

# HAF- OG VATNARANNSÓKNIR

MARINE AND FRESHWATER RESEARCH IN ICELAND

Vöktun á botndýralífi og umhverfisþáttum í  
rannsóknum á umhverfisáhrifum sjókvíaeldis  
Arnarfjörður og Ísafjarðardjúp 2018

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



**HAFRANNSÓKNASTOFNUN**

Rannsókná- og ráðgjafarstofnun hafs og vatna

**MARINE & FRESHWATER RESEARCH INSTITUTE**

## Vöktun á botndýralífi og umhverfisþáttum í rannsóknum á umhverfisáhrifum sjókvíaeldis – Arnarfjörður og Ísafjarðardjúp 2018

*Monitoring of benthic invertebrate communities and environmental variables in relation to environmental impacts of mariculture*

<b>Höfundar</b>	Stefán Áki Ragnarsson, Hildur Magnúsdóttir, Hjalti Karlsson, Rakel Guðmundsdóttir og Laure de Montety
<b>Verkefnisstjóri</b>	Hjalti Karlsson
<b>Yfirfarið af</b>	Steinunn Hilma Ólafsdóttir og Andreas Macrander
<b>Samþykkt af</b>	Jónas Jónasson, Botnsjávarsvið

### Haf- og vatnarannsóknir / Marine and Freshwater Research in Iceland

<b>Númer</b>	HV 2024-49	<b>ISSN</b>	2298-9137
<b>Dagsetning</b>	21. nóvember 2024	<b>Dreifing</b>	Opin
<b>Fjöldi síðna</b>	46	<b>Verknúmer</b>	10840

© Hafrannsóknastofnun, rannsókn- og ráðgjafarstofnun hafs og vatna

## Ágrip

Í skýrslunni er greint frá niðurstöðum úr rannsóknarleiðangri sem farinn var í Arnarfjörð og Ísafjarðardjúp í október árið 2018. Markmið hans var að afla grunnupplýsinga um botndýralíf fjarðanna, meta hvaða umhverfispættir móta botndýralíf helst, sem og að kanna möguleg fjaráhrif af sjókvíaeldi sem starfrækt er í Arnarfirði. Margvíslegum gögnum var safnað, þ.m.t myndbandsupptökum af sjávarbotni (þéttleiki stærri botndýra og botnlag/botngerð), greiparsýnum (þéttleiki og samsetning botndýra í seti) og sýnum með kjarnataka; dýpt súrefnislags ( $O_2$ ), styrkur brennisteinsvetnis ( $H_2S$ ), sýrustig (pH), afoxunarmætti, lífrænt efni (%) og kornastærð botnsets. Fjölbreytni botndýralífs var mun meiri í Ísafjarðardjúpi en í Arnarfirði. Á hinn bóginn gat verið mikill svæðisbundinn munur í gerð botndýrasamfélaga innan fjarðanna. Þeir umhverfispættir sem útskýrðu mestan breytileika í dreifingu og tegundasamsetningu botndýralífs voru dýpi sýnatökustöðva sem og staðsetning þeirra innan fjarðar m.t.t. lengdargráðu, ásamt að einhverju leyti kornastærð sets. Efnapættir ( $O_2$ , afoxunarmætti, pH og  $H_2S$ ) í seti sem og lífrænt kolefni útskýrðu mjög lítið af breytileikanum. Sé ástand botndýralífs miðað við viðmiðunargildi NQI1 stuðulsins, kom í ljós að ástand botndýralífs taldist vera gott í báðum fjörðunum, að frátöldum nokkrum stöðvum í Arnarfirði, sem útskýrist af þeim sérstöku umhverfisaðstæðum sem þar eru að finna en líklega ekki vegna sjókvíaeldisins.

**Lykilorð:** Umhverfisáhrif, botndýr, hryggleysingar, fiskeldi, lífrænt álag, tegundafjölbreytileiki

## Abstract

*This report details the results from a study carried out in Arnarfjörður and Ísafjarðardjúp in October 2018 that had the objectives to obtain baseline data on benthic communities in the two fjords, identify the most important environmental drivers structuring these and to examine potential far-field impacts of mariculture. Diverse types of data were collected including underwater video footage (characterisation of habitat types and larger epifauna), grab samples (estimation of abundance and composition of infauna) and sediment core samples (oxygen penetration depth ( $O_2$ ), concentration of hydrogen sulphide ( $H_2S$ ), pH, redox potential, percentage of organic matter and grain size). The results from the survey revealed much greater species diversity in Ísafjarðardjúp than in Arnarfjörður while there were large regional differences within the two fjords. The environmental drivers that explained most of the variability in the structure of the benthic community were depth and the longitudinal location of the samples within the fjords, and to some extent the grain size while the sediment chemical parameters were not important. Comparing the NQI1 index values with their established threshold values suggested that the overall condition of the benthic community appears to be in a good state, apart from few stations in Arnarfjörður, which was more likely to be due to the naturally unfavourable environmental conditions at these locations rather than due to impacts from fish farming.*

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

# Efnisyfirlit

<b>1 Inngangur</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Aðferðir</b> .....	<b>4</b>
2.1 Rannsóknasvæði .....	4
2.2 Sýnatökuaðferðir .....	5
2.2.1 Myndataka .....	5
2.2.2 Botndýrasýni .....	6
2.2.3 Setsýni.....	6
2.3 Sýnatökuleiðangur .....	7
2.4 Tölfræðileg úrvinnsla.....	9
<b>3 Niðurstöður</b> .....	<b>10</b>
3.1 Dreifing stærri lífvera á botni (úrvinnsla myndbandsefnis) .....	10
3.2 Samanburður á botndýralífi í Arnarfirði og Ísafjarðardjúpi.....	12
3.3 Samanburður á samfélagsgerð botndýra .....	15
3.3.1 Arnarfjörður.....	16
3.3.2 Ísafjarðardjúp.....	18
3.4 Samanburður á þéttleika, tegundafjölda og fjölbreytileika botndýra .....	20
3.4.1 Arnarfjörður.....	20
3.4.2 Ísafjarðardjúp.....	23
3.5 Samband NQI1 vísitölunnar við fjölbreytileikastuðla .....	25
3.6 Fjölbreytni botndýralífs og landfræðileg lega .....	26
3.7 Áhrif umhverfispáttá á tegunda- og umhverfisfjölda .....	27
3.8 Áhrif umhverfispáttá á samfélagsgerð botndýra .....	31
<b>4 Umræður</b> .....	<b>35</b>
<b>5 Niðurlag</b> .....	<b>37</b>
<b>Heimildir</b> .....	<b>38</b>
<b>Viðauki 1: Meðalfjöldi einstaklinga á myndbandssniði í Arnarfirði</b> .....	<b>43</b>
<b>Viðauki 2: Meðalfjöldi tegunda úr botngreip</b> .....	<b>44</b>
<b>Viðauki 3: Meðalfjöldi algengustu tegunda úr botngreip</b> .....	<b>45</b>

## Myndaskrá

Mynd 1. Söfnunartæki notuð í verkefninu .....	5
Mynd 2. Staðsetning sýnatökustöðva .....	8
Mynd 3. Tegundir og tegundahópar sem sáust á myndefni í Arnarfirði .....	11
Mynd 4. Samanburður á lífríki Arnarfjarðar og Ísafjarðardjúps .....	12
Mynd 5. Dreifing burstaormategunda.....	14
Mynd 6. Tegundir og hópar sem voru algengar í Ísafjarðadjúpi en sjaldgæfar í Arnarfirði .....	15
Mynd 7. Samanburður á samfélagsgerð botndýra í Arnarfirði og Ísafjarðardjúpi .....	16
Mynd 8. Samanburður á samfélagsgerð botndýra innan Arnarfjarðar .....	17
Mynd 9. Samanburður á samfélagsgerð botndýra innan Ísafjarðardjúps .....	19
Mynd 10. Botngreiparsýni í Arnarfirði.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Mynd 11. Fjölbreytni botndýralífs í Arnarfirði.....	21
Mynd 12. Samanburður á tegundafjölbreytileika og fjölbreytileika vísitölum í Arnarfirði og Ísafjarðardjúpi .....	22
Mynd 13. Fjölbreytni botndýralífs í Ísafjarðardjúpi .....	24
Mynd 14. Botngreiparsýni í Ísafjarðardjúpi .....	24
Mynd 15. Samband NQ1 og 5-AMBI vísitalnanna við fjölbreytileikastuðla .....	25
Mynd 16. Fjölbreytni botndýralífs og landfræðileg lega (lengdargráða) í Arnarfirði.....	26
Mynd 17. Fjölbreytni botndýralífs og landfræðileg lega (lengdargráða) í Ísafjarðardjúpi .....	27
Mynd 18. Áhrif umhverfispátta í seti á botndýralíf í Arnarfirði .....	28
Mynd 19. Áhrif umhverfispátta í seti á botndýralíf í Ísafjarðardjúpi.....	29
Mynd 20. Samband NQ1 vísitölnunnar og 50% (miðgildi) hlutfallsgildis í kornastærð .....	30
Mynd 21. Kornastærð og dýpi.....	30
Mynd 22. Áhrif umhverfispátta á samfélagsgerð botndýra í Ísafjarðardjúpi .....	32
Mynd 23. Áhrif umhverfispátta á samfélagsgerð botndýra í Arnarfirði .....	32
Mynd 24. Hlutfallsleg áhrif helstu umhverfisbreyta .....	34

## Töfluskrá

Tafla 1. Samanburður á samfélagsgerð botndýra í Arnarfirði og Ísafjarðardjúpi.....	15
Tafla 2. Samanburður á samfélagsgerð botndýra innan Arnarfjarðar .....	16
Tafla 3. Samanburður á samfélagsgerð botndýra innan Ísafjarðardjúps .....	18
Tafla 4. Áhrif umhverfispátta á samfélagsgerð botndýra í Arnarfirði .....	31
Tafla 5. Áhrif umhverfispátta á samfélagsgerð botndýra í Ísafjarðardjúpi .....	33

# 1 Inngangur

Markmið rannsóknarinnar er að framkvæma nauðsynlega vöktun á lífríki og umhverfisþáttum á fjarsvæðum eldissvæða innan fjarða. Fjarðavistkerfi eru vöktuð í tíma og rúmi með öflun margvíslegra gagna sem miða að því að kanna breytingar í þéttleika og samfélagsgerð botndýra, sem og í margvíslegum umhverfisþáttum s.s. hvað varðar gerð og eiginleika botnsets (t.d. kornastærð, magn lífræns efnis og efnaferlar) og ýmsa haffræðilega þætti (t.d. uppleyst ólífræn efni). Í þessu verkefni er ekki lögð áhersla á að vakta svæði í grennd (nærsvæði) við kvíar, en sú vinna er framkvæmd af ráðgjafafyrirtækjum eða sambærilegum aðilum í samræmi við starfsleyfisskylda vöktunaráætlun fiskeldisfyrirtækja. Gagnaöflun í verkefninu hefur farið fram á Vestfjörðum (Arnarfjörður, Ísafjarðardjúp, Dýrafjörður, Patreksfjörður og Tálknafjörður) og á Austfjörðum (Reyðarfjörður, Berufjörður, Fáskrúðsfjörður og Stöðvarfjörður).

Margvíslegir umhverfisþættir hafa áhrif á gerð botndýrasamfélaga á og í mjúkum botni (Bachelet o.fl. 1994, Veiga o.fl. 2017), þótt færri rannsóknir hafi sérstaklega skoðað firði í þessu samhengi. Í Tysfjorden, norskum firði sem er mun stærri en t.d. Ísafjarðardjúp (sem þó telur 1100 km<sup>2</sup>), voru það styrkur súrefnis í vatnsbolnum og magn lífræns kolefnis í setinu sem höfðu hvað mest mótandi áhrif á gerð botndýrasamfélaga (Molina o.fl. 2019). Svipaðar niðurstöður fengust hjá Sen o.fl. (2022) sem báru saman áhrif umhverfisþátta á lífríki í mörgum norskum fjörðum, en þar voru það dýpi og lífrænt kolefni sem höfðu mest áhrif. Niðurstöður úr þeirri rannsókn sýndu líka að stór hluti (75%) breytileika í tegundasamsetningu botndýra í norsku fjörðunum var ekki hægt að útskýra með þeim umhverfisbreytum skv. þeim gögnum sem lágu fyrir.

Margar rannsóknir hafa sýnt fram á að fiskeldi í opnum sjókvíum getur haft veruleg staðbundin áhrif á lífríki sjávarbotnsins af völdum uppsöfnunar lífræns efnis, en áhrifin eru þá venjulega bundin við botn undir kvíum eða í næsta nágrenni við þær (oftast innan við 100 m), (t.d. Kalantzi og Karakassis 2006). Við uppsöfnun lífrænna efna verða margvíslegar breytingar á efnafræði sets, s.s. aukning í styrk brennisteinsvetnis (H<sub>2</sub>S), en lækkun í styrk súrefnis, lækkun á pH og breytingar á því hvaða oxarar eru notaðir við niðurbrot (afoxunarmætti) (Rakel Guðmundsdóttir o.fl. 2020).

Á botni þar sem er mikil súrefnisþurrð getur orðið aukning á brennisteinskærum bakteríum (t.d. *Beggiotoa* sp.), (Knight o.fl. 2021). Þar sem lífrænt álag er mjög mikið geta myndast skaðlegar gastegundir s.s. brennisteinsvetni og metan sem geta haft áhrif á eldisfisk og annað lífríki (Alipio o.fl. 2023). Lífrænt álag á botnset veldur venjulega óæskilegum breytingum í samsetningu og þéttleika botndýra, en hversu mikil áhrifin verða ræðst af margvíslegum þáttum s.s. magni lífræns úrgangs sem fellur til botns dreifingu þess sem og hversu viðkvæmt botndýralífið er fyrir ofauðgun.

Lágur styrkur súrefnis við botn getur haft neikvæð áhrif á botndýralíf og oft er miðað við þumalputtaregluna að skaðleg áhrif fari að greinast neðan við 2 mg/L. Vaquer-Sunyer og Duarte (2008) notuðu niðurstöður úr 872 rannsóknum fyrir 206 tegundir til að fá heildstætt mat á þá þröskulda í styrk súrefnis sem hafa óæskileg áhrif á þær. Þessir höfundar sýndu fram á að sumar tegundir og hópar (t.d. burstaormar) þola mun betur lækkun í styrk súrefnis en aðrar (t.d. krabbadýr og fiskar). Margir þættir geta ákvarðað styrk súrefnis í seti (sjá t.d. Glud 2008, Rakel Guðmundsdóttir o.fl. 2020). Þekkt er að sjókvíaeldi getur valdið lækkun í styrk súrefnis í seti, og sem dæmi þá sýndi Cranford o.fl. (2022) lækkun í styrk súrefnis í allt að 1000 m fjarlægð frá eldissvæðum.

Í ljósi staðbundinna áhrifa af eldi á lífríki botns er nauðsynlegt að hvíla eldissvæðið til að tryggja það að botndýralífið jafni sig á raskinu áður en að eldi hefst þar að nýju. Sá tími sem það tekur fyrir botndýralíf að jafna sig af staðbundnum áhrifum eldis eftir ofauðgun getur verið breytilegur (Zhulay o.fl. 2015, Macleod o.fl. 2006) og stundum getur verið erfitt að meta hvenær það hefur náð sér að fullu sé mikill breytileiki í botndýrasamfélögum í tíma og rúmi (Keeley o.fl. 2014). Lífrænn úrgangur sem fellur til botns getur borist langar leiðir og gæti þar af leiðandi haft áhrif á botndýralíf utan þess svæðis sem er hluti af reglubundinni vöktun. Sem dæmi má nefna að þar sem straumar eru sterkir getur úrgangurinn borist mun lengra, og þannig náð yfir stærra svæði, en áhrifin á flatareiningu á lífríki botns væru líklega minni en þar sem straumar eru veikari og úrgangur dreifist á minna svæði (Keeley o.fl. 2013).

Líkön (s.s. NewDEPOMOD) hafa verið notuð til að kanna mögulega dreifingu og magn lífræns úrgangs sem fellur til botns (Fox o.fl. 2023). Bannister o.fl. (2016) mátu með líkani að 75% af úrganginum félli á botninn innan við 500 m fjarlægð frá kvíastæði en minna eftir því sem fjær dró, t.d. tæp 3% í >2 km fjarlægð. Sarà o.fl. (2004) fundu merki um lífrænt álag í seti í allt að 1 km fjarlægð frá kvíum í eldi í Miðjarðarhafi þar sem styrkur næringarefna var lágur náttúrulegum völdum (oligotrophic). Rannsóknir hafa sýnt að áhrif af völdum lífræns úrgangs á botndýralíf eru í flestum tilfellum greinanleg undir og í grennd við kvíar en sjaldnar þegar komið er lengra frá (0,1-1 km). Til dæmis sýndu Kutti o.fl. (2007 og 2008) fram á að áhrif ofauðgunar á botndýralíf í norskum firði voru greinanleg um 250 m frá eldissvæðinu og í rannsókn sem fór fram í Miðjarðarhafinu (Forchino o.fl. 2011) í allt að 1000 m frá kvíum.

Mun færri rannsóknir hafa kannað hvort að sjókvíaeldi hafi áhrif á botndýralíf á stórum svæðum í strandsjó, s.s. innan fjarða og flóa. Pohle o.fl. (2001) tóku sýni á þremur svæðum í Bay of Fundy, Kanada; „Lime Kiln“ (mikið eldi), „Bliss Harbour“ (eldi tiltölulega nýhafið) og „Deadmans Harbour“ (ekkert eldi stundað í nokkur ár). Tekin voru sýni árin 1994, 1995, 1997 og 1999. Niðurstöður sýna að samsetning og þéttleiki botndýra breyttist meira yfir tíma í „Lime Kiln“ sem þeir töldu vera vegna lífræns álags af völdum eldis. Engin greinileg áhrif fundust á botndýralíf á hinum svæðunum tveimur sem hægt væri að rekja til eldis. Husa o.fl. (2014) vöktuðu botndýralíf í Harðangursfirði í Noregi, sem er þriðji stærsti fjörður í heiminum með þröskuld á 150-200 m á dýpi og með mjög umfangsmikið laxeldi. Tekin voru sýni með botngreip að lágmarki í 3 km fjarlægð frá næsta eldissvæði, á þremur stöðvum innan fjarðarins (fimm sýni á hverri stöð). Engin greinileg áhrif voru merkjanleg á lífríki botnsins á þessum fjarsvæðum sem gefur til kynna að vistkerfi fjarðarins hafi verið í góðu ástandi þrátt fyrir mikið staðbundið álag. Sömu sögu má segja af rannsókn sem fór fram í Argostoli flóa við Kefaloniu, í Jónahafi þar sem engar stórar breytingar greindust, hvorki í efnasamsetningu sets né í gerð botndýrasamfélaga yfir tímabilið 1996-2015, sem tengja mætti beint við sjókvíaeldi (Tsikopoulou o.fl. 2018).

Það er að mörgu leyti flókið að vakta með ásættanlegum hætti fjaráhrif af völdum eldis. Bæði getur samsetning tegunda og þéttleiki botndýra verið breytileg í tíma og rúmi, s.s. vegna nýliðunar eða breytinga í umhverfisskilyrðum (Guerin o.fl. 2023). Því er mikilvægt að afla nægilegs fjölda botndýrasýna sem og mælinga á þeim umhverfisþáttum sem geta haft áhrif á þéttleika þeirra og samsetningu til að fá ásættanlegan tölfræðilegan styrk til að greina áhrif af völdum eldis frá umhverfisbreytingum af náttúrulegum orsökum (Franco o.fl. 2015).

Einnig er mikilvægt að greina ástæður breytinga í gerð botndýrasamfélaga með því að nota margvíslega staðlaða gæðavísa til að mæla ástand vistkerfisins. Til að setja viðmiðunargildi á þá gæðavísa er

nauðsynlegt að greina svæðisbundið hvenær ástand vissra búsvæða er slæmt eða gott (Pamela Woods o.fl. 2021, Rakei Guðmundsdóttir o.fl. 2022) þar sem það er vel hugsanlegt að sum svæði sem eru með öllu öröskuð af eldi hafi náttúrulega lág gildi úr slíkum gæðavísunum. Í því ljósi er varhugavert að einblína um of á niðurstöður úr fjölbreytileikastuðlum frá einum tímapunkti (t.d. Couce o.fl. 2020, Hiddink o.fl. 2023) og betra að kanna breytingar í fjölbreytileika á sama svæði yfir tíma (Shojaei o.fl. 2021). Greinist óæskilegar breytingar í fjölbreytileika í grennd við eldissvæði frá einum tíma til annars væri hægt að fara í frekari sýnatöku til að kanna hvort að ástæða breytinganna sé vegna eldis eða ekki. Í ljósi þessa er mikilvægt að vakta reglulega eldissvæði með sýnatöku utan þeirra svæða þar sem lögbundin vöktun fer fram til að kanna möguleg fjaráhrif. Ólíklegt er að slík fjaráhrif greinist nema ef slík reglubundin vöktun fari fram.

Í þessari skýrslu er getið frá niðurstöðum úr leiðangri verkefnisins sem var farinn í október 2018 í Arnarfjörð og Ísafjarðardjúpi. Megináherslur leiðangursins voru eftirfarandi:

1. Safna grunnögnum um botndýralíf og umhverfisþætti.
2. Safna gögnum frá dýpstu hlutum fjarðanna. Á þessum svæðum eru líkur á að styrkur súrefnis sé lágur að hausti auk þess sem að það er mögulegt að þar gæti orðið aukin uppsöfnun lífræns efnis en þar sem grynna er.
3. Hefja reglulega vöktun í Arnarfirði til að meta möguleg fjaráhrif af völdum eldis.
4. Safna upplýsingum um gerð samfélaga botndýra innan fjarða þar sem fiskeldi er ekki til staðar (Ísafjarðardjúpi) og/eða á svæðum innan fjarða sem eru langt frá eldissvæðum. Slíkar upplýsingar gegna veigamiklu hlutverki við að greina möguleg fjaráhrif af eldinu.



## 2 Aðferðir

### 2.1 Rannsóknasvæði

Í mynni Arnarfjarðar er þröskuldur sem takmarkar innflæði sjávar í botnlag fjarðarins. Botnlagið fyrir neðan 60 – 80 m dýpi er þá meira eða minna einangrað sem veldur hægfara lækkun í styrk súrefnis áður en uppblöndun á sér stað seint að hausti, venjulega í Nóvember (Andreas Macrander o.fl., 2021; Andreas Macrander og Sólveig R. Ólafsdóttir 2023). Í Arnarfirði er aðallega innstreymi inn fjörðinn að sunnanverðu (á 20-60 m dýpi) en útstreymi að norðanverðu, aðallega við yfirborð (Andreas Macrander o.fl. 2021). Andreas Macrander og Sólveig R. Ólafsdóttir (2023) könnuðu með líkani styrk næringarefna yfir árið. Líkanið sýndi að styrkur köfnunarefnis, fosfórs og kísils lækkar mjög yfir sumarmánuðina í efri lögum sjávar, vegna upptöku svifþörungum á þessum næringarefnum, meðan að styrkur efnanna eykst yfir vetrarmánuðina þegar niðurbrot á þörungum og öðrum lífrænum ögnum hefur átt sér stað, sem og vegna uppblöndunar vatnsbolsins. Sjókvíaeldi getur síðan valdið aukningu á styrk næringarefna í botnlaginu en í Arnarfirði hefur talsvert fiskeldi verið stundað víða um fjörðinn frá árinu 2014 (Rakel Guðmundsdóttir o.fl. 2020). Leyfður hámarkslífmassi í eldi í Arnarfirði er 20.000 tonn á grundvelli endurskoðaðs áhættumats (2020) og burðarþolsmats (2022a) Hafrannsóknastofnunar.

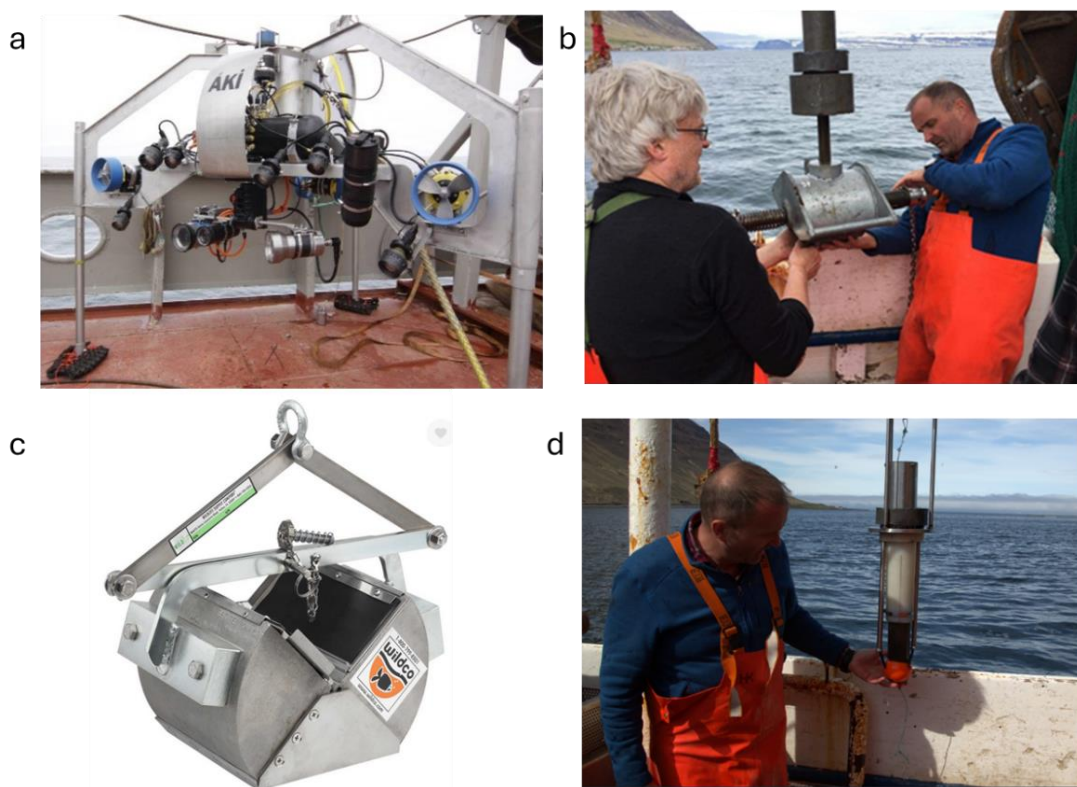
Í Ísafjarðardjúpi er innstreymið einnig að sunnanverðu og útstreymið að norðanverðu. Vatnsskiptin í Ísafjarðardjúpi eru hins vegar öflug, sér í lagi fyrir utan Æðey, en mun veikari þar austur af (Hafrannsóknastofnun 2022b). Í inndjúpinu (sumar 2011) mældist mjög hægur meðalstraumur (~1 cm/s) og var hann inn fjörðinn meðan mælingar að vetrarlagi (2012-2013) sýndu að meðalstraumur var til suðausturs um 1-3 cm/s (Steingrímur Jónsson og Héðinn Valdimarsson, 2015). Botnstraumar geta einnig haft töluverð áhrif á dreifingu sets á sjávarbotninum sem og kornastærð. Til dæmis þarf sterkari straum til að hreyfa við leir samanborið við set sem er grófara, en ástæðan er sú að fíngróðar kornagnir límast vel saman. Á hinn bóginn berst það fínefni sem rótast upp mun lengra en það sem grófara er. Þessu sambandi á milli straumhraða og uppróts og botnfalls efnis var fyrst lýst af Hjulström (1935) og hefur verið rannsakað ítarlega (t.d. Yang o.fl. 2019). Í Ísafjarðardjúpi hafði fiskeldi aðeins verið stundað að takmörkuðu leyti í tveimur innfjörðum árið 2018, í Skutulsfirði og í Álftafirði. Á grundvelli endurskoðaðs áhættumats Hafrannsóknastofnunar (2020) vegna erfðablöndunar í eldi í Ísafjarðardjúpi er leyfður hámarkslífmassi 12.000 tonn af frjóum laxi en má auka í 14.000 tonn séu notuð 400 gramma seiði. Í þessu verkefni safnast mikilvæg grunngögn um lífríki Ísafjarðardjúps sem hægt verður að nota til að meta og vakta áhrif fiskeldis í firðinum.

## 2.2 Sýnatökuaðferðir

Í október árið 2018 var ýmsum gögnum safnað í leiðangri í Arnarfjörð og Ísafjarðardjúpi. Hér að neðan er greint frá þeim aðferðum sem notaðar voru í rannsókninni.

### 2.2.1 Myndataka

Myndefni af botninum var safnað í þeim tilgangi að fá upplýsingar um botngerð og þéttleika og tegundasamsetningu stærrí lífvera. Notuð var þrífætt myndavélagrind úr stáli („campod“) sem hefur verið notuð hér við land við ýmsar rannsóknir á lífríki botnsins (Mynd 1a, Steinunn Hilma Ólafsdóttir o.fl. 2020, Ásgeir Gunnarsson o.fl. 2022). Á grindinni var komið fyrir neðansjávarmyndavél sem og margvíslegum öðrum búnaði. Við notkun er grindinni slakað nálægt botni og myndefni af sjávarbotni safnað á meðan skipið rekur. Þar sem grindin hangir í ljósleiðarakapli, er hægt að fylgjast með sjávarbotninum í rauntíma (Steinunn Hilma Ólafsdóttir o.fl. 2020). Myndavélagögnin úr þessari sýnatöku voru m.a. nýtt til að fá upplýsingar um dreifingu botnfisktegunda og stærrí hryggleysingja (>10 cm) sem þrífast á yfirborði sets í Arnarfirði. Metinn var meðalfjöldi einstaklinga fyrir hverja tegund/tegundahóp fyrir sig per 100 m af myndbandssniði í firðinum.



Mynd 1. Söfnunartæki notuð í verkefninu. a) „campod“ grindin með tækjabúnaði, b) Shipex botngreip (ljósmynd: Raket Guðmundsdóttir), c) Petit Ponar botngreip og d) heimasníðaður kjarnataki.

## 2.2.2 Botndýrasýni

Botngreiparsýni voru tekin til að afla upplýsinga um þéttleika og samsetningu smærri botndýra sem þrífast á og ofan í setinu (sjá einnig Steinunn Hilma Ólafsdóttir 2022). Flest sýni voru tekin með Shipek botngreip sem safnar 0,04 m<sup>2</sup> af flatarmáli sjávarbotns (Mynd 1b). Á einu svæði við Tjaldanes gekk ekki að safna með Shipek greipinni og voru þá tekin sýni með Petit Ponar greip frá Wildco (Mynd 1c) sem hefur minna söfnunarflatarmál (0,023 m<sup>2</sup>). Á hverri stöð voru tekin þrjú greiparsýni og reynt var að taka þau eins nálægt hvoru öðru eins og mögulegt var. Í mörgum tilfellum var hægt að taka öll þrjú sýnin á stöð í sömu atrennu á um 10-15 mínútum þegar rek skipsins var lítið (fjarlægð á milli sýna <50 m), en þegar rek var meira þurfti oft að færa skipið á upphafspunkt sem lengdi verulega þann tíma sem það tók að safna öllum sýnunum. Greiðlegast gekk að safna með botngreip á mjúkum leir- eða sandbotni, en þar sem mikið var um skeljabrot eða mól, þurfti oft að prófa oftast en einu sinni til að ná í sýni. Þegar greipin var komin um borð var sýnið sett í stóran bala, og ofan á það settur sýnatökumiði þar sem á stöð númer leiðangurs, dagsetning og stöðvanúmer og ljósmynd síðan tekin af því til að staðfesta sýnatökunúmer komi upp ruglingur seinna meir og fá sjónrænt mat á botnseti, s.s. hvað varðar lit þess og áferð. Þegar greip er í botni, skráir áhafnarmeðlimur upplýsingar um staðsetningu sem og tíma og dagsetningu á sérstakt eyðublað. Fyrir hvert sýni voru líka skráðar upplýsingar um sérkenni þess: 1) fylling í greip (í prósentum) auk grófs mats á lit og setgerð s.s. hlutfall malar, skeljabrota og leirs í botnseti, 2) lykt af seti (ef annað en eðlileg), 3) stærð íláts sem sýnið var sett í og 4) almennar athugasemdir. Sýnið var síðan sigtað með 500 µm sigti í bala sem var fylltur með sjó og dýrin sem urðu eftir í sigtinu síðan geymd í 4% formaldehýð lausn (10% formalín) sem var blandað með sjó. Í rannsóknarstofu í landi var sýnið skolað með ferskvatni í gegnum 500 µm sigti til að hreinsa formalínið úr sýninu og það geymt í etanóli. Við úrvinnslu sýnis voru fyrst allir hryggleysingjar tíndir úr því og flokkuð í megin dýrahópa en einstaklingar síðan greindir frekar til tegunda eða ættkvíslar.

## 2.2.3 Setsýni

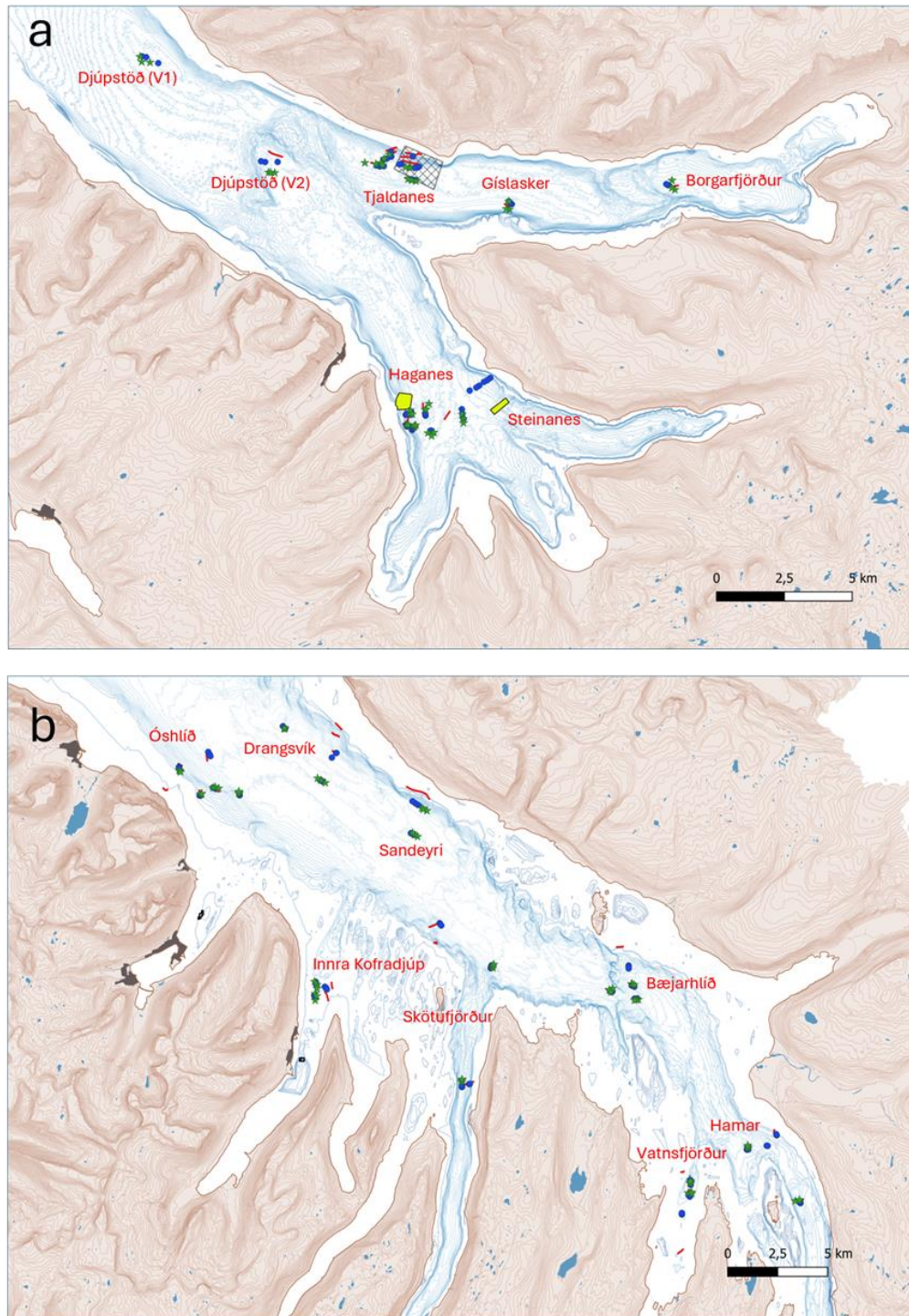
Setsýni voru tekin með kjarnataka (gravity corer, Mynd 1d) til að mæla efnaferla, dýpt súrefnislags (O<sub>2</sub>), afoxunarmætti (e. redox potential, E<sub>h</sub>), sýrustig (pH) og magn brennisteinsvetnis (H<sub>2</sub>S) í seti (sjá Raket Guðmundsdóttir o.fl. 2020 fyrir frekari upplýsingar). Ákvörðun um hvort að óhætt væri að taka sýni með kjarnataka var byggð á sjónrænu mati á því seti sem fékkst í botngreipina, þ.e. ef það var mikið af dýrum með harða skel, skeljabrot og mól að þá taldist ekki ráðlagt að taka sýni með kjarnataka þar sem töluverð hætta var á að örnemar við mælingar brotni þegar þeir fara niður í botnsetið. Úr kjarnasýnum voru tekin hlutsýni til að mæla lífrænt kolefni og kornastærð. Sýni voru fryst þar til unnið var úr þeim. Til að mæla lífrænt kolefni voru sýnin brennd í ofni og sýni vigtuð fyrir og eftir brennslu (sjá Raket Guðmundsdóttir o.fl., 2020). Kornastærð var greind með því að nota Camsizer X2<sup>1</sup> sem greinir smákorn og formlögun þeirra á bilinu 0,8 µm til 8 mm. Greiningarfærni tækisins er mikill og mælingartími er afar skammur, eða um 5 mínútur á hvert sýni.

<sup>1</sup> <https://www.microtrac.com/products/particle-size-shape-analysis/dynamic-image-analysis/camsizer-x2/>

## 2.3 Sýnatökuleiðangur

Gagnasöfnun fór fram í árlegum innfjarða rækjuleiðangri Hafrannsóknastofnunar á rs. Bjarna Sæmundssyni í Arnarfirði og Ísafjarðardjúpi, 5.-16. október 2018 (Mynd 2a). Í Arnarfirði var sýnum og myndefni safnað á fjórum djúpstöðvum (>100 m), tveimur utarlega í firðinum og tveimur í nyrðri innfirði Arnarfjarðar. Einnig var sýnum safnað í mismunandi fjarlægð frá eldissvæðunum Tjaldanesi, Haganesi og Steinanesi. Eldissvæðið við Tjaldanes hafði verið í hvíld í u.þ.b. eitt ár sem gerði kleift að safna sýnum bæði á eldissvæðinu sjálfu sem og á fjarsvæðum eldissvæðisins (Mynd 2a). Þótt að það væri ekki megintilgangur þessarar rannsóknar að kanna áhrif hvíldar eldissvæða á botndýralíf þótti það athyglisvert að fá hugmynd um ástand botndýralífs á þessu svæði. Við Tjaldanes voru sýni tekin innan eldissvæðisins á 90-100 m dýpi sem og í u.þ.b. 300-650 m fjarlægð vestur af eldissvæðinu á 85-95 m dýpi og u.þ.b. 100 m suður af því á 100 m dýpi. Við Haganes voru sýni tekin á tveimur sniðum á fjarsvæði eldissvæðisins, og á hverju sniði var sýnum safnað á þremur dýpisbilum 60-70 m, 80-90 m og á >90 m dýpi. Við Steinanes voru sýni tekin u.þ.b. 500-700 m vestur (70-90 m dýpi) sem og 700 m suður (>90 m) af kvíastæðinu.

Í Ísafjarðardjúpi voru sýni tekin víða í firðinum (Mynd 2b). Ystu stöðvarnar voru við Snæfjallaströnd (Drangsvík) norðan megin, Óshlíð sunnan megin, en þær innstu við Hamar (í mynni Ísafjarðar) á 40-170 m dýpi. Sýni voru tekin innan og utan við fyrirhuguð eldissvæði við Óshlíð, Drangsvík (grunn og djúp), Sandeyri, Innra Kofradýpi, norðan Vigurs, Skötufirði, Bæjarhlíð, Vatnsfirði, Hamar og Látur. Sýni voru einnig tekin víða á djúpstöðvum (neðan 120 m dýpis). Í Arnarfirði voru tekin 23 snið með campod myndavélagrindinni (100-600 m á lengd). Í Ísafjarðardjúpi var myndefni safnað af 37 sniðum (120-1360 m löng) en oftast voru þau um 300 m. Í Arnarfirði voru samtals tekin 56 sýni með Shipek botngreip en einu sýni með Petit Ponar greip við Tjaldanes. Þetta sýni var tekið með í frekari úrvinnslu þar sem uppreiknaður fjöldi (m.v. flatarmál) og samsetning dýra í þessu sýni var mjög svipaður og í botngreiparsýnum sem safnað var með Shipek greipinni. Í Ísafjarðardjúpi voru tekin 85 sýni með Shipek botngreip. Í Arnarfirði voru tekin 42 kjarnasýni en 57 í Ísafjarðardjúpi (sjá Raket Guðmundsdóttir o.fl. 2020).



Mynd 2. Staðsetning sýnatökustöðva í a) Arnarfirði og b) Ísafjarðardjúpi þar sem sýni voru tekin með Shipek botngreip (bláir punktar), kjarnataka (grænar stjörnur) og myndefni með campod (rauðar línur). Eldissvæðin í Arnarfirði við Steinanes og Haganes sem voru virk eru sýnd með gulum lit en svæðið við Tjaldanes sem var í hvíld er sýnt með skástrikuðum línur. Sýnd eru heiti þeirra helstu staða sem getið er í skýrslunni.

## 2.4 Tölfræðileg úrvinnsla

Margvíslegar einvíðar (univariate) aðhvarfsgreiningar voru gerðar til að kanna sambönd á milli ýmissa breyta, s.s. á milli fjölda tegunda, einstaklinga og fjölbreytileikastuðla við umhverfisbreyturnar dýpi og staðsetningu innan fjarðar, auk þátta sem varða efnafræði og kornastærð sets. Við úrvinnslu gagna voru notaðar tvær gerðir af margþáttgreiningum, Multidimensional Scaling (MDS) og Redundancy Correspondence Analysis (RDA). Í MDS aðferðarfræðinni raðast sýni á kort sem hafa svipaðan fjölda einstaklinga og tegunda (hafa háan skyldleika) nálægt hverju öðru meðan að sýni með lágan skyldleika fjær hvor öðru. Forritið leggur mat á hversu mikið „stress“ er í dreifingu stöðva og eftir því sem það er hærra, því ólíklegra er að sú mynd sem er dregin upp í greiningunni svipar raunverulegum skyldleika á milli sýna. Simper aðferðarfræðin var einnig notuð, til að kanna hvaða tegundir útskýrðu mest af mun í skyldleika á milli sýna (Clarke 1993). Í kjölfarið var PERMANOVA (Permutational Multivariate Analysis of Variance) prófið notað til að kanna hvort að marktækur munur væri á gerð botndýrasamfélaga í Arnarfirði og Ísafjarðardjúpi, sem og hvort að marktækur munur fyndist í gerð botndýrasamfélaga á milli undirsvæða sem og á milli dýpisbila innan beggja fjarðanna. RDA aðferðin dreifir líka sýnum á kort líkt og MDS aðferðin en bætir við lýsibreytum, s.s. umhverfisbreytum og metur hve mikið hver breyta útskýrir af breytileikanum í samfélagsgerð botndýra. Hægt er að reikna út hve mikið hver breyta útskýrir ein og sér (óháð öðrum breytum), sem og hve mikið hún útskýrir, eftir að breytileikinn frá öðrum breytum hefur verið fjarlægður. Í þeim tilfellum er sú breyta sem útskýrir minna af breytileikanum fjarlægð úr greiningunni, en hinni er haldið eftir í úrvinnslunni.

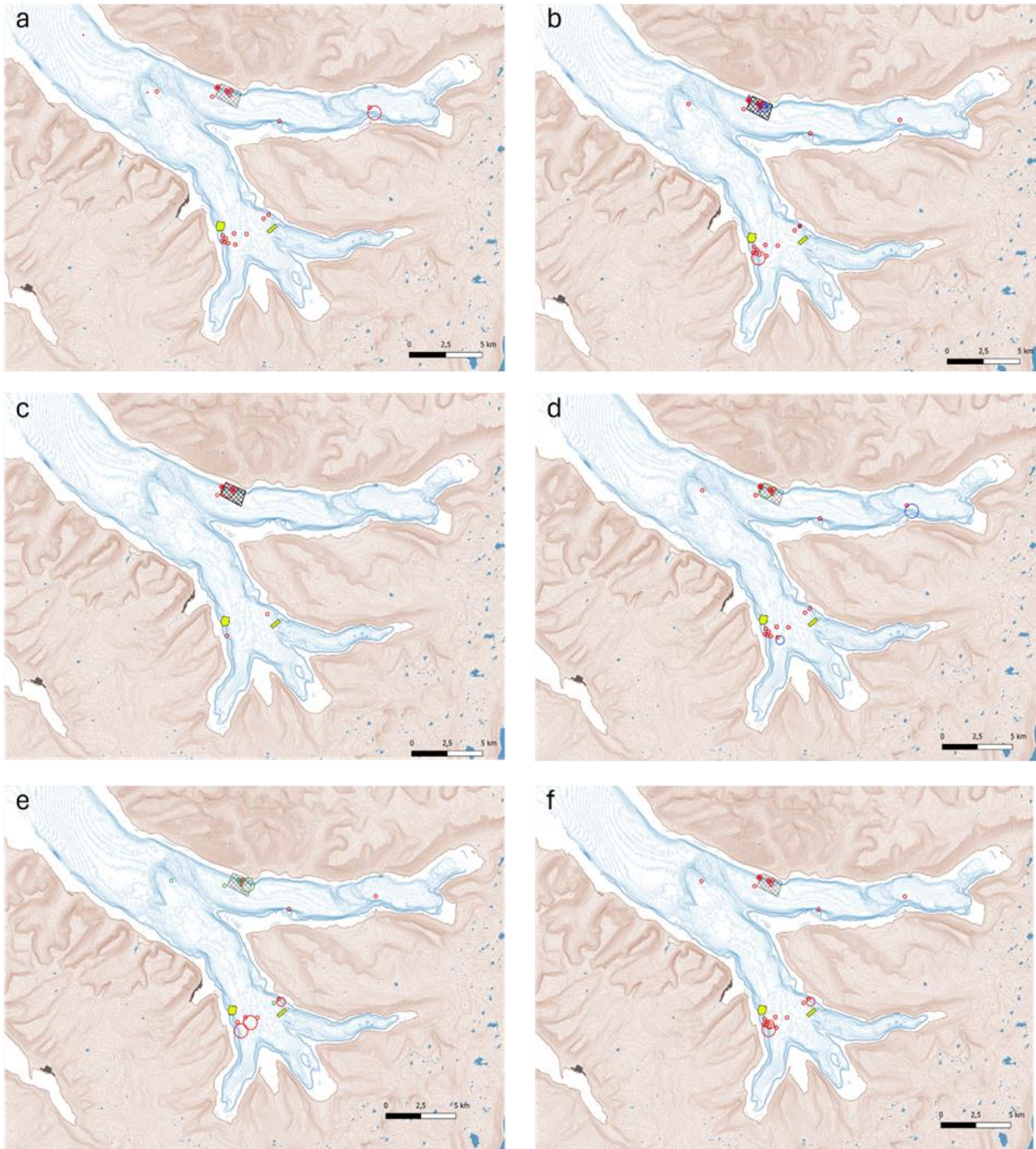
Til að bera saman fjölbreytileika botndýralífs á milli svæða og stöðva voru reiknaðar út fjölbreytileikavísitölurnar Shannon Species Diversity Index ( $H'$ , Shannon og Weaver 1963), Simpson's Diversity Index ( $D$ , Simpson 1949), og Pielou's Evenness Index ( $D_{pie}$ , Pielou 1966). Þar að auki voru reiknaðir út ástandsvísarnir AMBI (AZTI Marine Biotic index, Borja o.fl. 2000) og NQI1 (Norwegian Quality Index 1, Rygg 2006), en NQI1 hefur verið tekinn upp innan Evrópusambandsins (Water Framework Directive, 2000/60/EB) og á Íslandi (Lög um stjórn vatnamála, nr. 36/2011) sem gæðavísir við mat á vistfræðilegu ástandi botndýrasamfélaga á mjúkum botni í strandsjó. AMBI er mælikvarði á hlutfall viðkvæmra og þolinn tegunda gagnvart lífrænni mengun og er notaður ásamt fjölda einstaklinga og tegunda til að reikna út NQI1. Viðmiðunargildi hafa verið reiknuð út fyrir íslenskan strandsjó (Pamela Woods o.fl. 2021, Rakel Guðmundsdóttir o.fl. 2022) þar sem vatnshlot geta fallið í fimm flokka: „mjög gott“, „gott“, „ekki viðunandi“, „slakt“ og „lélegt“. Miðað er við að öll vatnshlot skuli falla í „gott“ eða „mjög gott“ flokkinn og ef það raskast að þá er nauðsynlegt að ráðast í mótvægisáðgerðir (Lög nr.36/2011<sup>2</sup>).

<sup>2</sup> <https://www.althingi.is/lagas/nuna/2011036.html>

## 3 Niðurstöður

### 3.1 Dreifing stærri lífvera á botni (úrvinnsla myndbandsefnis)

Við úrvinnslu myndbandsefnis úr Arnarfirði voru greindar 30 tegundir/tegundahópar botndýra úr samtals 4295 skráningum (Viðauki 1). Við Tjaldanes fundust bæði bakteríumottur sem og kalkpörungaskán (*Lithothamnion*) á því svæði þar sem kvíar voru fyrir, en á þessum tíma hafði það verið í hvíld í rúmlega ár. Líkt og mátti búast við fannst rækja (*Pandalus borealis*) í miklu magni í Borgarfirði (innstu stöðinni) en var annars staðar í mun minna magni (Mynd 3a). Stórkrossi (*Asterias rubens*) fannst víða (Mynd 3b) meðan að einstaklingar af tegundinni *Crossaster* sp. fundust aðeins á grunnu vatni við Tjaldanes þar sem botn var harður (Mynd 3b). Sæfíflar (Actiniaria) voru algengastir á harða botninum við Tjaldanes (Mynd 3c) meðan að sæfjaðrir (Pennatulacea) fundust á mjúka botninum á djúpstöðinni við Haganes og í Borgarfirðinum (Mynd 3d). Samtals fundust 11 mismunandi tegundir fiska, og er algengi þeirra sýnt fyrir Gadiformis (t.d., þorskur og ýsa), (Mynd 3e) og flatfiska (Pleuronectiformes og Rajiformes) (Mynd 3f).

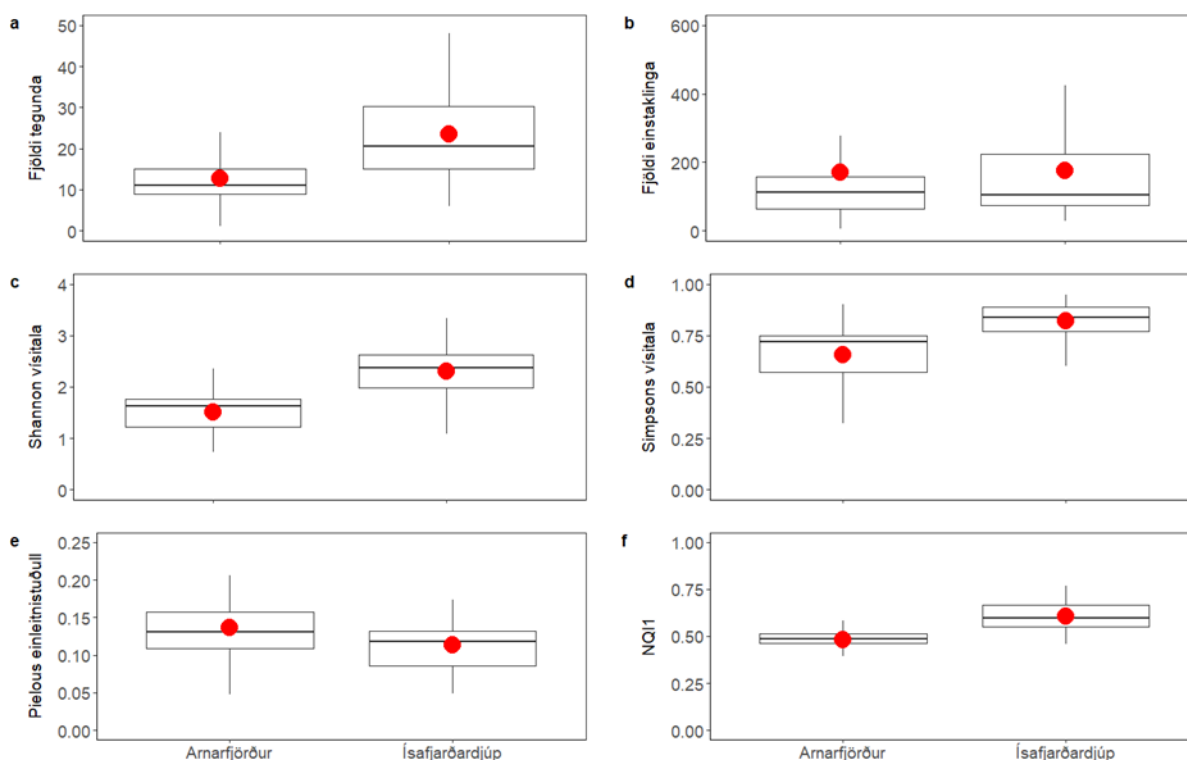


Mynd 3. Tegundir og tegundahópar sem sást á myndefni í Arnarfirði; a) rækja (*Pandalus borealis*), b) krossfiskategundirnar *Asterias rubens* (rauðir hringir) og *Crossaster* sp. (bláir þríhyrningar), c) sæffíflar (Actiniaria), d) ógreind holdýr af ættinni Cerianthidae (grænir og rauðir hringir), fylkingunni Cnidaria (bláir hringir) og sæfjaðrir Pennatulacea (rauður þríhyrningur), e) Gadiformis (grænir hringir) og Lycodes (bláir og rauðir hringir) og f) Flatfiskar (Pleuronectiformes og Rajiformes). Stærð hringjanna gefur til kynna hlutfallslegan fjölda dýra. Eldissvæðin í Arnarfirði við Steinanes og Haganes sem voru virk eru sýnd með gulum lit en svæðið við Tjaldanes sem var í hvíld er sýnt með skástrikuðum línunum.



### 3.2 Samanburður á botndýralífi í Arnarfirði og Ísafjarðardjúpi

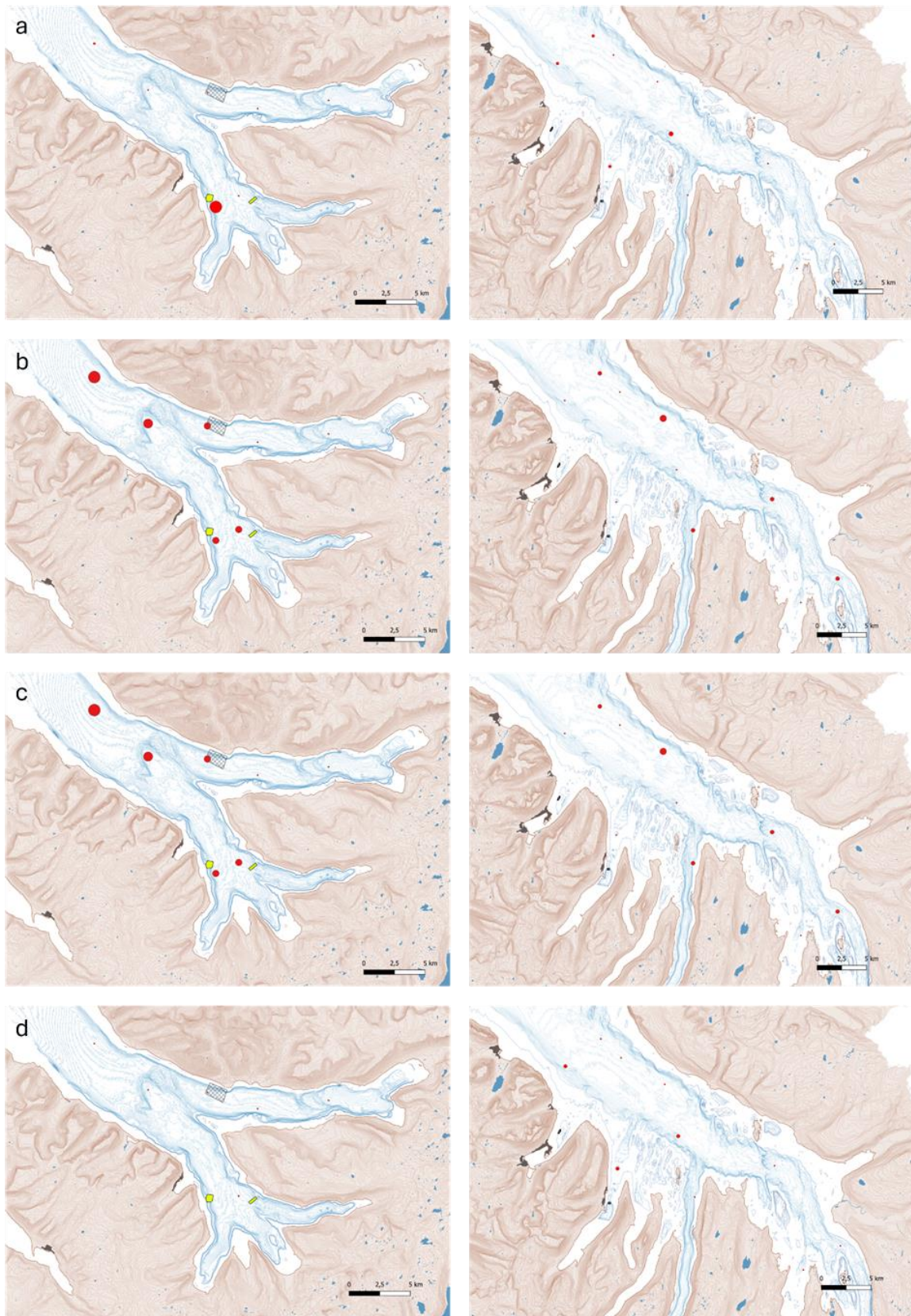
Meðalfjöldi tegunda í botngreiparsýni (Mynd 4a) var 23,5 (staðalfrávik (sf)  $\pm 11,6$ ) í Ísafjarðardjúpi, en í Arnarfirði 12,6 (sf  $\pm 6,3$ ). Í sýnum frá Arnarfirði fundust samtals 97 tegundir botndýra en 170 í Ísafjarðardjúpi. Heildarfjöldi einstaklinga í greip (Mynd 4b) var að meðaltali 172 (sf  $\pm 245$ ) í Arnarfirði en 230 (sf  $\pm 198$ ) í Ísafjarðardjúpi. Fjölbreytileiki botndýra var hærri í Ísafjarðardjúpi en í Arnarfirði þegar hann var metinn með Shannon ( $2,44 \pm 0,44$  á móti  $1,54 \pm 0,42$ ), Simpson's ( $0,842 \pm 0,067$  á móti  $0,66 \pm 0,15$ ) og NQI1 ( $0,606 \pm 0,08$  á móti  $0,483 \pm 0,06$ ), (Mynd 4c, d og f). Pielou's einsleitnistuðullinn var hærri í Arnarfirði ( $0,135 \pm 0,054$ ) en í Ísafjarðardjúpi ( $0,1 \pm 0,035$ ) sem þýðir að samfélag botndýra voru einsleitari í Arnarfirði hvað varðar þéttleika og tegundasamsetningu (Mynd 4e).



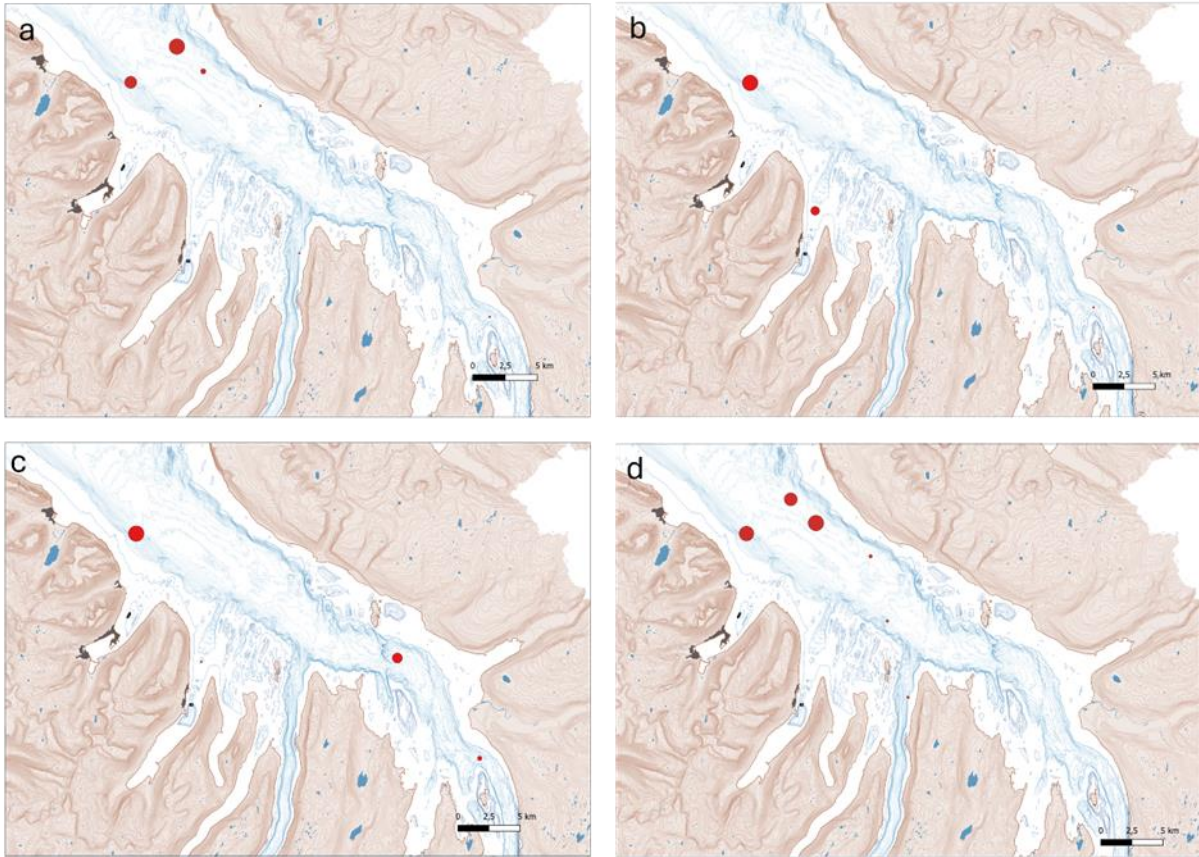
Mynd 4. Samanburður á lífríki Arnarfjarðar og Ísafjarðardjúps hvað varðar a) fjölda tegunda, b) fjölda einstaklinga, og í fjölbreytni vísitölunum c) Shannon (Shannon Species Diversity Index), d) Simpson's (Simpson's Diversity Index), e) Pielou's einsleitnistuðlinum (Pielou's Index of Evenness) og f) NQI1. Gögnin eru sýnd sem kassarit (boxplot) en kassinn lýsir gögnunum á bilinu milli 25% og 75% markanna á meðan lóðréttu strikin sýna restina af gögnunum niður í lægsta og hæsta gildið. Lárétta strikið gegnum kassann sýnir miðgildi (median) en rauði punkturinn meðaltal.

Úr 2018 leiðangrinum voru greindar til tegundar eða hópa 24329 einstaklingar. Burstaormar voru þar algengastir (84% af heildarfjölda) en næst komu samlokur (7%). Af burstaormum voru tegundirnar *Cossura longocirrata*, (20%), *Chaetozone* sp. (18%), *Prionospio steenstrupi* (14%) og *Capitellidea* (2%) algengastar (Mynd 5). *Chaetozone* sp. fannst víða í báðum fjörðunum en í Arnarfirði var hún algengust við Haganes en í Ísafjarðardjúpi við Óshlíð, Innra Kofradýpi og norður af Vigur (Mynd 5a). Útbreiðsla *Cossura* cf. *pygodactylata* (Mynd 5b) var blettótt. Í Arnarfirði var hún algeng við Gíslasker, Haganes og Steinanes en í Ísafjarðardjúpi við Óshlíð, Innra Kofradýpi og Vatnsfirði. *Prionospio steenstrupi* var algeng í báðum fjörðunum, s.s. utarlega í Arnarfirði, við Tjaldanes og við Haganes en í Ísafjarðardjúpi norðan megin í firðinum, t.d Drangsvík og Sandeyri, Skötufirði sem og innst í Ísafjarðardjúpi en var sjaldgæf innarlega í Borgarfirðinum (Mynd 5c). *Capitella* sp. fannst víða en í lágum fjölda (Mynd 5d).

Samtals fundust 19 tegundir eða ættkvíslir í Arnarfirði sem fundust ekki í Ísafjarðardjúpi (Viðauki 2 og 3) en flestar voru sjaldgæfar (fundust í lægri meðalþéttleika en 0,05 einstaklingar per greip). Í Ísafjarðardjúpi fundust 137 tegundir eða ættkvíslir sem ekki fundust í Arnarfirði og nokkrar af þeim voru nokkuð algengar. *Maldane sarsi* fannst víða í Djúpinu en var þó einungis algeng á ystu stöðvunum (Mynd 6a). *Terebellides stroemii* var algeng við Óshlíð og Innra Kofradýpi í Ísafjarðardjúpi en óalgeng í Arnarfirði (Mynd 6b) meðan að *Proclea graffii* (Mynd 6c) var algeng á tveimur stöðum (Óshlíð og Bæjarhlíð). Ánar (Oligochaeta) fundust aðeins í tveimur sýnum í Arnarfirði en voru algengir utarlega í Ísafjarðardjúpi (Mynd 6d). Af öðrum tegundum má nefna *Prionospio elegans*, *Exogone dispar*, *Sternaspis islandica/scutata*, *Crenella decussata*, *Syllides longocirratus*, *Rhodine gracilior*, *Paramphinome jeffreysii*, *Praxillella* sp. og *Praxillella praetermissa* (Viðauki 2).



Mynd 5. Dreifing burstaormategundanna a) *Chaetozone* sp., b) *Cassura* cf. *pygodactylata*, c) *Prionospio steenstrupi* og d) *Capitella* sp. í Arnarfirði (vinstri) og Ísafjarðardjúpi (hægri). Hvert gildi er meðaltal allra sýna (stærð hringja veitir upplýsingar um fjölda orma) sem tekin voru á hverju svæði í Arnarfirði (fjöldi sýna er sýndur í sviga): Borgarfjörður (3), Djúpstöð V1 (3), Djúpstöð V2, Tjaldanes (16), Gíslasker (3), Haganes (18), Steinanes (9) og Ísafjarðardjúpi: Óshlíð (14), Innra Kofradýpi (9), Drangsvík (10), Sandeyri (6), Skötufjörður (10), Bæjarhlíð (10), Hamar (10) og Vatnsfjörður (6). Eldissvæðin í Arnarfirði við Steinanes og Haganes sem voru virk eru sýnd með gulum lit en svæðið við Tjaldanes sem var í hvíld er sýnt með skástrikuðum línun.



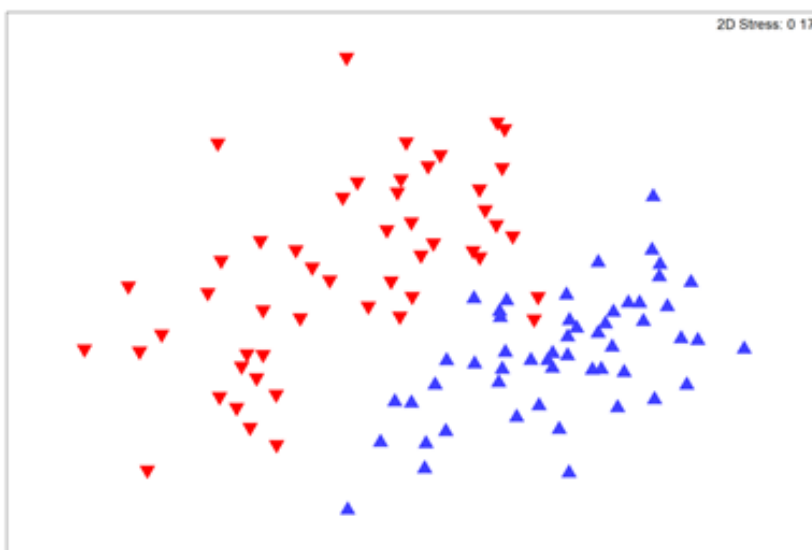
Mynd 6. Tegundir og hópar sem voru algengar í Ísafjarðardjúpi en sjaldgæfar í Arnarfirði. Burstaormarnir a) *Maldane sarsi* b) *Terebellides stroemii* og c) *Proclea graffii* og d) ánar (*Oligochaeta*). Sjá myndir 2 og 5 fyrir frekari útskýringar. Hvert gildi er meðaltal allra sýna (stærð hringja veitir upplýsingar um fjölda orma) sem tekin voru á hverju svæði.

### 3.3 Samanburður á samfélagsgerð botndýra

Margþáttagreiningin (Multidimensional scaling, MDS) sýndi litla skörun í dreifingu sýna frá fjörðunum tveimur, sem gefur til kynna að botndýralíf úr þeim var frábrugðið hvað varðar þéttleika og samsetningu tegunda (Mynd 7). Niðurstöður úr PERMANOVA prófi sýndu marktækan mun á skyldleika í samfélagsgerð botndýra á milli fjarðanna tveggja (Tafla 1) sem og á milli svæða innan fjarðanna. Þessar niðurstöður sýna að það getur verið töluverður svæðisbundinn breytileiki í þéttleika og samsetningu botndýra.

Tafla 1. Samanburður á samfélagsgerð botndýra í Arnarfirði og Ísafjarðardjúpi. Niðurstöður úr PERMANOVA greiningu á samfélagsgerð. Kannað var tölfræðilega hvort að marktækur munur væri á samfélagsgerð í Arnarfirði og Ísafjarðardjúpi, sem og á milli svæða innan beggja fjarðanna.

	df	MS	F	P
Fjörður	1	32951	4,87	0,002
Svæði innan fjarðar	8	8052	7,16	0,001
Leif (residual)	125	1126		
Heildarfjöldi	134			



Mynd 7. Samanburður á samfélagsgerð botndýra í Arnarfirði og Ísafjarðardjúpi. Margþáttagreining (Multi Dimensional Scaling) á botndýragögnunum sem safnað var 2018 úr Arnarfirði (bláir þríhyrningar) og Ísafjarðardjúpi (rauðir þríhyrningar). Stress var 0,17.

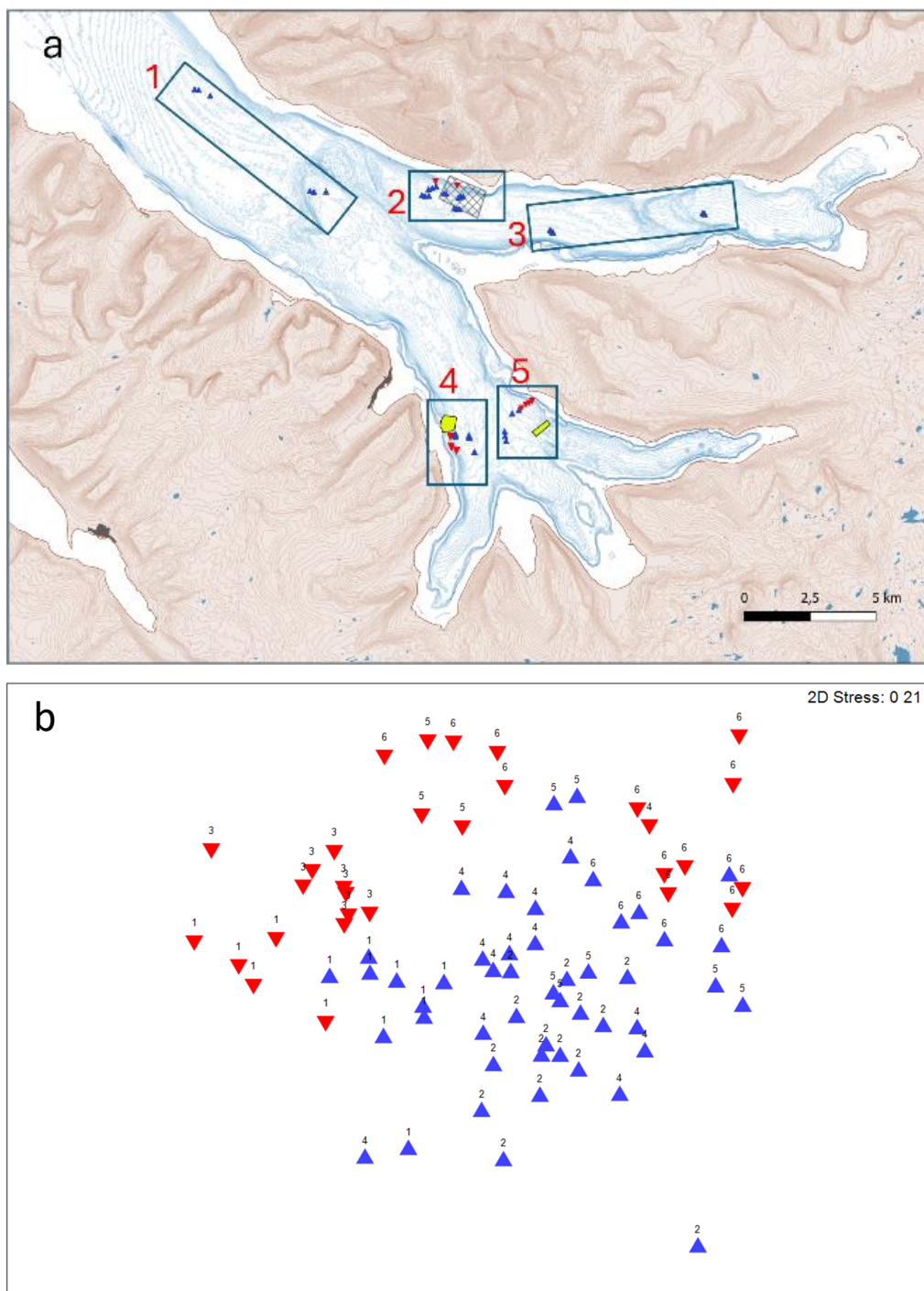
### 3.3.1 Arnarfjörður

Til að auðvelda túlkun niðurstaðna úr MDS aðferðarfræðinni var Arnarfirði skipt upp í fimm svæði og tvö dýpisbil (ofan og neðan 80 m dýpis), (Mynd 8). Niðurstöður úr PERMANOVA prófi sýndu marktækan mun í samfélagsgerð botndýra á milli svæða sem og á milli dýpispila (Tafla 2). Á MDS kortinu var algör aðskilnaður á sýnum frá djúpstöðvum í Borgarfirði og Gíslasker (svæði 3) og á djúpstöðvum sem liggja utan þröskulds utar í firðinum (svæði 1), þ.e. samfélög botndýra frá þessum tveimur svæðum voru töluvert frábrugðin hvoru öðru hvað varðar samsetningu tegunda og þéttleika. Skyldleiki á milli sýna á svæðum 1 og 3 skv. SIMPER prófinu, var 47%. Þær tegundir sem útskýrðu hvað mest þennan aðskilnað á milli svæðanna tveggja voru *E. tenuis*, *Nemertea*, *Thyasira* sp., *Cossura* cf *pygodactylata*, *Ophelina acuminata*, *Chaetozone* sp. og *P. steenstrupi*. Mun meiri skyldleiki (þ.e. minni aðskilnaður) var í samfélagsgerð á milli annarra svæða, eða á milli 52 og 55%. Þó var athyglisvert að sjá hversu botndýrasamfélög frá Haganesi (svæði 4) og Steinanesi (svæði 5) voru ólík þegar tekið er tillit var til nálægðar þeirra, en sá munur var vegna þess að tegundirnar *E. tenuis*, *Chaetozone* sp., *Nuculana pernula*, *Euchone incolor* og *Cossura* cf *pygodactyla* voru allar mun algengari við Haganes.

Tafla 2. Samanburður á samfélagsgerð botndýra innan Arnarfjarðar. Niðurstöður úr PERMANOVA greiningu á botndýragögnum úr Arnarfirði. Kannað var hvort tölfræðilega marktækur munur væri á samfélagsgerð á milli svæða sem og á milli dýpispila (ofan og neðan 80 m dýpis).

	df	MS	F	P
Svæði innan fjarðar	4	3847	3,96	0,001
Dýpi	34	1018	1,39	0,0024
Leif (Residual)	16	728		
Heildarfjöldi	54			

Niðurstöður úr MDS greiningunni sýndu líka að botndýrasamfélög úr sýnum tekin grynna en 80 m voru frábrugðin þeim sem tekin voru neðan þess dýpis (Mynd 8) og þær niðurstöður voru staðfestar með PERMANOVA prófi (Tafla 2). Niðurstöður úr SIMPER prófinu sýndu að skyldleiki í samfélagsgerð í sýnum ofan og neðan 80 m dýpis var um 47%, og þær tegundir sem útskýrðu mest þennan mun voru *Chaetozone* sp., *E. tenuis* og *C. cf. pygodactylata* sem voru algengari <80 m dýpis og *E. incolor* og *Ampharetidae* sp. B sem voru algengari > 80 m dýpis.



Mynd 8. Samanburður á samfélagsgerð botndýra innan Arnarfjarðar með margþáttagreiningu botndýragagna. a) Svæðaskipting: 1) Djúpstöðvar utarlega í firði, 2) Tjaldanes, 3) djúpstöðvar í Norðurfjörðunum (Borgarfirði), 4) Haganes og 5) Steinanes í Suðurfjörðunum. b) Margþáttagreining (Multi Dimensional Scaling) á botndýragögnunum sem var safnað í október 2018 úr Arnarfirði. Sýni tekin grynna en 80 m dýpi sýnd sem rauðir þríhyrningar en neðan 80 m dýpis sem bláir þríhyrningar. Tölur tákna undirsvæði. Gögn voru umbreytt með kvaðratrót með fjóra í rótarvísi (four-root transformation). Stress var 0,19. Eldissvæðin í Arnarfirði við Steinanes og Haganes sem voru virk eru sýnd með gulum lit en svæðið við Tjaldanes sem var í hvíld er sýnt með skástrikuðum línum.

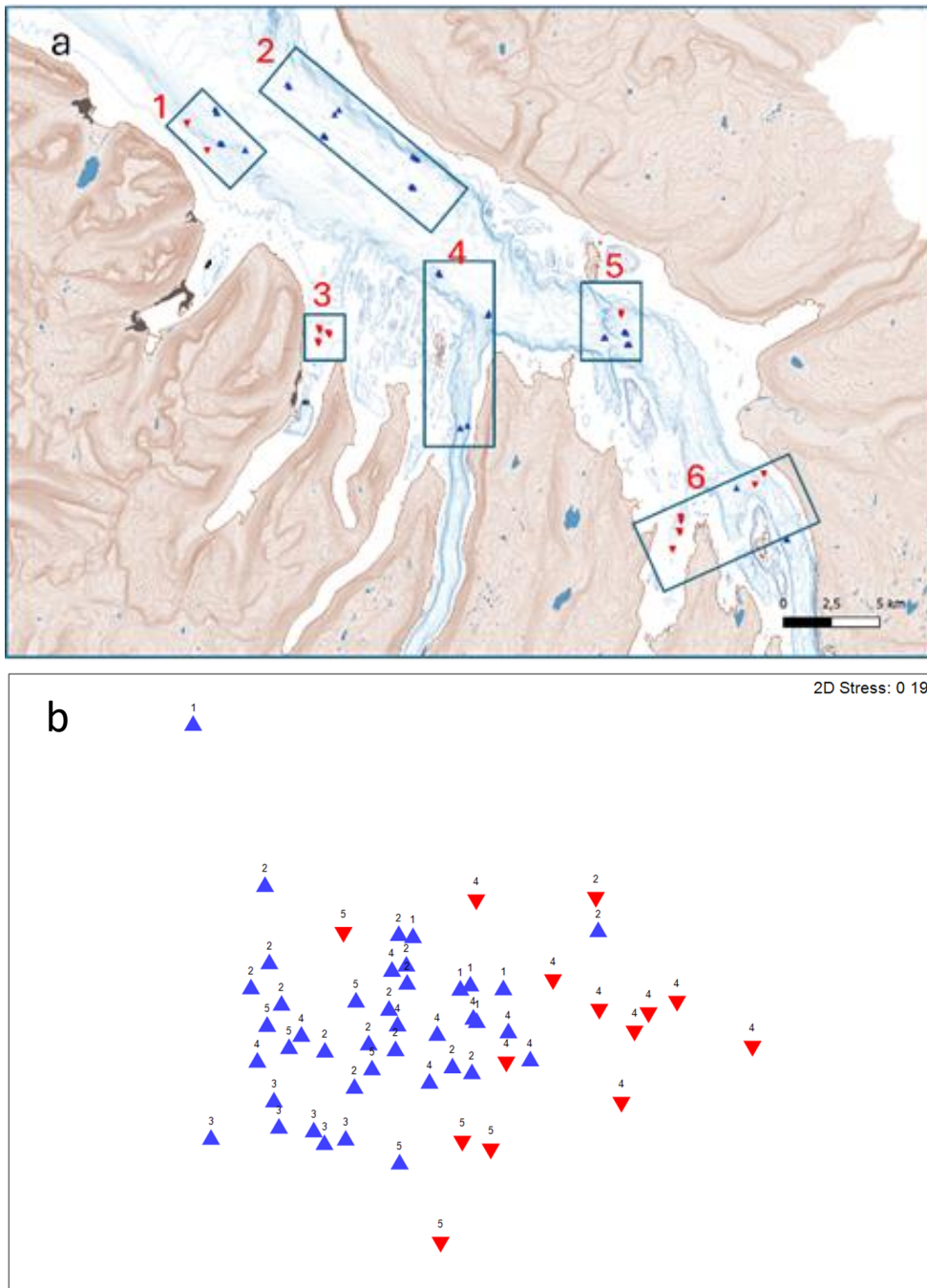
### 3.3.2 Ísafjarðardjúp

Ísafjarðardjúpi var skipt niður í sex svæði til að bera saman samfélagsgerð botndýra á milli svæða (Mynd 9). Niðurstöður úr PERMANOVU greiningunni sýndu marktækan mun á milli svæða innan Ísafjarðardjúps sem og á milli dýpisbila (Tafla 3). Niðurstöður úr MDS greiningu gáfu til kynna að botndýrasamfélög utarlega í Ísafjarðardjúpi sunnan megin séu frábrugðin þeim að norðanverðu sem og þeim sem voru innanlega í firðinum.

Tafla 3. Samburður á samfélagsgerð botndýra innan Ísafjarðardjúps. Niðurstöður úr PERMANOVA greiningu á botndýragögnum úr Ísafjarðardjúpi. Kannað var hvort að það væri tölfræðilega marktækur munur á samfélagsgerð botndýra á milli svæða sem og á milli dýpisbila (ofan og neðan 80 m dýpis).

	df	MS	F	P
Svæði innan fjarðar	5	8488	6,4	0,001
Dýpi	54	1378	1,7	0,001
Leifar (residual)	20	805		
Heildarfjöldi	79			

Skoðaður var skyldleiki á milli samfélagsgerða með SIMPER. Skyldleiki samfélagsgerða á svæði 1 (Óshlíð, utarlega að sunnanverðu í Ísafjarðardjúpi) og svæði 2 (Drangsvík og Sandeyri norðan megin) var frekar lágur (41%). Þær tegundir sem útskýrðu að mestu leyti mun í breytileikanum á milli svæðanna (samtals 20%) voru *Terebellides stroemii*, *Cossura cf. pygodactylata*, *Abra nitida*, *Euchone incolor*, *Galathowenia oculata*, *Spio* sp. 1 og Nematoda sem annað hvort fundust ekki eða fundust í mun lægri fjölda á svæði 2. Lítil skyldleiki var á milli sýna frá Óshlíð (svæði 1) og sýna sem voru tekin innanlega í Ísafjarðardjúpi (svæði 5 og 6). Skyldleiki á milli svæða 1 og 5 (Bæjarhlíð) var 35% og þær tegundir sem skildu þau svæði að voru *Maldane sarsi*, *Cossura cf. pygodactylata*, *Terebellides stroemi*, *Oligochaeta* (ánar), *Abra nitida*, Nematoda, *Euchone incolor* sem voru allar algengari á svæði 1. Skyldleiki samfélagsgerða á milli svæða 1 og 6 var einungis um 31% og þær tegundir sem útskýrðu að mestu þennan mun voru *Maldane sarsi*, *Oligochaeta*, *Terebellides stroemii*, *Prionospio* sp. og *Euchone incolor* sem voru allar algengari á svæði 1. Skyldleiki botndýrasamfélaga á svæði 2 (utarlega í Ísafjarðardjúpi norðanmegin) og 3 (Innra Kofradýpi) var líka lágur eða um 33%, en á síðarnefnda svæðinu voru *Cossura cf. pygodactylata*, *Ampharete petersenae*, *Abra nitida* og *Euchone incolor* mun algengari. Skyldleiki á milli svæða 2 og 6 var líka mjög lágur (39%) og þær tegundir sem útskýrðu mest þennan mun voru *Oligochaeta*, *M. sarsi* og *C. cf. pygodactylata* sem allar voru algengari á svæði 2 fyrir utan þá síðastnefndu.



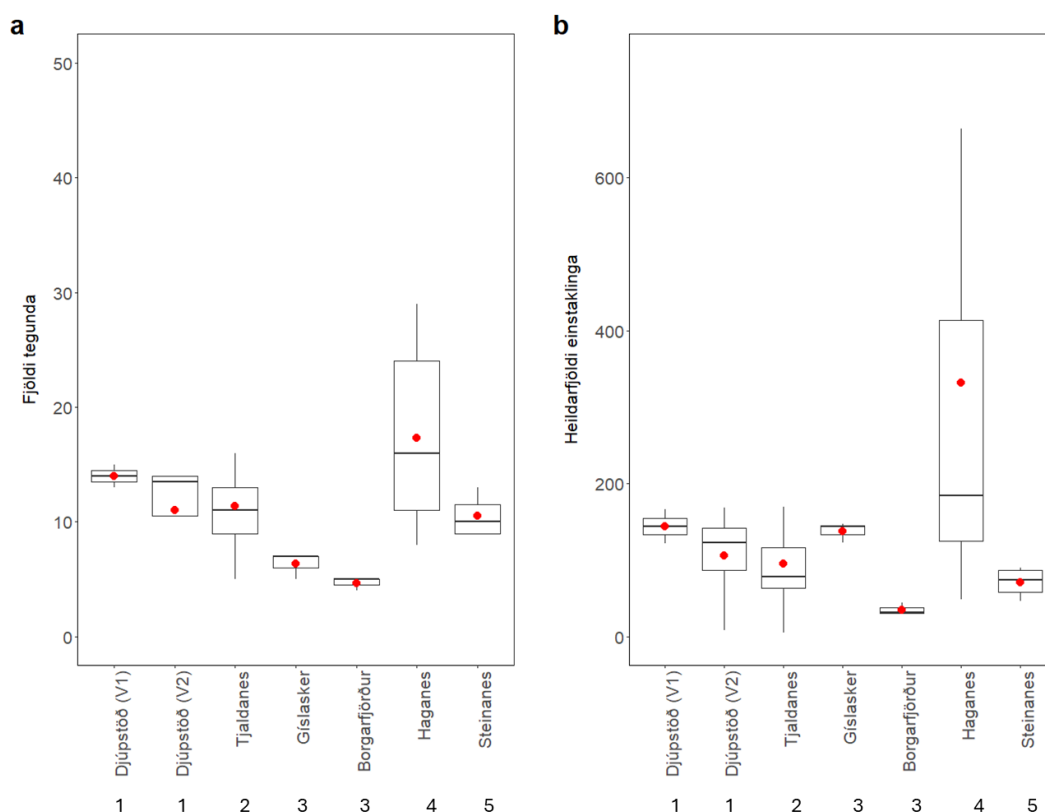
Mynd 9. Samanburður á samfélagsgerð botndýra innan Ísafjarðardjúps með margþáttagreiningu botndýragagna. a) Svæðaskipting: 1) Óshlíð, 2) Snæfjallaströnd (Drangsvík og Sandeyri), 3) Innra Kofradýpi, 4) Norðan Vigurs og Skötufjörður, 5) Bæjarhlíð og 6) Vatnsfjörður, Hamar og Látur. b) Margþáttagreining (Multi Dimensional Scaling) á sýnum sem var safnað 2018 úr Ísafjarðardjúpi, tekin á stöðvum grynnra (rauðir þríhyrningar) og dýpra (bláir þríhyrningar) en 80 m dýpi. Tölur á báðum myndum tákna undirsvæði. Gögn voru umbreytt með kvaðratrót með fjóra í rótarvísi (four-root transformation). Stress var 0,21.



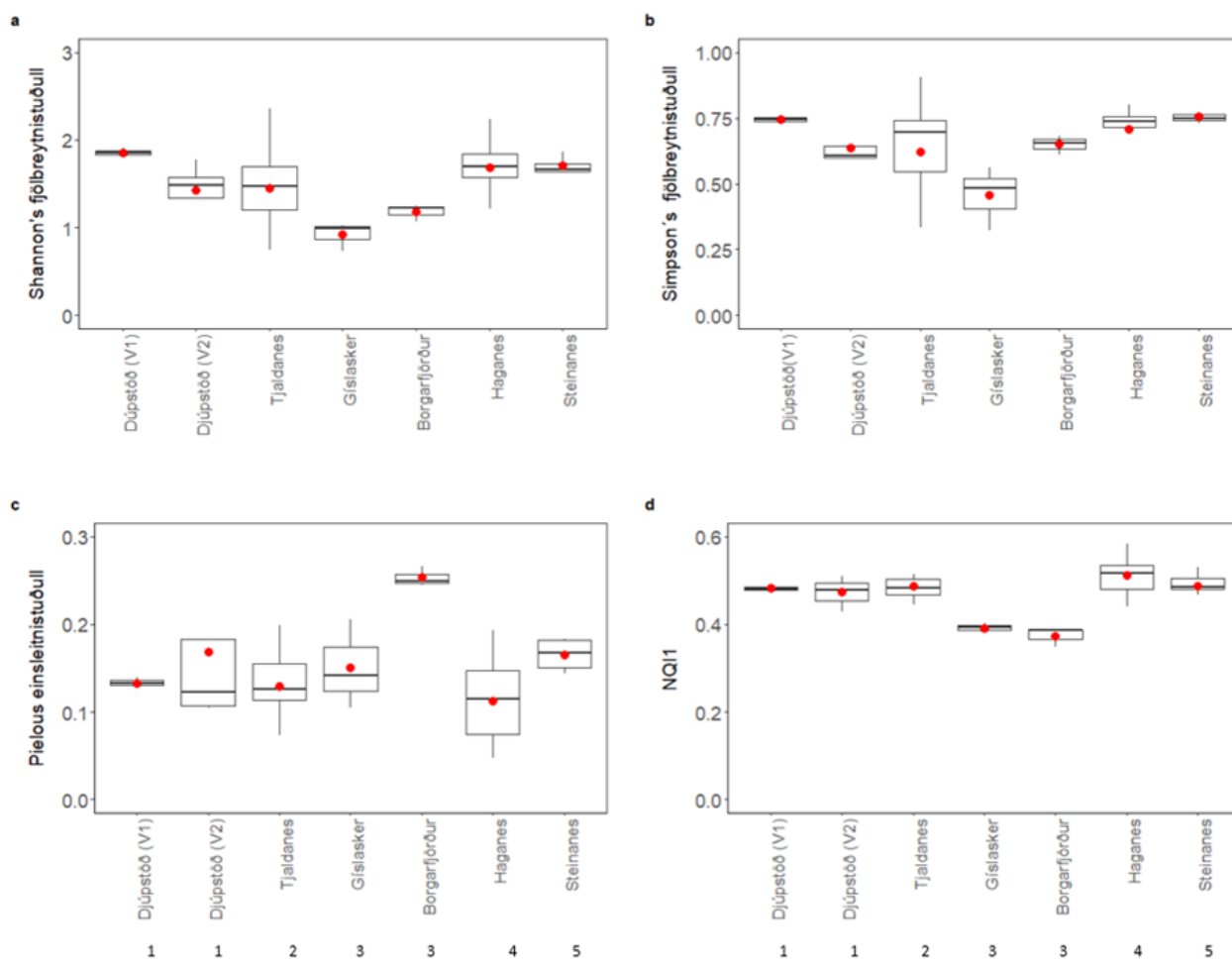
## 3.4 Samanburður á þéttleika, tegundafjölda og fjölbreytileika botndýra

### 3.4.1 Arnarfjörður

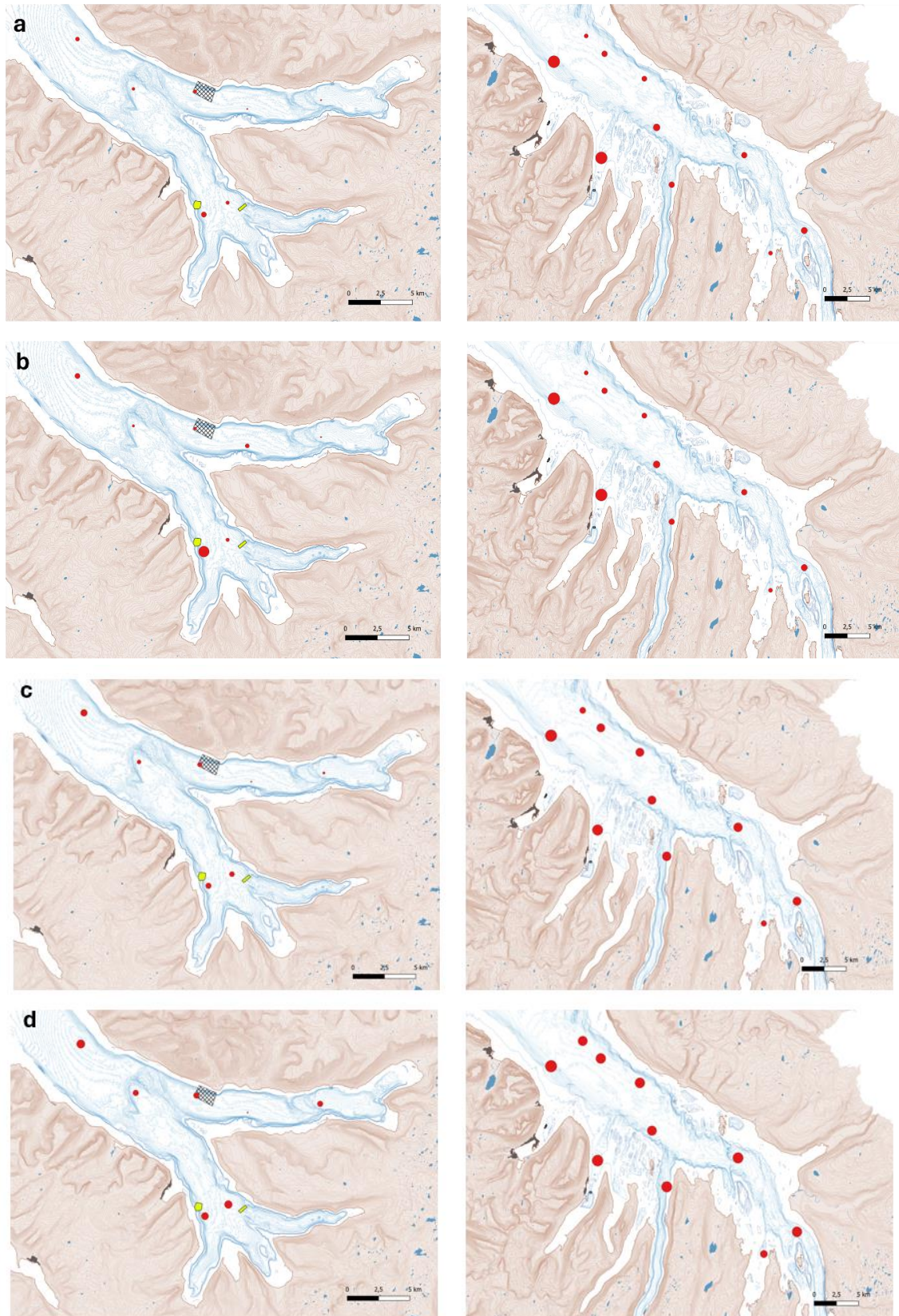
Að meðaltali var fjöldi tegunda í sýni lægstur á svæði 3 (Gíslasker og í Borgarfirði) en hæstur við Haganes (Svæði 4), (Mynd 10a og 12a). Þrátt fyrir svipaðan fjölda sýna sem tekin voru við Haganes (18) og Tjaldanes (17) var fjöldi tegunda að meðaltali mun lægri við Tjaldanes (Mynd 10a). Þrátt fyrir nálægð svæðanna var fjöldi tegunda lægri við Steinanes (svæði 5) en við Haganes (svæði 4, Mynd 10a). Meðalfjöldi einstaklinga í sýni var hæstur við Haganes (Mynd 10b og 12b), en lægstur í Borgarfirði (svæði 3). Fjöldi tegunda og einstaklinga á djúpstöðvum innan við þróskuld (Djúpstöð V2, svæði 1) sem og á svæði 3 (Gíslasker og Borgarfjörður) var mun lægri en vestan við þróskuld (Djúpstöð V1) (Mynd 10b). Þróunin í Shannon (Mynd 11a og 12c) og Simpson's (Mynd 11b og 12d) fjölbreytileika vísitölunum er mjög svipuð og hjá fjölda tegunda (Mynd 10a), þar sem vísitölurnar eru hærri í mynni Arnarfjarðar en lægstar á svæði 3 (Borgarfjörður og Gíslasker). Enginn greinilegur munur var í Pielou's einleitnustuðlinum (Mynd 11c og 12e) fyrir utan Borgarfjörð (svæði 3) þar sem einsleitni taldist vera lítil. NQ11 vísitölur voru áberandi lægstar á svæði 3 (Gíslasker og Borgarfjörður) og falla í „ekki viðunandi“ flokkinn, líkt og Shannon og Simpson's höfðu sýnt, en lítil munur var á milli annarra svæða (Mynd 11d og 12f).



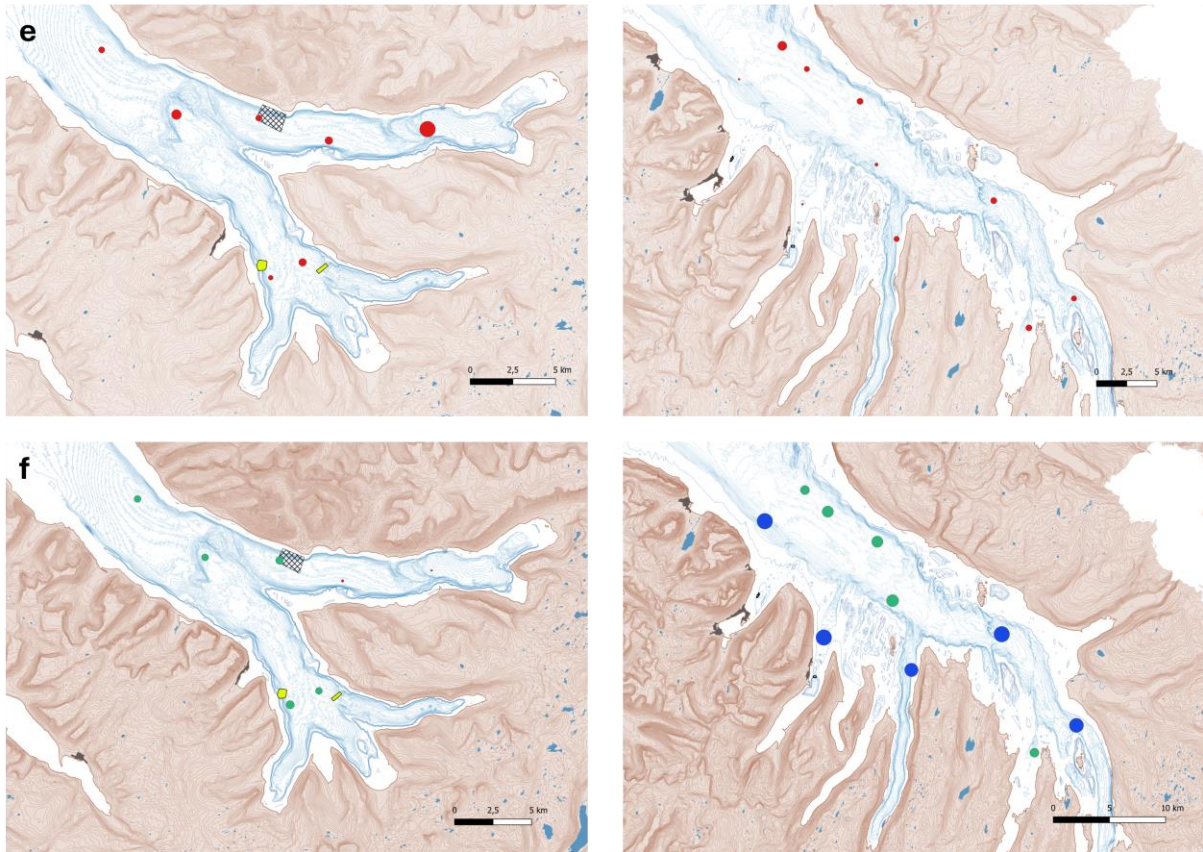
Mynd 10. Botngreiparsýni í Arnarfirði. Fjöldi tegunda (a) og einstaklinga (b) í botngreiparsýni á hverju undirsvæði. Gögnin eru sýnd sem kassarit (boxplot) en kassinn lýsir gögnunum á bilinu milli 25% og 75% markanna á meðan lóðréttu strikin sýna restina af gögnunum niður í lægsta og hæsta gildið. Lárétta strikið gegnum kassann sýnir miðgildi (median) en rauði punkturinn meðaltal. Tölurnar undir svæðisheitunum tákna númer viðkomandi undirsvæðis (sjá mynd 8). Fjöldi sýna: Borgarfjörður (3), djúpstöð V1 (3), djúpstöð V2 (2), Tjaldanes (22), Gíslasker (3), Haganes (18), Steinanes (4).



Mynd 11. Fjölbreytni botndýralífs í Arnarfirði metin með vísitölunum: a) Shannon, b) Simpson's, c) Pielou's einleitnistuðlinum (Pielou's Index of Evenness) og d) NQI1. Gögnin eru sýnd sem kassarit (boxplot) en kassinn lýsir gögnunum á bilinu milli 25% og 75% markanna á meðan lóðréttu strikin sýna restina af gögnunum niður í lægsta og hæsta gildið. Lárétta strikið gegnum kassann sýnir miðgildi (median) en rauði punkturinn meðaltal. Tölurnar undir svæðisheitunum tákna númer viðkomandi undirsvæðis (sjá mynd 8). Fjöldi sýna: Borgarfjörður (3), djúpstöð V1 (3), djúpstöð V2 (2), Tjaldanes (22), Gíslasker (3), Haganes (18), Steinanes (4).



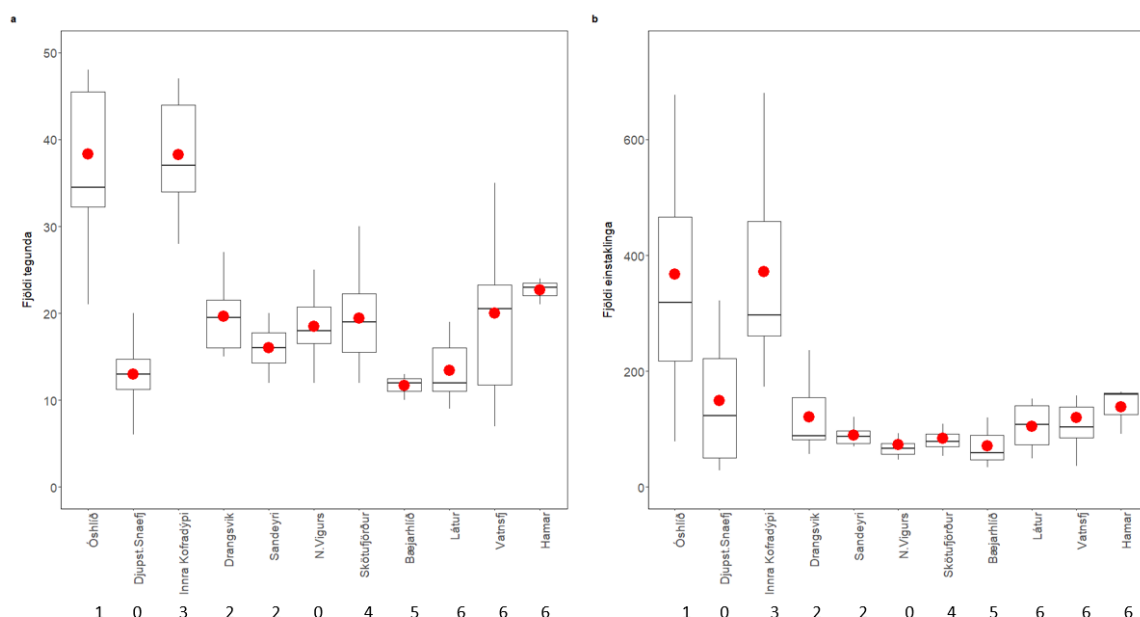
Mynd 12. Samanburður á tegundafjölbreytileika og fjölbreytileika vísitölum í Arnarfirði og Ísafjarðardjúpi. Dreifing í a) fjölda tegunda, b) einstaklinga, sem og vísitölur c) Shannon og d) Simpson's. Gilda eru sýnd sem meðaltöl per sýnatökusvæði og . Stærð hringja gefur til kynna hlutfallslega stærð gilda fyrir hverja breytu fyrir sig.. Eldissvæðin í Arnarfirði við Steinanes og Haganes sem voru virk eru sýnd með gulum lit en svæðið við Tjaldanes sem var í hvíld er sýnt með skástrikuðum línunum. Ath. framhald á næstu síðu.



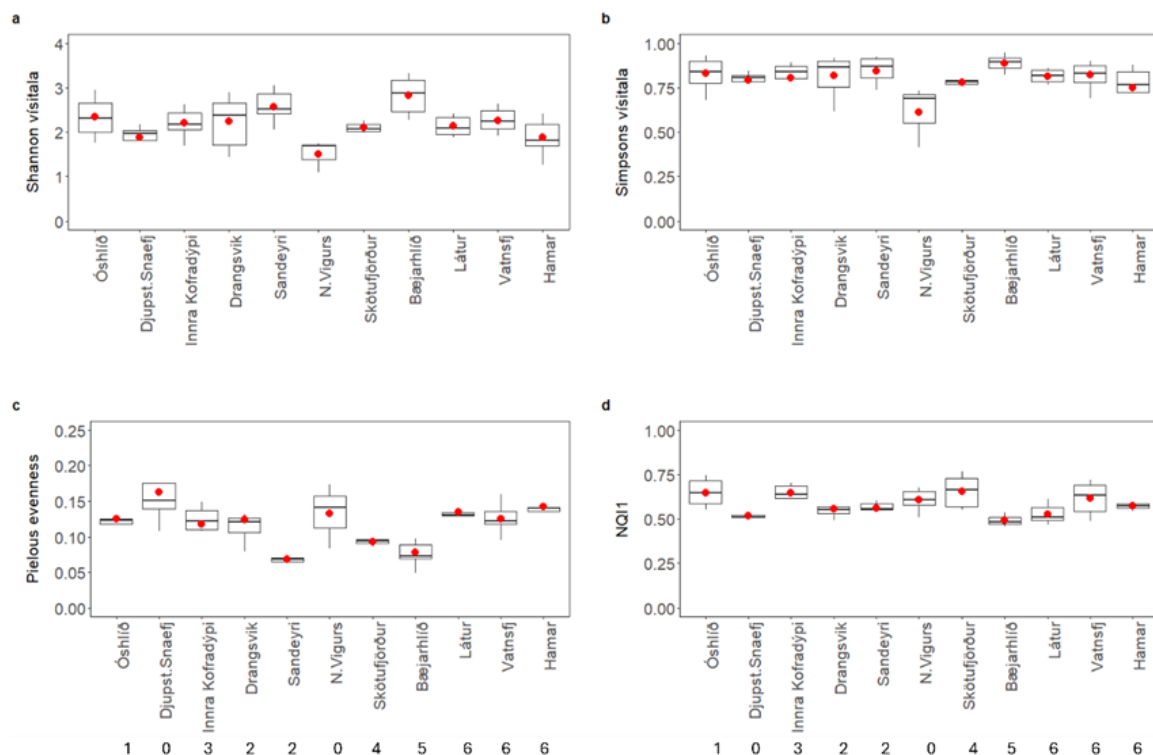
Mynd 12. frh. Samanburður á tegundafjölbreytileika og fjölbreytileika vísitölum í Arnarfirði og Ísafjarðardjúpi. Dreifing í e) Pielou's einleitnistuðlinum (Pielous Index of Evenness) og f) NQI1. Gildi eru sýnd sem meðaltöl per sýnatökusvæði. Fyrir NQI1 eru sýnd gildi sem falla í flokkinn „mjög gott“  $>0,58$ , sem bláir hringir, „gott“ (0,45-0,58) sem grænir hringir og „ekki viðunandi“ ( $<0,45$  sem rauðir hringir. Stærð hringja gefur til kynna hlutfallslega stærð gilda fyrir hverja breytu fyrir sig.

### 3.4.2 Ísafjarðardjúp

Fjöldi tegunda (Mynd 13a) og fjöldi einstaklinga (Mynd 13b) og Shannon fjölbreytileika vísitalan (Mynd 14a og 12a-c) voru hærrí í Óshlíð (svæði 1) og innra Kofradýpi (svæði 3), sem eru utarlega og sunnan megin í firðinum, samanborið við önnur svæði. Þessi háa tegundafjölbreytni sunnan megin í Ísafjarðardjúpi er áhugaverð, og gæti gefið til kynna að umhverfisskilyrði þar séu frábrugðin þeim sem eru að finna norðan megin. Mun minni munur var til staðar þegar svæði voru borin saman með Simpson's fjölbreytileika vísitölunni (Mynd 14b og 12d), sem gefur til kynna að munur á milli svæða sé aðallega vegna óalgengra tegunda. Vísitala Pielou's einsleitnistuðulsins var lægri í Óshlíð og Innra Kofradýpi (Mynd 14c og 12e). Þróunin í gildum NQI1 stuðulsins var sambærileg Shannon og Simpson's að því frátöldu að þau voru hærrí í Skötufirði (svæði 4), (Mynd 14d og 12f).



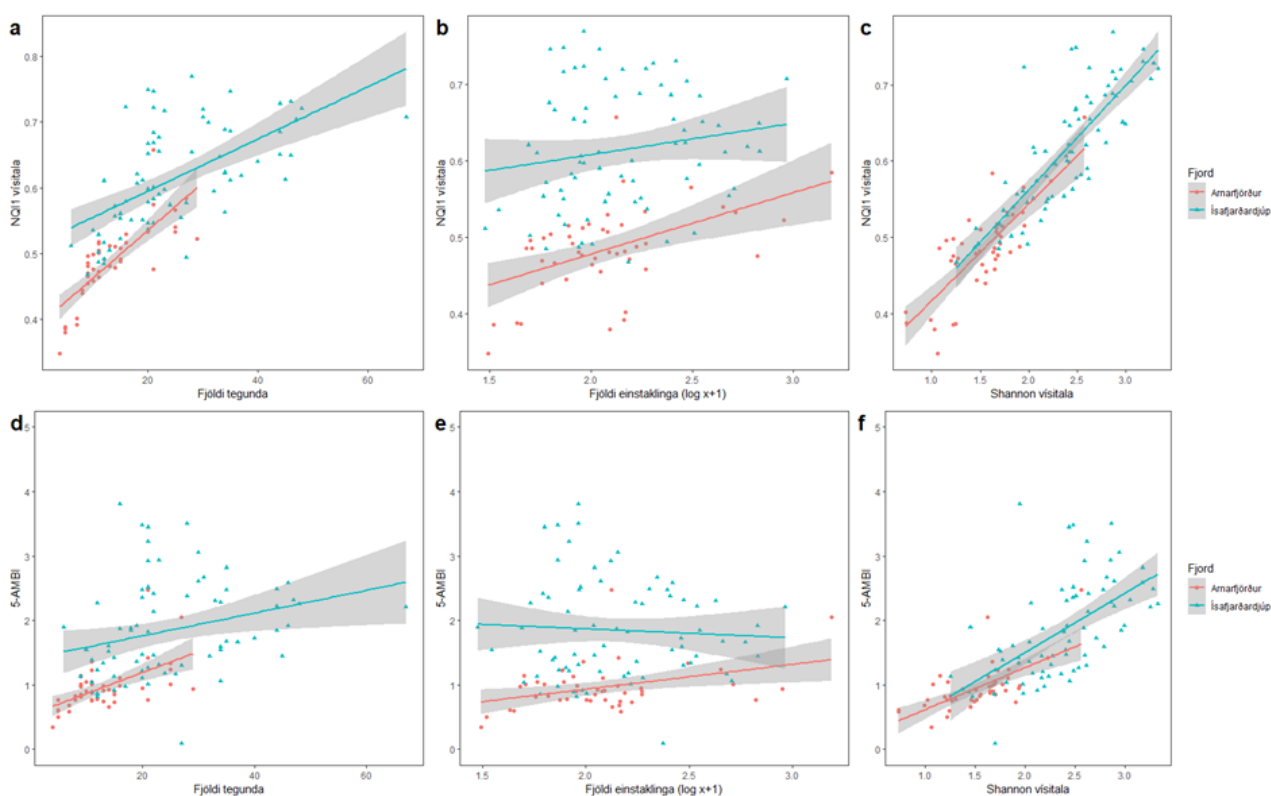
Mynd 14. Botngreiparsýni í Ísafjarðardjúpi. Fjöldi a) tegunda og b) einstaklinga í greiparsýni á hverju undirsvæði. Gögnin eru sýnd sem kassarit (boxplot) en kassinn lýsir gögnunum á bilinu milli 25% og 75% markanna á meðan lóðréttu strikin sýna restina af gögnunum niður í lægsta og hæsta gildið. Lárétta strikið gegnum kassann sýnir miðgildi (median) en rauði punkturinn meðaltal. Tölurnar undir svæðisheitunum tákna númer viðkomandi undirsvæðis (sjá mynd 9). Fjöldi sýna per svæði: Óshlíð (14), Innra Kofradýpi (9), Drangsvík (6), Sandeyri (6), Skötufjörður (10), Bæjarhlíð (12), Hamar (12), Vatnsfjörður (5), Djúpstöð Snaefjallaströnd (3), Látur (3), Norðan Vigurs (3).



Mynd 13. Fjölbreyttni botndýralífs í Ísafjarðardjúpi metin með vísitölunum: a) Shannon, b) Simpson's og c) Pielou's einleitinustuðlinum (Pielou's Index of Evenness) og d) NQ11. Gögnin eru sýnd sem kassarit (boxplot) en kassinn lýsir gögnunum á bilinu milli 25% og 75% markanna á meðan lóðréttu strikin sýna restina af gögnunum niður í lægsta og hæsta gildið. Lárétta strikið gegnum kassann sýnir miðgildi (median) en rauði punkturinn meðaltal. Tölurnar undir svæðisheitunum tákna númer viðkomandi undirsvæðis (sjá mynd 9). Fjöldi sýna per svæði: Óshlíð (14), Innra Kofradýpi (9), Drangsvík (6), Sandeyri (6), Skötufjörður (10), Bæjarhlíð (12), Hamar (12), Vatnsfjörður (5), Djúpstöð Snaefjallaströnd (3), Látur (3), Norðan Vigurs (3).

### 3.5 Samband NQI1 vísitölunnar við fjölbreytileikastuðla

Marktæk jákvæð fylgni var á milli NQI1 vísitölunnar og fjölda tegunda (Mynd 15a) og Shannon vísitölunnar (Mynd 15c) og voru bæði þessi sambönd hámarktæk í fjórðunum tveimur (Pearson test,  $p < 0,0001$ ). Þessi niðurstaða sýnir að fjöldi tegunda og vísitala Shannon, eru að gefa sambærilega lýsingu á líffræðilegum fjölbreytileika og NQI1. Vísitölugildin fyrir NQI1 jukust hraðar með fjölda tegunda (Mynd 15a) í Arnarfirði en í Ísafjarðardjúpi, en erfitt er að útskýra þá niðurstöðu. Mun veikara samband fannst á milli NQI1 og fjölda einstaklinga (Mynd 15b) og voru þau aðeins marktæk í Arnarfirði. Til að skoða sambönd á milli AMBI og fjölda einstaklinga og Shannon, voru AMBI gildin umreiknuð þannig að versta ástand hefur gildið 0 (í stað 5 áður) og besta ástand 5. Jákvæð sambönd fundust á milli 5-AMBI og fjölda tegunda (Mynd 14d) sem og Shannon vísitölunnar (Mynd 15f) sem voru flest hámarktæk (Pearson test,  $p < 0,001$ ). Þessar niðurstöður benda til að á svæðum þar sem fjölbreytni tegunda er lág er að finna tegundir sem eru einkennandi fyrir verra ástand. Það er líka athyglisvert að hallatalan á samböndunum var mun brattari í Arnarfirði en í Ísafjarðardjúpi, þ.e. við tiltölulega litla hækkun í fjölda tegunda (Mynd 15d) eða Shannon (Mynd 15f) að þá var hlutfallslega mun meira af tegundum sem einkenna gott ástand. Sambönd á milli fjölda einstaklinga og 5-AMBI voru mun veikari (þótt að þau voru marktæk í Arnarfirði, Pearson test,  $p < 0,005$ ). Þessar niðurstöður sýna að samfélög með hærri fjölda einstaklinga hafa ekki endilega hlutfallslega fleiri tegundir sem eru einkennandi fyrir gott ástand.

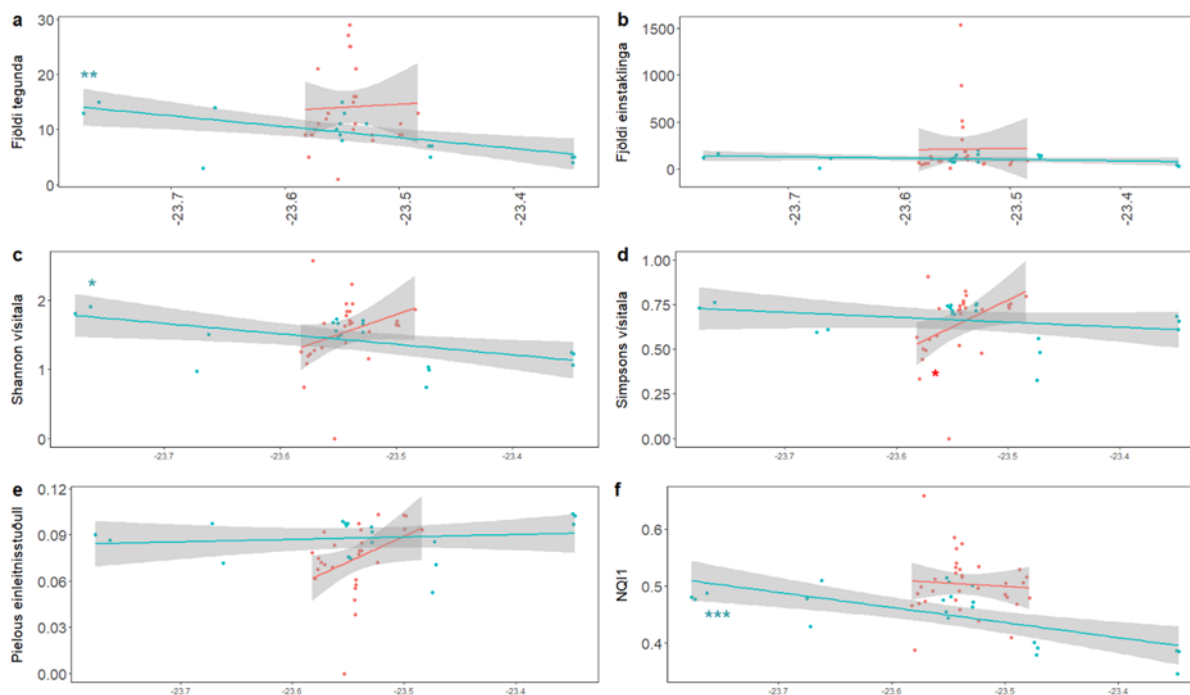


Mynd 15. Samband NQI1 og 5-AMBI vísitalanna við fjölbreytileikastuðla Fjöldi tegunda (a,d) og einstaklinga (b,e) og Shannon vísitöla (c,f) í Arnarfirði (rauðir punktar og línur) og Ísafjarðardjúpi (bláir punktar og línur). Til að auðvelda túlkun gagna voru AMBI gildin umreiknuð með þeim hætti að besta ástand fékk gildið 5. Sýnd eru 95% vikmörk utan um aðhvarfslínurnar (grátt svæði).

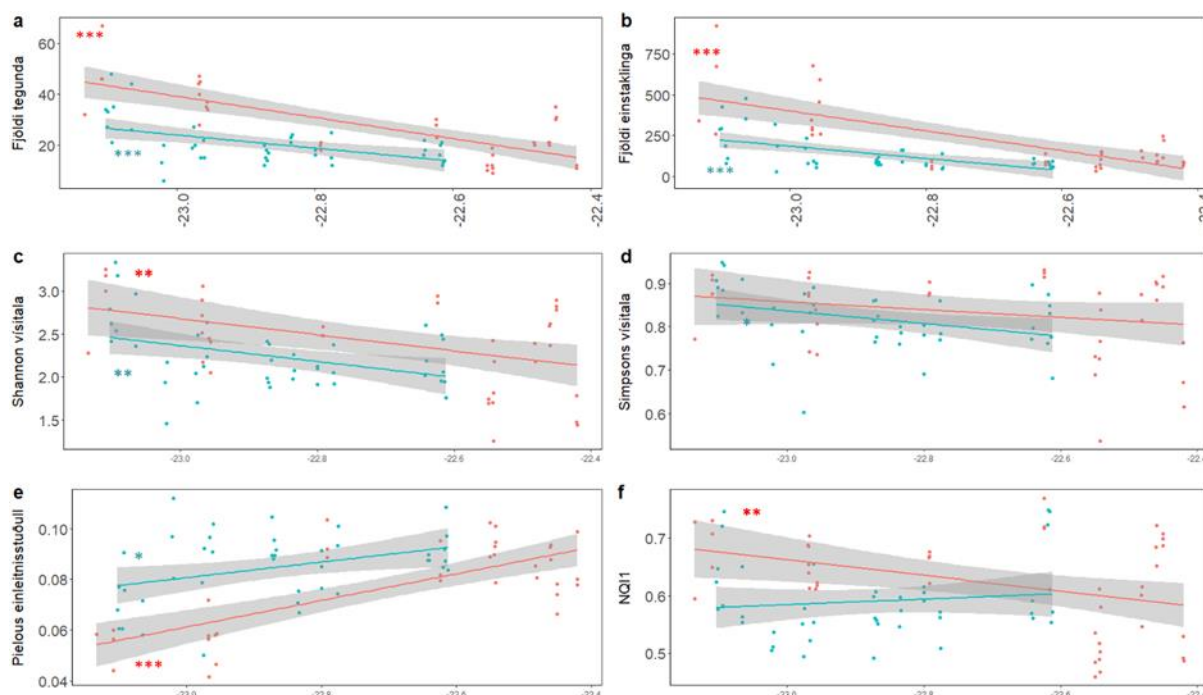
### 3.6 Fjölbreytni botndýralífs og landfræðileg lega

Til að kanna hvernig fjölbreytni botndýralífs breytist frá mynni til botns fjarðanna tveggja var kannað sambandið á milli fjölda tegunda og einstaklinga og fjölbreytnistuðlanna og lengdargráðu sýna, tekin annars vegar grynna og hins vegar dýpra en 90 m dýpi (Mynd 16 og 17). Ástæðan fyrir þessari dýpis skiptingu var sú að meðan sýni sem voru tekin neðan 90 m dýpis voru tekin eftir endilöngum fjörðunum þá voru sýni ofan þessara dýpismarka aðeins tekin á afmörkuðum svæðum. Fyrir sýni tekin neðan 90 m dýpis í Arnarfirði fannst marktæk neikvæð fylgni í eftirfarandi breytum við lengdargráðu; fjölda tegunda ( $p < 0,0001$ , mynd 16a), Shannon vísitölu ( $p = 0,01$ , Mynd 16c) og NQI1 ( $p = 0,007$ ) (Mynd 16f). Fyrir sýni tekin grynna en 90 m dýpi fannst einungis veikt jákvætt samband í Simpson's vísitölunni ( $p = 0,03$ , Mynd 16d). Þessar niðurstöður gefa til kynna að botndýralíf neðan 90 m dýpis verði fábreytnara eftir því sem innar dregur í Arnarfjörð.

Í Ísafjarðardjúpi neðan 90 m dýpis (Mynd 17) sýndu eftirfarandi breytur neikvæða fylgni við lengdargráðu; fjöldi tegunda ( $p = 0,007$ , Mynd 17a), fjöldi einstaklinga ( $p < 0,001$ , Mynd 17b), Shannon ( $p = 0,009$ , Mynd 17c) og Simpson's ( $0,028$ , Mynd 17d) vísitalnanna en jákvæða fylgni í tilfelli Pielou's einsleitnistuðulsins ( $p = 0,02$ , Mynd 17e). Það var athyglisvert að ekki fannst marktækt samband á milli NQI1 og lengdargráðu neðan 90 m dýpis ( $p = 0,45$ , Mynd 17f). Ofan 90 m dýpis í Ísafjarðardjúpi fundust neikvæð sambönd á milli fjöldi tegunda ( $p < 0,001$ , Mynd 16a) og einstaklinga ( $p < 0,001$ , Mynd 17b), sem og í vísitölum Shannon ( $p = 0,006$ , Mynd 17c) og NQI1 ( $p = 0,009$ , Mynd 17f) við lengdargráðu. Samband Pielou's einsleitnistuðulsins og lengdargráðu var marktækt jákvætt ( $p < 0,001$ , Mynd 17e).



Mynd 16. Fjölbreytni botndýralífs og landfræðileg lega (lengdargráða) í Arnarfirði. Samband a) fjölda tegunda, b) fjölda einstaklinga og fjölbreytileika vísitalnanna c) Shannon, d) Simpson's og e) Pielou's einleitnistuðulsins við lengdargráðu, >90 m (bláir punktar og línur) og <90 m dýpis (rauðir punktar og línur). Sýnd eru 95% vikmörk utan um aðhvarfslínurnar (grátt svæði). Marktækni er sýnd sem  $p < 0,05$ \*,  $p < 0,01$ \*\*\*,  $p < 0,001$ \*\*\*.



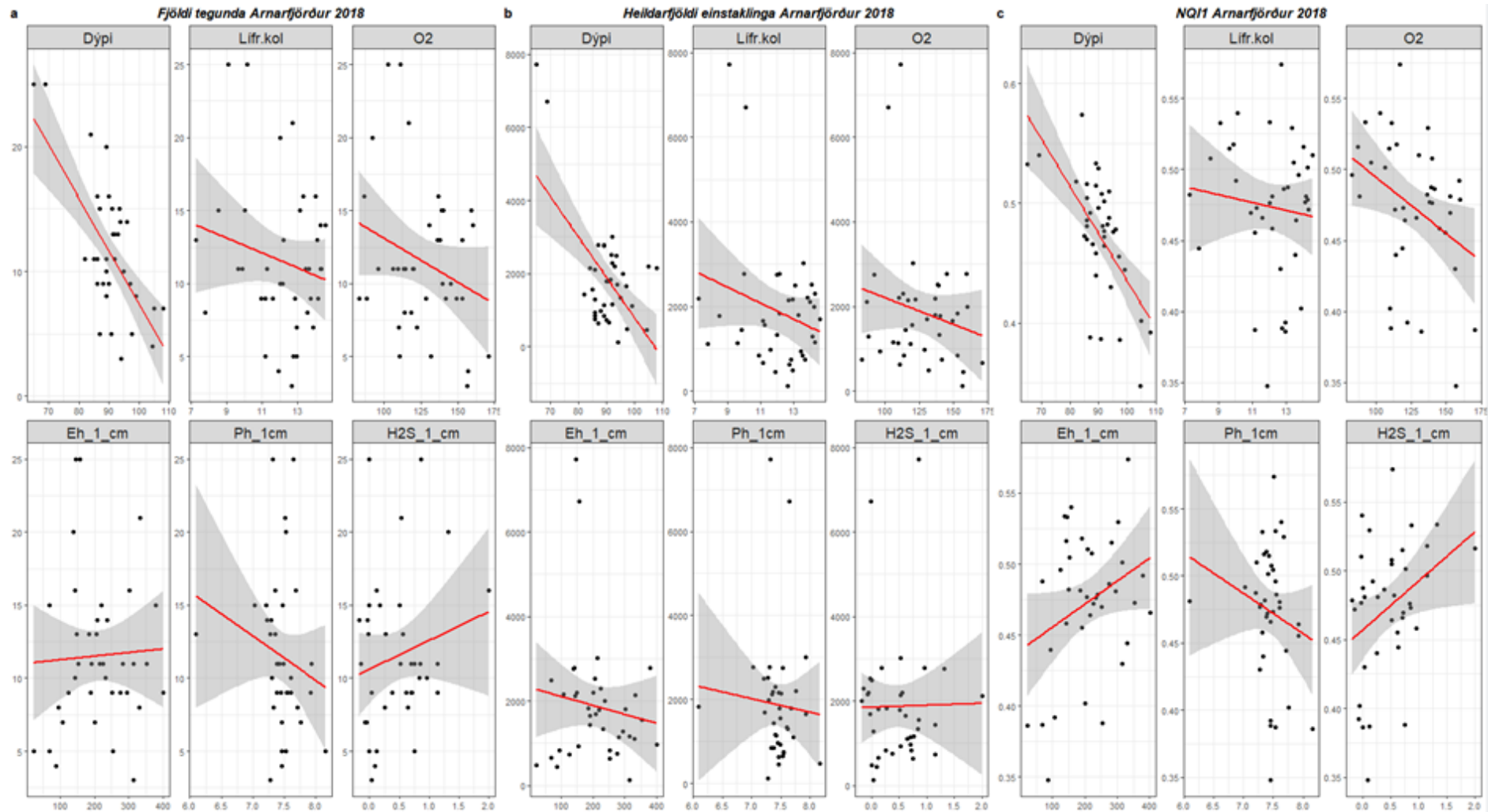
Mynd 17. Fjölbreytni botndýralífs og landfræðileg lega (lengdargráða) í Ísafjarðardjúpi. Samband a) fjölda tegunda, b) fjölda einstaklinga og fjölbreytileika vísitalanna c) Shannon, d) Simpson's og e) Pielou's einleitnisstuðulsins við lengdargráðu, >90 m (bláir punktar og línur) og <90 m dýpis (rauðir punktar og línur). Sýnd eru 95% vikmörk utan um aðhvarfslínurnar (grátt svæði). Marktækni er sýnd sem  $p < 0,05^*$ ,  $p < 0,01^{**}$ ,  $p < 0,001^{***}$ .

### 3.7 Áhrif umhverfisþátta á tegunda- og umhverfisfjölda

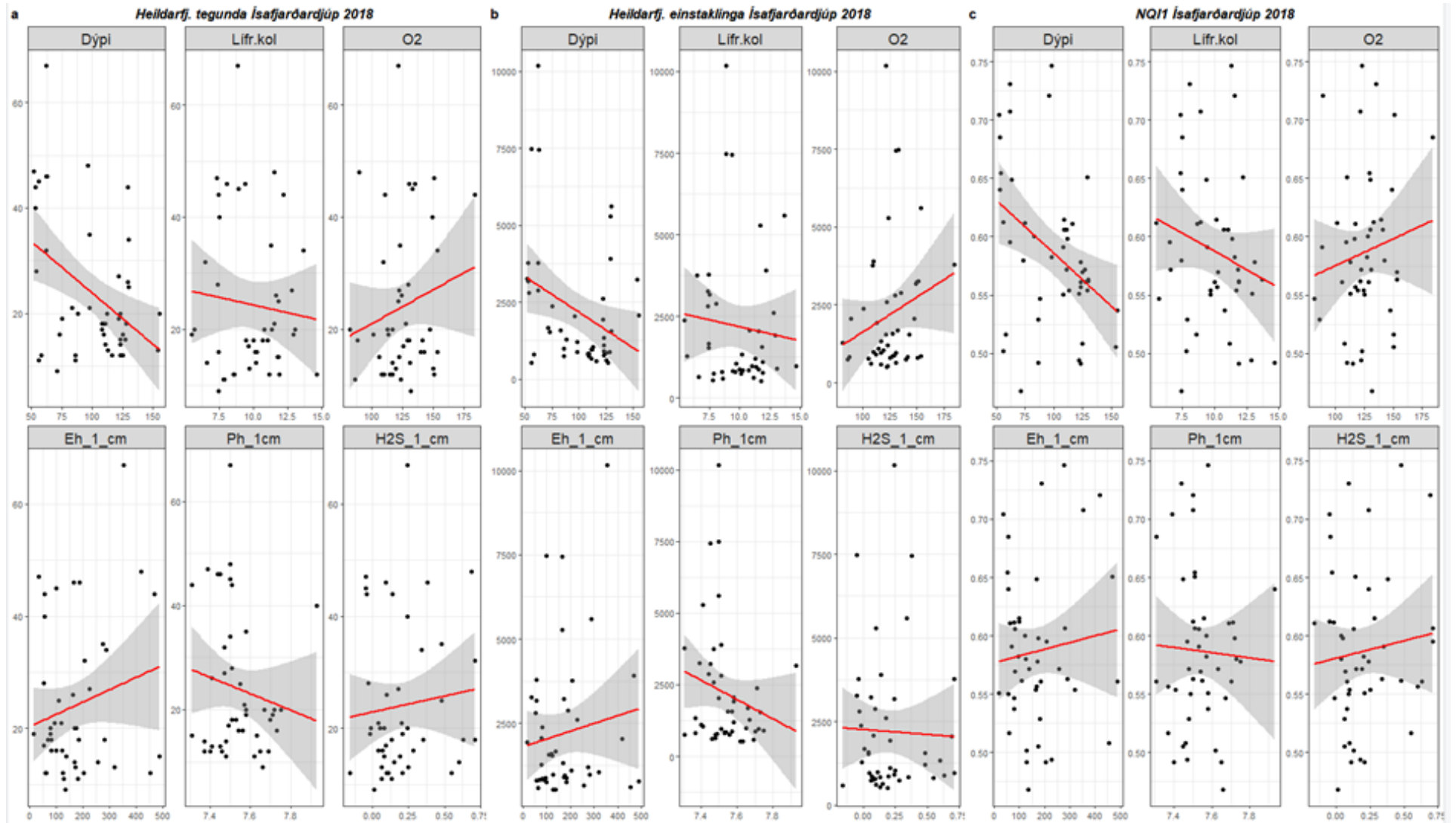
Fjöldi tegunda (Mynd 18a), einstaklinga (Mynd 18b) og vísitala NQI1 (Mynd 18c) minnkaði með auknu dýpi, og voru þessi sambönd hámarktæk (í öllum tilfellum  $p < 0,0001$ ) í Arnarfirði en í Ísafjarðardjúpi (Mynd 19a-c) voru gildi marktækni alltaf  $p < 0,05$ . Marktæk jákvæð fylgni fannst á milli setdýptar súrefnis og NQI1 vísitölunnar ( $p = 0,02$ ) í Arnarfirði (Mynd 18c) en ekki í Ísafjarðardjúpi (Mynd 19c). Fylgni á milli fjölda tegunda og einstaklinga og efnabreyta í setinu, þ.e. súrefnis í seti ( $O_2$ ), lífræns kolefnis, afoxunarmættis, sýrustigs og brennisteinsvetnis ( $H_2S$ ) var ómarktæk og oft ósamstíga á milli fjarðanna.

Í báðum fjörðunum minnkaði NQI1 vísitalan eftir því sem miðgildi kornastærðar jókst, þ.e. eftir því sem setið var grófara (Mynd 20a,b), og var þetta samband marktækt í Arnarfirði ( $p = 0,0024$ ) en ekki í Ísafjarðardjúpi ( $p = 0,07$ ). Það var athyglisvert að kornastærð sets jókst (Mynd 21a) og magn leirs (<63 $\mu$ m) minnkaði (Mynd 21b) með auknu dýpi, en ekki öfugt eins og búast hefði mátt við. Þessi sambönd voru öll marktæk ( $p < 0,05$ ) þegar þau voru prófuð með Pearson fylgniprófi, fyrir utan kornastærð í Arnarfirði.

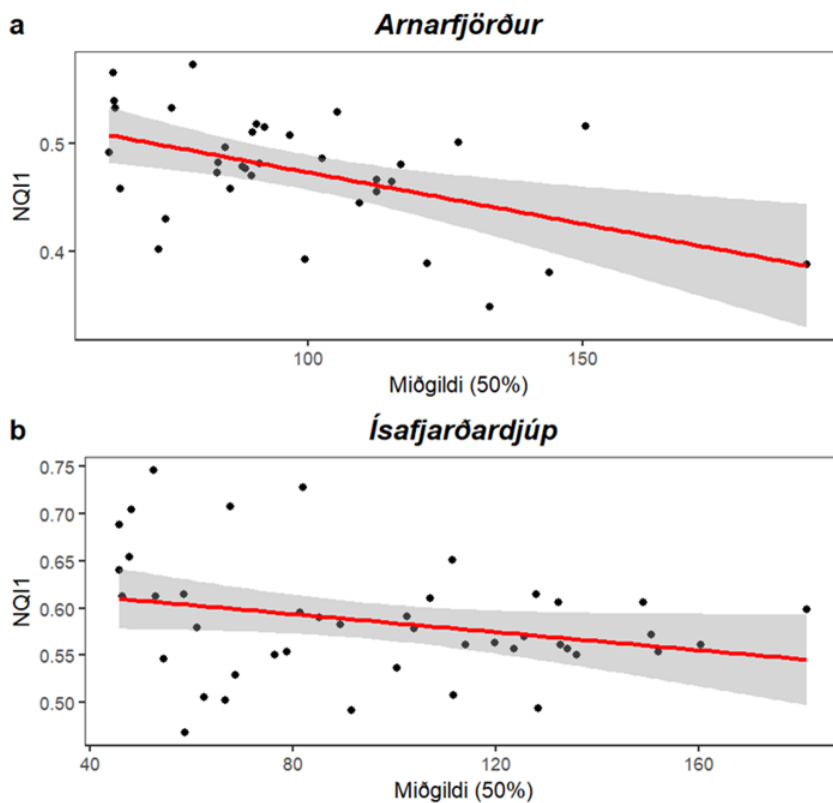




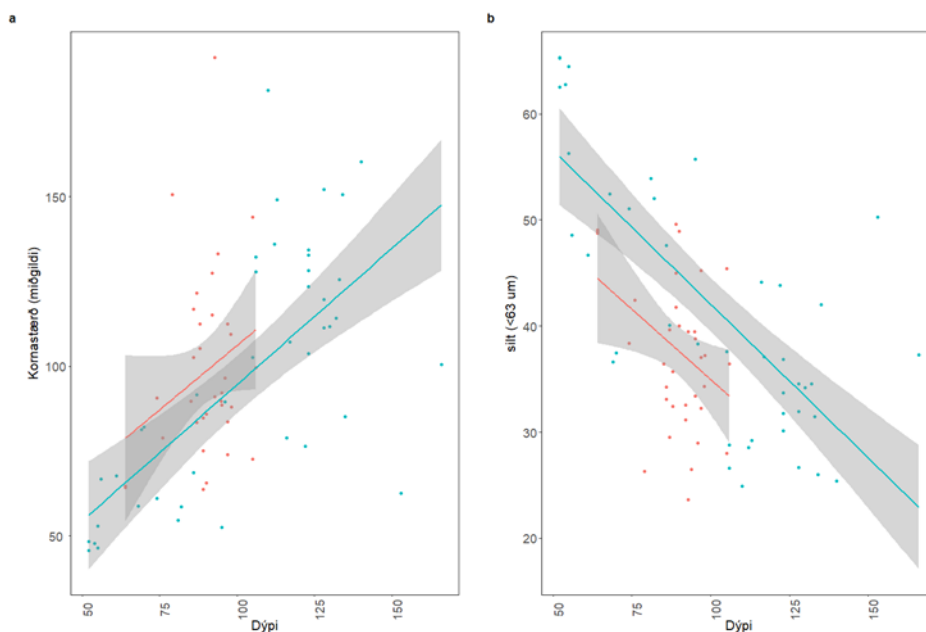
Mynd 18. Áhrif umhverfisþátta í seti á botndýralíf í Arnarfirði. Samband a) fjölda tegunda og b) fjölda einstaklinga og c) NQI1 við dýpi og mældra efnabreyta í seti; dýpt súrefnislags (mm, O<sub>2</sub>), lífrænt kolefni (%), afoxunarmættis (E<sub>h</sub>), sýrustigs (pH) og magn brennisteinsvetnis (H<sub>2</sub>S) á 1 cm setdýpi. Aðhvarfslínur með 95% vikmörk (grátt svæði).



Mynd 19. Áhrif umhverfisþátta í seti á botndýralíf í Ísafjarðardjúpi. Samband a) fjölda tegunda, b) fjölda einstaklinga og c) NQI1 við dýpi og mældar efnabreytur í seti; dýpt súrefnislags (mm, O<sub>2</sub>), lífrænt kolefni (%), afoxunarmætti (E<sub>n</sub>), sýrustig (pH) og magn brennisteinsvetnis (H<sub>2</sub>S) á 1 cm setdýpi. Aðvarflínur með 95% vikmörk (grátt svæði).



Mynd 20. Samband NQ11 vísitölunnar og 50% (miðgildi) hlutfallsgildis í kornastærð (median particle diameter) í Arnarfirði (a) og Ísafjarðardjúpi (b). Eftir því sem miðgildið eykst því grófara verður setið. Sýnd eru 95% vikmörk utan um aðhvarfslínurnar (grátt svæði).



Mynd 21. Kornastærð og dýpi. Samband á milli a) miðgildi kornastærðar, b) leirs (silt, kornastærð < 63 μm) og dýpis í Arnarfirði (rauðir punktar og línur) og Ísafjarðardjúpi (bláir punktar og línur). Sýnd eru 95% vikmörk utan um aðhvarfslínurnar (grátt svæði).

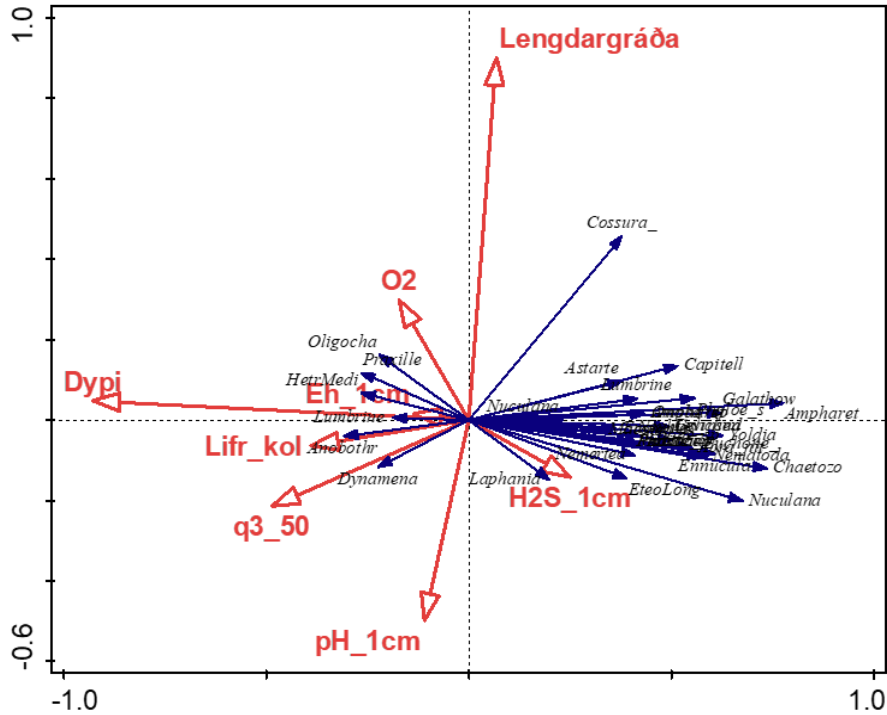
### 3.8 Áhrif umhverfispátta á samfélagsgerð botndýra

Margþáttagreiningin „Redundancy Analysis“ (RDA) var notuð til að kanna hvaða umhverfispættir móta gerð botndýrasamfélaga, hvað varðar þéttleika og samsetningu tegunda, sem og hversu mikið af breytileikanum þeir útskýra (Mynd 22). Í margþáttagreiningunni voru notaðar eftirfarandi breytur; dýpi, staðsetning sýnis m.t.t. lengdargráðu, dýpt súrefnislags sem og styrkur brennisteins, sýrustig og afoxunarmætti á 1 cm setdýpi, lífrænt kolefni og miðgildi kornastærðar. Í stað þess að skoða sambönd á milli umhverfispátta og t.d. ákveðins fjölbreytileikastuðuls, að þá gerir aðferðin kleift að kanna áhrif allra breyta samtímis. Við túlkun gagna (Mynd 22) gefur lengd rauðu örvarna vísbendingu um mikilvægi umhverfisbreytanna, þ.e. því lengri sem þær eru, því meiri áhrif hafa þær á samfélagsgerð botndýra. Tegundir (sýndar með bláum örbum) sem raðast þétt upp við rauðu örvarnar sýna mikla fylgni við þær umhverfisbreytur.

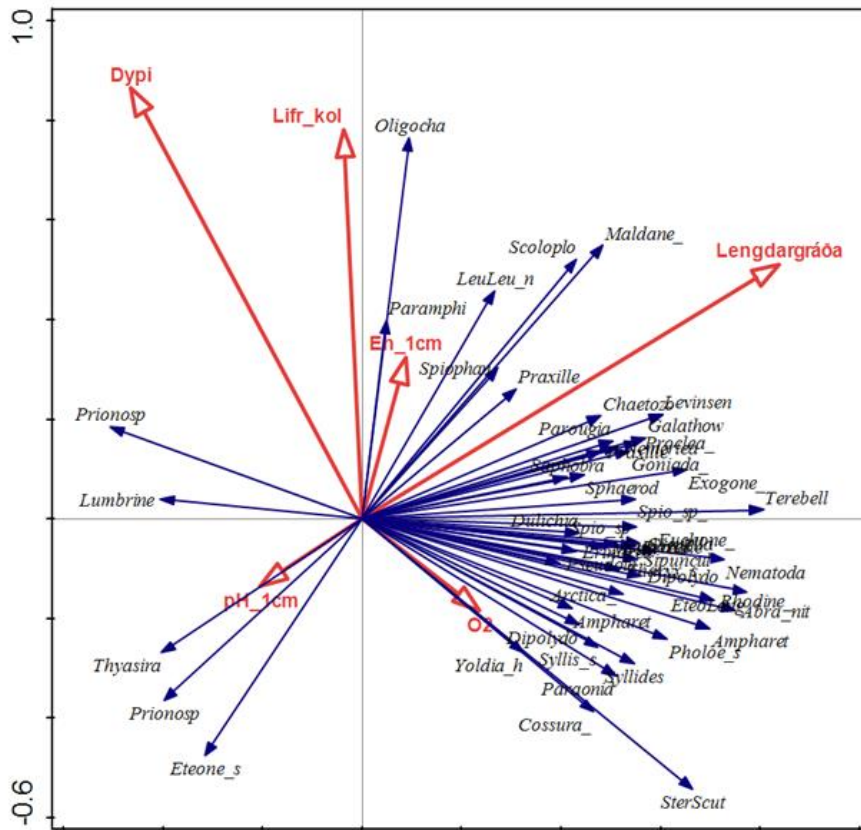
Fyrir Arnarfjörð, útskýrði RDA margþáttagreiningarlíkanið 52.5% af breytileikanum þegar öllum breytum var haldið inni aðskildum (Tafla 4a) en 40% af breytileikanum, þegar sameiginlegur breytileiki var fjarlægður (Tafla 4b). Dýpi, miðgildi kornastærðar, lengdargráða og lífrænt kolefni koma út sem mikilvægustu breytur þegar vægi hvernar breytu var reiknað óháð öðrum breytum. Þegar sameiginlegur breytileiki var fjarlægður voru dýpi, lengdargráða og afoxunarmætti mikilvægastar. Af þessum sameiginlega breytileika útskýrði dýpi og lengdargráða sýnis 24 og 5,9% (Tafla 4) en aðrar breytur (afoxunarmætti, kornastærð, brennisteinsvetni, lífrænt kolefni og sýrustig), samtals 10%. Niðurstöður úr margþáttagreiningunni sýndu að megnið af tegundunum röðuðust á fyrsta ásinn (Mynd 22), þ.e. fjölgar með minnkandi kornastærð (auknum leir) og með auknu dýpi. Mikilvægasta breytan á öðrum ásnum er staðsetning sýna, sem sýnir að fjöldi sumra tegunda jókst eftir því sem vestar dró.

Tafla 4. Áhrif umhverfispátta á samfélagsgerð botndýra í Arnarfirði. Niðurstöður úr RDA greiningu. a) Útskýrður breytileiki hvernar breytu fyrir sig óháð öðrum breytum. b) Útskýrður breytileiki hvernar breytu fyrir sig eftir að sameiginlegur breytileiki allra annarra breyta hefur verið fjarlægður.

a)	Útskýrður breytileiki	Pseudo-F	P	P (leiðr.)
Dýpi	24	12,6	0,002	0,016
Miðgildi kornastærðar	8	3,5	0,016	0,128
Lengdargráða	5,8	2,4	0,05	0,4
Lífrænt kolefni	4,6	1,9	0,098	0,78
H <sub>2</sub> S (1 cm)	2,9	1,2	0,284	1
pH (1 cm)	2,7	1,1	0,27	1
E <sub>h</sub> (1cm)	2,5	1	0,388	1
Dýpt súrefnislags (O <sub>2</sub> )	2	0,8	0,476	1
b)	Útskýrður breytileiki	Pseudo-F	P	P (leiðr.)
Dýpi	24	12,6	0,002	0,016
Lengdargráða	5,9	3,3	0,012	0,096
E <sub>h</sub> (1cm)	4	2,3	0,06	0,48
Miðgildi kornastærð	2,2	1,3	0,236	1
H <sub>2</sub> S (1 cm)	1,5	0,8	0,484	1
Lífrænt kolefni	1,4	0,8	0,53	1
pH (1 cm)	1,1	0,6	0,664	1
Dýpt súrefnislags (O <sub>2</sub> )	0,9	0,5	0,824	1



Mynd 23. Áhrif umhverfisþátta á samfélagsgerð botndýra í Arnarfirði. Margþáttagreining (Redundancy Analysis) á botndýragögnum. Botndýpi, styrkur brennisteinsvetnis (H<sub>2</sub>S), sýrustigs (pH) og afoxunarmættis á 1 cm setdýpi, dýpt súrefnislags (O<sub>2</sub>) og hlutfall lífræns efnis voru notaðar sem umhverfisbreytur.



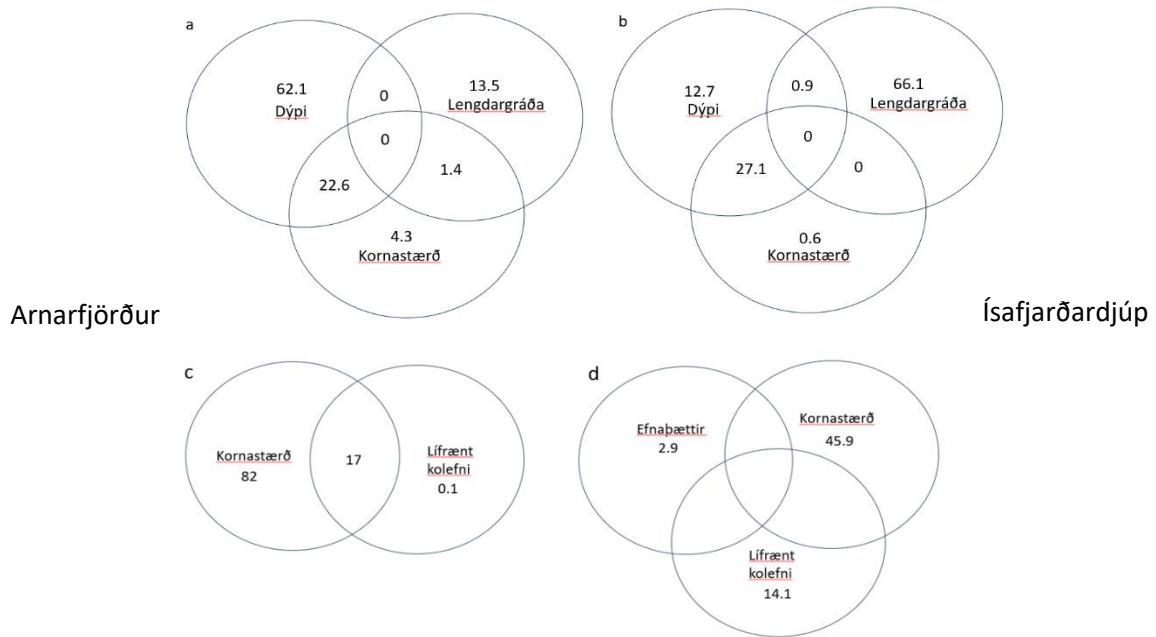
Mynd 22. Áhrif umhverfisþátta á samfélagsgerð botndýra í Ísafjarðardjúpi. Margþáttagreining (Redundancy Analysis) á botndýragögnum. Botndýpi, styrkur brennisteinsvetnis (H<sub>2</sub>S), sýrustig (pH) og afoxunarmætti á 1 cm setdýpi, dýpt súrefnislags (O<sub>2</sub>) og hlutfall lífræns efnis voru notaðar sem umhverfisbreytur.

Í margþáttagreiningunni fyrir Ísafjarðardjúp (Mynd 23, Tafla 5) var mikil fylgni í áhrifum dýpis og kornastærðar á botndýralíf, og var því nægilegt að halda inni í líkaninu breytunni dýpi. Áhrif afoxunarmættis og brennisteins (1 cm setdýpi) voru sambærileg og var styrkur brennisteins ( $H_2S$ ) fjarlægður úr líkaninu. Líkanið útskýrði um 39% af breytileikanum (26,5% með Bonferroni leiðréttingu) og þær breytur sem útskýrðu mest af breytileikanum voru staðsetning stöðvar (20%) og dýpi (13,5%) en breytur afoxunarmætti, styrkur súrefnis, lífrænt kolefni og sýrustig samanlagt 4,5%.

Tafla 5. Áhrif umhverfisþátta á samfélagsgerð botndýra í Ísafjarðardjúpi. Niðurstöður úr RDA greiningu. a) Útskýrður breytileiki hvarrar breytu fyrir sig. b) Útskýrður breytileiki hvarrar breytur fyrir eftir að sameiginlegur breytileiki allra annarra breyta hefur verið fjarlægður.

a)	Útskýrður breytileiki	Pseudo-F	P	P (leiðr.)
Lengdargráða	20,1	13,4	0,002	0,014
Dýpi	12,6	7,7	0,002	0,014
Miðgildi kornastærðar	8,1	4,7	0,002	0,014
Lífrænt kolefni	6,2	3,5	0,006	0,042
Dýpt súrefnislags ( $O_2$ )	2,8	1,5	0,112	0,784
$E_h$ (1 cm)	2	1,1	0,286	1
pH (1 cm)	1,9	1	0,386	1
b)	Útskýrður breytileiki	Pseudo-F	P	P (leiðr.)
Lengdargráða	20,1	13,4	0,002	0,012
Dýpi	13,5	10,6	0,002	0,012
$E_h$ (1 cm)	1,5	1,2	0,262	1
Dýpt súrefnislags ( $O_2$ )	1,4	1,1	0,264	1
Lífrænt kolefni	0,9	0,7	0,786	1
pH (1 cm)	0,8	0,6	0,908	1

Deildaskipt breytileika greining („Variance Partitioning Analysis“) var beitt til að kanna hvaða breytur (eða hópar breytna) voru mikilvægastar til að móta gerð botndýrasamfélaga í Arnarfirði og Ísafjarðardjúpi (Mynd 23). Í báðum fjörðunum var kannað hve mikið breytur dýpi, lengdargráða og kornastærð útskýrðu. Ekki var hægt að taka inn í úrvinnsluna breytur  $H_2S$ , pH og  $E_h$ , setdýpt  $O_2$ , kornastærð og lífrænt kolefni ásamt hinum breytunum, vegna þess hve lítið af breytileikanum þær útskýrðu. Þær breytur sem útskýrðu mestan breytileika í báðum fjörðunum voru dýpi og lengdargráða stöðvar. Í Arnarfirði var breytan dýpi mikilvægust meðan að lengdargráða var mikilvægust í Ísafjarðardjúpi. Samkvæmt þessum niðurstöðum breytist botndýralíf meira frá mynni til botns Ísafjarðardjúps en í Arnarfirði. Kornastærð ein og sér útskýrir um 4% af breytileikanum í Arnarfirði en innan við 1% í Ísafjarðardjúpi. Í báðum fjörðunum er meira en 20% breytileikans á milli dýpis og kornastærðar sameiginlegur, sem þýðir að ekki er hægt reikna út hvor breytan var mikilvægari.



Mynd 24. Hlutfallsleg áhrif helstu umhverfisbreyta. Niðurstöður úr deildaskiptu breytileika greiningunni (Variance Partitioning Analysis) á áhrifum helstu umhverfisbreyta eða hópa þeirra sem var framkvæmd á gögnum frá Arnarfirði (a og c) og Ísafjarðardjúpi (b og d) og er sýnd hér með Venn mynd (Venn diagram). Greiningin sýnir útskýrðan hlutfallslegan breytileika af völdum breytanna dýpis, lengdargráðu og kornastærðar í Arnarfirði a) og Ísafjarðardjúpi b) og niðurbrot útskýrðs breytileika af völdum c) kornastærðar og lífræns kolefnis í Arnarfirði og d) efnabátta í seti (súrefni, afoxunarmætti, brennisteinn og sýrustig), kornastærð og lífrænt kolefni í Ísafjarðardjúpi.

## 4 Umræður

Fjölbreytileiki botndýralífs var mun meiri í Ísafjarðardjúpi en í Arnarfirði. Í Ísafjarðardjúpi fundust 170 tegundir, og þar af voru 137 sem fundust ekki eða voru sjaldgæfar í Arnarfirði, s.s. burstormarnir *Maldane sarsi* og *Terebellides stroemii* sem voru þar nokkuð algengir. Til samanburðar fundust 97 tegundir í Arnarfirði. Þessi mismunur á lífríki fjarðanna kemur ekki á óvart í ljósi þess hve umhverfisaðstæður í fjörðunum tveimur eru ólíkar. Utarlega í Arnarfirði er þröskuldur sem takmarkar vatnsskipti (Andreas Macrander o.fl. 2021, Andreas Macrander og Sólveig R. Ólafsdóttir 2023). Botnlagið fyrir neðan 60 – 80 m dýpi er einangrað frá vori til nóvember og lækkar styrkur súrefnis mikið á þessum árstíma, með hugsanlegum áhrifum á botndýralíf. Vatnsskiptin í Ísafjarðardjúpi eru hins vegar öflug, sér í lagi fyrir utan *Æðey* (Hafrannsóknastofnun 2022). Að auki má vænta þess að fjöldi búsvæðagerða sé mun meiri í Ísafjarðardjúpi þar sem hann er 1100 km<sup>2</sup> að flatarmáli (Þorleifur Eiríksson o.fl. 2012) en Arnarfjörður 274 km<sup>2</sup> (Andreas Macrander og Sólveig R. Ólafsdóttir 2023).

Á grundvelli niðurstaðna rannsóknarleiðangursins voru það almennt dýpi og lengdargráða stöðvar, og að einhverju leyti kornastærð, sem mótuðu gerð botndýralífs. Áhrif staðsetningar í fjörðunum tveimur geta verið vegna fylgni við óþekktar umhverfisbreytur. Í Arnarfirði hafði dýpi mest að segja um gerð botndýrasamfélaga en næst mest í Ísafjarðardjúpi. Í báðum fjörðunum minnkaði fjöldi tegunda og einstaklinga, sem og tegundafjölbreytni, með auknu dýpi. Þessi niðurstaða samræmist rannsókn Larssen (1997) og Rygg (2006) sem sýndu fram á að vísitala Shannon minnkaði með auknu dýpi á grunnsævi við Noreg.

Í bæði Arnarfirði og Ísafjarðardjúpi minnkaði fjölbreytileiki botndýralífs einnig eftir því sem kornastærð var grófari, en það var tilhneiging til þess að hún yrði það með auknu dýpi. Í þessari rannsókn var sambandið á milli kornastærðar og fjölbreytileika línulegt, en sumar rannsóknir hafa sýnt fram á að fjölbreytileikinn er mestur á ákveðnu kornastærðarbili (þ.e. sambandið er ólínulegt). Til dæmis sýndu Sejr o.fl. (2010) að fjöldi tegunda í greip var mestur í sýnum sem hafði u.þ.b 40-60% leir í setinu en minnkaði eftir því sem setið var hlutfallslega fínna eða grófara en það. Aðrir setþættir sem mætti skoða frekar í framtíðarráttóknum eru áhrif dreifingar kornastærðar og lögum setkorna á botndýralíf (Rygg 2006, Romoth o.fl. 2023). Dýpi eitt og sér útskýrði um 15 og 21 sinnum meira af breytileikanum samanborið við kornastærð í báðum fjörðunum meðan að stór hluti breytileikans var sameiginlegur meðal þessara tveggja breyta.

Andstætt mörgum öðrum rannsóknnum (t.d. Molina 2019) hafði magn lífræns kolefnis ekki mikilvæg áhrif á gerð botndýralífs. Það var þó athyglisvert að magn lífræns kolefnis í seti var að jafnaði hærra í Arnarfirði en Ísafjarðardjúpi, og var í lægri kantinum í Óshlíð þar sem fjölbreytni botndýralífs var sérstaklega há. Allar efnabreytur sem voru mældar í setinu í þessum tveimur fjörðum (brennisteinsvetni, sýrustig, afoxunarmætti og styrkur súrefnis) útskýrðu nánast ekkert af breytileikanum í gerð botndýrasamfélaga. Það er líklegt að þessar breytur hafi meira vægi þar sem ofauðgun á sér stað.

Haffræðilegir þættir, s.s. straumhraði og stefna sem og styrkur næringarefna hafa að öllum líkindum áhrif á gerð botndýrasamfélaga. Líkt og kemur fram í inngangi, sýna straummælingar að straumur fer inn í báða firðina að sunnanverðu og útstreymið er að norðanverðu. Þá er straumhraði mestur utarlega í báðum fjörðunum, en minnkar er innar dregur. Stefnt er að því að skoða áhrif þessara þátta nánar



þegar innfjarðalíkan, sem byggir á Regional Ocean Modeling System (Shchepetkin og McWilliams 2005), og sem Hafrannsóknarstofnun er að aðlaga að íslenskum aðstæðum, verður tilbúið.

Í ljósi þess að í Ísafjarðardjúpi var fjölbreytileiki botndýralífs mestur utarlega í firðinum að sunnanverðu en mun minni þegar innar dró sem og utarlega í firðinum að norðanverðu, gæti það gefið til kynna að styrkur næringarefna og/eða frumframleiðni sé mest við innstreymið en minnki eftir því sem innar er farið inn fjörðinn og sé minnst við útstreymið. Í Arnarfirði voru ekki tekin sýni í mynni fjarðarins bæði að norðan og sunnanverðu og því ekki hægt að bera saman botndýralíf með sama hætti og í Ísafjarðardjúpi. Þó er líklegt að hafstraumar séu mikilvægir í mótun botndýrasamfélaga í báðum fjörðunum, þar sem þeir færa með sér næringarefni og súrefni, stuðla að blöndun og ráða líka talsverðu um botngerð (kornastærð). Sem dæmi, sýndu Sólveig R. Ólafsdóttir o.fl. (2017) fram á að styrkur næringarefna nítrats, kísils og fosfats minnkaði með auknu dýpi í Arnarfirði og Ísafjarðardjúpi. Til að leggja mat á áhrif samspils næringarefna í sjó og seti („benthic-pelagic coupling“, Griffiths o.fl. 2017) í fjörðunum tveimur er frekari rannsókn þörf.

Styrkur súrefnis við botn lækkar verulega þegar innar dregur í Arnarfjörð, en mun minni lækkun á sér stað í Ísafjarðardjúpi. Einnig hefur verið sýnt fram á að það dregur úr styrk súrefnis í Arnarfirði með auknu dýpi (Sólveig R. Ólafsdóttir o.fl. 2017). Samkvæmt niðurstöðum úr LESV líkaninu fyrir Arnarfjörð (Andreas Macrander og Sólveig R. Ólafsdóttir 2023) lækkar styrkur súrefnis yfir sumarmánuðina í Arnarfirði þar til í nóvember þegar styrkur þess eykst mjög hratt með endurnýjun botnlagsins. Það er því mögulegt að styrkur súrefnis sé náttúrulega lágur á dýpstu stöðvunum, sem og í norðurfjörðunum, og gæti það stuðlað að erfiðum lífsskilyrðum fyrir sumar tegundir botndýra (t.d. Bon o.fl. 2021). Það er almennt talið að súrefnisfirð við strandsvæði eigi sér stað þegar styrkur súrefnis við botn er lægri en 1,42 ml/L (2 mg/L) miðað við 30% súrefnismettun (t.d. Levin o.fl. 2009). Allra lægstu gildi súrefnis við botn sem mældust við botn í Arnarfirði að hausti á tímabilinu 2013-2020 voru í kringum 2,4 ml/L (3,2 mg/L) (Andreas Macrander o.fl. 2021). Sömu höfundar mátu með líkanasmíð að lægstu gildi við botn að hausti væri 2,8 ml/L (3,2 mg/L, samsvarandi 39% súrefnismettun) en lækkaði í 2,5 ml/L (3,3 mg/L, samsvarandi 35% mettnun) í stuttan tíma að hausti ef gert er ráð fyrir 14,500 tonna eldi. Samkvæmt greiningu Vaquer-Sunyer og Duarte (2008) geta gildi í grennd við 2,5 ml/L, sem gætu komið fram í Arnarfirði við ákveðnar aðstæður, haft áhrif á fiska og krabbadýr. Aðrir hópar botndýra þola meiri súrefnisfirð, s.s. er áætlað að lífslíkur burstaorma minnki um 50% ekki fyrir en þegar styrkur súrefnis við botn er kominn niður fyrir 0,84 ml/L (1,42 mg/L) (Vaquer-Sunyer og Duarte 2008).

Til að meta ástand botndýrasamfélaga sjávarvatnshlota við Ísland er notaður gæðavísirinn NQ11 (Norwegian Quality Index 1, Rygg 2006) sem samanstandur af gildum úr AMBI, SN (vísir á tegundafjölbreytileika) og fjölda einstaklinga. Pamela Woods o.fl. (2021) lögðu fram viðmiðunarmörk fyrir vistfræðilegt gæðahlutfall byggt á NQ11 (EQR). Skilgreindir voru ástandsflokkarnir „mjög gott“, „gott“ og „miðlungs ástand“ fyrir opin og skjólsæl svæði fyrir Norður- og Austurland annars vegar og Suður- og Vesturland hins vegar, en ekki voru nægilega mörg sýni frá svæðum þar sem ástand botndýralífs var slæmt til að búa til viðmiðunargildi fyrir flokkana „slæmt“ og „mjög slæmt“. Í skýrslu Rakelar Guðmundsdóttur o.fl. (2022) var ástandsflokknum „miðlungs“ skipt út fyrir „ekki viðunandi“. Samkvæmt lögum um stjórn vatnamála (nr. 36/2011) skulu vatnshlot falla í minnsta lagi í „gott“ flokkinn, og ef þau gera það ekki er aðgerða þörf. Þau viðmiðunargildi sem eiga við Arnarfjörð og Ísafjarðardjúp skv. Pamela Woods o.fl. (2021) og Rakel Guðmundsdóttir o.fl. (2022) eru „mjög gott“ (>0,58), „gott“ (0,45-0,58) og „ekki viðunandi“ (<0,45). Það mætti svo benda á að nokkur önnur

flokkunarkerfi hafa verið þróuð á heimsvísu (ASC 2022; Cranford 2020). Samkvæmt viðmiðum Rakelar Guðmundsdóttur o.fl. (2022) flokkaðist ástand botndýralífs á stöðvum í norðurfjörðum Arnarfjarðar (Borgarfjörður og Gíslasker) auk einnar stöð við Tjaldanes sem „ekki viðunandi“ (<0,45) en sýni annarsstaðar úr firðinum í ástandsflokkinn „gott“ en engin í flokkinn “mjög gott”. Þegar sýni voru tekin við Tjaldanes var það svæði í hvíld. Þar sem kvíar höfðu verið fundust bakteríumottur, en aðeins tókst að taka þar örfá sýni með botngreip vegna þess hve botninn var harður. Það er greinilegt að botndýralíf í norðurfjörðum Arnarfjarðar er fábrotið, stundum með allt að helmingi færri tegundir og mun lægri fjölbreytileikavísitölur en annars staðar í firðinum. Vegna þess hve langt þessar stöðvar eru staðsettar frá næsta eldissvæði er ólíklegt að um áhrif af eldi sé að ræða. Í Ísafjarðardjúpi féll engin stöð í flokkinn “ekki viðunandi”, en þær stöðvar sem voru utarlega í Ísafjarðardjúpi flokkuðust til að hafa “mjög gott” ástand, meðan stöðvar sem voru utarlega í djúpinu að norðanverðu sem og þegar innar er komið í flokkinn “gott ástand”.

Það er ljóst að gæðavísar sem eru að mestu leyti byggðir á upplýsingum um fjölbreytileika, líkt og NQ1, eru heppilegir til að bera saman breytingar í ástandi lífríkis yfir tíma (Frigstad o.fl. 2018, Tsikopoulou o.fl. 2021). Á hinn bóginn er það vel þekkt að samfélög botndýra geta undirgengist miklar breytingar yfir tíma án þess að áhrif af mannavöldum þurfi að koma til (t.d. Frid o.fl. 2011). Til að meta möguleg fjaráhrif af eldinu er nauðsynlegt að safna sýnum af botndýrum og umhverfispáttum yfir langt tímabil og þannig rýna ítarlega í þróun gæðavísa. Margvíslegar tölfræðigreiningar (s.s. margþáttagreiningar) eru síðan notaðar til leggja mat á, hvort að þær breytingar sem greinast séu óæskilegar eða ekki. Líka er gott að geta þá brugðist við með frekari sýnatöku til að staðfesta hvort áhrif af eldi er að ræða, ef vafi leikur þar á.

Heppilegt getur verið að nota aðra gæðavísa til stuðnings til að meta ástand botnvistkerfa (sjá t.d. ASC 2022). Þar af mætti nefna hlutfall burstaorma og krabbadýra (BOPA), (Dauvin o.fl. 2016), tilvist bakteríumotta (Knight o.fl. 2021) og styrkur uppleysts brennisteins (S2-) í seti (Cranford o.fl. 2020) sem og samsetta gæðavísa (t.d. Dreujou o.fl. 2021, Rector o.fl. 2022, Lu o.fl. 2021, Phillips o.fl. 2014).

Mjög marktækt samband var á milli NQ1 og Shannon vísitölunnar, sem og fjölda tegunda. Við útreikning á NQ1 eru notaðar upplýsingar úr AMBI, fjölda tegunda og einstaklinga (Rygg og Norling 2013) meðan að við útreikning á Shannon eru notaðar upplýsingar um hlutfall hvernar tegundar í sýni og fjölda tegunda (Margalef 1958). Mun veikara samband fannst á milli NQ1 og fjölda einstaklinga og tegunda. Samkvæmt þessum niðurstöðum, að þá er Shannon vísitalan jafn heppileg til að lýsa breytingum í fjölbreytileika botndýrasamfélaga fyrir þessi sýni og NQ1 í þessari rannsókn.

## 5 Niðurlag

Verkefnið „Umhverfisáhrif sjókvíaeldis“ er langtímaverkefni og rétt að hafa í huga að þau gögn sem safnað er í verkefninu eru hugsuð sem grunnur að langtímavöktun. Í Ísafjarðardjúpi ná gögnin að lýsa grunnástandi áður en eldi hefst en nær því tæplega í Arnarfirði þar sem talsvert eldi hafði verið stundað um nokkurt skeið áður en verkefni þetta hófst. Þær takmörkuðu niðurstöður sem nú liggja fyrir í Arnarfirði gefa ekki tilefni til að fullyrða að fiskeldi hafi neikvæð áhrif á fjarsvæðum eldissvæða, hvorki á botndýralíf né á efnaferla sets (Rakel Guðmundsdóttir o.fl. 2020). Þegar farið er frekar að vinna úr þeim gögnum sem safnað var eftir 2018, verður frekar kleift að greina möguleg fjaráhrif af eldi í Arnarfirði.

## Heimildir

- Alipio, H.R.D., Bergstedt, J.H., & Lazado, C.C. (2023). Differential sensitivity of mucosal organs to transient exposure to hydrogen sulphide in post-smolt Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 573, 739595.
- Anderson, M. J. (2001). A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology*, 26, 32–46.
- Andreas Macrander, Sólveig R. Ólafsdóttir, Magnús Danielsen, Hjalti Karlsson, H., Arnþór Bragi Kristjánsson & Jacek Sliwinski (2021). Arnarfjörður: Ástand sjávar, straumar og endurnýjun botnlags. Haf – og vatnarannsóknir HV 2021-38. Hafrannsóknastofnun.
- Andreas Macrander & Sólveig R. Ólafsdóttir (2023). Mat á burðarþoli Arnarfjarðar – lýsing á líkani og mati á áhrifum sjókvíaeldis á súrefni og næringarefni / Carrying capacity of Arnarfjörður – modelling and assessment of impacts of aquaculture on oxygen and nutrient budget. Haf – og vatnarannsóknir HV 2023-02. Hafrannsóknastofnun.
- ASC Benthic Technical Working Group. (2022). Whitepaper on Standards for Aquaculture Impacts on Benthic Habitat, Biodiversity and Ecosystem Function. Prepared for the Aquaculture Stewardship Council (ASC) by the ASC Benthic Technical Working Group.
- Ásgeir Gunnarsson, Hjalti Karlsson, Guðrún Helgadóttir, Julian Burgos, Stefán Ragnarsson & Steinunn Ólafsdóttir (2022). Rannsóknir á hrygningu steinbíts (*Anarhichas lupus*) á Látragrunni. Haf- og vatnarannsóknir HV 2022-17. Hafrannsóknastofnun.
- Bachelet, G., De Montaudouin, X., & Dauvin, J.-C. (1996). The Quantitative Distribution of Subtidal Macrozoobenthic Assemblages in Arcachon Bay in Relation to Environmental Factors: A Multivariate Analysis. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 42, 371–391.
- Bannister, R. J., Johnsen, I. A., Hansen, P. K., Kutti, T., & 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.
- Bon, M., Grall, J., Gusmao, J.B, Fajardo, M., Harrod, C., & Pacheco, A.S. (2021). Functional changes in benthic macrofaunal communities along a natural gradient of hypoxia in an upwelling system. *Marine Pollution Bulletin*, 112056.
- Borja, A., Franco, J., & 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, 1100–1114.
- Clarke, K. R. (1993). Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology*, 18, 117–143.
- Couce, E., Engelhard, G. H., & Schratzberger, M. (2020). Capturing threshold responses of marine benthos along gradients of natural and anthropogenic change. *Journal of Applied Ecology*, 57, 1137–1148.
- Cranford, P., Brager, L., Elvines, D., Wong, D., & Law, B. (2020). A revised classification system describing the ecological quality status of organically enriched marine sediments based on total dissolved sulfides. *Marine Pollution Bulletin*, 154, 111088.
- Cranford, P.J., Brager, L., & Law, B.A. 2022. Indicators, variability, and impact classification. *Aquaculture Environment Interactions*. 14: 343-361, <https://doi.org/10.3354/aei00447>

- Dauvin, J.-C., Lucas, S., Navon, M., Lesourd, S., Mear, Y., Poizot, E., & Alizier, S. (2017). Does the hydrodynamic, morphometric and sedimentary environment explain the structure of soft-bottom benthic assemblages in the Eastern Bay of Seine (English Channel)? *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 189, 156–172.
- Dreujou, E., Desroy, N., Carrière, J., Tréau De Coeli, L., McKindsey, C.W., & Archambault, P. (2021). Determining the Ecological Status of Benthic Coastal Communities: A Case in an Anthropized Sub-Arctic Area. *Frontiers in Marine Science*, 8, 637546.
- Forchino, A., Borja, A., Brambilla, F., Rodríguez, J.G., Muxika, I., Terova, G., & Saroglia, M. (2011). Evaluating the influence of off-shore cage aquaculture on the benthic ecosystem in Alghero Bay (Sardinia, Italy) using AMBI and M-AMBI. *Ecological Indicators*, 11, 1112–1122.
- Fox, C., Webb, C., Grant, J., Brain, S., Fraser, S., Abell, R. & Hicks, N., (2023). Measuring and modelling the dispersal of salmon farm organic waste over sandy sediments. *Aquaculture Environment Interactions*. 15: 251-269.
- Franco, A., Quintino, V., & Elliott, M. (2015). Benthic monitoring and sampling design and effort to detect spatial changes: A case study using data from offshore wind farm sites. *Ecological Indicators*, 57, 298–304.
- Frid, C L.J. (2011). Temporal variability in the benthos: Does the sea floor function differently over time? *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 400, 99–107.
- Frigstad, H., Andersen, G.S., Trannum, H.C., Nautsvoll, L.J., Kaste, Ø., & Hjermann, D.Ø. (2018). Synthesis of climate relevant results from selected monitoring programs in the coastal zone. Part 2: Quantitative analyses. NIVA-report No. 7311.
- Glud R.N (2008) Oxygen dynamics of marine sediments. *Marine Biology Research*, 4:4, 243-289. DOI: 10.1080/17451000801888726
- Griffiths J.R., Kadin M, Nascimento F.J.A., Tamelander T., Törnroos A., Bonaglia S., Bonsdorff E., Brüchert V., Gårdmark A., Järnström M., Kotta J., Lindegren M., Nordström M.C., Norkko A., Olsson J., Weigel B., Žydelis R., Blenckner T., Niiranen S., & Winder M. The importance of benthic-pelagic coupling for marine ecosystem functioning in a changing world. *Glob. Chang. Biol.*, 23 (2017), pp. 2179-2196, 10.1111/gcb.13642
- Guerin, A.J., Kidd, K. A., Maltais, M.-J., Mercer, A., & Hunt, H.L. (2023). Temporal and Spatial Trends in Benthic Infauna and Potential Drivers, in a Highly Tidal Estuary in Atlantic Canada. *Estuaries and Coasts*, 46, 1612–1631.
- Hafrannsóknastofnun (2020). Áhættumat Hafrannsóknarstofnunar í samræmi við 6. gr. a í lögum nr. 71/2008 um fiskeldi. 11 bls. [https://www.stjornarradid.is/library/01--Frettatengt---myndir-og-skrar/ANR/KThJ/Endursko%C3%B0u%C3%B0\\_R%C3%A1%C3%B0gj%C3%B6f\\_%C3%81h%C3%A6ttumat2020\\_loka%20til%20birtingar.pdf](https://www.stjornarradid.is/library/01--Frettatengt---myndir-og-skrar/ANR/KThJ/Endursko%C3%B0u%C3%B0_R%C3%A1%C3%B0gj%C3%B6f_%C3%81h%C3%A6ttumat2020_loka%20til%20birtingar.pdf)
- Hafrannsóknastofnun (2022a). Mat á burðarþoli Arnarfjarðar m.t.t. sjókvíaldis. 9 bls. [https://www.hafogvatn.is/static/extras/images/burdarthol\\_arnarfjordur1306036.pdf](https://www.hafogvatn.is/static/extras/images/burdarthol_arnarfjordur1306036.pdf)
- Hafrannsóknastofnun (2022b). Mat á burðarþoli Ísafjarðardjúps m.t.t. sjókvíaldis. 9 bls. <https://www.hafogvatn.is/static/extras/images/burdarthol-isafjardardjups1306033.pdf>
- Hiddink, J.G., Valanko, S., Delargy, A.J., & van Denderen, P.D. (2023). Setting thresholds for good ecosystem state in marine seabed systems and beyond. *ICES Journal of Marine Science*, 80, 698–709.

- Hjulstrom, F. (1935). Studies of Morphological Activity of Rivers as Illustrated by the River Fyris. *Bulletin of the Geological Institute, University of Uppsala*, 25, 221–527.
- Husa, V., Kutti, T., Ervik, A., Sjøtun, K., Hansen, P.K., & Aure, J. (2014). Regional impact from fin-fish farming in an intensive production area (Hardangerfjord, Norway). *Marine Biology Research*, 10, 241–252.
- Kalantzi, I., & Karakassis, I. (2006). Benthic impacts of fish farming: Meta-analysis of community and geochemical data. *Marine Pollution Bulletin*, 52, 484–493.
- Keeley, N., Cromey, C., Goodwin, E., Gibbs, M., & Macleod, C. (2013). Predictive depositional modelling (DEPOMOD) of the interactive effect of current flow and resuspension on ecological impacts beneath salmon farms. *Aquaculture Environment Interactions*, 3, 275–291.
- Keeley, N.B., Macleod, C.K., Hopkins, G.A., & Forrest, B.M. (2014). Spatial and temporal dynamics in macrobenthos during recovery from salmon farm induced organic enrichment: When is recovery complete? *Marine Pollution Bulletin*, 80, 250–262.
- Knight, R., Verhoeven, J.P., Salvo, F., Hamoutene, D., & Dufour, S.C. (2021). Validation of visual bacterial mat assessment at aquaculture sites through abiotic and biotic indicators. *Ecological Indicators*, 122, 107283.
- Kutti, T., Ervik, A., & Hansen, P.K. (2007). Effects of organic effluents from a salmon farm on a fjord system. I. Vertical export and dispersal processes. *Aquaculture*, 262, 367–381.
- Kutti, T., Ervik, A., & Høisæter, T. (2008). Effects of organic effluents from a salmon farm on a fjord system. III. Linking deposition rates of organic matter and benthic productivity. *Aquaculture*, 282, 47–53.
- Larsen, L.-H. (1997). Soft-bottom macro invertebrate fauna of North Norwegian coastal waters with particular reference to sill-basins. Part one: Bottom topography and species diversity. *Hydrobiologia*, 355, 101–113.
- Levin, L.A., Ekuu, W., Gooday, A.J., Jorissen, F., Middelburg, J.J., Naqvi, S.W.A., Neira, C., Rabalais, N. N., & Zhang, J. (2009). Effects of natural and human-induced hypoxia on coastal benthos. *Biogeosciences*, 6, 2063–2098.
- Lu, X., Xu, J., Xu, Z., & Liu, X. (2021). Assessment of Benthic Ecological Quality Status Using Multi-Biotic Indices Based on Macrofaunal Assemblages in a Semi-Enclosed Bay. *Frontiers in Marine Science*, 8, 734710.
- Macleod, C.K., Moltschanivskyj, N.A., & Crawford, C.M. (2006). Evaluation of short-term fallowing as a strategy for the management of recurring organic enrichment under salmon cages. *Marine Pollution Bulletin*, 52, 1458–1466.
- Margalef, R. (1958). Information Theory in Ecology. *General Systems*, 3, 36–71.
- Molina, È.J., Silberberger, M.J., Kokarev, V., & Reiss, H. (2019). Environmental drivers of benthic community structure in a deep sub-arctic fjord system. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 225, 106239.
- Pamel J. Woods, Steinunn Hilma Ólafsdóttir & 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.

- Phillips, G.R., Anwar, A., Brooks, A., Martina, L.J., Miles, A.C., & Prior, A. (2014). Infaunal Quality Index: Water Framework Directive Classification Scheme for Marine Benthic Invertebrates. No. SC080016. Bristol: Environment Agency.
- Pielou, E.C. (1966). The measurement of diversity in different types of biological collections. *Journal of Theoretical Biology*, 13, 131–144.
- Pohle, G., Frost, B., & Findlay, R. (2001). Assessment of regional benthic impact of salmon mariculture within the Letang Inlet, Bay of Fundy. *ICES Journal of Marine Science*, 58, 417–426.
- Rakel Guðmundsdóttir, Sólveig R. Ólafsdóttir, Hjalti Karlsson & Stefán Áki Ragnarsson (2020). Umhverfisáhrif sjókvíaeldis – Mælingar á efnaferlum í seti íslenskra fjarða. Haf – og vatnarannsóknir HV 2020-42. Hafrannsóknastofnun.
- Rakel Guðmundsdóttir, Sólveig R. Ólafsdóttir, Steinunn Hilma Ólafsdóttir, Pamela J. Woods, Lilja Gunnarsdóttir, Karl Gunnarsson, Kristinn Guðmundsson & Eydís Salome Eiríksdóttir (2022). Vistfræðileg viðmið við ástandsflokkun strandsjárvar. Haf – og vatnarannsóknir HV 2022-39. Hafrannsóknastofnun.
- Rector, M.E., Weitzman, J., Filgueira, R., & Grant, J. (2022). Environmental indicators in salmon aquaculture research: A systematic review. *Reviews in Aquaculture*, 14, 156–177.
- Romoth, K., Darr, A., Papenmeier, S., Zettler, M.L., & Gogina, M. (2023). Substrate Heterogeneity as a Trigger for Species Diversity in Marine Benthic Assemblages. *Biology*, 12, 825.
- Rygg, B. (2006). Developing indices for quality-status classification of marine soft-bottom fauna in Norway. NIVA-report SNO 5208-2006. Norsk institutt for vannforskning.
- Rygg, B., & Norling, K. (2013). Norwegian Sensitivity Index (NSI) for marine macroinvertebrates, and an update of Indicator Species Index (ISI). NIVA-report 6475-2013. Norsk institutt for vannforskning.
- Sarà, G., Scilipoti, D., Mazzola, A., & Modica, A. (2004). Effects of fish farming waste to sedimentary and particulate organic matter in a southern Mediterranean area (Gulf of Castellammare, Sicily): A multiple stable isotope study ( $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$ ). *Aquaculture*, 234, 199–213.
- Sejr, M.K., Włodarska-Kowalczyk, M., Legeżyńska, J., & Blicher, M.E. (2010). Macrobenthic species composition and diversity in the Godthaabsfjord system, SW Greenland. *Polar Biology*, 33, 421–431.
- Sen, A., Silberberger, M.J., Faust, J.C., Cochrane, S., Renaud, P.E., & Reiss, H. (2022). Environmental monitoring data reveals geographic and depth-based differentiation of benthic fjord communities. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 268, 107803.
- Shannon, C.E., & Weaver, W.W. (1963). *The mathematical theory of communications*. University of Illinois Press, Urbana, 117.
- Shchepetkin, A. F., & J. C. McWilliams (2005), The Regional Ocean Modeling System: A split-explicit, free-surface, topography following coordinates ocean model, *Ocean Modelling*, 9, 347-404.
- Shojaei, M.G., Gutow, L., Dannheim, J., Schröder, A., & Brey, T. (2021). Long-term changes in ecological functioning of temperate shelf sea benthic communities. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 249, 107097.
- Simboura, N., & Zenetos, A. (2002). Benthic indicators to use in Ecological Quality classification of Mediterranean soft bottom marine ecosystems, including a new Biotic Index. *Mediterranean Marine Science*, 3, 77.
- Simpson, E.H. (1949). Measurement of Diversity. *Nature*, 163, 688–688.

- Sólveig R. Ólafsdóttir, Alice Benoit-Cattin & Magnús Danielsen (2017). Endunýjun næringarefna nærri botni í Arnarfirði og Ísafjarðardjúpi. Haf – og vatnarannsóknir HV 2017-035. Hafrannsóknastofnun.
- Steingrímur Jónsson & Héðinn Valdimarsson (2015). Samantekt á mælingum á ástandi sjávar og straumum í Ísafjarðardjúpi. Hafrannsóknastofnun fyrir VSÓ ráðgjöf. <https://www.vso.is/wp-content/uploads/2017/08/06-Vatnsgaedi-sjavar.pdf>
- Steinunn Hilma Ólafsdóttir, Julian Mariano Burgos, Stefán Áki Ragnarsson & Hjalti Karlsson. 2020. Kóralsvæði við Ísland. Rannsóknir 2009-2012. Lýsing – útbreiðsla – verndun. HV 2020-31ISSN 2298-9137
- Steinunn Hilma Ólafsdóttir. (2022). Leiðbeiningar um söfnun sýna til greininga á botnlægum sjávarhryggleysingjum á mjúkum botni. Kver Hafrannsóknarstofnunar KV-2022-2. Hafrannsóknastofnun.
- Tomassetti, P., & Porrello, S. (2005). Polychaetes as indicators of marine fish farm organic enrichment. *Aquaculture International*, 13, 109–128.
- Tsikopoulou, I., Moraitis, M.L., Tsapakis, M., & Karakassis, I. (2018). Can intensive fish farming for 20 years induce changes in benthic ecosystems on a scale of waterbody? An assessment from Cephalonia bay (Ionian Sea). *Environmental Monitoring and Assessment*, 190, 469.
- Vaquer-Sunyer R. & Duarte C.M. (2008). Thresholds of hypoxia for marine biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, 105, 40. <https://doi10.1073pnas.0803833105>
- Veiga, P., Redondo, W., Sousa-Pinto, I., & Rubal, M. (2017). Relationship between structure of macrobenthic assemblages and environmental variables in shallow sublittoral soft bottoms. *Marine Environmental Research*, 129, 396–407.
- Vesal, S.E., Auriemma, R., Libralato, S., Nasi, F., & 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.
- Water Framework Directive, 2000/60/EC [http://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/index\\_en.html](http://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/index_en.html)
- Yang, Y., Gao, S., Wang, Y.P., Jia, J., Xiong, J., & Zhou, L. (2019). Revisiting the problem of sediment motion threshold. *Continental Shelf Research*, 187, 103960.
- Zhulay, I., Reiss, K., & Reiss, H. (2015). Effects of aquaculture fallowing on the recovery of macrofauna communities. *Marine Pollution Bulletin*, 97, 381–390.
- Þorleifur Eiríksson, Ólafur Ögmundarson, Guðmundur V. Helgason, Böðvar Þórisson & Þorleifur Ágústsson (2012). Íslenskir firðir—Náttúrulegt lífríki Ísafjarðardjúps og þolmörk mengunar. Lokaskýrsla. Skýrsla Matís No. 20-12. Matís

## Viðauki 1: Meðalfjöldi einstaklinga á myndbandssniði í Arnarfirði

Meðalfjöldi einstaklinga af hverri tegund/hóp per 100 m af myndbandssniði í Arnarfirði

Lífríki/fylking	Flokkur/undirflokkur	Ættbálkur	Ætt	Ættkvísl/tegund	Meðalfjöldi	
Porifera					0,490	
Polychaeta					6,430	
Cnidaria	Anthozoa	Spirularia	Cerianthidae		0,759	
		Actiniaria			10,226	
		Pennatuloida			0,253	
Mollusca	Gastropoda	Neogastropoda	Buccinidae		0,316	
	Bivalvia				0,261	
Crustacea	Malacostraca	Decapoda	Cancridae	<i>Cancer irroratus</i>	1,764	
			Crangonidae		0,871	
			Pandalidae	<i>Pandalus borealis</i>	36,704	
				<i>Pandalus</i>	3,911	
			Oregoniidae	<i>Hyas</i>	0,350	
			Amphipoda		0,763	
			Arthropoda	Pycnogonida		
	Teleostei			3,027		
		Gadiformes	Gadidae	<i>Gadus morhua</i>	2,271	
				<i>Melanogrammus aeglefinus</i>	0,391	
		Perciformes	Stichaeidae	<i>Leptoclinus maculatus</i>	1,201	
			Stichaeidae	<i>Lumpenus lampretaeformis</i>	0,528	
			Zoarcidae	<i>Lycodes gracilis</i>	0,269	
		Pleuronectiformes			0,989	
			Pleuronectidae	<i>Microstomus kitt</i>	0,508	
				<i>Limanda limanda</i>	0,464	
				<i>Pleuronectes platessa</i>	0,285	
	Elasmobranchii	Rajiformes	Rajidae	<i>Amblyraja radiata</i>	0,497	
Echinodermata	Asteroidea	Forcipulatida			7,257	
				Asteriidae	<i>Asterias rubens</i>	0,870
				Solasteridae	Crossaster sp.	0,253
	Echinoidea (Class)	Echinothurioida	Echinothurioida	Echinothuriidae		0,391
			Spatangoida (Order)	Brissidae	<i>Brissopsis lyrifera</i>	0,353
				Echinothurioida		0,350
Algae				<i>Fucus vesiculosus</i>	0.247	
				<i>Ascophyllum nodosum</i>	0.186	
				<i>Desmarestia aculeata</i>	2.288	



## Viðauki 2: Meðalfjöldi tegunda úr botngreip

Meðalfjöldi og staðalfrávik tegunda sem fundust að meðaltali í hærri fjölda en einn einstaklingur í botngreip í Arnarfirði eða Ísafjarðardjúpi.

Tegund eða hópur	Arnarfjörður		Ísafjarðardjúpi	
	M	±SD	M	±SD
<b>Burstaormar (Polychaeta)</b>				
<i>Chaetozone</i> sp.	53,41	131,87	14,86	16,13
<i>Cossura longocirrata</i>	38,63	48,34	35,28	64,07
<i>Prionospio steenstrupi</i>	37,11	20,30	17,44	12,51
<i>Ampharetidae</i> B	8,71	57,66	1,23	4,56
<i>Ophelina acuminata</i>	6,55	5,86	2,60	4,48
<i>Euchone incolor</i>	3,25	7,82	11,46	20,15
<i>Capitellidae</i>	2,79	3,88	1,13	2,17
<i>Thyasira cf flexuosa</i>	2,36	3,69	4,25	5,76
<i>Nuculana pernula</i>	1,98	3,69	0,33	2,04
<i>Parougia nigridentata</i>	1,46	6,11	0,75	1,99
<i>Ampharete borealis</i>	1,30	2,89	0,03	0,16
<i>Lumbrineris cf mixochaeta</i>	0,55	0,87	1,46	2,01
<i>Eteone longa</i>	0,48	1,44	1,50	3,70
<i>Melinna cristata</i>	0,32	0,74	1,43	2,44
<i>Leucon (Leucon) nasica</i>	0,27	1,74	1,39	3,00
<i>Oligochaeta</i>	0,25	1,52	13,89	32,37
<i>Praxillella gracilis</i>	0,23	0,66	1,36	2,63
<i>Galathowenia oculata</i>	0,21	0,59	3,46	8,44
<i>Laphania boeckii</i>	0,18	0,58	1,89	6,79
<i>Pholoe minuta</i>	0,16	0,71	3,64	8,37
<i>Spio</i> sp	0,55	0,87	1,46	2,01
<i>Ampharete petersenae</i>	0,48	1,44	1,50	3,70
<i>Scoloplos armiger/acutus</i>	0,09	0,35	2,86	5,13
<i>Terebellides stroemii</i>	0,07	0,53	1,18	3,50
<i>Levinsenia gracilis</i>	0,05	0,30	2,11	5,00
<i>Crenella decussata</i>	0,02	0,13	2,35	4,55
<i>Exogone dispar</i>	0,00	0,00	2,58	4,84
<i>Maldane sarsi</i>	0,00	0,00	9,11	23,30
<i>Proclea graffii</i>	0,00	0,00	3,40	6,73
<i>Rhodine gracilior</i>	0,00	0,00	2,05	3,74
<i>Sternaspis scutata</i>	0,09	0,35	2,86	5,13
<b>Bivalvia</b>				
<i>Ennucula tenuis</i>	3,71	8,22	5,38	8,28
<i>Abra nitida</i>	0,70	2,47	2,86	5,04
<b>Nematoda</b>				
	0,11	0,37	3,68	8,07
<b>Nemertea</b>				
	2,86	3,11	4,80	5,43

### Viðauki 3: Meðalfjöldi algengustu tegunda úr botngreip

Meðaltal (M) og staðalfrávik ( $\pm$ SD) algengustu tegunda sem fundust einungis í Arnarfirði eða Ísafjarðardjúpi.

Arnarfjörður	M	$\pm$ SD	Ísafjarðardjúp	M	$\pm$ SD
<i>Euchone</i> sp.	0,07	0,26	<i>Maldane sarsi</i>	9,11	23,3
<i>Propebela</i> sp.	0,05	0,23	<i>Prionospio</i> sp.	3,40	6,73
<i>Campanulariidae</i>	0,04	0,19	<i>Exogone dispar</i>	2,58	4,84
<i>Metopa</i> sp.	0,04	0,27	<i>Sternaspis islandica/scutata</i>	2,05	3,74
<i>Obelia geniculata</i>	0,04	0,19	<i>Proclea graffii</i>	1,00	2,72
<i>Pyramidellidae (Odostomia)</i>	0,04	0,27	<i>Crenella decussata</i>	0,81	3,99
<i>Retusa pertenuis</i>	0,04	0,27	<i>Syllides longocirratu</i>	0,69	1,64
<i>Anobothrus gracilis</i>	0,02	0,13	<i>Rhodine gracilior</i>	0,65	2,55
<i>Balanidae</i>	0,02	0,13	<i>Paramphinome jeffreysii</i>	0,63	1,80
<i>Bougainvillia</i> sp.	0,02	0,13	<i>Praxillella</i> sp.	0,48	1,26



# **HAFRANNSÓKNASTOFNUN**

Rannsókn- og ráðgjafarstofnun hafs og vatna