

# Mælingar á lífrænu botnfalli frá sjókvíum í laxeldi í Fossfirði í Arnarfirði

Lokaskýrsla

Eva Dögg Jóhannesdóttir  
Náttúrustofa Vestfjarða

Jón Örn Pálsson  
Fjarðalax

Þorleifur Eiríksson  
Náttúrustofa Vestfjarða

Nóvember 2013  
NV nr. 34-13

## Útdráttur

Fiskeldi í sjó er vaxandi atvinnugrein hérlendis. Upplýsingar um magn og dreifingu úrgangs eru mikilvægar þegar túlka á niðurstöður um hugsanlega setmyndun á botni og áhrif botnfalls á botnsdýralíf. Mikilvægt skref er stigið með þessari rannsókn í að meta á heilstæðan hátt umhverfisáhrif fiskeldis á einu svæði í einum firði á Íslandi.

Markmiðið er að rannsaka magn og dreifingu úrgangs undir kvíum í Fossfirði. Til að mæla magn lífræns botnfalls eru notaðar setgildir en slíkur búnaður hefur sjaldan verið notaður hér við land. Tilgangur verkefnisins var ekki síst athugun á hvernig þessi tækni reynist, það er að nota setgildir til að mæla magn úrgangs frá sjókvíaeldi.

Niðurstöður sýna að aðferðir sem notaðar eru í þessari rannsókn, það er að mæla botnfall með setgirdum, virka vel til að mæla magn og dreifingu botnfalls frá sjókvíum í laxeldi á þessu svæði og ekkert sem bendir til að ekki sé hægt að nota þær víða ef ekki á flestum stöðum þar sem sjókvíaeldi er stundað.

Með því að þróa notkun á setgildrum við íslenskar aðstæður og skilgreina mismunandi umhverfisþætti sem geta haft áhrif á niðurstöðurnar gæti þessi tækni orðið mikilvæg við vöktun á umhverfisáhrifum frá fiskeldi í sjó hér við land.

## Efnisyfirlit

Útdráttur .....	2
Efnisyfirlit .....	2
Inngangur .....	4
Aðferðir .....	5
Rannsóknasvæði .....	5
Skipulag rannsóknarinnar .....	6
Fóðurnotkun og lífmassi .....	7
Sjávarhiti .....	9
Sýnataka .....	10
Sýnavinnsla .....	11
Frumvinnsla sýna .....	11
Ákvörðun lífrænna efna .....	11
Leiðrétting vegna saltinnihalds .....	12
Úrvinnsla .....	12
Niðurstöður .....	13
Sjónræn lýsing á sýnum .....	13
Þurrvigt sýna .....	13
Fyrsta tímabil (T1) .....	14
Annað tímabil (T2) .....	16
Þriðja tímabil (T3) .....	17
Umræður .....	19
Þakkir .....	20
Heimildir .....	21

## Inngangur

Fiskeldi í sjó er vaxandi atvinnugrein hérlendis og því er mikilvægt að meta á heilstæðan hátt umhverfisáhrifin af slíkri starfsemi. Aukin þekking á því hvernig umhverfið bregst við aukinni lífrænni ákomu er forsenda þess að hægt sé að stjórna starfseminni með þeim hætti að umhverfisáhrifum verði haldið í lágmarki og að þau verði ekki varanleg. Magn lífræns botnfalls frá sjókvíum er lítið háð staðbundnum umhverfisþáttum, það er að mestu háð verklagi við fiskeldið og magn fóðurs sem gefið er (Islam 2005). Þekkt er hins vegar að staðbundnir þættir s.s. hafstraumar, dýpi og uppbygging sets á botni, ráða miklu um umhverfisáhrif af sjókvíaeldi og því er varasamt að yfirfæra rannsóknarniðurstöður frá einu svæði til annars. Dreifing úrgangs á sjávarbotni er að mestu háð staðbundnum áhrifum eins og hafstraumum og sjávardýpi (Karakassis o.fl 1999; Hendersen o.fl. 2001; Sanz-Lázaro og Marin 2006). Áhrifin geta náð tugi, jafnvel hundruði metra frá kvíasvæði (Hall o.fl. 1990; Lee o.fl. 2006).

Við rannsóknir á botndýralífi í Ísafjarðardjúpi undir tilraunakvíum með fiski kom í ljós að við lítið álag (lítið magn lífrænna efna) breyttist samsetning botndýralífsins strax (Þorleifur Eiríksson o.fl. 2009). Dæmi eru til um að botn sem hefur orðið fyrir mjög miklu álagi nái ekki fyrra jafnvægi fyrr en eftir 5-8 ár (Nilson og Resenberg 2000). Lee o.fl. (2006) sýndu einnig fram á að með viðvarandi álagi (eftir 13 mánuði) breiðast áhrifin út fyrir kvíasvæðið, en eftir 3 ár í þeirra rannsókn var sama ástand á botndýralífi við kvíar og um 80 m frá þeim í straumstefnu.

Upplýsingar um magn úrgangs og dreifingu úrgangs er mikilvæg vitneskja þegar túlka á niðurstöður um hugsanlega setmyndun á botni og áhrif botnfalls á botndýralíf. Þessi rannsókn er því mikilvægt skref í að meta á heilstæðan hátt umhverfisáhrif fiskeldis á einu svæði í einum firði á Íslandi.

Tilgangur verkefnisins var að afla upplýsinga um hvernig þessi tækni reynist til að mæla magn úrgangs frá sjókvíaeldi. Markmiðið er að rannsaka raunverulegt magn og dreifingu úrgangs undir kvíum í Fossfirði. Þekking á sambandi magns á fiski í kvíum, magn fóðurs og lífrænu botnfalli getur bætt aðferðir við fiskeldi í sjó og skiptir miklu þegar ákveða á nauðsynlegan hvíldartíma á eldissvæðinu eftir að slátrun er lokið.

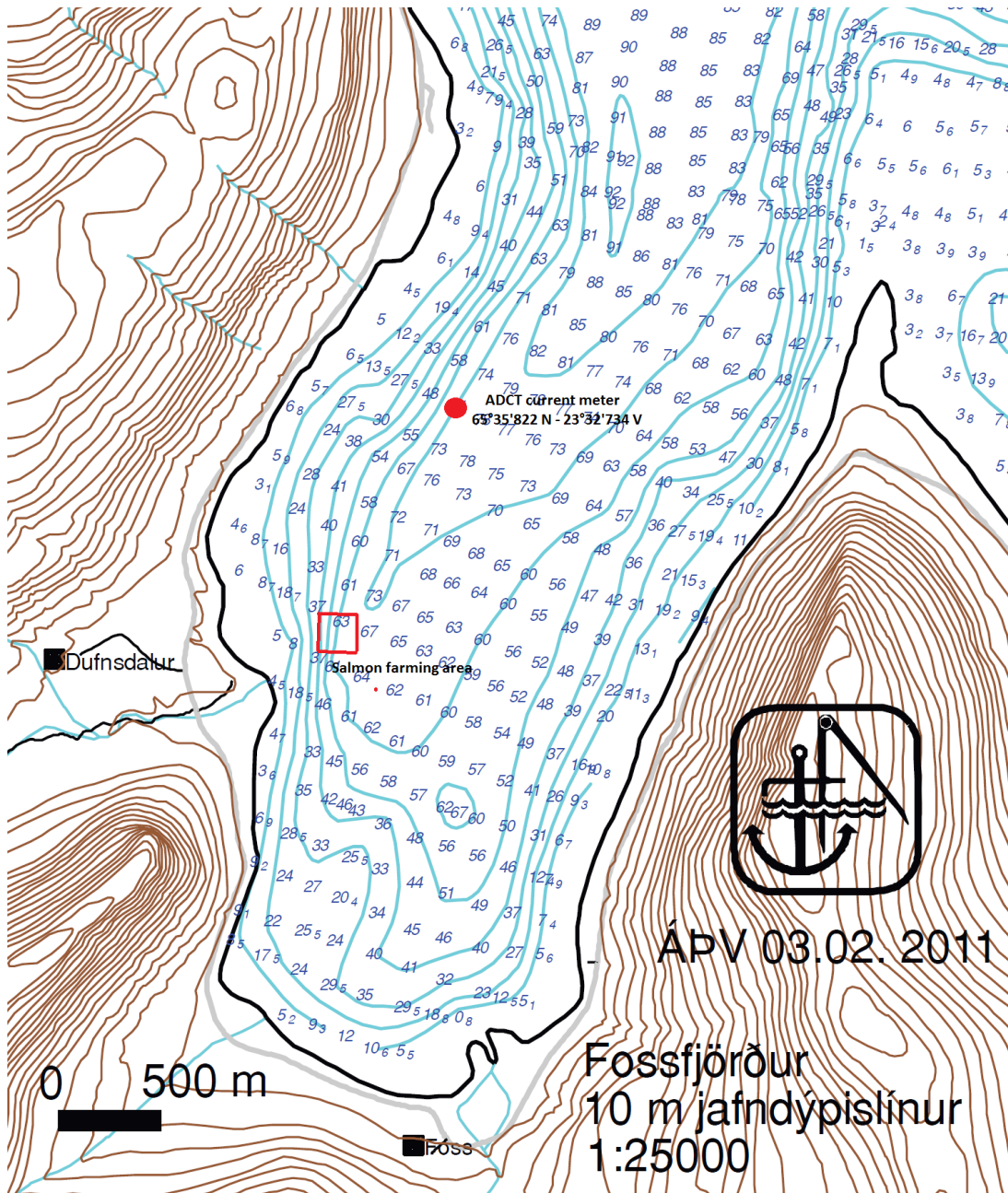
Til að mæla magn lífræns botnfalls er hægt að nota setgildir en slíkur búnaður hefur sjaldan verið notaður hér við land (Allison 2012). Setgildir hafa verið notaðar í mismunandi rannsóknir erlendis, má þar t.d. nefna setmyndun undir kræklingarækt (Giles o.fl. 2006) og við rannsóknir á botnfalli frá fiskeldi (t.d. Hall o.fl. 1990; Cromey o.fl 2006; Holmer o.fl. 2007; Rapp o.fl. 2007; Sanz-Lázaro o.fl 2011). Þær rannsóknir hafa sýnt að notkun setgilda gefur góða mynd af magni botnfalls frá hvers kyns eldi.

Styrkur fékkst til verkefnisins frá Rannsókn- og nýsköpunarsjóði Vestur Barðastrandarsýslu árið 2012. Verkefnið er samstarfsverkefni Náttúrustofu Vestfjarða og laxeldisfyrirtækisins Fjarðalax en það síðar nefnda sá um að koma búnaði fyrir og sýnatöku. Náttúrustofan sá um úrvinnslu og skýrslugerð.

## Aðferðir

### Rannsóknarsvæði

Fjarðalax er með eldisstöð í vestanverðum Fossfirði, nánar tiltekið út af Dufansdal. Fjórar kvíar eru í Fossfirði, dýpi undir þeim er 50-60 m. Mesta dýpi á rannsóknarsvæðinu er um 70 m, en mesta dýpi fjarðarins er 90 m í mynni fjarðarins (mynd 1). Megin straumur liggur inn að sunnanverðu og út að norðanverðu (Jóhann Briem 2002) eins og vanlegt er í fjörðum á vestanverðu landinu. Hafrannsóknastofnun hefur í samstarfi við Fjarðalax mælt straum rétt fyrir utan eldissvæði (mynd 1) sem styður þetta (Héðinn Valdimarsson, Hafrannsóknastofnun, óbirt gögn).

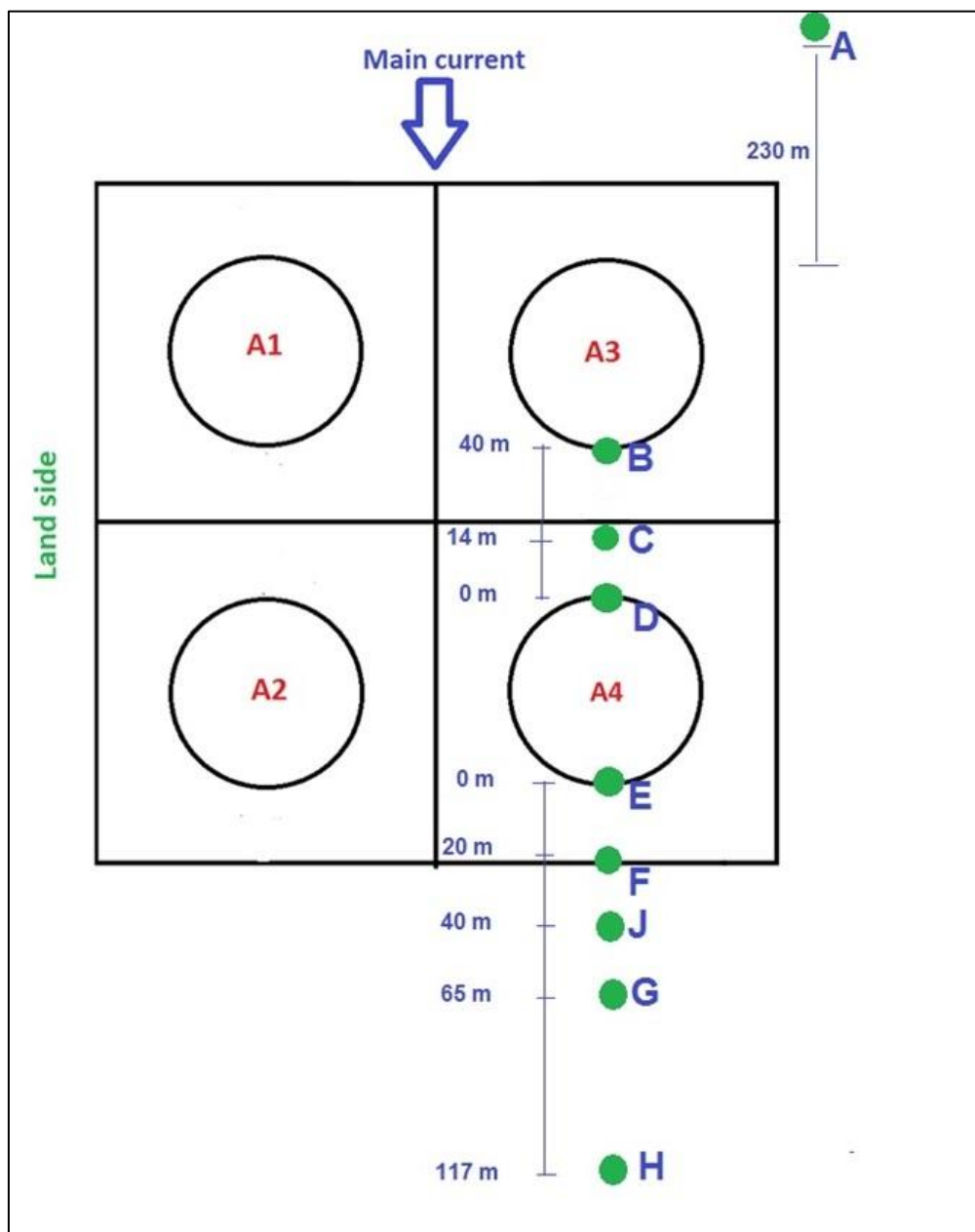


Mynd 1. Kort af Fossfirði. Rauður ferningur sýnir hvar eldisstöðin er. Rauður punktur sýnir hvar straummælingar fóru fram.

## Skipulag rannsóknarinnar

Fjórar kvíar (A1-A4) eru á eldissvæðinu og er hver kví 50 m í þvermál, 160 m að ummáli og 20 m að dýpt frá yfirborði. Yfirborðsflatarmál kvía er því 1.962,5 m<sup>2</sup> og rúmmál 39.250 m<sup>3</sup>. Laxaseiði voru sett í eldiskvíar A3 og A4 í lok ágúst 2011. Fiskurinn hafði því verið alinn í þessum kvíum um eitt ár áður en tilraunin hófst. Í báðar kvíar voru settir hreinir netpoka með 15 mm netmökva (leggur, ½ möskvastærð) í ágúst 2011. Skipt um netpoka í eldiskví A4 í byrjun ágúst 2012 og var nýi pokinn með 20 mm netmökva. Þann 2. – 9. október 2012 fór fram netþvottur með háþrýstisjódælu á netpoka í kví A3, til að hreinsa pokann af ásætum. Pokinn var orðinn ferkar gróinn og því er sennilegt að fóður og sauragnir hafi festst í fellingum á botni pokans.

Settar voru átta stöðvar með einni setgildru hver, í nágrenni við kvíarnar og ein viðmiðunarstöð (mynd 2).



Mynd 2. Hér má sjá staðsetningu gildranna á rannsóknarsvæðinu. Stöð A er viðmiðunarstöð.

Verklegur undirbúningur að rannsókninni hófst í byrjun ágúst 2012. Komið var fyrir föstum yfirborðsflotum á níu sýnatökustöðvum (stöðvar A-I) en ein stöð var færð áður en setgildir voru settar niður 24. ágúst (stöð J). Stöð I var fjarlægð. Því er stöð H lengst frá kví (117m) og engin stöð I. Yfirborðsflot voru fest í rammafestingar eldiskvía til að búnaður færðist ekki til á stöðvum við tæmingu á gildrum (sýnatöku). Hver stöð var hnitsett og dýpi skráð (tafla 1).

Tafla 1. Dýpi og hnit stöðva og stöðva frá kví.

Stöð	Dýpi (m)	Fjarlægð frá kví (m)	Hnit (gráður og tugabrot á mínútu)
A	61	230 m	N65 37.676 W23 33.019
B	64	0	N65 37.503 W23 33.070
C	64	14	N65 37.490 W23 33.070
D	65	0	N65 37.483 W23 33.064
E	67	0	N65 37.454 W23 33.055
F	67	20	N65 37.444 W23 33.064
J	67	40	N65 37.432 W23 33.057
G	70	65	N65 37.420 W23 33.055
H	68	117	N65 37.392 W23 33.050

Hver gildra er með tvö rör sem eru 7cm að þvermáli (innanmál), flatarmál röropsins er því 38,5cm<sup>2</sup>. Alls voru níu setgildir útbúnar með hæfilegum flotum og sökkum. Þyngd gildru (með safnhólkum) var 5,5 kg (í lofti). 5 m fyrir ofan hverja gildru var fest 11“ trollkúla, með 7,5 kg flotkrafti. Til þyngingar á hverja gildru voru notaðir 7 keðjuhlekkir sem vega samtals 12 kg. Gildir voru festar um 3 m fyrir ofan sjávarbotn, til að minnka hættu á að grugg og upprót af botni safnist í hólka.

## Fóðurnotkun og lífmassi

Allt sýnatökutímabilið var fiskum í báðum kvíum gefið 9 mm ECO fóðurpillur frá Laxá Feedmill Ltd (sjá viðhengi I um innihaldslýsingar á fóðri). Fóðurpillurnar innihalda fiskimjöl, lýsi, heilhveiti, maísmjöl, rapsmjöl, vítamín og steinefni og náttúlegt litarefni (Astaxanthin 45 mg/kg) frá *Phaffia* (gerill).

Samkvæmt Allison (2012) er lífrænt innihald í 3mm og 4mm fóðri frá Laxá að meðaltali um 65%. Fjarðalax notaði 9mm fóður yfir allt rannsóknartímabilið en samkvæmt innihaldslýsingu á fóðri frá Laxá er sykrur eða kolvetni (e. Carbohydrates) helmingi meiri í 9mm fóðri (16%) en í 4mm fóðri (8%) en mun meira prótein er í 4mm (46%) en í 9mm (37,5%) (sjá viðauka I).

Fjarðalax notar fóðurkerfi frá Vaka hf. og er fóðrinu blásið frá fóðurstöð í landi gegnum 90 mm PE plaströr í fóðurdreifara sem flýtur í miðju hverrar kvíar. Fóðurdreifarinn snýst og dreifir þannig fóðrinu yfir allt yfirborð kvínna. Neðansjávarmyndavélar af tegundinni Orbit eru staðsettar í hverri kví, undir fóðurdreifara, á 10 m dýpi. Þær eru notaðar til að fylgjast með hvenær fiskarnir hætta að borða en þá er slökkt á kerfinu. Á hverri myndavél eru hitamælur sem mæla hita sjávar á 5-10 m dýpi.

Fóðurnotkun er skráð daglega fyrir hverja kví. Um miðjan nóvember var ákveðið að reyna að auka fóðrun tímabundið í kví A4 til að freista þess að auka vöxt fiskana, þó vitað væri að fóðurleyfar myndu eitthvað aukast.

Tafla 2. Fjöldi og heildarþyngd fiska í kvíum við upphaf og endi rannsóknartímabilsins.

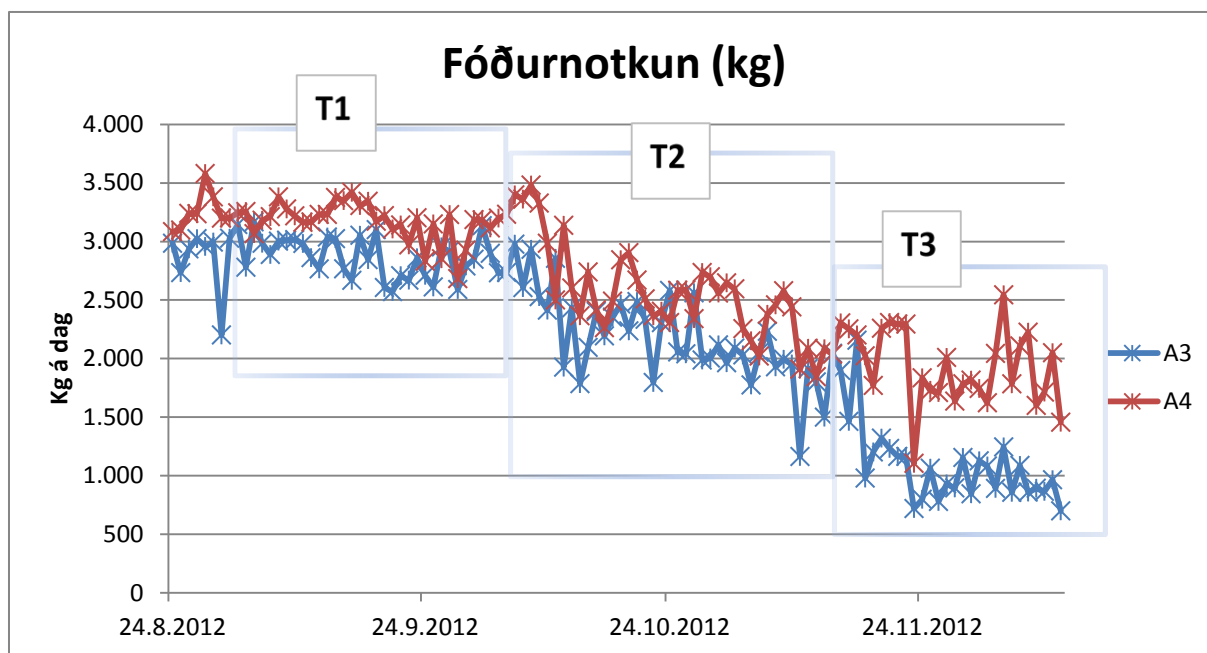
	Kví A3 125.000 fiskar		Kví A4 115.000 fiskar	
	Meðalþyngd fiska(g)	Allir fiskar (kg)	Meðalþyngd fiska(g)	Allir fiskar (kg)
Upphaf (24.08.12)	1.280	160.000	1.710	196.650
Endir (11.12.12)	2.830	353.750	3.700	425.500

Í upphafi rannsóknartímabilsins var meðalþyngd fiska 34% hærri í kví A4 og heildarþyngd allra fiska 23% meiri. Í enda tímabilsins voru hluföllin svipuð 31% og 20% í kví A4 (tafla 2).

Tafla 3. Heildar meðalfóðrun og meðalfóður á hvern fisk öll tímabil rannsóknartímabilsins

Tímabil	Meðalfóðrun á dag			
	A3		A4	
	kg/dag	gr/fisk/dag	kg/dag	gr/fisk/dag
T1	2.865	22,92	3.194	27,78
T2	2.262	18,10	2.628	22,85
T3	1.083	8,66	1.936	16,84

Fiskum í kví A4 var gefið um 11% meira en þeim í kví A3 á fyrsta tímabilinu. Á öðru tímabilinu var gefið 16% meira í kví A4 en á þriðja tímabilinu var gefið 79% meira í kví A4 en í A3 (tafla 3, mynd 3). Fóðrun var mest á fyrsta tímabilinu (mynd 3).



Mynd 3. Meðalfóðrun (kg á dag) í kvíum A3 og A4 yfir allt rannsóknartímabilið.

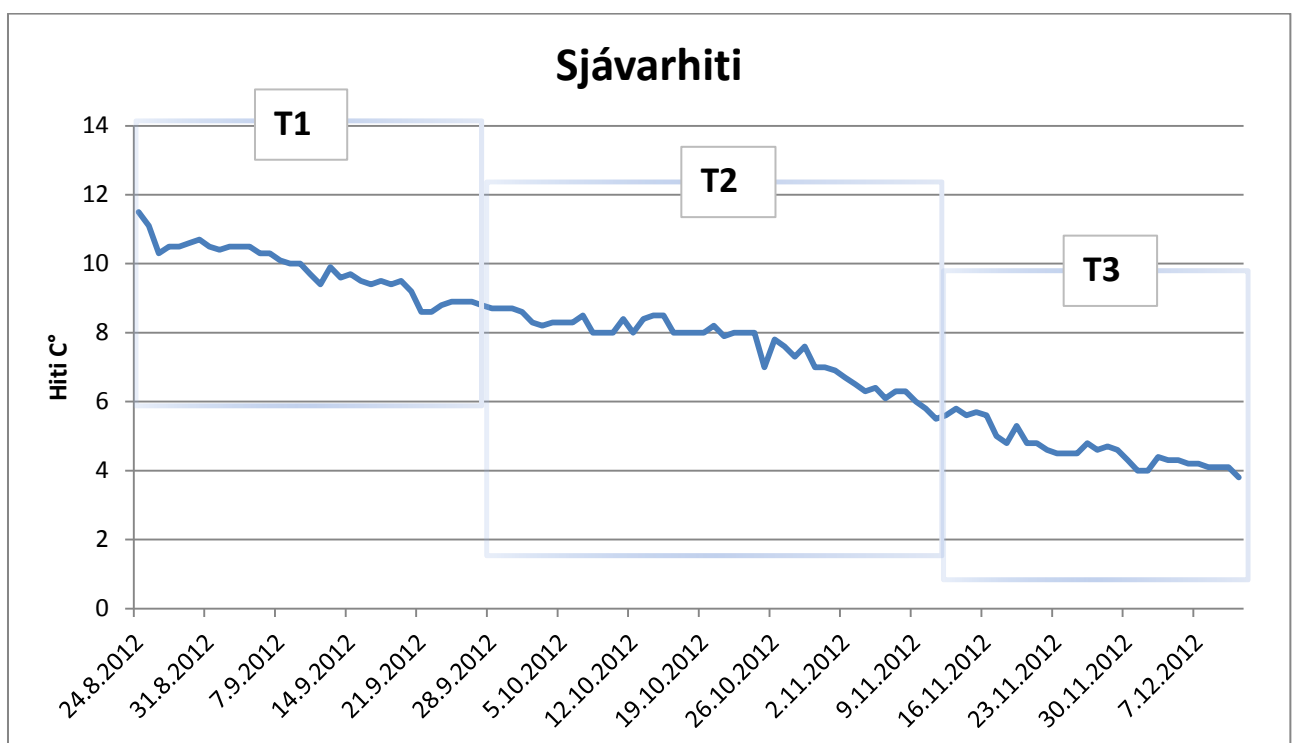


## Sjávarhiti

Meðalsjávarhiti á 5-10 metra dýpi fór frá 10°C (T1) niður í 4,6°C (T3) (tafla 4, mynd 4). Hæsti hiti (ein mæling) mældist 11,5°C í byrjun tímabilsins (T1) en lægst fór hitinn í 3,8°C í lok tímabilsins (T3). Hitinn lækkaði því jafnt og þétt yfir allan rannsóknartímann.

Tafla 4. Meðal sjávarhiti á 5m dýpi á kvísvæði yfir öll tímabil.

Sjávarhiti (°C)			
	T1	T2	T3
Meðalhiti	10	8	4,6
Hæsti hiti	11,5	8,4	5,7
Lægsti hiti	8,6	5,5	3,8



Mynd 4. Sjávarhiti öll sýnatökutímabilin á kvísvæðinu.

## Sýnataka

Notaðar voru setgildirur við sýnatöku. Gildrunar eru hannaðar þannig að rörin eru lóðrétt í vatnsbolnum og opið snýr upp. Um 50 gr af grófu salti var sett í rörin til að sporna við rotnun á lífrænu seti í hólkunum. Slík notkun á salti í setgildrum hefur reynst vel í öðrum rannsóknum (Findlay og Watling 1997; Rapp o.fl. 2007). Sjór var látinn renna hægt í hólkin áður en gildrunni var slakað niður. Síðasta tímabilið var þó aðeins notað 25 gr af salti og ekki var nóg með í ferðinni í allar gildirur svo 4 voru settar niður án salts (Stöð C, J, G og H).



Mynd 5. Starfsmenn Fjarðalax í sýnatöku. Jón Örn Pálsson heldur á einni setgildru.

Þegar gildran hafði verið hífð upp á yfirborðið, voru rörin fjarðlægð (mynd 5 og 6). Auka vatni var fyrst helt af áður en hrært var upp í botnfallinu og því skolað í 1 l fötu. Lok fötunnar var merkt með dagsetningu, staðsetningu og stöðvarheiti en einnig var settur miði í hverja fötu með sömu upplýsingum. Lykt, litur og sýnilegt fóðurs í sýnunum var skráð niður, sem og allt sem skar sig úr.



Mynd 6. Greinilegar fóðurleifar á stöð E (28.09.12).

Sýnatökutímabilin (T1-T3), þ.e. hve lengi gildrunar voru hafðar úti, voru þrjú talsins. T1 var 24. ágúst – 28. september 2012 (35 söfnunardagar), T2 frá 28. september – 13. nóvember 2012 (45 söfnunardagar) og T3 frá 13. nóvember – 11. desember (27 söfnunardagar).

Salt var ekki sjáanlegt í neinum gildrum nema í síðustu sýnatökunni (T3) þar sem sjáanlegt var salt í gildrum frá stöð A og F. Engin rotnunarlykt fannst í gildrum yfir allt rannsóknartímabilið nema í þeim gildrum sem höfðu farið niður með engu salti á síðasta tímabilinu (Stöð C, J, G og H).

Á öðru tímabili (T2) misförst helmingur af sýni úr stöð F, þ.e. aðeins fékkst sýni til úrvinnslu úr öðru röri gildrunnar á stöðinni.

## Sýnavinnsla

### Frumvinnsla sýna

Sýnin voru tekin úr frysti, þýdd og sett í 4L fötu. Fötunarnar voru fylltar með kranavatni til að minnka saltmagnið í sýnunum. Þegar sýnin voru botnfallin á ný var hægt að hella auka vatni ofan af og setja þau í merktar petrískálar sem höfðu verið vigtaðar. Notaðar voru stærstu fáanlegu petrískálarnar sem eru um 15 cm í þvermál en sum sýni voru það stór að nota þurfti 2 skálar. Mesta vatninu var fleytt af með einnota pípettum þegar sýnin voru botnfallin í skálunum og þau sett í þurrkofn við 70°C í minnst 8 tíma, flest þurftu þó sýnin 16 tíma en það var a.m.k. eitt sýni sem þurfti yfir 50 tíma til að þurrka alveg.



Þegar sýnin voru orðin alveg þurr voru þau vigtuð í skálinni á AND EJ610 vog með nákvæmni

Mynd 7. Kraumandi sýni með klór.

upp á 10 mg. Þyngd skálarinnar var dregin frá til að fá heildarþyngd sýnisins.

### Ákvörðun lífrænna efna

Til að ákvarða hlutfall lífræns efnis í sýnunum þarf annað hvort að leysa þau upp með efnum eða brenna sýnin í brennsluofni. Í þessu tilviki voru sýnin leyst upp í 15% klór (Natríum Hypochloríð  $\text{HClO}$ ), en það er aðferð sem reynst hefur ágætlega (Allison o.fl. 2011). Klórinn leysir upp allt kolefni en í þessari rannsókn er gert ráð fyrir að það sé allt lífrænt.

Hvert sýni var sett í plastdós og klór bætt við í þrepum. Þegar klór er settur út í sýni verður oxun á kolefni, sem er útvermin. Meðan klórinn vann á sýnunum voru þau geymd inni skáp úr plexígléri með góðu útsogi svo gas sogaðist fljótt frá.

Losun koltvísýrings er hægt að sjá með berum augum í sýninu þar sem loftbólur krauma upp á yfirborðið (mynd 7). Einnig hitnar sýnið við þessi efnahvörf. Þetta ferli getur tekið allt að tvær vikur. Byrjað var að bæta 50 ml við sýnin og um 20-50 ml bætt við þegar hætti að krauma. Hrært var reglulega í öllum sýnum. Mismikinn klór þurfti fyrir sýnin og mest fór rúmlega 400 ml í eitt sýni. Þegar ekki bar lengur á frekari efnahvörfum, hvorki þegar hrært var í sýnum eða þegar bætt var við klór, voru þau síuð og þvegin.



Mynd 8. Uppsetning fyrir síun sýna: loftdæla, sogflaska, trekt ásamt síu með sýninu.

Sýnin voru síuð í gegnum pappírssíu (~15µm) sem sett var í kaffipressu og klemd ofaná sogflösku. Til að fá sog var notuð loftdæla að gerðinni Air-Admiral 230 V (mynd 8). Stór sýni þurfti að sía í nokkrum pörtum en mest var skipt í 12 hluta. Hver hluti sýnanna var þvegin með 50-100 ml af kranavatni til að fjarlægja klór- og saltrestar. Eftir það var bætt við nýrri pappírssíu neðan við hina sem geymdi sýnið og vatninu skolað í gegn. Þetta var gert því síurnar urðu mjög viðkvæmar þegar vökvi hafði verið lengi í þeim (<60 mínútur) en sum sýni gengu hraðar fyrir sig og þurfti þá ekki aðra pappírssíu. Eftir síun voru þurrkuð við 70°C í þurrkofni yfir nótt, vigtuð og þyngd sía dregin frá.

### **Leiðrétting vegna saltinnihalds**

Þrátt fyrir að öll sýni höfðu verið þynnt út með kranavatni í upphafi, til að minnka saltmagn í þeim, kom í ljós þegar þau höfðu verið klóruð að mikið magn salts var enn til staðar. Það varð því að finna út hversu mikið af þyngd heildarsýnanna var salt. Þetta var gert með því að bæta vatni við sýni þar til að allt salt var leyst upp. Sett var um 10 gr af vatninu ofan af sýnum frá öllum tíma-bilum í petrískál sem sett var í þurrkofn yfir nótt. Sýnin voru því næst síuð og um 10 gr af vatninu sem síaðist frá var sett í aðra petrískál í þurrkofn yfir nótt. Þegar tekið er vatnssýni fyrir og eftir síun er hægt að sjá hvort allt salt skolist úr með því að bera saman saltmagn fyrir og eftir síun.

### **Úrvinnsla**

Mismunur á þurrvigt sýna, fyrir og eftir klórmeðferð, gefur þurrvigt lífræns efnis.

Hlutfall lífræns efnis af heildarsýni var reiknað út og gefið upp í prósentum.

Til að gera grein fyrir lífrænni ákomu að meðaltali yfir einn dag eða hraða ákomu er eðlilegt að reikna út magn ákomu lífræns efnis á ákveðinn flöt, yfir ákveðin tíma eins og gert er í öðrum rannsóknum (t.d. Hargrave 1997, Cromey o.fl. 2002, Giles o.fl. 2006, Allison o.fl. 2011, Allison o.fl. 2012). Yfirleitt er notaður fermetri og í þessari rannsókn eru notuð grömm á fermetra á dag eða  $\text{gr/m}^2/\text{dag}$ , þ.e. hversu mörg gr. lífræns efnis safnast að meðaltali á  $1 \text{ m}^2$  yfir einn sólarhing.

Til að reikna út saltmagnið í sýnum var munur á þyngd skála fyrir og eftir þurrkun reiknuð út og með því fenginn út þyngd salts af vatnssýnunum sem tekin voru ofan af sýnum. Hlutfall salts af vatnssýnum var reiknað út í prósentum. Til að athuga hvort allt salt skolast í gegn voru gerðir sömu útreikningar á vatnssýnum úr sogflöskum og prósentur bornar saman sem sýndu að allt salt skolast úr sýni við síun.

## Niðurstöður

Botnfalli var safnað í samtals 107 daga, sem skiptist í þrjú söfnunartímabil.

### Sjónræn lýsing á sýnum

Sýni frá stöð B á fyrsta tímabilinu (T1) var frábrugðið öðrum í lit, en það var mun dekkra en hin og fitubrák var í vatnsyfirborði sýnisins í byrjun sýnavinnslu. Í sýni F frá T1 sáust burstaormar.

Á öðru tímabili (T2) sást fitubrák í vatnsyfirborði sýnisins frá stöð B og E og fóðurpillur sáust greinilega.

Á þriðja tímabilinu (T3) sáust lítil krabbadýr (ógreind) í sýni frá stöð A, dýrarestar sáust í sýnum B og D, þar af allavega ein ljósáta (cf Euphausia) í hvoru sýni. Fóðurpillur sáust í sýni frá stöð E (taldar 19 á vettvangi), einnig voru sýnilegar dýraleifar og lýsislykt var af sýninu eftir þurrkun.

Kræklingur var sýnilegur í öllum sýnum yfir öll tímabil nema á stöð A frá T1 og T3. Skeljar kræklinganna voru í öllum tilfellum undir u.þ.b. 2 mm nema annað sé tekið fram (tafla 5).

Hér er rétt að taka fram að á tímabilun (T3) var ekkert salt sett í gildrur á stöðvum C, J, G og H og mikil rotnunarlykt fannst úr þeim. Sýnin voru öll kolsvört og gekk mjög fljót að sía þau á móti öðrum sýnum sem höfðu verið með salti. Sýnin losnuðu einnig auðveldlega af síu eftir síun.

Tafla 5. Skráðar athugasemdir við vinnslu á sýnum. Ath. að ekkert salt var sett í stöðvar C, J, G og H síðasta tímabilið (T3).

Stöð	T1	T2	T3
A		Kræklingur	Lítill krabbadýr
B	Fitubrák, kræklingur	Fitubrák, fóðurpillur Kræklingur	Dýrarestar, kræklingur
C	Kræklingur	Kræklingur	Kolsvart, fínt. Mikil rotlykt, froða Kræklingur
D	Kræklingur	Kræklingur	Dýrarestar, kræklingur
E	Kræklingur	Fitubrák, fóðurpillur, kræklingur	Fóðurpillur, dýraleifar, lýsislykt, kræklingur og skeljabrot
F	Burstaormar, kræklingur	Kræklingur	Kræklingur
J	Kræklingur	Kræklingur	Kolsvart, fínt. Mikil rotlykt, froða, örfáir kræklingar
G	Kræklingar	Kræklingur, 1 ca 7mm	Kolsvart, fínt. Mikil rotlykt, froða, kræklingur
H	Kræklingur, skeljabrot	Kræklingur	Kolsvart, fínt. Mikil rotlykt, froða, kræklingur

### Þurrvig sýna

Yfir öll tímabil var heildarsýni (þurrkað sýni úr báðum rörum frá einni gildru/stöð) minnst á stöð A sem var viðmiðunarstöð. Fyrsta tímabil (T1) var heildarsýni úr stöð A 2,3 gr, annað tímabilið (T2) 4,1 gr og síðasta tímabilið (T3) 2,3 gr. Uppsöfnun lífræns efnis á m<sup>2</sup>/dag var einnig minnst yfir öll tímabilin á stöð A nema síðasta tímabilið þar sem stöðvar H og G mældust með 0,1 og 0,2 gr/m<sup>2</sup>/dag minni uppsöfnun en stöð A mældist með 2,1 gr/m<sup>2</sup>/dag.

Yfir T1 var uppsöfnunin 1,6 gr/m<sup>2</sup>/dag og T2 1,3 gr/m<sup>2</sup>/dag (sjá töflu 6, 7 og 8). Hér á eftir koma niðurstöður úr sýnatökutímabilunum en stöð A er til viðmiðunar.

Saltkristallar voru sjáanlegir í sýnum en það var þvegið allt salt úr sýnunum við síun (eftir klórun). Fundið var út magns salts í einu sýni fyrir hvert tímabil og kom í ljós að um 14% af þyngd heildarsýna í T1 var salt, 10,5% í T2 og 12% í T3. Hér á eftir verður alltaf rætt um heildarsýni þar sem þyngd salts hefur verið dregið frá, s.s. án salts (sjá töflu 6).

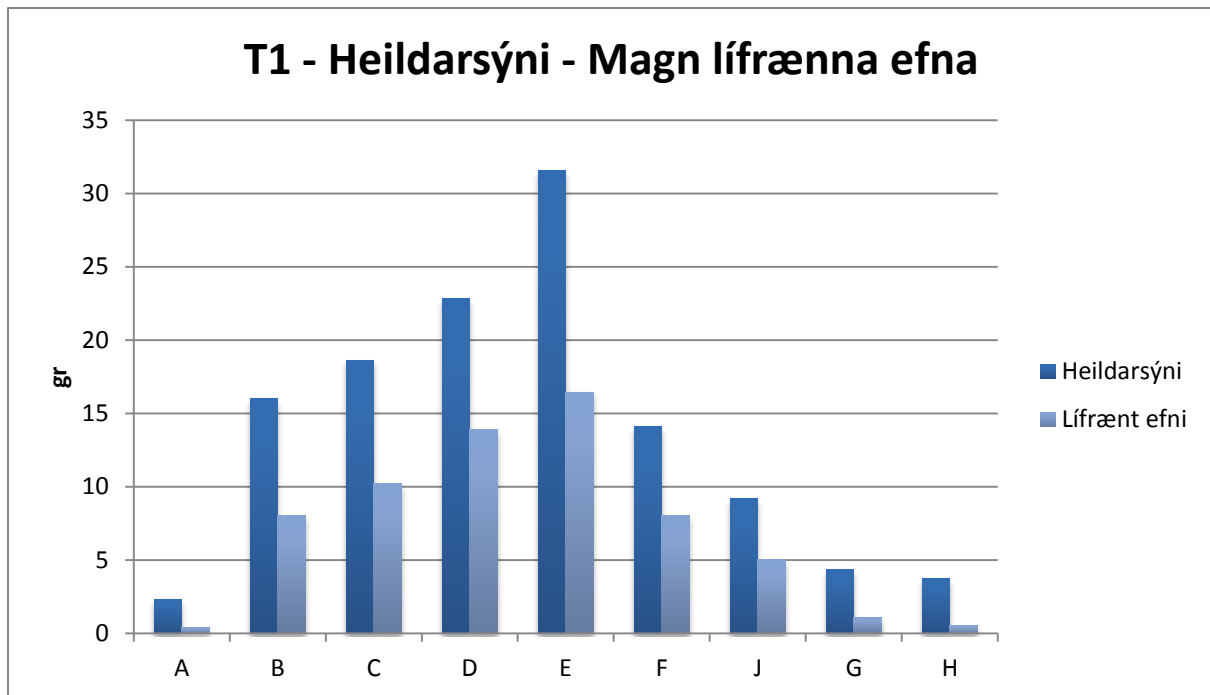
### Fyrsta tímabil (T1)

Söfnunartímabilið T1 stóð í 35 daga, en þá safnaðist mesta botnfallið fyrir á stöð E og þar á eftir á stöð D. Heildarsýni á stöð E var 31,6 gr og 22,9 gr á stöð D. Hlutfall lífræns efnis var hins vegar hæðst á stöð D eða 60,8% en stöð F mældist með næst mesta hlutfall lífræns efnis eða 57,1% og þar á eftir voru stöðvar C og J með 55,1% og 54,7 hvor um sig en 52,2% mældust á stöð E. Heildarsýni var minnst úr stöð H og þar næst á stöð G, en þar söfnuðust annars vegar 3,8 gr. og hins vegar 4,4 gr. Hlutfall lífræns efnis var einnig minnst á stöð H eða 14,9% en hlutfallið var herra á stöð A eða 17,9%. Næst á eftir stöð H var hlutfall lífræns efnis minnst á stöð G eða 25,4% (tafla 6, mynd 9).

Tafla 6. Þurrvigt úr öllum stöðvum frá 1. tímabili. Lífrænt efni er það sem eyðist við klórun. 35 söfnunardagar, 24.08.12-28.09.12.

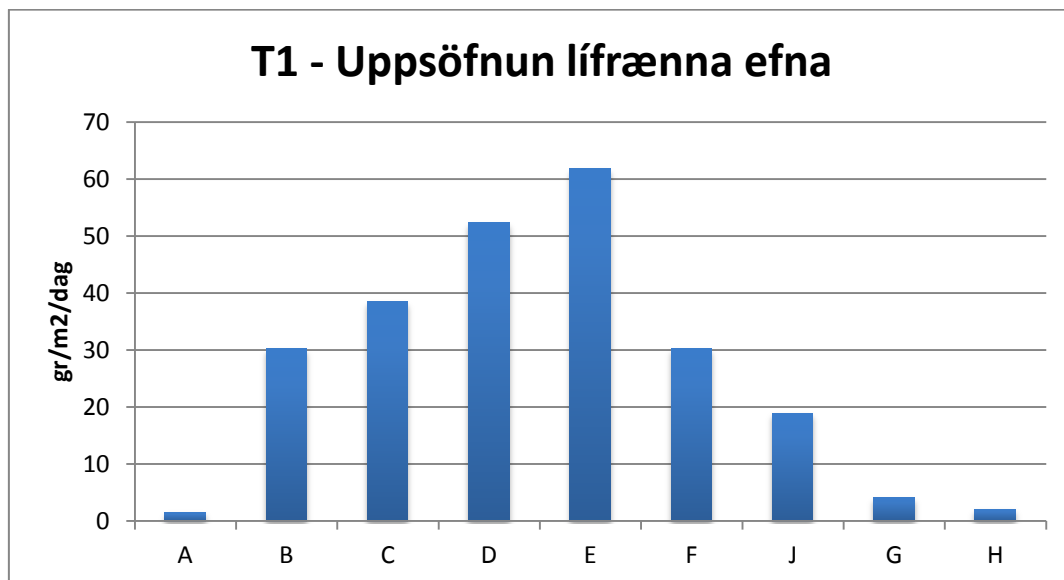
T1 - Niðurstöður						
Stöð	Heildarsýni (gr)			Lífrænt efni		
	Heild	Heild án salts*	Eftir klórun / síun	gr	Hluti %	g/m <sup>2</sup> /dag
A	2,7	2,3	1,9	0,4	18%	1,6
B	18,3	16,0	8,0	8,0	50%	30,2
C	21,6	18,6	8,4	10,2	55%	38,5
D	26,6	22,9	9,0	13,9	61%	52,3
E	36,7	31,6	15,1	16,5	52%	61,9
F	16,4	14,1	6,1	8,1	57%	30,3
J	10,7	9,2	4,2	5,0	55%	18,9
G	5,1	4,4	3,3	1,1	25%	4,2
H	4,3	3,8	3,2	0,6	15%	2,1

\*Reiknað var út að salt væri u.þ.b. 14% af heildarþyngd sýna þetta tímabil (T1)



Mynd 9. Heildarþyngd af innihaldi gilda frá öllum stöðvum fyrsta tímabili sýnatöku eftir þurrkun (dökkt) og magn lífræns efnis (ljóst).

Sé litið til uppsöfnunar lífræns efnis á  $m^2$ /dag sést að örlítið meira safnast fyrir á stöð H en á stöð A á dag, eða  $2,1 \text{ gr}/m^2$ /dag á stöð H og þar næst á stöð G eða  $4,2 \text{ gr}/m^2$ /dag. Mesta uppsöfnun lífræns efnis var á stöð E eða  $61,9 \text{ gr}/m^2$ /dag og þar næst á stöð D eða  $52,3 \text{ gr}/m^2$ /dag (tafla 6, mynd 10).



Mynd 10. Uppsöfnun lífrænna efna á hverri stöð fyrir sig 1. tímabili sýnatöku reiknað í grömmum pr fermetur pr dag.

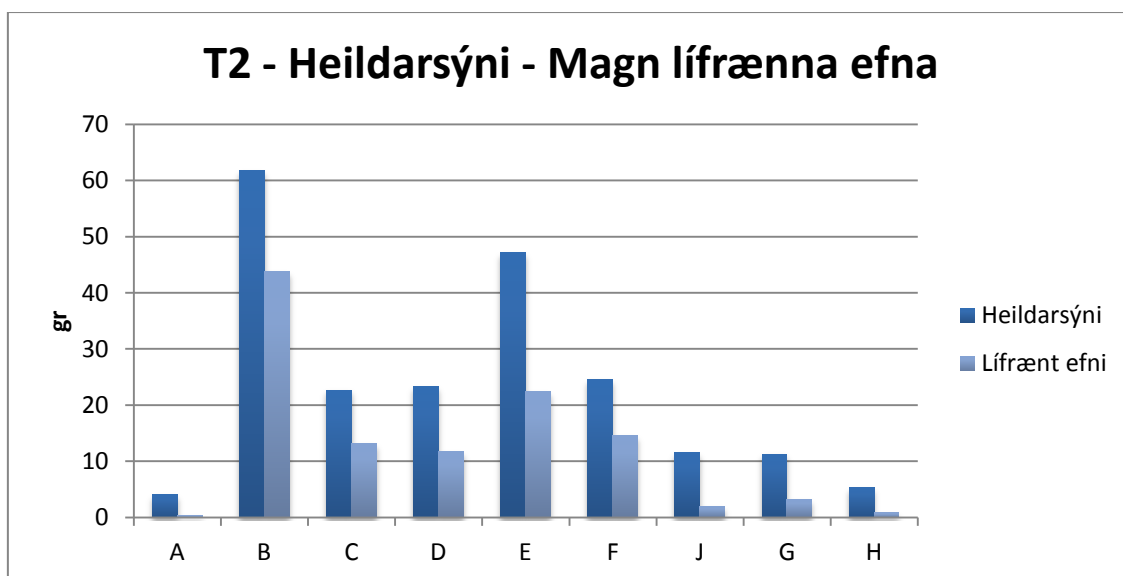
**Annað tímabil (T2)**

Söfnunartímabilið T2 stóð í 45 daga en þá safnaðist mest botnfall á stöð B og þar á eftir á stöð E. Heildarsýni frá stöðvunum voru annars vegar 61,8 gr og hins vegar 47,1 gr. Á stöðvar C, D og F safnaðist 22,7 gr, 23,3 gr og 24,5 gr. Hlutfall lífræns efnis af heildarsýni mældist hæst á stöð B eða 70,8% og þar næst á stöð F eða 59,4% og svo 58,3% á stöð C en stöð E mældist með 47,5%. Eins og í fyrra tímabili safnaðist minnst á stöð H. Hlutfallslega meira lífrænt efni mældist á stöð H en á A eða 16,7% á móti 10,7% en næst lægsta hlutfallið fannst á stöð J með 17,3% lífrænt efni (tafla 7, mynd 11).

Tafla 7. Heildar þurrvigt af öllum stöðvum frá 2. tímabili. Lífrænt efni er það sem eyðist við klórún. 45 söfnunardagar, 28.09.12-13.11.12.

<b>T2 - Niðurstöður</b>						
<b>Stöð</b>	<b>Heildarsýni (gr)</b>			<b>Lífrænt efni</b>		
	Heild	Heild án salts*	Eftir klórún / síun	gr	Hluti %	g/m2/dag
A	4,6	4,1	3,7	0,4	10,6%	1,3
B	69,1	61,8	18,1	43,8	70,8%	128,0
C	25,3	22,7	9,5	13,2	58,3%	38,7
D	26,0	23,3	11,5	11,7	50,4%	34,3
E	52,7	47,1	24,7	22,4	47,5%	65,5
F	27,4	24,5	10,0	14,6	59,4%	42,6
J	12,9	11,5	9,5	2,0	17,3%	5,8
G	12,6	11,3	8,1	3,2	28,3%	9,3
H	6,0	5,3	4,4	0,9	16,7%	2,6

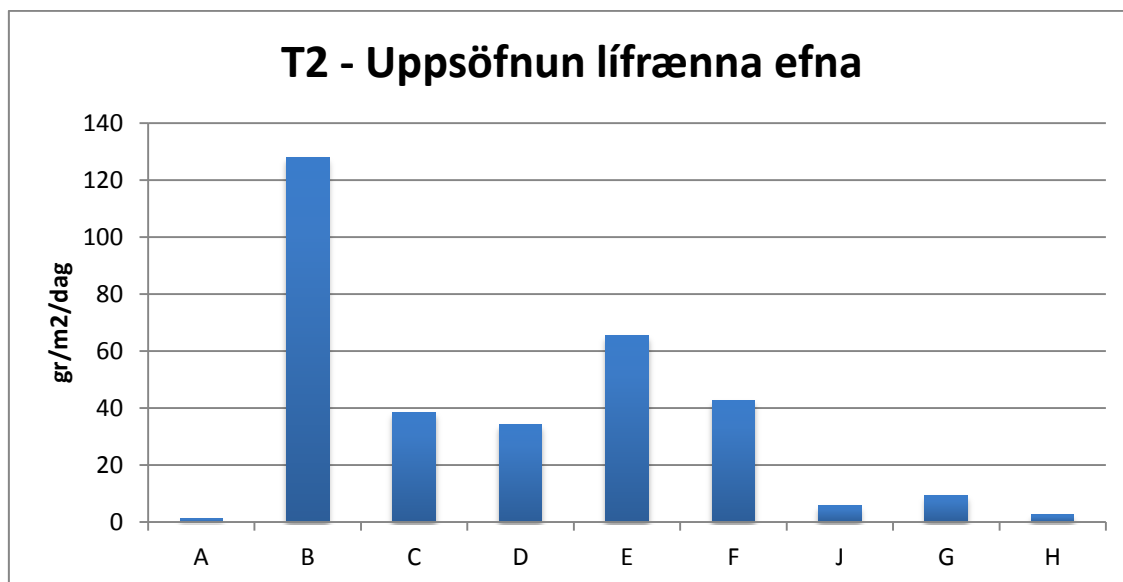
\*Reiknað var út að salt væri u.þ.b. 10,5% af heildarþyngd sýna þetta tímabil (T2)



Mynd 11. Heildarþyngd af innihaldi gilda frá öllum stöðvum annað tímabili sýnatöku eftir þurrkun (dökkt) og magn lífræns efnis (ljóst).



Mesta uppsöfnun lífræns efnis á  $\text{m}^2/\text{dag}$  var á stöð B eða  $128 \text{ gr}/\text{m}^2/\text{dag}$ , en það er jafnframt mesta uppsöfnun sem mældist yfir öll tímabilin. Þar á eftir var mesta uppsöfnun á stöð E eða  $65,5 \text{ gr}/\text{m}^2/\text{dag}$ . Stöð F mældist þriðja mesta uppsöfnunin með  $42,6 \text{ gr}/\text{m}^2/\text{dag}$ , síðan C og D með  $38,7 \text{ gr}/\text{m}^2/\text{dag}$  og  $34,3 \text{ gr}/\text{m}^2/\text{dag}$ . Minnsta uppsöfnun lífræns efnis var á stöð H eða  $2,6 \text{ gr}/\text{m}^2/\text{dag}$  og þar á eftir stöð J með  $5,8 \text{ gr}/\text{m}^2/\text{dag}$  og þriðja minnst á stöð G með  $9,3 \text{ gr}/\text{m}^2/\text{dag}$  (tafla 7, mynd 12).



Mynd 12. Uppsöfnun lífrænna efna á hverri stöð fyrir sig 2. tímabil sýnatöku reiknað í grömmum pr fermeter pr dag.

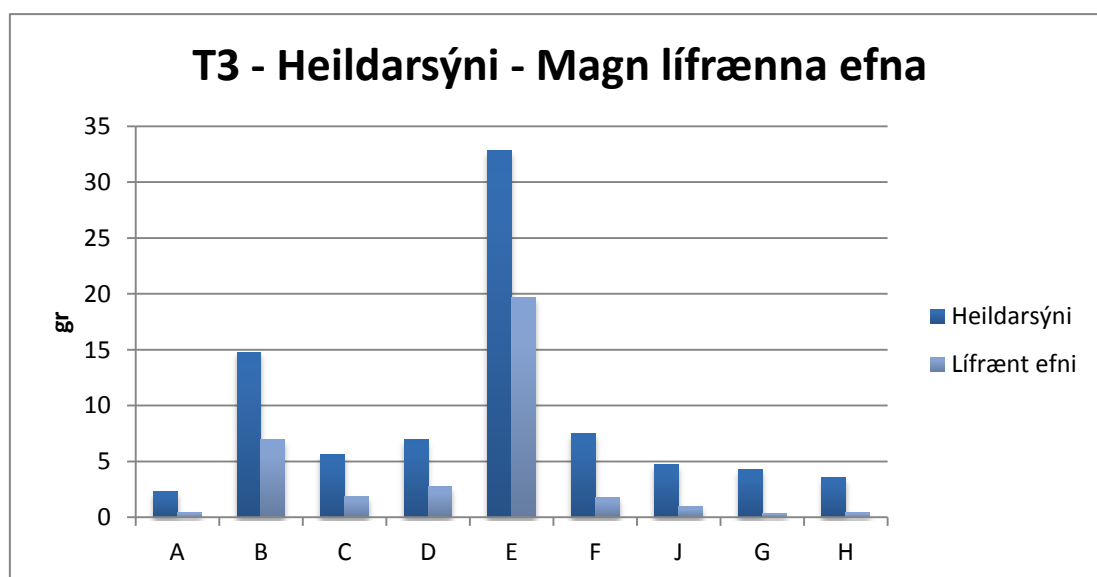
### **Þriðja tímabil (T3)**

Söfnunartímabilið T3 stóð í 28 daga og þá safnaðist mesta botnfallið fyrir á stöð E og þar næst á stöð B. Heildarsýni voru annarsvegar 32,8 gr og hins vegar 14,8 gr. Hlutfall lífræns efnis var hæst á stöð E og næst hæst á stöð B eða 59,9% á móti 47,1%. Minnst safnaðist á stöð H og næst minnst á stöð G og J, annars vegar 3,6 gr og hins vegar 4,3 gr og 4,7 gr. Stöð C fylgdi þar á eftir með 5,6 gr. Stöðvar D og F voru hvor um sig með 7,9 gr og 8,5 gr. (tafla 8, mynd 13). Hlutfall lífræns efnis var hins vegar minnst á stöð G en þar mældist 9,4% lífrænt efni en en 11,9% á stöð H sem mældist með næst minnsta hlutfallið. Þriðja minnsta hlutfallið mældist á stöð J en til samanburðar var viðmiðunarstöðin A með 19% lífrænt efni.

Tafla 8. Heildar þurrvigt úr öllum stöðvum frá 2. tímabili. Lífrænt efni er það sem eyðist við klórun. 28 söfnunardagar, 13.11.1-11.12.12

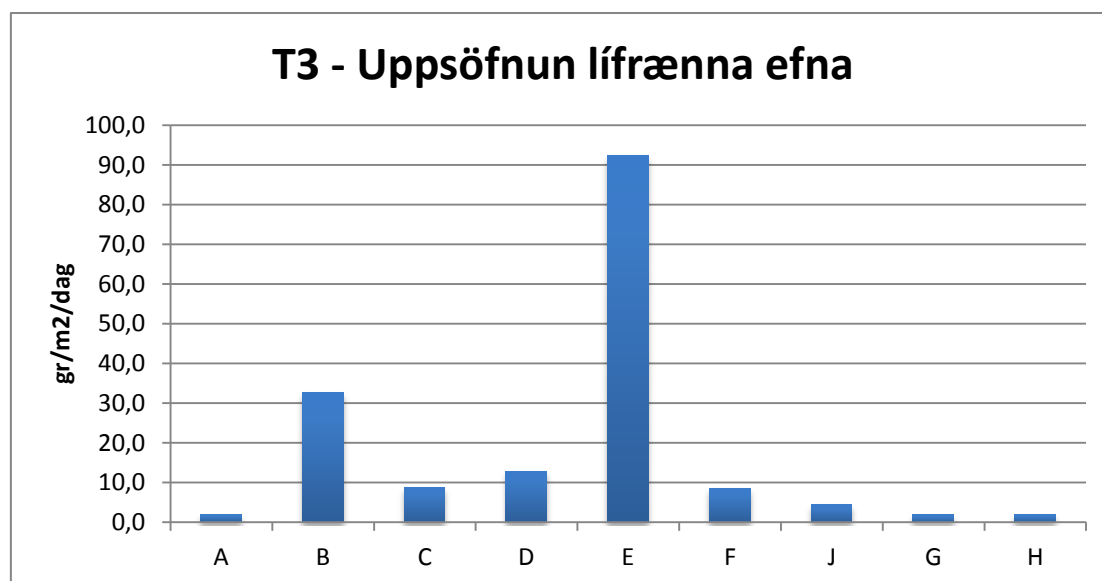
T3 - Niðurstöður						
Stöð	Heildarsýni (gr)			Lífrænt efni		
	Heild	Heild án salts*	Eftir klórun / síun	gr	Hluti %	g/m <sup>2</sup> /dag
A	2,6	2,3	1,9	0,4	19,0%	2,1
B	16,8	14,8	7,8	7,0	47,1%	32,8
C	5,6	5,6	3,7	1,9	33,7%	8,9
D	7,9	6,9	4,2	2,8	39,7%	12,9
E	37,3	32,8	13,1	19,7	59,9%	92,4
F	8,5	7,5	5,7	1,8	24,0%	8,5
J	4,7	4,7	3,8	0,9	19,9%	4,4
G	4,3	4,3	3,9	0,4	9,4%	1,9
H	3,6	3,6	3,2	0,4	11,9%	2,0

\*Reiknað var út að salt væri u.þ.b. 12% af heildarþyngd sýna þetta tímabil (T3)



Mynd 13. Heildarþyngd á innihaldi gilda frá öllum stöðvum á þriðja tímabili sýnatöku eftir burrkun (dökkt) og magn lífræns efnis (líóst).

Mesta uppsöfnun lífræns efnis m<sup>2</sup>/dag mældist á stöð E og þar næst á stöð B með annars vegar 92,4 gr/m<sup>2</sup>/dag og hins vegar 32,8 gr/m<sup>2</sup>/dag. Minnsta uppstöfnun lífræns efnis var á stöð G og þar á eftir stöð H með annars vegar 1,9 gr/m<sup>2</sup>/dag og hins vegar 2,0 gr/m<sup>2</sup>/dag (tafla 8 og mynd 13 og 14). Á fjórum stöðvum (C, J, G og H) var ekkert salt sett í rörin á þessu tímabili.



Mynd 14. Uppsöfnun lífrænna efna á hverri stöð fyrir sig 3. tímabil sýnatöku reiknað í grömmum pr fermetur pr dag.

## Umræður

Rannsóknir með setgildrum til að mæla uppsöfnun lífrænna efna eru nýjar hér á landi og hófust árið 2010 (Allison (2012) (sjá einnig Allison o.fl. 2011). Nýjar aðferðir þarf stundum að heimfæra yfir á aðrar umhverfisaðstæður en þær sem þær voru hannaðar fyrir. Í rannsókn Allison o.fl. (2011) var ekki notað salt í gildrum en það var gert í þessari rannsókn til að sporna við rotnun í gildrunum og fá þannig heildaruppsöfnun. Einnig var vonast til að minna af dýrum mundi sækja í glösin. Þetta virkaði vel nema að mun erfiðara var að vinna sýnin og það þurfti að gera ráð fyrir að eitthvað af salti væri eftir í glösunum. Þessi aðferð hefur verið notuð erlendis og t.d. notuðu Rapp o.fl. (2006) seltu mælir til að fylgjast með saltmagni í sýnum og skoluðu þar til mælirinn gat ekki lengur mælt seltu. Þetta væri hægt að gera fyrir fyrstu þurrkun til að vera viss um að verið sé að vinna með saltlaus sýni. Hér má einnig taka fram að Rapp o.fl. (2006) notuðu alls 1,5 kg af salti í gildru sem átti að vera úti í 1 mánuð en í þessari rannsókn voru notuð 50g og 25g eða um 1,7-3,3% af því magni sem notað var hjá Rapp o.fl. (2006).

Það er vel þekkt að dýr safnist í glösin, bæði lifandi og dauð (t.d. fellur af kvíum). Í þessari rannsókn voru dýrin ekki aðskilin frá heildarsýninu en það hefur verið gert í öðrum rannsóknum (t.d. Morrissey o.fl. 2000, Rapp o.fl. 2006). Í þessari rannsókn var metið að massi dýra í sýnum væri ekki það mikill að hann næði að skekkja niðurstöðurnar að neinu ráði. Ekki er hægt að aðskilja lifandi og dauð dýr en það síðarnefnda er auðvitað hluti af uppsöfnun. Einnig leysast skeljar krabba- og skeldýra ekki upp í klór og mælast því ekki sem lífræn ákoma.

Fyrstu tvö tímabilin (T1 og T2) mældist uppsöfnun lífræns efnis ( $\text{g/m}^2/\text{dag}$ ) minnst á viðmiðunarstöðinni (stöð A) eins og búist var við. Þegar komið er í þriðja tímabilið (T3) mælist hins vegar minnsta uppsöfnunin á stöð G ( $1,9 \text{ g/m}^2/\text{dag}$ ) svo H ( $2,0 \text{ g/m}^2/\text{dag}$ ) og þriðja minnst á stöð A ( $2,1 \text{ g/m}^2/\text{dag}$ ). Eins og sést er hér verið að tala um mjög lítinn mun ( $0,1-0,2 \text{ g}$ ) milli þessara þriggja stöðva. Ástæðan fyrir því að stöðvar G og H sýna minni uppsöfnun en stöð A á T3 er að ekkert salt var sett á stöðvar G og H. Sýnin voru svört og rotlykt fannst af þeim svo greinileg rýrnun hafði orðið á þeim sýnum.

Sé aðeins litið á stöðvar E-H sem liggja frá kví A4 í straumstefnu og út af kvíarsvæðinu (sjá mynd 2) sést að mesta uppsöfnun ( $\text{gr/m}^2/\text{dag}$ ) lífræns efnis verður á stöð E yfir öll tímabilin. Af þessum stöðvum safnast ca. 80-90% af heildaruppsöfnun þessarar stöðva fyrir á stöð E og F (0-20 m frá kví A4). Rannsókn á botnfalli frá sjókvíum sýndi að um 90% af því sem gefið er safnast fyrir innan við 30m frá kvíarsvæði. Þar kom einnig fram að fóðurafgangar frá kvíum sökkva fljótt og næstum lóðrétt niður (Rapp o.fl. 2007) en fleiri rannsóknir hafa einmitt sýnt fram á þetta (t.d. Lee 2006). Úrgangur frá sjálfum fiskunum er þó mun lengur að sökkva en fóður og mun því að öllum líkindum dreifast yfir stærra svæði (Rapp o.fl. 2007, Aguardo-Giménez 2011). Þegar komið er á stöð H, sem er lengst frá kví eða í 117m fjarlægð, er uppsöfnun orðin nálægt því sem er að gerast á stöð A. Á stöð H var þó alltaf að finna krækling en á stöð A fannst aðeins kræklingur á öðru tímabilinu.

Þegar litið er á stöðvar B-D sem liggja frá kví A3 yfir að kví A4 (mynd 2) mælist mesta uppsöfnun í stöð B yfir T2 og T3 en fer hækkandi frá B-D á fyrsta tímabilinu (T1). Miðað við niðurstöður frá Allison o.fl. (2011 og 2012) var við því búist að uppsöfnun yrði mest á stöðvum alveg við kvíar (eins og B og D) en minna á stöð C. Þetta á aðeins við þriðja tímabilið. Þriðja tímabilið var ekki sett salt í gildruna á stöð C svo þar gæti verið að niðurstöður sýni minni uppsöfnun en í raun var vegna rotnunar. En á þessu tímabili (T3) var að finna dýrarestar eða heil dýr (ógreind krabbadýr og ljósátu) á öllum stöðvum sem höfðu verið með salti nema á stöð F (tafla 5). Þetta tímabil var notað helmingi minna salt en hin tímabilin, en þetta gæti verið vísbending um að það hafi ekki verið nægilegt magn til að halda dýrum frá.

Stöð B í T2 fer fram úr öllum stöðvum yfir öll tímabil en þá mælist uppsöfnunin 128  $\text{gr/m}^2/\text{dag}$  samanborið um 30  $\text{gr/m}^2/\text{dag}$  hin tímabili. Á sýninu var fitubræk og fóðupillur sáust greinilega. Í T2 voru nótarveggir og netbotn í kví A3 þvegnir með háþrýstipvottavél neðansjávar. Miklar líkur eru á því að lífrænar restar, s.s. saur, fóðurleifar, gróðurrestar og kræklingur hafi hafnað í setgildru og skýri mjög hátt gildi á lífrænu efni í gildur B á tímabili 2.

Munur á fóðurnotkunn milli kvía var að meðaltali á bilinu 11-16% á fyrstu tveimur tímabilum rannsóknartímans, alltaf með meiri gjöf í kví A4 þar sem að þar var meiri lífmassi. Á þriðja tímabili jókst munurinn á fóðurnotkun og var hún að meðaltali 79% meiri í kví A4 en í kví A3. Þetta má glögglega sjá á stöð E þar sem að uppsöfnun lífræns efnis fer frá rúmlega 60  $\text{g/m}^2/\text{dag}$  í 92  $\text{g/m}^2/\text{dag}$ . En einnig er þekkt að hiti sjávar hefur áhrif á átgetu (matarlyst) og líkamsstarfssemi fiska, en það hægist á hvoru tveggja við lækkaðan sjávarhita (Kvenseth 2013).

Niðurstöður sýna að aðferðir sem notaðar eru í þessari rannsókn, það er að mæla botnfall með setgirdurm, virka vel til að mæla magn og dreifingu botnfalls frá sjókvíum í laxeldi á þessu svæði. Ekkert bendir til að ekki sé hægt að nota þær víða ef ekki á flestum stöðum þar sem sjókvíaeldi er stundað.

Með því að þróa notkun á setgildrum við íslenskar aðstæður og skilgreina mismunandi umhverfisþætti sem geta haft áhrif á niðurstöðurnar gæti þessi tækni orðið mikilvæg við vöktun á umhverfisáhrifum á fiskeldi í sjó hér við land.

## **Þakkir**

Starfsfólk Fjarðalax sá um útsetningu gildra og sýnatöku. Af starfsfólki Náttúrustofu Vestfjarða aðstoðaði Böðvar Þórisson við rannsóknaráætlun, yfirlestur og uppsetningu skýrslu og Nancy Rut Helgadóttir aðstoðaði við úrvinnslu sýna.

## Heimildir

- Aguardo-Giménez F., Piedecausa M.A., Carrasco C., Gutiérrez J.M., Aliaga V., Gracia-Gracia B. 2011. Do benthic biofilters contribute to sustainability and restoration of the benthic environment impacted by offshore cage finfish aquaculture? *Marine Pollution Bulletin* 62 1714-1724
- Aguardo-Giménez F., Piedecausa M.A., Gutiérrez J.M., Gracia-Charton J.A., Belmonte A., Bracia-Gracia B. 2012. Benthic recovery after fish farming cessation: A „beyond-BACI“ approach. *Marine Pollution Bulletin* 64 729-738.
- Allison, Alex. 2012. Organic Accumulation under Salmon Aquaculture Cages in Fossfjörður, Iceland. Mastersritgerð. Háskóli Akureyrar og Háskólasetur Vestfjarða.
- Allison, Alex, Haney, Georg, Jóhannesdóttir Eva D., Helgason, Guðmundur V., Ögmundarson, Ólafur, Pálsson, Jón Ö., Eiríksson, Þorleifur. 2011. Setmyndun undir sjókvíum (Sedimentation processes under sea-cages) - Drög. Náttúrustofa Vestfjarða NV nr. 24-11.
- Brooks, Kenneth M., Stierns, Annette R., Mahnken, Conrad V.W., Blackburn, Dale B. 2003. Chemical and biological remediation of the benthos near Atlantic salmon farms. *Aquaculture* vol 219: 355-377.
- Cromey Chris J., Nickell Thomas D., Black Kenneth D. 2002. DEPOD – modelling the deposition and biological effects of waste solids from marine cage farms. *Aquaculture* 214 211-239.
- Fernandes, T.F., Eleftheriou, A., Ackefors, H., Eleftheriou M., Ervik, A., Sanchez-Mata, A., Swanlon, T., White, P., Cochrane, S., Pearson, T.H., Read, P.A. 2001. The Scientific principles underlying the monitoring of environmental impacts of aquaculture. *Journal of Applied Ichthyology* vol 17: 181-193.
- Findlay, Robert H., Watling, Les. 1997). Prediction of benthic impact for salmon net-pens based on the balance of benthic oxygen supply and demand *Marine Ecology Progress Series* Vol. 155: 147-157.
- Giles, Hilke, Pilditch, Conrad A., Bell, Dudley G. 2006. Sedimentation from mussel (*Perna canaliculus*) culture in the Firth of Thames, New Zealand: Impacts on sediment oxygen and nutrient fluxes. *Aquaculture* 261: 125-140.
- Hall, Per O.J., Anderson, Leif G., Holby, Ola, Kollberg, Sven, Samuelsson, Matts-Ola. 1990. Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm. I. Carbon. *Marine Ecology Progress Series* Vol. 61: 61-73.
- Hargrave, B.T., Phillips, G., Doucette, L., White, M., Milligan, T. Wildish, D., and Cranston, R. 1997. Assessing benthic impacts of organic enrichment from marine aquaculture. *Water Air and Soil Pollution*. Vol: 99 pg. 641-650.
- Henderson, A., Gamito, S., Karakassis, I., Pederson, P., Smaal, A. 2001. Use of hydrodynamic and benthic models for managing environmental impacts of marine aquaculture. *Journal of Applied Ichthyology* vol 17: 163-172.
- Islam, Shahidul Md. 2005. Nitrogen and phosphorus budget in coastal and marine cage aquaculture and impacts of effluent loading on ecosystem: review and analysis towards model development. *Marine Pollution Bulletin* 50: 48-61.
- Jóhannes Briem. 2002. Mælingar á straumum, hita og seltu í Arnarfirði frá 5. júlí til 15. september árið 2001. Hafrannsóknastofnun. Nr. 1/2002. 48 bls.
- Karakassis, Ioannis, Hatziyanni, Eleni, Tsapakis, Manolis, Plaiti, Wanda. 1999. Benthic recovery following cessation of fish farming: a series of successes and catastrophes. *Marine Ecology Progress Series* Vol. 184: 205-218.
- Kvenseth, Per Gunnar 2013. Aquaculture in the cold waters of Iceland, fyrirlestur fluttur á fiskeldisráðstefnu „Fiskeldi í köldum strandsjó Íslands“ á Patreksfirði. Sótt á vef Atvinnuþróunarfélags Vestfjarða þann 25.11.13

- Lee, Han W., Bailay-Brock, Julie, McGurr, Michelle M. 2006. Temporal changes in the polychaete infaunal community surrounding a Hawaiian mariculture operation. *Marine Ecology Progress Series* Vol. 307: 175-185.
- Lin, David T., Bailey-Brock, Julie H. (2008). Partial recovery of infaunal communities during a fallow period at an open-ocean aquaculture. *Marine Ecology Progress Series* Vol. 371: 65-72.
- Morrisey, D.J., Gibbs, M.M., Pickmere, S.E., Cole, R.G. 2000. Predicting impacts and recovery of marine-farm sites in Stewart Island, New Zealand, from the Findlay-Watling model. *Aquaculture* 185: 257-271.
- Nilson, Hans C., Rosenberg, Rutger. 2000. Succession in marine benthic habitats and fauna in response to oxygen deficiency: analysed by sediment profile-imaging and by grab samples. *Marine Ecology Progress Series* Vol 197: 139-149.
- Rapp P., Ramírez W.R., Rivera J. A., Carlo M. and Luciano R. 2007. Measurement of organic loading under an open-ocean aquaculture cage, using sediment traps on the bottom. *Journal of Applied Ichthyology*. Vol: 23 pg. 661-667.
- Sanz-Lázaro, Carlos, Marin, Arnaldo. 2006. Benthic recovery during open sea fish farming abatement in Western Mediterranean, Spain. *Marine Environmental Research* vol 62:374-387.
- Sanz-Lázaro, Carlos, Belando, María Dolores, Marín-Guirao, Lázaro, Navarrete-Mier, Francisco, Marín, Arnaldo. 2011. Relationship between sedimentation rate and benthic impact on Maërk beds derived from fish farming in the Mediterranean. *Marine Environmental Research* vol 71: 22-30.
- Þorleifur Eiríksson, Cristian Gallo, Böðvar Þórisson og Þorleifur Ágústsson. 2009. Breytingar á botndýralífi vegna uppsöfnunar lífrænnna efna frá fiskeldi. Náttúrustofa Vestfjarða NV nr. 3-09.