

HAF- OG VATNARANNSÓKNIR

MARINE AND FRESHWATER RESEARCH IN ICELAND

Botndýralíf í nærumhverfi sjókvíaeldisstöðva
í Skutulsfirði og Álftafirði í Ísafjarðardjúpi í júní 2018

*Stefán Áki Ragnarsson, Hildur Magnúsdóttir, Hjalti Karlsson,
Rakel Guðmundsdóttir og Laure de Montety*

Botndýralíf í nærumhverfi sjókvíaeldisstöðva í Skutulsfirði og Álftafirði í Ísafjarðardjúpi í júní 2018

Höfundar	Stefán Áki Ragnarsson, Hildur Magnúsdóttir, Hjalti Karlsson, Rakel Guðmundsdóttir og Laure de Montety
Verkefnisstjóri	Hjalti Karlsson
Yfirlit af	Pórður Örn Kristjánsson
Samþykkt af	Jónas Páll Jónasson sviðsstjóri Botnsjávarsviðs

Haf- og vatnarannsóknir / Marine and Freshwater Research in Iceland

Númer	HV 2025-40	ISSN	2298-9137
Dagsetning	28. nóvember 2025	Dreifing	Opin
Fjöldi síðna	21	Verknúmer	10840

© Hafrannsóknastofnun, rannsókn- og ráðgjafarstofnun hafs og vatna

Ágrip

Í skýrslunni er greint frá niðurstöðum úr leiðangri sem fór fram í júní 2018 í Skutulsfirði og Álftafirði í Ísafjarðardjúpi. Í leiðangrinum var ástand botndýralífs á nærsvæðum sjókvíaelissvæða í þessum fjörðum rannsakað, en einnig var markmiðið að prófa ýmsar sýnatökuaðferðir áður en reglubundin árleg vöktun og sýnataka hæfist um haustið. Í Skutulsfirði voru sýni tekin með botngreip (27) og kjarna (21) í 0-600 m frá sjókvíaelisstöð. Botndýralíf upp við kvíar í Skutulsfirði var mjög fábrotið og fundust þar einungis tíu tegundir en meðalfjöldi tegunda frá öllum öðrum stöðvum var 41. Að undanskildum burstaormategundunum *Malacoceros fuliginosus* og *Capitella capitata*, sem eru þekktar fyrir að sækja í svæði þar sem ofauðgun á sér stað, fundust allar aðrar tegundir í lágum fjölda upp við kvíar. Engin greinanleg áhrif fundust af eldinu þegar komið var lengra en 50 m frá sjókvíaelisstöð. Í Álftafirði voru tekin 19 botngreiparsýni í 0-500 m frá sjókvíaelisstöð. Nokkur munur var á gerð botndýralífs sunnan og norðan kvíastæðis en engin skýr merki fundust um áhrif eldis á botndýralíf.

Lykilorð: umhverfisáhrif, botndýr, hryggleysingar, fiskeldi, sjókvíaeli, lífrænt álag, tegundafjölbreytileiki

Abstract

*This report presents the results of a research survey carried out in June 2018 at fish farming sites in Skutulsfjörður and Álftafjörður in Ísafjarðardjúp. The objective of the survey was to test various sampling methods prior to the initiation of annual sampling each autumn. In Skutulsfjörður, 27 samples were collected with a benthic grab and 21 with a corer at distances from 0 to 600 m from the nearest pens. The benthic fauna in samples collected closest to the pens was poor with only 10 species recorded. Except for the polychaete species *Malacoceros fuliginosus* and *Capitella capitata*, which are known to colonise areas affected by eutrophication, all other species were found in low densities closest to the pens. No clear impacts of fish farming were observed at distances greater than 50 m from the pens. In Álftafjörður, a total of 19 benthic grab samples were collected at distances of 0-500 m from the pens. The benthic community structure differed somewhat between the north and south of the pens but no clear impacts of fish farming on benthic communities were detected.*

Keywords: Environmental impact, benthos, benthic invertebrates, aquaculture, mariculture, organic pollution, species diversity

Efnisyfirlit

1 Inngangur	1
2 Aðferðir	1
2.1 Rannsóknarsvæði	1
2.2 Sýnatökuaðferðir	1
2.3 Tölfræðileg úrvinnsla	4
3 Niðurstöður	5
3.1 Skutulsfjörður	5
3.2 Álftafjörður	9
4 Umræður	10
5 Niðurlag	11
Heimildir	12
Viðauki 1: Tegundafjöldi og fjölbreytileikavísitölur í Skutulsfirði í Ísafjarðardjúpi	14
Viðauki 2: Tegundafjöldi og fjölbreytileikavísitölur í Álftafirði í Ísafjarðardjúpi	17
Viðauki 3: Tegundalisti	20
Viðauki 3: Tegundalisti (framhald)	21

Myndaskrá

Mynd 1. Sýnatökustöðvar og eldissvæði í Skutulsfirði og Álftafirði	2
Mynd 2. Söfnunartæki notuð í verkefninu	4
Mynd 3. MDS margþáttagreining (multidimensional scaling) á botndýrasýnum úr Skutulsfirði	5
Mynd 4. Fjölbreytni botndýralífs í Skutulsfirði miðað við fjarlægð (m) frá kvíastæði.....	6
Mynd 5. Algengustu burstaormategundirnar í Skutulsfirði miðað við fjarlægð (m) frá kvíastæði	7
Mynd 6. Áhrif umhverfispáttá á samfélagsgerð botndýra í Skutulsfirði.....	8
Mynd 7. Margþáttagreining (multidimensional scaling) á botndýrasýnum úr Álftafirði.....	9
Mynd 8. Fjölbreytni botndýralífs í Álftafirði miðað við fjarlægð (m) frá kvíastæði	10

Töfluskrá

Tafla 1. Áhrif umhverfispáttá á samfélagsgerð botndýra í Skutulsfirði.....	8
--	---

1 Inngangur

Við fiskeldi í opnum eldiskvíum fellur til botns margvíslegur úrgangur (m.a. fóðurleifar) sem getur valdið ofauðgun sets, þ.e. staðbundinni aukningu í styrk næringarefna. Við slíkar aðstæður geta orðið margvíslegar efnafræðilegar breytingar efstu lögum botnsetsins, svo sem lækkun í styrk súrefnis, sem margar tegundir botndýra þola illa. Á hinn bóginn geta aðrar tegundir botndýra, sérstaklega meðal burstaorma og krabbadýra, þrífist við slíkar aðstæður og þeim fjölgað ört. Ef áhrif af eldi greinast á botndýralíf, eru þau vanalega mest undir og í næsta nágranni kvía. Stærð áhrifasvæðis ræðst af nokkrum þáttum, s.s. hvernig straumar dreifa úrganginum, sem og hve viðkvæmar tegundir á svæðinu eru fyrir ofauðgun (t.d. Kutti o.fl. 2007a, Bannister o.fl. 2016, Stefán Áki Ragnarsson o.fl. 2024).

Í þessari skýrslu er fjallað um niðurstöður leiðangurs sem farinn var í júní 2018, þar sem lífríki botns í nærumhverfi eldissvæða í Skutulsfirði og Álftafirði var kannað. Leiðangurinn sem skýrslan byggir á var hluti af forkönnun til undirbúnings fyrir hina árlegu vöktun sem hófst um haustið. Það er ljóst að áhrif af sjókvíaeldi geta náð yfir stærra svæði en hér er rannsakað, en slík fjaráhrif er einmitt fjallað ítarlegar um í nýlegri skýrslu Hafrannsóknastofnunar (Stefán Áki Ragnarsson o.fl. 2024).

2 Aðferðir

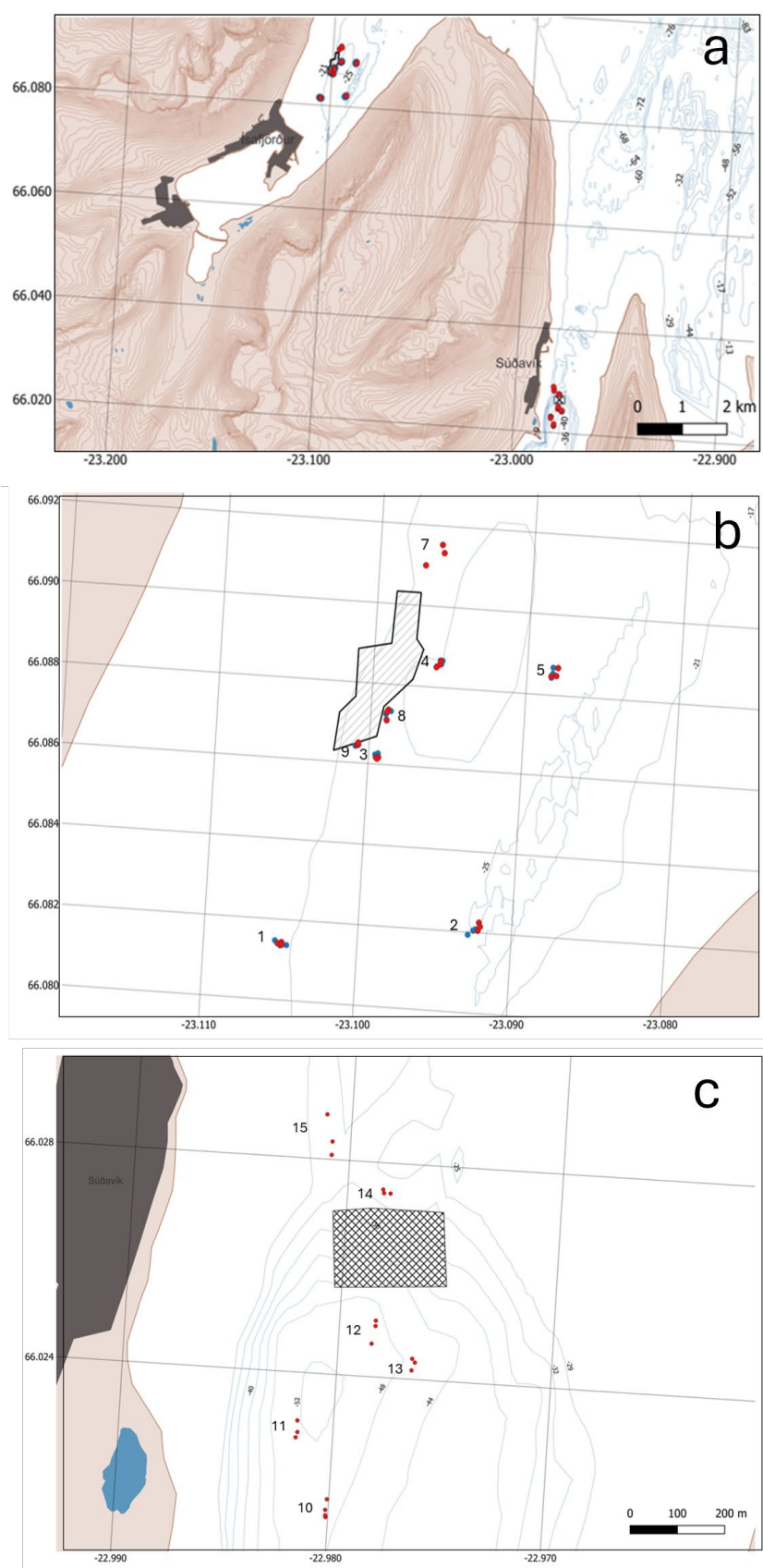
2.1 Rannsóknarsvæði

Rannsóknin fór fram í Skutulsfirði og Álftafirði (Mynd 1), sem eru innfirðir í Ísafjarðardjúpi. Skutulsfjörður er 24,7 km² að flatarmáli, 7,5 km langur og dýpi er á bilinu 15-24 m og við hann stendur Ísafjarðarkaupstaður (Rakel Guðmundsdóttir o.fl. 2020). Í Skutulsfirði hefur verið stundað eldi á þorski og regnbogasilung með hléum frá 1994 (Valdimar Ingi Gunnarsson 2008, Valdimar Ingi Gunnarsson og Kristján G. Jóakimsson 2015).

Álftafjörður er næsti fjörður austan við Skutulsfjörð og er um 5,8 km langur og við hann stendur Súðavíkurkaupstaður. Í Álftafirði lá eldissvæðið (0,32 km²) í kanti um 380 m frá Súðavík, á 33-42 m dýpi. Þar hefur verið stundað eldi á þorski með hléum síðan 2001 (Valdimar Ingi Gunnarsson 2008).

2.2 Sýnatökuaðferðir

Dagana 4.-6. júní 2018 fór fram gagnasöfnun á leigubáti, Val ÍS-20, í Skutulsfirði (Mynd 1a og b) og Álftafirði (Mynd 1a og c) í Ísafjarðardjúpi. Botninn í báðum fjörðum var myndaður með neðansjávarmyndavél á lítilli myndavélargrind (Mynd 2a). Samtals var myndbandsefni safnað á níu sniðum í Skutulsfirði en sex í Álftafirði og var lengd sniða á bilinu 80-870 m. Gögn úr myndatökunni voru notuð til að meta hvort svæðið væri heppilegt fyrir sýnatöku með botngreip eða kjarnataka en voru ekki greind frekar.



Mynd 1. Sýnatökustöðvar og eldissvæði í Skutulsfirði og Álftafirði í Ísafjarðardjúpi. Sýni voru tekin með botngreip (rauðir hringir) og kjarnataka (bláir hringir) í Skutulsfirði (a,b) og Álftafirði (a,c) í júní 2018. Tölur tákna númer stöðvar.

Í báðum fjörðum voru sýni tekin með botngreip til að rannsaka samsetningu og þéttleika botndýra. Sýni voru tekin upp við kvíarnar, sem og fjær þeim en mesta fjarlægð frá kví var um 600 m í Skutulsfirði en 500 m í Álftafirði. Notaðar voru tvær greipar við söfnun; Shipek botngreip (Mynd 2b) sem safnar 0,04 m² af flatarmáli sjávarbotns og Petit Ponar greip frá Wildco sem hefur minna söfnunarflatarmál (0,023 m²), (Mynd 2c). Á hverri stöð voru tekin þrjú greiparsýni. Staðsetning og sýnatökutími hvers sýnis var skráður niður og það síðan sigtað í gegnum sigti með 500 μ m möskvastærð. Þau botndýr sem urðu eftir á sigtinu voru geymd í 4% formaldehýð lausn (10% formalín). Á rannsóknarstofu í landi var formalínið skolað úr sýnunum og þau síðan geymd í etanóli. Við úrvinnslu sýnanna voru fyrst allir hryggleysingar tíndir úr og þeir flokkaðir í megin dýrahópa, sem síðan voru greindir til tegundar eða ættkvíslar (sjá frekari upplýsingar um söfnunaraðferðir í Stefán Áki Ragnarsson o.fl. 2024). Setsýni með kjarnataka (gravity corer) voru tekin til að mæla ýmsa efnaferla í efstu fimm sentimetrum kjarnanna (Mynd 2d); þykkt súrefnislags (O₂), afoxunarmætti (e. redox potential, E_h), sýrustig (pH) og styrk brennisteinsvetnis (H₂S), (sjá frekari upplýsingar í Rakel Guðmundsdóttir o.fl. 2020 og Stefán Áki Ragnarsson o.fl. 2024).

Í Skutulsfirði voru tekin sýni með Shipek greip (Mynd 2b) á níu stöðvum (27 sýni) og kjarnataka (Mynd 2d) á sjö stöðvum (21 sýni), (Mynd 1b). Kvíastæðið var á 20-25 m dýpi og var minnsta fjarlægð frá Ísafjarðarkaupstað 1,2 km en lengd kvíastæðisins var um 500 m. Á stöð 9 var báturinn bundinn við eina kvína til að fá sýni sem næst henni og voru bæði greipar og kjarnasýni tekin þar (Mynd 1b). Af þessum sýnum var mikil brennisteinslykt (súlfíð) auk þess sem þau voru kolsvört á litinn. Vegna grófs botnlags var ekki hægt að taka sýni með Shipek greip í Álftafirði og því var notuð Wildco Petit Ponar greip (Mynd 2c). Ekki var heldur hægt að safna setsýnum með kjarnataka. Í Álftafirði voru sýni með botngreip tekin á sex stöðvum, í allt 19 sýni því á stöð 10 voru tekin fjögur sýni en þrjú annars staðar (Mynd 1c).



Mynd 2. Söfnunartæki notuð í verkefninu: a) myndavélagrind, b) Shipek botngreip, c) Petit Ponar (wildco.com) og d) heimasníðaður kjarnataki.

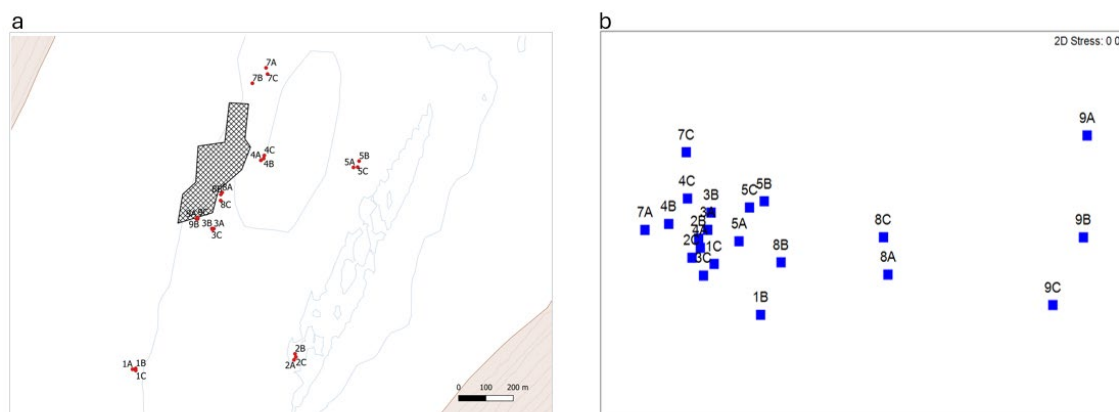
2.3 Tölfræðileg úrvinnsla

Til að meta fjölbreytileika botndýralífs voru reiknaðar út eftirfarandi fjölbreytileikavísitölur: Shannon Species Diversity Index (H'), Simpson's Diversity Index (D), Pielou's Evenness Index (D_{pie}) og Norwegian Quality Index 1 (NQI1). Sá síðastnefndi er notaður til að meta ástand í strandsjó hér við land skv. lögum um stjórn vatnamála (nr. 36/2011) og hafa viðmiðunargildi fyrir fimm ástandsflokkar verið ákvörðuð (Woods o.fl. 2021, Rakeł Guðmundsdóttir o.fl. 2022, Stefán Áki Ragnarsson o.fl. 2024). Til að greina samfélagsgerð botndýra sem og að meta tengsl þeirra við umhverfispætti voru margþáttagreiningarnar „multidimensional scaling“ (MDS) og „redundancy analysis“ (RDA) notaðar. Í MDS greiningunni var kannað hvernig gerð botndýrasamfélaga, m.t.t. fjölda einstaklinga og tegunda breyttist með fjarlægð frá kvíum. RDA aðferðin var notuð til að kanna hve mikið lýsibreytur (s.s. umhverfisbreytur) útskýra samfélagsgerð botndýra. Sjá nánari útskýringar á aðferðafræðinni í Stefán Áki Ragnarsson o.fl. (2024).

3 Niðurstöður

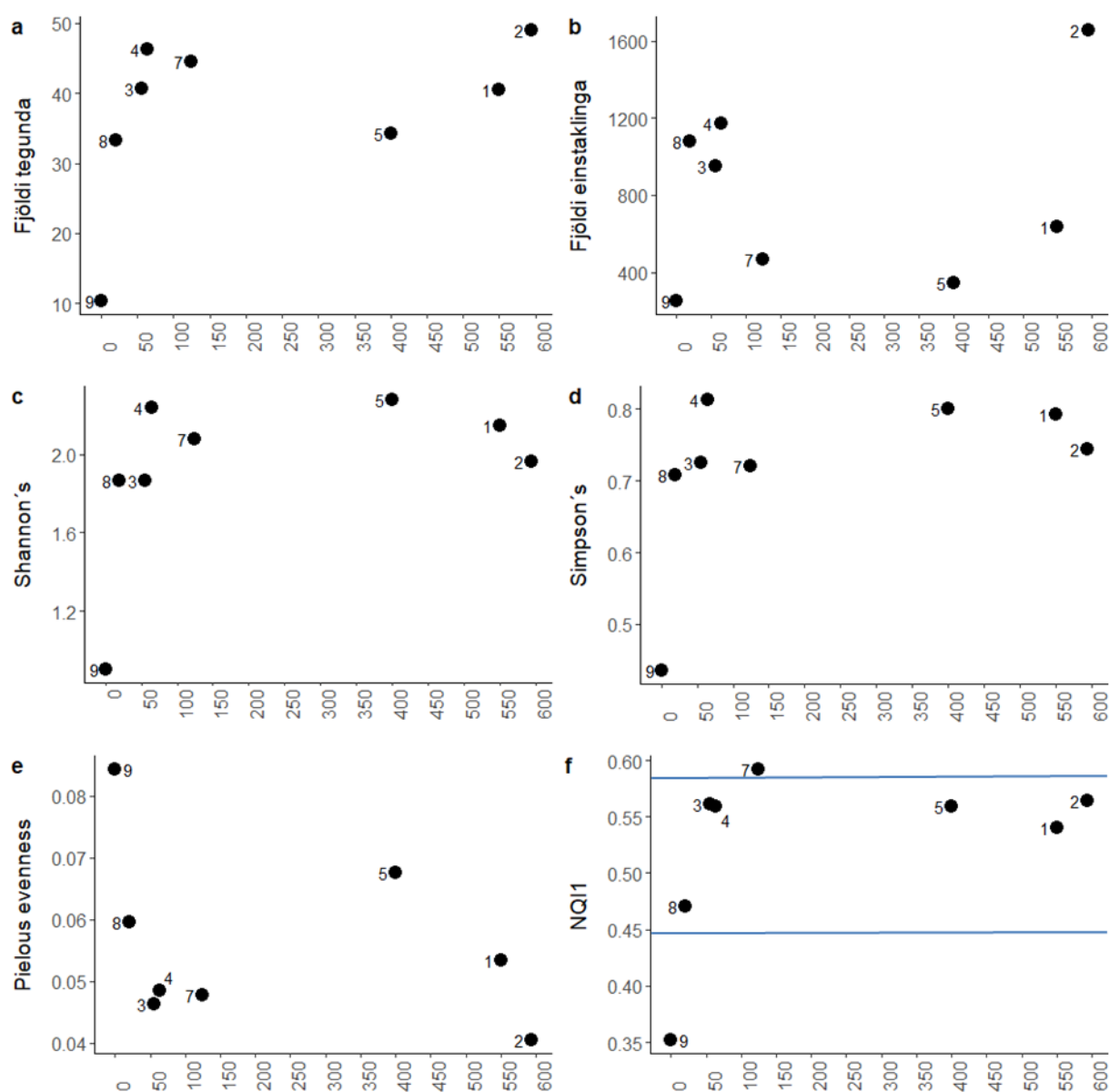
3.1 Skutulsfjörður

Niðurstöður úr MDS margþáttagreiningunni gáfu til kynna að gerð botndýrasamfélaga í sýnum sem voru tekin upp við eina kvína (stöð 9) væri mjög frábrugðin þeim sem voru tekin >50 m frá kví, meðan að tvö af þremur sýnum frá stöð 8 (20 m frá kví) voru þar mitt á milli (Mynd 3). Í sýnum sem voru tekin við stöð 9 fundust að meðaltali aðeins 10 tegundir í greip (Mynd 4a, Viðauki 1a) en að meðaltali 41 tegund á öllum hinum stöðvunum. Ekkert greinilegt samband fannst á milli heildarfjölda einstaklinga og fjarlægðar frá kvíastæði (Mynd 4b, Viðauki 1b). Heildarfjöldinn var lægstur (250 einstaklingar) við stöð 9 en var á milli 344-1656 á hinum stöðvunum. Vísitölur Shannon's (Mynd 4c, Viðauki 1c), Simpson's (Mynd 4d, Viðauki 1d) og NQI1 (Mynd 4f, Viðauki 1f) voru mun lægri á stöð 9 en þegar komið var fjær henni, meðan að vísitala Pielous einkennis stuðulsins var hæst á stöð 9 (Mynd 4e, Viðauki 1e). Algengustu tegundir sem fundust á stöð 9 í meiri fjölda en 10 einstaklingar í greip, voru kræklingur (*Mytilus edulis*) og burstaormarnir *Malacocerus fuliginosus* (Mynd 5a) og *Capitella* sp. (Mynd 5b). Kræklingar á botninum höfðu dottið úr möskvum netpoka kvíar, sem var þakinn af þeim, en þeir myndu að öllu jöfnu ekki þrífast á þessu botnlagi. Á stöð 8 (20 m frá næstu kví) fundust að meðaltali 33 tegundir í sýni og þær algengustu voru *M. fuliginosus* (Mynd 5a), *Capitella* sp. (Mynd 5b), *Chaetozone* sp. (Mynd 5c) og *Cossura pygodactylata* (Mynd 5d). Bæði *Capitella* sp. (Mynd 5b) og *M. fuliginosus* (Mynd 5a) voru mjög sjaldgæfar þegar komið var lengra frá kvíum. Á stöðvum 1-7, þar sem sýni voru tekin >50 m fjarlægð frá kvíum voru *Chaetozone* sp. (Mynd 5c), *Cossura pygodactylata* (Mynd 5d), *Dipolydora quadrilobata* (Mynd 5e, bara algengir á stöð 1 og 4), og *Euchone incolor* (Mynd 5f) ríkjandi í fjölda.

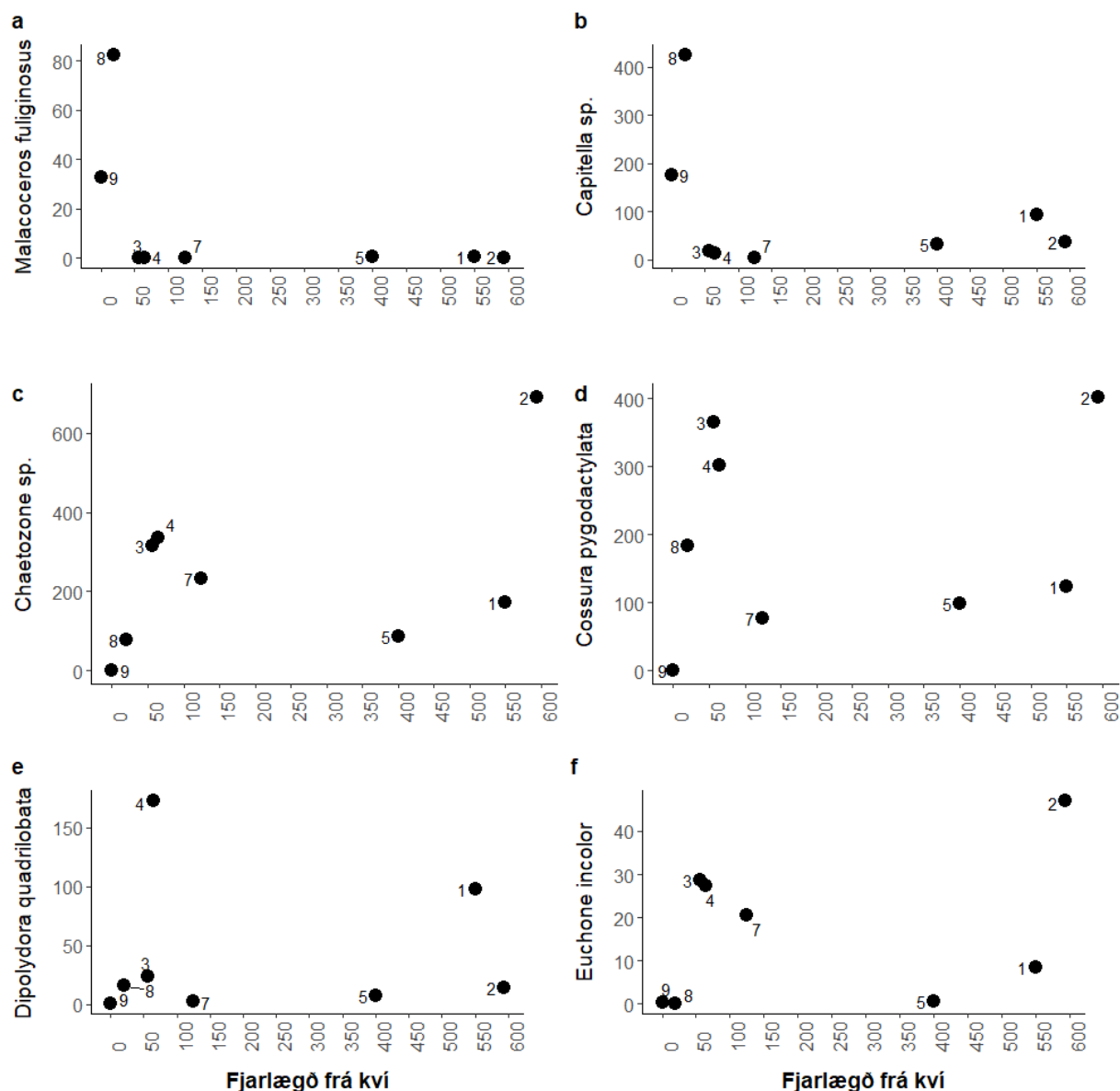


Mynd 3. MDS margþáttagreining (multidimensional scaling) á botndýrasýnum úr Skutulsfirði. a)

Sýnatökustöðvar og b) margþáttagreining. Gögn voru umbreytt með kvaðratrót með fjóra í rótarvísi (four-root transformation). Stress var 0.07. Tölur tákna sýni, þ.e. fyrri talan númer stöðvar en sú síðari númer sýnis á stöð með bókstöfum (A-C).



Mynd 4. Fjölbreytni botndýralífs í Skutulsfirði miðað við fjarlægð (m) frá kvíastæði, metin með meðalfjölda a) tegunda og b) einstaklinga sem og með vísitölunum: c) Shannon's, d) Simpson's, e) Pielou's Evenness Index og f) NQ11 á hverri stöð. Athugið að hvert gildi er meðaltal úr þremur sýnum. Fyrir NQ11 eru teiknaðar línur sem afmarka á milli sýna sem féllu í flokkinn „mjög gott ástand“ $>0,58$, „gott ástand“ $(0,45-0,58)$ og „ekki viðunandi ástand“ $(<0,45)$.

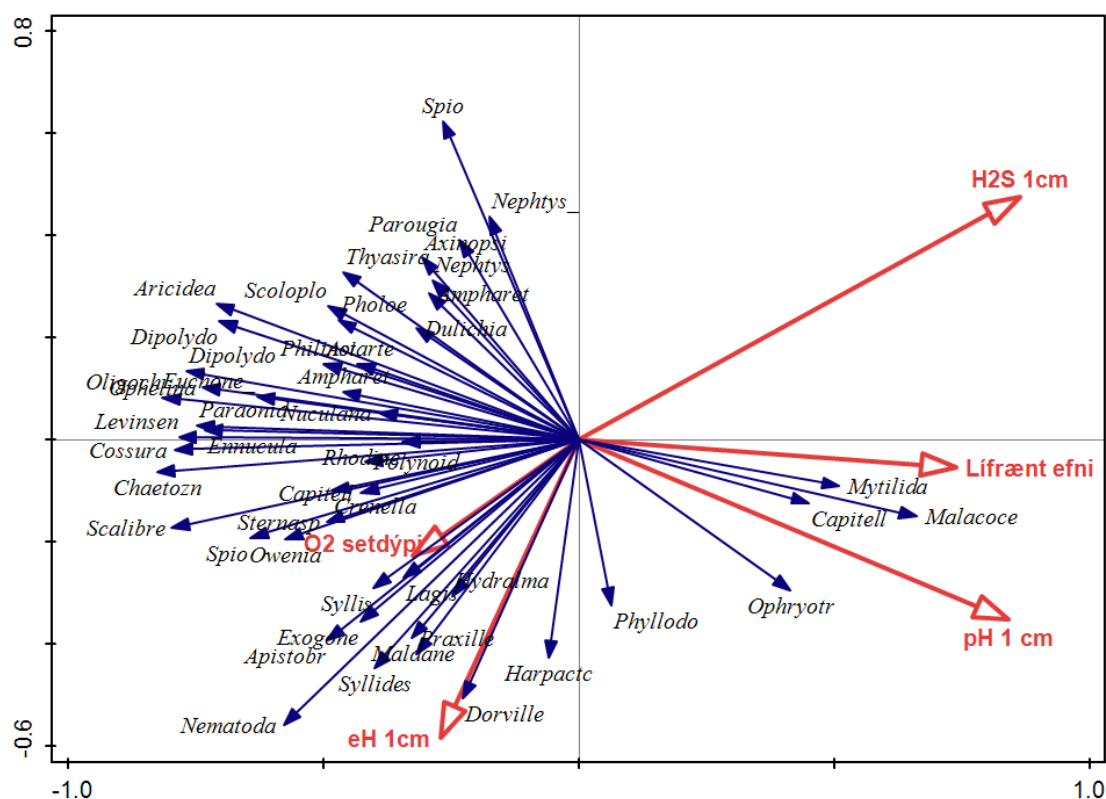


Mynd 5. Algengustu burstaormategundirnar í Skutulsfirði miðað við fjarlægð (m) frá kvíastæði fyrir a) *Malacoceros fuliginosus* b) *Capitella* sp., c) *Chaetozone* sp., d) *Cossura pygodactylata* e) *Dipolydora quadrilobata* og f) *Euchone incolor*. Athugið að hvert gildi er meðaltal úr þremur sýnum.

Í RDA margþáttagreiningunni fyrir Skutulsfjörð, útskýrðu umhverfisbreytur 46,5% af gerð botndýrasamfélaga (Mynd 6, Tafla 1). Í þessari úrvinnslu er sýndur sá breytileiki sem hver breyta útskýrir, eftir að sameiginlegur breytileiki hefur verið fjarlægður. Af þeim fimm breytum sem voru notaðar í líkaninu útskýrðu styrkur brennisteinsvetnis (H_2S) og sýrustig (pH) 37,8 af 46,5% en hinar breytur, þ.e. hlutfall lífræns efnis, þykkt súrefnislags (mm) og afoxunarmætti (á 1 cm set dýpi) afganginn (8,8%). Greiningin sýnir að á meðan burstaormarnir *M. fuliginosus* og *Capitella* sp. ásamt kræklingi (*Mytilus edulis*) jukust í fjölda með auknu lífrænu efni, styrks brennisteinsvetnis og hækkandi pH, þá fækkaði öðrum tegundum með hækkandi gildum þessara breyta.

Tafla 1. Áhrif umhverfispáttá á samfélagsgerð botndýra í Skutulsfirði. Niðurstöður úr RDA greiningu. Í töflunni er sýndur útskýrður breytileiki fyrir hverja breytu fyrir sig eftir að sameiginlegur breytileiki hefur verið fjarlægður. Pseudo-F er vísitala á F gildi. Sýnd eru P-gildi (P (adj)) eftir að þau hafa verið leiðrétt með Bonferroni aðferðarfræðinni.

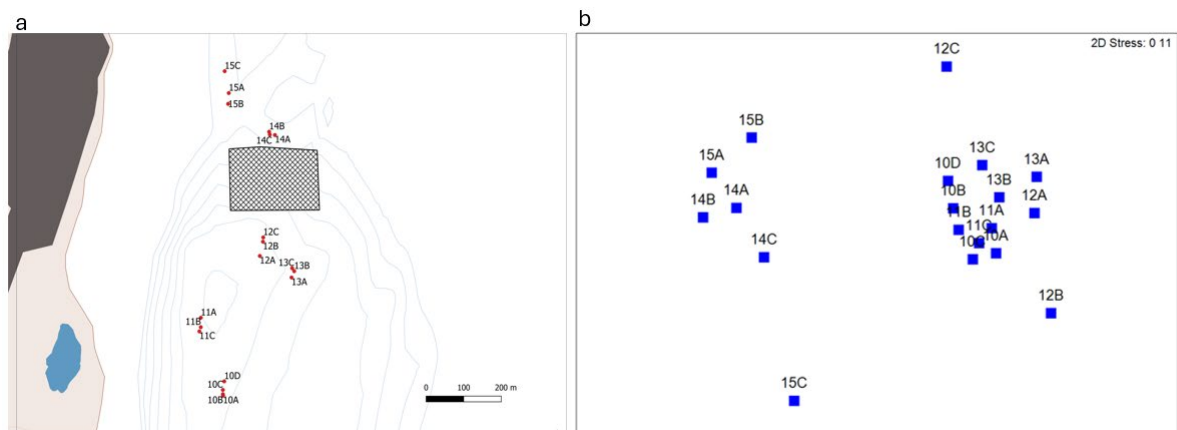
	Útskýrður breytileiki (%)	Pseudo-F	P (adj)
Brennisteinsvetni (1 cm set dýpi)	26,8	6,9	0,01
Sýrustig (pH), (1 cm setdýpi)	11	3,2	0,02
Lífrænt efni (%)	3,9	1,1	1
Þykkt súrefnislags (O ₂)	2,9	0,8	1
Afoxunarmætti (E _h), (1 cm setdýpi)	2	0,5	1



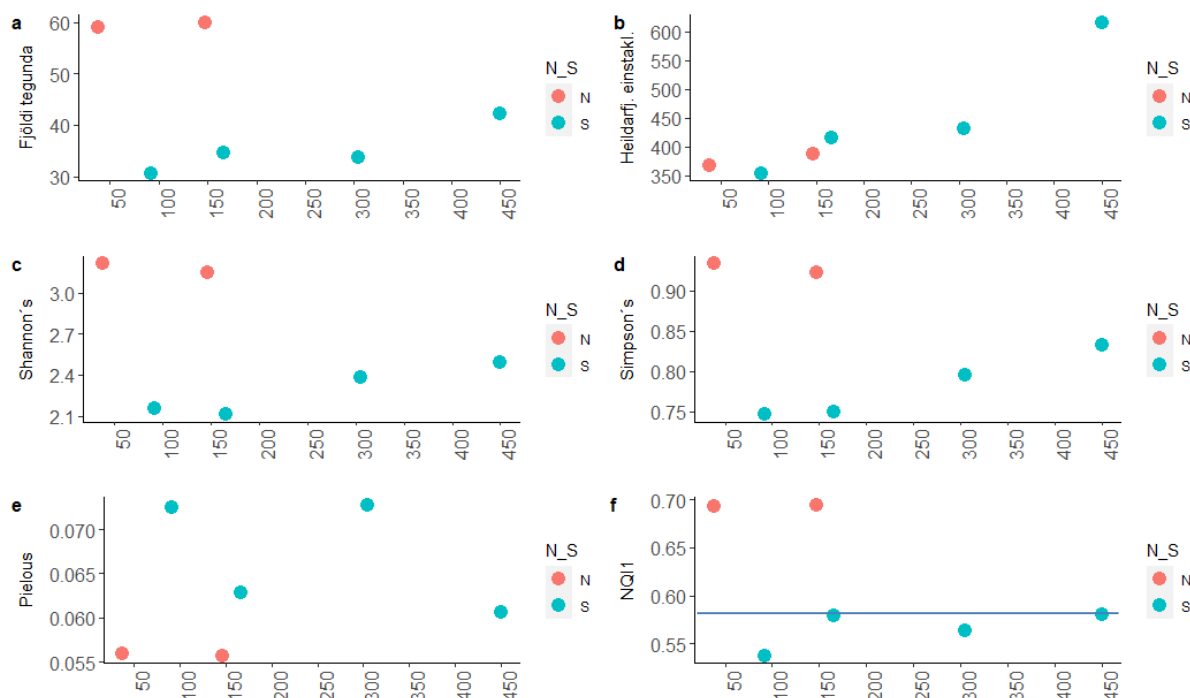
Mynd 6. Áhrif umhverfispáttá á samfélagsgerð botndýra í Skutulsfirði. Margbáttagreining (redundancy analysis) á botndýragögnum. Styrkur brennisteinsvetnis (H₂S) og sýrustig (pH) og afoxunarmætti (E_h) á 1 cm setdýpi, þykkt súrefnislags (O₂) og lífrænt efni voru notuð sem umhverfisbreytur.

3.2 Álftafjörður

Margþáttagreiningin (MDS) sýnir að botndýrasýni úr Álftafirði falla í tvo hópa, annars vegar stöðvar 14 og 15 norðan kvíastæðis og hins vegar stöðvar 10-13 sunnan þess (Mynd 7). Sú breyta sem er líklegust til að útskýra þennan mun er dýpi en það var um 30 m norðan við kvíastæðið en 46-51 m sunnan þess. Fjöldi tegunda (Mynd 8a, Viðauki 2a) sem og vísitölur fyrir fjölbreytileika stuðlana Shannon's (Mynd 8c, Viðauki 2c), Simpson's (Mynd 8d, Viðauki 2d) og NQI1 (Mynd 8f, Viðauki 2f) voru að meðaltali hærri norðan við kvíastæðið meðan að fjöldi einstaklinga (Mynd 8b, Viðauki 2b) og vísitölur Pielous einkennis stuðulsins (Mynd 8e, Viðauki 2e) voru hærri sunnan kvíastæðis. Sunnan við kvíastæði jókst fjöldi tegunda (Mynd 8a, Viðauki 2a) og einstaklinga (Mynd 8b, Viðauki 2b) með aukinni fjarlægð frá kvíastæði sem og einnig vísitölur Shannon's (Mynd 8c, Viðauki 2c) og Simpson's (Mynd 8d, Viðauki 2d). Engin skýr merki voru um að ákveðnar tegundir væru algengari eða sjaldgæfari nálægt kvíastæði, líkt og sást í Skutulsfirði. Ekki var hægt að framkvæma RDA greiningu á umhverfisáhrifum á botndýralíf í Álftafirði svipaða þeirri og var framkvæmd í Skutulsfirði þar sem ekki var hægt að safna kjarnasýnum. Það var athyglisvert að sumar af þeim tegundum sem fundust í Álftafirði og Skutulsfirði, þ.e. hvelldýr (hydrozoa) af ættkvíslinni Corymorphidae, *Robertsonites* (Ostracoda), *Echiurus echiurus* (Echiuridae) og *Rhodine* sp. (burstaormar) fundust ekki í leiðangrinum sem fór fram um haustið sama ár (fyrir utan 2 eintök af *Rhodine* sp. sem fundust í Ísafjarðardjúpi) (Stefán Áki Ragnarsson o.fl. 2024).



Mynd 7. Margþáttagreining (multidimensional scaling) á botndýrasýnum úr Álftafirði. a) sýnatökustöðvar og b) margþáttagreining. Gögn voru umbreytt með kvaðratrót með fjóra í rótarvísi (four-root transformation). Stress var 0.11. Tölur tákna sýni, þ.e. fyrri talan númer stöðvar en sú síðari númer sýnis á stöð með bókstöfum (A-C).



Mynd 8. Fjölbreytni botndýralífs í Álftafirði miðað við fjarlægð (m) frá kvíastæði, metin með meðalfjölda a) tegunda, b) einstaklinga sem og c) Shannon's, d) Simpson's, e) Pielou's Evenness Index og f) NQI1 á hverri stöð. Athugið að hvert gildi er meðaltal úr þremur sýnum. Fyrir NQI1 eru teiknaðar línur sem afmarka á milli sýna sem féllu í flokkinn „mjög gott ástand“ >0,58 og „gott ástand“ (0,45-0,58). Engin sýni féllu í flokkinn „ekki viðunandi ástand“ í Álftafirði.

4 Umræður

Niðurstöður úr þessari rannsókn leiddu í ljós að botndýralíf á stöð níu sem var sem næst kví í Skutulsfirði var töluvert raskað af völdum fiskeldis og samkvæmt viðmiðunarmörkum NQI1 stuðulsins flokkaðist ástand botndýralífs í þessum sýnum sem „*ekki viðunandi*“. Þær breytur sem útskýra þessa miklu lækkun í NQI1 er mjög lágur fjöldi tegunda og einstaklinga, sem og aukning í tegundum sem teljast vera tækisfærissinnaðar. Þessi áhrif voru þó mjög staðbundin og lítil áhrif greindust í 20 m fjarlægð frá kvíum en engin þegar komið var 50 m frá þeim. Það er vel þekkt að áhrif eldis geta verið mjög staðbundin og geta falist í töluverðum breytingum á bæði lífríki botnsins sem og á gerð og efnafræði sets næst kvíum (t.d. Hargrave 2010). Stærð þess svæðis á botni sem getur raskast af völdum eldis getur verið breytilegt. Sem dæmi, greindu Kutti o.fl. (2007b) í norski rannsókn engin áhrif af eldi þegar komið var lengra en 250 m frá kvíum.

Í Skutulsfirði þar sem hægt var að safna sýnum með kjarnataka, voru það breytur styrkur brennisteinsvetnis, sýrustig (pH) og hlutfall lífræns kolefnis sem útskýrðu stærstan hluta breytileika í þéttleika og samsetningu botndýra við kvíarnar. Við sýnatöku upp við kvíar í Skutulsfirði er fyrsta höfundur þessarar skýrslu enn minnstæð sterk lyktin af brennisteinsvetninu. Þegar komið var lengra frá kvíunum voru gildi efna í seti innan þeirra marka sem teljast eðlileg (sjá Rakel Guðmundsdóttir o.fl. 2020). Margar rannsóknir hafa áður bent á að sterk tengsl eru á milli ástand botndýralífs sem og eiginleika botnsets s.s. magn lífræns kolefnis og styrks brennisteinsvetnis á svæðum þar sem ofauðgun á sér stað (Rector o.fl. 2022) en fáar tegundir þola slíkt ástand. Í þessari rannsókn var fjöldi *Chaetozone*

sp., *Cossura pygodactylata*, *Dipolydora quadrilobata* og *Euchone incolor* minnstur næst kvíum en urðu algengari þegar komið var lengra frá. Hvernig þessar tegundir bregðast við ofauðgun getur verið breytilegt, s.s. eftir staðbundnum aðstæðum hverju sinni. Sem dæmi, getur *Chaetozone* sp. fjölgað hratt þar sem ofauðgun á sér stað og hefur verið flokkuð sem tækifærissinnuð tegund (t.d. Holte og Oug 1996, Ugland o.fl. 2008). Annað dæmi er *D. Quadrilobata*, þar sem Khaitov o.fl. (1999) lýstu því hvernig þessi tegund var algeng á svæðum þar sem mikið magn lífræns efnis var að finna, meðan að Lavoie o.fl. (2024) sýndu fram á fækkun við sambærilegar aðstæður. Í þessari rannsókn jókst þó fjöldi *Malacoceros fuliginosus* og *Capitella capitata* næst kvíastæði líkt og aðrar rannsóknir hafa sýnt fram á (Tomassetti og Porrello 2005, Cardoso o.fl. 2007, Callier o.fl. 2013, Jansen o.fl. 2019, Vesal o.fl. 2022) og þá sérstaklega *C. capitata*. Sem dæmi getur *C. capitata* þrífist og fjölgað ört á svæðum þar sem styrkur brennisteinsvetnis í botnseti er hár og mikið magn af lífrænu kolefni. Hourdez o.fl. 2021 sýndu fram á að *C. capitata* á svæðum þar sem styrkur brennisteinsvetnis er hár eru þeir þakktir af bakteríum af ættkvíslinni *Thiomargarita* sp. sem gerir þeim kleift að þrífast við þessar aðstæður, en slíku sambýli botndýra og baktería hefur til að mynda verið lýst fyrir djúpsjávarhverfi.

Engin greinileg áhrif fundust af eldinu í Álftafirði. Eldið í Álftafirði var minna en í Skutulsfirði, það hafði staðið skemur og öllum fiski verið slátrað 4 mánuðum áður en rannsóknin fór fram. Í ljósi þessa mátti gera ráð fyrir að áhrifin af eldinu í Álftafirði yrðu ekki eins greinileg. Því til viðbótar má nefna að greinilegur munur var á botndýralífi norðan og sunnan við kvíastæðið sem gæti verið vegna þess 20 m munar sem var í dýpi. Í rannsókn á botndýralífi í Arnarfirði og Ísafjarðardjúpi (Stefán Áki Ragnarsson o.fl. 2024) lækkuðu fjölbreytileikastuðlar yfirleitt með dýpi en í rannsókninni í þessari skýrslu voru hins vegar ekki tekin nægilega mörg sýni á hvoru dýptarbili til að hægt væri að álykta um hvort áhrif af dýpi sé að ræða. Niðurstöður straummælinga í Álftafirði (Böðvar Þórisson 2015) hafa einnig sýnt að meginstraumstefna er til suðurs, sem gæti gefið til kynna að meiri uppsöfnun lífræns efnis væri sunnan kvíar en flestar fjölbreytileikavísitölur voru lægri sunnan við eldissvæðið, sem gæti gefið til kynna að það sé að hluta til vegna meiri uppsöfnunar efnis. Þó er erfitt að greina á milli áhrifa dýpis og hugsanlegrar aukinnar uppsöfnunar lífræns efnis á lífríki botnsins í Álftafirði að svo stöddu, sérstaklega þar sem ekki tókst að safna upplýsingum um umhverfisþætti vegna botnngerðar í firðinum.

5 Niðurlag

Í þessari rannsókn skapaðist mikilvæg reynsla, bæði hvað varðar prófun á tækjum og aðferðarfræði við sýnatöku, sem nýttist þegar regluleg vöktun Hafrannsóknarstofnunar á umhverfisáhrifum sjókvíaeldis hófst um haustið sama ár. Líkt og margar aðrar rannsóknir hafa sýnt fram á, sýndi þessi rannsókn að fiskeldi í opnum kvíum í sjó getur haft áhrif á það botndýralíf sem er næst kvíum.

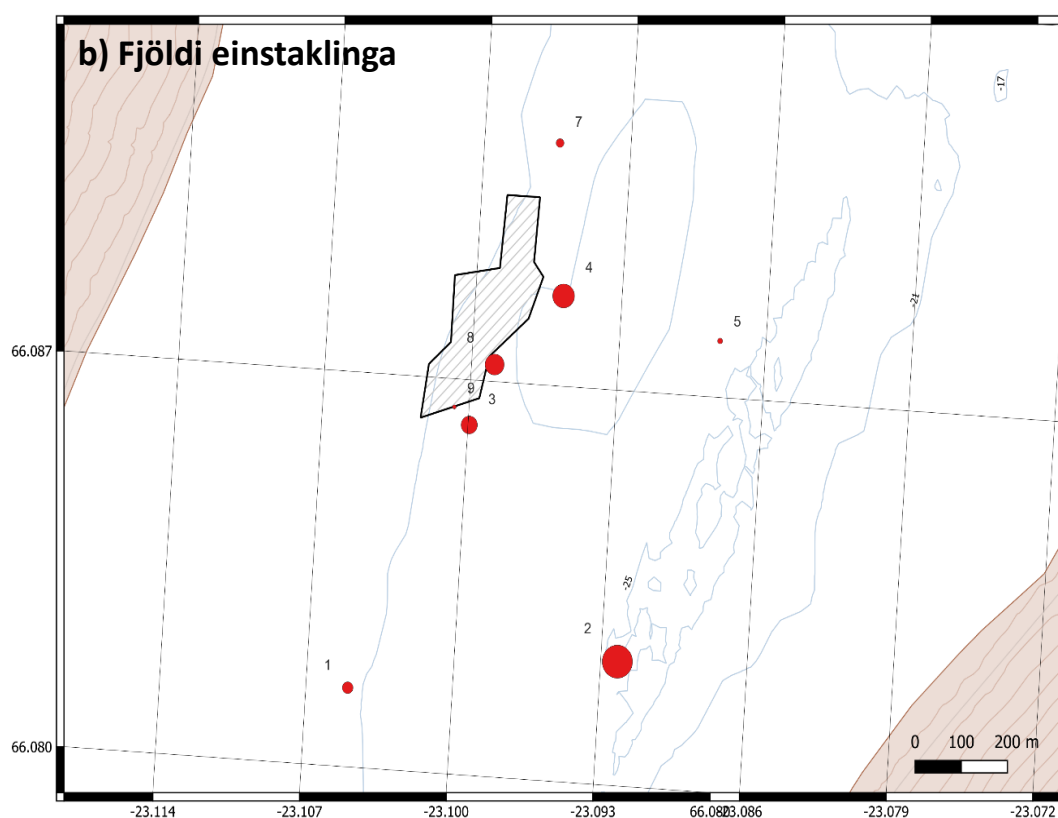
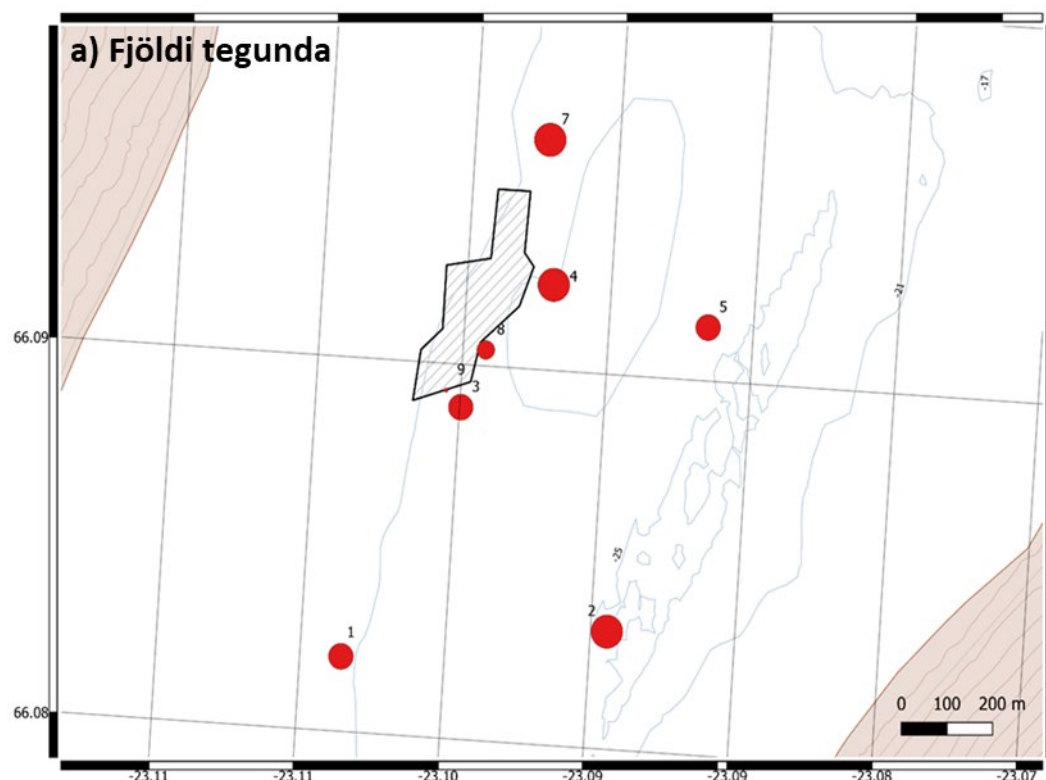
Heimildir

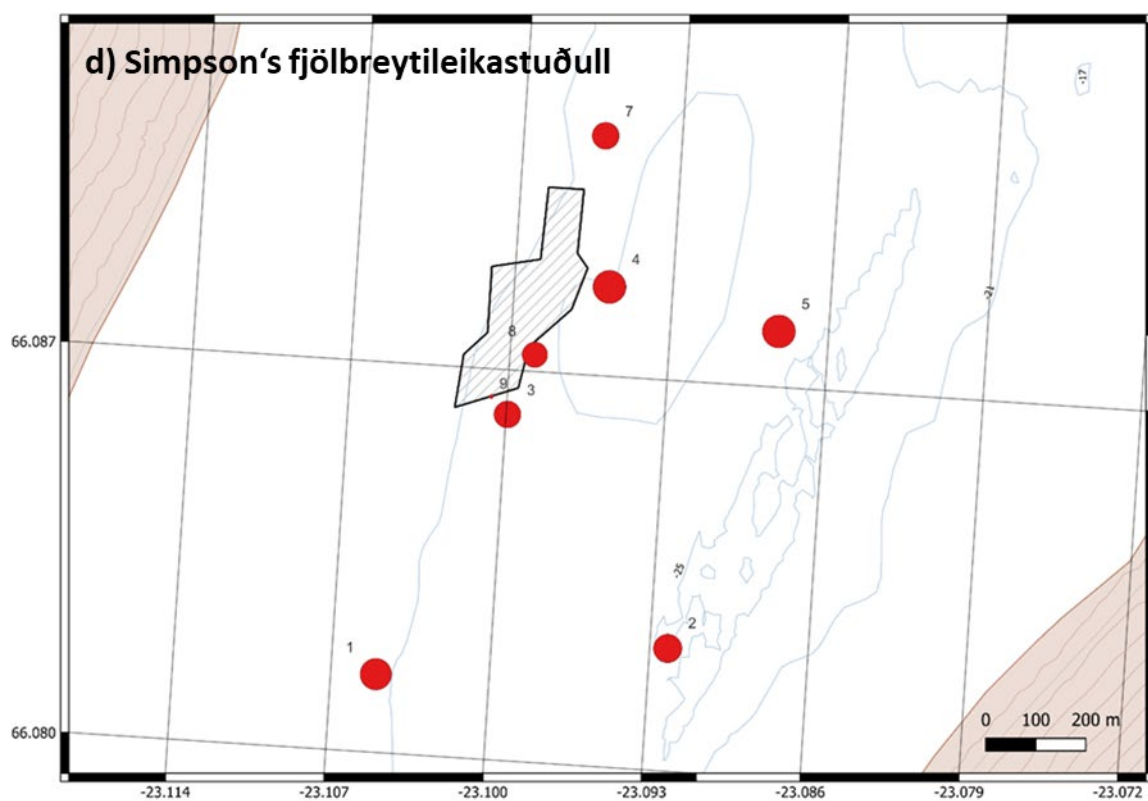
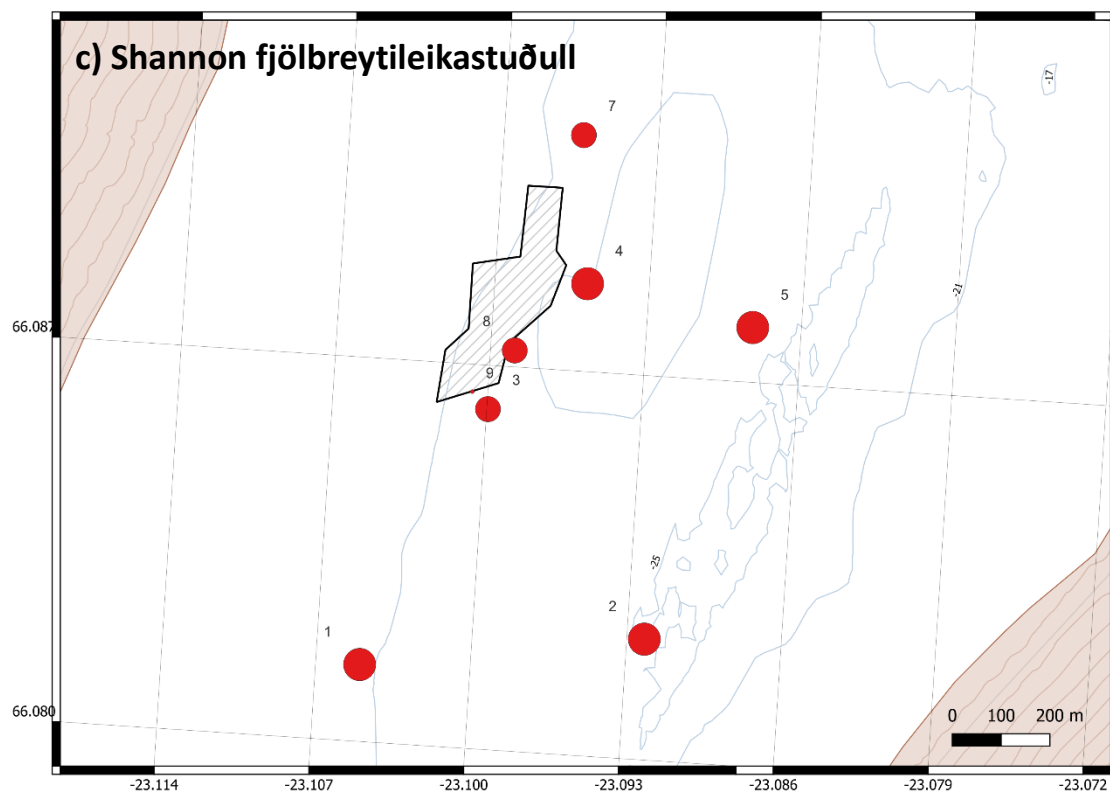
- Bannister, R. J., Johnsen, I. A., Hansen, P. K., Kutti, T. og Asplin, L. (2016). Near- and far-field dispersal modelling of organic waste from Atlantic salmon aquaculture in fjord systems. *ICES Journal of Marine Science* 73:2408–2419. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsw027>
- Böðvar Þórisson (2015). Straummælingar við Súðavík í Álftafirði 2014. Unnið fyrir Hraðfrystihús Gunnvarar. Náttúrustofa Vestfjarða nr. 3-15. <https://nave.is/wp-content/uploads/2021/04/straumur.Alftafjordur.pdf>
- Callier, M. D., Lefebvre, S., Dunagan, M. K., Bataillé, M-P., Coughlan, J. og Crow, T. P. (2013). Shift in benthic assemblages and organisms' diet under salmon farms: community structure and stable isotope analyses. *Marine Ecology Progress Series* 483 (153-167). DOI:10.3354/meps10251
- Cardoso, P. G., Bankovic, M., Raffaelli, D. og Pardal M. A. (2007). Polychaete assemblages as indicators of habitat recovery in a temperate estuary under eutrophication. *Estuarine, Coastal and Shelf Sciences*. 71 (1-2): 301-308. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2006.08.002>
- Hargrave, B. T. (2010). Empirical relationships describing benthic impacts of salmon aquaculture. *Aquaculture Environment Interactions*, 1(1): 33–46. <https://doi.org/10.3354/aei00004>
- Holte, B. og Oug, E. (1996). Soft-bottom macrofauna and responses to organic enrichment in the subarctic waters of Tromsø, northern Norway. *Journal of Sea Research* 36 (3–4): 227-237. [https://doi.org/10.1016/S1385-1101\(96\)90792-3](https://doi.org/10.1016/S1385-1101(96)90792-3)
- Hourdez, S., Boidin-Wichlacz, C., Jolliviet, D., Massol, F., Rayol, M. C., Bruno, R., Zeppilli, D., Thomas, F., Lesven, L., Billon, G., Duperron, S. og Tasiemski, A. (2021). Investigation of *Capitella* spp. symbionts in the context of varying anthropic pressures: First occurrence of a transient advantageous epibiosis with the giant bacteria *Thiomargarita* sp. to survive seasonal increases of sulfides in sediments. *Sci Total Environ*. 798(1): 149149. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.149149
- Jansen H. M., Hansen P. K., Brennan, N., Dahlgren, T. G., Fang, J., Nederlof, M. A. J., Strohmeier, T., Sveier, H. og Strand, Ø. (2019). Enhancing opportunistic polychaete communities under fish farms: an alternative concept for integrated aquaculture *Aquaculture Environment Interactions*. 11, 331-336. <https://doi.org/10.3354/aei00318>
- Khaitov, V. M., Fokin, M. V. og Nicolaeva, A.M. (1999). Structure of communities with dense assemblages of the tube-dwelling polychaete *Polydora quadrilobata* Jacobi (Spionidae) in the White Sea. *Hydrobiologia* 393: 221-226. <https://doi.org/10.1023/A:1003500706183>
- Kutti, T., Ervik, A. og Hansen, P. K. (2007a). Effects of organic effluents from a salmon farm on a fjord system. I. Vertical export and dispersal processes. *Aquaculture*, 262:367–381. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.10.010>
- Kutti, T., Ervik, A. og Hansen, P. K. (2007b). Effects of organic effluents from a salmon farm on a fjord system. II. Temporal and spatial patterns in infauna community composition. *Aquaculture*, 262(2–4): 355–366 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.11.008>
- Lavoie, M-F., Lacoste, E., Weise, A. M. og McKindsey, C. W. (2024). Benthic responses to organic enrichment under a mussel (*Mytilus edulis*) farm. *Frontiers in Marine Science* 11:1433365. doi: 10.3389/fmars.2024.1433365

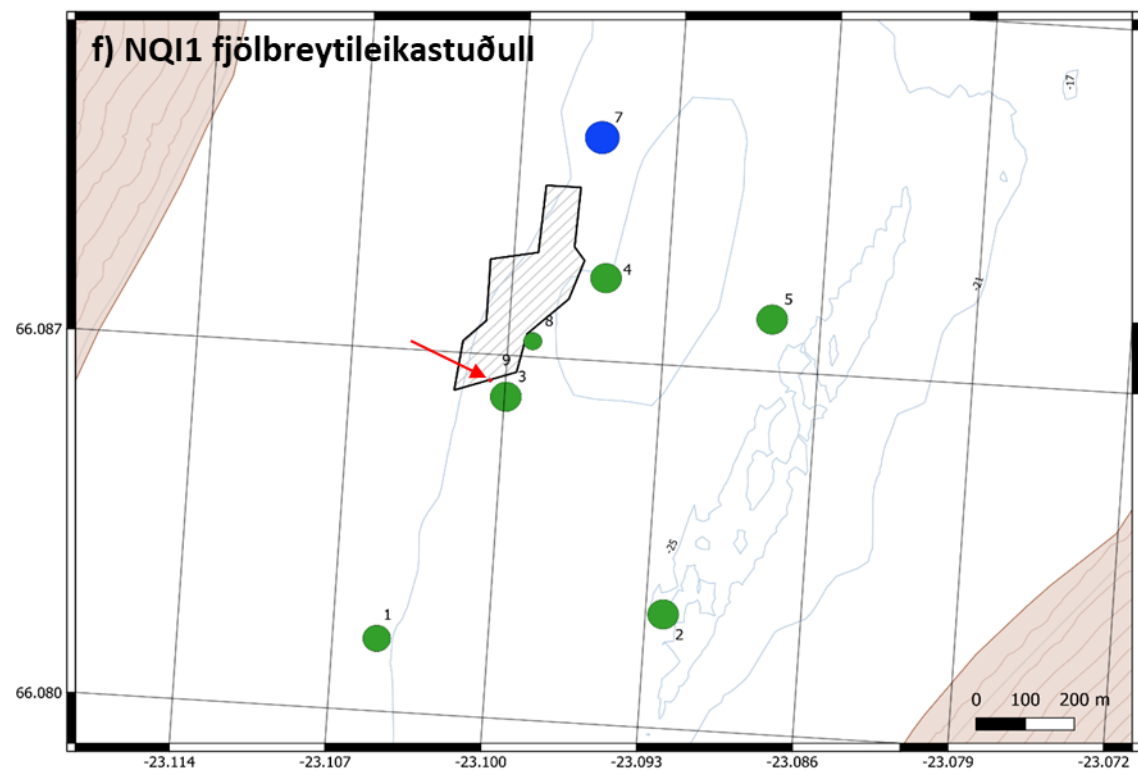
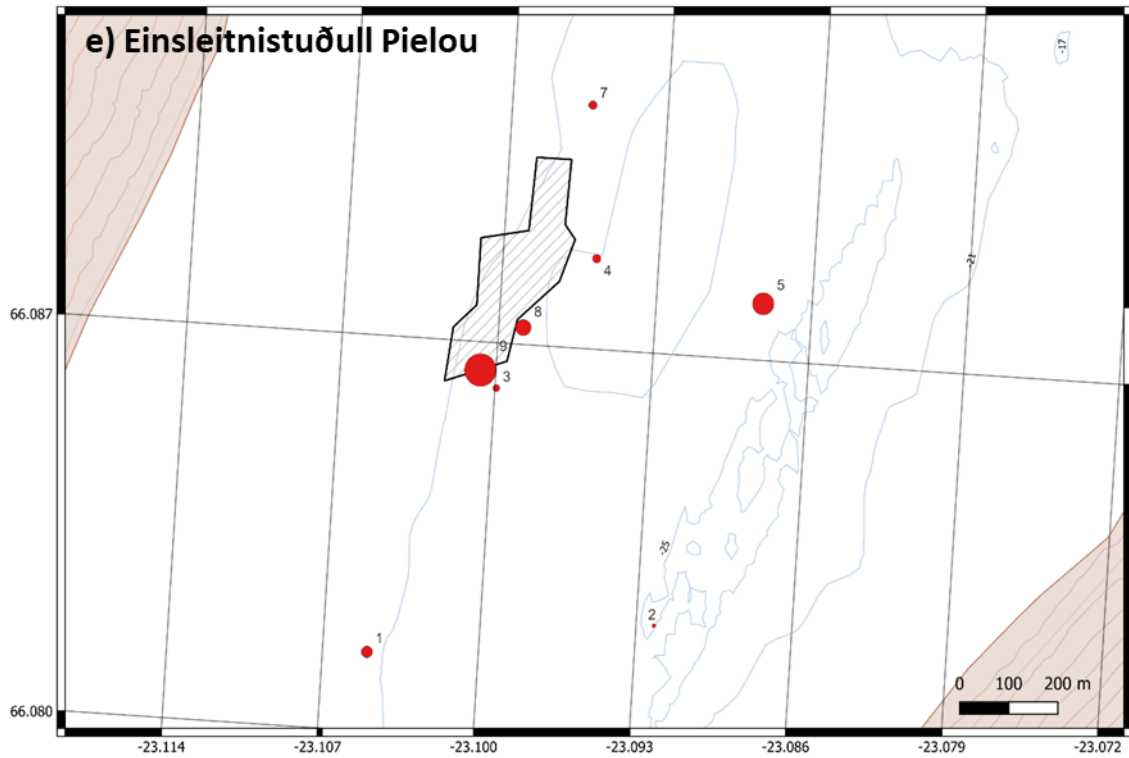
- Rakel Guðmundsdóttir, Sólveig Rósa Ólafsdóttir, Hjalti Karlsson og Stefán Áki Ragnarsson (2020). Umhverfisáhrif sjókvíaeldis – Mælingar á efnaferlum í seti íslenskra fjarða. *Haf- og vatnarannsóknir* HV 2020-42. Hafrannsóknastofnun.
<https://www.hafogvatn.is/static/research/files/1601024395-hv2020-42.pdf>
- Rakel Guðmundsdóttir, Sólveig R. Ólafsdóttir, Steinunn H. Ólafsdóttir, Pamela Woods, Lilja Gunnarsdóttir, Karl Gunnarsson, Kristinn Guðmundsson og Eydís Salome Eiríksdóttir (2022). Vistfræðileg viðmið við ástandsflokkun strandsjávar. *Haf- og vatnarannsóknir* HV 2022-39.
- Rector, M. E., Weitzman, J., Filgueira, R. og Grant, J. (2022). Environmental indicators in salmon aquaculture research: A systematic review. *Reviews in Aquaculture* 14: 156–177.
<https://doi.org/10.1111/raq.12590>
- Stefán Áki Ragnarsson, Hildur Magnúsdóttir, Hjalti Karlsson, Rakel Guðmundsdóttir og Laure de Montety (2024). Vöktun á botndýralífi og umhverfispáttum í rannsóknum á umhverfisáhrifum sjókvíaeldis – Arnarfjörður og Ísafjarðardjúp 2018. *Haf- og vatnarannsóknir* HV 2024-49. Hafrannsóknastofnun. <https://www.hafogvatn.is/static/research/files/voktun-a-botndyralifi-og-umhverfisthattum-irannsoknum-a-umhverfisahrifum-sjokviaeldis-arnarfjordur-og-isafjardardjup-2018.pdf>
- Tomassetti, P., og Porrello, S. (2005). Polychaetes as indicators of marine fish farm organic enrichment. *Aquaculture International*, 13:109–128. <https://doi.org/10.1007/s10499-004-9026-2>
- Ugland K.I., Bjørgesæter, A., Bakke, T., Fredheim, B. og Gray J.S.(2008). Assessment of environmental stress with a biological index based on opportunistic species. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 366: 169-174 [10.1016/j.jembe.2008.07.021](https://doi.org/10.1016/j.jembe.2008.07.021)
- Valdimar Ingi Gunnarsson (2008). Reynsla af sjókvíaelði á Íslandi. *Fjölrit Hafrannsóknarstofnunar* nr. 136. <https://www.hafogvatn.is/static/research/files/fjolrit-136.pdf>
- Valdimar Ingi Gunnarsson og Kristján G. Jóakimsson. (2015). Frummatsskýrsla fyrir 6800 tonna framleiðslu á regnbogasilungi og 200 tonna framleiðslu á þorski í sjókvím í Ísafjarðardjúpi á vegum Hraðfrystihússins Gunnvarar h.f.
<https://rafhladan.is/bitstream/handle/10802/13812/Frummatssk%C3%BDrsla%20fyrir%206.800%20tonna%20framlei%C3%B0slu%20%C3%A1%20regnbogasilungi.pdf?sequence=1>
- Vesal, S. E., Auriemma, R., Libralato, S., Nasi, F. og Negro, P. D. (2022). Impacts of organic enrichment on macrobenthic production, productivity, and transfer efficiency: What can we learn from a gradient of sewage effluents? *Marine Pollution Bulletin* 182:113972.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113972>
- Woods, P.J., Steinunn Hilma Ólafsdóttir og Rakel Guðmundsdóttir (2021). Exploration of Benthic Invertebrate Diversity Indices and Ecological Quality Ratios for defining ecological status of coastal marine waters according to the Water Framework Directive (2000/60/EC). *Haf – og vatnarannsóknir* HV 2021-05. Hafrannsóknastofnun.

Viðauki 1: Tegundafjöldi og fjölbreytileikavísitölur í Skutulsfirði í Ísafjarðardjúpi

Stærð hringja gefur til kynna hlutfallslega stærð gilda fyrir hverja breytu fyrir sig. Skástrikaða svæðið sýnir kvíastæðið. Fyrir NQ11 eru sýnd gildi sem falla í flokkinn „mjög gott ástand“ $>0,58$, sem bláir hringir, „gott ástand“ $(0,45-0,58)$ sem grænir hringir og „ekki viðunandi ástand“ $(<0,45)$ sem rauðir hringir. Örin vísar á stöð 9 en vegna lágs gildis sést ekki rauði punkturinn ekki.

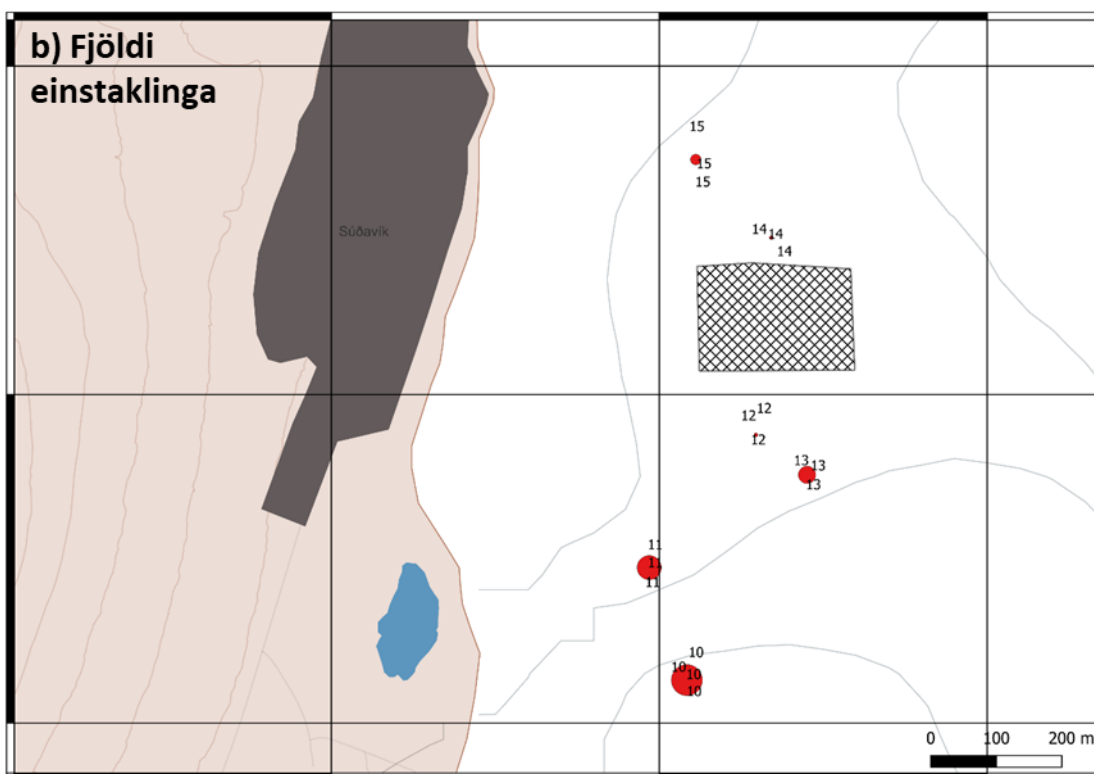
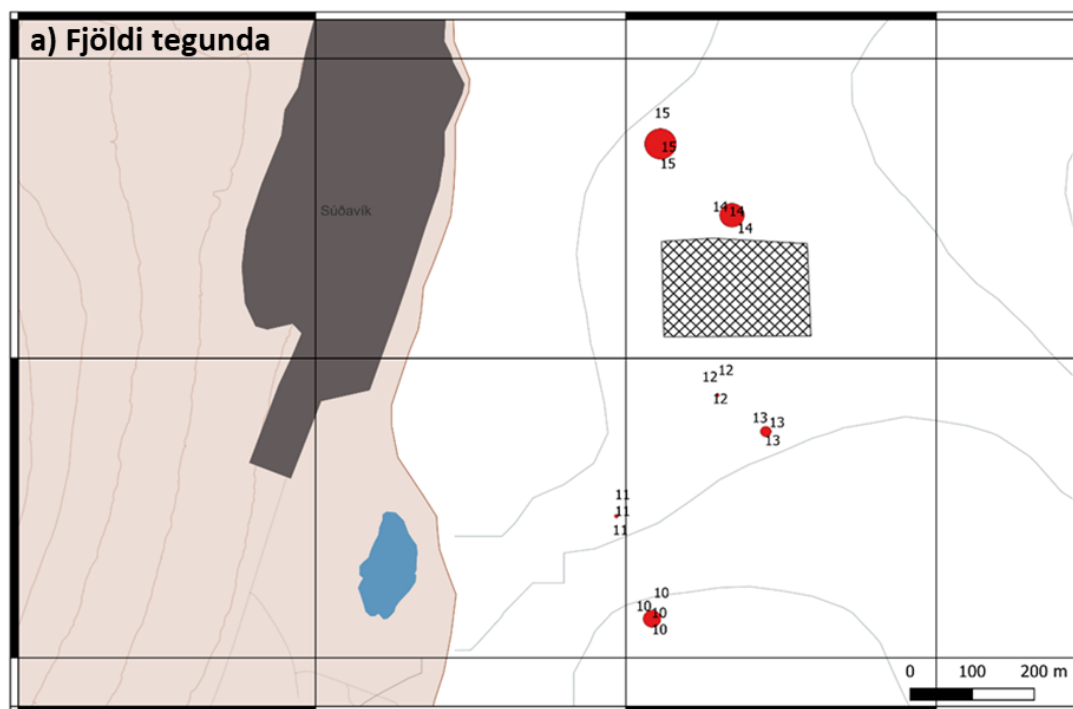


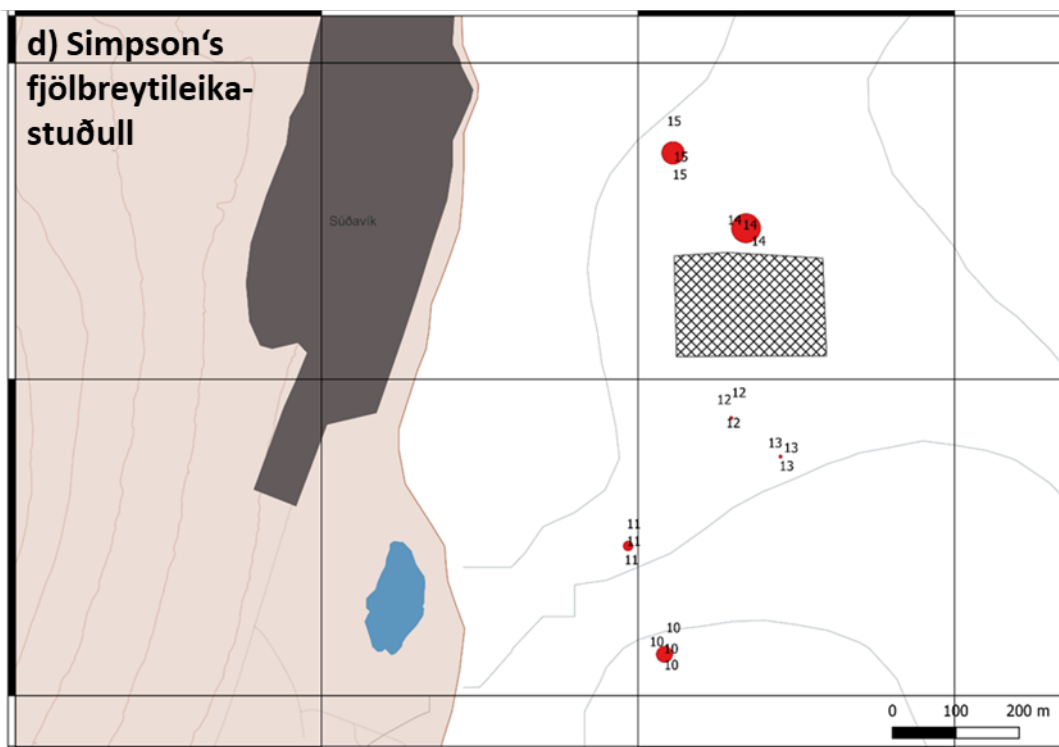
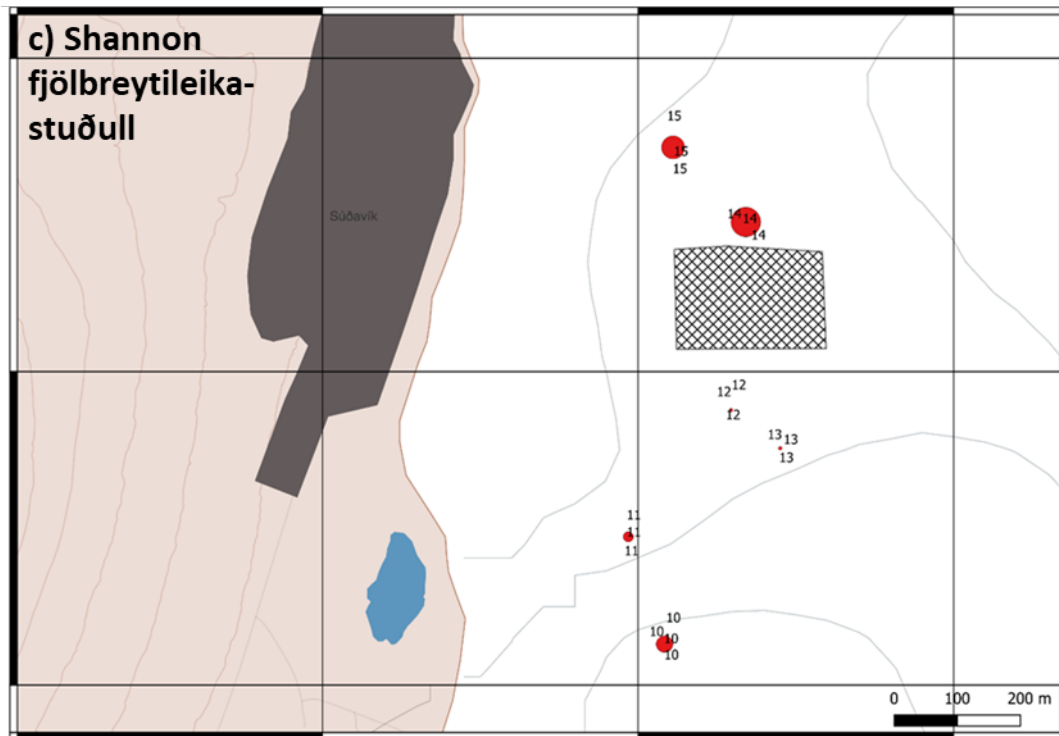


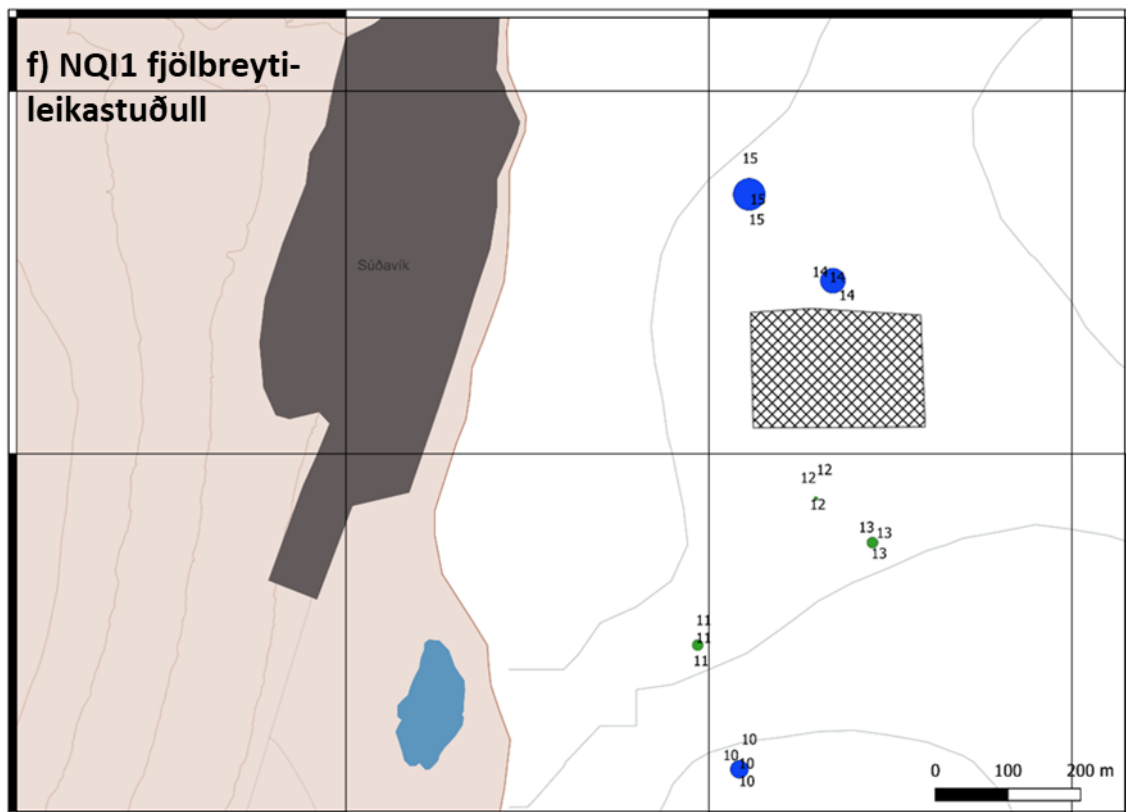
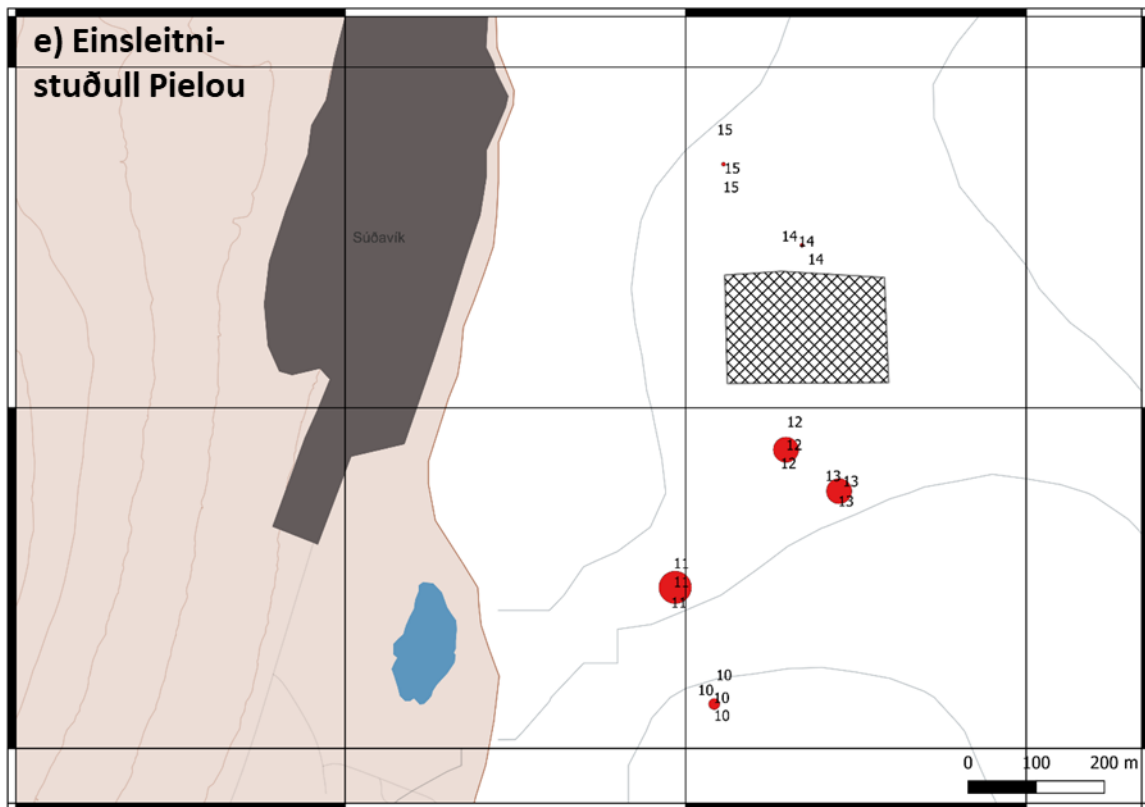


Viðauki 2: Tegundafjöldi og fjölbreytileikavísitölur í Álftafirði í Ísafjarðardjúpi

Stærð hringja gefur til kynna hlutfallslega stærð gilda fyrir hverja breytu fyrir sig. Skástrikaða svæðið sýnir kvíastæðið. Fyrir NQ11 eru sýnd gildi sem falla í flokkinn „mjög gott“ $>0,58$, sem bláir hringir og „gott“ $(0,45-0,58)$ sem grænir hringir.







Viðauki 3: Tegundalisti

Meðalfjöldi (M) og staðalfrávik ($\pm$ SD) 50 algengustu tegunda í Skutulsfirði og Álftafirði í júní 2018.

Tegund eða hópur	Skutulsfjörður		Álftafjörður	
	M	$\pm$ SD	M	$\pm$ SD
Burstaormar (polychaeta)				
<i>Chaetozone</i> sp.	257,50	104,11	104,11	72,75
<i>Cossura pygodactylata</i>	213,32	92,11	92,11	54,51
<i>Cossura</i> sp.	3,00	141,50	141,50	197,28
<i>Capitella capitata</i>	125,80	0,00	0,00	0,00
<i>Capitella</i> sp.	37,20	21,64	21,64	23,81
<i>Dipolydora quadrilobata</i>	49,39	3,31	3,31	2,06
<i>Euchone incolor</i>	21,53	27,83	27,83	24,45
Capitellidae	34,67	13,00	13,00	16,97
<i>Malacoceros fuliginosus</i>	38,78	0,00	0,00	0,00
<i>Dipolydora socialis</i>	11,67	21,78	21,78	20,85
<i>Ennucula tenuis</i>	8,31	23,33	23,33	16,51
<i>Levinsenia gracilis</i>	17,37	7,08	7,08	6,53
<i>Paraonides nordica</i>	14,00	9,33	9,33	11,21
Cirratulidae	2,00	21,00	21,00	11,92
<i>Spio</i> sp.	11,40	11,58	11,58	8,82
<i>Scalibregma inflatum</i>	12,11	5,50	5,50	5,15
Oligochaeta	13,83	2,50	2,50	2,51
<i>Spio</i> sp1.	10,00	4,83	4,83	8,91
<i>Praxillella gracilis</i>	10,50	3,00	3,00	0,00
<i>Scoloplos armiger gpe</i>	3,55	8,20	8,20	10,02
Calanoida	2,25	8,44	8,44	8,73
<i>Maldane sarsi</i>	4,20	6,11	6,11	6,90
<i>Ampharete acutifrons</i>	10,00	0,00	0,00	0,00
<i>Hetero/Mediomastus</i>	4,29	5,71	5,71	2,70
<i>Parougia nigridentata</i>	2,00	7,50	7,50	3,54
<i>Rhodine gracilior</i>	7,00	2,00	2,00	0,00
<i>Thyasira</i> sp.	3,30	5,38	5,38	3,69
<i>Pholoe</i> sp.	1,70	6,80	6,80	6,25
<i>Terebellides stroemii</i>	6,00	2,33	2,33	1,86
<i>Ophelina acuminata</i>	6,47	1,50	1,50	0,76
<i>Tharyx</i> sp	4,00	3,33	3,33	2,45
<i>Priapulus caudatus</i>	5,00	2,25	2,25	2,50
<i>Nothria conchylega</i>	0,00	7,17	7,17	5,15
<i>Praxillella praetermissa</i>	5,50	1,50	1,50	1,00
<i>Microphthalmus</i> sp.	4,57	2,40	2,40	1,67
Priapulidae	5,25	1,50	1,50	0,58
<i>Leucon</i> sp.	2,00	4,67	4,67	5,51
<i>Praxillella</i> sp	4,50	1,83	1,83	0,75
<i>Harmothoe</i> sp	4,25	2,00	2,00	0,82

Viðauki 3: Tegundalisti (framhald)

Meðalfjöldi (M) og staðalfrávik ($\pm$ SD) 50 algengustu tegunda í Skutulsfirði og Álftafirði í júní 2018.

<i>Syllides longocirratu</i>	3,20	2,71	2,71	1,86
<i>Syllis</i> sp.	4,70	1,00	1,00	0,00
Crustacea (krabbadýr)				
<i>Robertsonites</i> sp.	3,17	9,00	9,00	0,00
Balanidae	1,20	42,50	42,50	36,81
Harpacticoida	5,88	3,25	3,25	2,63
Samlokur (bivalvia)				
<i>Abra nitida</i>	5,14	4,31	4,31	2,98
Mytilidae	14,07	2,33	2,33	2,24
Þráðormar (Nematoda)	63,42	14,00	14,00	15,07
Ranaormar (Nemertea)	2,10	5,19	5,19	6,84



HAFRANNSÓKNASTOFNUN

Rannsókn- og ráðgjafarstofnun hafs og vatna