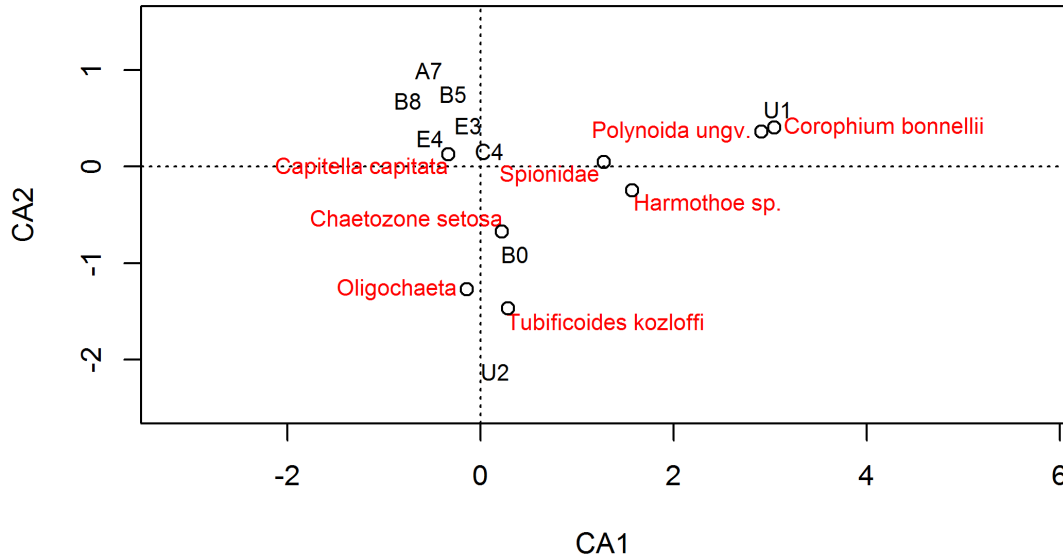
Hlutfall leirs (kornastærð $< 63 \mu m$) í setgerðarsýnum hafði neikvæða fylgni við 2. ás ($R = -0,7$, $p = 0,03$). Stöðvar A7, B5 og B8 ásamt E4 skáru sig úr ($PCA < 0$) að því leyti að þær voru nánast lausar við tegundir af ætt Spionidae og tegundina *Chaetozone setosa* en stöðvar A7 og B8 voru einnig með hæsta hlutfall leirs í setgerðarsýnum. Hlutfall grjóts hafði jákvæða fylgni við 2. ás ($R = 0,7$, $p = 0,03$) sem og Shannon fjölbreytileikastuðullinn ($R = 0,8$, $p = 0,01$). Stöð U1 raðaðist í dágóðri fjarlægð frá öðrum stöðvum á 2. ási og var hún með mestan tegundafjölbreytileika og hæsta hlutfall af grjóti í kornastærðargreiningu.



Mynd 3.2: Meginþáttagreining á botngreiparsýnum úr Kolgrafafirði 2013. Sýndir eru fyrstu tveir ásarnir sem skýra samtals 98% af breytileika sýnanna. Aðeins þær tegundir sem voru >1% af heildarfjölda voru hafðar með í greiningunni. Punktarnir standa fyrir tegundir/safnhópa.

Með tilliti til 1. áss þá röðuðust stöðvarnar frá lægsta til hæsta gildis eftir því hve mikið af *C. capitata* fannst á þeim. Fervikagreining sýndi að marktækt samband var milli tegundasamsetningar og tvíþátta breytunnar: hvort tiltekin stöð hafi verið á svæði þar sem dauð síld lá á botninum eða ekki ($F=34$, $p=0.003$). Þetta eru stöðvarnar við Eiði, E3 og E4 og stöð B5 austan megin í miðjum firðinum. Stöðvarnar við Eiði eru á síldarmenguðu svæði sem er afmarkað á mynd 2.2 en einnig voru síldarleifar í setinu á stöð B5.

Í fylgnigreiningu (CA) söfnuðust innanbrúarstöðvarnar saman í kringum burstaoorminn *C. capitata* (mynd 3.3) nema malarstöðin við brúna, B0. Allar þessar stöðvar voru með hátt hlutfall af *C. capitata*, 65% á stöð C4, 87% á stöð E3 og yfir 95% á hinum stöðvunum A7, B5, B8 og E4. Malarstöðin, B0, var mitt á milli samanburðarstöðvanna utan brúar, með um 50% af *C. capitata* eins og U2 og með hreisturbaka (*Harmothoe* sp.) í hlutfallslega miklu magni líkt og U1. Hreisturbakar grafa sig ekki ofan í botnsetið og má því búast við þeim á grófari botni líkt og á þessari stöð (Fauchald og Jumars, 1979).

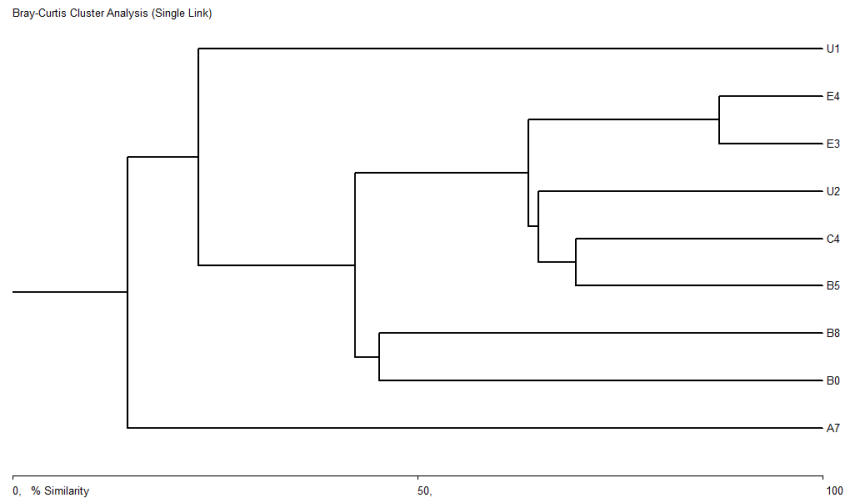


Mynd 3.3: Fylgnigreining (CA) á botngreiparsýnum úr Kolgrafafirði 2013. Sýndir eru fyrstu tveir ásarnir sem skýra samtals 89,9% af breytileika sýnanna. Aðeins þær tegundir sem voru >1% af heildarfjölda voru hafðar með í greiningunni. Punktarnir standa fyrir tegundir/safnhópa.

Klasagreining

Skyldleikinn á milli stöðvanna í klasagreiningunni réðist af fjölda *C. capitata* sem útskýrir röðun samanburðarstöðvarinnar U2 með innanbrúarstöðvunum (mynd 3.4). Af tíu algengustu tegundum/safnhópum innan brúar voru sjö á meðal tíu algengustu á leirstöðinni utan brúar, U2. Aðeins munaði um tegundirnar *Praxilella pratermissa*, *Macoma calcaria* og *Scoloplos armiger* á þeim listum en þær voru samt undir 5% af heildarfjölda einstaklinga á U2. Klasagreining segir að mestu sömu sögu og meginþáttagreiningin, líkindin eru mest milli síldarstöðvanna E3 og E4 þar sem fjöldi *C. capitata* var mestur en þau minnka eftir því sem minna fannst af honum á stöðvunum.

3. Niðurstöður

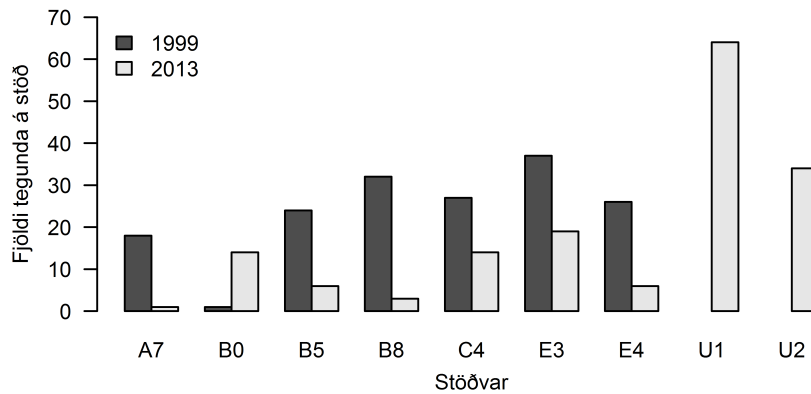


Mynd 3.4: Klasagreining á botngreiparsýnum úr Kolgrafafirði 2013 var gerð út frá ósköluðum talningum með Bray-Curtis skyldleikastuðli.

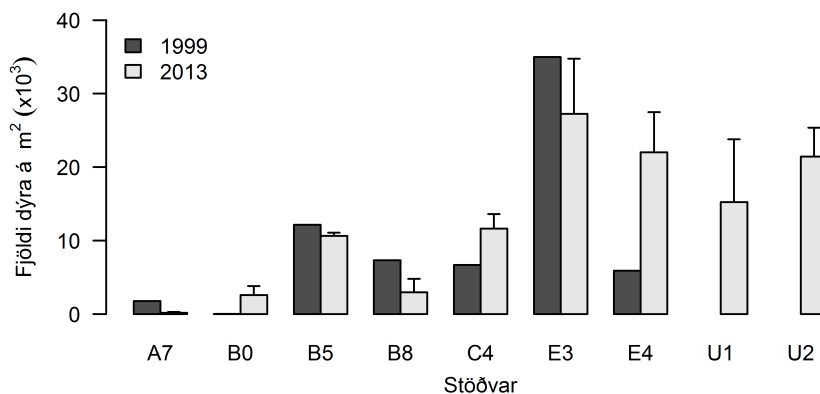
3.1.4. Samanburður gagna frá 2013 og 1999

Niðurstöðurnar frá 1999 bentu til óraskaðs botndýrasamfélags sem sýndi lítil merki um uppsöfnun næringarefna. Þar fundust frá 18 til 37 tegundir/safnhópar á stöð (mynd 3.5) og fjöldi einstaklinga á fermetra var að meðaltali $9,847 \pm 4,445$ einstaklingar (mynd 3.6). Tegundasamsetning sýnanna var ólík milli áranna 1999 og 2013 og líkindin meiri milli stöðva innan ára frekar en innan stöðva á milli ára (mynd 3.7).

Stöðvarnar við Eiði (E3 og E4) flokkuðust saman bæði árin í klasagreiningu (mynd 3.7) en þar fannst mestur fjöldi einstaklinga á fermetra árið 2013 og mikill fjöldi *C. capitata*. Árið 1999 var þar mest af ánum og *Polydora* sp. og fjöldi einstaklinga á E3 mikill (mynd 3.6).

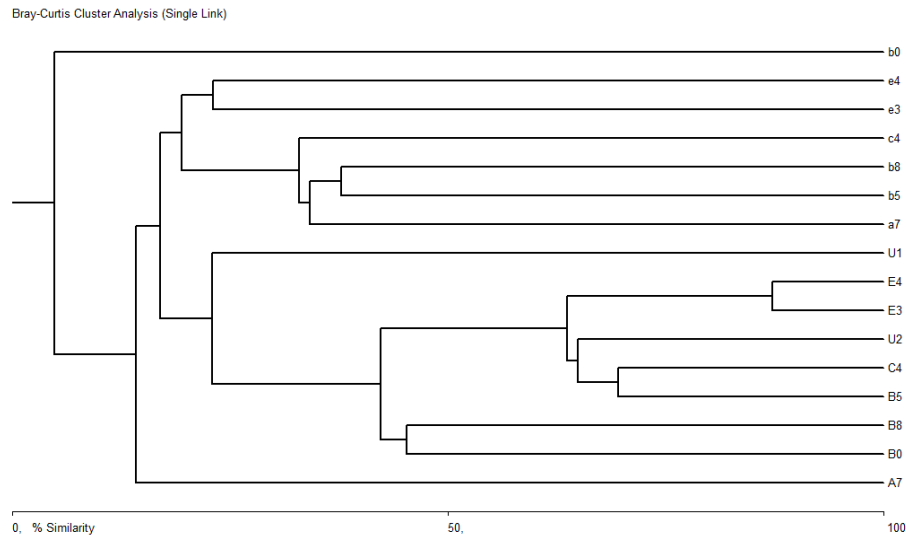


Mynd 3.5: Fjöldi tegunda í botngreiparsýnum sem voru tekin í Kolgrafafirði árin 1999 og 2013. Vert er að hafa í huga ólíkar sýnatökuaðferðir en árið 1999 var tekið eitt sýni (flatartak $0,0225 \text{ m}^2$) en árið 2013 þrjú sýni (flatartak $3 \times 0,04 \text{ m}^2$) Viðmiðunarstöðvarnar U1 og U2 voru utan brúar.



Mynd 3.6: Fjöldi einstaklinga á fermetra á botni Kolgrafafjarðar árin 1999 og 2013. Eitt sýni var tekið á hverri stöð árið 1999 en þrjú árið 2013. Vikmörk voru fengin út frá staðalfrávikni meðaltals. Viðmiðunarstöðvarnar U1 og U2 voru utan brúar.

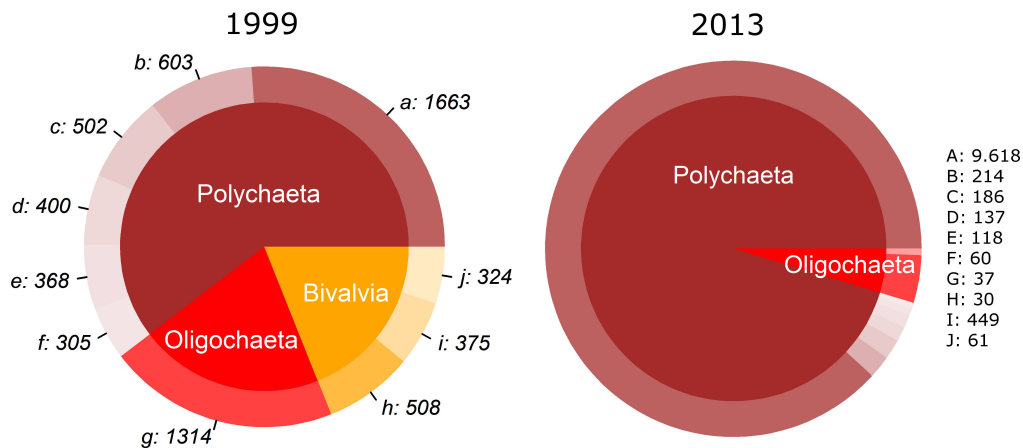
3. Niðurstöður



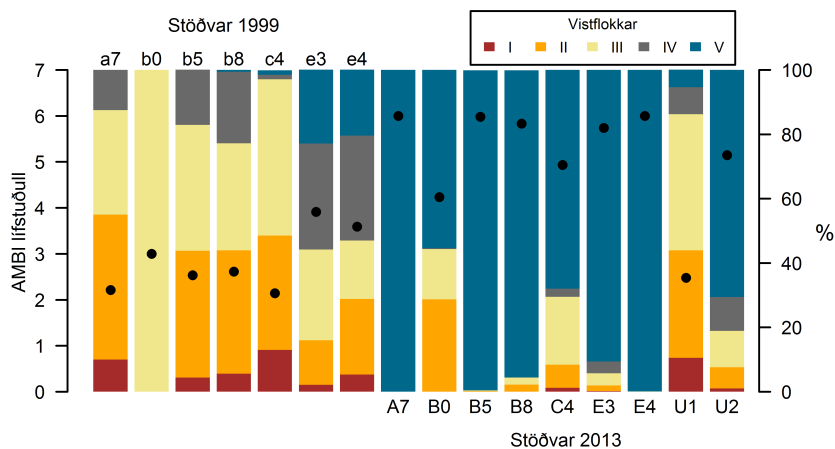
Mynd 3.7: Klasagreining á botngreiparsýnum úr Kolgrafafirði frá 1999, merktar með litlum stöfum, og frá 2013, merktar með stórum stöfum. Greiningin var gerð út frá ósköluðum talningum með Bray-Curtis skyldleikastuðli.

Algengustu þrír flokkarnir í sýnunum 1999 voru Spionidae burstaormar af ættkvísl *Polydora* sp. og *Spio* sp. og ánar (Oligochaeta) (mynd 3.8). Ánar eru í AMBI vistflokk V og *Polydora* sp. falla í flokk IV og eru því í hópi tegunda sem dafna þar sem lífræn uppsöfnun á sér stað (Borja og Muxika, 2005; Rygg og Norling, 2013). Þessir ormar voru hvergi algengir nema á stöðvunum við Eiði (E3 og E4) þar sem um helmingur allra einstaklinga flokkaðist sem mengunarsækin 1999 (mynd 3.9). Í sýnunum frá 2013 voru ánar og Spionidae ormar algengir bæði fyrir innan og utan brúna og voru algengustu safnhópar á eftir *C. capitata* en þó ekki nema um 10% einstaklinga samanlagt.

Algengasta einstaka tegundin sem greind var úr sýnunum frá 1999 var gljáhnytla, *Nuculana tenuis* en aðrar algengar samlokur voru kræklingur, *Mytilus edulis*, hallloka, *Macoma calcaria* og kúfiskel *Arctica islandica* en þessar tegundir finnast umhverfis allt land (Ingimar Óskarsson, 1982). Skeljar fundust í meira mæli innanlega í firðinum og fyrir miðju rétt eins og næstalgengasta einstaka tegundin, burstaormurinn *Scalibregma inflatum*. Þessar tegundir eru ekki mengunarþolnar og engin þeirra fannst innan brúar 2013. Kræklingur og kúfiskel þola talsverða uppsöfnun lífræns efnis, falla í AMBI vistflokk III en hinar samlokurnar falla í vistflokk II (Borja og Muxika, 2005).



Mynd 3.8: Vinstri: Tíu algengustu tegundir á botni Kolgrafafjarðar árið 1999 á þeim sjö stöðvum sem voru notaðar til viðmiðunar 2013: a: *Polydora* sp., b: *Spio* sp., c: *Scalibregma inflatum*, d: *Chaetozone setosa*, e: *Levinsonia gracilis*, f: *Terebellides stroemi*, g: *Oligochaeta*, h: *Nuculana tenuis*, i: *Mytilus edulis*, j: *Macoma calcaria*. Hægri: Tíu algengustu tegundir/safnhópar á botni Kolgrafafjarðar 2013: A: *Capitella capitata* sp., B: *Spionidae*, C: *Chaetozone setosa*, D: *Harmothoe* sp., E: *Microphthalmus aberrans*, F: *Eteone longa*, G: *Mediomastus fragilis*, H: *Aricidea suecica*, I: *Oligochaeta*, J: *Tubificoides kozloffii*. Tölurnar standa fyrir fjölda dýra á fermetra.

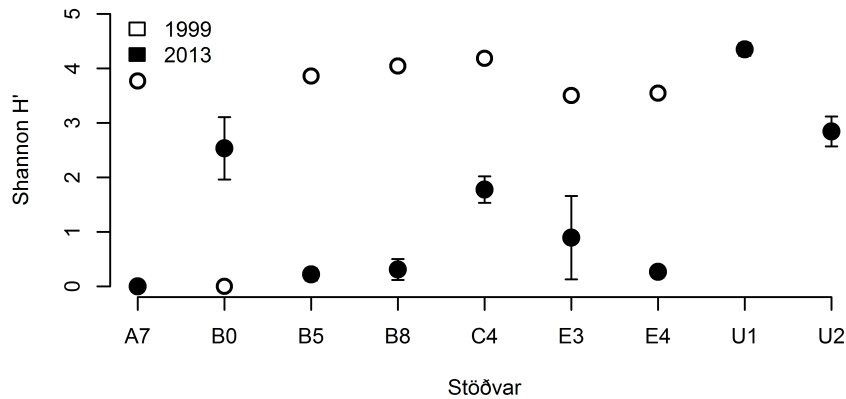


Mynd 3.9: Hlutfall mengunarpólinna/viðkvæmra tegunda í botngreiparsýnum frá 1999 og 2013. Vistflokkar eru frá I (viðkvæm) upp í V (mengunarsækin). AMBI lífstuðullinn (biotic index) er merktur inn á súlurnar með svörtum punkti.

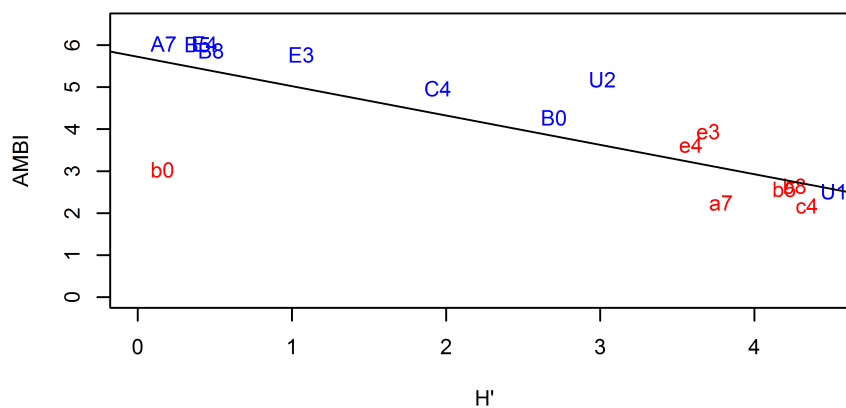
Að undanskilinni stöð B0, malarstöðinni við brúna, var Shannon stuðullinn lágur

3. Niðurstöður

($H < 2$) á öllum stöðvum 2013 en árið 1999 var hann frá $H=3,5$ upp í $H=4,2$. Shannon gildin utan brúar á stöðvunum U1 og U2 voru $H=4,3$ og $H=2,8$ (mynd 3.10). Fylgni milli AMBI og Shannon H var sterk fyrir stöðvarnar í Kolgrafafirði ($r=0,94$, $p < 0,05$. 95% öryggismörk: -0.98 til -0.82) (mynd 3.11).



Mynd 3.10: Shannon fjölbreytileikastuðlar, H (grunntala logra $b = 2$), á sýnatöku-stöðvunum árin 1999 og 2013. Vikmörk voru fengin út frá staðalfrávikki af meðaltali þriggja sýna frá 2013 ($H \pm sd/\sqrt{3}$). Eitt sýni var tekið á hverri stöð árið 1999 en þrjú árið 2013. Viðmiðunarstöðvarnar U1 og U2 voru utan brúar.



Mynd 3.11: Línulegt aðhvarf AMBI biotic index og Shannon fjölbreytileikastuðulsins H . Stöðvarnar 2013 eru merktar inn með stórum stöfum í bláum lit og stöðvarnar 1999 eru merktar inn með litlum stöfum í rauðum lit.

3.2. Marflær við Stykkishólm

3.2.1. Talningar og úrvinnsla

Langstærstur hluti aflans sem fékkst í gildirur voru marflær af tegundinni *Anonyx sarsi* (tafla 3.2). Mest fékkst af *A. sarsi* í gildrurnar á stöð nr. 2, næstmest fékkst á stöð nr. 3 og minnst á stöð nr. 1.

Tafla 3.2: Talningar á Anonyx sarsi sem veiddust í gildirur á þremur sýnatökustöðvum við Stykkishólm frá ágúst 2012 til apríl 2013.

Stöð	Heild	Meðaltal	Fervik
1 Lyngey	527	$9,6 \pm 2,8$	417
2 Lundaklettur	6.359	$113,6 \pm 41,2$	95.269
3 Skoreyjar	4.076	$75,5 \pm 15,4$	12.742
Samtals	10.962	$66,4 \pm 15,2$	38.074

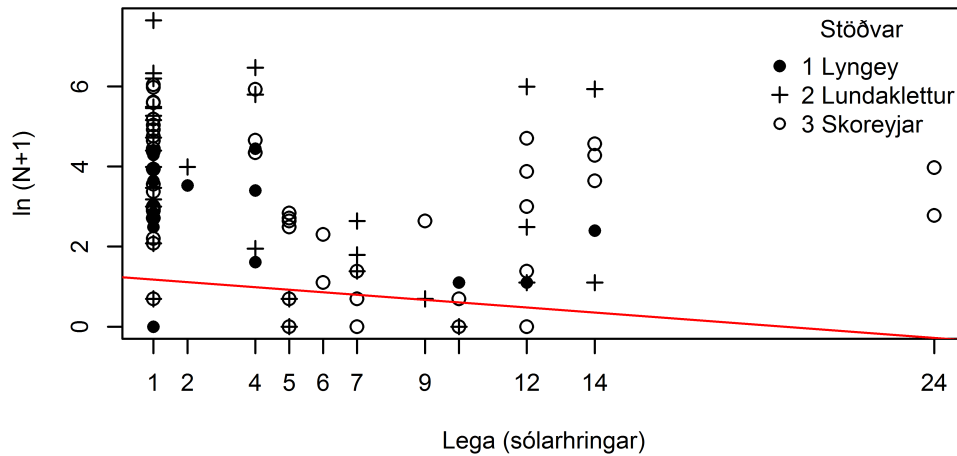
Fjöldi *A. sarsi* á stöð 1 (meðaltal=9,6 stk.) var marktækt minni en á stöð 2 samkvæmt Wilcoxon prófi (Crawley, 2012) (meðaltal=113,6 stk. $W = 287$, $p = 0.017$) og einnig marktækt minni en á stöð 3 (meðaltal=75,5 stk. $W = 67$, $p < 0.005$). Ekki var merkjanlegur munur á fjölda *A. sarsi* milli stöðva 2 og 3 ($W = 162.5$, $p = 0.317$)

Tíðni heppnaðra veiðitilauna, þar sem marflær birtust í gildrum, var marktækt lægri samkvæmt kí-kvaðrat-prófi á stöð 1 (tíðni=50%) miðað við stöð 2 (tíðni=85%, $\chi^2=4.12$, $p=0.04$) og stöð 3 (tíðni=95%, $\chi^2=8.03$, $df=1$, $p=0.005$) en á milli stöðva 2 og 3 var tíðni heppnaðra veiðitilauna ekki marktækt ólík ($\chi^2=0.28$, $df=1$, $p=0.6$).

Legutími gildranna var frá einum til 24 sólarhringa. Algengast var að þær lægju í 1 sólarhring (átta skipti af 20) en að meðaltali lágu þær í tæpa sex sólarhringa ($5,9 \pm 1,4$). Alls 17 gildirur týndust eða skemmdust í fimm atburðum.

Talningagögnin voru poisson-dreifð með mikla yfirdreifni svo þeim var varpað á náttúrulega lógarytmíska skalann fyrir greiningu með línulegu aðhvarfi. Fjöldi marflóa í gildrum minnkaði með lengri legutíma ($r=-0,357$, $p=0,006$. 95% öryggismörk: -0,564 til -0,109) (mynd 3.12) á öllum stöðvum.

3. Niðurstöður



Mynd 3.12: Samband fjölda *Anonyx sarsi* á móti legutíma gildranna við Stykkishólm veturinn 2012-2013.

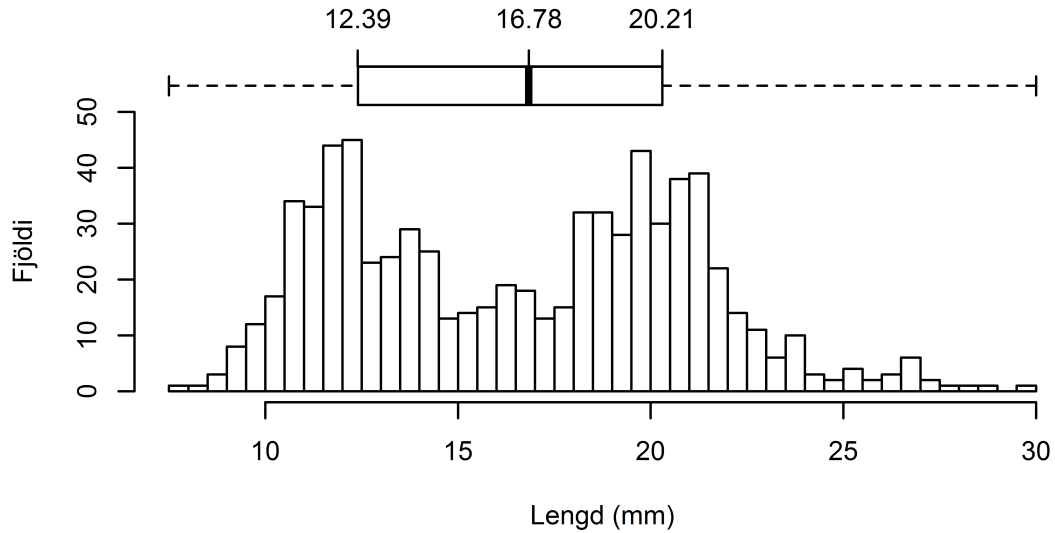
3.2.2. Lengdarmælingar

Meðallengd *A. sarsi*, sem veiddust í maí 2012 og að hausti árið 2012, $n=735$ var $16,58 \pm 0,33$ mm. Lengdarmælingarnar sýndu tvítoppa dreifingu sitt hvorum megin við miðgildi (mynd 3.13) sem bendir til þess að hér sé um að ræða tvo hópa. Annar hópurinn ($n=362$) var með meðallengd $L=12,39 \pm 0,2$ mm og hinn hópurinn ($n=365$) meðallengd $L=20,21 \pm 0,24$ mm. Minnsta marflóin mældist 7,54 mm á lengd og sú stærsta 29,81 mm.

3.2.3. Meðafli

Af meðafla bar hæst rækjuna *Pandalus montagui* (tafla 3.3). Alls fengust 217 eintök af þeirri tegund yfir sýnatökutímabilið, mest 86 í eina gildru við Lundaklett, stöð 2, seinni partinn í september. Hún hvarf ekki úr veiði yfir sumartímann eins og *A. sarsi*.

Önnur dýr römbuðu tilviljanakennt í gildrunar í litlu magni (undir 0,05% af heildarafla). Af þeim voru flest marflær af Gammaroidea ætt sem eru ekki þekktar fyrir að sækja í hræ. Nokkrar marflær sem flokkast undir Lysianassoidea yfirætt, líkt og *A. sarsi* sem er af Lysianassidae ætt, birtust í gildrunum, t.d. nokkrar af Uristidae ættinni.



Mynd 3.13: Tíðnirit lengdarmælinga á *Anonyx sarsi* veiddum í gildrur við Stykkishólm árið 2012. Yfir tíðniritinu er kassarit sem sýnir miðgildi mælinga og hlutfallsmörk.

Tafla 3.3: Talningar á *Pandalus montagui* sem veiddust í gildrur á þremur sýnatökustöðvum við Stykkishólm frá ágúst 2012 til apríl 2013.

Stöð	Heild	Meðaltal	Fervik
1 Lyngey	9	$0,16 \pm 0,06$	0,18
2 Lundaklettur	166	$2,96 \pm 1,59$	141,09
3 Skoreyjar	42	$0,78 \pm 0,37$	7,23
Samtals	217	$1,32 \pm 0,57$	51,18

4. Umræður

4.1. Botndýr í Kolgrafafirði

Fjöldi tegunda og einstaklinga 2013

Árið 2013 hafði tegundum fækkað um 13-29 á hverri stöð miðað við árið 1999, ef frá er skilin stöðin B0 sem var þétt upp við vegfyllinguna. Á malarbotni, stöð B0 og U1, kom fyrir að Shipek botngreipin virkaði ekki fullkomlega. Á stöð B0 t.d. voru öll sýnin u.þ.b. $2/3$ af rúmmáli greiparinnar sem gerir allan samanburð erfiðari við hinar stöðvarnar í firðinum þar sem hún grefst dýpra í undirlagið á mjúkum botni. Á stöð B0 er ólíklegt að sýnið frá 1999 gefi góða mynd af tegunda- og einstaklingsfjölda þar. Botngreipin sem þá var notuð, var af gerðinni Van Veen en hún virkar illa á malarbotni. Aðeins eitt eintak var skráð á þeirri stöð 1999 (burstaormur af tegundinni *Etone longa*). Hins vegar var þar tekið sledasýni og komu yfir 20 tegundir í sledann á stöð B0 árið 1999.

Þrátt fyrir að tegundum fækkaði í firðinum, fjölgaði einstaklingum að jafnaði. Til dæmis fækkaði tegundum á stöð E4, við Eiði, um 20 tegundir en þéttleiki einstaklinga margfaldaðist eftir síldardauðann, fór frá 5.911 einstaklingum/m² 1999 til 22.008 einstaklinga/m² 2013 vegna mikils fjölda *C. capitata*, eða 21.083 einstaklinga/m² alls. Á öðrum stöðvum var ekki að merkja miklar breytingar á fjölda einstaklinga (mynd 3.6) þó að fjöldi tegunda hafi breyst umtalsvert (mynd 3.5).

Fæstar tegundir fundust á stöðvunum innst í firðinum. Þær voru á lygnu svæði með hæsta hlutfall leirs (mynd 3.1). Aðeins ein tegund fannst á stöð A7 og þrjár tegundir á stöð B8 en ásamt *C. capitata* voru það burstaormarnir *Microphthalmus aberrans* og *Etone longa*. Það er fróðlegt að bera þetta saman við ástandið 1999 en þá var svæðið innst í firðinum einna tegundaauðugast og á stöðvunum A7 og B8 fundust 18 og 32 tegundir (Agnar Ingólfsson, 1999a). Um 20 samlokutegundir fundust þá á því svæði en þær halda mest til í leðjubotni. Aðeins þrjár samlokutegundir (*Macoma calcarea*, *Arctica islandica* og svo ein ógreind) fundust í öllum firðinum innan brúar árið 2013 og ræðst þessi mikla tegundafæð í Kolgrafafirði að miklu leyti af því að flokkur samloka nánast þurrkaðist út ásamt stórkröbbum (Malacostraca) og sniglum (Gastropoda).

Kolgrafafjörður 1999

Margskonar búsvæði geta rúmast í einum firði sem og öðrum ósasvæðum þar sem umhverfisþættir eru misjafnir. Þéttleiki einstakra tegunda er breytilegur eftir aðstæðum á hverjum stað, þar sem meðal annars þekja stórþörungur, ólíkar botngerðir, dýpi og staðbundnir straumar móta samfélög plantna og dýra (Agnar Ingólfsson, 2004; França o. fl., 2009). Þrenging er við mynni Kolgrafafjarðar með nokkur hundruð metra langri vegfyllingu milli Hjarðarbólsodda og Kolgrafarodda. Undir brúnni er grunnt á syllunni og vatnsskipti fjarðarins eru því takmörkuð. Innst í firðinum endurnýjast vatnið illa vegna lögunar hans miðað við fjarðaropið en innstreymi á aðfalli rennur í átt að Eiði og svo rangsælis um breiðari hluta fjarðarins (sjá mynd A.2 í viðauka). Vatnsskipti eru því lökust innst á leirunum en þar eru ferskvatnsáhrif einnig mest. Þetta á þátt í því að innsti hluti fjarðarins er með lægri súrefnismettun og seltulægri sjó en utar í firðinum (Lilja Oddsdóttir, 2014; Sólveig R. Ólafsdóttir o. fl., 2013).

Í umfjöllunum um sjávarbotninn í Kolgrafafirði 1999 lýsir Agnar (1999a) botninum sem lífauðugum, með svipaða lífauðgi og leðjubotn í Gilsfirði þó svo tegundasamsetning sé líkari því sem var í Hvalfirði og Akureyrarpolli (Agnar Ingólfsson o. fl., 1972). Á sand- og leirbotni í Hraunsfirði, sem liggur inn af ytri hluta Kolgrafafjarðar (Urthvalafirði), voru algengustu tegundir burstaormar af ættkvíslinni *Polydora* sp. annars vegar og annarra Spionidae orma hins vegar en kræklingur (*Mytilus edulis*) var líka algengur (Jón B. Sigurðsson, 1974). Tegundasamsetning á botni Kolgrafafjarðar árið 1999 (mynd 3.8) var áþekk og í Hraunsfirði með tilliti til þessara algengustu tegunda nema hvað varðar krækling sem var algengari í botni Hraunsfjarðar sem er mjög grunnur fjörður. Kræklingur fannst í meira magni í sýnum úr fjörum Kolgrafafjarðar en í botngreiparsýnum (Agnar Ingólfsson, 1999a).

Stöðvarnar við Eiði; E3 og E4 ásamt B5, voru undir mestum áhrifum síldardauðans þar sem dauð síld lá á botninum. Hugsanlega hefur lega stöðvanna gagnvart innstreymi fersks sjávar inn fjörðinn jákvæð áhrif á tegundafjölbreytileika og fjölda einstaklinga, sérstaklega á stöð E3 þar sem hún er lífauðugasta stöðin bæði árin 1999 og 2013. Vatnsgæðin innan brúar eru mismikil vegna stefnu innstreymis fersks sjávar á innfalli skv. líkani verkfræðistofunnar Vatnaskila (óútgefið efni) (mynd A.2).

AMBI lífstuðullinn

AMBI stuðullinn gaf góða raun við túlkun gagna þessarar rannsóknar og hafði t.d. mikla fylgni við Shannon H fjölbreytileikastuðulinn 3.11. Notkun á AMBI hefur verið prófuð í Pollinum í Ísafirði og sýndi sambærilegar niðurstöður og aðrir vistfræðilegir stuðlar en þar var aðeins um 5 stöðvar að ræða (Arastou Gharibi, 2011)

en í Kolgrafafirði eru þær 16 ef tekin eru saman árin 1999 og 2013.

AMBI lífstuðullinn hefur verið gagnrýndur fyrir að virka ekki nægilega vel þegar mjög fáar (<3) tegundir eða einstaklingar eru til staðar og þar sem ferskvatnsáhrifa gætir (t.d. innarlega í sjávarlónum eða á ósasvæðum). Einnig getur það haft neikvæð áhrif á áreiðanleika AMBI sé hann notaður til að leggja mat á svæði sem eru uppsöfnunarsvæði fyrir lífrænan úrgang. Varað er við að beita stuðlinum nema til viðmiðunar við önnur gögn svo sem fjölbreytileikastuðla og athuganir á vettvangi.

Stöðvar E3 og E4, voru ríkar af *Polydora* sp. og ánum (*Oligochaeta*), árið 1999. Það gæti bent til þess að innan brúar sé uppsöfnunarsvæði lífræns efnis frá náttúrunnar hendi, vegna þess að þessir hópar fá háa einkunn með tilliti til mengunarsækni (Rygg, 2002) og því fá þessar stöðvar einnig háa einkunn á AMBI skalanum 3.9. Innan *Polydora* sp. ættkvíslarinnar eru þó tegundir sem eru ekki mengunarþolnar svo það þarf að fara varlega með túlkun á gögnum þar sem aðeins er greint til safnhópa en ekki alla leið til tegunda.

4.1.1. Viðmiðunarstöðvar utan brúar

Á stöð U1 utan brúar var leðjuborinn grjót- og malarbotn en fjölbreytt botngerð hýsir gjarna flestar tegundir þar sem breytileg lögun á yfirborði botnsins gefur botndýrum færi á að dyljast afræningjum en á sléttum einföldum leðjubotni getur verið vandasamt að finna tryggt undirlag (Simboura o. fl., 2000). U1 var eina stöðin þar sem fundust ásætur á grjóti og þar var einnig til staðar áfána eins og til dæmis sæköngulær (*Pycnogonida*), marflær (*Amphipoda*) og nökkvar (*Polyplacophora*) sem fundust ekki innan brúar nema í litlu magni á stöð E3 við Eiði sem var lífauðugust stöðva innan brúar (tafla A.3). Á stöð U1 var lítið um mengunarþolnar eða mengunarsækna tegundir, þar voru fáir einstaklingar af *C. capitata* en töluverður fjöldi var af ætt *Spionidae*. Innan *Spionidae* ættarinnar finnast tegundir sem geta verið mengunarávitar og má þar nefna tegundina *Malacoceros fuliginosa* og tegundir innan *Polydora* sp. ættkvíslarinnar (Rygg og Norling, 2013; Borja o. fl., 2000) en *Spionidae* ættin var ekki greind frekar 2013. Burstaormar af ætt *Polynoidae* voru algengastir á stöð U1 en þeir eru rándýr eins og *Syllidae* sem voru líka með algengustu safnhópum á stöð U1.

U2 sýndi merki uppsöfnunar lífrænna efna þar sem 48% allra eintaka á þeirri stöð voru af tegundinni *C. capitata* og 22,5% voru ánar sem eru sterk vísbending lífrænnar mengunar í seti. Þeirra á meðal var *Tubificoides kozloffii* algeng tegund eða alls 8,4% af heildarfjölda einstaklinga á stöðinni. Grotætur voru í langmestum meirihluta á stöð U2 en eitthvað af síurum eins og (*Chaetozone setosa*) og rándýrum (*Harmothoe* spp.) meðal burstaorma. Í ljósi kringumstæðna er líklegast að uppsöfnunareinkennum á U2 stafi af ástandinu innan brúar. Ýmislegt getur ráðið ásetu tegunda í botnsetinu

4. Umræður

og hefur nærvera rándýra, samkeppni um búsvæði og lífsöguþættir tegunda sitt að segja (Qian og Chia, 1994) en botngerðin hefur þar mest áhrif eins og sjá má sé litið til ólíkrar samfélagsgerðar á stöðvunum U2 og U1 í klasagreiningu (mynd 3.4). Botngerðin á stöð U2 samanstendur af leir og finum sandi (mynd 3.1) sem er kjöraðstæður fyrir *C. capitata* (Fauchald og Jumars, 1979) eins og aðrar grotætur. Þar sem *C. capitata* er tækifærissinnuð og hraðvaxta tegund er hún fljót að ná fótfestu ef aðstæður henta henni (Grémare o. fl., 1989; Oug o. fl., 1991).

Líkleg útskýring á uppsöfnunareinkennum stöðvar U2 er sú að stöðin liggur í stefnu útstreymis sjávar undan brúaropinum (mynd A.2 í viðauka). Straumhraði þar er mikill, yfir 2 m/sek (Sverrir Óskar Elefsen, 2011) og nær vatnstaumurinn langt út eftir vesturströnd Urthvalafjarðar. Því liggja báðar viðmiðunarstöðvarnar undir útskolunartaumnum skv. líkani Vatnaskila (óútgefið efni) (mynd A.2). Sjávarfallabylgjan á útfallinu hefur lægri súrefnismettun en sjórinn fyrir utan brú og þar sem súrefnismettun í botnseti byggir meðal annars á súrefninu í vatnsbolnum er hugsanlegt að botnsetið á U1 og U2 hafi verið undir álagi 2013 sökum súrefnisskorts.

Viðmiðunarstöðvarnar hentuðu ekki vel til samanburðar við innanbrúarstöðvarnar þar sem þær voru annars vegar, í tilfalli U1, með of ólíka botngerð til að þjóna tilgangi sínum og hins vegar þótti ekki sýnt að U2 hafi verið á öröskuðu svæði. Æskilegt hefði verið að bæta við tveimur stöðvum austan megin í Urthvalafirði og einni í viðbót rétt fyrir utan hann.

4.1.2. *Capitella capitata* (Fabricius, 1780)

Capitella capitata er samnefnari fyrir nokkrar aðskildar burstaormategundir sem á enn eftir að aðgreina betur flokkunarfræðilega (Grassle og Grassle, 1976). Systurtegundir *C. capitata* eru að minnsta kosti 12-13 en þörf er á vandlegri yfirferð áður en hægt er að sammælast um lýsingar á nýjum tegundum eða afbrigðum (Blake, 2009). Tegundinni var upphaflega lýst frá Suðvestur-Grænlandi seint á 18. öld og svo enn frekar úr Miðjarðarhafinu (Eisig, 1887). Það afbrigði, eða þau, sem finnast hér við land og lýst var upphaflega frá Suðvestur-Grænlandi hefur útbreiðslu kringum Norðurheimskautið en er líklega önnur tegund en *C. capitata* ormar frá lægri breiddargráðum (Blake, 2009). Snemma á 20. öld voru tengsl tegundarinnar og mengunar í sjávarseti orðin ljós en *C. capitata* eru algengir á súrefnissnaudum og menguðum svæðum og eru því víða notaðir sem vísitægund á mengaðan botn (Rosenberg, 1976; Tenore og Chesney Jr., 1985; Grémare o. fl., 1989; Vismann o. fl., 1998; Méndez o. fl., 2001; Rosenberg o. fl., 2002, 2004; Tomassetti og Porrello, 2005; Dean, 2008).

C. capitata er hraðvaxta og hraðþroska, hefur stuttan kynslóðatíma og getur náð yfirgnæfandi stöðu gagnvart öðrum tegundum á skömmum tíma (Tenore og Chesney Jr.,

1985). Aðlaganir þeirra eru t.a.m. mikið þol gagnvart súrefnisleysi þar sem þær geta gripið til súrefnisóháðrar öndunar (Vismann o. fl., 1998) fari súrefnismettun sjávar niður fyrir ákveðin mörk. Þær oxa súlfíð eða m.ö.o. afeitra það og leggja þannig grunninn að framvindu botndýrafánunnar (Vismann o. fl., 1998) og einnig með því að yrkja botninn og auka flæði sjávar um hann. Þegar rotnunin liður hjá virðist *C. capitata* ekki geta staðið undir orkuþörf sinni eða bókstaflega verður undir í baráttunni við önnur botndýr sem snúa aftur ef framvinda botndýralífsins er eðlileg (Pearson og Rosenberg, 1978).

C. capitata hefur fundist á grunnsævi viðsvegar um landið. Hún fannst í litlu magni í Vopnafirði og Borgarfirði Eystri í ómengudum botni (Steinunn Hilma Ólafsdóttir og Sigmar Arnar Steingrímsson, 2007). Á Akureyrarpolti fannst hún við skólprárennsli (Agnar Ingólfsson o. fl., 1972), á Siglufirði við útfallsrör frá iðnaði (Þorleifur Eiríksson og Sigurjón Þórðarson, 1998) og einnig í miklu magni við skólprör við ýmis bæjarfélög á Norðurlandi og Vestfjörðum (Anton Helgason, Sigurjón Þórðarson og Þorleifur Eiríksson, 2002). Greiningar hafa ekki alltaf verið að tegund heldur aðeins ætt (Capitellidae) og því er líklegt að aðrir mengunarsæknir eða mengunarþolnir burstormar hafi verið þar á meðal, líkt og *Heteromastus filiformis* sem er algengur hér við land. *C. capitata* hefur fundist víða á höfuðborgarsvæðinu (Guðmundur Viðir Helgason og Jörundur Svavarsson, 1991), að ógleymdu einu eintaki í Kolgrafafirði árið 1999 (Agnar Ingólfsson).

4.1.3. Framtíðarhorfur

Sýnatökum í Kolgrafafirði verður haldið áfram til að fylgjast með breytingum sem verða á botndýralífinu uns vistkerfið nálgast fyrra ástand þegar mengunin hjaðnar. Í Lofoten í Noregi varð síldardauði þar sem drápust 500 tonn árið 1984. Mengunarþolnum tegundum fjölgaði mikið á næsta hálfa ári á eftir og fjöldi einstaklinga á flatareiningu varð mikið hærri en undir venjulegum kringumstæðum. Burstormarnir *Malacoceros fuliginosus* og *C. capitata* voru algengir næstu tvö ár á eftir en þeim fækkaði jafnt og þétt á meðan fjöldi annarra tegunda jókst. Gæði botnsetsins jukust með tímanum og fylgdi eðlileg botndýrafána í kjölfarið en það ferli tók um þrjú ár (Oug o. fl., 1991).

Rannsóknir í tengslum við fiskeldiskvíar á Vestfjörðum segja svipaða sögu. Fylgst var með breytingum á botndýralífi undir fiskeldiskvíum í Tálknafirði (Böðvar Þórisson o. fl., 2012). Sýni voru tekin áður en fóðrun hófst, að ári liðnu og svo eftir tvö ár. Burstormarnir *Malacoceros fuliginosus* og *C. capitata* döfnuðu vel ásamt fleiri tegundum sem voru einnig algengar í Kolgrafafirði 2013 t.d. burstormurinn *Microphthalmus aberrans*. Að auki voru aðstæður kannaðar í kringum fiskeldi í Álftafirði á Vestfjörðum þar sem fóðurgjöf hafði verið minnkuð og svæði sem nýlega höfðu verið undir álagi voru sett í hvíld. Tegundafjölbreytileiki jókst á þeim svæðum

4. Umræður

yfir tímabilið og höfðu tegundir sem þola illa uppsöfnun lífrænna efna í botnsetinu snúið aftur.

Fylgni milli umhverfisbreyta og tegundasamfélaga í sýnunum úr Kolgrafafirði 2013 var ekki mikil, hlutfall lífræns efnis í seti og dýpi stöðvanna höfðu ekki marktæk áhrif í hnitunargreiningu á botngreiparsýnunum. Í kjölfar síldardauðans raskast venjulegt samhengi í umhverfinu og og mengunin yfirgnæfir aðra umhverfisþætti (Pearson og Rosenberg, 1978). Hlutfall grófustu og fínustu kornastærða í setgerðarsýnum sýndu fylgni við tegundafjölbreytileika en þá fylgni má frekar útskýra með staðsetningu stöðvanna þar sem tegundaaudugasta stöðin með grófustu botnngerðinni var utan brúar en stöðvarnar með fínasta botnsetið voru innst í Kolgrafafirði þar sem minnst súrefnismettun hafði mælst (Lilja Oddsdóttir, 2014; Sólveig R. Ólafsdóttir o. fl., 2013). Þegar öll kurl verða komin til grafar og búið að greina sýnin tekin árið 2014, 2015 og vonandi 2016, verður spennandi að sjá hvaða áhrif þessir umhverfisþættir hafa á framvindu botndýrasamfélaganna.

Í ljósi niðurstaðna rannsókna við fiskeldiskvíar á Vestfjörðum (Þorleifur Eiríksson o. fl., 2012a) og í kjölfar síldardauðans sem varð í Noregi (Oug o. fl., 1991), þá má ætla að vistkerfið í Kolgrafafirði muni með tímanum jafna sig að nýju. Þó svo að um miklu stærri viðburð hafi verið að ræða í Kolgrafafirði en í hinum tilfellunum þá er ástandið ekki viðvarandi. Fjörðurinn er ekki undir stöðugu álagi, vatnaskipti eru góð og mikil virkni er í botnsetinu á nær öllum stöðvum. Hversu langan tíma það mun taka fyrir mengunaráhrifin að hverfa er ekki hægt að segja til um út frá niðurstöðum þessarar rannsóknar en svo virðist sem vistkerfi sem þetta á botni Kolgrafafjarðar sé vel í stakk búið til að takast á við áföll af þessu tagi þar sem um lífræna mengun er að ræða.

4.2. Marflær við Stykkishólm

4.2.1. *Anonyx sarsi*

Í rannsókninni á marflóm í nágrenni Stykkishólms var tegundin *Anonyx sarsi* af ætt Lysianassidae fyrirferðamest. Hún er þekkt rándýr og hrææta og laðast að beitunni með efnaskynjunarviðtökum á svipungum sínum en það er eiginleiki sem marflær af öðrum ættum hafa jafnan ekki (Britton og Morton, 1994). Helsta fæða *A. sarsi* er hræ en einnig hafa fundist í meltingarvegi þeirra krabbaflær (Copepoda), burstaormar og trefjar úr stórpara (Werner o. fl., 2004).

A. sarsi veiddist ekki í gildrur á veturna í rannsókn Sainte-Marie, Lamarche og Gagnon (1990) í Saint Lawrence flóa við austurströnd Kanada á u.þ.b. 50°N og

töldu höfundar að þá hefði hún leitað á aukið dýpi. Þessu er öfugt farið í Breiðafirði þar sem engar *A. sarsi* veiddust frá júní þar til seint í ágúst, rétt eins og hjá Agnari Ingólfssyni og Inga Agnarssyni í fjörum í Reykjavík (1999a). Álíka árstíðabundin farhegðun annarra tegunda af ætt Lysianassidae hefur verið skráð við Suðurskautslandið (Bregazzi, 1972; Smale o. fl., 2007) og Svalbarða (Nygård, 2011) þar sem höfundar leggja til að ástæður fyrir fari tengist lífsögulegum þáttum svo sem hamskiptum, mökun, breyttu fæðunámi eða til að forðast afrán. Staðbundinn munur á atferli einstakra tegunda sjávarhryggleysingja hefur áður sést milli austur- og vestur Atlantshafs, til dæmis hjá beitukóngi (*Buccinum undatum*) sem makast á ólíkum tímum og hefur lengri fósturþroskunartíma vestanhafs (Kideys o. fl., 1993; Martel o. fl., 1986). Hér við land veiddust ekki bogkrabbar *Carcinus maenas* með egg í gildrum í Hvalfirði á sama tíma og þeir fundust í mögum þorska sem veiddust á svæðinu sem sýnir að þeir voru á staðnum þótt þeir kæmu ekki í gildrum (Óskar Sindri Gíslason, 2009). Það væri áhugavert að skoða frekar hvort *A. sarsi* sýni einhvers konar farhegðun eða hvort atferli hennar breytist eftir árstíðum. Farhegðun verður ekki útilokuð þar sem þetta eru virk sunddýr sem geta synt á 13-17 cm/sek og komist yfir 2 km á 12 klukkustunda leiðöngnum. *A. sarsi* er hraðsyndari en flestar marflóategundir enda er aðal fæða hennar stór tilfallandi hræ sem hún getur skynjað í nokkurra tuga metra fjarlægð (Sainte-Marie, 1986).

Afræningjar geta haft neikvæð áhrif á gildruveiði eins og sést hefur, til dæmis, hjá botndýrum í St. Lawrence flóa þar sem grjótkrabbi (*Cancer irroratus*) og trjónukrabbi (*Hyas araneus*) hindruðu komu beitukóns í beittar gildrum en báðar þessar krabbategundir eru afræningjar á beitukóngi (Lapointe og Sainte-Marie, 1992). Marflær eru undir miklu álagi vegna afráns ýmissa fiskitegunda (Jakob Jakobsson, 1992) sem getur haft áhrif á atferli þeirra, svo sem við fæðunám. Breytt hegðunarmunstur marflóa er þekkt sem svörun við nálægð afræningja eins og fiska (Pennuto og Keppler, 2008) og flótti eggjafullra kvendýra frá hræjum hefur sést hjá *A. sarsi*. Það gildir almennt um sjávardýr sem hrygna aðeins einu sinni á lífsleiðinni (eru *semelparous*) að þegar nægri orku hefur verið safnað fyrir got sækja þau ekki meira í fæðu. Það er til merkis um áhættuna sem stafar af hræáti á hafsbotni þar sem lyktin laðar að margskonar hræætur (Smale o. fl., 2007) sem geta til dæmis étíð marflær. Þó benda athuganir til þess að marflær af ætt Lysianassoidea sem eru að nærast á hræi séu líkt og óafvitandi um aðrar og stærri tegundir í umhverfinu. Þær grafi sig inn í hræ til að éta innan frá og reyni slíkt hið sama á lifandi fiskum við hræið (Sainte-Marie, 1992).

A. sarsi var til staðar í gildrum með *P. montagui* í 16 af 35 tilvikum sem sú síðarnefnda veiddist. Ekki var hægt að sjá hvort *P. montagui* forðist að ganga í gildru með *A. sarsi* eða öfugt en til þess þarf að vita hvor tegundanna kom á undan inn í gildruna. Fróðlegt væri að kanna samspil þessara tveggja tegunda sem voru einu botnlægu stórfánu hræeturnar sem komu í gildrurnar svo nokkru nemi.

Lengdarmælingar sýndu fram á tvítoppa lengdardreifingu *A. sarsi* og má því áætla

4. Umræður

að tveir árgangar hafi veiðst í gildrur í þessari rannsókn (Sainte-Marie o. fl., 1990). 21 einstaklingur (um 3%) var yfir 25 mm á lengd sem getur bent til þess að lítill hluti stofnsins sé á 3. aldursári. Misjöfn aldursdreifing *A. sarsi* milli stöðva 2 og 3 getur stafað af því að við stöð 3 eru straumrastir (munleg heimild Símon Már Sturluson) og því getur verið erfiðara fyrir minni dýr að komast að gildrunum á sundi. Mismunandi árgangar marflóa setjast að á ólíkum búsvæðum og vistum vegna ólíkra fæðuhátta eða annars atferlis en minnstu einstaklingar *A. sarsi* (lengd <7 mm) eru frekar alætur en hrætur því þær skortir hæfni til að nýta stór hræ (Sainte-Marie og Lamarche, 1985) og koma þess vegna ekki í beittar gildrur. Líklega má útskýra litla veiði *A. sarsi* á stöð nr. 1 með því að þar sé uppsöfnun lífrænna efna of mikil. Við athugun á botnseti á stöð 1 kom í ljós mikið af þaraleifum og fiskibeinum. Þar er bæði mjúkur botn með nálægri klettafjöru eins og á við um stöð 2 en líka skeljasandsbotn sem reyndist vera tegundaaudugust botngerða í Breiðafirði í rannsókn Guðmundar V. Helgasonar (1982). *A. sarsi* grefur sig í mjúkan botn til að forðast afrán og sé botninn mengaður af lífrænum leifum og með litla súrefnismettun mun það vera líkleg skýring á því hve lítið veiddist af henni á stöð 1 við Lyngey.

Lokaorð

Segja mátti að allt hafi verið með kyrrum kjörum og vistkerfi svæðisins í jafnvægi, við upphaf síðustu sildargangna inn á Breiðafjörð við norðanvert Snæfellsnes árið 2007. Þær drógu að fjölbreyttan hóp sjávarspendýra og fugla inn á svæðið sem gekk að hlaðborðinu rétt eins og skipafloti landsmanna. Síld hefur ekki sömu náttúrulegu varnir og mörg önnur dýr sem hafast við á grunnsævi. Hún ver sig í krafti fjöldans og er stofninn í stakk búinn til að takast á við mikil afföll þegar síldin leggst í vetrardvala innfjarða. Óhætt er að fullyrða að að henni hafi verið sótt úr öllum áttum, en auk veiða og afráns dundu á náttúruleg áföll sem urðu til þess að hluti sildarinnar drapst og sökk til botns á Breiðafirði og hafði það talsverð staðbundin áhrif á botndýralíf.

Marflær forðuðust bletti í nágrenni Stykkishólms þar sem lífræn mengun var umtalsverð vegna sildardauða. Í ljósi orðspors marflóa sem hrætna hefðu einhverjir getað haldið að hið gagnstæða myndi gerast, en marflær eru aftur á móti almennt viðkvæmar fyrir áhrifum mengunar og eru notaðar sem áviti á mengun á sjávarbotni. Algjör umskipti urðu í lífríki á botni í Kolgrafafirði eftir fordæmalausán sildardauða sem þar varð veturinn 2012-2013. Botndýrategundum fækkaði umtalsvert og einn tegundahópur, burstaormar, tók yfir. Burstaormurinn *Capitella capitata*, sem áður var sjaldgæfur á svæðinu, var 88% allra botndýra sem fundust í sýnum frá 2013. Sú tegund er algeng um allt land og safnast fyrir á svæðum þar sem mikilla mengunaráhrifa gætir. Sumir tegundahópar eins og samlokur, krabbadýr og sniglar hurfu nær alveg úr firðinum en þeir voru allir algengir þar í sýnum frá árinu 1999.

Nauðsynlegt er að halda rannsóknum áfram í Kolgrafafirði til að skrá langtímaáhrif síldardauðans. Engin fordæmi eru fyrir uppsöfnun lífræns efnis af þessum toga í svo miklu magni við Ísland og þó víðar væri leitað.

Heimildir

- Agnar Ingólfsson (1976). Marflær og þanglýs. *Náttúrufræðingurinn*, 48:146–152.
- Agnar Ingólfsson (1999b). Rannsóknir á lífríki í Kolgrafafirði. Fuglar, fjörur og sjávarbotn. *Líffræðistofnun Háskólans*, Fjölrit nr. 47.
- Agnar Ingólfsson (2004). Community structure and zonation patterns of rocky shores at high latitudes: an interocean comparison: rocky shore communities at high latitudes. *Journal of Biogeography*, 32(1):169–182.
- Agnar Ingólfsson (2007). The near-closure of a lagoon in western Iceland: how accurate were predictions of impacts on environment and biota? *Journal of Coastal Conservation*, 11(2):75–90.
- Agnar Ingólfsson, Arnþór Garðarsson og Sveinn Ingvarsson (1972). Botndýralíf í Akureyrarpolli. Könnun í marz 1972. *Háskóli Íslands*. 34 bls.
- Agnar Ingólfsson og Ingi Agnarsson (1999b). *Anonyx sarsi*: a major unrecognized scavenger and predator in the intertidal zone. *Journal of the Marine Biological Association of the UK*, 79(06):1127–1128.
- Aller, R. C. (1988). Benthic fauna and biogeochemical processes in marine sediments: the role of burrow structures. *Nitrogen cycling in coastal marine environments*, bls. 301–338.
- Anton Helgason, Sigurjón Þórðarson og Þorleifur Eiríksson (2002). Athugun á skólp-mengun við sjö þéttbýlisstaði. *Náttúrustofa Vestfjarða*, NV nr.3-02, 41 bls.
- Blake, J. A. (2009). Redescription of *Capitella capitata* (Fabricius) from west Greenland and designation of a neotype (Polychaeta, Capitellidae). *Zoosymposia*, 2:55–80.
- Borja, A., Franco, J. og Pérez, V. (2000). A marine biotic index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within European estuarine and coastal environments. *Marine Pollution Bulletin*, 40(12):1100–1114.
- Borja, A. og Muxika, I. (2005). Guidelines for the use of AMBI (Azti's Marine Biotic Index) in the assessment of the benthic ecological quality. *Marine pollution bulletin*, 50(7):787–789.

- Bregazzi, P. (1972). *Life cycles and seasonal movements of Cheirimedon femoratus (Pfeffer) and Tryphosella kergueleni (Miers)(Crustacea: Amphipoda)*. *British Antarctic Survey bulletin* 30:1–34.
- Britton, J. C. og Morton, B. (1994). Marine carrion and scavengers. *Oceanography and Marine Biology: an annual review*, 32.
- Böðvar Þórisson, Cristan Gallo, Eva Dögg Jóhannsdóttir og Þorleifur Eiríksson (2012). Athuganir 2010, 2011 og 2012 á áhrifum laxeldis í sjókvím í Tálknafirði á botndýralíf. *Náttúrustofa Vestfjarða*, NV nr. 6-12.
- Cebrian, E., Uriz, M. J., Garrabou, J. og Ballesteros, E. (2011). Sponge mass mortalities in a warming Mediterranean Sea: Are cyanobacteria-harboring species worse off? *PLoS ONE*, 6(6):e20211.
- Crawley, M. J. (2012). *The R book*. John Wiley & Sons.
- Dean, H. K. (2008). The use of polychaetes (Annelida) as indicator species of marine pollution: a review. *Revista de Biología Tropical*, 56(4):11–38.
- Diaz, R. J. og Rosenberg, R. (1995). Marine benthic hypoxia: a review of its ecological effects and the behavioural responses of benthic macrofauna. *Oceanography and Marine Biology, Annual Review*, 33:245–303.
- Diaz, R. J. og Rosenberg, R. (2008). Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. *Science*, 321(5891):926–929.
- Duffy, J. E. og Hay, M. E. (2000). Strong impacts of grazing amphipods on the organization of a benthic community. *Ecological monographs*, 70(2):237–263.
- Eisig, H. (1887). *Monographie der Capitelliden des Golfes von Neapel: und der angrenzenden Meeres-Abschnitte, nebst Untersuchungen zur vergleichenden Anatomie und Physiologie*, 16:1-906.
- El-Ghany, N. A. og El-Ashram, A. M. (2008). Diagnosis of ichthyophoniasis in *Oreochromis niloticus* in Egypt by polymerase chain reaction (PCR). In *8th International Symposium on Tilapia in Aquaculture*, 1307–1328.
- Erlingur Hauksson. (1977). Útbreiðsla og kjörsvæði fjörudýra í Breiðafirði. *Náttúrufræðingurinn*, 47:8–98.
- Fabricius, O. (1780). Fauna Groenlandica. *Hafniae et Lipsiae*
- Fauchald, K. og Jumars, P. A. (1979). The diet of worms: a study of polychaete feeding guilds. *Oceanogr. Marine Biology: An Annual Review*, 17:193-284.
- França, S., Vinagre, C., Pardal, M. A. og Cabral, H. N. (2009). Spatial and temporal patterns of benthic invertebrates in the Tagus estuary, Portugal: comparison between subtidal and an intertidal mudflat. *Scientia Marina*, 73(2):307–318.

- Gharibi, Arastou (2011). Ecological quality Assessment for Pollurinn (Ísafjörður) by using biotic indices, *meistararitgerð, University of Akureyri, Faculty of Business and Science*. 81 bls.
- Grassle, J. P. og Grassle, J. F. (1976). Sibling species in the marine pollution indicator Capitella (Polychaeta). *Science*, 192(4239):567–569.
- Grémare, A., Marsh, A. G. og Tenore, K. R. (1989). Secondary production and reproduction of Capitella capitata type i(Annelida: Polychaeta) during a population cycle. *Marine ecology progress series. Oldendorf*, 51(1):99–105.
- Guðmundur J. Óskarsson og Jónbjörn Pálsson. (2011). The Ichthyohponus hoferi outbreak in Icelandic summer-spawning herring stock during the autumns 2008 to 2010. *ICES WKBENCH*, 2:1-17..
- Guðmundur J. Óskarsson, Ásta Guðmundsdóttir og Þorsteinn Sigurðsson (2009). Variation in spatial distribution and migration of Icelandic summer-spawning herring. *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil*, 66(8):1762–1767.
- Guðmundur Víðir Helgason (1982). Botndýralíf á hluta Breiðafjarðar, 4. árs verkefni. *Háskóli Íslands, Líffræðiskor*, 56 bls.
- Guðmundur Víðir Helgason og Jörundur Svavarsson (1991). *Botndýralíf í Þerneyjarsundi*. Fjölrit 30. Líffræðistofnun, Háskóli Íslands. Reykjavík. 22 bls.
- Gunnar Jónsson (1983). *Íslenskir fiskar*. Reykjavík: Fjölvi.
- Guðrún G. Þórarinsdóttir, Karl Gunnarsson og Erlendur Bogason (2009). Mass mortality of ocean quahog, *Arctica islandica*, on hard substratum in Lónafjörður, north-eastern Iceland after a storm. *Marine biodiversity records*, 2:1–3.
- Hafrannsóknastofnun (2013a). Fréttatilkynning frá Hafrannsóknastofnun. Mælingu á magni dauðrar síldar í Kolgrafafirði lok-ið. <http://www.atvinnuvegaraduneyti.is/media/frettir2/Frett-Hafro-Kolgrafafjordur-7-feb-2013.pdf>. Sótt þann 7.2.2013.
- Hafrannsóknastofnun (2013b). Nytjastofnar sjávar 2012/2013. Aflahorfur fiskveiði-árið 2013/2014. *Fjölrit Hafrannsóknarstofnunar*, 169. 184 bls.
- Hafrannsóknastofnun (2014a). Nytjastofnar sjávar 2007/2008. Aflahorfur fiskveiði-árið 2008/2009. *Fjölrit Hafrannsóknarstofnunar*, 198. 180 bls.
- Hafrannsóknastofnun (2014b). Nytjastofnar sjávar 2013/2014. Aflahorfur fiskveiði-árið 2014/2015. *Fjölrit Hafrannsóknarstofnunar*, 176. 188 bls.
- Halldóra Skarphéðinsdóttir og Karl Gunnarsson. (1997). Lífríki sjávar í Breiðafirði: yfirlit rannsókna. *Fjölrit Hafrannsóknarstofnunar*, 63. 57 bls.

- Hallgrímur J. Ámundason. (1997). Urthvalafjörður. *Stofnun Árna Magnússonar. Pistlar um örnefni og nöfn*. http://www.arnastofnun.is/page/ornefnapistlar_urthvala. 30.08.2014
- Harvell, C. D., Kim, K., Burkholder, J. M., Colwell, R. R., Epstein, P. R., Grimes, D. J., ... Vasta, G. R. (1999). Emerging marine diseases—climate links and anthropogenic factors. *Science*, 285(5433):1505–1510.
- Hill, M. O. (1979). TWINSpan: a FORTRAN program for arranging multivariate data in an ordered two-way table by classification of the individuals and attributes. *Section of Ecology and Systematics, Cornell University*.
- Holmer, M., Forbes, V. E. og Forbes, T. (1997). Impact of the polychaete *Capitella* sp. I on microbial activity in an organic-rich marine sediment contaminated with the polycyclic aromatic hydrocarbon fluoranthene. *Marine Biology*, 128(4):679–688.
- Huse, I. og Korneliussen, H. (2000). Diel variation in acoustic density measurements of overwintering herring (*Clupea harengus*). *ICES Journal of Marine Science*, 57(4):903–910.
- Ingimar Óskarsson (1982). Skeldýrafána Íslands. *Prentsmiðjan Leiftur*.
- Jakob Jakobsson (1980). Exploitation of the Icelandic spring- and summer-spawning herring in relation to fisheries management, 1947–1977. In *Rapports et Procès-Verbaux des Réunions du Conseil International pour l'Exploration de la Mer* 1980, 177:23-42.
- Jakob Jakobsson og Gunnar Stefánsson (1999). Management of summer-spawning herring off Iceland. *ICES Journal of Marine Science*, 56(6):827–833.
- Jakob Jakobsson. (1992). Fjölstofnarannsóknir 1992-1995. *Hafrannsóknarstofnun*, Fjölrit nr. 57:169–177.
- Jørgensen, B. B. og Revsbech, N. P. (1989). Oxygen uptake, bacterial distribution, and carbon-nitrogen-sulfur cycling in sediments from the Baltic Sea-North Sea transition. *Ophelia*, 31(1):29–49.
- Jóhanna B. Weissappel og Jörundur Svavarsson (1998). Benthic amphipods (Crustacea: Malacostraca) in Icelandic waters: diversity in relation to faunal patterns from shallow to intermediate deep Arctic and North Atlantic Oceans. *Marine Biology*, 131(1):133–143.
- Jón B. Sigurðsson (1974). Botndýralíf í Hraunfirði. *Námsverkefni við líffræðiskor H.Í.*, 94 bls.

- Kanaya, G. (2014). Recolonization of macrozoobenthos on defaunated sediments in a hypertrophic brackish lagoon: Effects of sulfide removal and sediment grain size. *Marine Environmental Research*, 95:81–88.
- Kideys, A., Nash, R. og Hartnoll, R. (1993). Reproductive cycle and energetic cost of reproduction of the neogastropod *Buccinum undatum* in the Irish Sea. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 73(02):391–403.
- Kirkegaard, J.B. (1996). Havbørsteorme i og ii. *Danmarks Fauna*, 86:245–246. Dansk Naturhistorisk Forening.
- Krebs, C. J. (1989). *Ecology methodology*. New York: Harper & Row.
- Kristensen, E. (2000). Organic matter diagenesis at the oxic/anoxic interface in coastal marine sediments, with emphasis on the role of burrowing animals. *Hydrobiologia*, 426(1):1–24.
- Kristensen, E., Ahmed, S. I. og Devol, A. H. (1995). Aerobic and anaerobic decomposition of organic matter in marine sediment: which is fastest? *Limnology and Oceanography*, 40(8):1430–1437.
- Kristján Hjaltason (1951). Síldveiðar við Grundarfjörð og nágrenni. *Þjóðviljinn*, 16(192):3–7.
- Lapointe, V. og Sainte-Marie, B. (1992). Currents, predators, and the aggregation of the gastropod *buccinum undatum* around bait. *Marine ecology progress series. Oldendorf*, 85(3):245–257.
- Large, W., McWilliams, J. og Doney, S. (1994). Oceanic vertical mixing: A review and a model with a nonlocal boundary layer parameterization. *Reviews of Geophysics*, 32(4):363–403.
- Lilja Oddsdóttir (2014). *Súrefnisbúskapur í þveruðum fjörðum og útskolun efna með sjávarföllum*, meistararitgerð, *Umhverfis- og byggingarverkfræðideild, Háskóli Íslands*. 114 bls.
- Ludsin, S. A., Zhang, X., Brandt, S. B., Roman, M. R., Boicourt, W. C., Mason, D. M. og Costantini, M. (2009). Hypoxia-avoidance by planktivorous fish in Chesapeake Bay: Implications for food web interactions and fish recruitment. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 381:121–131.
- Lúðvík Kristjánsson. (1980). *Íslenzkir sjávarhættir I*. Reykjavík: Bókaútgáfa Menningarssjóðs.
- Macneil, C., Dick, J. T. A. og Elwood, R. W. (1997). The dynamics of predation on *Gammarus* spp. (Crustacea: Amphipoda). *Biological Reviews*, 74(4):375–395.

- Mancinelli, G. (2012). On the trophic ecology of Gammaridea (Crustacea: Amphipoda) in coastal waters: A European-scale analysis of stable isotopes data. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 114:130–139.
- Martel, A., Larrivée, D., Klein, K. og Himmelman, J. (1986). Reproductive cycle and seasonal feeding activity of the neogastropod *Buccinum undatum*. *Marine Biology*, 92(2):211–221.
- McAleece, N., Lambshead, J., Paterson, G. og Gage, J. (1997). Biodiversity pro, version 2. *The Natural History Museum, London, and The Scottish Association of Marine Science, Oban, Scotland*. Available from <http://www.nhm.ac.uk/zoology/bdpro> (accessed May 1999).
- Méndez, N., Linke-Gamenick, I., Forbes, V. E. og Baird, D. J. (2001). Sediment processing in *Capitella* spp. (Polychaeta: Capitellidae): strain-specific differences and effects of the organic toxicant fluoranthene. *Marine Biology*, 138(2):311–319.
- Nilsson, H. C. og Rosenberg, R. (1994). Hypoxic response of two marine benthic communities. *Marine ecology progress series*, 115(3):209–217.
- Nilsson, H. C. og Rosenberg, R. (1997). Benthic habitat quality assessment of an oxygen stressed fjord by surface and sediment profile images. *Journal of Marine Systems*, 11(3):249–264.
- Nygård, H. (2011). Scavenging amphipods in the high Arctic: Studies of benthic and sympagic amphipods in the genera *Onisimus* and *Anonyx*, *doktorsritgerð*, *The Arctic University of Norway*. 22 bls.
- Oksanen, J. (2013). Design decisions and implementation details in vegan. *Vignette of the package vegan*. *R package version*. 10 bls.
- Oksanen, J., Blanchet, F. G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P. R., O'Hara, ...Wagner, H. (2015). *Package vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.2-1. 272 bls.
- Oug, E., Lein, T. E., Küfner, R. og Falk-Petersen, I. B. (1991). Environmental effects of a herring mass mortality in northern Norway. Impact on and recovery of rockyshore and soft-bottom biotas. *Sarsia*, 76(3):195–207.
- Óskar Sindri Gíslason. (2009). Grjótkrabbi *Cancer irroratus* við Ísland: uppruni og lífþroskun með samanburði við bogkrabba *Carcinus maenas* og trjónukrabba *Hyas araneus*, *meistararitgerð Líf- og umhverfisvísindadeild, Háskóli Íslands*, 53 bls.
- Pearson, T. og Rosenberg, R. (1978). Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanography and Marine Biology - An Annual Review*, 16:229–311.

- Pennuto, C. og Keppler, D. (2008). Short-term predator avoidance behavior by invasive and native amphipods in the Great Lakes. *Aquatic ecology*, 42(4):629–641.
- Petersen, C. G. J. og Boysen-Jensen, P. (1914). *Valuation of the sea*. Centraltrykkeriet.
- Polis, G. A., Anderson, W. B. og Holt, R. D. (1997). Toward an integration of landscape and food web ecology: The dynamics of spatially subsidized food webs. *Annual review of ecology and systematics*, 28:289–316.
- Qian, P. Y. og Chia, F. S. (1994). In situ measurement of recruitment, mortality, growth, and fecundity of *Capitella* sp.(Annelida: Polychaeta). *Marine ecology progress series*, 111(1):53–62.
- R Core Team (2014). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.
- Rabus, R., Hansen, T. A. og Widdel, F. (2013). Dissimilatory sulfate- and sulfur-reducing prokaryotes. In *The Prokaryotes*, 309–404.
- Rahimian, H. (1998). Pathology and morphology of *Ichthyophonus hoferi* in naturally infected fishes off the Swedish west coast. *Diseases of Aquatic Organisms*, 34:109–123.
- Revsbech, N. P., Sørensen, J., Blackburn, T. H. og Lomholt, J. P. (1980). Distribution of oxygen in marine sediments measured with microelectrodes. *Limnology and Oceanography*, 25(3):403–411.
- Rosenberg, R. (1976). Benthic faunal dynamics during succession following pollution abatement in a Swedish estuary. *Oikos*, 27(3):414.
- Rosenberg, R. (2001). Marine benthic faunal successional stages and related sedimentary activity. *Scientia Marina*, 65(S2):107–119.
- Rosenberg, R., Agrenius, S., Hellman, B., Nilsson, H. C. og Norling, K. (2002). Recovery of marine benthic habitats and fauna in a Swedish fjord following improved oxygen conditions. *Marine Ecology Progress Series*, 234:43–53.
- Rosenberg, R., Blomqvist, M., Nilsson, H., Cederwall, H. og Dimming, A. (2004). Marine quality assessment by use of benthic species-abundance distributions: a proposed new protocol within the European Union Water Framework Directive. *Marine Pollution Bulletin*, 49(9-10):728–739.
- Rosenberg, R., Nilsson, H. og Diaz, R. (2001). Response of benthic fauna and changing sediment redox profiles over a hypoxic gradient. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 53(3):343–350.

- Róbert A. Stefánsson og Menja von Schmalensee (2013). Sild og fuglar í Kolgrafafirði. *Fuglar* 9:36–43.
- Rygg, B. (2002). Indicator species index for assessing benthic ecological quality in marine waters of Norway. *Norwegian Institute for Water Research, Oslo, Report SNO*, pages 4548–2002.
- Rygg, B. og Norling, K. (2013). Norwegian Sensitivity Index (NSI) for marine macroinvertebrates, and an update of indicator Species Index (ISI). *NIVA-Rapport*:6475.
- Sainte-Marie, B. (1986). Effect of bait size and sampling time on the attraction of the lysianassid amphipods *Anonyx sarsi* (Steele & Brunel) and *Orchomenella pinguis* (Boeck). *Journal of experimental marine biology and ecology*, 99(1):63–77.
- Sainte-Marie, B. (1992). Foraging of scavenging deep-sea lysianassoid amphipods. *Deep-sea food chains and the global carbon cycle*, 360: 105–124.
- Sainte-Marie, B. og Lamarche, G. (1985). The diets of six species of the carrion-feeding lysianassid amphipod genus *Anonyx* and their relation with morphology and swimming behaviour. *Sarsia*, 70(2-3):119–126.
- Sainte-Marie, B., Lamarche, G. og Gagnon, J.-M. (1990). Reproductive bionomics of some shallow-water lysianassoids in the Saint Lawrence Estuary, with a review on the fecundity of the Lysianassoidea (Crustacea, Amphipoda). *Canadian Journal of Zoology*, 68(8):1639–1644.
- Schneider, C. A., Rasband, W. S. og Eliceiri, K. W. (2012). NIH image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature Methods*, 9(7):671–675.
- Simboura, N., Nicolaidou, A. og Thessalou-Legaki, M. (2000). Polychaete communities of Greece: An ecological overview. *Marine Ecology*, 21(2):129–144.
- Sólveig R. Ólafsdóttir (2006). Styrkur næringarefna í hafinu umhverfis Ísland. *Fjölrit Hafrannsóknarstofnunar*, 122:26 bls.
- Sólveig R. Ólafsdóttir, Benoit-Cattin, A., Héðinn Valdimarsson, Magnús Danielsen, Guðmundur J. Óskarsson og Þorsteinn Sigurðsson (2013 mars). Vatnsgæði í Kolgrafafirði í kjölfar síldardauða. *Veggspjald kynnt á ráðstefnunni Umhverfismengun á Íslandi – vatn og vatnsgæði, Reykjavík*.
- Smale, D. A., Barnes, D. K., Fraser, K. P., Mann, P. J. og Brown, M. P. (2007). Scavenging in Antarctica: Intense variation between sites and seasons in shallow benthic necrophagy. *Journal of experimental marine biology and ecology*, 349(2):405–417.

- Steele, D. H. og Brunel, P. (1968). Amphipoda of the Atlantic and Arctic coasts of North America: *Anonyx* (Lysianassidae). *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 25(5):943–1060.
- Steingrímur Jónsson (2004). Sjávarhiti, straumar og súrefni í sjónum við strendur Íslands. Þorskeldi á Íslandi. newblock *Fjölrít Hafrannsóknastofnunar*, 111:9–20 bls.
- Steinunn Hilma Ólafsdóttir og Sigmar Arnar Steingrímsson (2007). Kárahnjúka-virkjun: Botndýralíf í Héraðsflóa. Grunnástand fyrir virkjun Jökulsár á Dal og Jökulsár í Fljótsdal. newblock *Fjölrít Hafrannsóknastofnunar*, 141:33 bls.
- Sturdivant, S. K., Díaz, R. J. og Cutter, G. R. (2012). Bioturbation in a declining oxygen environment, in situ observations from wormcam. *PLoS ONE*, 7(4):e34539.
- Sutula, M., Green, L., Cicchetti, G., Detenbeck, N. og Fong, P. (2014). Thresholds of adverse effects of macroalgal abundance and sediment organic matter on benthic habitat quality in estuarine intertidal flats. *Estuaries and Coasts*, 37(6):1532–1548.
- Sverrir Óskar Elefsen (2011). Sjávarfallamælingar í Kolgrafafirði og Dýrafirði. Unnið fyrir Vegagerðina. *Verkfræðistofan Mannvit*, Skýrsla nr. MV 2011-026. Reykjavík.
- Tenore, K. R. og Chesney Jr., E. J. (1985). The effects of interaction on rate of food supply and population density on the bioenergetics of the opportunistic polychaete, *Capitella capitata* (type 1). *Limnology and Oceanography*, 30(6):1188–1195.
- Thamdrup, B., Fossing, H. og Jørgensen, B. B. (1994). Manganese, iron and sulfur cycling in a coastal marine sediment, Aarhus Bay, Denmark. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58(23):5115–5129.
- Thomas, J. (1993). Biological monitoring and tropical biodiversity in marine environments: A critique with recommendations, and comments on the use of amphipods as bioindicators. *Journal of Natural History*, 27(4):795–806.
- Tomassetti, P. og Porrello, S. (2005). Polychaetes as indicators of marine fish farm organic enrichment. *Aquaculture International*, 13(1-2):109–128.
- Valdimar Ingi Gunnarsson (2008). Reynsla af sjókvíaeldi á Íslandi. *Fjölrít Hafrannsóknastofnunar*, 136:46 bls.
- Varpe, Ø., Fiksen, Ø. og Slotte, A. (2005). Meta-ecosystems and biological energy transport from ocean to coast: the ecological importance of herring migration. *Oecologia*, 146(3):443–451.

- Vismann, B., Gamenick, I., Griehaber, M. K. og Giere, O. (1998). Ecophysiological differentiation of *Capitella capitata* (Polychaeta). sibling species from different sulfidic habitats. *Marine Ecology - Progress Series*, (Vol. 175):155–166.
- VSÓ Ráðgjöf. (2012). Þverun fjarða: Áhrif á náttúru, landslag og landnotkun. *Skýrsla unnin fyrir Vegagerðina*, 21 bls.
- Werner, I., Auel, H. og Kiko, R. (2004). Occurrence of *Anonyx sarsi* (Amphipoda: Lysianassoidea) below Arctic pack ice: an example for cryo-benthic coupling? *Polar Biology*, 27(8).
- Þorleifur Eiríksson, Cristan Gallo og Böðvar Þórisson (2012). Botndýrarannsóknir við fiskeldiskvíar í Álfta- og Seyðisfirði í Ísafjarðardjúpi 2012. *Náttúrustofa Vestfjarða*, NV nr. 12-12. 19 bls.
- Þorleifur Eiríksson og Sigurjón Þórðarson (1998). Athuganir á sjó og sjávarbotni vegna frárennslis kítosanverksmiðju Kítín ehf á Siglufirði. Náttúrustofa Vestfjarða, 12:19.
- Þorleifur Eiríksson, Ólafur Ögmundarson, Guðmundur V. Helgason og Böðvar Þórisson (2012). Íslenskir firðir - náttúrulegt lífríki Ísafjarðardjúps og þolmörk mengunar. *Skýrsla Matís. Vinnsla, virðisaukning og eldi*. Náttúrustofa Vestfjarða, Matís og Líffræðistofnun Háskóla Íslands. 58 bls.
- Þórunn Þórðardóttir (1994). Plöntusvif og framleiðni í sjónum við Ísland. Ritstj. Unnsteinn Stefánsson. *Ráðstefnurit* 4:65–88.
- Ævar Petersen og Gunnar Þór Hallgrímsson. (2005). Stöðuskýrsla um náttúrufarsrannsóknir á Breiðafirði. *Náttúrufræðistofnun Íslands*, NÍ 05-014, 66 bls.

A. Viðauki. Botndýrarannsókn í Kolgrafafirði

A.1. Athuganir á vettvangi í Kolgrafafirði 21. júní 2013

Á sýnatökudag var stillt í veðri, nánast logn og lofthiti um 10°C. Botnsetið í sýnunum innan brúar var nánast svart að lit og lyktaði af brennisteinsvetni (H_2S), bæði á yfirborði botnsins og dýpra í honum, sem gefur eindregnar vísbendingar um súrefnisskort í og við botn. Á stöð E4 kom upp með botngreipinni nýdauð síld og mikið sást af skeljabrotum á flestum stöðvum. Stærri dýr eins og krossfiskar og krabbar sáust ekki nema á stöð U1 en þar var mikið af grjóti með ásætum og almennt betra ástand á botninum, sjá töflu A.2. Smáar gróðurleifar, bæði sjávar- og landgróðurleifar, voru fyrirferðamiklar í öllum sýnunum við skoðun undir víðsjá og einnig fundust einstaka hamir skordýra sem hefur skolað út í sjó úr ám og lækjum í firðinum.

Tafla A.1: GPS-hnit stöðva í Kolgrafafirði

Stöð	Lengd	Breidd
A7	64.96331	-23.11678
B0	64.95197	-23.13944
B5	64.94572	-23.13978
B8	64.94601	-23.12399
C4	64.94114	-23.11326
E3	64.93285	-23.10313
E4	64.92607	-23.11153
U1	64.97723	-23.11025
U2	64.98990	-23.08364

Á malarbotni, stöð B0 og U1, kom fyrir að Shipek botngreipin virkaði ekki fullkomlega. Á stöð B0 voru öll sýnin u.þ.b 2/3 af rúmmáli greiparinnar sem gerir allan samanburð erfiðari við hinar stöðvarnar í firðinum þar sem hún grefst dýpra í undirlagið á mjúkum botni. Dýpi stöðvanna, leiðrétt miðað við sjávarföll, var frá um 2,3 metrum upp við fjarðarmynnið til ríflega 30 metra í miðjum firðinum.

Tafla A.2: Athuganir á vettvangi við sýnatökur í Kolgrafafirði 2013. Dýpi var leiðrétt eftir sjávarfallatöflum og er miðað við núllpunkt sjómælinga.

Stöð	Dýpi(m)	Botngerð	Athugasemdir við botngreiparsýni
A7	16.6	Fín leðja	H ₂ S stybba. Fitubrák á yfirborði, dauðar skeljar.
B0	4.5	Malarbotn	H ₂ S keimur, þari.
B5	24.5	Fín leðja	H ₂ S keimur, skeljabrot, svart set, síldarleifar og fituskán á yfirborði.
B8	16.6	Fín leðja	H ₂ S stybba. Fitubrák á yfirborði, dauðar skeljar.
C4	34	Fín leðja	H ₂ S keimur, ljóst, gráleitt set á yfirborði, skeljabrot og steinar.
E3	11.2	Sand- og malarblendin leðja	H ₂ S stybba. svart yfirborð, síldarhræ.
E4	11	Sandblendin leðja	H ₂ S stybba. svart yfirborð, síldarhræ.
U1	5.6	Leðjukennd möl	Lyktarlaust. Auðug áfána.
U2	17.1	Fín leðja	Lyktarlaust. Ljóst lag á yfirborði, mikið um skeljabrot.

A.2. Töflur með talningum úr botngreiparsýnum

Tafla A.3: Samanteknar talningar einstaklinga á stöð úr botngreiparsýnum 2013, flokkar (class).

Class Flokkar	A7	B0	B5	B8	C4	E3	E4	U1	U2
Arachnida									
Mítlar		1	8			2		16	
Ascidacea									
Möttuldýr								26	
Asteroidea									
Krossfiskar								34	
Bivalvia									
Samlokur		17			8		1	88	38
Clitellata									
Ánar		26	9		35	62	107	44	579
Gastropoda									
Sniglar								40	
Hydrozoa									
Hveljur								8	
Malacostraca									
Stórkraubar		1	8			1		189	
Ophiuroidea									
Slöngustörnur						1		42	
Ostracoda									
Skelkraubar								13	
Polychaeta									
Burstaormar	24	268	1253	359	1353	3197	2533	1245	1955
Polyplacophora									
Nökkvar						8		26	
Porifera									
Svampar								8	
Pycnogonida									
Sæköngulær								50	
Samtals									
Fjöldi flokka	1	5	4	1	3	6	3	14	3

Tafla A.4: Samanteknar talningar einstaklinga á stöð úr botngreiparsýnum 2013, burstaoormar, ættir (family).

Family Ætt	A7	B0	B5	B8	C4	E3	E4	U1	U2
Ampharetidae								1	0
Arenicolidae								1	0
Capitellidae	24	166	1247	343	922	2877	2531	27	1257
Cirratulidae		1			35	120		92	147
Cossuridae						1			119
Dorvilleidae									1
Flabelligeridae								9	1
Hesionidae			3	8	65	23		12	11
Maldanidae						6		5	53
Nephtyidae								1	5
Orbiniidae					3			4	55
Oweniidae									3
Paraonidae					17	9		1	35
Pectinariidae		4						6	0
Pholoidae								1	0
Phyllodocidae		12		8	17	13		6	25
Polynoidae		72			35	39	1	503	60
Spionidae		13	3		259	101	1	351	106
Sternaspidae									15
Syllidae						8		156	56
Terebellidae								45	6
Ótilgreint								24	0
Samtals Fjöldi ætta	1	6	3	3	8	10	3	18	17

Tafla A.5: Talningar úr botngreiparsýnum í Kolgráfafræði 2013 uppreiknaðar frá hlutsýnum eftir atvikum og samanteknar úr 3 sýnum á stöð.

Flokkur/Class	Ætt/Family	Tegund/Hópur	A7A	A7B	A7C	B0A	B0B	B0C	B5A	B5B	B5C	B8A	B8B	B8C	C4A	C4B
Arachnida		Acarina sp.					1		8							
Asciacea		Asciacea sp.														
Asterioidea		Asterioidea														
	Echinasteridae	Henricia sanguinolenta														
Bivalvia	Arctidae	Arctica islandica														
	Astartidae	Astarte borealis														
		Bivalvia sp.														
	Mytilidae	Crenella sp.														
	Hiatellidae	Hiatella arctica						17								
	Tellinidae	Macoma calcaria														
	Mytilidae	Musculus						9							2	16
		Oligochaeta														
	Tubificidae	Tubificoides benedii				2	15	1		8						
	Tubificidae	Tubificoides kozloffii														
Gastropoda		Gastropoda ungv.														
	Lepetidae	Lepeta caeca														
	Collonidae	Moelleria costulata														
Hydrozoa	Campanulariidae spp.	Campanulariidae sp.														
Malacostraca		Amphipoda spp.							8							
		amphipoda ungv.														
	Corophiidae	Corophium bonnellii						1								
		Cumacea sp.														
	Majidae	Hyas araneus														
	Ischyroceridae	Protomedeia fasciata														
Ophiuroidea		Ophiuroidea spp.														
Ostracoda	Philomedidae	Philomedes globosus														
Polychaeta	Terebellidae	Ampharete acutifrons														
	Ampharetidae	Ampharete sp.														
	Terebellidae	Amphitrite affinis														
	Terebellidae	Amphitrite cirrata														
	Arenicolidae	Arenicola marina														
	Paraonidae	Aricidea suecica														
	Terebellidae	Axonice maculata														
	Flabelligeridae	Brada inhabilis														
	Flabelligeridae	Brada villosa														
	Capitellidae	Capitella capitata	9	15		4	1	139	439	404	404	46	40	257	207	334
	Cirratulidae	Chaetozone setosa					1								2	
	Cirratulidae	Cirratulus cirratus														
	Cossuridae	Cossura longocirrata														
	Cirratulidae	Dodecaceria concharum														
	Phyllococidae	Eteone longa					7	5					8		2	2
	Phyllococidae	Eteone suecica														
	Polynoidae	Eunoe nodosa					2								10	
	Terebellidae	Eupolymnia nesidensis														
	Syllidae	Exogone hebes														
		Exogone verrugera														
	Syllidae	Flabelligera affinis														
	Flabelligeridae	Flabelligera affinis														

Tafli A5 frh.

Flokkur/Class	Ætt/Family	Tegund/Hópur	A7A	A7B	A7C	B0A	B0B	B0C	B5A	B5B	B5C	B8A	B8B	B8C	C4A	C4B
Polyplocophora Pycnogonida	Polynoidae	Gattyana cirrosa				61										
	Polynoidae	Harmothoe spp.						3								
	Capitellidae	Heteromastus filiformis					1									11
	Terebellidae	Lanassa venusta														
	Polynoidae	Lepidonotus squamatus														
	Paraonidae	Levinsonia gracilis														
	Maldanidae	Maldanidae sp.														
	Capitellidae	Mediomastus filiformis					22									
	Capitellidae	Mediomastus fragilis														
	Hesionidae	Microphthalmus aberrans						3						8	16	16
	Owenidae	Myriochele oculata														
	Nephtyidae	Nephtyidae spp.														
	Hesionidae	Nereimyra punctata														
	Dorvilleidae	Ophryotrocha cf Cosmetandra														
	Orbiniidae	Orbiniidae sp.														
	Pectinariidae	Pectinaria granulata						4								
	Pholoidae	Pholoe sp.														
	Phyllococidae	Phyllococe maculata														
	Phyllococidae	Phyllococidae sp.														
	Terebellidae	Polycirrinae sp.														
	Polynoidae	Polynoida ungv.						5								
	Maldanidae	Praxillella praeternissa														
	Maldanidae	Rhodine gracilior														
	Orbiniidae	Sabellida sp.													1	
		Scoloplos armiger														
	Syllidae	Sphaerosyllis erinaceus														
	Syllidae	Sphaerosyllis ungv.														
	Spionidae	Spionidae					11	2	3						100	66
	Sternaspidae	Sternopsis scutata														
	Syllidae	Syllidae spp.														
	Syllidae	Syllis cornuta														
	Terebellidae	Terebellidae spp.														
	Syllidae	Typosyllis armillaris														
		Polyplocophora spp.														
		Pycnogonida spp.														
		Porifera spp.														

Tafla A5 frh.

Flokkur/Class	Ætt/Family	Tegund/Hópur	C4C	E3A	E3B	E3D	E4A	E4B	E4C	U1A	U1B	U1C	U2A	U2B	U2C
Arachnida		Acarina sp.			2					2	16				
Ascidacea		Ascidacea sp.									24				
Asteroidea		Asteroidea									32	2			
Bivalvia	Echinasteridae	Henricia sanguinolenta												3	1
	Articidae	Artica islandica	8												
	Astartidae	Astarte borealis										8			
	Mytilidae	Bivalvia sp.					1				24				
		Crenella sp.										8			
	Hiatellidae	Hiatella arctica										8	9	7	18
	Tellinidae	Macoma calcaria													
Clitellata	Mytilidae	Musculus		5	41		41	58	8			40	122	58	182
		Oligochaeta										8			
	Tubificidae	Tubificoides benedii	8									1	94	81	42
	Tubificidae	Tubificoides kozloffii	9	16						16	16	19			
Gastropoda		Gastropoda ungv.													
	Lepetidae	Lepeta caeca									8				
	Collonidae	Moelleria costulata									16				
Hydrozoa	Campanulariidae	Campanulariidae sp.									8	1			
Malacostraca		Amphipoda spp.									8	5			
		amphipoda ungv.													
	Corophiidae	Corophium bonnellii		1						7	128	17			
	Majidae	Cumacea sp.								2	8	4			
	Ischyroceridae	Hyas araneus									1				
		Protomedeia fasciata									8				
		Ophiuroidea spp.	1							21	19	2			
Ophiuroidea															
	Philomedidae	Philomedes globosus								5	8				
	Terebellidae	Ampharete acutifrons								1		1			
	Ampharetidae	Ampharete sp.								1					
	Terebellidae	Amphitrite affinis								1					
		Amphitrite cirrata								1					
	Arenicolidae	Arenicola marina										1			
	Paraonidae	Aricidea suecica	17	8						1			8		8
	Terebellidae	Axonice maculata									1				
	Flabelligeridae	Brada inabilis								1		8			
		Brada villosa											1		
Ostracoda	Capitellidae	Capitella capitata	373	208	1280	1389	1177	894	459	3	8	16	129	589	516
Polychaeta	Cirratulidae	Chaetozone setosa	33	119	1					3	33	7	47	58	42
	Cirratulidae	Cirratulus cirratus									24	1	26	77	16
	Cossuridae	Cossura longocirrata		1											
	Cirratulidae	Dodecacerta concharum									24				
	Phyllodoctidae	Eteone longa	13	10	3					2			9	6	2
	Phyllodoctidae	Eteone suecica													
	Polynoidae	Eunoe nodosa		6						10	2	4	8	16	
	Terebellidae	Eupolymnia nesidensis													
	Syllidae	Eteone hebes													
	Syllidae	Exogone verrugera								3			14		8
	Flabelligeridae	Flabelligera affinis										1			
	Oweniidae	Galathowenia oculata											2		

Tafla A5 frh.

Flokkur/Class	Ætt/Family	Tegund/Hópur	C4C	E3A	E3B	E3D	E4A	E4B	E4C	U1A	U1B	U1C	U2A	U2B	U2C
Polynoidae	Polynoidae	Gattiana cirrosa								3	1				
	Polynoidae	Harmothoe spp.								7	83	70	2	10	43
	Capitellidae	Heteromastus filiformis	14	5	20									1	
	Terebellidae	Lanassa venusta											5	1	
	Polynoidae	Lepidonotus squamatus								2	8	1			
	Paronidae	Levinsonia gracilis													
	Maldanidae	Maldanidae sp.			1								1	10	8
	Capitellidae	Mediomastus filiformis											2		1
	Capitellidae	Mediomastus fragilis	8						1					18	2
	Hesionidae	Microphthalmus aberrans	33	9	14					1			2	8	1
	Owenidae	Myriochele oculata													
	Nephtyidae	Nephtyidae spp.								1			2	3	1
	Hesionidae	Nereimyra punctata								2	8	1			
	Dorvilleidae	Ophryotrocha cf. Cosmetandra											1		
	Orbinidae	Orbinidae sp.												1	
	Pectinariidae	Pectinaria granulata								2		4			
	Pholoidae	Pholoe sp.								1					
	Phyllococidae	Phyllococe maculata								1	1	1			
	Phyllococidae	Phyllococidae sp.										1		8	
	Terebellidae	Polycirrinae sp.									16				
	Polynoidae	Polynoida ungv.		8						32	296		5		
	Maldanidae	Praxillella praetermissa		6						5			28	16	7
	Maldanidae	Rhodine gracilior												1	
	Orbinidae	Sabellida sp.									24				
	Orbinidae	Scoloplos armiger	2							4			8	41	5
	Syllidae	Sphaerosyllis erinaceus								3		1			8
	Syllidae	Sphaerosyllis ungv.		8							104				
	Spionidae	Spionidae	93	71	30			1		21	264	66	34	50	22
	Stenaspidae	Stenaspis scutata											3	11	1
	Syllidae	Syllidae spp.								1		36			
Polyplocophora Pycnogonida	Syllidae	Syllis cornuta											1		1
	Terebellidae	Terebellidae spp.									8				
	Syllidae	Typosyllis armillaris									8				
		Polyplocophora spp.		8						13		5			
		Pycnogonida spp.								3	34	13			
		Porifera spp.									8				

A.3. Sigtun og glæðitap

Setgerðarsýnin úr Kolgrafafirði voru varðveitt í etanóli. Ef litið er á mynd A.1 sjást tvær deiglur með ljósara seti hægra megin á myndinni, næstneðst. Þær eru frá stöð U1 sem er steinabotn með aðeins lítilli leðju. Við þurrkun sýnanna í þurrkskáp tók lengstan tíma fyrir U1-sýnin að þorna þar sem þau höfðu hlutfallslega litla leðju miðað við geymsluvökva, etanól. Setgerðarsýnin voru sett í eins lítra dollur og þar sem U1 sýnið var að mestu grjót þurfti meira af etanóli til að fylla þá dollu miðað við þau sýni sem voru að mestu leir en í þeim tilvikum er etanólið bæði í minna magni vegna þéttleika leirsýnisins og með lægra alkóhóhlutfall vegna vatnsmagns í sýninu.

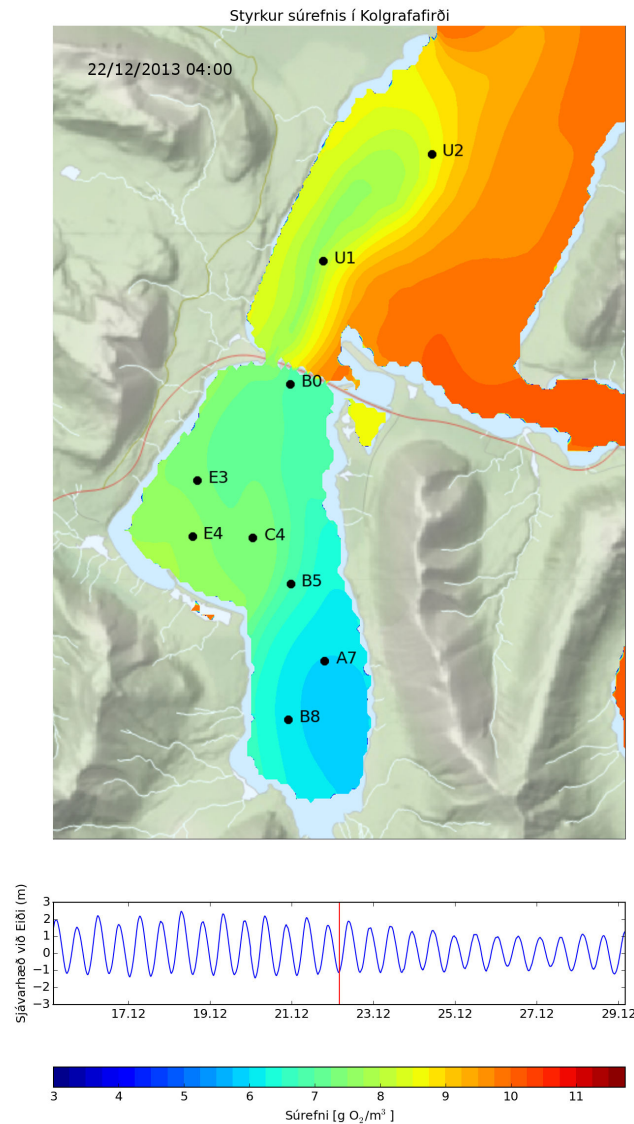
Leirsýnin voru með miklu hærri hlutfall leðju gagnvart etanóli. Ljósra setið var í etanólbaði í þurrkskápnum og þornaði á allt annan hátt ef svo má segja. Hin sýnin þornuðu í duft og setköggla en ljósra setið kristallaðist frekar. Miklar og ertandi gufur komu af setsýnunum í þurrkskápnum. Skynsamlegt hefði verið að minnka etanólmagnið og láta sýnið standa þar til setið hafði sest á botninn og hella þá af því vökva til að minnka þurrkunartímann.



Mynd A.1: Þurrkað og sigtað set < 63 μm . Hér sjást tvær deiglur af fjórum fyrir hverja stöð.

A.4. Súrefnismælingar, líkan

Hér er um að ræða óbirt gögn frá Vatnaskilum ehf. sem byggja á mælingum á súrefnismettun í vatnsbolnum í Kolgrafafirði og sjávarstraumum sem verkfræðistofan vann í samstarfi við Vegagerðina og Hafrannsóknastofnun. Mælingar hófust áður en síldin birtist í firðinum og stóðu fram yfir fyrri síldardauðann. Samanburður mælinga við útreiknaðan styrk var góður að sögn rannsakenda en öll mælitæki sem samanburðurinn byggir á voru innan vegfyllingarinnar í Kolgrafafirði (mynd A.2).



Mynd A.2: Mynd af súrefnisstyrk á útfalli í Kolgrafafirði þann 22.12.2013 04:00. Þetta er þegar fjörðurinn er undir miklu álagi þar sem áætlað mat á magni síldar er um 95 þúsund tonn (um 70 þúsund tonn eru innan vegfyllingar, restin fyrir utan hana). Miðað er við að súrefnisupptaka síldar sé um 0.12 ml súrefnis/grömm fisks/klst en þess skal þó getið að súrefnisupptaka síldar er ekki þekkt og því er mat á magni ekki nákvæmt. Líkanið er tvívítt og sýnir því eingöngu meðalsúrefnisstyrk yfir dýpið. Fullmettun súrefnis í sjó á þessum tíma er við ca. 11.1 g O₂/m³. Myndatexti unninn út frá tölvupóstsamskiptum höfundar og Gísla S. Péturssonar verkfræðings hjá Vatnaskilum ehf. Birt með góðfúslegu leyfi hans.

B. Rannsókn á marflóm við Stykkishólm

Tafla B.1: Talningar úr marflóagildrum við Stykkishólm frá ágúst 2012 til apríl 2013 (mynd 2.3) allar sýnatökur.

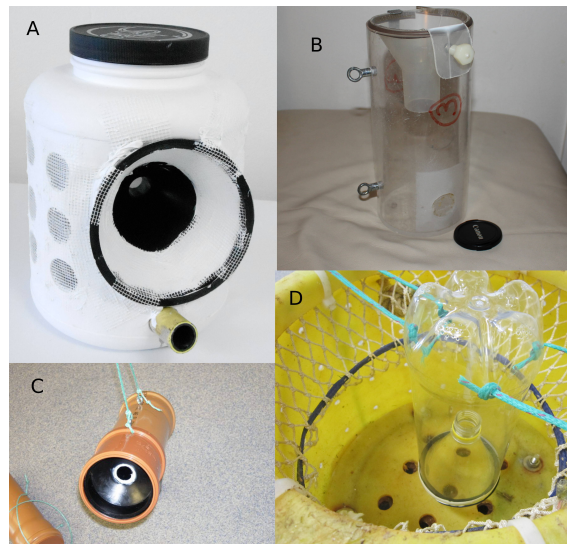
Mánuður/ár	8/12	8/12	9/12	9/12	9/12	9/12	10/12	10/12	10/12	11/12
stöð 1	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0
stöð 2	94	2	24	3	0	46	1	1	3	0
stöð 3	272	14	7	5	13	150	5	30	31	69

	01/13	01/13	01/13	02/13	02/13	02/13	03/13	03/13	04/13	04/13
stöð 1	0	120	3	64	11	134	17	90	68	17
stöð 2	0	980	412	2649	380	685	386	475	162	56
stöð 3	268	408	557	178	165	206	641	391	664	0

B.1. Smíði á marflóagildrum

Nokkrar tilraunir voru gerðar með marflóagildrum þar sem veiðin gekk illa til að byrja með, mynd B.1. Gildrur A og D voru gerðar með mikla hafstrauma í huga, að marflærnar ættu hugsanlega erfitt með að synda inn í gildrurnar, þetta á sérstaklega við um gildru D sem er trektargildra innan í beitukóngsgildru. Gildra A situr á botni, það liggur garðslöngubútur í gegnum hana þar sem kaðall er settur í gegn svo hægt sé að binda hana saman við fleiri gildrur. Í botninn var svo hellt múrblöndu þ.a. gildran héldist frekar stöðug á botninum. Gildra B var notuð í Reykjavík og virkaði vel (Agnar Ingólfsson og Ingi Agnarsson, 1999a) og gildra C var notuð í álíka tilraun á Snæfellsnesi nokkru fyrir þessa rannsókn en ekkert veiddist sem var sennilega vegna þess að sú rannsókn var framkvæmd yfir sumartímann en *Anonyx sarsi* hefur ekki veiðst í gildrur á sumrin hér við land en jafnvel þó það sé vetur getur staðaval skipt máli eins og höfundur fékk að reyna í tilraunastarfsemi sinni frá febrúar til maí 2012.

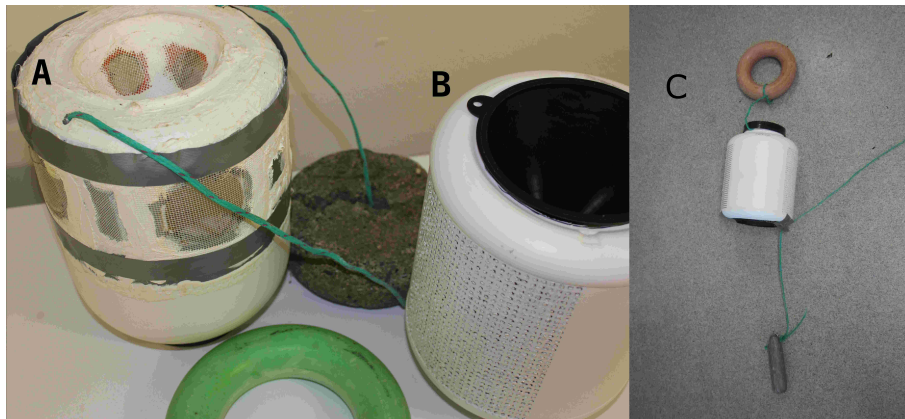
Niðurstaðan var að nota ílát utan um fæðubótarefni sem byggingarefni. Próteinunkarnir henta vel þar sem þeir eru með stóru áskrúfuðu loki sem auðveldar smíðina



Mynd B.1: Mismunandi tilraunir með trektargildrur.

og notkun á vettvangi. Botninn var skorin úr og trekt límd með kíttri á dunkinn þannig að hún vísaði inn. Til að auka flæði lyktar út úr gildrunum var ákveðið að skera út göt á gildrurnar og hylja með glertrefjaneti en það net var iðulega rífið svo því var hætt. Miklar vangaveltur sköpuðust um af hverju netið rifnaði; var miklum straumum um að kenna sem nudduðu gildrunum við botninn á innfalli eða útfalli eða voru það beitukóngarnir *Buccinum undatum* sem rufu netin með skráptungum sínum? Höfundur hallast að því að það sé hið síðarnefnda en einn dag í júní 2012 u.þ.b. fjórum klst. eftir að gildrur voru lagðar út við Skoreyjar (stöð 3) voru þær halaðar upp þá fullar af beitukóngi, um 20 stykki, sem voru að gæða sér á beitunni. Hvernig Beitukóngurinn komst í gildrurnar er forvitnilegt því eins og sést á mynd B.2, gildru C, voru gildrurnar hannaðar þannig að þær svifu yfir botninum. Kannski getur beitukóngurinn skriðið upp snærið og kannski héldust gildrurnar ekki yfir botninum heldur lágu á honum vegna strauma.

Lokaútgáfan af marflóagildru sést á mynd B.2. Fjölmörg göt eru boruð í hana til að auka flæði gegnum hana en það er líklega óþarfi en vegna þess að ekkert veiddist yfir sumarið taldi rannsakandi að auka þyrfti flæðið. Hins vegar þurfa að vera göt efst á gildrunni til að hleypa lofti út þegar henni er sökkt.



Mynd B.2: Hér sést botninn á tveimur gildrum. Gildra B er fest við sökk. Einnig sést glitta í flotholt sem var fest í uppvisandi hluta gildranna svo þær héldust í 30 cm hæð yfir botninum ef straumar lögðu þær ekki niður. Gildra A er með glertrefjaneti sem rifnaði gjarnan í sjónum. Gildra B er með götum sem voru boruð með 2 mm bor. Hún er ekki fullkláruð. Gildra C er lokaútgáfan uppstillt eins og hún átti að virka neðansjávar, flotið heldur henni frá botninum sem sakkann liggur á. Mynd af gildru C: Árni Ásgeirsson.



Mynd B.3: Gildrurnar voru bundnar við sökk (grjót) sem voru festar á kaðal sem var bundinn við akkeri í annan endann og fána í hinn endann. Hér sést höfundur toga upp gildrur á stöð 3 við Skoreyjar. Myndina tók skipstjórinn Símon Már Sturluson.