

Áhrif síldardauða á lífríki botns í Kolgrafafirði

Áfangaskýrsla 31. mars 2016

Róbert A. Stefánsson, Jón Einar Jónsson, Menja von Schmalensee og Jörundur Svavarsson

Inngangur

Veturinn 2012-2013 varð mikill síldardauði í Kolgrafafirði á Snæfellsnesi. Talið er að ríflega 50 þúsund tonn hafi drepist í tveimur aðskildum atvikum vegna súrefnispurrdar. Þetta olli mikilli lífrænni mengun í firðinum og skolaði dauðum botndýrum á land í framhaldinu (Róbert A. Stefánsson og Menja von Schmalensee 2013, Gísli Steinn Pétursson o.fl. 2015).

Markmið

Markmið þessarar rannsóknar er tvíþætt: Annars vegar að meta áhrif síldardauðans og súrefnispurrdar á lífríki fjöru og botns Kolgrafafjarðar með því að bera niðurstöður sýnatöku eftir síldardauðann saman við niðurstöður sams konar sýnatöku árið 1999. Hins vegar að skrásetja hvernig tegundasamsetning og einstaklingafjöldi botndýra jafnar sig eftir áfallið og hversu langan tíma það tekur.

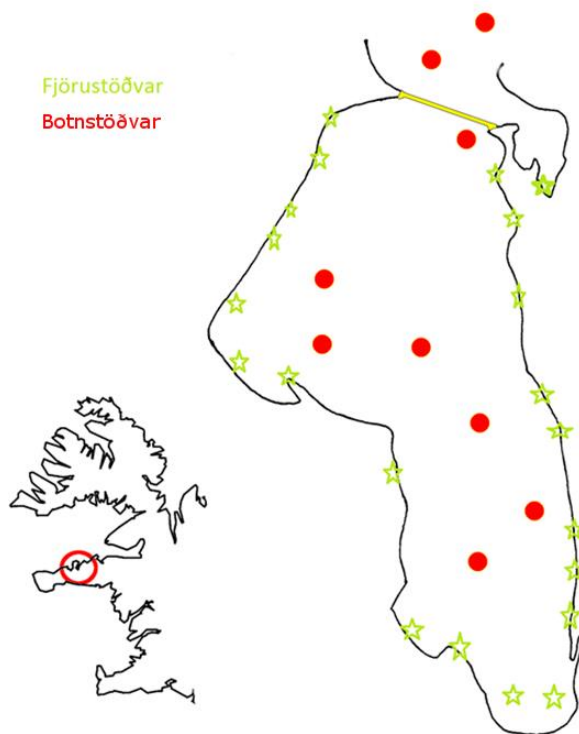
Aðferðir

Sýni voru tekin af botni og úr fjörum í júní 2013, 2014 og 2015.

Sýnataka af botni

Við sýnatöku af botni var fylgt sömu aðferðum og Agnar Ingólfsson (1999) notaði við rannsóknir í Kolgrafafirði. Sýnataka byggir á sýnatöku með botngreip, sem slakað er niður á botn úr báti. Ekki voru þó tekin sýni á öllum sýnatökustöðvum Agnars (1999), heldur voru valdar 7 stöðvar þar sem tegundafjölbreytni var sem mest í fyrri rannsóknum (TWINSPAN-flokkur II) svo auðveldara væri að meta áhrif síldardauðans á lífræðilega fjölbreytni. Dreifing stöðvanna tók mið af dreifingu mengunar (dauðrar síldar) um fjörðinn, þannig að stöðvar féllu bæði innan og utan mengaðasta svæðisins. Á hverri stöð voru tekin þrjú botngreiparsýni sumrin 2013 (21. júní), 2014 (11. júní) og 2015 (18. júní) til að auðvelda tölfræðilegan samanburð milli stöðva en í athugun Agnars var tekið eitt sýni á hverri stöð. Tvær sýnatökustöðvar til viðbótar, sem einkum eru notaðar til viðmiðunar (U1 og U2), voru teknar utan brúar (sjá rauðar doppur á 1. mynd).

Sömu aðferðafræði verður beitt við sýnatöku sumarið 2016, enda bendir flest til að áhrif síldardauðans á lífríki botnsins hafi enn ekki að fullu gengið til baka.



1. mynd. Botnsýni voru tekin á 7 stöðvum sunnan vegfyllingar og brúar í Kolgrafafirði og tveim stöðvum utan brúar (rauðir punktar). Fjörusýni voru tekin á 21 stöð vitt og breitt um fjörðinn (grænar stjörnur).

Sýnataka í fjöru

Valinn var hluti af þeim sýnatökustöðum í fjörum, sem Agnar Ingólfsson (1999) notaði við rannsóknir sínar þegar lífríki í fjöru var kannað, áður en fjörðurinn var þveraður. Valin var 21 stöð í fjöru innan brúar, dreift nokkuð jafnt um fjörðinn (sjá grænar stjörnur á 1. mynd). Sýni voru tekin um og eftir miðjan júnímánuð 2013 (24.-25. júní), 2014 (12.-13. júní) og 2015 (15.-16. júní).

Lögð var áhersla á að kanna bæði fjörustöðvar sem teknar voru um miðbik fjöru árið 1999 (klóbangsbreiður, bólubangsbreiður) og stöðvar neðarlega í fjöru (mismunandi þörungar ríkjandi).

Á hverri fjörustöð var metin hlutfallsleg (%) þekja þörungna og kyrrsætinna dýra á 1x1 m reit. Þekja var metin að næsta tug, en þekja <5% var táknuð sem x. Í þangfjöru voru þörungar skornir af 20x20 cm reit úr miðjum þekjumælingareit og settir í plastpoka. Dýr sem eftir sátu voru tínd upp og sett í viðkomandi poka. Á rannsóknastofu Náttúrustofu Vesturlands var innihald pokans sett í fötu og hlutleyst (borax) formalínblanda sett á sýnið. Á leirum var setið innan 20x20 cm reitsins grafið upp allt niður á 10 cm dýpi í setinu og það síðan sigtað í gegnum sigti með 1 mm möskva. Það sem eftir sat í sigtinu var varðveitt í 5% hlutleystu formalíni.

Á rannsóknastofu verða sýni af 20x20 cm reitum hreinsuð í 1 mm sigti og dýr síðan talin og greind til tegundar undir víðsjá.

Þar sem slíkt var mögulegt (á leirum, sandi og mól inn á milli klappa) var enn fremur tekinn 10 cm djúpur og 5 cm breiður setkjarni. Hann var frystur strax eftir sýnatöku og síðar notaður til að meta magn lífræns kolefnis/fituagna í setinu.

Ekki er gert ráð fyrir sýnatöku úr fjörum sumarið 2016, enda talið að sýnataka fyrri ára og yfirstandandi úrvinnsla svari spurningum sem lagt var upp með.

Flokkun og greining sýna

Langstærsti hlutinn af framkvæmd verkefnisins felur í sér flokkun og greiningu botndýra, sem fram fer á rannsóknastofu. Vegna þess hversu sýnin eru stór og greiningar seinlegar er hverju sýni (þrjú sýni eru á hverri stöð) skipt í fjóra jafn stóra hluta með þar til gerðu tæki og einn þeirra greindur. Hvert sýni er litað með Bengal Rose sem litar dýrin rauðleit til að auðvelda það að finna þau í sýninu. Litlum hluta sýnis í einu er hellt í bakka og sýnileg dýr tínd úr. Sýnið er svo skoðað mjög nákvæmlega undir víðsjá og dýr strax flokkuð í helstu hópa og síðar greind til tegundar þegar hægt er, en annars til stærri hópa. Þessari vinnu er lokið fyrir sýni sem tekin voru af botni í júní 2013 og voru hluti af meistaraþrófsritgerð Valtýs Sigurðssonar við Líf- og umhverfisvísindadeild Háskóla Íslands, sem varin var vorið 2015 (sjá ritgerð hér: <http://hdl.handle.net/1946/21894>). Þar með lauk þeim verkhluta sem snýr að samanburði lífríkis botns í Kolgrafafirði fyrir og eftir síldardauðann veturinn 2012-2013.

Meðhöndlun sýnanna frá 2014 er hafin og hefur þegar verið flokkað úr 10 sýnum af 21 (7 stöðvar innan brúar, 3 greiparsýni á hverri stöð) sem tekin voru þá. Vegna breytinga á starfsmannahaldi varð hlé á greiningum en nýlega hófust þær af krafti á ný. Gert er ráð fyrir að ljúka flokkun og greiningu allra botnsýnanna frá árunum 2014 og 2015 í júlí 2016.

Þörungar í fjörum voru þekjumældir og greindir eins og hægt var við sýnatöku en nokkuð af þörungum geymt til frekari greiningar. Greiningar á vafaatriðum í sýnum frá 2013 og 2014, auk nákvæmrar greiningar á smáþörungum, hófust í mars 2015 og eru hluti af B.S. verkefni Hinriks Konráðssonar við Landbúnaðarháskóla Íslands, undir leiðsögn Karls Gunnarssonar á Hafrannsóknastofnun og Róberts A. Stefánssonar á Náttúrustofu Vesturlands. Hinrik mun ljúka verkefninu í maí 2016. Smádýrasýni úr fjörum eru í geymslu og bíða greiningar.

Úrvinnsla

Niðurstöður um fjölda einstaklinga af hverri tegund eða hverjum hópi í hverju sýni eru slegnar inn í gagnagrunn. Tegundasamsetning og fjöldi einstaklinga eru síðan borin saman á milli stöðva og ára. Við úrvinnsluna er lögð megináhersla á tvennt: a) Hvaða áhrif hafði síldardauðinn á tegundasamsetningu og einstaklingsfjölda? Þessari spurningu hefur þegar verið svarað í M.S. ritgerð Valtýs Sigurðssonar (2015). b) Hvernig breytist tegundasamsetning og einstaklingsfjöldi á milli ára og hversu mörg ár líða þar til lífríki botnsins er orðið svipað og það var fyrir síldardauðann?

Niðurstöður um tegundasamsetningu og þekju fjörubörunga verða slegnar inn í gagnagrunn og bornar saman við niðurstöður greininga Agnars Ingólfssonar (1999).

Staða verkefnisins og næstu skref

Sýni voru tekin úr fjörum og af botni í júní 2013, 2014 og 2015. Sams konar sýnatökur verða endurteknar af botni Kolgrafafjarðar í júní 2016 en ekki eru áformaðar frekari sýnatökur úr fjörum.

Fjörusýni: Sýnatökustöðvum var lýst við sýnatöku og þekja þörunga metin. Þau gögn hafa verið skráð í gagnagrunn. Nákvæm greining á öllum smáþörungum í sýnum af einni stöð 2013 og 13 stöðvum 2014 er lokið. Dýrasýni úr fjörum eru varðveitt í geymslu til greininga síðar.

Botnsýni: Flokkun og greiningu sýna frá 2013 er lokið. Meistaraprófsritgerð með niðurstöðunum var varin við Háskóla Íslands vorið 2015. Flokkun og greining sýna frá 2014 er langt komin og flokkun og greining sýna frá 2015 verður lokið sumarið 2016. Gert er ráð fyrir að skrifa vísindagrein um niðurstöðurnar árið 2017, sem birt verður í alþjóðlegu vísindariti.

Verkefnið hefur þrisvar sinnum fengið vilyrði fyrir styrkjum frá Vegagerðinni, samtals 3,5 milljónir. Þar af hafa ríflega 1,4 milljónir þegar verið nýttar en eftirstöðvarnar, tæplega 2,1 milljón (1. tafla), verða nýttar til að klára flokkun og greiningu allra botnsýna sem tekin voru á árunum 2014 og 2015 og standa straum af útlögðum kostnaði vegna sýnatöku í júní 2016. Þeirri vinnu ætti að ljúka um mitt ár 2016. Af þessu má sjá að fyrirhugað er að nýta allan styrkinn frá Vegagerðinni.

1. tafla. Vilyrði fyrir styrk og greiðslur til verkefnisins frá Vegagerðinni árin 2013-2015. Gert er ráð fyrir að klára eftirstöðvar styrkfjár á árinu 2016.

Dagsetning og ár	Styrkveiting frá Vegagerðinni	Greitt af Vegagerðinni	Skýring
4.6.2013	500.000		
9.7.2013		200.000	Sýnataka
18.9.2013		200.000	Úrvinnsla
4.3.2014	1.500.000		
30.4.2014		100.000	Úrvinnsla
26.6.2014		150.000	Sýnataka
5.3.2015	1.500.000		
26.6.2015		621.321	Úrvinnsla
20.7.2015		150.000	Sýnataka
<i>Samtals</i>	<i>3.500.000</i>	<i>1.421.321</i>	
<i>Ónýttur styrkur</i>		<i>2.078.679</i>	

Niðurstöður og umræða

Eftirfarandi samantekt á niðurstöðum og helstu ályktunum sem dregnar eru af fyrirbyggjandi gögnum byggir að langmestu leyti á meistaraprófsritgerð Valtýs Sigurðssonar (2015).

Í sýnum frá árinu 2013 voru alls talin 13.683 eintök og af þeim voru 11.091 greind til 54 tegunda, öll önnur eintök voru greind í safnhópa; ættir (family) alls 1.775 og í flokka (class) 817 eintök. Fjöldi tegunda/safnhópa í botngreiparsýnunum var 84, af 37 ættum og 14 flokkum. Innan brúar fundust 27 tegundir/safnhópar og var fjöldi tegunda frá einni á stöð A7 til 19 á stöð E3. Flestar tegundir/safnhópar voru fyrir utan brú, alls 81, þar af 61 á stöð U1 en 31 á stöð U2. Burstaormar voru ríkjandi á öllum stöðvum með 22 tegundir/safnhópa og voru 89% allra eintaka en 68% allra burstaorma voru af tegundinni *Capitella capitata* (2. tafla og 2. mynd). Ánar voru áberandi á flestum stöðvum en aðrir hópar voru sjaldgæfari. Flest eintök fundust innan brúar á stöð E3 (3.271) en þar af voru 2.877 einstaklingar af *C. capitata*. Sú tegund var frá 46-100% eintaka í sýnum innan brúar og um það bil helmingur eintaka á stöð U2 utan brúar. Engar samlokur (Bivalvia) fundust í sýnunum frá 2013 en þær voru um fimmtungur dýra í sýnum árið 1999 (2. mynd).

Líffræðileg fjölbreytni í botninum minnkaði mikið eftir síldardauðann (3. mynd) á öllum stöðvum nema einni en sú var næst vegfyllingunni og ekki fyllilega sambærileg við aðrar stöðvar vegna

frábrugðinnar botngerðar. Hins vegar var fjöldi einstaklinga á flatareiningu, óháð tegund, ekki mjög frábrugðinn á milli áranna tveggja (4. mynd).

Árið 2013 fundust fæstar tegundir á stöðvunum innst í firðinum. Þær voru á lygnu svæði með hæsta hlutfall leirs. Aðeins ein tegund fannst á stöð A7 og þrjár tegundir á stöð B8 en ásamt *C. capitata* voru það burstaormarnir *Microphthalmus aberrans* og *Eteone 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, 1999). Um 20 samlokutegundir fundust þá á því svæði en þær halda mest til í leðjubotni. Aðeins þrjár samlokutegundir (*Macoma calcarea*, *Arctica islandica*, auk einnar ógreindrar) fundust í öllum firðinum innan brúar árið 2013 og ræðst þessi mikla tegundafæði í Kolgrafafirði að miklu leyti af því að flokkur samloka (Bivalvia) nánast þurrkaðist út ásamt stókröbbum (Malacostraca: tífættir krabbar, jafnfætlur og marflær) og sniglum (Gastropoda). Burstaormurinn *Capitella capitata* var aftur á móti næstum einráður á sumum sýnatökustöðvum 2013, en aðeins fannst einn einstaklingur af þeirri tegund í öllum firðinum árið 1999, reyndar ekki á einni af þeim sýnatökustöðvum sem notaðar voru 2013.

Fyrstu athuganir á botnsýnum sem tekin voru sumarið 2014 benda til að lífríkið hafi þá tekið framförum frá 2013 og að fjölbreytileikinn hafi tekið að aukast, þótt enn sjáist mikil áhrif af völdum síldardauðans.

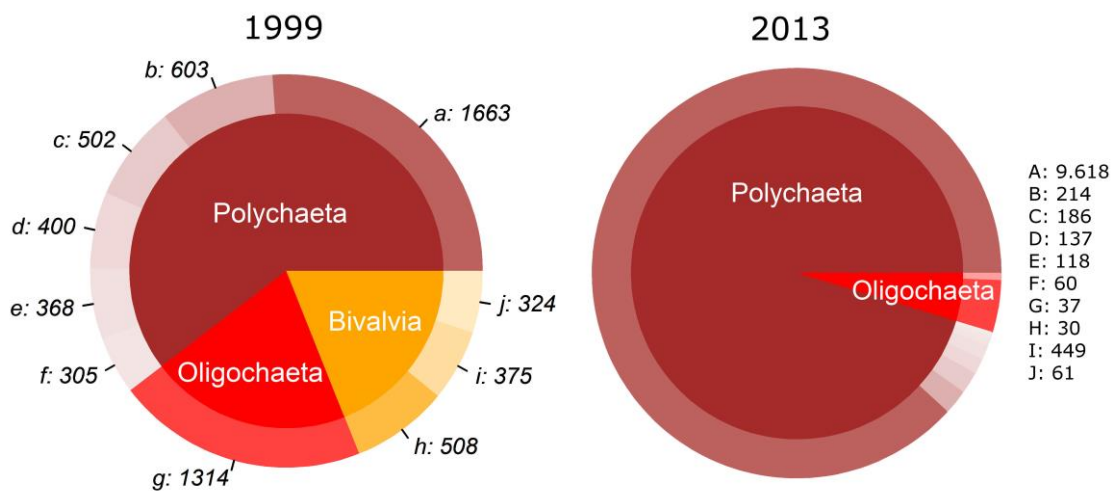
Ekki er vitað til þess að áhrifa súrefnisþurrðar hafi gætt í íslenskum firði til lengri tíma fyrr en nú og þá aðeins á miklu minni skala, t.d. undir fiskeldiskvíum. Víða um heim eru svokölluð dauð svæði þar sem viðvarandi súrefnisþurrð er vaxandi vandamál (Diaz og Rosenberg 2008). Búast má við að samsetning botndýralífsins í Kolgrafafirði fylgi líkani Pearsons og Rosenberg (Pearson og Rosenberg 1978) um framvindu í kjölfar breytinga á álago á botninn. Gæði sjávarbotnsins byggja á mismunandi virkni ólíkra dýrahópa sem plægja og endurnýta botnsetið sem annars verður súrefnisríkt og brennisteinsríkt umhverfi, sem er eitrad flestum lífverum. Burstaormurinn *C. capitata* þrífst í setinu þrátt fyrir að setið sé brennisteinsríkt, en hann er þekktur fyrir að ná miklum þéttleika á svæðum með lífræna mengun (Wade ofl. 1972). Hann grefur göng um botninn og endurvinnur setið sem eykur flæði sjávar og þar með súrefnis um það. Við þetta afeitrast súlfíð og aðstæður skapast fyrir aðrar tegundir botnsjávardýra, sem verða algengari ef að líkum lætur þegar aðstæður skána (Vismann o.fl. 1998).

Í ljósi niðurstaðna rannsókna við fiskeldiskvíar á Vestfjörðum (Þorleifur Eiríksson o.fl. 2012) 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 álago og vatnaskipti eru góð (Gísli S. Pétursson o.fl. 2015). 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.

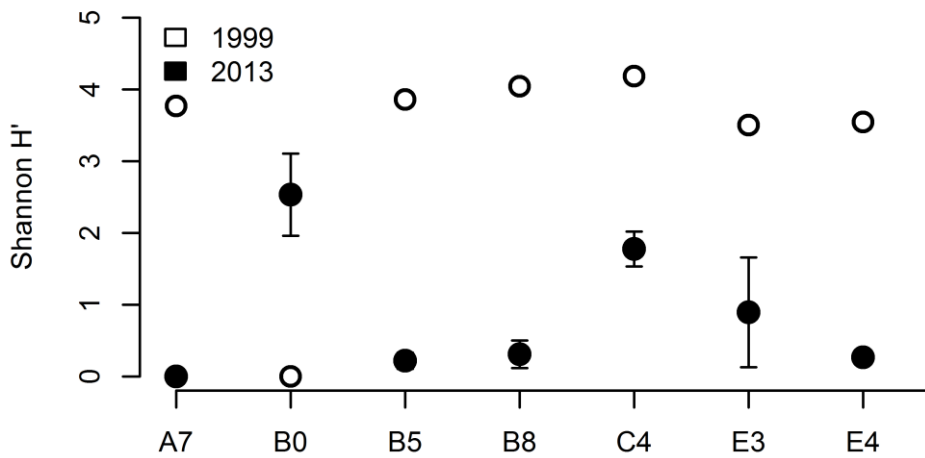
Síldardauði á við þennan á sér enga hliðstæðu hvað magn varðar og enn fáheyrðara er að til séu gögn um svæðið frá því fyrir slíkan atburð. Ljóst er því að hér er er einstakt tækifæri til rannsókna og telja höfundar mikilvægt að fylgjast áfram með framvindunni.

2. tafla. Fjöldi dýra sem greindur var á stöðvunum 7 innan brúar og 2 utan brúar (U1 og U2). Burstaormar (Polychaeta) voru fjölliðaðasti hópurinn og af þeim voru 68% einstaklinga af einni tegund *Capitella capitata*.

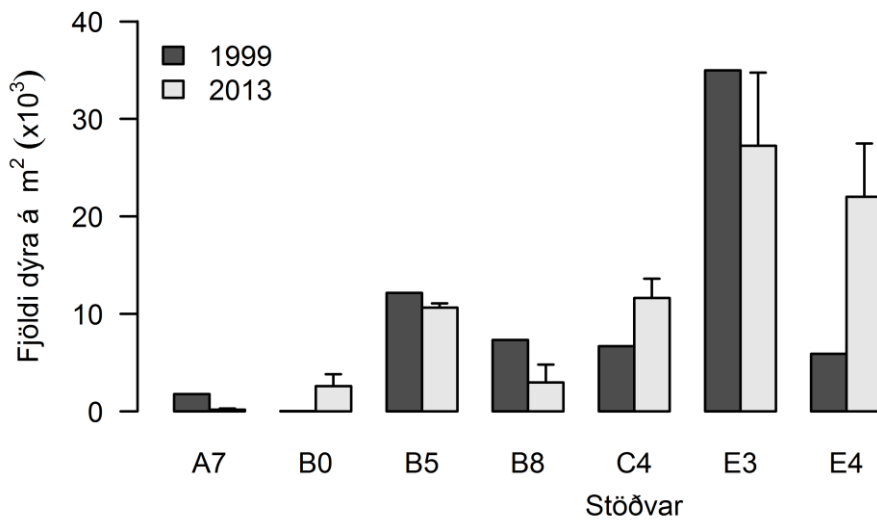
Class Flokkar	A7	B0	B5	B8	C4	E3	E4	U1	U2
Arachnida									
Mítlar		1	8			2		16	
Ascidiacea									
Möttuldýr								26	
Asteroidea									
Krossfiskar								34	
Bivalvia									
Samlokur		17			8		1	88	38
Clitellata									
Ánar		26	9		35	62	107	44	579
Gastropoda									
Sniglar								40	
Hydrozoa									
Hveljur								8	
Malacostraca									
Stórkrabbar		1	8			1		189	
Ophiuroidea									
Slöngustörmur						1		42	
Ostracoda									
Skelkrabbar								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



2. mynd. Tíu algengustu tegundir á botni Kolgrafafjarðar árin 1999 (Agnar Ingólfsson 1999) og 2013 (Valtýr Sigurðsson 2015) á þeim sjö stöðvum sem voru notaðar til samanburðar. Polychaeta=burstaormar, Oligochaeta=ánar, Bivalvia=samlökur. a: *Polydora sp.*, b: *Spionidae*, c: *Scalibregma inflatum*, d: *Chaetozone setosa*, e: *Levinsenia gracilis*, f: *Terebellides stroemi*, g: *Oligochaeta*, h: *Nuculana tenuis*, i: *Mytilus edulis*, j: *Macoma calcaria*. A: *Capitella capitata*, 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. Heiti dýra sem voru á meðal 10 algengustu bæði árin eru lituð blá.



3. mynd. Líffræðileg fjölbreytni (Shannon H'), reiknuð fyrir sýnatökustöðvarnar árin 1999 og 2013. Fjölbreytileiki dýra minnkaði verulega eftir síldardauðann.



4. mynd. Þéttleiki einstaklinga (fjöldi á fermetra) á botni Kolgrafafjarðar árin 1999 og 2013. Yfirgnæfandi meirihluti dýra í sýnunum árið 2013 voru af aðeins einni tegund, burstaorminum *Capitella capitata*.

Tilvitnanir

Agnar Ingólfsson (1999). Rannsóknir á lífríki í Kolgrafafirði. Fuglar, fjörur og sjávarbotn. Fjölrit Líffræðistofnunar Háskólans nr. 47. 58 bls.

Diaz, R. J., & Rosenberg, R. (2008). Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. *Science*, 321(5891), 926-929.

Gísli Steinn Pétursson, Sveinn Óli Pálmarsson, Helgi Gunnar Gunnarsson (2015). Kolgrafafjörður. Rannsókn á umhverfisaðstæðum og súrefnisbúskap við síldargöngur. Skýrsla nr. 15.11 unnin fyrir Vegagerðina. Verkfræðistofan Vatnaskil. 276 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.

Pearson, T. H., & Rosenberg, R. (1978). Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev*, 16, 229-311.

Róbert A. Stefánsson og Menja von Schmalensee (2013). Síld og fuglar í Kolgrafafirði. *Fuglar* 9: 36-43.

Valtýr Sigurðsson (2015). Áhrif lífrænnar mengunar á lífríki sjávarbotns í Breiðafirði. M.S. ritgerð við Líf- og umhverfisvísindadeild Háskóla Íslands. 63 bls. <http://hdl.handle.net/1946/21894>.

Vismann, B., Gamenick, I., Griehaber, M. K., & Giere, O. (1998). Ecophysiological differentiation of *Capitella capitata* (Polychaeta). Sibling species from different sulfidic habitats. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 175, 155-166.

Wade, B. A., Antonio, L., & Mahon, R. (1972). Increasing organic pollution in Kingston harbour, Jamaica. *Mar. Pollut. Bull.*, 3, 106-111.

Þorleifur Eiríksson, Ólafur Ögmundurson, 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.