

HV 2017-035  
ISSN 2298-9137



**HAF- OG VATNARANNSÓKNIR**  
*MARINE AND FRESHWATER RESEARCH IN ICELAND*

Endunýjun næringarefna nærri botni í Arnarfirði og  
Ísafjarðardjúpi

Sólveig R. Ólafsdóttir, Alice Benoit-Cattin og Magnús Danielsen



---

REYKJAVÍK NÓVEMBER 2017

# Endunýjun næringarefna nærri botni í Arnarfirði og Ísafjarðardjúpi

Sólveig R. Ólafsdóttir, Alice Benoit-Cattin og Magnús Danielsen

## Upplýsingablað

<b>Titill:</b> Endurnýjun næringarefna nærri botni í Arnarfirði og Ísafjarðardjúpi		
<b>Höfundar:</b> Sólveig R. Ólafsdóttir, Alice Benoit-Cattin og Magnús Danielsen		
<b>Skýrsla nr.</b> HV 2017-035	<b>Verkefnisstjóri:</b> Sólveig R. Ólafsdóttir	<b>Verknúmer:</b> 9233 (1627)
<b>ISSN nr.</b> 2298-9137	<b>Fjöldi síðna:</b> 13	<b>Útgáfudagur:</b> 13. nóvember 2017
<b>Unnið fyrir:</b> Hafrannsóknastofnun	<b>Dreifing:</b> Opíð	<b>Yfirfarið af:</b> Hafsteinn G. Guðfinsson
<p><b>Ágrip:</b></p> <p><i>Sólveig R. Ólafsdóttir, Alice Benoit-Cattin og Magnús Danielsen. Endurnýjun næringarefna nærri botni í Arnarfirði og Ísafjarðardjúpi. HV 2017-035. Einangrað botnlag myndast neðan þröskuldsdýpis í Arnarfirði snemma sumars. Stöðugt gengur á súrefnisstyrk í því lagi þegar líður á haustið og styrkur næringarefna vex vegna niðurbrots lífræns efnis. Í Arnarfirði mældist styrkur súrefnis niðri við botn á bilinu 165 til 174 <math>\mu\text{mol L}^{-1}</math> en var 210 til 254 <math>\mu\text{mol L}^{-1}</math> í Ísafjarðardjúpi. Styrkur ammóníum mældist allt að 2,6 <math>\mu\text{mol L}^{-1}</math> við botn í Arnarfirði og þar mældist einnig hár styrkur fosfats og kísils. Kísillinn leysist upp við þessar aðstæður og kemst í lausn á ný. Merki voru um að afnítun ætti sér stað í setinu.</i></p> <p><b>Abstract:</b></p> <p><i>Sólveig R. Ólafsdóttir, Alice Benoit-Cattin og Magnús Danielsen. Nutrient regeneration in the bottom layer in Arnarfjörður and Ísafjarðardjúp. HV 2017-035. An isolated bottom layer is formed below threshold depth in Arnarfjörður in early summer. The oxygen concentration in this layer gradually decreases during the course of summer due to remineralisation of decaying organic matter. In Arnarfjörður the observed oxygen concentration close to bottom ranged from 165 to 174 <math>\mu\text{mol L}^{-1}</math> but from 210 to 254 <math>\mu\text{mol L}^{-1}</math> in Ísafjarðardjúp. The ammonium concentration was as high as 2,6 <math>\mu\text{mol L}^{-1}</math> close to the bottom in Arnarfjörður coinciding with elevated concentration of phosphate and silicate. The silicate dissolves from diatom frustules.</i></p>		
<b>Lykilorð:</b> súrefni, næringarefni, endurnýjun		
<b>Undirskrift verkefnisstjóra:</b>	<b>Undirskrift forstöðumanns sviðs:</b>	
		

# Efnisyfirlit

Inngangur.....	1
Aðferðir.....	3
Niðurstöður .....	5
Umræður .....	10
Þakkir .....	12
Heimildir .....	13

## Myndaskrá

<b>1. mynd.</b> Staðsetningar stöðva í Ísafjarðardjúpi og Arnarfirði. ....	3
<b>2. mynd.</b> Samanburður á mældum súrefnisstyrk ( $\mu\text{mól l}^{-1}$ ) með síritandi nema á sondu (ctd O2) annars vegar og hins vegar sýnum sem mæld voru með aðferð Winklers.....	4
<b>3. mynd.</b> Hitastig ( $^{\circ}\text{C}$ ), selta, eðlisþyngd ( $\text{kg m}^{-3} -1000$ ) og súrefnisstyrkur ( $\mu\text{mól L}^{-1}$ ) á mælistöðvum í Arnarfirði (blátt) og Ísafjarðardjúpi (rautt) í september 2016. Samfelldir ferlar með dýpi, mælt með Seabird sondu (CTD) með Seabird súrefnisnema. ....	5
<b>4. mynd.</b> Styrkur næringarefna sem fall af dýpi, nítrat, kísill og fosfat ( $\mu\text{mól L}^{-1}$ ) í Arnarfirði (blátt) og Ísafjarðardjúpi (rautt) í september 2016. ....	7
<b>5. mynd.</b> Styrkur ammoníum og súrefnis ( $\mu\text{mól L}^{-1}$ ) niður við botn á hverri stöð. Botndýpi á stöðvunum í Arnarfirði er á bilinu 47 til 109 m og botndýpi á stöðvunum í Ísafjarðardjúpi er á bilinu 45 til 123 m...8	8
<b>6. mynd.</b> Samband a) nitrats og AOU, b) fosfats og AOU, c) ammóníum og AOU og d) kísils og AOU í Arnarfirði (blátt) og Ísafjarðardjúpi (rautt) í september 2016.....	9
<b>7. mynd.</b> Samband a) nitrats og fosfats, b) kísils og fosfats og c) nitrats og kísils í Arnarfirði (blátt) og Ísafjarðardjúpi (rautt) í september 2016. ....	10

## Töfluskrá

<b>Tafla 1.</b> Nöfn stöðva, söfnunardagur, botndýpi í Arnarfirði og Ísafjarðardjúpi. Staðsetningar stöðva sjást á 1. mynd. Einnig eru sýndar niðurstöður mælinga á hita, seltu, eðlisþyngd ( $\text{sigma th}$ ), súrefnisstyrk, fosfati nitrati, kísli og ammoníum við botn. ....	6
<b>Tafla 2.</b> Vensl styrks næringarefna við AOU í Arnarfirði og Ísafjarðardjúpi.....	9
<b>Tafla 3.</b> Vensl styrks næringarefna í Arnarfirði og Ísafjarðardjúpi.....	10

# Inngangur

Á kaldtempruðum svæðum breytist styrkur næringarefna í yfirborðslögum sjávar reglulega með árstíma og er það afleiðing af bæði lífrænum og eðlisfræðilegum ferlum. Á vorin skapast skilyrði fyrir blóma svifþörungum þegar ljósmagn eykst og lagskipting verður í yfirborði sjávar (Þórunn Þórðardóttir, 1986). Styrkur næringarefna er í hámarki í lok vetrar og minnkar ört að vorlagi við upphaf frumframleiðinnar og að loknum vorblóma svifþörungum er styrkurinn oftast mjög lágur. Styrkurinn helst síðan alla jafna lágur þar til um haustið þegar minnkandi ljósmagn verður takmarkandi fyrir frumframleiðnina. Næringarefni í yfirborðslagi sjávar komast aftur í upplausn við niðurbrot lífræna efna og blöndun við dýpri sjó.

Sjórinn á landgrunninu úti fyrir Vestfjörðum er að mestu leyti Atlantssjór þar sem seltan er fremur há en allra næst landi er ferskvatnsblandaður sjór (strandsjór) þar sem seltan er lægri og breytilegri.

Frumframleiðni hefst í Ísafjarðardjúpi fyrri hluta apríl (Anon, 2017 a) og í Patreksfirði fara svifþörungur einnig að fjölga sér í byrjun apríl (Hafsteinn G. Guðfinnson, óbirt gögn). Í Patreksfirði sást geysimikill toppur í fjölda kísilþörungum í apríl 2009 og sumarið 2008 voru þeir áberandi í svifinu frá apríl og fram í júlí (Anon, 2017 b). Ekki eru til sambærilegar niðurstöður úr Arnarfirði en líklegt er að vorkoma svifsins sé þar með svipuðum hætti.

Eftir vorhámark svifþörunganna í apríl til maí minkaði magn þeirra umtalsvert um tíma bæði í Ísafjarðardjúpi og í Patreksfirði. Mestur var lífmassi (blaðgræna) þörunganna 8-10 mg m<sup>-3</sup>. Er leið á sumarið jókst magn þeirra aftur, lífmassinn var þá í kringum 3 mg m<sup>-3</sup>. Í september minnkaði gróðurmagnið hratt og í október var gróður nauðalítill og varði það ástand til vors. Lóðrétt flæði lífræna efnisagna var mælt í þremur fjörðum á sunnanverðum Vestfjörðum sumarið 2014 og sýndu niðurstöðurnar fremur hátt flæði lífræns kolefnis eða frá 60 til 154 g C m<sup>-2</sup> ár<sup>-1</sup> og að hæst flæði var snemma vors og fram á sumar svo að vortoppur svifþörungum virðist falla fremur hratt til botns (Sólveig R. Ólafsdóttir o.fl., 2015).

Lífræna efnið sem verður til við frumframleiðslu er á endanum brotið niður fyrir tilstuðlan heterótrópískra baktería. Köfnunarefni hefur nokkur ólífræn efnaform sem eru mismikið oxuð. Ammóníum jón (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) er fyrsta uppleysta ólífræna efnasambandið sem myndast við niðurbrot lífræns efnis. Ammóníum oxast svo frekar og myndar fyrst nitrít (NO<sub>2</sub>) og svo nítrat (NO<sub>3</sub>). Nítrat er mest oxaða og stöðugasta ólífræna efnaform köfnunarefnis í sjó. Öll þessi ferli krefjast súrefnis. Fosfór er á hinn bóginn eingöngu til staðar sem orthofosfat, PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>. Uppleystur kísill (Si) er nær eingöngu til staðar í sjó sem kísilsýra á forminu Si(OH)<sub>4</sub>. Það eru nánast eingöngu kísilþörungur sem nýta kísil, til að byggja upp kísilskeljar. Skortur á kísli setur hömlur á vöxt kísilþörungum en þeir eru taldir hafa mikil áhrif á flutning kolefnis úr yfirborðslögum (Dugdale og Goering, 1967, Louanchi og Najjar, 2001), þar sem kísilþörungur eru að jafnaði stórir og sökkva því hratt og flytja þannig lífrænt efni úr yfirborðslaginu. Kísill sem binst í lífverum endurnýjast þannig ekki úr lífrænum vef heldur með uppleysingu á kísilskeljum. Þar sem sjór er ferskvatnsblandaður gætir einnig áhrifa á styrk kísils þar sem aukning verður á styrknum við blöndunina. Sú aukning er þó nær alltaf greinanleg á seltulækkun (Unnsteinn Stefánsson og Jón Ólafsson, 1991).

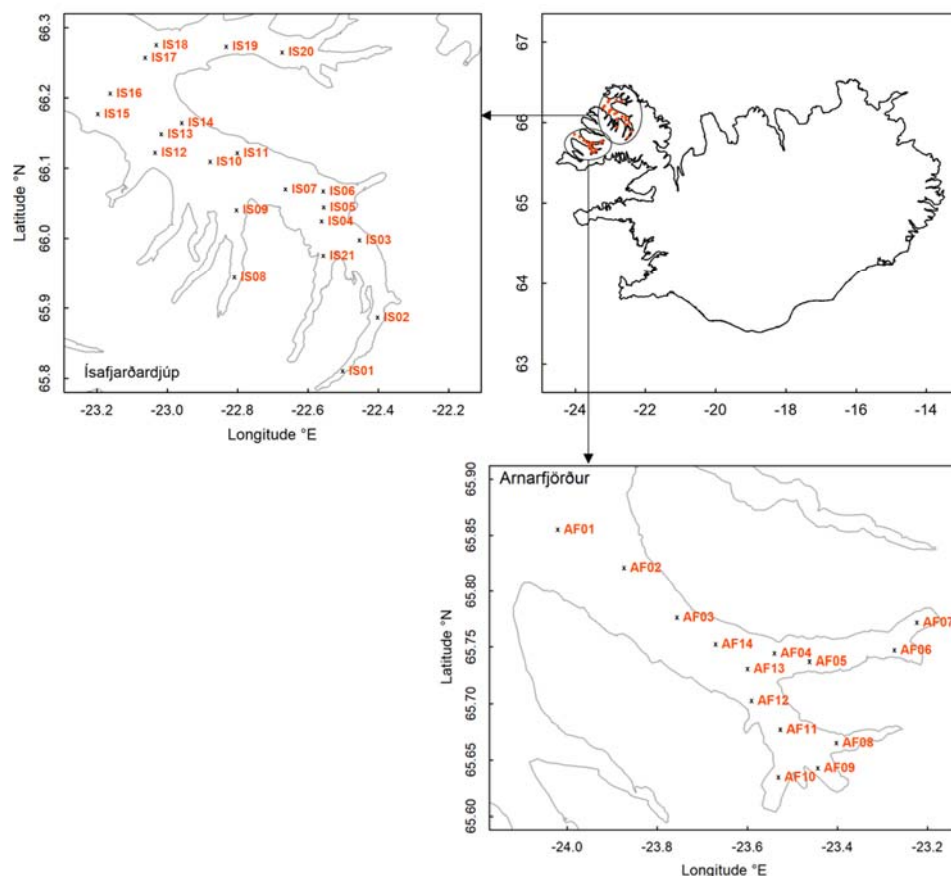
Í Arnarfirði er þröskuldur eða grunn í fjarðarmynninu þar sem er grynna en í firðinum þar fyrir innan. Dýpi í fjarðarmynninu er um 50 m en skammt þar inn af er dýpi um 100 m. Fjörðurinn er nokkuð jafndjúpur um 90-100 m á dýpt en þó liggja fjórir hryggir 20 til 40 m háir þvert á fjörðinn. Mesta dýpi er um 110 m og meira en 100 m dýpi mælist innan við alla hryggina.

Ísafjarðardjúp er einn af stærstu fjörðum Íslands og sá langstærsti á Vestfjörðum. Það er um 75 km langt frá mynni að botni innsta fjarðar, Ísafjarðar og rúmlega 20 km á breidd þar sem það er breiðast. Djúpið mjókkar smám saman eftir því sem innar dregur. Frá mynni Ísafjarðardjúps og inn eftir því gengur áll sem er 110-130 m djúpur en á grunnunum beggja vegna er 40-60 m dýpi.

Vegna ráðgjafar um burðarþol fjarðanna m.t.t. sjókvíaldis hefur Hafrannsóknastofnun á undanförunum árum gert margvíslegar rannsóknir á straumakerfi þeirra og haffræði (Sólveig R. Ólafsdóttir o.fl., 2017). Einn liður í þessari gagnaöflun er aukin vöktun á ástandi sjávar, súrefni og næringarefnum í tegslum við stofnmælinu rækju í Ísafjarðardjúpo og Arnarfirði. Í þessari skýrslu verður gerð grein fyrir niðurstöðum leiðangursins haustið 2016 hvað varðar endurnýjun næringarefna nærri mörkum sets og botnsjávar og súrefnisbúskap fjarðanna.

## Aðferðir

Sýnum var safnað í leiðangri í Arnarfjörð og Ísafjarðardjúp á rannsóknaskipinu Bjarna Sæmundssyni dagana 28 september til 3. október 2016. Alls voru 14 söfnunarstöðvar í Arnarfirði og 21 stöð í Ísafjarðardjúpi. Staðsetningar stöðva eru sýndar á 1. mynd og í töflu 1 eru nánari upplýsingar um sýnasöfnun.



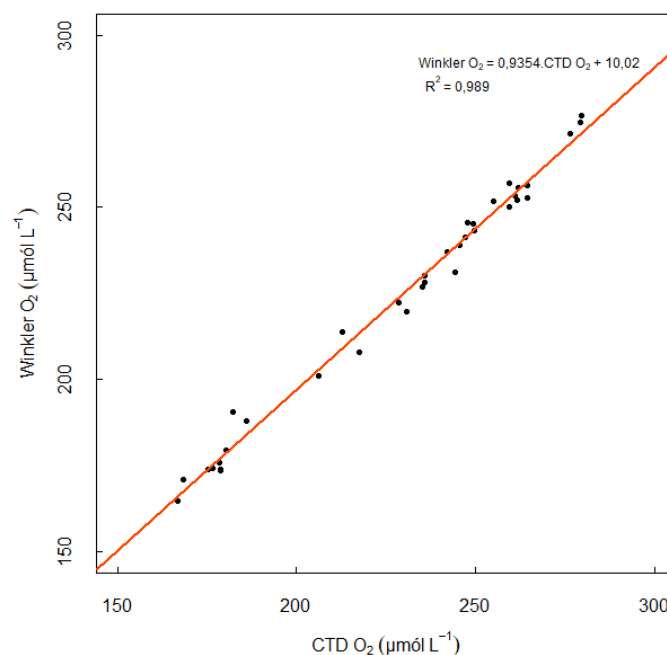
1. mynd. Staðsetningar stöðva í Ísafjarðardjúpi og Arnarfirði.  
**Figure 1.** Positions of stations in Ísafjarðardjúpi og Arnarfirði.

Á öllum stöðvum voru hiti, selta og súrefni mæld í gegnum vatnssúluna með síritandi tæki (SeaBird Electronics SBE 911plus og SBE 13 fyrir súrefni). Sýnum til mælinga á næringarefnunum nítrati og nítríti ( $\text{NO}_3+\text{NO}_2$ ), fosfati ( $\text{PO}_4$ ) og kísli ( $\text{Si}(\text{OH})_4$ ), var safnað á öllum öllum stöðvunum, 3-6 sýnum á hverri stöð

eftir botndýpi. Frá dýpsta söfnunardýpi á hverri stöð voru að auki tekin sýni til mælinga á súrefni ( $O_2$ ), seltu og ammoníum ( $NH_4^+$ ). Niðurstöður og söfnunardýpi eru í töflu 2.

Næringarefnasýnunum var safnað í sýrupvegnaðar polyetylen flöskur (low density polyethylene) sem þvegnaðar voru með þynnri saltsýru og þau fryst. Mælingar voru síðar unnar á Hafrannsóknastofnun eftir stöðluðum aðferðum. Mælt var styrkur nitrats ( $NO_3$ ), fosfats ( $PO_4$ ) og kísils (silikats) ( $Si(OH)_4$ ). Við mælingu á nitrati mælist einnig það nítrít ( $NO_2$ ) sem í sýninu er þannig að í raun er um mælingu á heildar oxuðu köfnunarefni að ræða. Alla jafna er nítrít mjög lítið hlutfall af heildaroxuðu köfnunarefni og því er í umfjöllun einungis rætt um nítat. Næringarefnasýnin voru síuð með Whatman PURADISC sprautufilter til að forðast áhrif frá svifögnum á mælinguna, sérstaklega vegna fosfatmælinganna. Til efnagreininga var notaður Seal autoanalyzer með 3 rásum og samtímis mælt nítat, fosfat og kísill. Aðferðirnar voru samkvæmt Grasshoff (1970), nema fyrir fosfat þar sem notuð var aðferð Murphy & Riley (1962), sem aðlöguð var sjálfvirkum efnagreiningaútbúnaði. Styrkur ammoníum ( $NH_4^+$ ) var mældur með ljósgleypnimælingu með indophenol-blue aðferðinni (Koroleff, 1971) og súrefnisstyrkur í sýnunum var títraður samkvæmt aðferð Winklers (Carpenter, 1965). Nánari lýsingu á aðferðum og gæðaeftirliti við mælingarnar má finna í Sólveig Ólafsdóttir, 2006.

Súrefnisnemanum á sondunni og súrefnissýnunum bar mjög vel saman (2. mynd) en súrefnisneminna gefur þó ætíð til kynna lægri styrk. Samband súrefnis sem mælt var með aðferð Winklers annars vegar og með súrefnisnema hins vegar er línulegt og er fylgnistuðull línunnar er 0,99. Jafna línunnar er:  $WinklerO_2 = 0,935 * CTD O_2 + 10,02$  og var hún notuð til að leiðrétta súrefnisgildin sem mæld voru með súrefnisnemanum.



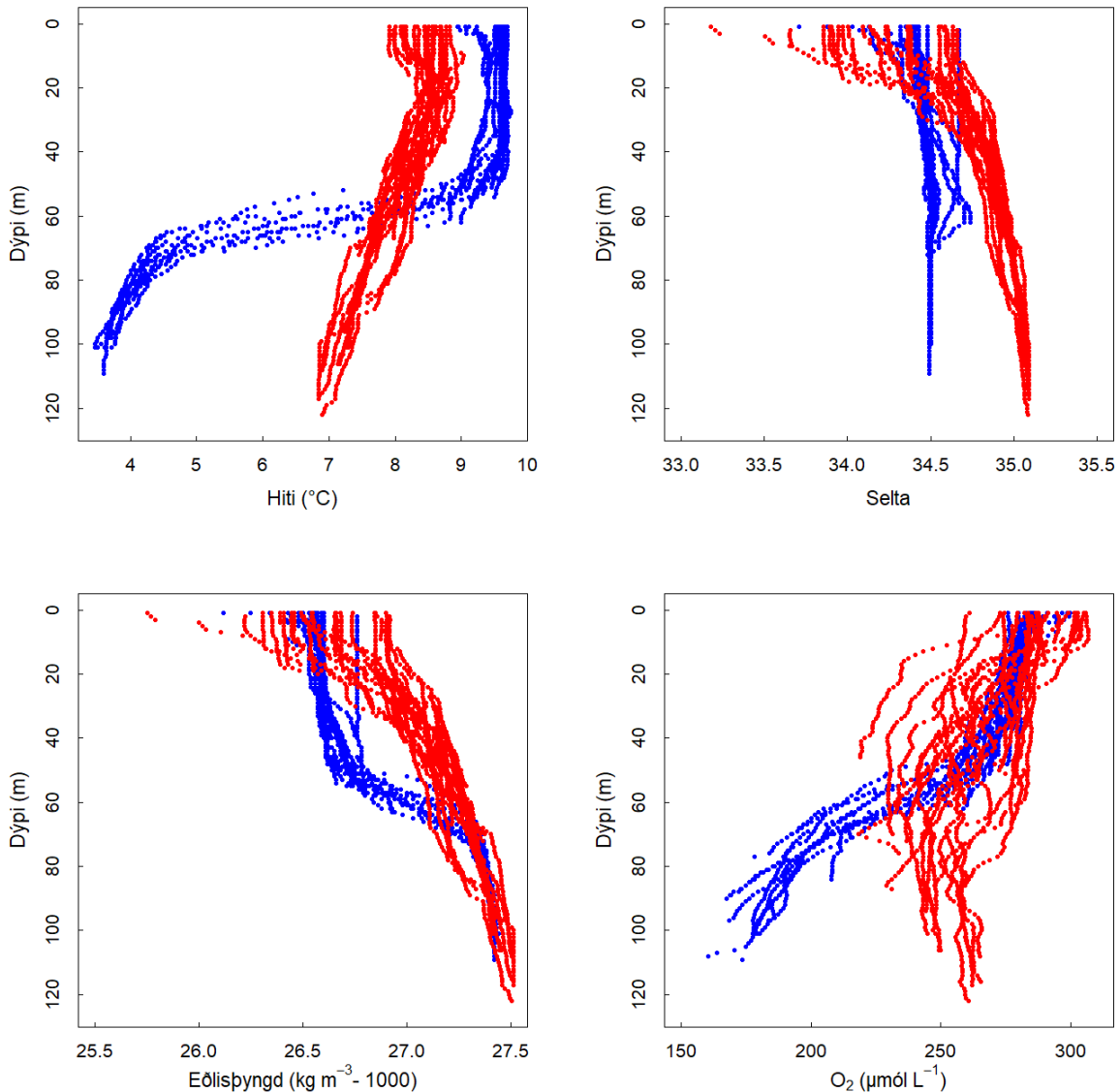
**2. mynd.** Samanburður á mældum súrefnisstyrk ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) með sítandi nema á sondu (ctd O<sub>2</sub>) annars vegar og hins vegar sýnum sem mæld voru með aðferð Winklers.

**Figure 2.** Comparison of oxygen concentration measured with a sensor on the CTD and discrete samples.

Áætluð súrefnisnotkun (AOU) var reiknuð með því að draga mældan súrefnisstyrk frá útreiknuðum mettnarstyrk uppleysts súrefnis. Sumar myndanna í skýrslunni eru unnar með ODV (Schlitzer, 2011).

## Niðurstöður

Niðurstöður eðlis-og efnafræðilegra þátta niðri við botn er að finna í töflu 1. Hitastig í efstu 20 metrunum var um 9,5 °C í Arnarfirði en um 1°C kaldara var í Ísafjarðardjúpi eða 7,9-8,7 °C. Selta sjávarins var breytileg. Fyrir neðan 70 m dýpi var hitastig í Arnarfirði á bilinu 3,5 til 5,6 °C og seltan í kringum 34,5 og lítill stigull var með dýpi. Í Ísafjarðardjúpi var seltan á bilinu 34,86-35,09 fyrir neðan 70 m dýpi og hitinn á bilinu 7,3 til 8,1 °C. Lóðréttir, samfelldir ferlar hita, seltu, eðlismassa og súrefnisstyrks á öllum stöðvum eru sýndir á 3. mynd.



**3. mynd.** Hitastig (°C), selta, eðlisþyngd (kg m<sup>-3</sup> -1000) og súrefnisstyrkur (μmól L<sup>-1</sup>) á mælistöðvum í Arnarfirði (blátt) og Ísafjarðardjúpi (rautt) í september 2016. Samfelldir ferlar með dýpi, mælt með Seabird sondu (CTD) með Seabird súrefnisnema.

**Figure 3.** Temperature (°C), salinity, density (kg m<sup>-3</sup> -1000) and oxygen concentration (μmól L<sup>-1</sup>) in Arnarfjörður (blue) and in Ísafjarðardjúpi (red) in September 2016. Continuous profiles from Seabird CTD and Seabird oxygen sensor are shown.

Lagskipting var að jafnaði sterkari á mælistöðvum í Arnarfirði þar sem munurinn í eðlismassa milli yfirborðs- og botnlags var allt að 0,7 kg m<sup>-3</sup> þar sem hann var mestur. Súrefnisstyrkur var á bilinu 165 til 174 μmól L<sup>-1</sup> fyrir neðan 70 metra dýpi í Arnarfirði sem samsvarar 51-68 % mettnun en á bilinu 210 til 254 μmól L<sup>-1</sup> (77-88 % mettnun) fyrir neðan 70 metra dýpi í Ísafjarðardjúpi. Súrefnisstyrkur var áþekkur



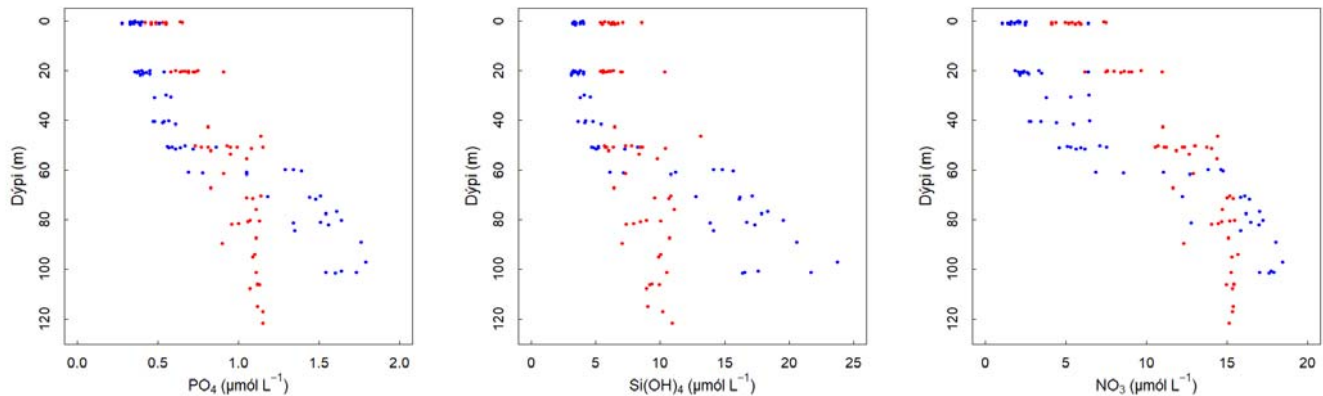
í yfirborðslögum í báðum fjörðum eða um 280  $\mu\text{mol L}^{-1}$  sem er um 100 % metnun og því í jafnvægi við andrúmsloftið. Fyrir neðan yfirborðslagið þá lækkaði súrefnisstyrkur með dýpi en mun meira í Arnarfirði (3. mynd).

**Tafla 1.** Nöfn stöðva, söfnunardagur, botndýpi í Arnarfirði og Ísafjarðardjúpi. Staðsetningar stöðva sjást á 1. mynd. Einnig eru sýndar niðurstöður mælinga á hita, seltu, eðlisþyngd ( $\sigma_t$ ), súrefnisstyrk, fosfati nitrati, kísli og ammoníum við botn.

**Table 1.** Station names, sampling date and bottom depth in Arnarfjörður and Ísafjarðardjúp. The positions of stations are shown in Figure 1. Also shown are the results from analysis of temperature, salinity, density ( $\sigma_t$ ), and concentrations (in  $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) of oxygen, phosphate, nitrate, silicate and ammonium at the bottom.

Stöð	Dags	Botn dýpi (m)	Söfnunar dýpi (m)	Eðlisþyngd ( $\text{kg m}^{-3}$ )	Hiti ( $^{\circ}\text{C}$ )	Selta	O <sub>2</sub> ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ )	NO <sub>3</sub> ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ )	PO <sub>4</sub> ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ )	Si(OH) <sub>4</sub> ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ )
<b>Arnarfjörður</b>										
AF01	29/9	44	39,7	26,76	9,56	34,67	276,71	6,48	0,57	4,19
AF02	29/9	64	60,7	26,91	8,99	34,75	256,93	8,58	0,78	7,16
AF03	29/9	96	96,2	27,41	3,65	34,50	164,92	18,44	1,79	23,72
AF04	1/10	101	100,4	27,43	3,44	34,49	173,52	17,59	1,60	16,38
AF05	1/10	105	99,8	27,42	3,52	34,49	174,03	17,74	1,64	17,59
AF06	1/10	86	83,5	27,37	3,98	34,50	200,95	15,83	1,35	14,15
AF07	1/10	61	60,3	26,98	7,36	34,51	245,50	6,86	0,69	6,08
AF08	28/9	77	75,9	27,38	4,02	34,50	179,49	17,02	1,61	18,33
AF09	28/9	71	69,7	27,36	4,19	34,51	187,86	16,11	1,51	17,12
AF10	28/9	77	76,7	27,37	4,12	34,50	190,74	16,19	1,54	17,87
AF11	28/9	90	88,0	27,41	3,74	34,50	171,06	18,03	1,76	20,60
AF12	28/9	73	70,0	27,22	5,63	34,55	213,91	12,21	1,18	12,75
AF13	28/9	101	100,1	27,41	3,60	34,50	176,00	12,79	1,34	13,89
AF14	28/9	101	100,2	27,40	3,71	34,50	173,89	17,90	1,73	21,69
<b>Ísafjarðardjúp</b>										
IS01	3/10	48	45,9	27,23	7,79	34,90	207,89	14,41	1,14	13,12
IS02	3/10	72	69,7	27,37	7,41	35,02	219,82	15,15	1,14	10,83
IS03	3/10	71	70,9	27,36	7,45	35,01	228,36	15,39	1,09	10,65
IS04	3/10	61	60,8	27,27	7,77	34,94	251,73	12,91	0,91	7,32
IS05	3/10	95	93,1	27,40	7,28	35,05	231,21	15,66	1,10	10,03
IS06	3/10	57	54,9	27,28	7,71	34,97	230,28	14,35	1,05	9,78
IS07	2/10	107	105,1	27,44	7,12	35,06	245,39	14,94	1,12	9,20
IS08	4/10	93	86,3	27,33	7,57	34,99	222,20	15,08	1,11	10,74
IS09	4/10	99	93,9	27,42	7,22	35,05	241,48	15,30	1,09	9,87
IS10	2/10	123	120,5	27,49	6,91	35,08	250,16	15,12	1,15	10,93
IS11	2/10	108	104,9	27,44	7,16	35,05	243,25	15,43	1,13	9,94
IS12	2/10	66	66,4	27,21	7,96	34,93	271,26	11,64	0,83	6,41
IS13	2/10	118	115,9	27,51	6,84	35,09	255,76	15,34	1,15	10,22
IS14	2/10	120	113,7	27,50	6,88	35,09	256,45	15,37	1,12	9,05
IS15	2/10	55	51,7	27,24	7,87	34,94	274,56	11,86	0,83	5,98
IS16	2/10	111	106,7	27,49	6,89	35,09	252,75	15,35	1,07	8,96
IS17	1/10	109	104,9	27,49	6,92	35,08	253,27	15,42	1,12	9,36
IS18	1/10	60	53,1	27,20	8,01	34,91	236,98	12,64	0,95	8,36
IS19	1/10	102	100,2	27,40	7,28	35,04	238,91	15,24	1,11	10,49
IS20	1/10	79	74,9	27,34	7,54	35,00	226,97	14,72	1,11	11,09
IS21	3/10	45	42,1	27,17	8,05	34,89	252,02	11,03	0,81	6,47

Styrkur nitrats, fosfats og kísils var breytilegur með dýpi, 4. mynd. Í Arnarfirði var nítratstyrkur á bilinu 1,1 til 3,5  $\mu\text{mol L}^{-1}$  í efstu 20 metrunum en neðan 70 metra dýpis var hann á bilinu 12,2 til 18,4  $\mu\text{mol L}^{-1}$ . Kísilstyrkur í Arnarfirði var á sama hátt á bilinu 3,1 til 4,1  $\mu\text{mol L}^{-1}$  í efstu metrum sjávarins en á bilinu 12,3 til 24,0  $\mu\text{mol L}^{-1}$  fyrir neðan 70 metra dýpi.



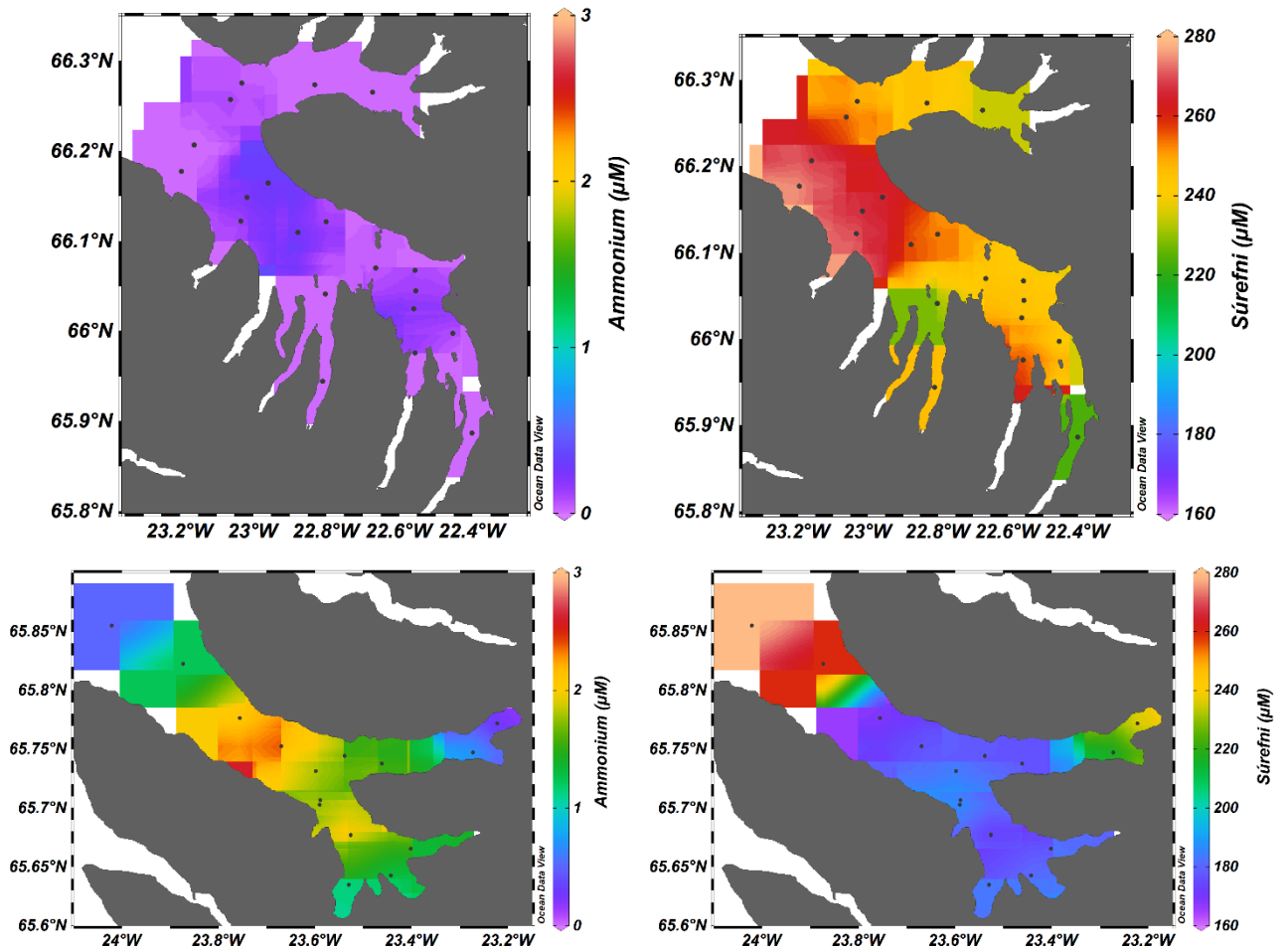
**4. mynd.** Styrkur næringarefna sem fall af dýpi, nítrat, kísill og fosfat ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) í Arnarfirði (blátt) og Ísafjarðardjúpi (rautt) í september 2016.

**Figure 4.** Nutrient concentration as a function of depth, nitrate, silicate and phosphate ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) in Arnarfjörður (blue) and Ísafjarðardjúpi (red) in September 2016.

Styrkur fosfats í Arnarfirði var á bilinu 0,28 til 0,45  $\mu\text{mol L}^{-1}$  í efstu 20 metrum sjávar en á bilinu 1,18 til 1,79  $\mu\text{mol L}^{-1}$  fyrir neðan 70 metra dýpi og líkt og hjá kísli var styrkurinn niður við botn all breytilegur. Á stöðvum AF01 og AF02 í mynni Arnarfjarðar var styrkur og dýptardreifing næringarefna frábrugðin því sem var á stöðvum innar í firðinum þar sem nánast engin breyting var þar á styrknum með dýpi.

Í Ísafjarðardjúpi var meiri breytileiki í styrk næringarefna milli stöðva, en einnig var styrkurinn breytilegur með dýpi þó að munurinn milli efri og neðri hluta vatnssúlunnar væri minni. Í Ísafjarðardjúpi var nítratstyrkur á bilinu 4,1 til 9,7  $\mu\text{mol L}^{-1}$  í efstu 20 metrunum en neðan 70 metra dýpis var hann á bilinu 11,6 til 15,7  $\mu\text{mol L}^{-1}$ . Kísilstyrkur í Ísafjarðardjúpi var á sama hátt á bilinu 5,4 til 7,1  $\mu\text{mol L}^{-1}$  í efstu metrum sjávarins en á bilinu 6,4 til 11,1  $\mu\text{mol L}^{-1}$  fyrir neðan 70 metra. Á 4. mynd er styrkur næringarefna sýndur sem fall af dýpi. Styrkur fosfats í Ísafjarðardjúpi var á bilinu 0,42 til 0,75  $\mu\text{mol L}^{-1}$  í efstu 20 metrum sjávarins en á bilinu 0,83 til 1,15  $\mu\text{mol L}^{-1}$  fyrir neðan 70 metra dýpi og líkt og hjá kísli var styrkurinn niður við botn all breytilegur.

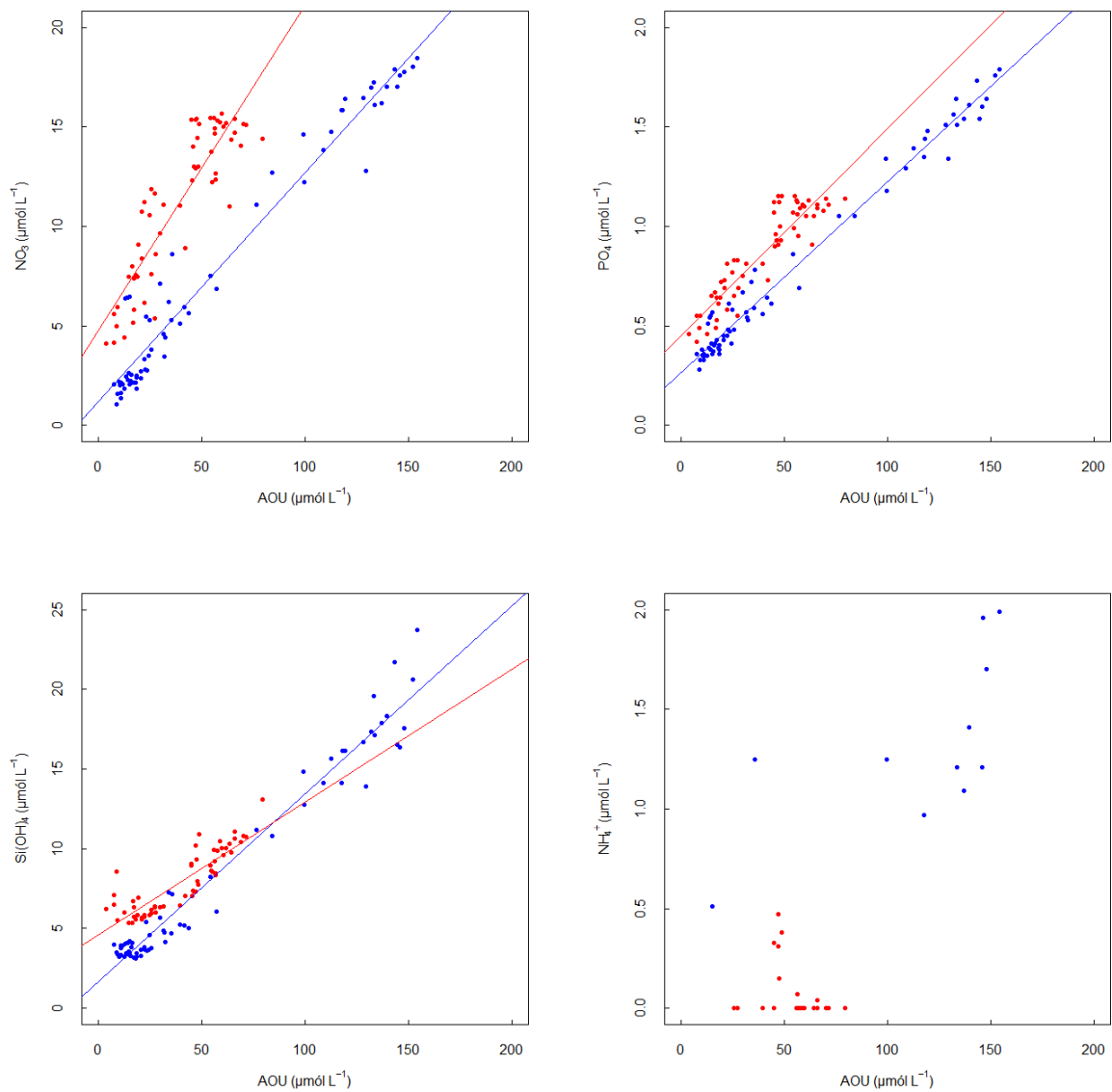
Styrkur ammoníum og súrefnis við botn er sýndur á 5. mynd. Ammóníum var mælt niðri við botn á öllum stöðvum og var styrkur þess lágur eða minni en 0,4  $\mu\text{mol L}^{-1}$  í Ísafjarðardjúpi en mun hærri og breytilegri gildi á styrk ammóníum mældust niðri við botn í Arnarfirði þar sem gildin voru á bilinu 1,0 til 2,6  $\mu\text{mol L}^{-1}$ . Í Ísafjarðardjúpi var styrkur ammoníum og súrefnis niðri við botn ekki tengdur botndýpinu en í Arnarfirði voru tengsl þar á milli þar sem styrkur ammóníum jókst með dýpi en styrkur súrefnis minnkaði.



5. mynd. Styrkur ammoníum og súrefnis ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) niður við botn á hverri stöð. Botndýpi á stöðvunum í Arnarfíði er á bilinu 47 til 109 m og botndýpi á stöðvunum í Ísafjarðardjúpi er á bilinu 45 til 123 m.

**Figure 5.** Concentration of ammonium and oxygen ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) at the bottom on each station. The bottom depth on the stations in Arnarfjörður is from 47 to 109 meters and the bottom depth on the stations in Ísafjarðardjúpi is from 45–123 m.

Styrkur nítrats, fosfats, ammóníum og kísils ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) sem fall af áætlaðri súrefnisnotkun (AOU,  $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) er sýndur á 6. mynd. Línuleg vensl eru á milli styrks allra næringarefnanna við notað súrefni en fylgnin er ætíð betri í Arnarfirði. Í töflu 2 eru jöfnur línanna gefnar.



**6.mynd.** Samband a) nitrats og AOU, b) fosfats og AOU, c) ammóníum og AOU og d) kísils og AOU í Arnarfirði (blátt) og Ísafjarðardjúpi (rautt) í september 2016.

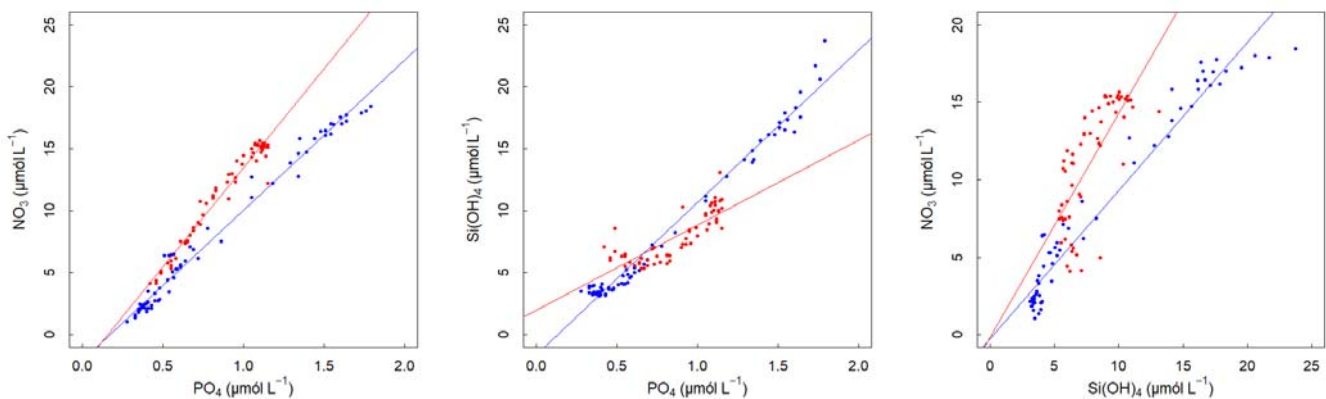
**Figure 6.** The relationship between a) nitrate and AOU, b) phosphate and AOU, c) ammonium and AOU and d) silicate and AOU in Arnarfjörður (blue) and Ísafjarðardjúp (red) in September 2016.

**Tafla 2.** Vensli styrks næringarefna við AOU í Arnarfirði og Ísafjarðardjúpi.

**Table 2.** The relationship between nutrients and AOU in Arnarfjörður and Ísafjarðardjúp.

Arnarfjörður	Ísafjarðardjúp
$[NO_3] = 0,115[AOU] + 1,21 \quad r^2 = 0,95, n = 69$	$[NO_3] = 0,164[AOU] + 4,8 \quad r^2 = 0,77, n = 66$
$[PO_4] = 0,010[AOU] + 0,27 \quad r^2 = 0,98, n = 69$	$[PO_4] = 0,010[AOU] + 0,44 \quad r^2 = 0,83, n = 60$
$[Si(OH)_4] = 0,118[AOU] + 1,64 \quad r^2 = 0,96, n = 69$	$[Si(OH)_4] = 0,08[AOU] + 4,6 \quad r^2 = 0,75, n = 60$

Sambönd nitrats, kísils og fosfats eru sýnd á 7. mynd og jöfnur línanna eru gefnar í töflu 3.



**7.mynd.** Samband a) nitrats og fosfats, b) kísils og fosfats og c) nitrats og kísils í Arnarfirði (blátt) og Ísafjarðardjúpi (rautt) í september 2016.

**Figure 7.** The relationship between a) nitrate and phosphate, b) silicate and phosphate and c) nitrate and silicate in Arnarfjörður (blue) and Ísafjarðardjúpi (red) in September 2016.

**Tafla 3.** Vensl styrks næringarefna í Arnarfirði og Ísafjarðardjúpi.

**Table 3.** The relationship between nutrients in Arnarfjörður and Ísafjarðardjúpi.

Arnarfjörður	Ísafjarðardjúpi
$[NO_3] = 12,1[PO_4] - 2,0 \quad r^2 = 0,98, n = 69$	$[NO_3] = 16,3[PO_4] - 2,7 \quad r^2 = 0,97, n = 59$
$[Si(OH)_4] = 12,3[PO_4] - 1,6 \quad r^2 = 0,98, n = 69$	$[Si(OH)_4] = 6,7[PO_4] + 2,0 \quad r^2 = 0,65, n = 60$
$[NO_3] = 0,96[Si(OH)_4] - 0,24 \quad r^2 = 0,95, n = 69$	$[NO_3] = 1,45[Si(OH)_4] - 0,10 \quad r^2 = 0,55, n = 60$

## Umræður

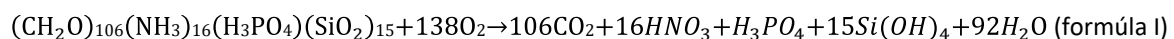
Í Arnarfirði hefur botnlögun áhrif á streymi sjávar inn og út úr firðinum svo og dýptardreifingu sjógerða í honum þegar lagskipting er fyrir hendi, en þá er hita- og seltustigull meiri á skilum milli sjávarlaga (3. mynd). Lagskipting var í Arnarfirði þar sem yfirborðslagið var um 50 m djúpt. Þetta lag er ferskara og heitara en botnlagið. Þetta er í samræmi við fyrri mælingar sem gerðar hafa verið í firðinum (Sólveig R. Ólafsdóttir o.fl., 2017). Hringrás meðalstraumsins er almennt þannig að sjór berst inn í fjörðinn sunnantil og út úr honum norðanverðum. Niðurstöður mælinga með síritandi tækjum á árinu 2014 sýndu að súrefnisstyrkur í botnlagi í Suðurfjörðum Arnarfjarðar lækkaði jafnt og þétt eftir því sem leið á haustið og að síðla hausts verður endurnýjun sjávar í botnlaginu og er hún drifin af blöndun innan og utan fjarðarinnar (Sólveig R. Ólafsdóttir o.fl., 2017). Ljóst er að þetta ferli á sér stað á hverju hausti en hvenær endurnýjunin verður er breytilegt milli ára. Súrefnisnotkun í botnlaginu var um  $36 \mu\text{mol L}^{-1} \text{m}^{-1}$  haustið 2014 sem er í samræmi við þau gildi sem mældust í þessari rannsókn en hæstu gildi AOU voru um  $150 \mu\text{mol L}^{-1}$  og benda til þess að botnlagið hafi einangrast um mánaðamótin maí/júní sé súrefnisnotkunin á dag sambærileg.

Í Ísafjarðardjúpi er mesta dýpi 162 metrar og í mynni þess er þröskuldur með 118 m dýpi. Fyrri rannsóknir benda til að vatnsskipti við fjörðinn séu nokkuð greið og að tenging sé milli djúplags í Ísafjarðardjúpi og dýpri sjávarlaga úti í Djúpál, sem hjálpar til við endurnýjun botnsjávar í Ísafjarðardjúpi (Sólveig R. Ólafsdóttir o.fl., 2017). Athuganir á ástandi sjávar í Ísafjarðardjúpi hafa sýnt að líkt og víðast í sjó við landið er vatnssúlan í Ísafjarðardjúpi nær öll uppblönduð að vetrarlagi (Héðinn Valdimarsson o.fl., 2014). Að vori og sumri myndast heitara og ferskara grunnt yfirborðslag í efstu 20-30 metrum

sjávarins, sem síðan blandast neðri lögum að nýju þegar kólnar og vindar blása að hausti (Steingrímur Jónsson o.fl., 2011 og Sólveig R. Ólafsdóttir o.fl., 2017). Neðan þessa lags, er miðlag þar sem stigull hita og seltu er mun minni en í yfirborðslagi og liggur það yfir botnlagi sem einkennist m.a. af lægri súrefnisgildum. Þetta er í samræmi við niðurstöður úr mælingum haustið 2016 (3. mynd) þar sem nær full metnun var yst í djúpinu sunnarlega en súrefnisstyrkur við botn lækkaði þegar innar dró. Einnig var ekki mikill stigull í súrefnisstyrk með dýpi. Lægstu súrefnisgildin mældust niðri við botn í innfjörðum Ísafjarðardjúps, um 220  $\mu\text{mol L}^{-1}$ .

Niðurstöður setgildrurannsókna í Arnarfirði árið 2014 sýndi að flæði niður að botni er tilltölulega jafnt frá vori og fram á haust og að vortoppurinn er að öllum líkindum fljótur að skila sér niður til botns (Sólveig R. Ólafsdóttir o.fl., 2015). Fyrir neðan þröskuldsdýpi lækkaði styrkur súrefnis með dýpi í Arnarfirði, en í Ísafjarðardjúpi hafði dýpi ekki afgerandi áhrif á súrefnisstyrk. Tvær ystu stöðvarnar í Arnarfirði (AF01 og AF02) eru fyrir utan þröskuldinn og fylgja eiginleikar sjávar þar því ekki sama mynstri og aðrar stöðvar í firðinum. Mismunurinn í eðlisfræðilegum eiginleikum fjarðanna endurspeglast því vel í súrefnisstyrk að haustlagi þar sem mun lægri gildi súrefnis mældust neðan þröskuldsdýpis í Arnarfirði (5. mynd).

Að vorlagi þegar þörungar eru í vexti og hafa enn gnótt næringarefna frá liðnum vetri þá lýsa breytingar á styrk næringarefna og hlutföllum þeirra upptöku við ljóstillífun. Að hausti og síðsumars skipta endurnýjunarferli næringarefnanna við niðurbrot lífræns efnis einnig máli sérstaklega fyrir neðan ljóstillífandi lagið. Fræðileg efnajafna (Redfield, 1934, Brezinski, 1985) fyrir niðurbrot kísilþörungna er:



Styrkur nitrats og fosfats ([NO<sub>3</sub>] og [PO<sub>4</sub>]) í sjó eykst og minnkar að jafnaði í hlutfalli sem er nálægt 16:1. Þetta stafar af því að hlutfall frumefnanna köfnunarefnis (N) og fosfórs (P) í agnabundnu lífrænu efni (lifandi eða dauðum lífverum) í sjó er líka 16:1 (Redfield, 1934, Copin-Montegut og Copin-Montegut, 1983) og vegna þess að ólífrænt N og P losna á mjög líkum hraða úr rotnandi lífrænu efni (Takahashi et al, 1985). Hin sterku línulegu tengsl milli [NO<sub>3</sub>] og [PO<sub>4</sub>] eiga sér þannig stað vegna þess að ljóstillífun og niðurbrot valda breytingum á styrk beggja efnanna, sem lýsa má með línu með hallatölu nálægt 16:1, en valda ekki miklum frávikum frá henni.

Í Ísafjarðardjúpi var hallatalan í línulegri aðhvarfsgreiningu á styrk nitrats á móti styrk fosfats 16,3 sem er mjög nálægt hlutfalli Redfields og mjög áþekkt því sem áður hefur fengist á landgrunninu við Ísland þar sem hallatalan 16,9 (Sólveig R. Ólafsdóttir, 2006).

Í Arnarfirði er hallatalan mun lægri þar sem hlutfallslega minna var af nitrati. Köfnunarefni getur verið á nokkrum efnaformum og hér var einungis mælt heildar uppleyst köfnunarefni eða styrkur nitrats og nitríts ásamt styrk ammóníum. Sé sá hluti köfnunarefnisins sem er á ammóníum formi (þ.e. sem NH<sub>4</sub>) lagður við oxaða köfnunarefnið (nítat og nitrít) þá hækkar hallatalan lítillega en nær þó ekki Redfield hlutfallinu. Á því kunna að vera nokkrar skýringar. Hluti af köfnunarefnisforðanum gæti verið bundinn í lífræn efnasambönd eða að afnítun gæti átt sér stað við þessar aðstæður og botnlögin í Arnarfirði myndu þá vera svelgur (sink) fyrir köfnunarefni. Stærsti hluti þess köfnunarefnis sem er í sjó er á forminu N<sub>2(g)</sub> sem mjög fáar lífverur geta tekið upp. Flestir svifþörungar geta einungis notað afoxuð og oxuð efnaform ólífræns köfnunarefnis svo sem nítat, nitrít og ammoníum sem saman eru kölluð fixerað eða líffræðilega-nýtanlegt köfnunarefni.

Afnítun er ferli sem myndar N<sub>2(g)</sub> úr lífrænum eða ólífrænum efnaformum köfnunarefnis (sem eru nýtanleg f. lífverur) og er ferlið því svelgur/sink fyrir nýtanlegt köfnunarefni. Afnítun á sér stað fyrir tilstuðlan baktería í umhverfi þar sem súrefnisstyrkur er lágur svo sem í hypoxisku eða anoxísku vatni og í seti. Seitzinger og Giblin (1996) komust að þeirri niðurstöðu að afnítun í seti sé stór þáttur í

köfnunarefnishringrás í sjó í N-Atlantshafi og mátu hraða hennar við Ísland sem  $340 \mu\text{mól m}^{-2}\text{d}^{-1}$ . Aðrir höfundar hafa metið afnítturnarhraða sem allt að  $630 \mu\text{mól m}^{-2}\text{d}^{-1}$  við rannsóknir við Grænland og Svalbarða (Gihring o.fl. 2010). Munurinn á styrk nitrats fyrir neðan þröskuldsdýpi í Arnarfirði miðað við styrkinn á sambærilegu dýptarbili í Ísafjarðardjúpi getur skýrst með því að afníturun fjarlægir hluta köfnunarefnisins úr lausn a.m.k ef afníturunarhraði m.v. niðurstöður Seitzinger og Giblin er notaður og gert sé ráð fyrir að botnlagið hafi verið eingangrað í um 120 daga.

Uptaka kísils á sér einungis stað ef kísilþörungur vaxa og talið er að þeir taki upp níturat og kísil í hlutföllunum 1:1 þ.e. ef einungis kísilþörungur vaxa þá séu upptökuhlutföllin  $\Delta\text{N}/\Delta\text{Si}$  1 (Brzezinski, 1985). Oftast eru þó fleiri tegundir þörungur í svifinu og þar sem aðrar tegundir nýta ekki kísil verður upptökuhlutfallið því hærra en 1. Kísill endurnýjast hægar úr lífrænu efni heldur en níturat og fosfat þar sem hann binst í skeljar kísilþörungur. Það ferli er uppleysing en ekki niðurbrot og er hraði uppleysingarinnar háður m.a. hitastigi (Dugdale og Wilkinson, 1998). Samband nitrats og kísils lýsir þannig bæði mismunandi áhrifum lífríkisins á styrk þeirra sem og mismunandi endurnýjunarferlum. Þá er kísilstyrkur í fersku vatni mun hærri en í sjó og seltulækkun er tengist frárennsli frá landi veldur því hækkuðum kísilstyrk eins og sést á gögnum frá stöð IS01 í Ísafjarðardjúpi.

Náin tengsl AOU og  $\text{Si}(\text{OH})_4$  fyrir neðan þröskuldsdýpi í Arnarfirði benda til þess að uppleysing kísils úr skeljum kísilþörungur tengist niðurbroti lífræns efnis á einhvern hátt þó að kísillinn sé ekki bundinn í lífrænt efni. Rannsóknir hafa sýnt að aukin virkni örvera getur aukið á uppleysingu kísils úr kísilskeljum þar sem lífræna himnan sem umlykur skeljarnar hverfur fyrir tilstuðlan örveranna (Bidle og Azam, 1999). Aukning á kísilstyrk var tengd aukningu í styrk fosfórs (7. mynd) sem bendir til að niðurbrot lífræns efnis svo sem úr svifþörungum sé ferli sem tengist uppleysingu kísilsins niður undir botni í Arnarfirði. Sambærilegum ferlum hefur verið lýst annars staðar þar sem botnlag sjávarins einangrast hluta úr ári (Abe o.fl., 2017) sem og í hafinu norður af Síberíu (Anderson o.fl., 2017).

Samkvæmt formúlu I er hlutfallið á milli endurnýjaðs  $\text{Si}(\text{OH})_4$  og notaðs súrefnis 0,11 (mól/mól) en niðurstöðurnar í Arnarfirði voru 0,115 og í Ísafjarðardjúpi 0,164. Fyrir Arnarfjörð er þannig mjög gott samræmi milli Redfield/Brzezinski hlutfalla og niðurstaðanna sem gæti skýrst af lítilli blöndun við annan sjó og afskaplega takmörkuðum loftskiptum.

Sökum áhrifa frá landi eða athöfnum manna hefur fjölgað þeim strandsvæðum þar sem lág súrefnisgildi finnast einhvern tíma ársins (Levin o.fl., 2009). Sýnt hefur verið fram á að þegar súrefnisstyrkur fer niður fyrir um  $130 \mu\text{mól L}^{-1}$  getur það haft áhrif á lífverur þó að þær séu misvel í stakk búna til að bregðast við aðstæðunum (Levin o.fl., 2009). Við Noreg hafa rannsóknir sýnt fram á að við súrefnisstyrk minni en um  $130\text{-}160 \mu\text{mól L}^{-1}$  fari tegundafjölbreytileiki botndýra minnkandi (Buhl-Mortensen o.fl., 2006). Í rannsókn á frjósemi rækju í fjörðum við Ísland kom í ljós að frjósemi hennar var lægri í Arnarfirði en annars staðar (Ingibjörg Jónsdóttir og Anika Gunnlaugsdóttir, 2017). Lækkandi súrefnisstyrkur táknar minnkandi vatnsgæði fyrir flestar lífverur. Aukið niðurbrot lífræns efnis, t.d. vegna fiskeldis, eykur á súrefnisnotkunina svo að álag á vistkerfið mun aukast með vaxandi starfsemi af því tagi.

## Þakkir

Við samstarfsmönnum í sjófræðiteymi Hafrannsóknastofnunar fyrir veitta aðstoð. Jón Ólafsson og Hafsteinn G. Guðfinnsson lásu yfir handritið og færðu margt til betri vegar.

## Heimildir

- Abe, K., Abo, K., og Tsujino, M. (2017). Si(OH)<sub>4</sub>-AOU characteristics in the bottom water of Seto Inland Sea, Japan, in summer. *Regional Studies in Marine Science* 13 (2017) 64-70.
- Anderson, L. G., Ek, J., Ericson, Y., Humborg, C., Semiletov, I., Sundbom, M., and Ulfsbo, A. (2017). Export of calcium carbonate corrosive waters from the East Siberian Sea, *Biogeosciences*, 14, 1811-1823, <https://doi.org/10.5194/bg-14-1811-2017>.
- Anon. (2017a). Hafrannsóknastofnun, firðir og grunnsævi. Sótt af <http://firdir.hafro.is/firdir-a-island/vestfirdir/isafjardardjup/lif/#tab4> (Skoðað 24.8.2017).
- Anon. (2017b). Hafrannsóknastofnun, firðir og grunnsævi. Sótt <http://firdir.hafro.is/firdir-a-island/vestfirdir/patreksfjordur/lif/#tab4> (Skoðað 24.8.2017).
- Biidle, K.D. og Azam, F. (1999). Accelerated dissolution of diatom silica by marine bacterial assemblages. *Nature* 397, 508-512.
- Brzezinski, M.A. (1985). The Si:C:N ratio of marine diatoms: interspecific variability and the effect of some environmental variables. *Journal of Phycology* 21, 347-357.
- Buhl-Mortensen, L. Aure, J. Alve, E., Oug, E. & Husum K. (2006). *Effects of hypoxia on fjordfauna: The bottomfauna and environment in fjords on the Skagerrak coast*. Fisker og Havet 3:108 p.
- Carpenter, J. H. (1965). The Chesapeake Bay Institute Technique for the Winkler oxygen method, *Limnology and Oceanography*, 10, 141-143.
- Copin-Montegut, C. og Copin-Montegut, G. (1983). Stoichiometry of carbon, nitrogen and phosphorous in marine particulate matter. *Deep-Sea Research* 30, 31-46.
- Dugdale, R.C. og Goering, J.J. (1967). Uptake of new and regenerated forms of nitrogen in primary productivity. *Limnology and Oceanography* 12, 196-206.
- Dugdale, Richard C. og Wilkerson, Frances P. (1998). Silicate regulation of new production in the equatorial Pacific upwelling. *Nature* 391, 270-273 (15 January 1998).
- Gihring Thomas M., Lavik Gaute, Kuypers Marcel M. M., Kostka Joel E. (2010). Direct determination of nitrogen cycling rates and pathways in Arctic fjord sediments (Svalbard, Norway), *Limnology and Oceanography*, 55, doi: 10.4319/lo.2010.55.2.0740.
- Grasshoff, K. (1970). A simultaneous multiple channel system for nutrient analysis in seawater with analog and digital data record. *Technicon Quarterly*, 3: 7-17.
- Héðinn Valdimarsson, Andreas Macrander og Magnús Danielsen. (2014). *Straummælingar í Ísafjarðardjúpi 2012 til 2013*. Hafrannsóknastofnun.
- Ingibjörg Jónsdóttir og Anika K. Guðlaugsdóttir. (2017). *Frjósemi rækju*. Haf- og vatnarannsóknir 2017-026.
- Jickells, T.D. (1998). Nutrient Biogeochemistry of the Coastal Zone. *Science* 281, 217-222.
- Koroleff, F. (1970). Direct determination of ammonia in natural waters as indophenol blue. *ICES Interlaboratory Report* 3: 19-22.
- Levin, L. A., Ekau, W., Gooday, A. J., Jorissen, F., Middelburg, J.J., Naqvi, W., Neira, C., Rabalais, N. N., and Zhang, J. (2009). Effects of natural and human-induced hypoxia on coastal benthos, *Biogeosciences Discuss.*, 6, 3563–3654, <http://www.biogeosciences-discuss.net/6/3563/2009>.
- Louanchi, F. og Najjar, R.G. (2001). Annual cycles of nutrients and oxygen in the upper layers of the North Atlantic Ocean. *Deep-Sea Research II* 48, 2155-2171.
- Murphy, J. and Riley, J.P. (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytical Chimica Acta*, 27: 31-36.
- Redfield, A.C. (1934). On the proportions of organic derivatives in sea water and their relation to the composition of plankton. *James Johnstone Memorial Volume, Liverpool*, pp. 176-192.
- Schlitzer, R. (2011). *Ocean Data View*, <http://odv.awi.de>.
- Seitzinger, S.P. og Giblin, A.E. (1996). Estimating denitrification in the North Atlantic continental shelf sediments. *Biogeochemistry*, 35, 235-260.



- Sólveig R. Ólafsdóttir. (2006). *Styrkur næringarefna í hafinu umhverfis Ísland*. Fjölrit Hafrannsóknastofnunarinnar nr. 122. Reykjavík 2006. 24 s.
- Sólveig R. Ólafsdóttir, Alice Benoit-Cattin og Jón Örn Pálsson. (2015). *Mæling á náttúrulegri ákomu lífræns efnis í Arnarfirði, Patreksfirði og Tálknafirði / Flux of organic matter in Arnarfjörður, Patreksfjörður and Tálknafjörður*. Í þættir úr vistfræði sjávar 2014. Fjölrit Hafrannsóknastofnunarinnar nr. 181.
- Sólveig R. Ólafsdóttir, Héðinn Valdimarsson, Andreas Macrander og Hafsteinn G. Guðfinnsson. (2017). *Burðarþol íslenskra fjarða, lokaskýrsla AVS verkefnis*. Haf og vatnarannsóknir 37-2017.
- Steingrímur Jónsson, Héðinn Valdimarsson og Hjalti Karlsson. (2011). *Straummælingar og mælingar á ástandi sjávar í Ísafjarðardjúpi 2011*. Hafrannsóknastofnunin.
- Takahashi, T., Broecker, W.S. og Langer, S. (1985). Redfield ratio based on chemical data from isopycnal surfaces. *Journal of Geophysical Research* 90, 6907-6924.
- Unnsteinn Stefánsson og Jón Ólafsson. (1991). Nutrients and fertility of Icelandic waters. *Rit Fiskideildar*, 12 (3):1-56.
- Þórunn Þórðardóttir. (1986). Timing and duration of spring blooming south and southwest of Iceland. Í Skreslet, S., (ritstj): *The Role of Freshwater Outflow in Coastal Marine Ecosystems*. NATO ASI Series G, Vol 7, Springer Verlag, Berlin, pp. 345-360.



# HAFRANNSÓKNASTOFNUN

Rannsókn- og ráðgjafarstofnun hafs og vatna