

RORUM



ICE FISH FARM

Ákvörðun lágmarks hvíldartíma fiskeldis byggt á botnrannsóknum

Þorleifur Eiríksson
Þorleifur Ágústsson
Guðmundur Víðir Helgason
Erlín Emma Jóhannsdóttir
Halldór Pálmar Halldórsson
Þorgerður Þorleifsdóttir
Erlendur Gíslason
Jónatan Þórðarson



Umhverfissjóður sjókvíaeldis

ISSN 2547-6696

ISBN 978-9935-517-16-5

RORUM 2022-015

RORUM ehf.

Sundaborg 1 • 104 Reykjavík • +354 577 3337 • +354 864 7999 • rorum@rorum.is • www.rorum.is

Lykilsíða

Skýrsla RORUM 2022-015	Dags. 13.12.2022	Dreifing Opin	Fjöldi síðna: 27
Heiti skýrslu Ákvörðun lágmarks hvíldartíma fiskeldis byggt á botnrannsóknnum.			
Höfundar Þorleifur Eiríksson Þorleifur Ágústsson Guðmundur Víðir Helgason Erlín Emma Jóhannsdóttir Halldór Pálmar Halldórsson Þorgerður Þorleifsdóttir Erlendur Gíslason Jónatan Þórðarson			
Styrkur: Umhverfissjóður sjókvíaeldis.			
<p>Útdráttur</p> <p>Rannsókn á samspili botndýrasamfélaga og uppsöfnunar lífræns efnis í tengslum við fiskeldi í Berufirði, sem birtist hér er sú þriðja og síðasta í röð rannsókna sem styrktar eru af Umhverfissjóði sjókvíaeldis um áhrif af uppsöfnun lífrænna efna. Niðurstöður sýna hvernig botndýrasamfélögum hnignar með uppsöfnun lífrænna efna og endurnýjast eftir að eldislotu er lokið og svæði hvílt. Jafnframt sýnir skoðun á fjölbreytnistuðlum botndýrasamfélaga í Berufirði á árunum 2002 til 2022 að stuðlar eru lágir við fiskeldiskvíar þegar eldi er í hámarki, en hækka þegar svæði hefur verið hvílt. Botndýrasamfélög eru öflugur mælikvarði á ástand botns og hægt að nota við ákvörðun lengdar hvíldartíma.</p>			
<p>Abstract:</p> <p>This project is about interactions between population dynamics in benthic animal communities and organic loading in Berufjordur and is the last of three studies supported by Umhverfissjóður sjókvíaeldis (Aquaculture environmental fund). Furthermore, diversity indices from Berufjordur calculated for years 2002 to 2022 show low values when aquaculture is in progress but increase when the area is rested. Results show a strong correlation between levels of organic loading and animal communities as populations decline as biological material accumulates and recover when the area is rested from aquaculture between aquaculture periods. Studying the dynamics of benthic animals is a powerful tool in monitoring the environment of aquaculture cages.</p>			

Efnisyfirlit

Tölflur	4
Myndir	4
Útdráttur.....	5
Abstract.....	5
1. Inngangur	5
2. Aðferðir	7
2.1. Vettvangsathugun	7
2.2. Botnsýnataka og mælingar í seti	8
2.3. Mæld gildi ORP/pH	9
2.4. Skynmat	9
2.5. Dýrasýni	9
2.6. Mat á fjölbreytni	9
3. Niðurstöður	10
3.1. Vettvangsrannsókn	10
3.2. Skoðun á eldri gögnum	20
3.3. Shannon fjölbreytnistuðull H'	20
3.4. Oxunargildis (ORP) mælingar.....	21
4. Umræður	23
5. Þakkir.....	24
6. Heimildir.....	25

Töflur

Tafla 2-1. Sýnatökuferðir. Dagsetning og mælipættir við Glímeyri og Hamraborg..	8
Tafla 3-1. Kornastærð í prósentum mismunandi kornastærðarflokka í millimetrum (mm)....	10
Tafla 3-2. Hiti C°, ORP og pH við Glímeyri og Hamraborg á mismunandi dagsetningum.	10
Tafla 3-3. Niðurstöður efnamælinga í seti (þurrefni þ.e.) við Glímeyri og Hamraborg í fyrstu, annarri og þriðju sýnatökuferðinni (sjá töflu 2-1).....	11
Tafla 3-4. Meðalfjöldi hryggleysingja af mismunandi tegundum í greip (250 cm ²) við Glímeyri.	11
Tafla 3-5. Meðalfjöldi hryggleysingja af mismunandi tegundum í greip (250 cm ²) við Hamraborg.....	12
Tafla 3-6. Meðalfjöldi hryggleysingja af mismunandi tegundum í greip (250 cm ²) á control stöðvum við Hamraborg og Glímeyri við upphaf sýnatöku.	18

Myndir

Mynd 1-1 Yfirlitsmynd yfir eldissvæði í Berufirði.	6
Mynd 2-1. Sýnatökustöðvar í Berufirði.	8
Mynd 3-1. Fjöldi tegunda við Glímeyri eftir tíma.	16
Mynd 3-2. Fjöldi tegunda við Hamraborg eftir tíma.	17
Mynd 3-3. Fjölbreytnistuðullinn Shannon H' á mismunandi tímum við Glímeyri.	17
Mynd 3-4. Fjölbreytnistuðullinn Shannon H' á mismunandi tímum við Hamraborg.	18
Mynd 3-5. Gildi fyrir Shannon H' fjölbreytnistuðullinn við mismunandi aðstæður og á mismunandi tíma. Sýnatökustaðir eru skilgreindir sem H (eldissvæði í hvíld) og 0, 30, 100 og viðmið (1000 m) eru fjarlægðir frá kvíum þegar eldi er stundað. Heimildir í texta.	21
Mynd 3-6. Oxunargildi (ORP) mæld í millivoltum (mV) á mismunandi tímum og við mismunandi álag. Blár kross er við kví (0 m), gult X er í 30 m fjarlægð og grár þríhyrningur er 100 m fjarlægð. Viðmiðunarsýni (appelsínugulur kassi) er tekið í 1.000 m fjarlægð frá ystu kví. Bláir tíglar eru allar sýnatökustöðvar svæðis sem er í hvíld. Heimildir í texta.	22
Mynd 3-7. Samband oxunargildis (ORP) og sýrustigs (pH) í botnseti í vöktun á eldissvæðum í Berufirði. Heimildir í texta.	23

Útdráttur

Rannsókn á samspili botndýrasamfélaga og uppsöfnunar lífræns efnis í tengslum við fiskeldi í Berufirði, sem birtist hér er sú þriðja og síðasta í röð rannsókna sem styrktar eru af Umhverfissjóði sjókvíaeldis um áhrif af uppsöfnun lífrænna efna. Niðurstöður sýna hvernig botndýrasamfélögum hnignar með uppsöfnun lífrænna efna og endurnýjast eftir að eldislotu er lokið og svæði hvílt. Jafnframt sýnir skoðun á fjölbreytnistuðlum botndýrasamfélaga í Berufirði á árunum 2002 til 2022 að stuðlar eru lágir við fiskeldiskvíar þegar eldi er í hámarki, en hækka þegar svæði hefur verið hvílt. Botndýrasamfélög eru öflugur mælikvarði á ástand botns og hægt að nota við ákvörðun lengdar hvíldartíma.

Abstract

This project is about interactions between population dynamics in benthic animal communities and organic loading in Berufjordur and is the last of three studies supported by Umhverfissjóður sjókvíaeldis (Aquaculture environmental fund). Furthermore, diversity indices from Berufjordur calculated for years 2002 to 2022 show low values when aquaculture is in progress but increase when the area is rested. Results show a strong correlation between level of organic loading and animal communities as populations decline as biological material accumulates and recover when the area is rested from aquaculture between aquaculture periods. Studying the dynamics of benthic animals is a powerful tool in monitoring the environment of aquaculture cages.

1. Inngangur

Skilningur á því hvernig botndýrasamfélög, samsetning og fjöldi dýrategunda og einstaklinga innan þeirra, breytist í samræmi við breytingar á uppsöfnun lífrænna efna á sjávarbotni er lykillinn að því að stunda sjálfbært fiskeldi í sjókvíum. Lífræna efnið, þ.e. lífbrjótanlegi (e. biodegradable) úrgangurinn, fellur til sem annað hvort skítur frá eldisfiskum eða óétið fóður.

Lífrænt efni frá fiskeldi; skítur og umfram fóður, safnast upp undir og við fiskeldiskvíar og breytir skilyrðum á botni þannig að botndýrasamfélögum hnignar. Vissar tegundir þrífast vel í byrjun á uppsöfnun lífræns efnis, en að lokum láta þær einnig undan (Carroll et al. 2003; Hall-Spencer og Bamber 2007; Sanz-Lázaro og Marín 2011; Neofitou et al. 2010; Wilding et al. 2012; Bannister et al. 2014; Neofitou et al. 2020).

Uppsöfnun lífrænna efna á botni við fiskeldiskvíar er yfirleitt staðbundin og botndýrasamfélög óröskuð í kringum fiskeldissvæðin. Til að koma í veg fyrir að áhrif á botndýrasamfélög breiðist út og það verði varanlegur skaði er fiskur ekki settur aftur í kvíar fyrr en að einhverjum tíma liðnum og svæðið þannig hvílt fyrir áhrifum fiskeldis. Sá tími sem er frá því að eldi er hætt á ákveðnu eldissvæði og þar til eldi hefst á sama svæði á ný er kallaður hvíldartími (e. Fallow period) (Macleod et al. 2006; Keeley et al. 2015; Zhulay et al. 2015).

Hvíld fiskeldissvæða er grundvallaratriði í þeirri viðleitni að tryggja að eldi hafi ekki óafturkræf áhrif á lífríki sjávarbotns. Með því að stýra lengd hvíldartíma og byggja þá stýringu á

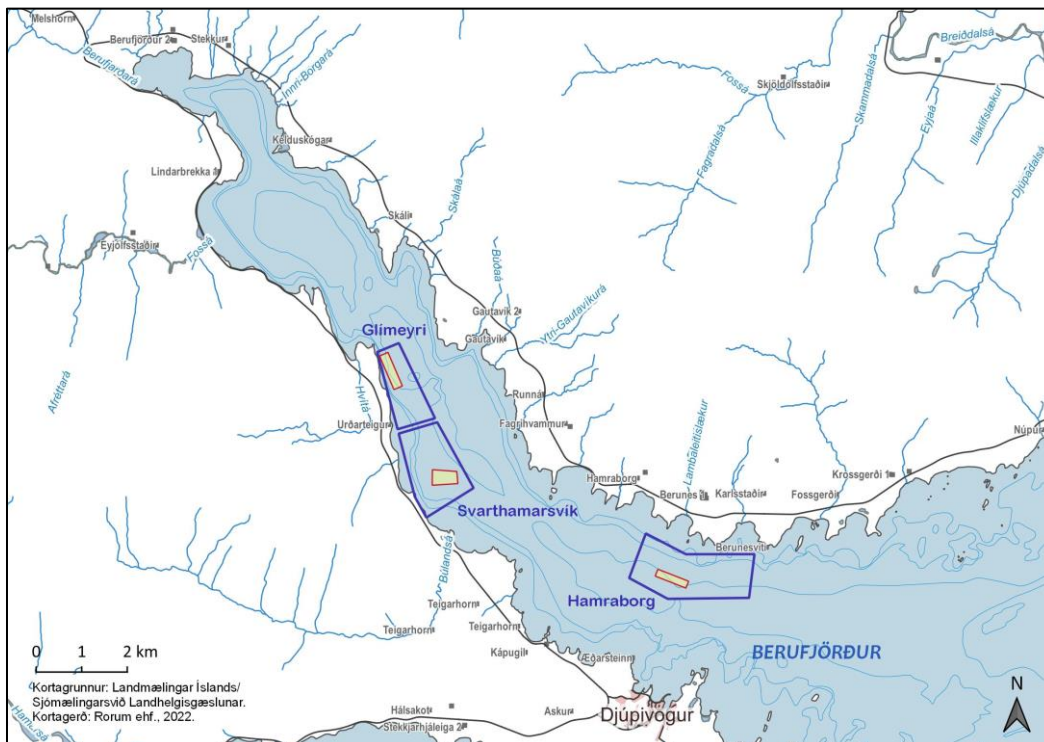
raunverulegu ástandi lífríkis botns má tryggja að uppsöfnun lífræns efnis muni ekki valda varanlegum og óafturkræfum áhrifum.

Til að hægt sé að meta ástand botns þarf að vakta umhverfið með botnsýnatökum. Nauðsynlegt er að hafa viðmiðunargildi sem segja til um ástand botns áður en eldi hefst og er slík rannsókn ávallt framkvæmd sem hluti af vöktunaráætlun fyrirhugaðs eldis.

Sé svæði hvílt fyrir fiskeldi eftir að fiskeldislotu lýkur brotnar lífræna efnið niður og fjölbreytni botndýralífs eykst að nýju og nær fyrri fjölbreytni sé hvílt nægilega lengi (Þorleifur Eiríksson o.fl. 2009). Áhrif fiskeldis á botndýralíf hverfa því með tímanum og sjást að lokum ekki.

Enginn fjörður á Íslandi hefur verið jafn mikið rannsakaður m.t.t. fiskeldis og Berufjörður, en fiskeldi í sjókvíum hefur verið stundað í Berufirði frá aldamótum. Samkvæmt ákvörðun Skipulagsstofnunar þurfti laxeldi í Berufirði ekki að fara í umhverfismat (Hólmsfríður Sigurðardóttir og Þóroddur F. Þóroddsson 2000). Salar Islandica fékk leyfi til fiskeldis í sjókvíum í firðinum árið 2000 og fyrstu seiði voru sett í kvíar árið 2002 (Guðni Ágústsson 2004) og í beinu framhaldi hófst vöktun (Þorleifur Eiríksson og Böðvar Þórisson 2004).

Fiskeldiskvíar hafa verið á fjórum eldissvæðum í firðinum, mest við Glímeyri, næst mest við Svarthamarsvík (Svarthamar) og síðan Hamraborg (Mynd 1-1). Fiskeldi var í Gautavík fyrstu árin, en því var svo hætt, en hugmyndir eru um að hefja þar aftur fiskeldi.



Mynd 1-1 Yfirlitsmynd yfir eldissvæði í Berufirði.

Samfara fiskeldi í firðinum hafa farið fram umfangsmiklar umhverfissóknir, bæði vegna umhverfismats (Þorleifur Eiríksson o.fl. 2020) og vöktunar fiskeldis (Þorleifur Eiríksson og Böðvar Þórisson 2004; Þorleifur Eiríksson o.fl. 2007; Erlín Emma Jóhannsdóttir o.fl. 2012; Erlín Emma Jóhannsdóttir og Cristian Gallo 2016; Þorleifur Eiríksson og Guðmundur Víðir Helgason 2018; Þorleifur Eiríksson og Þorleifur Ágústsson 2020a; Þorleifur Eiríksson og Þorleifur

Ágústsson 2020b; Þorleifur Eiríksson og Þorleifur Ágústsson 2021; Þorleifur Eiríksson og Þorleifur Ágústsson 2022), en einnig fræðilegar rannsóknir (Thorleifur Eiríksson et al. 2017; Þorleifur Eiríksson o.fl. 2019; Vasquez-Cardenas o.fl. 2022).

Þessar vöktunarrannsóknir sem hafa verið gerðar vegna fiskeldis snúa að uppsöfnun lífrænna efna á sjávarbotni undir og í næsta nágrenni kvía og áhrif þess á botndýralíf.

Sú rannsókn sem birtist hér er sú þriðja og síðasta í röð rannsókna sem styrktar eru af Umhverfissjóði sjókvíaeldis. Rannsóknirnar hófust 2016 með athugun á dreifingu lífrænna efna út frá sjókvíum (Thorleifur Eiríksson et.al. 2017), héldu áfram 2018 með rannsóknum á dreifingu mismunandi dýrategunda í botnsetinu (Þorleifur Eiríksson o.fl. 2019) og bakteríum (Vasquez-Cardenas o.fl. 2022) og nú síðast 2021 með þessari rannsókn um hvernig botndýrasamfélögum hnignar með uppsöfnun lífrænna efna og endurnýjast þegar svæði er hvílt fyrir fiskeldi.

Rannsóknin er byggð bæði á vettvangsathugunum og greiningu gagna sem hafa safnast við vöktunarrannsóknir síðustu 20 ára.

Vettvangsrannsóknin er í tveimur hlutum. Annars vegar voru tekin sýni af botnseti við fiskeldiskvíar þegar fiskur er settur út og endurtekið á meðan lífrænar leifar undir kvíum voru að aukast og hins vegar voru tekin sýni þegar svæði var hvílt eftir að eldi var hætt og uppsafnað lífrænt efni undir kvíum fór að brotna niður.

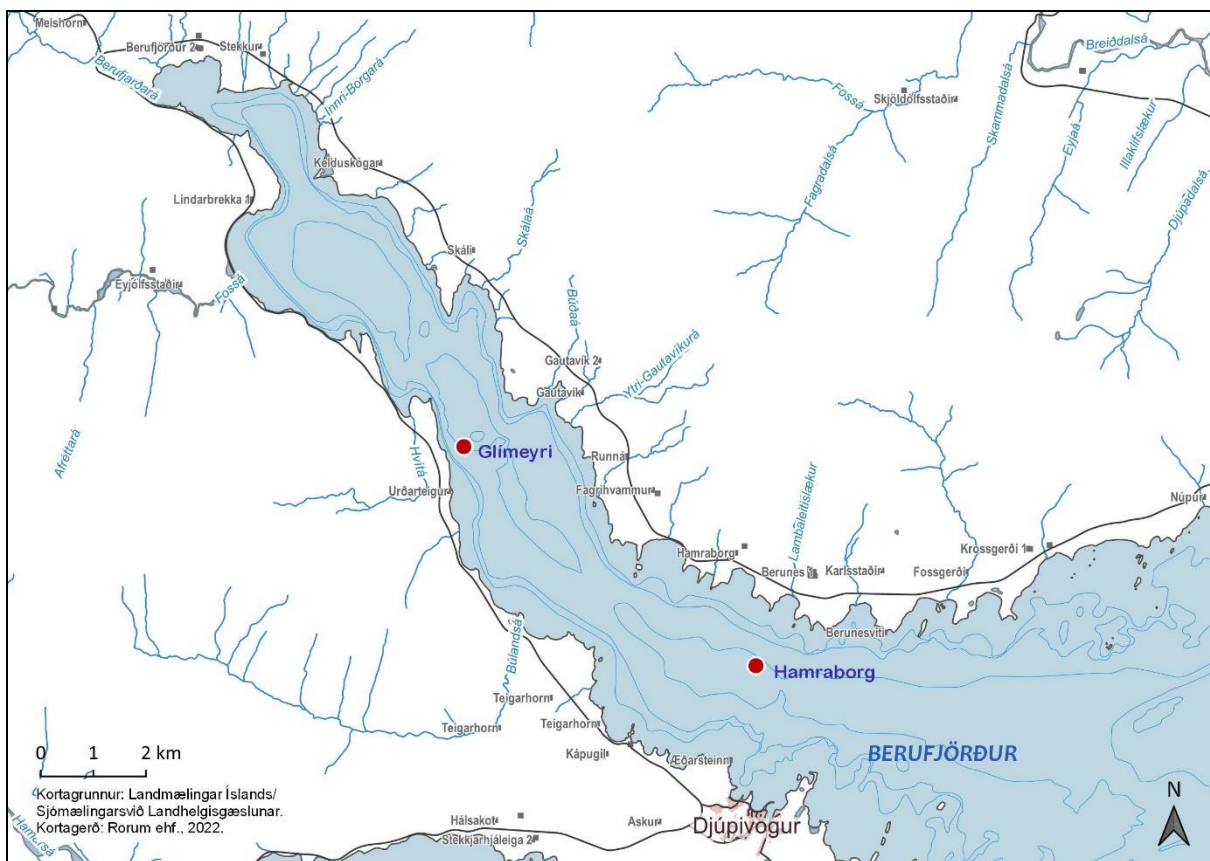
Jafnframt vettvangskonun voru eldri rannsóknarskýrslur skoðaðar og upplýsingar fengnar um fjölbreytnistuðla í dýrasamfélögum og stuðlarnir skoðaðir m.t.t. hvort svæði væru í hvíld eða ekki. Jafnframt voru mælingar á oxunargildi (ORP) og pH skoðaðar í sama tilgangi (YSI Incorporated 2014).

2. Aðferðir

2.1. Vettvangsathugun

Sýnataka í verkefninu hófst með sameiginlegum leiðangri RORUM, Náttúrustofu Austurlands og Fiskeldis Austfjarða. Sýnatökustöðvar voru tvær; við sjókvíaeldissvæði við Glímeyri sunnan megin í Berufirði og við Hamraborg norðanmegin í Berufirði. Svæðið við Glímeyri var í hámarki en við Hamraborg var eldi að hefjast eftir hvíld.

Einnig voru tekin sýni á control stöðvum utan eldissvæða, annars vegar einn km fyrir innan Hamraborg og hins vegar einn km utan við Glímeyri. Þessi sýni eru nauðsynleg til að tryggja að breytingar á sýnum við fiskeldiskvíar séu vegna fiskeldisins en ekki breytingar sem eru af öðrum orsökum. Þessi sýni eru ekki til samanburðar við sýni eftir hvíld, enda ekki hægt að tryggja það að þau séu sambærileg, því þau eru í eins km fjarlægð, en reynt er að taka sýni á svipuðu dýpi (Mynd 2-1).



Mynd 2-1. Sýnatökustöðvar í Berufirði.

Af ýmsum ástæðum, sem ekki var hægt að ráða við féll sýnataka niður á ákveðnum tímabilum og því er ekki jafnlangt á milli einstakra sýnatökuferða. Sömu mælingar eru ekki gerðar í öllum sýnatökuferðum og sýni eru ekki alltaf jafnmörg. Samtals voru farnar sjö sýnatökuferðir og má sjá dagsetningar og mælipætti í tTafla 2-1.

Tafla 2-1. Sýnatökuferðir. Dagsetning og mælipættir við Glímeysi og Hamraborg..

Dagsetning	Dýrasýni	ORP	pH	Efnasýni	Kornastærð	Control sýni	Skynmat
11.8.2020	x	x	x	x	x	x	x
11.9.2020	x	x	x	x			x
13.10.2020	x	x	x	x			x
3.3.2021	x	x	x				x
25.4.2021	x	x	x				x
21.11.2021	x						
16.1.2022	x						

2.2. Botnsýnataka og mælingar í seti

Botnsýni voru tekin með Van Veen botngreip (250 cm²), dýpi var skráð á bát og sýnatökustaðir hnitsettir með GPS tæki. Einnig var rúmmál greipar skráð. Tekið var eitt sýni fyrir hvern mælipátt á hverri stöð. Tekin voru þrjú dýrasýni á hverri stöð nema í tveim síðustu ferðunum var tekið eitt sýni á hverri stöð.

Sýni til kornastærðarmælinga voru sett beint í fötu og þau send ómeðhöndluð til greiningar.

2.3. Mæld gildi ORP/pH

Um leið og sýnið kom upp var oxunargildi (ORP) setsins mælt með YSI Pro10 mæli og redox/ORP rafskauti ásamt pH-gildi og hita (°C). Mælunum var stungið u.þ.b. 1 cm ofan í setið og lesið af þegar mælur sýndu stöðug gildi. Til að staðla ORP gildin þarf að umreikna mæld gildi með því að bæta við gildi samkvæmt leiðbeiningum sem fylgja með mælinum, en þau gildi eru háð hitastigi.

2.4. Skynmat

Sýnið var losað úr greipinni í bakka og skynmat gert, þ.e. hvort lykt af brennisteinsvetni (H₂S) fyndist af setinu, hvernig litur þess var, setgerð, þéttleiki sets og þykkt mögulegs uppsafnaðs grots. Kannað var hvort fóðurleifar eða skítur sæist í sýni, hvort gasbólur sæjust og hvort hvít skán væri á yfirborði setsins (Beggiatoa)(Schwedt et al. 2012).

2.5. Dýrasýni

Fyrir greiningar á dýrum var sýnum annað hvort komið fyrir í 5 l plastfötum og sigtuð síðar eða sigtuð um borð í bát og komið fyrir í 1 l plastfötum. Sýnin voru sigtuð í rennandi vatni með 0,5 mm sigti, 5-10% formalíni hellt á og einni skeið af bóraxi bætt við til að kalkhlutar lífvera leystist ekki upp. Formalíni var hellt af eftir 2-3 daga og 80 % alkóhól sett í staðinn.

Dýr voru greind til tegunda eða hópa undir víðsjá og talin. Stórum sýnum var skipt niður í hæfileg hlutsýni. Tekin voru meðaltöl af mismunandi greiparsýnum á sömu stöð.

Sýnum til efnagreininga var safnað þannig að efsta lag setsins, um 2 cm, var skafið af með skeið og komið fyrir í glerkrúkkum og sett í kæli. Sýnin voru fryst við heimkomu og síðar send til efnagreininga á lífrænu kolefni (TOC), heildarmagni köfnunarefnis (TN) og heildarmagni fosfórs (TP).

2.6. Mat á fjölbreytni

Einstaklingar af hverri tegund voru taldir og fjölbreytni metin með Shannon H' fjölbreytnistuðli (Shannon 1948; Hill 1973; Grey et.al. 1992; Brage og Thélin 1993; Arastou Gharibi 2011; Þorleifur Eiríksson og Guðmundur Víðir Helgason 2016; Sólveig Rósa Ólafsdóttir o.fl. 2019).

Shannon fjölbreytnistuðullinn H':

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i$$

þar sem:

S = fjöldi tegunda,

p_i = hlutdeild af heildarsýni, sem tilheyrir tegund i.

H' hækkar eftir því sem fjölbreytileiki eykst og er stuðullinn hæstur þegar fjöldi einstaklinga er sá sami hjá öllum tegundum.

$$H'_{max} = - \sum_{i=1}^s \frac{1}{S} \log_2 \frac{1}{S} = \log_2 S$$

3. Niðurstöður

3.1. Vettvangsrannsókn

Botninn við Glímeyri og Hamraborg einkenndist af finni leðju, eða silti, en meira en 87 % af leðjunni var minna en 0,063 mm eða 63 μ m (Tafla 3-1).

Tafla 3-1. Kornastærð í prósentum mismunandi kornastærðarflokka í millimetrum (mm).

Sigti	Glímeyri	Hamraborg
mm	%	%
4	0,000	0,000
2	0,022	0,000
1	0,073	0,007
0,5	0,058	0,022
0,25	0,174	0,051
0,125	0,596	0,405
0,063	11,935	12,173
<0,063	87,142	87,343

Við skynmat kom fram munur á sýnatökustöð við Glímeyri og Hamraborg. Við Glímeyri var leðjan mjúk og mun dekkri en við Hamraborg. Það var vottur af lykt og varð vart við fóðurleifar. Þetta sást ekki við Hamraborg. Á hvorugum staðnum sáust gasbólur eða hvít bakteríuskán. Fóðurleifar við Glímeyri sáust bara í fyrstu sýnatöku, en vottur af lykt fannst áfram.

Hitastig í botnseti við Hamraborg mældist lægst 2,3 C° í byrjun mars og hæst 7,8 C° í september. Hiti á eldissvæðinu við Glímeyri var mjög svipaður og við Hamraborg, eða á bilinu 1,9 C° í mars til 7,5 C° í október. Mælingar á sýrustigi voru lægstar við Glímeyri en hæstar við Hamraborg. Það sama á við um oxunargildi (ORP, redox) sem mældist mun lægra við Glímeyri þar sem eldi var í hámarki en Hamraborg þar sem eldi var að hefjast (Tafla 3-2).

Tafla 3-2. Hiti C°, ORP og pH við Glímeyri og Hamraborg á mismunandi dagsetningum.

Dagsetning sýnatöku	Glímeyri			Hamraborg		
	Hiti C°	pH	ORP	Hiti C°	pH	ORP
11.8.2020	6,0	7,4	-140	6,0	8,0	97
11.9.2020	7,3	8,0	-212	7,3	8,7	46
13.10.2020	7,5	7,2	-143	7,8	7,8	90
3.3.2021	1,9	6,5	-32	2,3	6,9	109
25.4.2021	2,9	6,2	-43	3,1	6,9	69

Tafla 3-3. Niðurstöður efnamælinga í seti (þurrefni þ.e.) við Glímeyri og Hamraborg í fyrstu, annarri og þriðju sýnatökuferðinni (sjá töflu 2-1).

Efni	Glímeyri			Hamraborg		
	12.8.2020	2.9.2020	13.10.2020	12.8.2020	2.9.2020	13.10.2020
TOC % / þ.e.	3,66	3,6	3,8	1,92	1,3	1,2
TN % / þ.e.	0,43	0,47	0,56	0,21	0,26	0,25
TP mg/kg þ.e.	6788	4230	6880	1354	1440	865

Í töflu 3-3 eru efnagreiningar við upphaf rannsóknar. Í töflunni má sjá að hlutfall lífrænna efna (TOC) og áburðarefna (TN, TP) er mun hærra við Glímeyri þar sem eldi var ný hætt og uppsöfnun lífrænna efna í hámarki við upphaf rannsóknar, samanborið við Hamraborg þar sem eldi var að byrja og uppsöfnun lífrænna efna að hefjast.

Á mynd 3-1 og í töflu 3-4 má sjá að við Glímeyri, þar sem eldi var í hámarki við byrjun mælinga, er lítil tegundafjölbreytni og fjöldi einstaklinga er lágur en eykst eftir því sem á rannsókn dregur og hvíldartími eldissvæðis lengist. Tölur sýna meðalfjölda einstaklinga hvernar tegundar í greip, sem er 250 cm².

Tafla 3-4. Meðalfjöldi hryggleysingja af mismunandi tegundum í greip (250 cm²) við Glímeyri.

				12.08.20	11.09.20	03.10.20	03.03.21	24.04.21	21.11.21	16.01.22
			Dagsetning							
			Tegund / hópur							
Mollusca										
	Bivalvia									
			Bivalvia							
	Cardiida									
			Semelidae							
			Abra nitida					1,0	12,0	1,0
			Tellinidae							
			Macoma calcarea						4,0	5,0
	Nuculida									
			Nuculidae							
			Ennucula tenuis					4,0	1,0	
	Mytilidae									
			Mytilus edulis		1,0			1,0	1,0	
Polychaeta										
			Pectinariidae							

			Pectinariidae						1,0	1,0
			Capitellidae							
			Capitella capitata				27,0	2,0	28,0	
			Opheliidae							
			Ophelina acuminata						3,0	5,0
			Scalibregmatidae							
			Scalibregma inflatum						19,0	16,0
			Dorvilleidae							
			Dorvilleidae			1,0				
			Errantia							
			Phyllodocida							
			Phyllodocidae							
			Eteone longa				1,0		5,0	11,0
			Hesionidae							
			Hesionidae		1,0					
			Nephtydiae							
			Nephtys sp							1,0
			Tegundafjöldi	0	2	1	2	4	9	7

Tafla 3-5 og mynd 3-2 sýna að mikil tegundafjölbreytni er við Hamraborg við upphaf mælinga og fjöldi einstaklinga einnig, en hvoru tveggja fækkar eftir því sem á líður rannsókn og þess tíma sem eldi er stundað við Hamraborg. Tölur sýna meðaltal einstaklinga hverrar tegundar í greip.

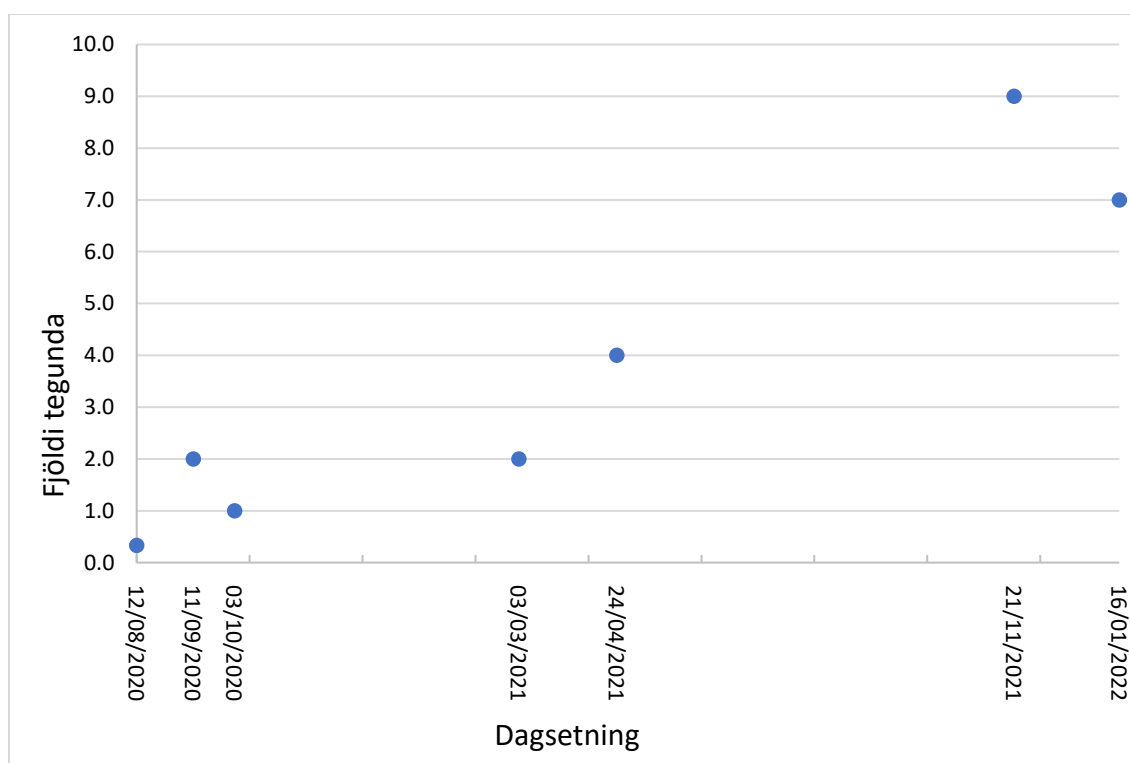
Tafla 3-5. Meðalfjöldi hryggleysingja af mismunandi tegundum í greip (250 cm²) við Hamraborg.

				Dagsetning	12.08.20	11.09.20	03.10.20	03.03.21	25.04.21	21.11.21	16.01.22
				Tegund / hópur							
				Nemertea							
				Nemertea	1	2,0	3,0	2,0			
				Mollusca							
				Bivalvia							
				Bivalvia					1,0		
				Cardiida							
				Semelidae							
				Abra nitida			2,0	3,0			

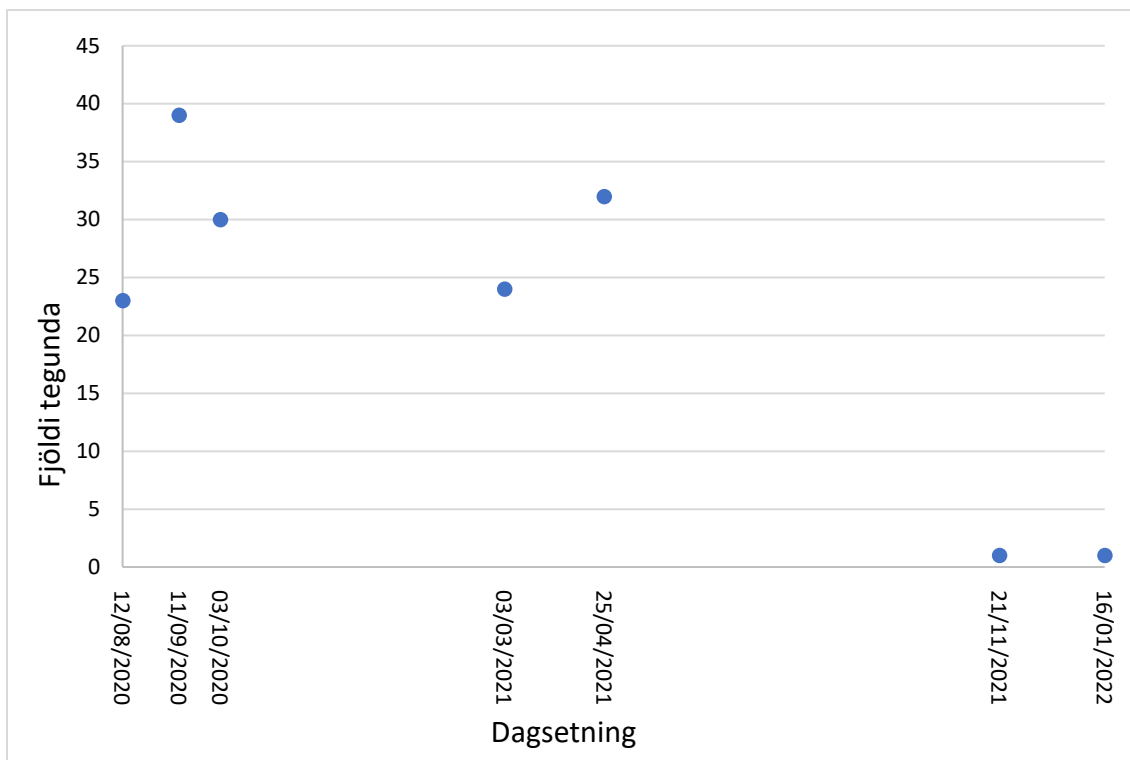
		Pectinariidae							
		Pectinariidae						0,7	
		Lagis koreni	1	2,0					
		Oweniidae							
		Galathowenia oculata	10	15,0	14,0	9,0	17,0		
		Owenia fusiformis		15,0	14,0				
		Scolecida							
		Cossuridae							
		Cossura pygodactylata	33	141,0	2,0	1,0	50,7		
		Scalibregmatidae							
		Scalibregma inflatum							
		Capitellidae							
		Capitellidae					2,0		
		Capitella capitata				2,0		113,0	2,0
		Maldanidae							
		Maldanidae					0,3		
		Paraonidae							
		Paraonidae			2,0	1,0	0,7		
		Opheliidae							
		Ophelina acuminata			1,0				
		Terebellida							
		Sternaspidae							
		Sternaspis sp	5	5,0	4,0		0,3		
		Sternaspis scutata/islandica					2,3		
		Trichobranchidae							
		Terebellides stroemi	20	26,0	10,0	5,0	4,3		
		Cirratulidae							
		Chaetozone setosa	4	13,0	9,0	2,0	1,7		
		Spionida							
		Spionidae							
		Spionidae					0,3		
		Spio sp		5,0					
		Spio filicornis	6		9,0	4,0			
		Prionospio steenstrupi	25	17,0	18,0	18,0	17,7		
		Apistobranchidae							
		Apistobranchus sp	6	17,0	2,0	1,0	0,7		
		Scolecida							
		Maldanidae							
		Maldanidae	2		6,0		1,0		
		Maldane sarsi		2,0					
		Orbiniidae							
		Scoloplos armiger			5,0		0,3		
		Eunicida							
		Lumbrineridae							

			Lumbrinereis sp					1,0		
			Scoletoma fragilis	2	1,0		1,0			
			Dorvilleidae							
			Dorvilleidae				2,0	1,7		
			Parougia sp					0,3		
			Parougia nigridentata		2,0					
			Errantia							
			Phyllodocida							
			Phyllodocidae							
			Phyllodocidae					0,3		
			Phyllodoce maculata		2,0			0,3		
			Eteone longa	5	5,0	10,0	5,0	3,3		
			Syllidae							
			Syllidae		3,0	1,0		0,3		
			Syllis gracilis					0,3		
			Hesionidae							
			Hesionidae	1	15,0					
			Goniadidae							
			Goniada maculata	1						
			Nephtydiae							
			Nephtys sp	2	3,0	2,0	1,0	1,7		
			Ampharetidae							
			Ampharetidae				4,0			
			Ampharete sp	4						
			Ampharete octocirrata		10,0					
			Polynoidae							
			Pholoe sp		1,0		1,0	2,3		
			Harmathoe imbricata				1,0			
			Lepidonotus squamatus		2,0					
			Sphaerodoridae							
			Sphaerodoridae				1,0	1,0		
			Sphaerodoridium minutum		2,0					
			Sphaerodoridium sp					1,0		
			Crustacea							
			Ostracoda							
			Ostracoda		4,0			3,0		
			Tanaidacea							
			Tanaidacea					1,0		
			Cumacea							
			Leuconidae							
			Leucon sp				1,0	1,0	1,0	
			Eudorella sp					0,3		
			Isopoda							
			Paramunnidae							

			Pleurogonium spinosinum					0,3		
			Pleurogonium rubicundum		1,0					
			Gnathiidae							
			Gnathia sp							
			Amphipoda							
			Amphipoda			5,0	1,0	1,7		
			Oedicerotidae							
			Oedicerotidae					0,7		
			Echinodermata							
			Asteroidea							
			Paxillosida							
			Ctenodiscidae							
			Ctenodiscus crispatus					0,3		
			Tegundafjöldi	23	39	30	25	33	1	1

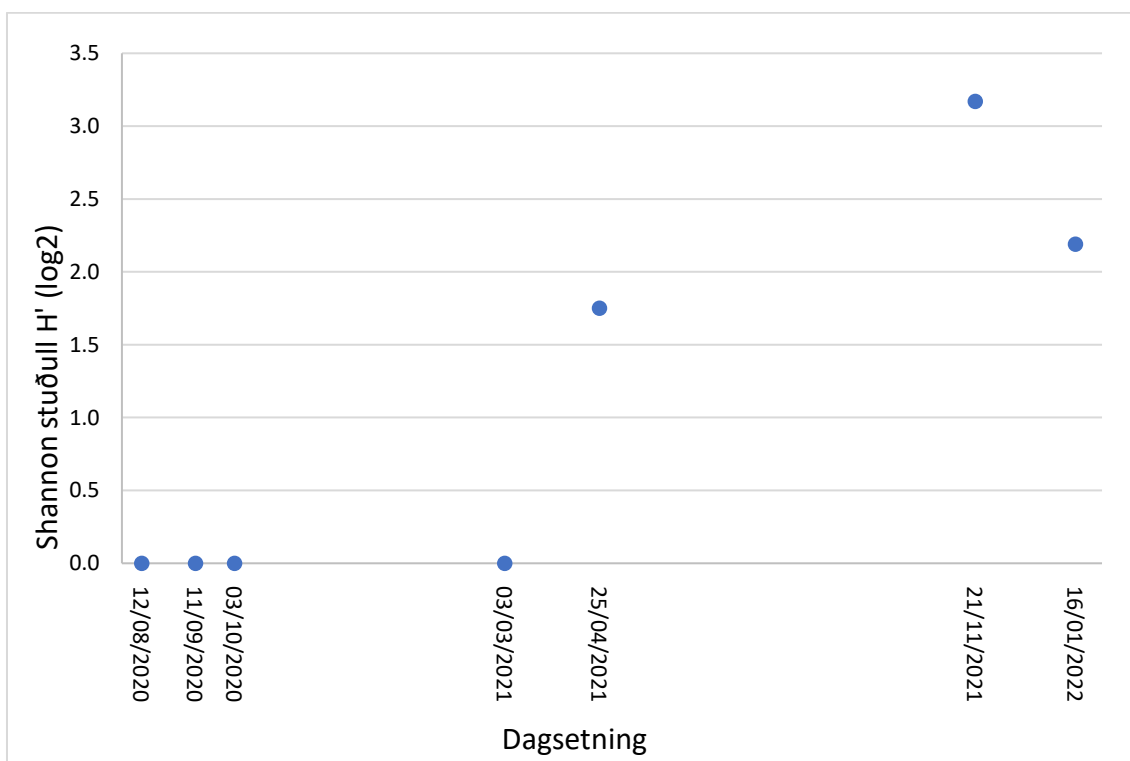


Mynd 3-1. Fjöldi tegunda við Glímeysi eftir tíma.



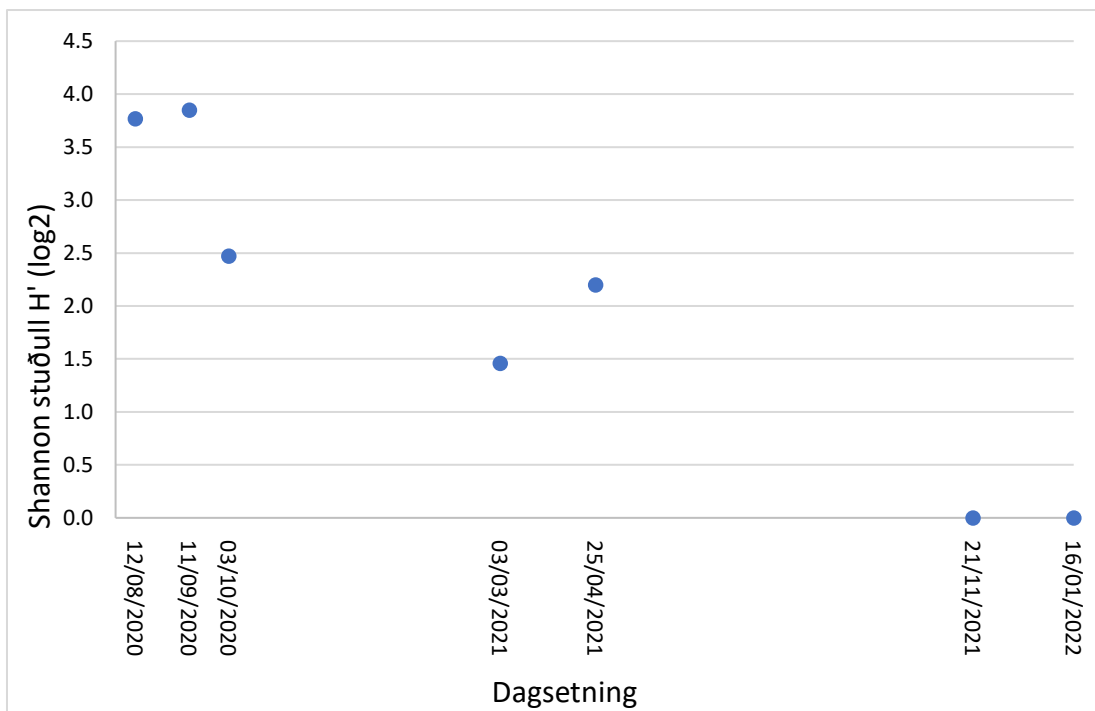
Mynd 3-2. Fjöldi tegunda við Hamraborg eftir tíma.

Niðurstöður fjölbreytnireikninga eru á Mynd 3-3 og Mynd 3-4.



Mynd 3-3. Fjölbreytnistuðullinn Shannon H' á á mismunandi tímum við Glímeysi.

Mynd 3-3 sýnir fjölbreytnistuðulinn Shannon. Fjölbreytni er mjög lítil við Glímeysi í byrjun rannsóknar þegar eldi var í hámarki. Fjölbreytni eykst svo þegar líður á hvíld svæðisins.



Mynd 3-4. Fjölbreytnistuðullinn Shannon H' á mismunandi tímum við Hamraborg.

Fjölbreytni við Hamraborg er mest við upphaf rannsóknar áður en fiskur er settur í kvíar. Mynd 3-4 sýnir hvernig fjölbreytni minnkar eftir því sem á líður rannsókn þar til að hún nær lágmarki þegar eldi hefur náð hámarki.

Tekin voru control sýni í eins km fjarlægð frá aðal sýnatökustöðvum og eru niðurstöður tegundagreininga á þeim sýnum í töflu 3-6.

Tafla 3-6. Meðalfjöldi hryggleysingja af mismunandi tegundum í greip (250 cm²) á control stöðvum við Hamraborg og Glímeysri við upphaf sýnatöku.

			Tegund / hópur	Glímeysri	Hamraborg
			Nemertea	3,3	1,3
			Mollusca		
			Bivalvia		
			Astartidae		
			Astarte sp		3,3
			Tellinidae		
			Macoma calcarea	2,0	1,3
			Cardiidae		
			Cardiidae		0,7
			Nuculanida		
			Yoldiidae		
			Yoldia hyperborea	0,7	0,7
			Nuculida		
			Nuculidae		
			Ennucula tenuis	12,7	8,0

			Hiatellidae		
			Thyasira flexuosa		6,7
Polychaeta					
			Polychaeta	4,0	1,3
			Sedentaria		
			Sabellida		
			Sabellidae		
			Euchone sp	8,0	
			Euchone papilosa	16,0	36,0
			Terebellida		
			Sternaspidae		
			Sternopsis sp	4,7	
			Ampharetidae		
			Ampharete sp	15,3	14,7
			Oweniidae		
			Owenia fusiformis	15,3	
			Galathowenia oculata	11,3	8,7
			Trichobranchidae		
			Terebellides stroemi	0,7	6,7
			Cirratulidae		
			Chaetozone setosa	13,3	4,7
			Spionida		
			Spionidae	2,7	
			Spio filicornis	8,7	18,7
			Prionospio steenstrupi	71,3	30,7
			Apistobranchidae		
			Apistobranchus sp		10,0
			Scolecida		
			Cossuridae		
			Cossura pygodactylata	44,0	39,3
			Eunicida		
			Maldanidae		
			Maldanidae		2,0
			Cossuridae		
			Cossura pygodactylata		9,3
			Lumbrineridae		
			Scoletoma fragilis	2,0	0,7
			Dorvilleidae		
			Dorvilleidae	1,3	
			Errantia		
			Phyllodocida		
			Phyllodocidae		
			Eteone longa	20,7	7,3
			Syllidae		
			Syllidae		2,7

			Hesionidae		
			Microphthalmus aberrans	2,0	
			Nephtyidae		
			Nephtys sp	2,0	6,0
			Polynoidae		
			Pholoe sp	0,7	
			Crustacea		
			Cumacea		
			Leuconidae		
			Leucon sp		1,3
			Amphipoda		
			Uristidae		
			Anonyx sarsi		1,3
			Lysianassidae		
			Lysianassidae		1,3
			Tegundafjöldi	23	26

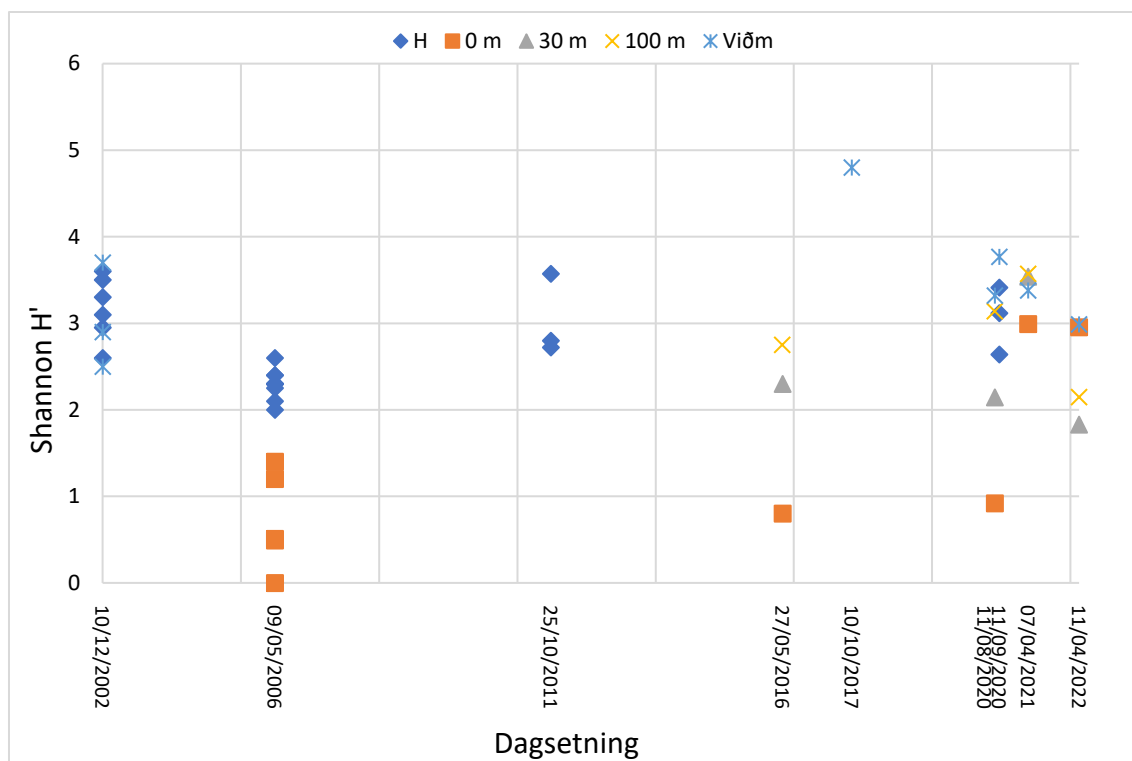
Shannon fjölbreytnistuðull (\log_2) var reiknaður fyrir fánu á viðmiðunarstöðvum við Glímeyri og Hamraborg og var 3,54 og 3,83. Shannon H' stuðlarnir eru mjög svipaðir og við fyrstu sýnatöku við Hamraborg.

3.2. Skoðun á eldri gögnum

Við skoðun á eldri gögnum voru notaðar skýrslur þar með gögnum um botndýrasamfélög svo hægt væri að reikna fjölbreytnistuðulinn Shannon H' ef það var ekki búið að reikna þennan stuðul. Jafnframt voru skoðaðar ORP og pH mælingar ef þær voru til staðar.

3.3. Shannon fjölbreytnistuðull H'

Reiknaður var Shannon fjölbreytnistuðull frá 2002 til 2022 út frá gögnum í eldri skýrslum (Þorleifur Eiríksson og Böðvar Þórisson 2004; Þorleifur Eiríksson o.fl. 2007; Erlín Emma Jóhannsdóttir o.fl. 2012; Erlín Emma Jóhannsdóttir og Cristian Gallo 2016; Þorleifur Eiríksson og Guðmundur Víðir Helgason 2018; Þorleifur Eiríksson og Þorleifur Ágústsson 2020a; Þorleifur Eiríksson og Þorleifur Ágústsson 2020b; Þorleifur Eiríksson og Þorleifur Ágústsson 2021; Þorleifur Eiríksson og Þorleifur Ágústsson 2022) og eru niðurstöðurnar sýndar á Mynd 3-5.



Mynd 3-5. Gildi fyrir Shannon H' fjölbreytnistuðullinn við mismunandi aðstæður og á mismunandi tíma. Sýnatökustaðir eru skilgreindir sem H (eldissvæði í hvíld) og 0, 30, 100 og viðmið (1000 m) eru fjarlægðir frá kvíum þegar eldi er stundað. Heimildir í texta.

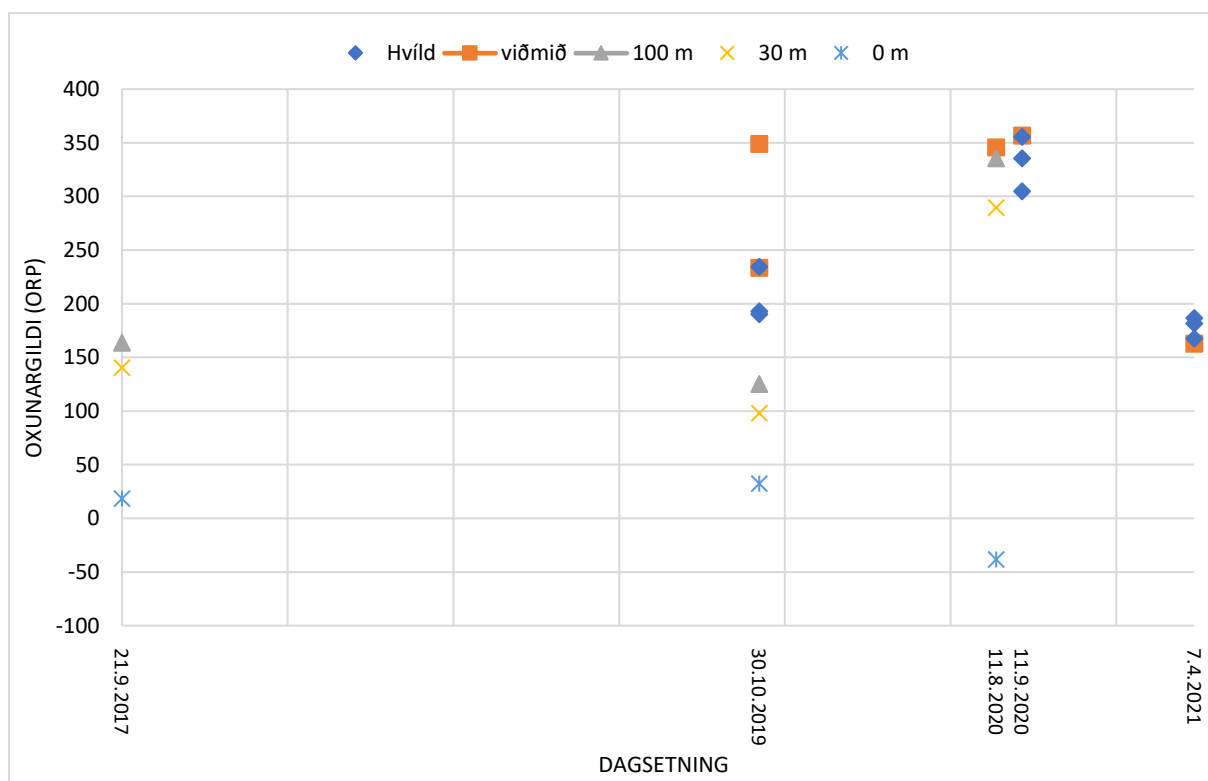
Samband Shannon H' fjölbreytnistuðuls við lífrænt álag er sýnt á Mynd 3-5. Hér sést að þegar eldisálag er mikið, næst kvíum, þá er fjölbreytnistuðull mjög lágur en hækkar um leið og lífrænt álag minnkar með aukinni fjarlægð frá kvíum. Jafnframt hverfa áhrifin þegar svæði er hvílt frá eldi og verða sambærileg við gildi frá svæðum með engu eldi.

Niðurstöður sýna að samband lífræns álags og fjölbreytnistuðuls er sterkt. Neikvæðra áhrifa gættir langmest við sjókvíar, en strax í 30 m fjarlægð minnka áhrifin líkt og sést á Mynd 3-5.

Þar sem eldissvæði var í hvíld (H á Mynd 3-5) var ekki munur á sýnatökustöðvum og gildi sambærileg við svæði án fiskeldis.

3.4. Oxunargildis (ORP) mælingar

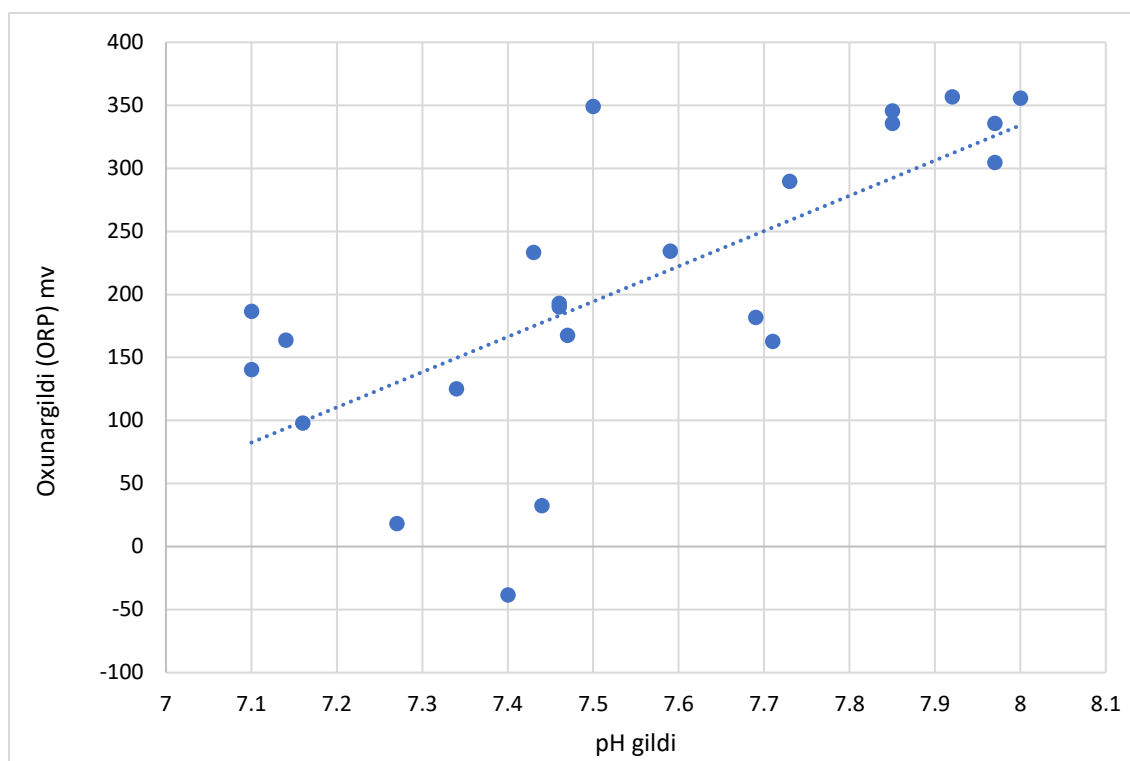
ORP hefur verið mælt við vöktun fiskeldis í Berufirði síðan 2017 og eru til gögn frá 2017, 2019, 2020 og 2021 (Náttúrustofa Austurlands 2017; Þorleifur Eiríksson et al. 2019; Þorleifur Eiríksson og Þorleifur Ágústsson 2020a; Þorleifur Eiríksson og Þorleifur Ágústsson 2020b; Þorleifur Eiríksson og Þorleifur Ágústsson 2021). Niðurstöður eru sýndar á Mynd 3-6 og þar sést að mælingar á oxunargildi eru í góðu samræmi við útreikninga á fjölbreytnistuðlum Shannon H' (Mynd 3-5).



Mynd 3-6. Oxunargildi (ORP) mæld í millivoltum (mV) á mismunandi tímum og við mismunandi álag. Blár kross er við kví (0 m), gult X er í 30 m fjarlægð og grár þríhyrningur er 100 m fjarlægð. Viðmiðunarsýni (appelsínugulur kassi) er tekið í 1.000 m fjarlægð frá ystu kví. Bláir tíglar eru allar sýnatökustöðvar svæðis sem er í hvíld. Heimildir í texta.

Oxunargildi (ORP, redox) mældist lægst á svæðum þar sem eldi var í hámarki og mun lægra en á svæði sem var í hvíld. Mynd 3-6 sýnir að áhrif gætir langmest næst kvíum og fjara áhrif út með aukinni fjarlægð frá kvíum.

Í sömu skýrslum (Náttúrustofa Austurlands 2017; Þorleifur Eiríksson et al 2019; Þorleifur Eiríksson og Þorleifur Ágústsson 2020a; Þorleifur Eiríksson og Þorleifur Ágústsson 2020b; Þorleifur Eiríksson og Þorleifur Ágústsson 2021) eru mælingar á pH á sömu stöðvum og oxunargildi var mælt (Mynd 3-7).



Mynd 3-7. Samband oxunargildis (ORP) og sýrustigs (pH) í botnseti í vöktun á eldissvæðum í Berufirði. Heimildir í texta.

Samband oxunargildis og sýrustigs er sýnt á Mynd 3-7 og þar má sjá að sterkt samband er þar á milli, þar sem oxunargildi hækkar með hækkuðu pH.

4. Umræður

Í Berufirði er botnset fín leðja eða silt, líkt og sjá má í töflu 3-1. Aðferðir sem notaðar voru í rannsókninni eru þær sömu og í staðli sem hannaður er fyrir mjúkan botn (ISO 12878: 2012) og er notaður við vöktun á fiskeldi í Berufirði.

Niðurstöður úr vettvangsathugun sýna að mikill munur er á sýnatökustöðvum á botni þar sem eldi hefur verið lengi og þar sem eldi er að byrja. Fyrir utan lit og lykt er meira af lífrænu kolefni (TOC) þar sem eldi hefur verið og áburðarefnunum nitri og fosfór (Tafla 3-3).

Þegar botndýrasamfélög Berufjarðar eru skoðuð kemur í ljós að dýrategundum við Hamraborg fækkar eftir að fiskeldi hefst og lífrænt efni byrjar að safnast fyrir undir kvíum, en fjöldi fer úr um 40 tegundum niður í eina tegund, *Capitella capitata*. Þessi þróun sýnir að aukið lífrænt álag gerir það að verkum að tegundir sem þola lífrænt álag vel, líkt og burstaormurinn *Capitella capitata* fjölga mjög, en að sama skapi fækkar þeim tegundum hratt sem þola lífrænt álag illa, líkt og sést á Mynd 3-2. Hins vegar, þegar eldissvæðið við Glímeysi er skoðað (Mynd 3-1), þar sem slátrun var lokið og eldissvæðið komið í hvíld, þá má sjá að dýrategundum fjölga. Þessar niðurstöður eru í samræmi við aðrar rannsóknir sem hafa verið framkvæmdar (Weston 1990; Brooks et al. 2003; Zhulay et al. 2015; Laroche et al. 2022).

Auk þess að dýrategundum fækki með auknu lífrænu álagi, sem sést t.d. á því að fjölbreytni mæld með fjölbreytnistuðlinum Shannon H' minnkar (Mynd 3-4) en hækkar þegar líður á hvíldartíma (Mynd 3-3). Þetta undirstrikar styrkleika þeirrar aðferðar að rannsaka fjölbreytni botndýrasamfélaga og reikna fjölbreytnistuðul. Niðurstöðurnar sýna vel mikilvægi þess að fylgjast náið með lífríki botnsins svo að fanga megi breytingar sem eiga sér stað.

Mælingar á oxunargildi og pH-gildi í botnseti gefa sambærilegar upplýsingar um ástand botnsets. Eftir því sem lífræn uppsöfnun eykst því minni verður oxunarmátturinn í setinu og oxunargildi og pH gildi mælast lægri líkt og rannsóknir í Berufirði sýna (Mynd 3-6, Mynd 3-7). (Shih et al. 2016).

Niðurstöðurnar sýna að sú aðferð sem hér er notuð, þar sem samfélög botndýra er notuð sem mælikvarði á áhrif söfnunar lífræns efnis, er mjög næm. Aðferðin gefur ekki aðeins til kynna hvenær aukið lífrænt álag er farið að hafa merkjanleg áhrif á botndýrasamfélög, heldur einnig hvernig þróun niðurbrots lífrænna efna gengur fyrir sig og botndýr, sem hafa horfið með auknu lífrænu álagi, byrja að koma til baka.

Með flókinni vöktun eins og hér er sýnd, þar sem margir ólíkir þættir eru rannsakaðir, er því hægt að fylgjast náið með ástandi botns á svæðum þar sem fiskeldi er stundað. Niðurstöður sem birtar eru á Mynd 3-5 sýna að lífrænt álag er langmest næst kvíum en fjarar hratt út þegar fjær dregur. Fjölbreytni hefur strax aukist mikið í 30 m fjarlægð frá kvíum. Uppsöfnun lífrænna efna er því staðbundin við kvíar.

Á Mynd 3-5 sést að fjölbreytnistuðullinn Shannon H' minnkar við fiskeldiskvíar, en hækkar aftur þegar svæði er hvílt fyrir eldi og nálgast eða fer yfir gildi á óröskuðum svæðum. Það hefur verið nefnt að ef Shannon ($H', \log 2$) er 4 eða hærrí þá endurspeglir ástand botns gildi sem má finna á óröskuðum svæðum (Sólveig Rósa Ólafsdóttir o.fl. 2019). Það sést á Mynd 3-5 að gildi Shannon H' á óröskuðum svæðum getur verið mun minna og á myndinni er dæmi um gildið 2,5.

Séu gögnin yfir síðustu 20 ár sem sýnd eru á Mynd 3-5 skoðuð sést að fjölbreytni minnkar við fiskeldiskvíar og eykst síðan aftur þegar svæði er hvílt og þetta gerist endurtekið. Svipaðar upplýsingar fást úr mælinum á oxunargildi (Mynd 3-6), en yfir styttra tímabil.

Þessi rannsókn sýnir að skoðun á fjölbreytni botndýrafánu gefur góðar upplýsingar um hnignun og endurreisn svæða við fiskeldiskvíar og því gott tæki til að ákveða ásættanlegan hvíldartíma fiskeldissvæða þannig að áhrif fiskeldis verði ekki varanleg.

5. Þakkir

Starfsmenn Fiskeldis Austfjarða aðstoðuðu við sýnatökur. Starfsfólk RORUM vann við greiningu dýrasýna. Styrkur frá Umhverfissjóð sjókvíaeldis gerði þessa rannsókn mögulega. Þekkingarsetur Suðurnesja í Sandgerði sá um að greina kornastærðarsýni. Efnagreiningar fóru fram hjá Sýni ehf.

6. Heimildir

- Arastou Gharibi. 2011. Ecological quality assessment for Pollurinn (Ísafjörður) by using biotic indices. Master's thesis. Advisor: Dr. Thorleifur Eiriksson. University Centre of the Westfjords, University of Akureyri.
- Bannister, R. J., T. Valdemarsen, P. K. Hansen¹, M. Holmer, A. Ervik. 2014. Changes in benthic sediment conditions under an Atlantic salmon farm at a deep, well-flushed coastal site. *Aquacult Environ Interact*. Vol. 5: 29–47, doi: 10.3354/aei00092
- Brage, R og I. Thélin. 1993. Klassifisering av miljökvalitet I fjorder og kystfarvann. Virkningar av organiske stoffer. Statens forurensingstilsyn (SFT).
- Brooks, Kenneth M., Annette R. Stierns, Conrad V.W. Mahnken, Dale B. Blackburn. 2003. Chemical biological remediation of the benthos near Atlantic salmon farms. *Aquaculture* 219, 355-377.
- Carroll, Michael L., Sabine Cochrane, Reinhold Fielera, Roger Velvin, Patrick White. 2003. Organic enrichment of sediments from salmon farming in Norway: environmental factors, management practices, and monitoring techniques. *Aquaculture* 226 (2003) 165-180.
- Erlín Emma Jóhannsdóttir og Cristian Gallo. 2016. Botndýrarannsóknir og efnagreiningar á sjó og seti vegna fiskeldis í Berufirði 2015. NA-160162.
- Erlín Emma Jóhannsdóttir, Þorleifur Eiríksson og Böðvar Þórisson. 2012. Botndýrarannsóknir vegna fiskeldis í Berufirði 2011. NA-120115, NV nr. 1-12.
- Grey, J.S, A.D. McIntyre and J. Stirn, 1992. Manual of methods in aquatic environment research. Biological assessment of marine pollution – with particular reference to benthos. Part 11. FAO. Fisheries technical paper 324. 49 bls.
- Guðni Ágústsson. 2004. Svar landbúnaðarráðherra við fyrirspurn Magnúsar Þórs Hafsteinssonar um laxeldi á Austfjörðum. 130. löggjafarþing 2003–2004. Þskj. 237 — 180. mál.
- Hall-Spencer, J., R Bamber. 2007. Effects of salmon farming on benthic Crustacea. *Ciencias Marinas* (2007), 33(4): 353–366. <http://dx.doi.org/10.7773/cm.v33i4.1166>.
- Hill, M.O. 1973. Diversity and Evenness: A Unifying Notation and Its Consequences. *Ecology*, Vol. 54, No. 2, pp. 427-432.
- Hólmfríður Sigurðardóttir og Þóroddur F. Þóroddsson. 2000. Sjókvíaeldi í Berufirði, Djúpavogshreppi. Ákvörðun um matskyldu. Skipulagsstofnun.
- ISO 12878. 2012. Environmental monitoring of the impacts from marine finfish farms on soft bottom. ISO 12878:2012(E).
- Keeley, Nigel B., Barrie M. Forrest, Catriona K. Macleod. 2015. Benthic recovery and re-impact responses from salmon farm enrichment: Implications for farm management.
- Laroche, Olivier, Sonnich Meier, Svein A. Mjøs and Nigel Keely. 2022. Suspension-Feeding Species' Physiological and Microbiome Response to Salmon Farming and Associated Environmental Changes. *Front. Mar. Sci.* 9:841806.
- Macleod, Catriona K., Natalie A. Moltschaniwskyj, Christine M. Crawford. 2006. Evaluation of short-term fallowing as a strategy for the management of recurring organic enrichment under salmon cages. *Marine Pollution Bulletin* 52 (2006) 1458–1466.

- Náttúrustofa Austurlands. 2017. Niðurstöður efnamælinga í Svarthamarsvík í Berufirði – LOKASKÝRSLA með niðurstöðum redox mælinga í seti, efnamælingum í sjósýnum og efnamælingum í setsýnum. Fiskeldi Austfjarða. Náttúrustofa Austurlands.
- Neofitou, Nikos, Rafailia Syvri, Lamprini Tziantziou, Eleni Mente, Dimitris Vafidis. 2020. The benthic environmental footprint of aquaculture in the Eastern Mediterranean: Organic vs conventional fish farming. *Aquaculture Research*. 2020;00:1–13. DOI: 10.1111/are.14609.
- Neofitou, Nikos, Dimitris Vafidis, Spyros Klaoudatos. 2010. Spatial and temporal effects of fish farming on benthic community structure in a semi-enclosed gulf of the Eastern Mediterranean. *Aquacult Environ Interact*. Vol. 1: 95–105, 2010. doi: 10.3354/aei00010.
- Sanz-Lázaro, Carlos and Arnaldo Marín. 2011. Diversity Patterns of Benthic Macrofauna Caused by Marine Fish Farming. *Diversity* 2011, 3, 176-199; doi:10.3390/d3020176.
- Schwedt, Anne, Anne-Christin Kreutzmann, Lubos Polerecky and Heide N. Schulz-Vogt. 2012. Sulfurrespiration in a marine chemolithoautotrophic Beggiatoa strain. *Frontiers in microbiology*. published: 09 January 2012 doi: 10.3389/fmicb.2011.00276.
- Shannon, C.E. 1948. *A Mathematical Theory of Communication*. Reprinted with corrections from *The Bell System Technical Journal*, Vol. 27, pp. 379–423, 623–656.
- Shih, Yi-Che, Chao-Kai Yang, Wen-Yan Chiau. 2016. Sediment characteristics under and around cobia cage farms at penghu, taiwan, as visualized by redox potential and sulfide profiles using gis as documentation tool. *Journal of Aquaculture & Marine Biology*. Volume 4, Issue 6.
- Sólveig Rósa Ólafsdóttir, Agnes Eydal, Steinunn Hilma Ólafsdóttir, Kristinn Guðmundsson og Karl Gunnarsson. 2019. Gæðapættir og viðmiðunaraðstæður strandsjávarvatnshlota/ Quality Elements and Reference Conditions of Coastal Water Bodies. *Hafrannsóknastofnun* ISSN 2298-9137. HV 2019-53.
- Vasquez-Cardenas, Diana, Silvia Hidalgo-Martinez, Lucas Hulst, Thorgerdur Thorleifsdottir, Gudmundur Vidir Helgason, Thorleifur Eiriksson, Jeanine S. Geelhoed, Thorleifur Agustsson, Leon Moodley and Filip J. R. Meysman. 2022. Biogeochemical impacts of fish farming on coastal sediments: Insights into the functional role of cable bacteria. *Front. Microbiol.*, 22 December.
- Weston, Donald P. 1990. Quantitative examination of macrobenthic community changes along an organic enrichment gradient. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* Vol. 61: 233-244.
- Wilding, Thomas A., Chris J. Cromey, Thom D. Nickell, David J. Hughes. 2012. Salmon farm impacts on muddy-sediment megabenthic assemblages on the west coast of Scotland. *Aquacult Environ Interact*. Vol. 2: 145–156, 2012. doi: 10.3354/aei00038
- Zhulay, Irina, Katrin Reiss, Henning Reiss. 2015. Effects of aquaculture fallowing on the recovery of macrofauna communities. *Marine Pollution Bulletin*, online.
- YSI Incorporated. 2014. Pro10 User manual. Document#605192.
- Porleifur Eiriksson, Adam Hoffritz og Porleifur Ágústsson 2020. Rannsóknir á hryggleysingjum og fleiri umhverfispáttum í Gautavík í Berufirði 2020. RORUM 2021 011.
- Porleifur Eiriksson og Böðvar Þórisson. 2004. Botndyr í Berufirði og Fáskrúðsfirði NV nr. 09-04.
- Porleifur Eiriksson, Böðvar Þórisson og Gunnar Steinn Gunnarsson. 2007. Botndýrarannsóknir vegna fiskeldis í Berufirði 2006. NV nr. 05-07.

- Þorleifur Eiríksson, Cristian Gallo, Böðvar Þórisson og Þorleifur Ágústsson. 2009. Breytingar á botndýralífi vegna uppsöfnunar lífrænna efna frá fiskeldi.. Náttúrustofa Vestfjarða. NV 03-09.
- Þorleifur Eiríksson og Guðmundur Víðir Helgason. 2016. Fjölbreytnistuðlar og vísitengundir við vöktun. Kímblaðið. 2016: 46-50.
- Þorleifur Eiríksson og Guðmundur Víðir Helgason. 2018. Hryggleysingjar á botni Berufjarðar RORUM 2018 002.
- Thorleifur Eiríksson, Leon Moodley Guðmundur Vídir Helgason, Kristján Lilliendahl, Halldór Pálmar Halldórsson, Shaw Bamber, Gunnar Steinn Jónsson, Jónatan Thórdarson and Thorleifur Ágústsson. 2017. Estimate of organic load from aquaculture - a way to increased sustainability. RORUM 2017 011.
- Þorleifur Eiríksson, Leon Moodley, Guðmundur Víðir Helgason, Halldór Pálmar Halldórsson, Silvia Hidalgo Martinez, Diana Vasquez Cardenas, Þorgerður Þorleifsdóttir, Jónatan Þórðarson, Þorleifur Ágústsson. 2019. Niðurbrot lífræns efnis undir sjókvíum.
- Þorleifur Eiríksson og Þorleifur Ágústsson. 2020a. Vöktun við kvísvæðið Hamraborg II í Berufirði Ágúst 2020. RORUM.
- Þorleifur Eiríksson og Þorleifur Ágústsson. 2020b. Vöktun við sjókvíar við Glímeyri í Berufirði Ágúst 2020. Rorum 2020
- Þorleifur Eiríksson og Þorleifur Ágústsson. 2021. Vöktun á kvísvæði við Svarthamar í Berufirði Apríl 2021. RORUM.
- Þorleifur Eiríksson og Þorleifur Ágústsson. 2022. Vöktun á hryggleysingjum og fleiri umhverfisþáttum við Glímeyri í Berufirði 2022. RORUM 2022 005.