

NMÍ 15-02, 15-03 og 15-04
Verknúmer 6EM08081

Viðtakarannsóknir 2011: Setgildirur, kræklingur og sjór

Guðjón Atli Auðunsson
Apríl-Maí 2015



Nýsköpunarmiðstöð
Íslands



Orkuveita
Reykjavíkur

Efnisyfirlit: þrjár skýrslur

Viðtakarannsóknir 2011: setgildirur	3
Viðtakarannsóknir 2011: kræklingur	36
Viðtakarannsóknir 2011: sjór	92

NMÍ 15-02
Verknúmer 6EM08081

Viðtakarannsóknir 2011: Setgildirur

Guðjón Atli Auðunsson
Apríl 2015



Nýsköpunarmiðstöð
Íslands

Efnisyfirlit

Ágrip	2
1 Inngangur	3
1.1 Fyrri rannsóknir á seti á Sundunum	3
1.2 Afdrif agna úr frárennsli í viðtaka: vökvaknúin hreyfing agna	4
2 Hönnun rannsóknar og framkvæmd	8
3 Niðurstöður og umræða	12
3.1 Setflæði og meginefnaþættir	12
3.2 Ólífræn snefilefni	21
4 Helstu niðurstöður, ágrip	30
5 Heimildir	31

Ágrip

Fjallað er um vökvaknúna hreyfingar agna úr fráveituvatni á Sundunum og er niðurstaðan sú að út frá reynslulíkingum megi draga þá ályktun að afar ólíklegt sé að agnir úr skólpi munu falla niður á botn í viðtaka. Þetta gerir m.a. það að verkum að þess er ekki að vænta að sjór niður við set og því síður ofar í vatnssúlunni verði súrefnissnauður vegna agna fráveituvatnsins því þær munu hratt flytjast burt af svæðunum þó það gerist hægar en fyrir uppleyst efni úr fráveituvatni.

Út frá mesta flæði svifagna og lífvera niður á setið eins og það mælist með setgildrum yfir þann tíma ársins sem minnst hreyfing er á setinu og ölduhreyfing minnst, þá má draga þá ályktun út frá reynslulíkingum og straumrannsóknnum að hreyfing sjávar muni ávallt sjá setinu fyrir nægu súrefni til að sundra þessu lífræna efni án þess að lækkun verði í súrefnisstyrk niður við botn.

Niðurstöður mælinga á næringarefnunum köfnunarefni og fosfór auk niðurstaðna fyrir lífrænt kolefni í setgildruefni, fyrir og eftir losun, sýna að losun hefur óveruleg áhrif en ekki er unnt að sjá aukna ákomu lífrænna efna eða næringarefna í setgildrum þó þær séu næst dreifistútum fráveituvatnsins. Þessar niðurstöður staðfesta ályktanir um að skolpagnir muni ekki setjast niður á setið. Hins vegar sýna mælingar á þungri samsætu kolefnis ($\delta^{13}\text{C}$) að greina má áhrif losunar fráveituvatnsins við svæðin næst dreifistútum. $\delta^{15}\text{N}$ hentar hins vegar ekki sem bendiefni á fráveituvatnið vegna mikilla þynninga, þ.e. viðtaki verður fyrir óverulegum áhrifum. Vistkerfinu stafar hins vegar ekki hætta af þessu heldur virðist $\delta^{13}\text{C}$ vera hentugt bendiefni á fráveituvatn eða vatn af landrænum uppruna. Frekari hreinsun hefði ekki eða mjög óveruleg áhrif á þessa mælistærð.

Öll ólífræn snefilefni rannsóknarinnar utan silfurs voru í styrk sem skýra má með náttúrulegum ferlum sem fráveituvatnið hefur ekki áhrif á. Silfur fylgir hins vegar lífrænu efni og sýnir nokkuð góða tilhneigingu í þá veru að hækka með lægra gildi á $\delta^{13}\text{C}$ eins og við er að búast ef lífræna efnið er undir áhrifum fráveituvatns. Þetta þýðir ekki að lífrænt efni úr skólpi hafi sest til á botni heldur annað tveggja, að lífrænar agnir hafi verið fangaðar í gildrunar og/eða lífverur hafi tekið í sig silfur og síðan fangaðar í gildrum (en lífmögnun getur verið mikil á silfri). Um mjög lága styrki er að ræða sem ekki veldur vistkerfinu hættu enda vel undir lægri umhverfisviðmiðunargildi á silfri. Ekki er unnt að fullyrða um afdrif silfurs við frekari hreinsun fráveituvatns en reikna má með að hún gæti skilað lægri styrk með samfellingu í settökum. Silfur er eina ólífræna snefilefnið sem hefur mátt tengja fráveituvatni við rannsóknir á kræklingi á Sundunum en áhrifa þess gætir mun minna nú en áður en losun hófst.

1 Inngangur

Í samræmi við starfsleyfi Orkuveitu Reykjavíkur fyrir fráveitukerfi Reykjavíkur og nágrannasveitarfélaga fóru fram rannsóknir á seti með setgildrum í viðtaka fráveituvatns frá hreinsistöðvunum við Ánanaust og Klettagarða. Sýnataka fór fram árið 2011. Rannsóknirnar eru liður í viðtækum viðtakarannsóknum en auk setrannsókna fóru fram hafefnafræðilegar rannsóknir á svæðinu og kræklingarannsóknir. Allar þessar rannsóknir hófust sumarið 2008 en vegna mikillar umferðar báta og skipa á svæðinu misfórust lagnir fyrir set og krækling það árið.

Um helmingur lífræns efnis sem fer frá hreinsistöðvunum við Ánanaust og Klettagarða eru á agnaformi (Guðjón Atli Auðunsson 2000; Guðjón Atli Auðunsson 2002). Erlendar rannsóknir sýna stærra hlutfall eða um 3/4 í óhreinsuðu fráveituvatni (Sadecka *et al.*, 2013). Séu líkur á að lífrænar agnir setjist á botn, jafnvel aðeins tímabundið, getur það bæði valdið súrefnislökkun og síðar súrefnisfirrð. Þar sem agnirnar innihalda að jafnaði háan styrk mengunarefna getur fall þeirra á botn einnig valdið uppsöfnun mengunarefna í lífverum botnsins. Næringarefnaofauðgun vegna aukinnar næringarefnaákomu úr t.d. skolpi getur haft áþekk áhrif sé hún til staðar því hún veldur vexti þörunga, sem falla niður á botn, rotna, og geta því einnig valdið lökkun í súrefnisstyrk og að lokum súrefnisfirrð þegar sjórinn nær ekki að fæða setið með súrefni sem ákoma lífræns efnis krefst. Við lökkun í súrefnisstyrk niður við botn eða í vatnsbolnum verður vistkerfið fyrst tegundafærra og við mjög lækkaðan súrefnisstyrk eða langvarandi súrefnisfirrð, kemur til almennur dauði lífvera utan örvera sem þrífast við slík skilyrði.

Tilskipun ráðsins um losun fráveituvatns frá þéttbýli (Dir. 271/1991) leggur megináherslu á að losunin valdi ekki næringarofauðgun og súrefnissnauðum sjó eða jafnvel súrefnisfirrð, ella skilgreinist viðtaki sem viðkvæmur. Viðtaki frárennslis frá Ánanaustum og Klettagörðum er skilgreindur sem síður viðkvæmur þar sem litlar sem engar líkur eru taldar á að næringarefnaofauðgun eða að hröð lífræn rotnun á botni geti átt sér stað (Guðjón Atli Auðunsson 2006). Enn fremur hafa fyrri rannsóknir einnig sýnt að frekari hreinsun fráveituvatns muni ekki leiða til umhverfisbætandi áhrifa. Vöktun viðtaka felur m.a. í sér að gera grein fyrir því hvort þessi skilgreining haldi enda kveður Reglugerð um fráveitur á um að endurmat fari fram á fjögurra ára fresti (Reglugerð um fráveitur og skólp nr 798/1999).

1.1 Fyrri rannsóknir á seti á Sundunum

1995-1996 fóru fram setrannsóknir á fyrirhuguðu losunarsvæði hreinsistöðvarinnar við Ánanaust og 1998-1999 fór fram rannsókn á fyrirhuguðu losunarsvæði hreinsistöðvarinnar við Klettagarða (Guðjón Atli Auðunsson 2001). Samsvarandi rannsókn fór fram undan Ánanaustum 2000-2001 eftir að losun hófst þar í byrjun árs 1998 (Guðjón Atli Auðunsson 2005). Helstu niðurstöður þessara rannsókna eru eftirfarandi:

- a) Setmyndun á báðum losunarsvæðunum er mjög hæg og líkist hraða setmyndunar á úthafsbotni. Sethraðinn er 0,03-0,1 mm/ár síðustu 8-10 þúsund árin eða u.þ.b. 45-150 g/m²/ár. Gera má ráð fyrir u.þ.b. 0,5% lífræns kolefnis djúpt í setinu en af því má draga þá ályktun að minna en 0,2 % af heildarfrumframleiðni þörunga í vatnssúlunni urðist í setinu en það er ákaflega lítil stærð. Af þessum sökum verður að notast við setgildir til að fanga það efni sem er í lóðréttu flæði á svæðunum.
- b) Ölduhæð ræður langmestu um setflæðið en það er í réttu hlutfalli við ölduhæð í þriðja veldi og þ.a.l. vindhraða í sjötta veldi. Af þessum sökum má draga þá ályktun að

meginhluti flæðiefnanna komi til vegna rofs á botni þar sem alda hrærir upp í setinu (veldur hreyfingu í tvær áttir í hverri bylgju) en sjávarfallastraumar og stöðugi straumurinn flytji það í burtu.

- c) Lífræni hluti setefnanna í gildrunum fylgir fínefni í gildrunum ($<63\mu\text{m}$) sem rétt hlutfall en það þýðir að aðallega er um smáar og léttar agnir að ræða.
- d) Lífræni hluti setgildruefnanna hefur að langstærstum hluta verið af náttúrulegum og hafrænum toga, þ.e. ekki hefur verið unnt að greina lífrænar skolpagnir í setefninu. Um sömu samsetningu lífræns efnis er að ræða allt árið um kring, óháð setflæði.
- e) Ólífræn snefilefni mælast í sama styrk í setgildruefnunum og í ómengudu seti við Ísland.
- f) Mat á ákomu lífrænna agna úr fráveituvatninu á botn (versta sviðsmynd, mesti fallhraði agna í kyrrum sjó) og þ.a.l. súrefnisþarfar, og mat á flæði súrefnis niður í setið fyrir áhrif strauma (sjávarföll eingöngu), sýnir að svo gott sem engar líkur eru á að áhrifa gæti gætt á vistkerfi botns og sjávarins við botn vegna losunar fráveituvatnsins.

1.2 Afdrif agna úr frárennsli í viðtaka: vökvaknúin hreyfing agna

Eðliseiginleikar skolpagna

Það er ástæða til að skoða nánar hvað setflutningafræði geta sagt til um afdrif lífrænna agna í sjó en lífrænn hluti skolpagna er yfirleitt um 80 % (Guðjón Atli Auðunsson 2000; Guðjón Atli Auðunsson 2002). Til að það sé unnt þurfa upplýsingar að liggja fyrir um stærðardreifingu, eðlisþyngd og fallhraða skolpagna. Baker *et al.* (1995) sýndu fram á að eftir eins þreps hreinsun félli aðeins 22 % agna skolpsins til botns í kyrrum sjó og að 90 % agnanna væri minni en 80 μm að þvermáli auk þess sem mesti mældi fallhraði í kyrrum sjó væri 10,7 m/klst (3,0 mm/s). Rannsóknin var gerð í þynningum sem kom í veg fyrir hnötun (flocculation) en upphafsþynning skólps á Sundunum nær slíkri þynningu (þ.e. svifagnir $<7\text{ mg/L}$) mjög fljótt eða nær samstundis. Þessi fallhraði er í samræmi við rannsóknir Lavelle *et al.* (1988) en mesti fallhraði, sem þeir mældu var einnig 3 mm/s. Þessi mesti fallhraði samsvarar ögn að stærðinni rúmlega 100 μm skv. líkingu Stokes ef eðlismassi er 1,5 g/cm^3 . Þess er einnig að geta að stærð agna er meiri eftir tveggja þrepa hreinsun en eins þreps hreinsun og þ.a.l. meiri fallhraði (Cromey *et al.* 1998) en það kemur til af því að í örveruvexti líffræðilega þrepsins þyrpast örverur saman í stærri agnir, hnötun (flocculation). Eðlismassi svifagna úr skolpi hefur mælst á bilinu 1,3 við talsverða hreyfingu sjávar en 1,5 g/cm^3 við litla hreyfingu (Lavelle *et al.* 1988), þ.e. líkur á hnötun vaxa við minni hreyfingu sjávar. Þess er að geta hér að eðlismassi skolpagna minnkar með stærð og hefur 100 μm skolpögn mælst með eðlismassa um 1,3 g/cm^3 (Fugate og Chant 2006). Að lokum er að nefna að meðalstraumhraði á Sundunum út af Ananaustum er 7,1 cm/s en við Klettagarða 7,6 cm/s en straumar minni en 1 cm/s er sjaldgæfir og gerast á liggjanda þegar þó iðustreymi er mikið vegna breytinga í straumstefnu (Guðjón Atli Auðunsson 2005). Almennu eru straumar á bilinu 1-25 cm/s.

Hjulström

Með ofangreindum gögnum má skoða afdrif agna úr skolpi á Sundunum. Fyrst má skoða einföldustu sviðsmyndina, þ.e. hið þekktu Hjulström-graf (Hjulström-Sundborg) frá 1935en það er reynslulýsing á hegðun ólífrænna setagna í vatni á hreyfingu, en það sýnir graf með krítískum straumhraða sem fall af agnastærð, þ.e. yfir grafinu eru agnir á hreyfingu í vatnsmassanum en undir því falla þær út. Hjulström sýnir að agnir minni en 100 μm falla ekki

til botns sé straumur meiri en 1 cm/s og er þá átt við ólífrænar setagnir með talsvert meiri fallhraða í kyrrum sjó eða eðlismassa um $2,65 \text{ g/cm}^3$. Lífrænar agnir með talsvert minni eðlisþyngd eru því ekki líklegar til að falla til botns þó þær væru talsvert stærri en $100 \mu\text{m}$. Ástæða þess að agnir falla ekki þrátt fyrir vel mælanlegan fallhraða í kyrrum sjó eru skerkraftar sem eru að verki í iðustreymi (turbulent flow) sjávar en ávallt er um slíkt að ræða, þ.e. kraftar sem toga í agnir í allar áttir en kraftarnir upp vega meira en kraftarnir niður, þ.e. sethraði í vatni á hreyfingu er talsvert minni en fallhraði í kyrru vatni og því meiri sem hreyfingin er á vatninu því hægar falla agnir. Þetta líkist því þegar frjóagnir eða ló svífur um loftið vegna vinda en falla svo hægt til jarðar þegar lygnir. Af þessum sökum hafa vísindamenn stundum metið afdrif lífrænna agna með annars vegar fallhraða (fall velocity), hraði í kyrrum sjó, og hins vegar sethraða (sedimentation rate), sem er hinn raunverulegi hraði niður í setið og umtalsvert minni en fallhraði en bæði skolpagnir (Rauter *et al.* 2005) og náttúrulegar lífrænar agnir (Cushing *et al.* 1993) hafa verið til rannsókna með þessum hætti. Hins vegar eru slíkar rannsóknir mjög staðbundnar, þ.e. ekki er auðvelt að draga almennan lærdóm af slíkum rannsóknum.

Rouse-tala

Hjulström-graf telst ekki góður magnbundinn mælikvarði á afdrifum agna (vegna þess að ekki var gert ráð fyrir áhrifum m.a. dýpis) en hefur aðallega þýðingu af sögulegum ástæðum og mikið notuð við kennslu til að lýsa hreyfingum sets. Svokölluð Rouse-tala hefur verið mikið notuð með góðum árangri til mats á því hvort ögn setjist hafi hún komist á hreyfingu í vatnssúlunni:

$$\text{Rouse-tala} = P = \frac{w_s}{\kappa \times u_*}$$

þar sem w_s er fallhraði í kyrrum sjó, κ er von Kármán fasti („law of the wall“; $\kappa=0,41$) og u_* er skerhraði eða núningshraði (shear eða friction velocity) (sjá t.d. Al-Ragum *et al.* 2014). Skerhraði er skilgreindur sem $u_* = \sqrt{\tau_b / \rho}$ þar sem τ_b er skerspenna við botn (Pa) og ρ er eðlismassi sjávar (kg/m^3). Þessi einfalda líking er veldið á hinu vel þekkta Rouse-falli birtu 1937 og lýsir styrk svifefna í vatnssúlunni en sjá má að því lægri sem talan er því minna vegur fallhraði í kyrrum sjó miðað við skerhraða sem heldur ögn á hreyfingu. Van Rijn flokkaði P tölur þannig að $P=0,1$ samsvarar jöfnum styrk svifagna yfir allt dýpið (wash load), $P=1$ gefur svifefni upp í yfirborði sjávar, $P=2$ gefur svifefni upp í hálfu dýpi (þ.e. 50 % af dýpi frá botni) en $P=5$ gefur svifefni nálægt botni (um 10 % af dýpi) (van Rijn 1993) en ýmsar tölur hafa verið notaðar og oftast er miðað við að fyrir $P<0,8$ eru agnirnar í svifblöndu yfir alla vatnssúluna í jöfnum styrk (wash load), $0,8<P<1,2$ gefur 100 % svif í sjónum, $1,2<P<2,5$ gefur svifblöndu upp í hálfu dýpið, $2,5<P<7,5$ gefur flutning/hreyfingu svifagna á botni en $P>7,5$ samsvara því að agnir taka að hreyfast á botni.

Reikna má út skerhraða út frá Nikuradse-falli eða Chézy-fastu að gefnu dýpi, kornastærð á botni og meðalstraumhraða í vatnssúlunni en $u_* = \sqrt{f_c / 2 \times \bar{u}}$ þar sem \bar{u} er meðalstraumhraði yfir vatnssúluna og f_c er núningsstuðull. Fyrir gáradan botn er f_c gefinn með jöfnunni (leidd út frá Nikuradse-falli eða Chézy-fastu (sjá t.d. Ribberink 1998)):

$$f_c = \frac{0,06}{\log^2(12h / k_s)}$$

þar sem h er dýpið og k_s er hæð gára (oft nálgæð með $100d_{50}$ þar sem d_{50} er miðgildi kornastærðar á botni). Ef gert er ráð fyrir $d_{50}=1$ mm á gáruðum botni með $h=30$ m (dýpi niður á dreifara á Sundunum) fæst $u^*=0,004$ m/s fyrir Sundin (einungis meðalstraumhraði) og $P\approx 2$ fyrir þær agnir skólpsins með mestan fallhraða. Megnið af ögnunum er með talsvert minni fallhraða og þ.a.l. með umtalsvert lægri Rouse-tölu og því ávallt sem svifefnablanda á Sundunum sem flyst jafnharðan burtu af svæðinu með sjávarfallastraumum og stöðugum straumi. Þetta tiltölulega lága gildi bendir eindregið til þess að lífrænar agnir skólpsins falla ekki til botns því hér er ekki tekið tillit til ölduhreyfingar sem eykur iðustreymi og skerspennu og fyrri setgildru-rannsóknir á Sundunum sýna að er mjög mikilvægt hreyfiafl á botnsetið (Guðjón Atli Auðunsson 2001; Guðjón Atli Auðunsson 2005).

Shields-stiki, straumur og ölduhreyfing

Að lokum má skoða hvað gerist hafi lífrænt efni náð að setjast á botn, tímabundið a.m.k. Þetta má gera með Shields-stika en hann gildir strangt til tekið um setagnir af náttúrulegum toga, þ.e. steindir. Shields-stiki er fall fengið með tilraunum á ólífrænum setögnum í streymandi vatni, ám og sjó. Stiki fyrir fallið, θ , er gefinn með eftirfarandi jöfnu (einingarlaus).

$$\theta = \frac{\tau_b}{(\rho_s - \rho)gd_{50}} = \frac{u_*^2}{(s-1)gd_{50}}$$

þar sem τ_b er skerspenna við botn (Pa), ρ_s er eðlismassi skolpagnar (1300 kg/m^3), ρ er eðlismassi sjávar (1025 kg/m^3), g er þyngdarhröðunin ($9,8 \text{ m/s}^2$), d_{50} er þvermál agnarinnar (m) og $s = \frac{\rho_s}{\rho}$. Shields-stikinn er einfaldlega hlutfall krafts á ögnina upp af botni vegna

straums deilt með þyngdarkraftinum á ögnina. Kítísk gildi á θ , θ_c , hefur fengist með tilraunum, þ.e. yfir kítísku gildi fer ögn á hreyfingu upp af setinu en undir því situr ögn á botni. Fyrir kítísk gildi er bæði upphaflega fall Shields frá 1936 notað, fall af Reynolds-tölu fyrir ögn, en Van Rijn (1993) endurmat gildin sem fall af einingarlausri agnarstærð og fékk nokkuð hærri kítísk gildi en Shields (fyrir stærri agnir) og eru Van Rijn gildin gefin með eftirfarandi:

θ_c	Bil fyrir einingarlaust þvermál agnar
$0,25 \times D_*^{-1}$	$1 < D_* < 4$
$0,14 \times D_*^{-0,64}$	$4 < D_* < 10$
$0,04 \times D_*^{-0,1}$	$10 < D_* < 20$
$0,013 \times D_*^{0,29}$	$20 < D_* < 150$
0,055	$D_* > 150$

Einingarlaust þvermál agnar er gefið með eftirfarandi jöfnu:

$$D_* = D_{50} \times \left(\frac{g(s-1)}{\nu^2} \right)^{1/3}$$

þar sem ν er hreyfiseigja (kinetamic viscosity) sjávar (tölugildi seigju deilt með eðlismassa $\approx 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$).

Fyrir stærstu ögn í skólpi, 100 μm , með eðlisþyngdina 1300 kg/m^3 verður $D^*=1,38$ þannig að $\theta_c=0,18$. Fyrir krítískan Shields-stika 0,18 verður $u^*=0,0069$ m/s sem samsvarar meðalstraumhraðanum 0,14 m/s eða 14 cm/s (notað f-gildi að ofan fyrir 30 m dýpi og gáraðan botn með $d_{50}=1\text{mm}$). Þetta háa gildi á θ_c kemur til af því að Shields tekur til steina, malar, sands, silts og leirs en fyrir smáar slíkar agnir mynda þær þétt set (cohesive sediment) með mikla samloðun sem erfitt er að losa upp af botninum. Þetta má sjá af því að auðveldast er að losa agnir með $D^*\approx 20$ (lágmark á Shields-ferlinum að ofan) sem svarar til agnar með þvermálið um 1,2 mm eða 1200 μm , tífalt stærri en stærstu skólpagnir. Þessi straumhraði, 14 cm/s, er meiri en meðalstraumhraði á Sundunum, 7-8 cm/s, en hins vegar minni en mesti hraði, sem næst a.m.k. fjórum sinnum á sólarhring, og því ljóst að stærstu agnir fráveituvatnsins fara af botni a.m.k. fjórum sinnum á sólarhring (hafi svo ólíklega viljað til að þær hafi náð að setjast) en í raun talsvert oftar því þær ná aldrei að mynda þétt botnlag (verða aldrei consolidated) eins og náttúrulegt set með sömu agnastærð. Þessi niðurstaða gerir einnig grein fyrir því hvers vegna setmyndun er hæg á Sundunum, setagnir ná ekki að setjast fyrir og þegar þær gera það tímabundið eru þær rifnar jafnharðan upp af botninum, og hefur þá ekki verið gerð grein fyrir áhrifum vinddrifinna strauma og ölduhreyfingar, sem vegur hvað mest.

Taka má tillit til ölduhreyfingar, sem hefur umtalsverð áhrif á hreyfingu agna niður við botn eins og kom fram að ofan. Þess er að geta að algengasta ölduhæð við Garðskaga er um 2 m í gögnum sem notuð voru við túlkun gagna í fyrri rannsóknum (Guðjón Atli Auðunsson 2005; Guðjón Atli Auðunsson 2001) en við þá ölduhæð má sjá að sandur og fínefni (agnir minni en 63 μm) byrjar að þyrlast upp af botni. Yfir sumartímam er minnst að gerast en t.d. í júní og júlí 2000 var meðalölduhæð 1,4 m og lotan 5,7 s en við þessa ölduhæð er einnig komin góð hreyfing á fínefni af botni auk sands þó svo einstakir atburðir með miklum vindi vegi mest í meðalflæðinu. Ef gert er ráð fyrir tiltölulega lítilli ölduhæð hér eða 1 m (H) og 5,5 s lotu (T) og dýpinu 30 m niður á dreifistút, þá fæst (með Airy öldufræði) að bylgjulengd er um 48,5 m (L), sveifluhæð niðri á botni verður 0,02 m ($A = H/2 \times 1/\sinh(2\pi h/L)$) og boghraði 1,1 s^{-1} ($\omega=2\pi/T$). Þannig verður hámarkshraði sjóagna niður við botn 0,02 m/s vegna ölduhreyfingar ($U_m = \omega A$ en $u_w = U_m \sin(\omega t)$). Skerspenna vegna öldu er gefin með

$$\tau_w = 1/2 \rho f_w U_m^2$$

þar sem f_w er núningstuðull við botn vegna ölduhreyfingar (lárétt hreyfing fram og til baka innan lotu) og gefinn með reynslulíkingunni (sjá t.d. Ribberink 1998)

$$f_w = \exp(5,5((k_s / A)^{0,2} - 6,3))$$

ef $k_s/A < 0,63$, annars er $f_w=0,3$. Þannig fæst hér að ef $k_s=100d_{50}$ eins og að ofan og $d_{50}=1$ mm, þá má reikna með $f_w=0,3$ og skerspennan verður því 0,08 Pa. Þetta er meiri skerspenna en með straumi eingöngu að ofan (7 cm/s) eða

$$\tau_c = 1/2 \rho f_c u^{-2}$$

sem gefur 0,014 Pa eða sexfalt lægri spennu en vegna ölduhreyfingar. Heildarskerspennan verður skv. Bijker (1971) eftirfarandi

$$\tau = \tau_c + 1/2 \tau_w$$

þar sem aðeins hálf skerspenna vegna öldu kemur fram því aðeins helming af tímanum verka þær í sömu átt. Heildarskerspenna er því 0,055 Pa en hana má nota í Shields-stikann en þá fæst $\theta=0,2$ eða hærri en krítíska gildið reiknað fyrir losunarsvæðin (0,18) þó svo lítil ölduhæð sé notuð sem dæmi og því mun ölduhreyfing taka stærstu skólþagnir af botni ef svo ólíklega vildi til að þær hefðu sest þar. Þetta á vitaskuld einnig við um smærri skólþagnirnar.

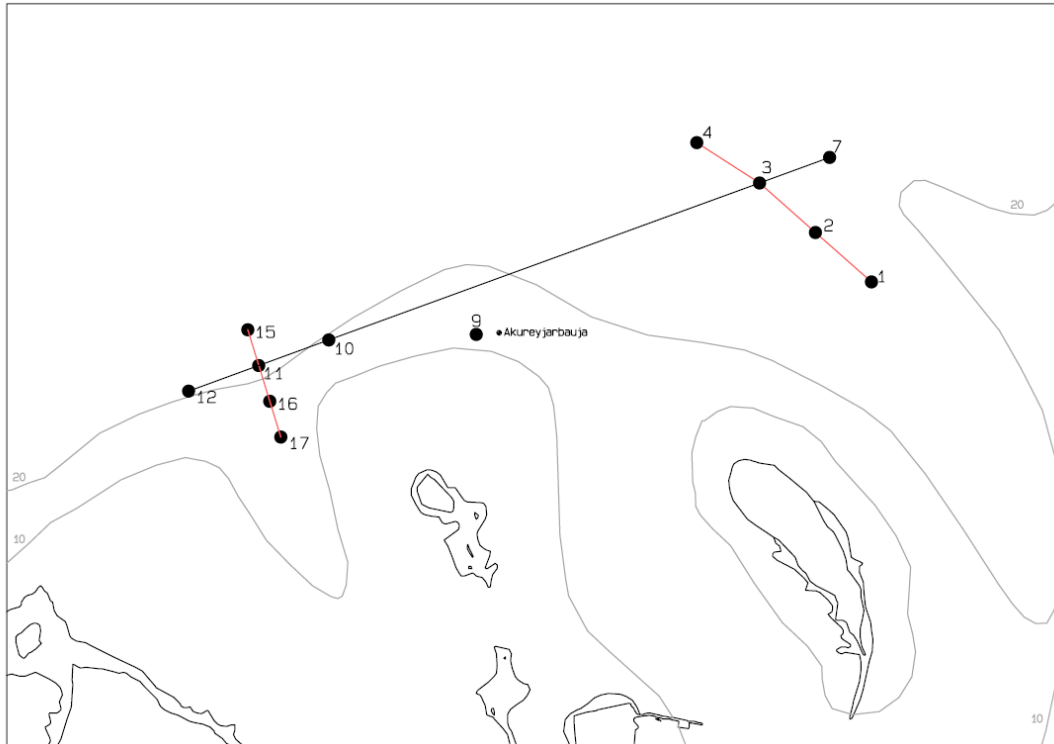
Rannsókn á lífrænu efni í straumvatni

Umfjöllun að ofan miðast við reynslu af ólífrænum ögnum þar sem rannsóknir á lífrænu efni eru mjög takmarkaðar. Því er það ekki úr vegi að nefna nýlega rannsókn á lífrænu efni (hötum, flocc) í mýrum Everglades í Florida þar sem um svipaðan fallhraða agna er að ræða og fyrir skólþagnir (Larsen *et al.* 2009). Við rannsóknir á því efni kom í ljós að þær eru mun hreyfanlegri en setagnir af náttúrulegum toga (t.d. leir og silt) eins og vænta mátti og að lægsta skerspenna sem dugði til að taka þær af botni reyndist 0,01 Pa. Fyrir Sundin og f_c að ofan gefur þetta að meðalstraumur meiri en 6,4 cm/s dugar til að rjúfa þær frá botni, þ.e. minni straum en meðalstraumur á losunarsvæðunum. Þetta næst svo enn auðveldlegar vegna skerspennu af völdum ölduhreyfingar en hún er hærri á botni fyrir 1 m ölduhæð en þessi skerspenna sem þarf til að losa lífræna agnirnar af botni.

Samantekin niðurstaða þessarar umfjöllunar er því sú að agnir úr skólpi munu afar ólíklega falla niður á botn í viðtaka. Þetta gerir það að verkum að ekki er að vænta þess að sjór niður við set og því síður ofar í vatnssúlunni verði súrefnissnauður vegna fráveituvatnsins því þær munu hratt flytjast burt af svæðunum þó það gerist hægar en fyrir uppleyst efni úr skólpinu.

2 Hönnun rannsókna og framkvæmd

Rannsókn fór fram með setgildrum eins og áður sagði þar sem eiginleg setmyndun á sér vart stað á losunarsvæðunum. Rannsóknin fór fram að sumri en þá er minnstur öldugangur og mestar líkur á uppsöfnun á lífrænu efni í setið og því mest álag á kerfið, en þetta álag kemur bæði til vegna fráveituvatnsins en ekki síst vegna náttúrulegs þörungablóma því svæðið er mjög frjósamt eða $>300 \text{ gC/m}^2/\text{ár}$ (Guðjón Atli Auðunsson 2006). Hins vegar er lífræna efnið í réttu hlutfalli við fínefnið allt árið um kring (Guðjón Atli Auðunsson 2005; Guðjón Atli Auðunsson 2001) en minnst flæði er á sumrin og mest á veturna. Setgildrurnar voru úti á tímabilinu 12/06/2011 til 09/08/2011. Því miður eru ekki til öldugögn frá Garðskaga frá þessu tímabili til að styðjast við en eins og fram kom að ofan er engu að síður hreyfing á fínefni og sandi af botni á sumrin að meðaltali þó svo einstakir atburðir með miklum vindi vegi mest.



Mynd 1 Sýnatökustöðvar á Sundunum (mynd unnin af Jarðfræðistofu Kjartans Thors).

Sýnatökustöðvar eru sýndar á mynd 1 en í ljósi fyrri rannsókna voru setgildir nú nær útrásum en áður. Þess er að geta að kræklingabúr voru á þessum sömu stöðvum en einnig voru sjósýni tekin á þessum stöðvum auk nokkurra til viðbótar (samtals 17 stöðvar fyrir sjósýni).

Fyrir Ánanaustræsið voru stöðvar 16 og 15 á dreifistútsendum (250 m frá miðju) en 11 við miðju dreifistúts. Stöðvar 12 og 10 voru 500 m frá miðju til vesturs og austurs. Stöð 17 var 500 m sunnan við miðju, um 250 m frá landenda dreifistúts.

Fyrir Klettagarðaræsið voru stöðvar 2 og 4 á dreifistútsendum eða um 500 m frá miðju dreifistúts á stöð 3. Stöð 7 var 500 m austan við miðju dreifistúts en stöð 1 var um 1000 m suðaustan við miðju dreifistúts, 500 m frá landenda dreifistúts.

Stöð 9 var valin til að vera miðja vegu milli miðju dreifistúta.

Viðmiðunarsýni fyrir set var tekið með Schipek-greip við Sviðsbrún, sem er um 7,3 km vestnorðvestur af Gróttu. Þetta er einn fárra staða þar sem setmyndun á sér stað í nágrenni Reykjavíkur en ekki er að vænta áhrifa fráveituvatns þar að nokkru ráði. Rétt er að taka það fram strax að set af botni er mjög frábrugðið því seti sem safnast í gildir þar sem mjög ólík ferli eru að verki við setmyndun annars vegar og söfnun á lóðréttu flæði í setgildir hins vegar.

Setgildir voru úr Plexi-plasti frá KC-Denmark með hæðina 45 cm og ytri og innri þvermál 80 og 72 mm. Tvær gildir voru á hverri stöð, 180° á milli, og var straumstefnuspjald á milli þeirra til að þær héldust alltaf eða sem mest lóðréttar. Í aðra gildruna var sett blanda af salti til að gefa eðlisþyngdarstigul og formaldehyði til rotvarnar setefninu. Í hverja gildru var jafnframt komið fyrir trekt með um 1,5 cm opi. Þessar trektar voru úr PE í um 15 cm undir opi gildranna og ætlað að minnka líkur á að setgildru efni tapaðist. Gildir voru um 30 cm frá botni þannig að söfnunarop þeirra var um 75 cm ofan við botn. Þetta er ólíkt því sem var í fyrri rannsóknum en þá voru notaðar heimasmiðaðar gildir, 45 cm háar og með 10 cm

Þvermál á opi. Eldri gildir sátu á botni í stálgrind. Af þessum sökum eru niðurstöður þessarar rannsókna og fyrri rannsókna ekki fyllilega sambærilegar, annars vegar minna safnað magn vegna minna þvermáls nú og hins vegar ekki síst vegna þess að styrkur svifefna lækkar hratt er frá dregur botni og lýst er með veldisfalli fyrir hverja stærð agna (Rouse-fall gjarnan nota sbr. ofangreint). Þetta þýðir m.a. að nú eru meiri líkur á fíngerðara efni og þ.a.l. hærra hlutfall lífrænna efna en í fyrri rannsóknum.

Hnit allra stöðvanna koma fram í töflu 2.

Tafla 2 Hnit sýnatökustöðva

Stöð	X _{UTM}	Y _{UTM}	N. Br.	V. L.	Dýpi/m
1	455960	7118121	64°11.1958'	21°54.3877'	27,9
2	455585	7118451	64°11.3706'	21°54.8566'	29,6
3	455211	7118782	64°11.5458'	21°55.3244'	30,8
4	454791	7119052	64°11.6879'	21°55.8480'	31,8
7	455680	7118953	64°11.6415'	21°54.7482'	31
9	453315	7117770	64°10.9859'	21°57.6471'	12,8
10	452328	7117733	64°10.9580'	21°58.8650'	20,8
11	451859	7117562	64°10.8619'	21°59.4407'	24,7
12	451390	7117391	64°10.7659'	22°00.0164'	24,6
15	451786	7117801	64°10.9900'	21°59.5354'	30,1
16	451933	7117323	64°10.7339'	21°59.3448'	14,6
17	452007	7117084	64°10.6058'	21°59.2488'	11,4
Sviðsbrún	-	-	64°09'00"	22°10'80"	52

Notast var við sleppibúnað frá Sonardyne (7986 Lightweight Release Transponder (LRT) með 7967 LRT command unit og LRT rope canister). Umjón með lögnum og vinnu með hnit sá Jarðfræðistofa Kjartans Thors. Jarðfræðistofa Kjartans Thors sá einnig um mælingar á kornastærðardreifingu. Þrátt fyrir þennan viðbúnað týndist lögn á stöð 1 og stöð 12 var eyðilögð (gildra skæld og kræklingabúr rifið frá). Þetta gerir enn grein fyrir því hve erfitt svæðið er til slíkra rannsókna vegna mikillar og þungrar umferðar báta og skipa um svæðið. 2008 var sleppibúnaður ekki notaður en þá náðist aðeins í fjórar lagnir af 17 og þessar fjórar höfðu dregist talsvert frá niðurstöðvum sínum, setgildir fullar af sandi.

Forvinnsla sýna var í höndum Efnagreininga á Keldnaholti. Efnagreiningar fóru fram hjá ALS Scandinavia, Luleå, Svíþjóð, þar sem sýni voru of smá til að skipta þeim niður á rannsóknastofur. Hjá ALS Scandinavia fór sundrun sýna fyrir ólífræn snefilefni fram eftir bombusundrun í kóngavatni að ósk umsjónarmanns verkefnisins en það gefur heildarstyrk efna aðgengileg lífverum. Einnig er algengt að nota bræðslu með t.d. lítum metabóratum sem gefur heildarstyrk, einnig þess hluta efnisins sem bundinn er steindum. Niðurstöður mælinga á viðmiðunarefni við koma fram í töflu 2.

Tafla 2 Niðurstöður mælinga á viðmiðunarefnivið

Mælipáttur	Eining	NCS DC73308 Low soil standard		IRMM-443-4 (Eurosoil 4)		CRM 040-031	
		Fundið	Vottað	Fundið	Vottað	Fundið	Vottað
Ag	mg/kg þ.v.	0,0576	0,27±0,02	-	-	-	-
As	mg/kg þ.v.	24,5	25±3	-	-	-	-
Ca	mg/kg þ.v.	4700	5000±214	-	-	-	-
Cd	mg/kg þ.v.	1,14	1,12±0,08	-	-	-	-
Co	mg/kg þ.v.	14,5	15,3±1,1	-	-	-	-
Cr	mg/kg þ.v.	127	136±10	-	-	-	-
Cu	mg/kg þ.v.	20,4	22,6±1,3	-	-	-	-
Fe	mg/kg þ.v.	26300	27000	-	-	-	-
Hg	mg/kg þ.v.	0,36	0,28±0,03	-	-	-	-
Na	mg/kg þ.v.	160	-	-	-	-	-
Ni	mg/kg þ.v.	29,1	30±2	-	-	-	-
P	mg/kg þ.v.	53,9	271±15	-	-	-	-
Pb	mg/kg þ.v.	24,3	27±2	-	-	-	-
Se	mg/kg þ.v.	0,307	0,28±0,05	-	-	-	-
V	mg/kg þ.v.	95,8	107±5	-	-	-	-
Zn	mg/kg þ.v.	42	46±4	-	-	-	-
Cl	mg/kg þ.v.	177	-	-	-	-	-
TOC	% þ.v.*	-	-	1,5	1,31	-	-
N-tot	% þ.v.*	-	-	-	-	3,2	3,14

*Vísbindingargildi (indicative value) á viðmiðunarefnivið.

Tafla 2 gerir ljóst að mælingar eru af góðum gæðum almennt. Hins vegar eru þrjú frumefni nokkuð utan vottaðra gilda. Ber þar fyrst að nefna silfur (Ag) en fundið gildi er umtalsvert lægra en vottað gildi. Kemur hér a.m.k. tvennt til. Annars vegar segir rannsóknastofan að þau hafi ávallt mælt þetta gildi í þessum efnivið og að þar á bæ telji þau víst að vottaða gildið sé ekki rétt. Hins vegar er hér um kóngavatnsuppleysingu að ræða en vottaða gildið sé líklegast fengið með bræðslu, t.d. með litíum metabórat, sem gefur heildarstyrk í stað sýruleysanlegs styrks. Einnig er fosfór (P) einnig meir en fimmfalt lægra mælt en vottaða gildið segir til um og þarna kemur einnig til að vottaða gildið var fengið með bræðslu en ekki sýruupplausn. Að lokum virðist gildið á lífrænu kolefni (TOC) mælast hærra en vísbindingargildið en óvissa kann að vera umtalsverð í vísbindingargildinu, sjá nánar umfjöllun að neðan um TOC nú og í fyrri rannsóknum en votefnafræðileg aðferð var notuð áður en frumefnagreininir að þessu sinni. Frumefnagreininir fer fram eftir þurröskun sýna við háan hita en votefnafræðilegar aðferðir sundra sýnum með krómsýru við tiltölulega lágan hita.

Mælinga á stöðugum samsætum kolefnis og köfnunarefnis fóru fram hjá Institute for Energy Technology, Kjeller, Noregi, eftir sýrumeðhöndlun til að fjarlægja kolefni úr karbónati.

Umsjón með verkinu var í höndum skýrsluhöfundar.

3 Niðurstöður og umfjöllun

Allar niðurstöður mælinga á seti koma fram í töflu 3. Niðurstöðurnar eru eins og þær koma úr mælingum, þ.e. umreikningur á saltfrítt þurrefni hefur ekki farið fram en hlutfall fínefnis er á saltfríum grunni þar sem við mælingu þess er salt þvegið í burtu áður en mæling fer fram. Öll úrvinnsla er hins vegar á saltfríum grunni nema annað sé tekið fram.

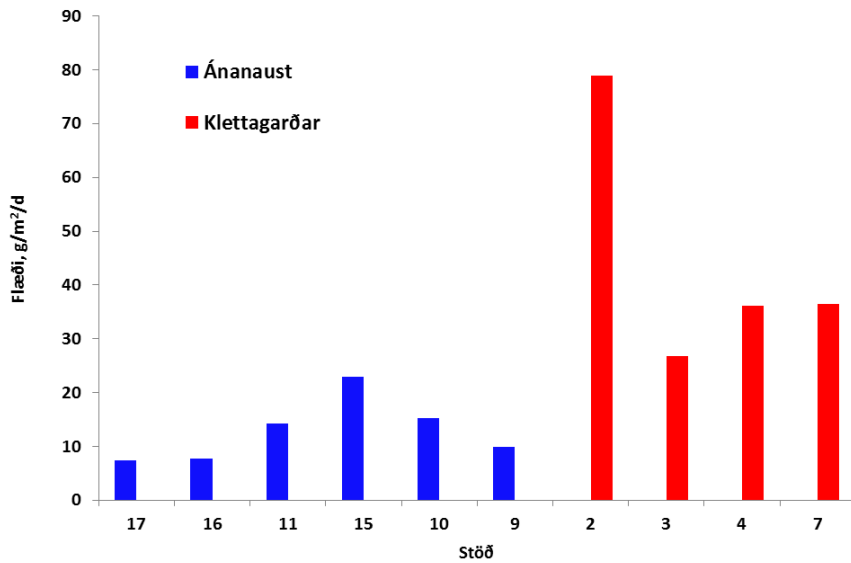
Tafla 3 Niðurstöður allra mælinga á setgildruefnum. Tímabil setgilda á Sundunum 12/06/2011-09/08/2011.

Mlipáttur	Stöð	2	3	4	7	9	10	11	15	16	17	Sviðsbrún
Efnismagn, samtals	g	42,7	14,34	26,16	18,57	11,14	11,79	14,46	30,09	13,58	10,61	-
TS 105°C	%	98,6	98,2	98,5	98,5	98,8	97,7	99	98,7	99	98,8	98,8
Aska 550°C	% TS	93,3	92,6	90,6	93,3	94,7	91,6	94,6	94,5	95,9	95,3	95
Agnir <63 µm*	%	76,05	87,32	71,70	69,32	92,54	68,61	35,52	77,30	85,01	87,49	-
Ag	mg/kg þ.v.	0,0799	0,104	0,171	0,133	<0,04	0,0909	0,0935	<0,04	<0,04	<0,04	0,113
As	mg/kg þ.v.	6,78	6,24	4,27	7,87	1,51	3,55	2,55	1,84	1,27	1,56	14,2
Ca	mg/kg þ.v.	31300	24600	16900	26600	14400	20300	12500	9690	8530	11600	167000
Cd	mg/kg þ.v.	0,192	0,163	0,131	0,103	0,131	0,116	0,0798	0,0526	0,0428	0,0599	0,122
Co	mg/kg þ.v.	9,07	8,79	6,71	10,4	1,82	4,54	3,06	2,35	1,28	1,39	19,8
Cr	mg/kg þ.v.	18,6	19,3	12,9	20,6	4,62	10,8	6,93	5,16	3,66	3,85	40,6
Cu	mg/kg þ.v.	23,8	24,5	19,4	28	6,76	14,9	10,3	7,86	7,72	6,69	41
Fe	mg/kg þ.v.	19800	20400	14100	22900	4340	11000	7070	5040	3370	3790	43600
Hg	mg/kg þ.v.	<0,04	<0,04	0,0897	0,0697	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04
Na	mg/kg þ.v.	241000	233000	287000	235000	341000	287000	325000	355000	342000	343000	18300
Ni	mg/kg þ.v.	22,8	22,4	16,8	26,1	4,44	9,91	7,34	5,57	3,19	3,54	50,1
Pb	mg/kg þ.v.	3,75	5,13	3,53	5,29	3,08	3,13	5,02	1,71	3,25	2,69	3,18
Se	mg/kg þ.v.	0,253	0,46	0,296	0,466	0,338	0,777	0,183	0,354	0,127	0,697	0,719
V	mg/kg þ.v.	63,2	65,4	45,5	74,4	14,2	35,6	23,9	16,6	11	12,3	125
Zn	mg/kg þ.v.	44,5	48	61,4	44,3	20,1	33	26	18,5	26,3	19,2	81,5
Cl	mg/kg þ.v.	342000	339000	409000	325000	479000	421000	466000	497000	525000	507000	19700
P	mg/kg þ.v.	5280	8610	7420	3430	13100	11700	4100	7010	4270	4860	2910
TOC	% þ.v.	2,3	2,8	4,5	2,5	1,7	2,8	2	2,4	1,4	1,5	0,77
N-tot	mg/kg þ.v.	2970	3250	3820	3060	2350	3230	2430	2430	1880	2220	1290
d ¹³ C _{VPDB}	‰	-22,72	-22,89	-25,68	-22,89	-22,84	-23,38	-23,55	-23,91	-23,36	-23,05	-19,51
d ¹⁵ N _{AIR}	‰	6,81	5,43	4,07	5,06	6,17	4,82	5,41	6,14	5,56	5,60	6,53

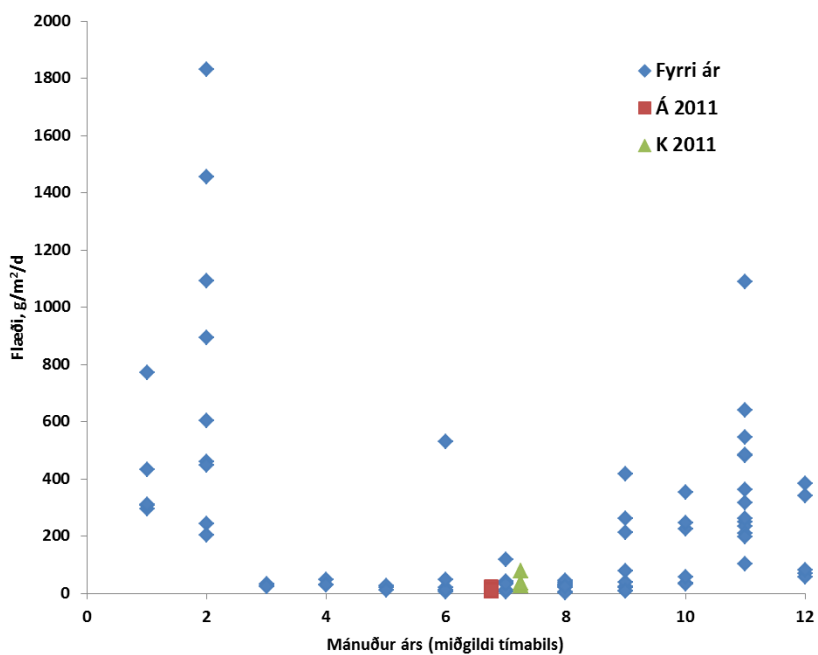
*Fyrir saltfrítt þurrefni.

3.1 Setflæði og meginefnapættir

Mynd 2 sýnir flæði efna í gildrunar. Sjá má að flæðið er marktækt meira á stöðvunum við útrásarenda við Klettagarðaræsið en Ánanaustræsið, millistöð 9 meðtalin. Ekki er marktækur munur í hlutfalli fínefna á svæðunum né í styrk lífræns kolefnis og virðist því mega draga þá ályktun að rof sé meira við Klettagarðasvæðið. Flæðið er jafnframt tiltölulega lítið miðað við vetrarflæði, mynd 3, en ekki marktækt frábrugðið mælingum fyrri ára yfir sumarmánuði (mars-ágúst).



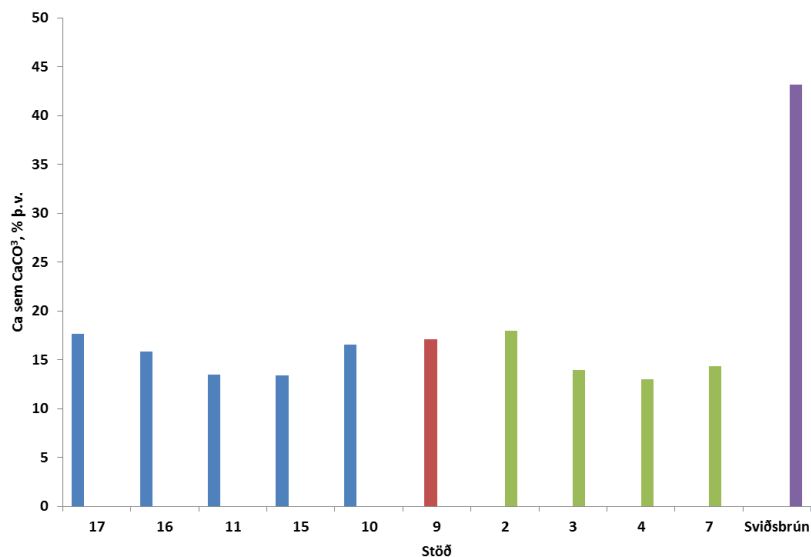
Mynd 2 Heildarflæði í setgildrum.



Mynd 3 Heildarflæði í setgildrum fyrir ári og 2011 (rauðir fyrir Ánanaust en grænir fyrir Klettagarða).

Kalk

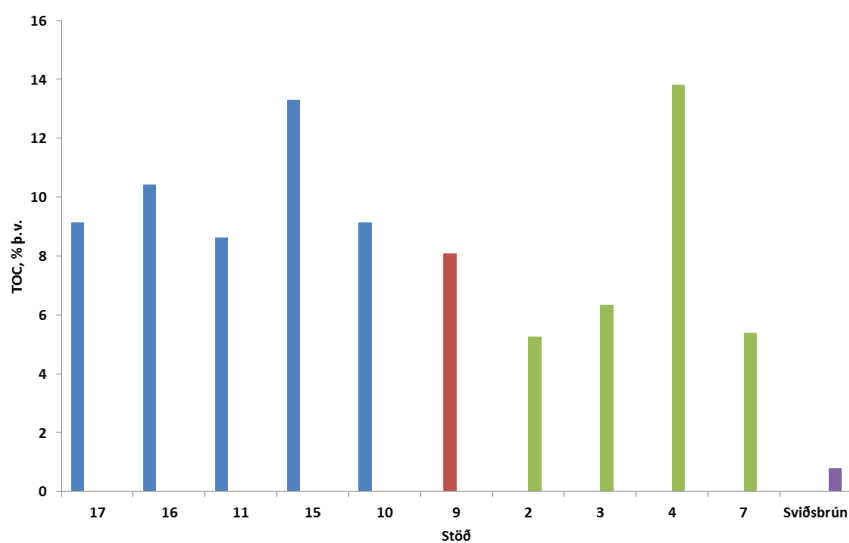
Mynd 4 sýnir að er varðar kalk í setinu er líttill munur á stöðvunum með um 15 % kalk en greiparsýnið frá Sviðsbrún er talsvert hærra eða 43,2%. Af þessum sökum og vegna annarra þátta sem skilur botnsetið frá gildrusýnum verður að túlka varlega hugsanlegan mun á þessum tveimur gerðum sets.



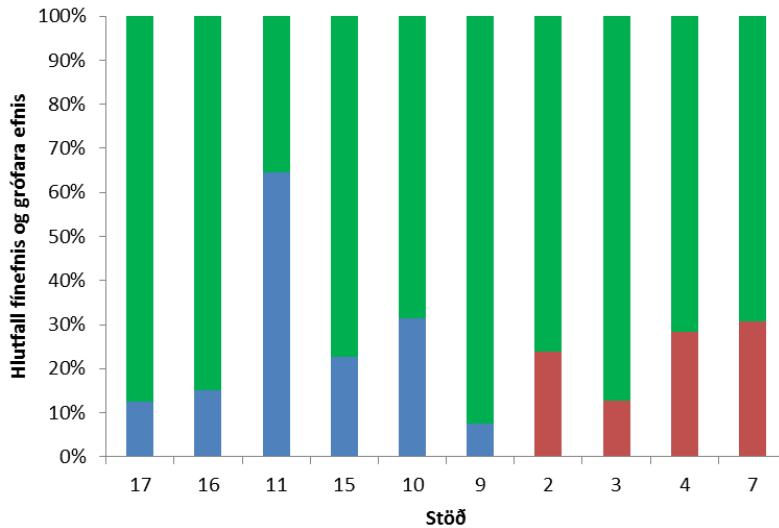
Mynd 4 Styrkur kalsíns umreiknaður sem kalk í gildrusýnum og greiparsýni frá Sviðsbrún..

Lífrænt efni og fínefni

Mynd 5 sýnir styrk lífræns kolefnis í gildrum þar sem enn má sjá hve Sviðsbrún skilur sig frá gildrusýnum auk þess sem engan marktækan mun er að sjá í gildrunum frá annars vegar Ánanaustum og hins vegar Klettagörðum. Mynd 6 sýnir hlutfall fínefnis í gildrudefninu þar sem engan marktækan mun er að finna á milli svæðanna tveggja.

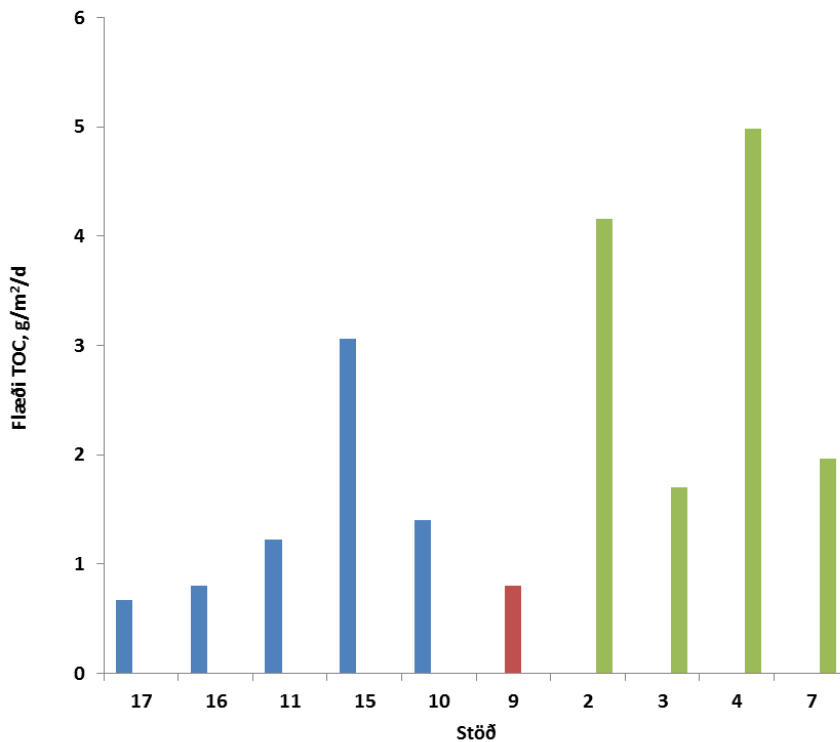


Mynd 5 Styrkur lífræns kolefnis í gildrudefni.

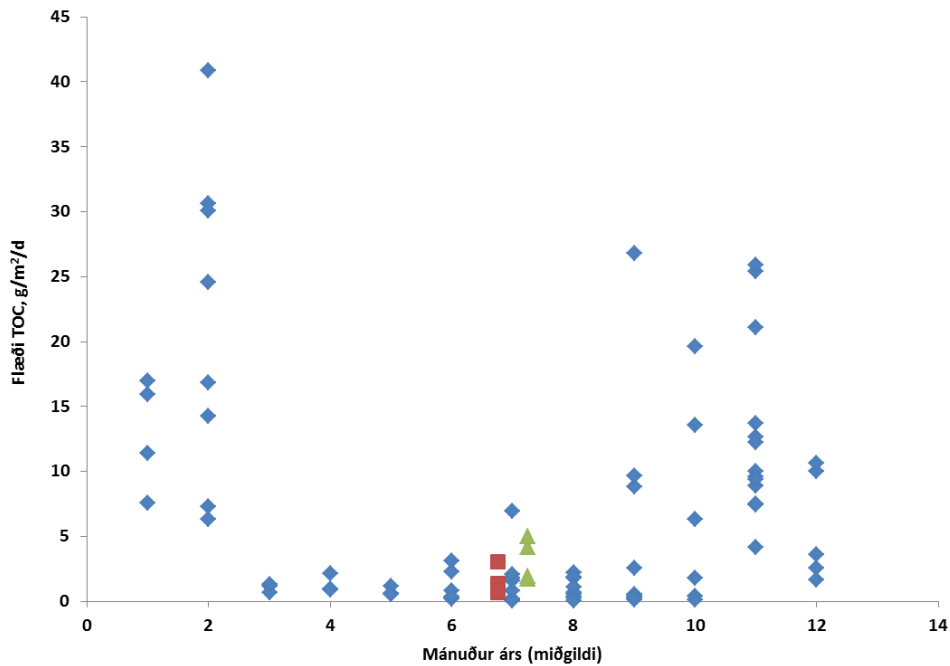


Mynd 6 Hlutfall fínafnis <63µm (grænir hlutar súla) og grófara efnis (lægri hlutar súla).

Mynd 7 sýnir flæði lífræns kolefnis í gildrum en Klettagarðasvæðið hefur marktækt meira flæði en Ánanaustsvæðið. Mynd 8 sýnir flæði kolefnis miðað við fyrri rannsóknir. Eins og myndin glögglega sýnir er ekki marktækur munur á flæði lífræns kolefnis milli 2011 og fyrri ára fyrir mánuðina með lítið flæði (mars-ágúst), tímabilin fyrir losun meðtalin. Af þessu má draga þá ályktun að ákoma lífræns efnis á setið hefur ekki aukist með tilkomu útrásanna.



Mynd 7 Flæði lífræns kolefnis í gildrum.

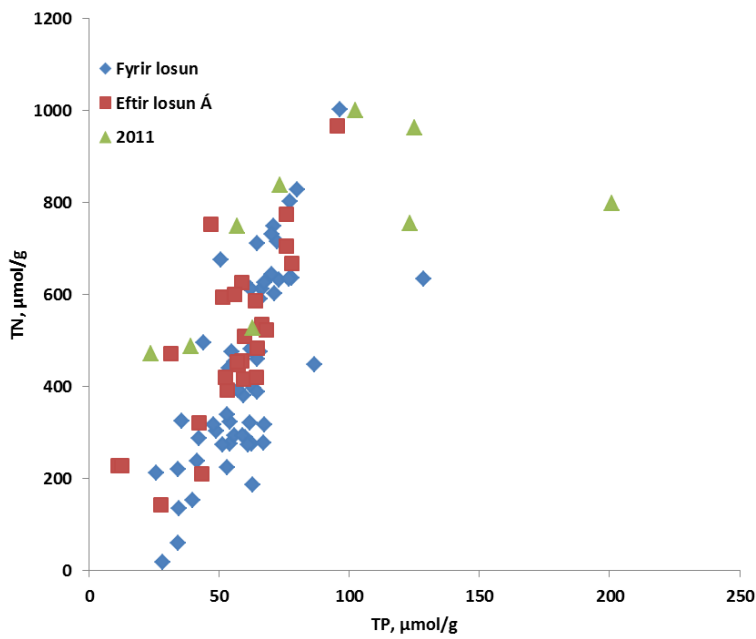


Mynd 8 Flæði lífræns kolefnis í setgildrum fyrri ár og fyrir 2011 (rauður punktar Ánanaust, grænir punktar Klettagarðar)

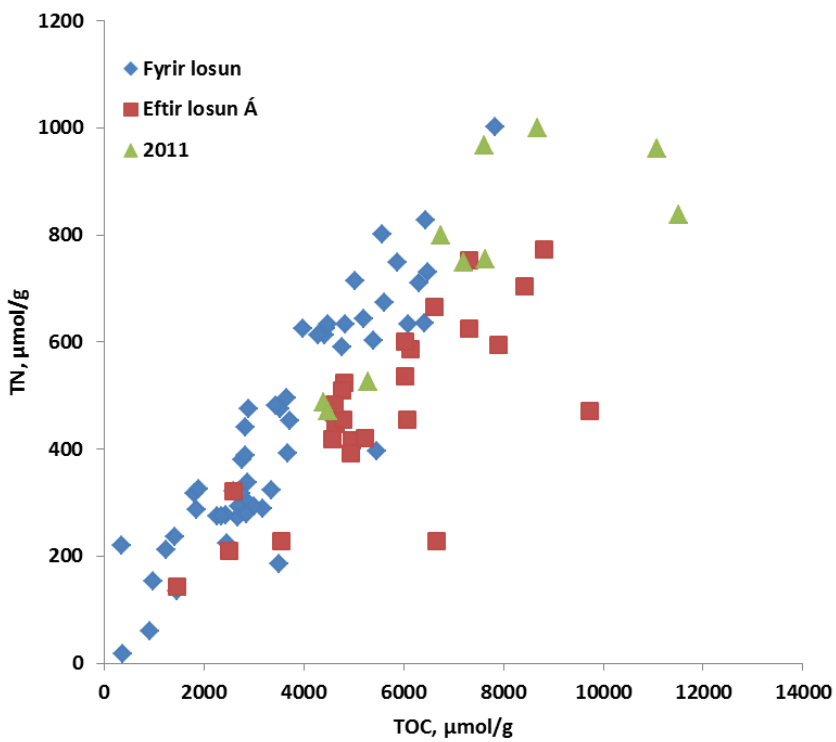
Það er fróðlegt að líta á flæði lífræns efnis og þess súrefnis sem þyrfti að streyma í setið til að sundra því og þá hvort líkur væru á að súrefni kynni að verða takmarkandi. Ef gert er ráð fyrir að kolefnið sé á leið niður í setið og dveljist þar (sem er ekki raunhæft en gert til að gefa verstu aðstæður), þarf að koma til súrefni til að sundra því. Og ef jafnframt er gert ráð fyrir tímabilinu með minnst flæði og þ.a.l. við aðstæður sem upprót er minnst (mars-ágúst) og mestar líkur á súrefnisþörf, þá má meta súrefnisþörfina skv. líkani Findlay og Watling (1997) og sannreynt var af Morrissey *et al.* (2000). Ef notuð eru hæstu gildin á kolefnisflæðinu, en það var hæst eftir að losun hófst við Ánanaust í júlí 2000, $6,98 \text{ g C/m}^2/\text{d}$, og næsthæst við Klettagarða í þessari rannsókn, $4,92 \text{ gC/m}^2/\text{d}$. Samkvæmt líkani Findlay og Watling (1997) verður súrefnisþörfin við þessar verstu aðstæður að hámarki $589 \text{ mmol/m}^2/\text{d}$ en það krefðist straums að lágmarki $0,6 \text{ cm/s}$ um 1 m yfir botni. Þessu skilyrði er alltaf mætt. Þetta er vissulega hugarleikfimi því um jafnaðarhraða flæðis er ekki að ræða heldur eru það einstakir atburðir með nægilegri ölduhreyfingu sem veða mest í gildrusöfnuninni auk þess sem þetta lífræna efni er sífellt á hreyfingu upp af setinu í súrefnisríkan sjó. En þetta sýnir hversu vel viðtaki er vel í stakk búinn til að taka við lífrænu efni, bæði af náttúrulegum toga og þeirrar viðbótar sem frá frárennsli kemur sem þó má ætla að vegi hverfandi í heildarflæðinu á setið sbr. inngang og þessar niðurstöður, sem annars vegar sýna ekki marktæka breytingu fyrir og eftir losun og að hámarksflæði lífræns efnis niður í setið verður ávallt mætt með nægu súrefni.

Köfnunarefni og fosfór

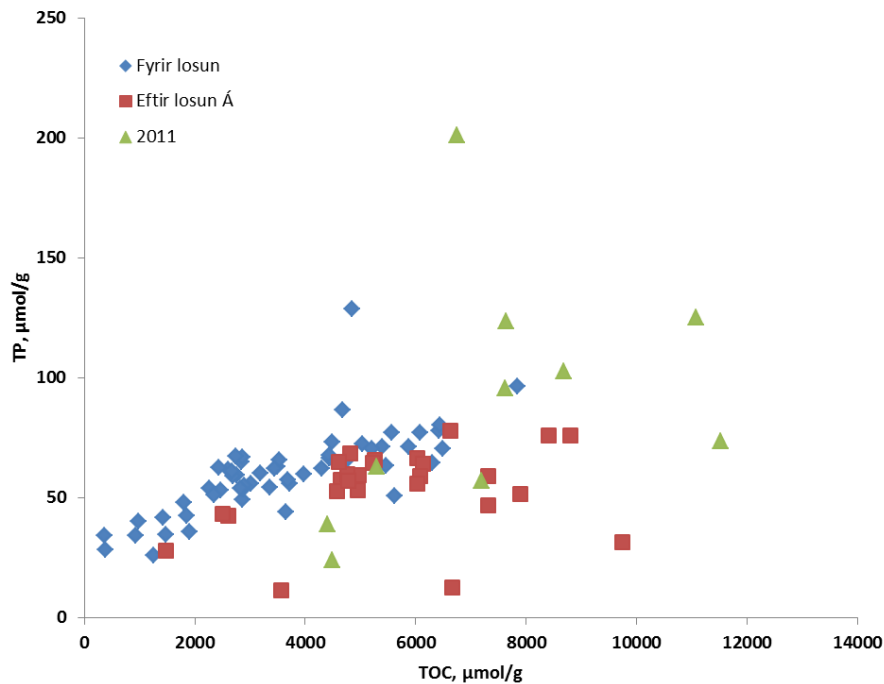
Mynd 9 sýnir köfnunarefni sem fall af fosfór fyrir og eftir losun og ljóst að dreifing er það mikil í gögnum að erfitt er að fullyrða nokkuð um breytingu samfara losun. Þessi breytileiki hefur m.a. með mikið saltmagn í sýnunum að gera. Hins vegar má greina lækkun í hallatölu samfara losun. Ekki verður þó fullyrt að þetta tengist losuninni beint eða hvort um náttúrulegan breytileika er að ræða því hlutfallið TN/TP í gildrusýnunum 2011 er ekki marktækt frábrugðið setinu af Sviðsbrún.



Mynd 9 Köfnunarefni sem fall af fosfór í setgildruefni fyrir og eftir losun á svæðunum.



Mynd 10 Köfnunarefni sem fall af lífrænu kolefni fyrir og eftir losun.



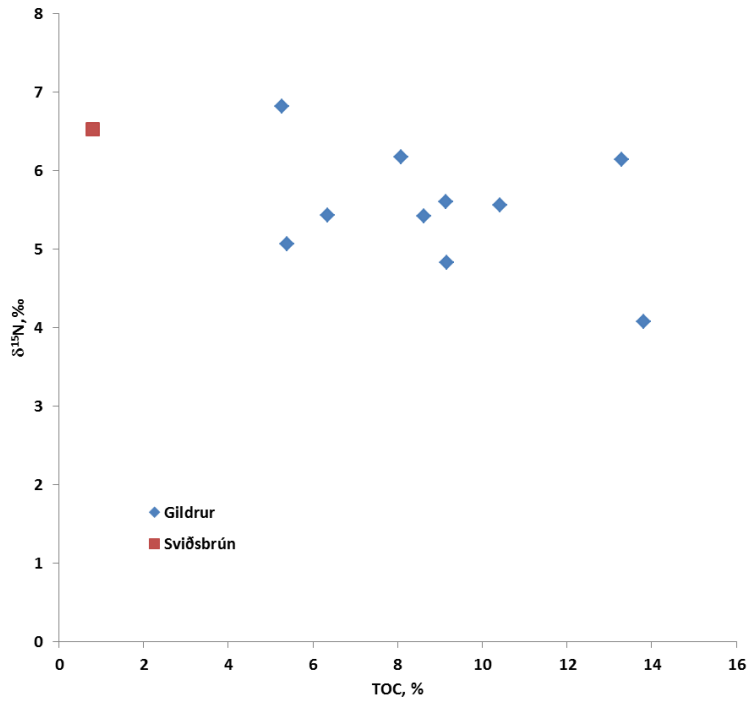
Mynd 11 Fosfór sem fall af lífrænu kolefni fyrir og eftir losun.

Mynd 10 sýnir köfnunarefni sem fall af lífrænu kolefni og enn er dreifing mikil í gögnunum en þó má einnig greina hér lækkun í hallatölu samfara losuninni en ekki er hægt að fullyrða að þessi breyting tengist losuninni beint eða hvort um náttúruleg ferli sé að ræða en hlutfall kolefnis og köfnunarefnis (TOC/TN) fyrir gildrusýnin 2011 eru ekki marktækt frábrugðin þessu hlutfalli í setinu af Sviðsbrún þó það sé tölulega lægst.

Að lokum er mynd 11, sem sýnir fosfór sem fall af lífrænu kolefni og aftur má sjá vísbendingu um lægri hallatölu og meiri dreifing á gögnunum. Hins vegar er ekki marktækur munur á hlutfalli kolefnis og fosfórs (TOC/TP) í gildruefni 2011 og setinu af Sviðsbrún, sem m.a. helgast af mikilli dreifingu í gögnunum eins og í tilviki köfnunarefnis.

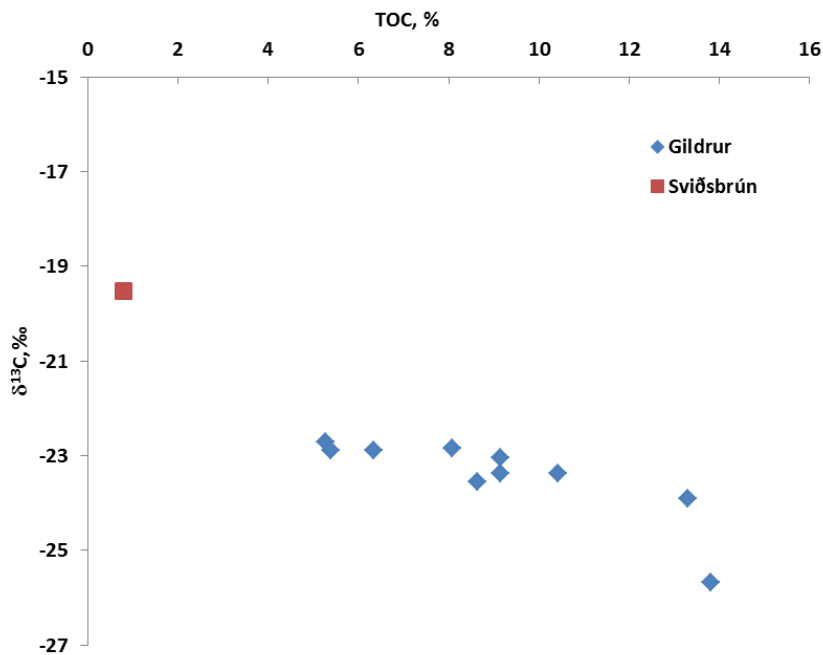
Stöðugar samsætur kolefnis og köfnunarefnis.

Þessar mælibreytur hafa rutt sér til rúms til mats á uppruna efna í náttúrunni og er um hlutfall þyngri samsættunnar af þeirri léttari að ræða deilt með hlutfalli í viðmiðunarefnivið sem eru alþjóðlegir staðlar. Er varðar frárennsli og efni af landrænum uppruna í sjó, þá má vænta lækkunar í bæði $\delta^{13}\text{C}$ og $\delta^{15}\text{N}$ (Augley *et al.* 2007; Tucker *et al.* 1999; Rogers 2003; Waldron *et al.* 2001). Lækkun í $\delta^{15}\text{N}$ kemur til af því að matvæli eru framleidd með tilbúnum áburði en köfnunarefni hans er úr andrúmslofti (jafnframt staðall fyrir $\delta^{15}\text{N}$) sem er með mjög lágt hlutfall $\delta^{15}\text{N}$. Mynd 12 sýnir $\delta^{15}\text{N}$ sem fall af lífrænu efni. Tilhneiging virðist vera í þá veru að $\delta^{15}\text{N}$ lækki með styrk lífræns efnis eins og við hefði mátt búast ef lífræna efnið ætti uppruna sinn í frárennsli eða af landrænum uppruna. Breytingin er hins vegar ekki marktæk né er $\delta^{15}\text{N}$ í setinu af Sviðsbrún marktækt frábrugðin gildunum í setgildruefninu.



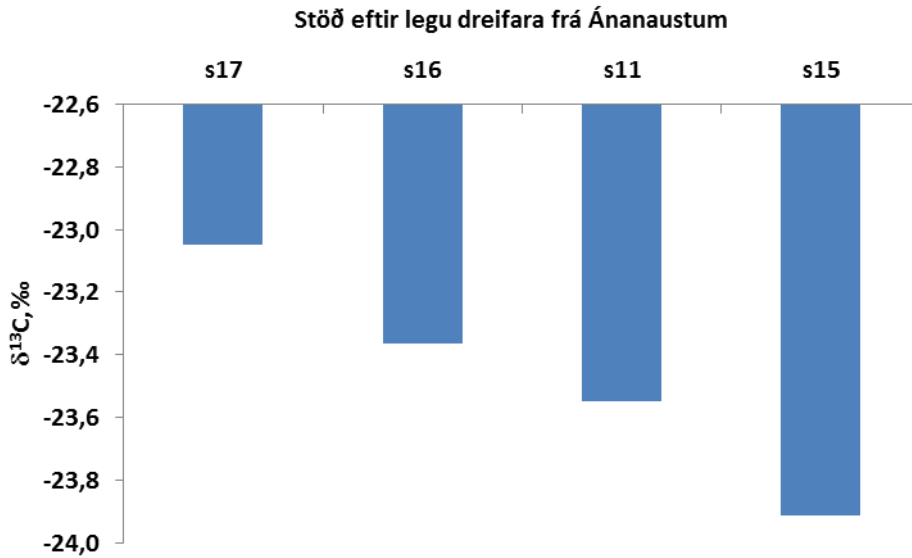
Mynd 12 $\delta^{15}\text{N}$ sem fall af lífrænu kolefni í setgildruefni og seti af Sviðsbrún.

Mynd 13 sýnir $\delta^{13}\text{C}$ sem fall af lífrænu efni og má nú sjá marktæka lækkun með auknum styrk lífræns kolefnis í gildruefnunum á þann hátt sem búast hefði mátt við sem áhrif af frárennsli eða efnum af landrænum uppruna. Einnig má sjá að setið af Sviðsbrún er talsvert frábrugðið setgildruefnunum. Ekki verður auðveldlega sagt að þetta sé vegna áhrifa fráveituvatnsins þar sem ekki eru fyrirbyggjandi rannsóknir á þessum tveimur breytum fyrir losun auk þess sem söfnun í setgildrur gætu haft áhrif s.s. notkun formaldehyðs við rotvörn á gildruefnum og önnur landræn áhrif á svæðunum.

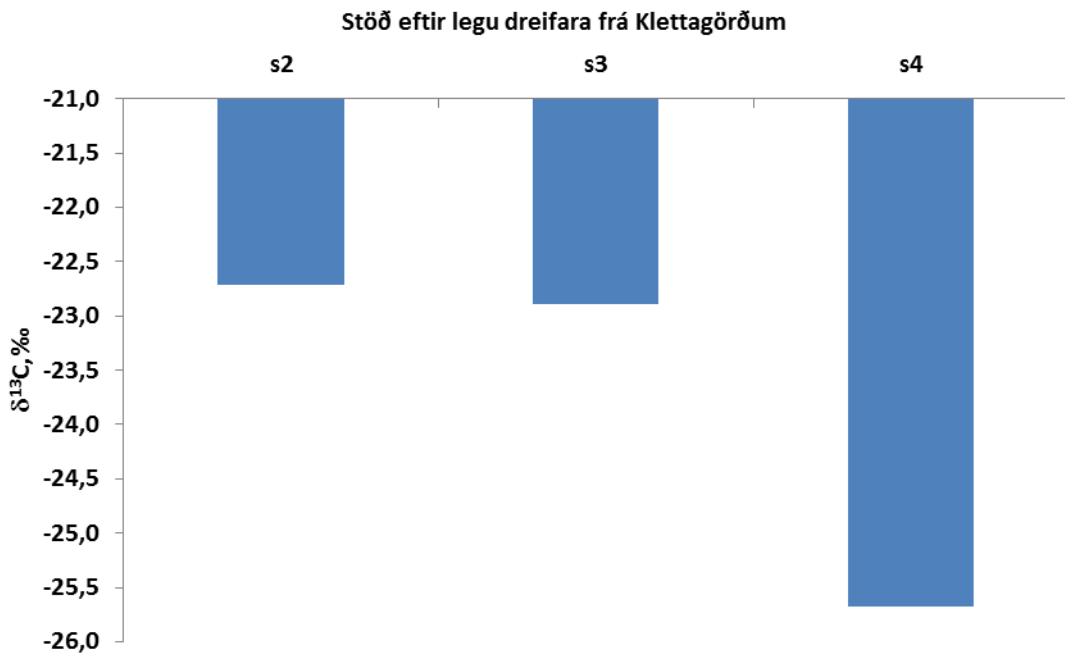


Mynd 13 $\delta^{13}\text{C}$ sem fall af lífrænu kolefni í setgildruefnum og seti af Sviðsbrún.

Hins vegar veur það athygli þegar gildin á $\delta^{13}\text{C}$ eru skoðuð með hliðsjón af dreifistútum, myndir 14 og 15 hve regluleg hegðunin er, sérstaklega við Ánanaust. Hins vegar er um fáar stöðvar að ræða og gefur þetta tilefni til frekari athugana síðar. Þess er þó rétt að geta að tveggja þrepa hreinsun fráveituvatnsins eru ekki líkleg til að hafa áhrif á $\delta^{13}\text{C}$ og $\delta^{15}\text{N}$ né er um skaðleg áhrif að ræða, þetta er aðeins vísibending um að lífverur á svæðinu kunna að hafa nýtt sér næringarefni úr fráveituvatninu.



Mynd 14 $\delta^{13}\text{C}$ eftir legu útrásar frá Ánanaustum (landátt í hafátt)

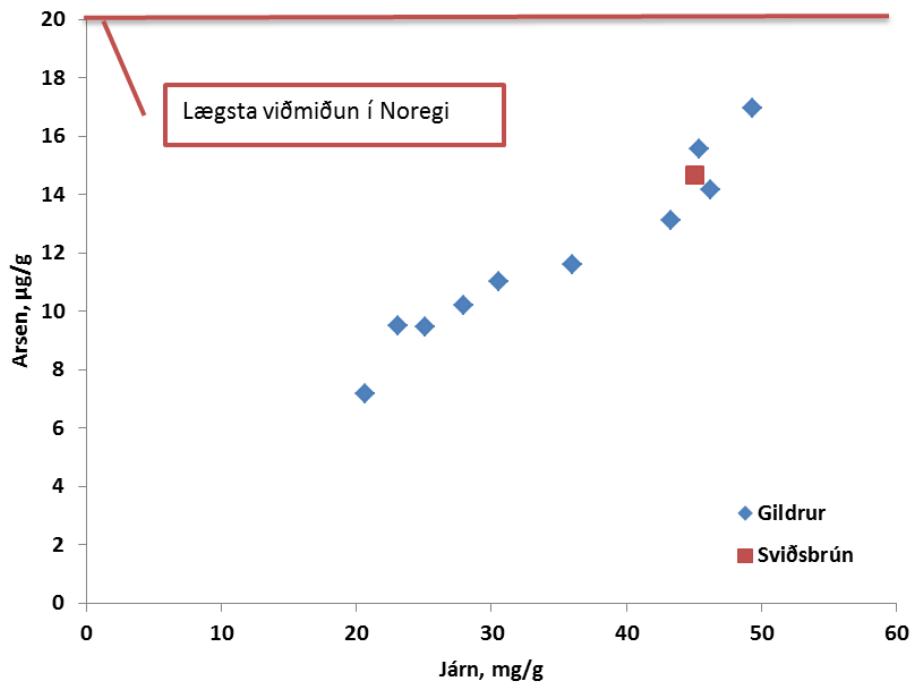


Mynd 15 $\delta^{13}\text{C}$ eftir legu útrásar frá Klettagörðum (landátt í hafátt)

3.2 Ólífræn snefilefni

Arsen

Mynd 16 sýnir styrk arsens sem fall af járni og má ljóst vera að arsen fylgir járni mjög vel sem bendir til að það arsen sem er hér á ferðinni eigi sér uppruna í ólífrænum efnum, ekki frárennsli né lífverum af svæðinu. Þetta sést einnig á því að arsen fellur með lífrænu kolefni. Það arsen sem er að finna í setgildruefnum er því í náttúrulegum styrk og undir lágstu umhverfisviðmiðun í Noregi sem endurspeglar bakgrunnsgildi (SFT, 2007). Ljóst er af mynd 16 að við gerð á viðmiðunarmörkum þarf að taka tillit til járn- eða annars mælikvarða á jarðefnafræði svæðisins. Íslenski gagnagrunnurinn sem inniheldur gögn frá ýmsum svæðum við Ísland sýnir einnig þessa hegðun og má þar sjá að arsen í ómengdu íslensku seti fer í 13 % tilvika yfir lágstu umhverfisviðmið í Noregi. Að lokum má nefna gæðaviðmið fyrir set frá USA en þau er hvað mest notuð í heiminum en þau eru gefin sem ERL (effect range low) og ERM (effect range medium) (Long *et al.* 1995) en fyrir arsen eru þau 8,2 og 70 µg/g, þ.e. öll gildrusýnin utan eitt eru yfir ERL en öll eru langt undir ERM. Varhugavert er að nota slík mörk því jarðefnafræði svæða getur verið mjög frábrugðin.

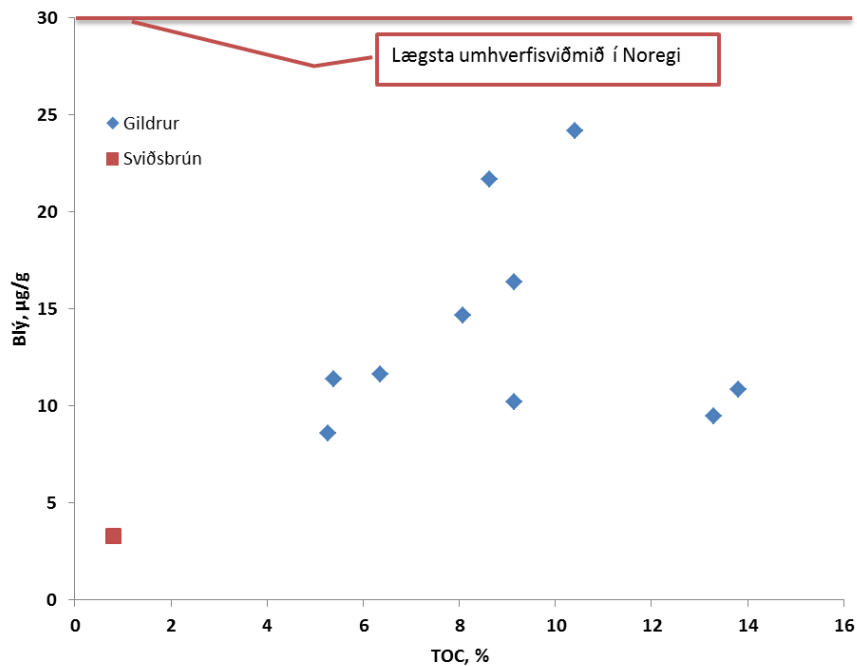


Mynd 16 Arsen sem fall af járni í gildruefnum og seti frá Sviðsbrún.

Bly

Mynd 17 sýnir bly sem fall af lífrænu kolefni og má þar sjá að bly vex almennt með lífrænu kolefni sem bendir til að uppruni þess séu úr lífverum og öðrum lífrænum efnum en ekki tengt jarðefnafræði svæðisins. Þannig lækkar styrkur blýs sem fall af járnstyrk. Þessi styrkur blýs er eins og mældist í setgildruefni og hegðar sér eins og fyrir og eftir losun við Ánanaust (1995-1996 annars vegar og 200-2001 hins vegar), þ.e. engin breyting með tilkomu losunar (Guðjón Atli Auðunsson 2005). Einnig er þessi styrkur blýs jafn styrk blýs í ómengdu íslensku seti

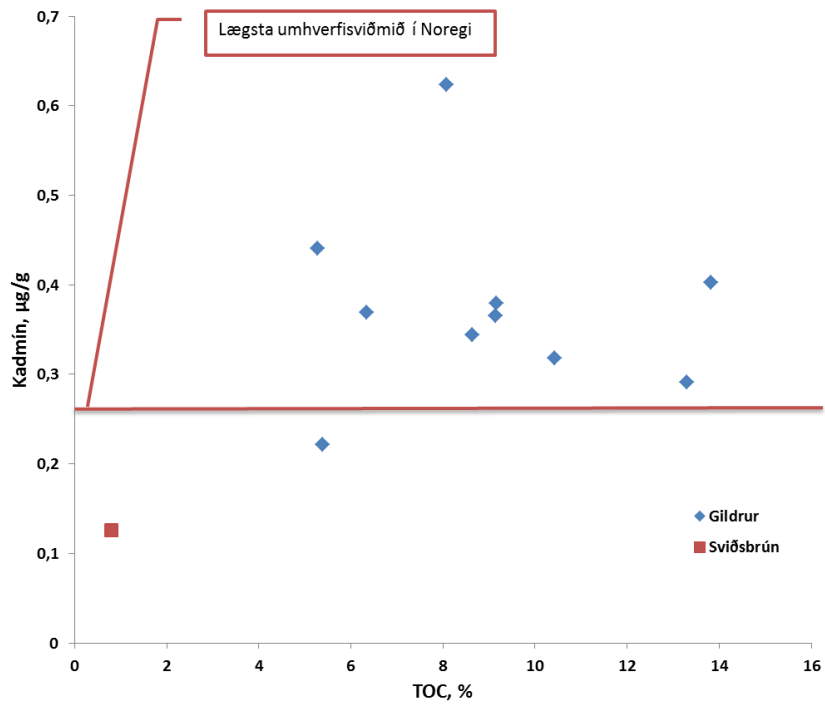
(69 sýni í íslenska gagnagrunninum). Tveir punktar með hæstan styrk lífræns efnis falla utan við meginfallið en það eru gildirur við ytri enda hvors dreifara, stöðvar 4 og 15, svo ætla má að það sé ekki lífrænt efni úr dreifistútum sem hækkar styrk blýs í setgildruefnunum. Athygli vekur einnig að blý fylgir ekki $\delta^{13}\text{C}$ en $\delta^{13}\text{C}$ gæti hugsanlega tengst fráveituvatni sbr. umfjöllun að ofan og um silfur hér að neðan. Styrkur blýs er undir lágsta umhverfisviðmiði í Noregi, svæði án mengunar, bakgrunnsstyrkur (SFT, 2007). Styrkur blýs er jafnframt langt undir ERL og ERM í USA (46,7 og 218 $\mu\text{g/g}$) (Long *et al.* 1995).



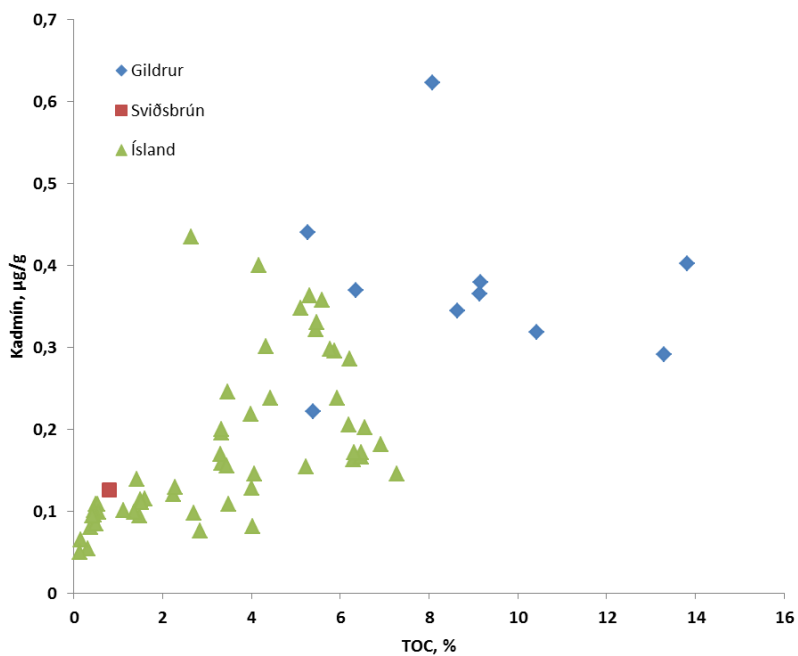
Mynd 17 Blý sem fall af lífrænu kolefni í setgildruefni og seti frá Sviðsbrún.

Kadmín

Mynd 18 sýnir styrk kadmíns sem fall af lífrænu efni en sjá má veika tilhneigingu til aukningar í styrk með lífrænu kolefni sem bendir til að uppruni þess sé í lífverum eða öðru lífrænu efni. Þessi mynd styrkist þegar íslenski gagnagrunnurinn er settur inn á myndina, mynd 19, en þar sést betur að kadmín vex með lífrænu efni setsins og að gildruefnið fellur að niðurstöðum í íslensku seti. Gildruefnið er almennt herra en í íslenska setinu en það kemur einungis til af því að lífræna efnið er herra í efniviðnum úr gildrunum. Af þessu má draga þá ályktun að kadmín í setgildruefninu er ekki vegna mengunar, hvorki frá skólpi né öðrum hugsanlegum mengunarvöldum. Lægsta umhverfisviðmiði í Noregi er almennt lægra en í gildruefninu en mörk þyrftu að taka mið af lífrænu kolefni skv. þessum niðurstöðum. Um 20 % af ómengudu íslensku seti fer yfir þessi lágstu viðmiðunarmörk í Noregi. Vefir íslenskra sjávarlífvera eru almennt með hærri styrk kadmíns en víða annars staðar og kann það að vera skýring þess að íslenskt set fer yfir norsk viðmiðunarmörk. Næstlægstu mörk í Noregi eru við 2,6 $\mu\text{g/g}$ Cd eða mjög langt yfir íslensku seti en undir 2,6 telst set gott (SFT, 2007). ERL og ERM eru 1,2 og 9,6 $\mu\text{g/g}$ (Long *et al.* 1995) eða talsvert hærri en hæstu gildi í íslensku seti. Að lokum má nefna að engin tengsl eru á milli $\delta^{13}\text{C}$ og kadmíns en $\delta^{13}\text{C}$ gæti hugsanlega tengst fráveituvatni sbr. umfjöllun að ofan og um silfur hér að neðan.



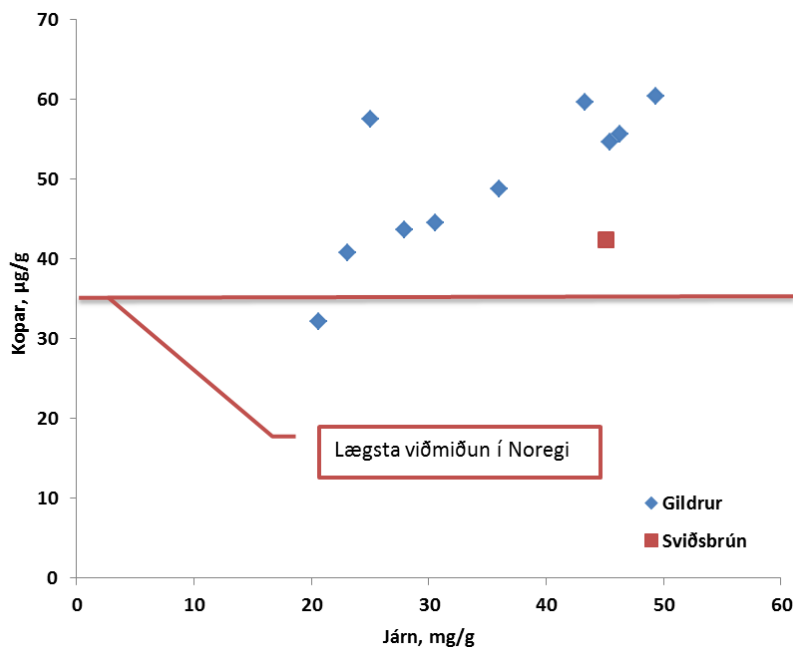
Mynd 18 Kadmín sem fall af lífrænu efni í setgildrum og seti af Sviðsbrún.



Mynd 19 Kadmín sem fall af lífrænu efni í setgildrum, seti af Sviðsbrún og í íslensku seti.

Kopar

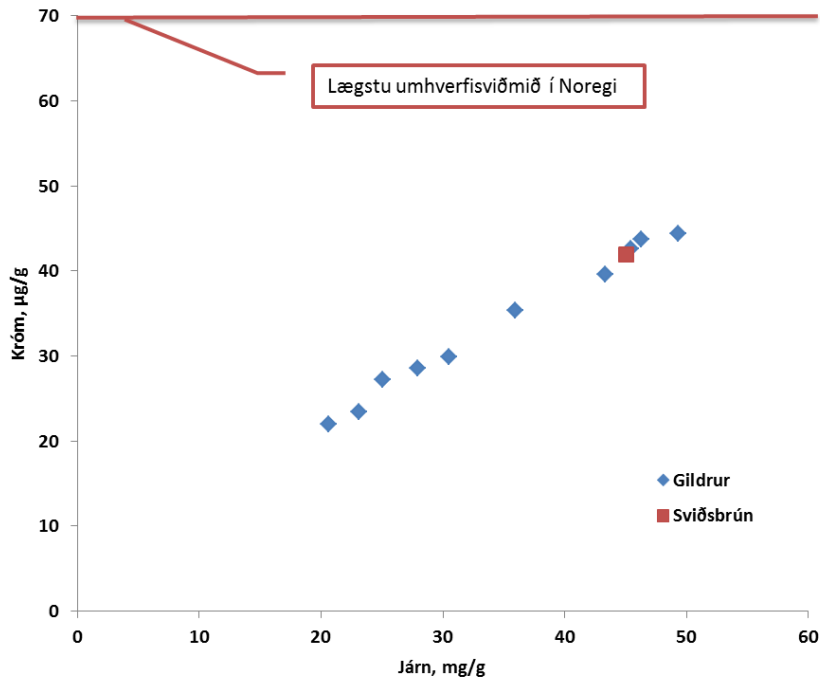
Mynd 20 sýnir kopar sem fall af járni og má sjá samfellda aukningu í kopar með járnstyrk í seti eins og fyrir arsen og ljóst að koparinn kemur úr ólífrænu umhverfi og tengist jarðfræði svæðisins, þ.e. tengist ekki lífverum eða lífrænu efni. Þetta kemur einnig fram í að ekkert samband er á milli $\delta^{13}\text{C}$ og kopars. Kopar í setgildruefni við Ánanaustdreifara fyrir og eftir að losun hófst er með sama styrk og hér mælist, þ.e. engin breyting með tilkomu losunar (Guðjón Atli Auðunsson 2005). Íslenski gagnagrunnurinn hegðar sér svipað og koparinn gerir á mynd 20, þ.e. vex almennt með járni. Umhverfisviðmið í Noregi er 35 $\mu\text{g/g}$ (SFT, 2007), sem er lægra en öll sýnin á mynd 20, Sviðsbrún meðtalin, utan eitt. 80 % af 69 setsýnum við Ísland standast ekki þessa lægstu viðmiðun í Noregi. Augljóslega gilda ekki sömu viðmið á Íslandi og í Noregi og helgast það af mismun í jarðefnafræði svæðanna og enn eitt dæmið um að viðmiðanir í einu landi þurfa ekki að gilda í öðru af náttúrulegum ástæðum. Mörk Norðmanna taka heldur ekki mið að því að náttúrulegur styrkur kopars fylgir járni. ERL og ERM í USA eru 84 og 270 $\mu\text{g/g}$ (Long et al. 1995) eða langt yfir setgildrusýnum og ómenguðu íslensku seti.



Mynd 20 Kopar sem fall af járni í setgildruefni og seti af Sviðsbrún.

Króm

Mynd 21 sýnir króm sem fall af járni og er augljóst að króm fylgir járninu mjög vel eða eins og arsen og kopar og því er króm alfarið af jarðfræðilegum toga, þ.e. ólífrænu efni og ótengt lífverum eða lífrænu efni á svæðinu. Styrkurinn er jafnframt sá sami og hann mældist í setgildruefni fyrir og eftir að losun hófst við Ánanaust, þ.e. engin breyting samfara losun (Guðjón Atli Auðunsson 2005). Styrkur króms er jafnframt talsvert undir lægstu umhverfismörkum í Noregi (70 $\mu\text{g/g}$), þ.e. bakgrunnsgildi fyrir ómenguð svæði (SFT, 2007). Þess má geta að króm í íslenska gagnagrunninum fyrir set er mældur eftir bræðslu með litium metabóratu en við það losna snefilefni úr steindum einnig, sem geta verið ríkar af t.d. króm. Af þessum sökum stenst aðeins um 1 % af íslenska setinu lægstu umhverfismörk í Noregi sem sýnir að upplýsingar um greiningaraðferðir eru mikilvægur þáttur við mat á niðurstöðum. ERL og ERM fyrir króm eru 81 og 370 $\mu\text{g/g}$ (Long et al. 1995), langt yfir krómstyrk gildruefnisins.



Mynd 21 Króm sem fall af járn í setgildruefni og seti af Sviðsbrún.

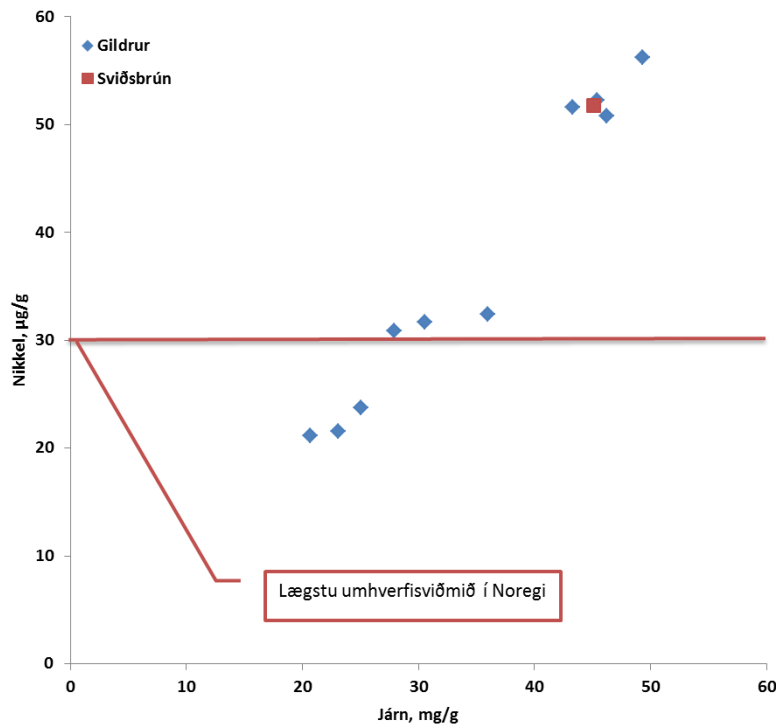
Kvikasilfur

Kvikasilfur mældist aðeins í sýnum af tveimur stöðvum yfir greiningarmörkum, 0,04 µg/g. Þetta eru stöðvarnar 4 við enda Klettagarðadreifara og stöð 7, 500 m austan við miðju Klettagarðadreifara. Styrkurinn sem mældist var 0,28 µg/g á stöð 4 og 0,15 µg/g á stöð 7. Þessir styrkir eru mjög áþekkir þeim styrk sem fékkst í setgildrum fyrir og eftir að losun hófst við Ánanaust, þ.e. engin breyting samfara losun (Guðjón Atli Auðunsson, 2005). Féllu gildin þá jafnframt vel inn í íslenska gagnagrunninn fyrir kvikasilfur í seti. Lægstu umhverfisviðmið í Noregi eru 0,15 µg/g (SFT, 2007) og má af því ráða að svæðið telst til bakgrunnsgilda, ósnortið svæði utan þessa eina sýnis á stöð 4. ERL í USA eru einnig 0,15 µg/g en ERM 0,71 µg/g (Long *et al.* 1995). Kvikasilfur fylgir almennt lífrænu efni í setgildrum og seti á ómengduðum hafsvæðum, þ.m.t. íslenskt og ómengað sjávarseti (Guðjón Atli Auðunsson 2005) og er uppruni þess því í langflestum tilvikum lífverur sem geta safnað því upp í vefi sína og því meir sem ofar dregur í fæðukeðjunni. Þessar niðurstöður sýna að Sundin séu ósnortin af kvikasilfri.

Nikkel

Mynd 22 sýnir nikkel sem fall af járn og kemur enn fram áþekkur ferill og fyrir arsen, kopar og króm, þ.e. mikil fylgni sem bendir sterklega til þess að nikkel kemur til af jarðefnafræðilegum aðstæðum á svæðinu og ótengt lífverum eða lífrænu efni á svæðinu. Styrkurinn er jafnframt mjög áþekkur þeim styrk sem mældist í setgildruefni fyrir og eftir að losun hófst við Ánanaust og var engin breyting í styrk samfara losuninni (Guðjón Atli Auðunsson 2005). Athygli vekur að meðalstyrkur er áþekkur lægstu umhverfisviðmiðun í Noregi (SFT, 2007) sem ekki taka mið af járnstyrk í setinu. Þessu svipar því til kopars og

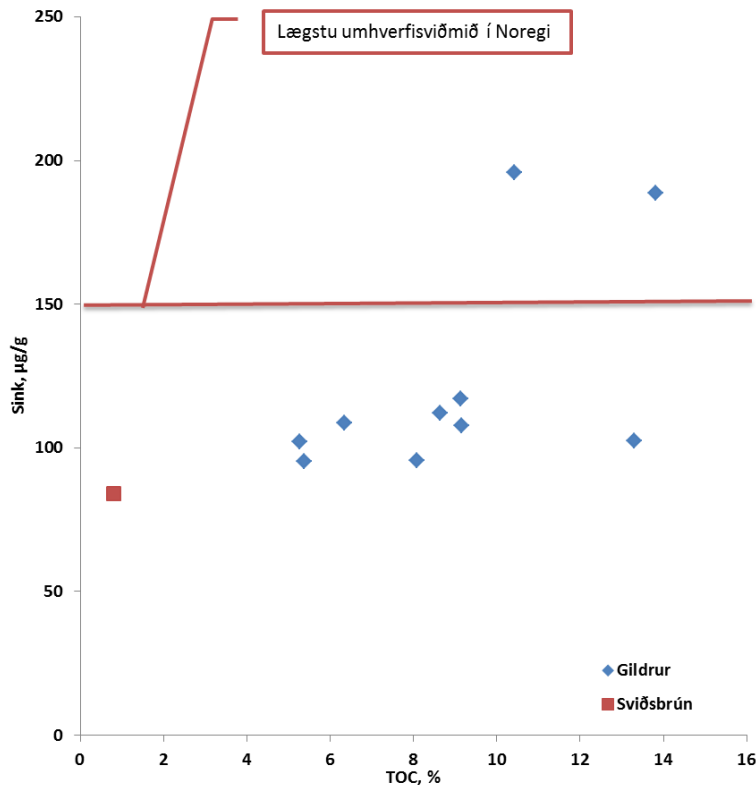
kadmíns, norskar viðmiðanir gilda ekki á Íslandi fyrir þessi snefilefni. Þess er að geta að um 35% gagna fyrir nikkel í íslenska gagnagrunninum fyrir set eru yfir þessu lágsta viðmiði í Noregi. ERL í USA er enn lægra en lágsta viðmiðun í Noregi eða 20,9 µg/g (Long *et al.* 1995) en ERM er 51,6 µg/g. Er þetta enn eitt dæmið um að Ísland verður að setja eigin viðmið á snefilefni í seti.



Mynd 22 Nikkel sem fall af járn í setgildruefni og seti af Sviðsbrún

Sink

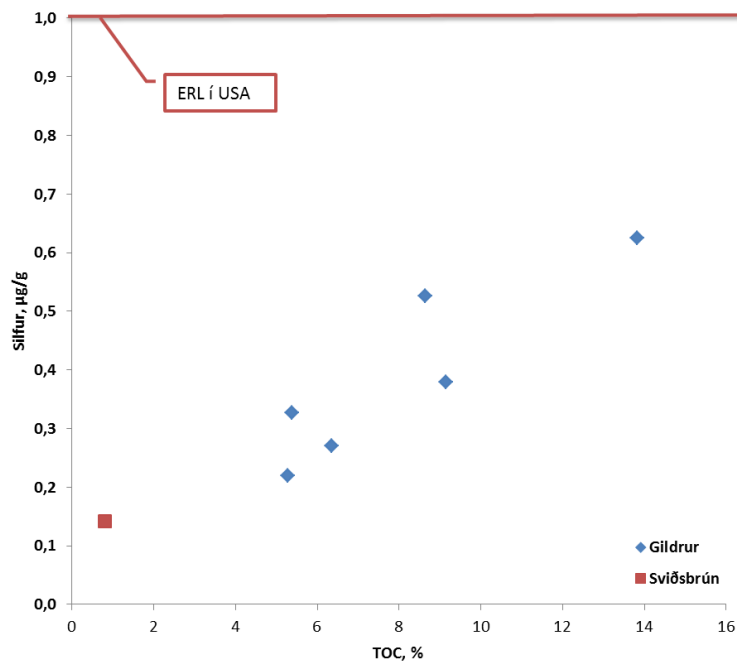
Mynd 23 sýnir sink sem fall af lífrænu kolefni. Ekki er marktæk fylgni á milli sinks og lífræns kolefnis í setgildruefninu ef tvö hæstu gildin eru tekin frá. Fyrir utan þessi tvö gildi sem annars vegar eru frá stöð 4, við enda dreifara frá Klettagörðum, og stöð 16, við upphaf dreifara frá Ánanaustum, er um sama styrk sinks að ræða og mældist í gildruefni fyrir og eftir að losun hófst við Ánanaust (Guðjón Atli Auðunsson 2005). Þessi tvö gildi eru jafnframt yfir lágsta viðmiðunargildi í Noregi (SFT, 2007) og færir þessar stöðvar yfir í flokk sem telst dæmi um gott ástand en flest sýni eru undir þessum mörkum, bakgrunnsgildi ósnortinnar náttúru. Þessi tvö gildi tengjast ekki lægra $\delta^{13}\text{C}$ sem bendir til annarrar uppsprettu en fráveituvatns en mengun af völdum sinks má víða finna í umhverfinu og tengst e.t.v. mikilli umferð báta og skipa á svæðinu. ERL í USA er jafnt lágsta viðmiði í Noregi eða 150 µg/g en ERM er 410 µg/g (Long *et al.* 1995). Þess má geta að öll sýni í íslenska gagnagrunninum eru undir þessum lægri mörkum utan eins og var það frá Örfirisey.



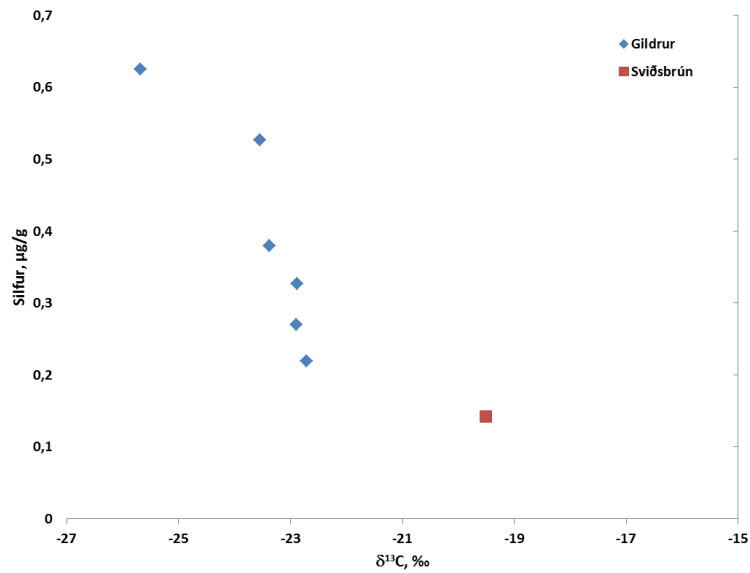
Mynd 23 Sink sem fall af lífrænu kolefni í setgildruefni og í seti af Sviðsbrún.

Silfur

Mynd 24 sýnir silfur sem fall af lífrænu kolefni. Silfur mældist ekki yfir greiningarmörkum (0,04 µg/g) á fjórum stöðvum, þ.e. stöð 17 (á leiðslu en 250 m frá upphafi dreifistúts frá Ánanaustum), stöðvum 16 og 15 (við dreifistút út af Ánanaustum), og stöð 9 miðja vega milli dreifistúta (Akureyjarbauja). Hins vegar mælist silfur í setinu við Sviðsbrún. Þetta er jafnframt í fyrsta sinni svo höfundur sé kunnugt að silfur hafi verið mælt í seti á Íslandi. Norðmenn hafa ekki útbúið viðmiðunarmörk þó svo þekkt sé að silfur sé mjög gott bendiefni á t.d. fráveituvatni (Guðjón Atli Auðunsson 2005b og heimildir þar). Silfur er jafnframt eini málmurinn sem tengst hefur fráveituvatni við rannsóknir á kræklingi á Sundunum þó svo áhrifa þess gætir mun minna nú en áður en losun hófst (Guðjón Atli Auðunsson 2006). Sjá má á mynd 24 að styrkur silfurs fylgir vel lífræna kolefninu og virðist setið við Sviðsbrún raða sér í þá fylgni. Styrkurinn er ávallt lægri en lægsta viðmið í USA, ERL 1 µg/g (Long *et al.* 1995) og talsvert lægra en ERM eða 5,7 µg/g þannig að ekki er um háan styrk að ræða. Spurning vaknar því hvort þetta lífræna efni, sem silfrið fylgir, eigi rætur að rekja til fráveituvatsins. Til að svara því er silfur skoðað sem fall af $\delta^{13}\text{C}$, mynd 25, og kemur í ljós nokkuð góð tilhneiging í þá veru að hærri gildi á silfri tengist lægra gildi á $\delta^{13}\text{C}$ eins og við er að búast ef lífræna efnið er undir áhrifum fráveituvats. Taka ber fram að þetta þýðir ekki að lífrænt efni úr skólpi hafi sest til á botni heldur annað tveggja, að lífrænar agnir hafi verið fangaðar í gildrunar og/eða lífverur hafi tekið í sig silfur og síðan fangaðar í gildrur (en lífmögnun getur verið mikil á silfri). Hæsta gildið á silfri kemur af stöð 4, við enda dreifistúts frá Klettagörðum, en næsthæst kemur af stöð 11 við miðjan dreifistút frá Ánanaustum. Fráveituvatn er því líklega orsök þess að silfur mælist yfir styrk ómengaðs sets frá Sviðsbrún þó um mjög lága styrki sé að ræða og ekki í styrk sem veldur vistkerfinu hættu sbr. ERL frá USA. Ekki er unnt að fullyrða um afdrif silfurs við frekari hreinsun fráveituvats en reikna má með að hún myndi skila árangri við hnatfellingu í settönkum.



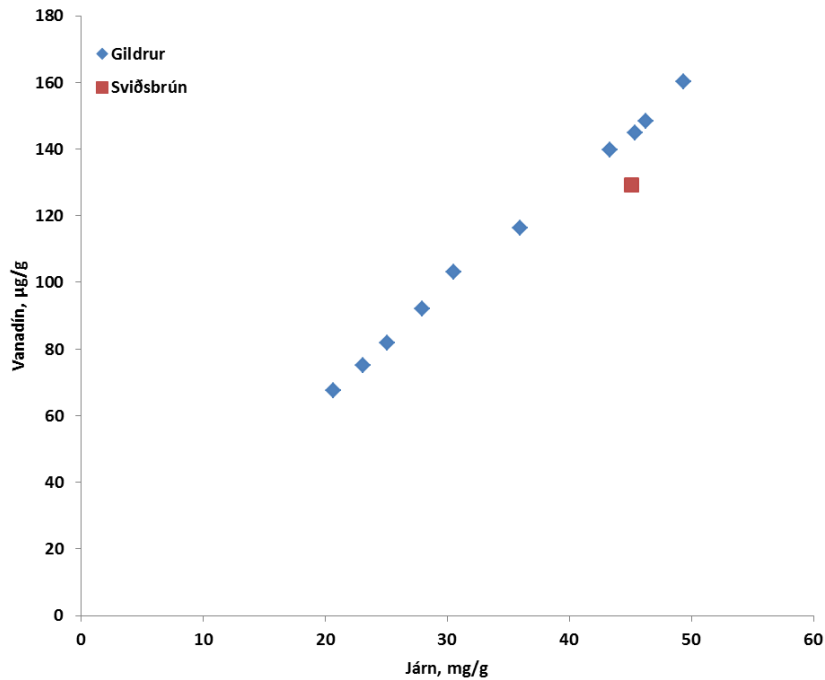
Mynd 24 Silfur sem fall af lífrænu kolefni í setgildruefni og seti frá Sviðsbrún.



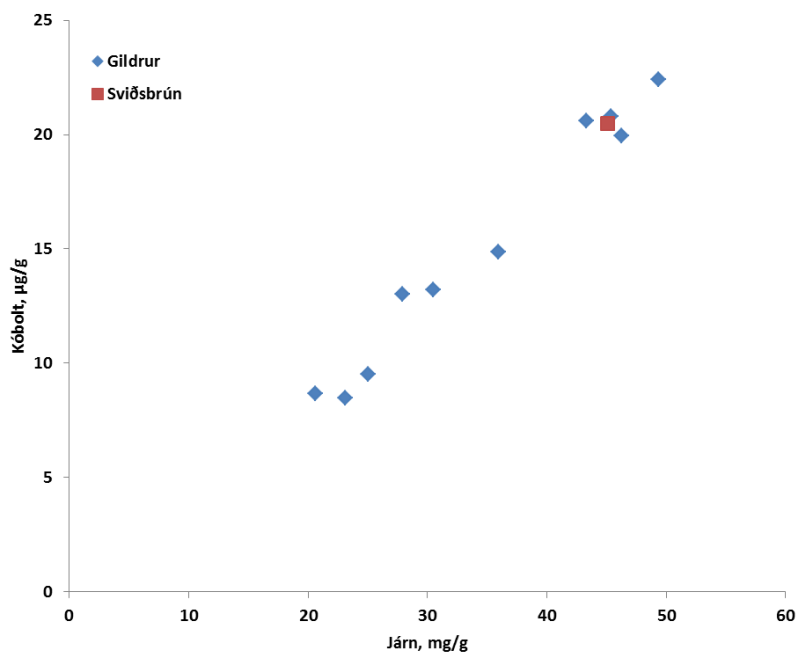
Mynd 25 Silfur sem fall af δ¹³C í gildruefni og seti af Sviðsbrún.

Vanadín og kóbolt

Myndir 26 og 27 sýna vanadín og kóbolt sem fall af járni og er mjög ljóst að um ákaflega góða fylgni er að ræða og svipar þannig til As, Cd, Cu og Cr, þ.e. þessi snefilefni eiga rætur til náttúrulegra jarðefna á svæðinu og hafa enga tengingu við fráveituvatnið. Engin viðmiðunargildi hafa fundist fyrir þessa tvo málma.



Mynd 26 Vanadín sem fall af járni fyrir gildruefni og set af Sviðsbrún.



Mynd 27 Kóbolt sem fall af járni í gildruefni og seti af Sviðsbrún.

Selen

Þetta er í fyrsta skipti sem selen hefur verið mælt í seti eða gildruefni við Ísland. Engin viðmiðunargildi hafa fundist fyrir selen í seti en niðurstöðurnar eru á bilinu 0,58 µg/g (stöð 2) í 2,5 µg/g (stöð 10) og hæst 4,2 µg/g (stöð 17). Sviðsbrún gefur 0,74 µg/g og er það gildi ekki marktækt frábrugðið öðrum gildum að stöð 17 undanskilinni. Ekki var unnt að sjá fylgni selens með öðrum snefilefnum né öðrum mælipáttum í setgildruefninu. Viðlíka styrk selens mátti finna við SV-England (Turner 2013) eða á bilinu 0,4-1,5 µg/g. Í san Francisco flóa fylgdi selen lífrænu kolefni og þar þar í styrk á bilinu 0,2-1,0 µg/g (Meseck og Cutter 2012). Hæstu gildi í setgildrum á stöðvum 11 og sérstaklega 17 eru því nokkru hærra en á þessum tveimur svæðum en önnur innan marka þessar svæða. Líta verður á þessar niðurstöður sem gagnagrunn fyrir frekari rannsóknir síðar en ætla má að um bakgrunnsgildi sé að mestu að ræða.

4 Helstu niðurstöður, ágrip

Fjallað er um vökvaknúna hreyfingar agna úr fráveituvatni á Sundunum og er niðurstaðan sú að út frá reynslulíkingum megi draga þá ályktun að afar ólíklegt sé að agnir úr skólpi munu falla niður á botn í viðtaka. Þetta gerir m.a. það að verkum að þess er ekki að vænta að sjór niður við set og því síður ofar í vatnssúlunni verði súrefnisnaður vegna agna fráveituvatsins því þær munu hratt flytjast burt af svæðunum þó það gerist hægar en fyrir uppleyst efni úr fráveituvatni.

Út frá mesta flæði svifagna og lífvera niður á setið eins og það mælist með setgildrum yfir þann tíma ársins sem minnst hreyfing er á setinu og ölduhreyfing minnst, þá má draga þá ályktun út frá reynslulíkingum og straumrannsóknum að hreyfing sjávar muni ávallt sjá setinu fyrir nægu súrefni til að sundra þessu lífræna efni án þess að lækun verði í súrefnisstyrk niður við botn.

Niðurstöður mælinga á næringarefnum köfnunarefni og fosfór auk niðurstaðna fyrir lífrænt kolefni í setgildruefni, fyrir og eftir losun, sýna að losun hefur óveruleg áhrif en ekki er unnt að sjá aukna ákomu lífræna efna eða næringarefna í setgildrum þó þær séu næst dreifistútum fráveituvatsins. Þessar niðurstöður staðfesta ályktanir um að skolpagnir muni ekki setjast niður á setið. Hins vegar sýna mælingar á þungri samsætu kolefnis ($\delta^{13}\text{C}$) að greina má áhrif losunar fráveituvatsins við svæðin næst dreifistútum. $\delta^{15}\text{N}$ hentar hins vegar ekki sem bendiefni á fráveituvatnið vegna mikilla þynninga, þ.e. viðtaki verður fyrir óverulegum áhrifum. Vistkerfinu stafar hins vegar ekki hætta af þessu heldur virðist $\delta^{13}\text{C}$ vera hentugt bendiefni á fráveituvatni eða vatni af landrænum uppruna. Frekari hreinsun hefði ekki eða mjög óveruleg áhrif á þessa mælistærð.

Öll ólífræn snefilefni rannsóknarinnar utan silfurs voru í styrk sem skýra má með náttúrulegum ferlum sem fráveituvatnið hefur ekki áhrif á. Silfur fylgir hins vegar lífrænu efni og sýnir nokkuð góða tilhneigingu í þá veru að hækka með lægra gildi á $\delta^{13}\text{C}$ eins og við er að búast ef lífræna efnið er undir áhrifum fráveituvatsins. Þetta þýðir ekki að lífrænt efni úr skólpi hafi sest til á botni heldur annað tveggja, að lífrænar agnir hafi verið fangaðar í gildrunar og/eða lífverur hafi tekið í sig silfur og síðan fangaðar í gildrum (en lífmögnun getur verið mikil á silfri). Um mjög lága styrki er að ræða sem ekki veldur vistkerfinu hættu enda vel undir lægri umhverfisviðmiðunargildi á silfri. Ekki er unnt að fullyrða um afdrif silfurs við frekari hreinsun fráveituvatsins en reikna má með að hún gæti skilað lægri styrk með samfellingu í settönkum. Silfur er eina ólífræna snefilefnið sem hefur mátt tengja fráveituvatni við rannsóknir á kræklingi á Sundunum en áhrifa þess gætir mun minna nú en áður en losun hófst.

5 Heimildir

Al-Ragum, A., M.Monge-Ganuzas, C.L.Amos, A.Cearreta, I.Townend d, E.Manca 2014. An evaluation of the Rousset heory for sand transport in the Oka estuary, Spain. *Continental Shelf Research* 78: 39–50.

Augley, Julian, Mark Huxham, Teresa F. Fernandes, Alastair R. Lyndon, Sarah Bury 2007. Carbon stable isotopes in estuarine sediments and their utility as migration markers for nursery studies in the Firth of Forth and Forth Estuary, Scotland. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 72:648-656.

Baker, E.K., P.T.Harris, B.Kensett-Smith, D.F.Bagster, and D.M.Nobbs 1995. Physical Properties of Sewage Particles in Seawater. *Mar.Poll.Bull.*, 30: 247-252.

Bijker, E.W. 1971. Longshore transport computation. *Journal of Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division, ASCE*, 37 No. 4: 687-701.

Cromey, C. J., K. D. Black, A. Edwards and I. A. Jack 1998. Modelling the Deposition and Biological Effects of Organic Carbon from Marine Sewage Discharges. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 47: 295–308.

Cushing, Colbert E., G. Wayne Minshall, and J. Denis Newbold 1993. Transport dynamics of fine particulate organic matter in two Idaho streams. *Limnol. Oceanogr.*, 38: 1101-1115.

Findlay, R.H., and L.Watling 1997. Prediction of benthic impact for salmon net-pens based on the balance of benthic oxygen supply and demand. *Mar.Ecol.Prog.Ser.*, 155: 147-157.

Fugate, David, and Bob Chant 2006. Aggregate settling velocity of combined sewage overflow. *Mar.Poll.Bull.*, 52: 427–432.

Guðjón Atli Auðunsson 2000. Hegðun og samsetning fráveituvatns í hreinsistöðinni við Ánanaust. Unnið fyrir Gatnamálastjórnann í Reykjavík. Skýrsla Rf 4-00. Mars 2000.

Guðjón Atli Auðunsson 2001. Setgildrurannsóknir út af Ánanaustum ,95-,96 og Klettagörðum ,98-,99: hafræn meðferð skolps. Unnið fyrir Gatnamálastjórnann í Reykjavík. Verkefnisskýrsla Rf 27-01. Október 2001.

Guðjón Atli Auðunsson 2002. Hegðun og samsetning fráveituvatns í Skolpu 2000-2001. Unnið fyrir Gatnamálastjórnann í Reykjavík. Skýrsla Rf 06 - 02. Mars 2002.

Guðjón Atli Auðunsson, 2005. Setgildrurannsóknir út af Ánanaustum ,00-,01: hafræn meðferð skolps. Unnið fyrir Orkuveitu Reykjavíkur. Verkefnaskýrsla Iðntæknistofnunar. ITÍ0605/EGK01. Desember 2005.

Guðjón Atli Auðunsson 2005b. Kræklingsrannsóknir: Ánanaust 2000. Unnið fyrir Orkuveitu Reykjavíkur. Skýrsla ITÍ0605/EGK02 (6ÞV05186).

Guðjón Atli Auðunsson 2006. Summary and evaluation of environmental impact studies on the recipient of sewage from the STP at Ánanaust, Reykjavík. Work for Orkuveita Reykjavíkur (Reykjavík Energy). Report of Technological Institute of Iceland ITÍ0616/EGK05. Novemeber 2006.

Larsen, Laurel G., Judson W. Harvey, and John P. Crimaldi 2009. Morphologic and transport properties of natural organic floc. *Water Resour. Res.*, 45, W01410, doi:10.1029/2008WR006990.

- Lavelle, J.W., E.Ozturgut, E.T.Baker, D.A.Tennant, and S.L.Walker 1988. Settling of Sewage Sludge in Seawater. *Environ.Sci.Technol.*, 22: 1201-1207.
- Long, E.R., MacDonald, D.D., Smith, S.L., Calder, F.D. 1995. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environ. Manage.*, 19:81–97.
- Meseck, Shannon and Cutter, Gregory 2012. Selenium Behavior in San Francisco Bay Sediments. *Estuaries and Coasts*, 35:646–657.
- Morrissey, D.J., M.M.Gibbs, SE.Pickermere, and R.G.Cole 2000. Predicting impacts and recovery of marine-farm sites in Stewart Island, New Zealand, from the Findlay-Watling model. *Aquaculture*, 185: 257-271
- Rauter, Andrea, Gabriele Weigelhofer, Johann Waringer, and Tom J. Battin 2005. Transport and Metabolic Fate of Sewage Particles in a Recipient Stream. *J. Environ. Qual.* 34:1591–1599.
- Ribberink, Jan S. 1998. Bed-load transport for steady flows and unsteady oscillatory flows. *Coastal Engineering*, 34: 59-82.
- Rogers, Karyne M. 2003. Stable carbon and nitrogen isotope signatures indicate recovery of marine biota from sewage pollution at Moa Point, New Zealand. *Marine Pollution Bulletin* 46: 821–827.
- Sadeckam, Z., Jedrczak, A., Pluciennik-Koropczuk, E., Myszograj, S., and Suchowska-Kisielewicz, M. 2014. COD fractions in sewage flowing into Polish sewage treatment plants. *Chem.Biochem.Eng.Q.* 27: 185-195.
- SFT, 2007. Revidering av klassifisering av metaller og organiske miljøgifter i vann og sedimenter. Veileider for klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Statsens forurensningstilsyn 2229.
- Tucker, J., N. Sheats, A.E. Giblin, C.S. Hopkinson, J.P. Montoya 1999. Using stable isotopes to trace sewage-derived material through Boston Harbor and Massachusetts Bay. *Marine Environmental Research*, 48: 353-375.
- Turner, Andrew 2013. Selenium in sediments and biota from estuaries of southwest England. *Marine Pollution Bulletin* 73: 192–198.
- Van Rijn, L.C., 1993. Principles of Sediment Transport in Rivers, Estuaries and Coastal Seas. Publ. Aqua Publications, Zwolle, the Netherlands.
- Waldron, S., P. Tatner, I. Jack and C. Arnott 2001. The Impact of Sewage Discharge in a Marine Embayment: A Stable Isotope Reconnaissance. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 52: 111–115.

NMÍ 15-03
Verknúmer 6EM08081

Viðtakarannsóknir 2011: Kræklingur

Guðjón Atli Auðunsson
Apríl 2015



Nýsköpunarmiðstöð
Íslands

Viðtakarannsóknir 2011: Kræklingur

Efnisyfirlit

Ágrip	2
1 Inngangur	4
2 Hönnun rannsóknar og framkvæmd	5
3 Niðurstöður og umfjöllun	9
3.1 Vöxtur og holdafar	9
3.1.1 Samantekið um vöxt og holdafar	14
3.2 Stöðugar samsætur niturs og kolefnis	15
3.3 Ólífræn snefilefni	18
3.3.1 Samantekið um ólífræn snefilefni	32
3.4 PBDE-efni og klórlífræn efnasambönd	33
3.4.1 Samantekið um PBDE-efni og klórlífræn efnasambönd	45
3.5 PAH-efni	45
3.5.1 Samantekið um PAH-efni	47
4 Helstu niðurstöður, ágrip	47
5 Heimildir	49
6 Viðaukar	50

Ágrip

Vöxtur og holdafar Samantekið má draga þá ályktun að kræklingurinn af Sundunum hafi þrífist mjög vel, betur en kræklingur af viðmiðunarsvæðinu í Hvalfirði. Einnig hefur kræklingurinn af Klettagarðasvæðinu þrífist nokkuð betur en kræklingurinn af Ánanaustsvæðinu (þurrþyngd, fitumagn, holdafarsstuðull). Hitastig og næringarefnaframboð hafa m.a. áhrif á vöxt kræklinga (sjá nánar um áhrifaþætti vaxtar í Guðjón Atli Auðunsson 2001). Ætla má að kræklingurinn geti nýtt sér næringarefni úr fráveituvatninu sér til viðurværis og þ.a.l. þrífist betur á Sundunum en í Hvalfirði. Nánar um þennan þátt í næstu málsgrein um stöðugar samsætur niturs og kolefnis.

Stöðugar samsætur niturs og kolefnis. Það er þrennt sem talar gegn áhrifum fráveituvatns. Í fyrsta lagi eru gildin á $\delta^{13}\text{C}$ mjög jöfn á Sundunum, þ.e. nálægð við dreifistúta virðist skipta litlu máli. Í öðru lagi er munur á hæsta og lægsta gildis á $\delta^{13}\text{C}$ af sömu stærðargráðu og sést hefur vegna árstíðabreytinga og frá einni stöð til annarrar af náttúrulegum ástæðum. Þannig er munur bankasýnanna tveggja meiri en munurinn milli banka í lokin og Sundanna. Þannig má líta á gildin á $\delta^{13}\text{C}$ sem lýsandi fyrir þrjú svæði, þ.e. við Stykkishólm, úti á Sundunum, og í Hvalfirði, og er það líklegasta skýringin á þeim mun sem sjá má á $\delta^{13}\text{C}$. Í þriðja lagi sýni $\delta^{15}\text{N}$ engan mun milli svæðanna þriggja. Af þessu leiðir að kræklingur virðist ekki nýta sér fæðu úr fráveituvatninu svo nokkru nemur.

Ólífræn snefilefni. Í engu tilviki var unnt að tengja styrk ólífrænna snefilefna við losun fráveituvatns í viðtaka á Sundunum en sýnastöðvar voru eins nálægt losun fráveituvatnsins og nokkur kostur var á. Tímabundin undantekning er styrkur kopars og járn í kræklingi yfir miðju dreifistúts frá Klettagörðum. Þessi aukning í koparstyrk er vel innan lægstu viðmiðunarmarka í Noregi sem endurspeglar svæði sem eru undir óverulegum áhrifum ef nokkrum áhrifum og lífríkinu meinlaus. Styrkur járn sem er að finna á þessari stöð er hættulaus lífríkinu með öllu. Silfur hefur fram til þessa mátt tengja við losun fráveituvatns þó svo rannsóknir hafi sýnt að áhrifa gætti minna eftir að losun hófst í núverandi viðtaka. Nú bregður svo við að styrkur þess hefur lækkað og er nú eins og finna má á ósnortnum svæðum á SV-landi a.m.k.

Í þeim tilvikum sem Noregur hefur umhverfismörk fyrir ólífræn snefilefni (As, Pb, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Zn, Ag), þá er kræklingur Sundanna ávallt vel undir lægstu umhverfismörkum (óveruleg ef nokkur áhrif) að kadmíni undanskildu en þar kemur til hærri styrkur vegna náttúrulegra skilyrða á Íslandi.

Í þeim tilvikum sem til staðar eru hámarksgildi fyrir ólífræn snefilefni í kræklingi til manneldis (Cd, Hg, Pb) er styrkurinn lægri (Cd) eða umtalsvert lægri (Hg, Pb) í kræklingi af Sundunum.

PBDE-efni og klórlífræn snefilefni. Losun er talsverð á PBDE-efnum með fráveituvatni og er hún meiri í viðtaka fráveituvatns frá Ánanaustum en Klettagörðum, sérstaklega ofan við miðjan dreifara og 500 m austur af miðjum dreifara. Er styrkur þessa efnaflökks á svipuðum nótum og í kræklingi í Frakklandi 2001-2003 en lægri en á ströndum Kaliforníu, sérstaklega þegar fráveituvatns gætti á umhverfi hans.

Almennt er hærri styrkur lífrænna aðskotaefna á Ánanaustsvæðinu en Klettagarðasvæðinu. Ekki verður þessi munur á svæðum tengdur losun á fráveituvatni en Klettagarðasvæðið er áþekkt ómengaðri íslenskri náttúru eða nálægt henni í flestum tilvikum fyrir utan PBDE-efni.

Styrkur flestra klórlífrænu aðskotaefnanna hefur lækkað í kræklingi frá síðustu rannsóknum á svæðunum, 1998 og 2000, að undanskildum DDT-efnum, *trans*-nonachlor og toaxafen efnum en þessir þrjú flokkar sýna enga lækkun og reyndar mátti sjá um tvöfalda hækkun í p,p'-DDE þar sem áhrifa fráveituvatns gætti mest undan Ánanaustum (miður dreifari og 500 m austur af miðjum dreifara). Mesta lækkun mátti sjá í PCB-efnum þar sem um er að ræða lækkun um 2/3 á Ánanaustsvæðinu og 80 % á Klettagarðasvæðinu.

Örlitla losun má greina á Ánanaustsvæðinu (miður dreifari og 500 m austur af miðjum dreifara) fyrir PCB-efni, p,p'-DDE, Chlordane-efni og *trans*-nonachlor. Hins vegar er um mjög lága styrki að ræða og vel undir lægstu umhverfisviðmiðunum þegar slík eru fyrir hendi (PCB-efni, HCB, HCH-efni, og DDT-efni), þ.e. svæði undir óverulegum áhrifum. Fyrir PCB-efni eru fyrir hendi mörk fyrir krækling og annað sjávarfang til manneldis og eru þau 90- til 140-falt hærri en styrkur PCB-efna í kræklingi á Sundunum.

PAH-efni. Styrkur skaðlegra PAH-efna mælist einungis á einni stöð yfir greiningarmörkum mæliaðferðar, 500 m austur af miðju dreifara frá Klettagörðum. Ekki verður óyggjandi sagt að þetta sé fyrir áhrif fráveituvatns frá Klettagörðum þar sem þetta svæði mældist einnig yfir greiningarmörkum áður en losun fráveituvatns hófst á svæðinu. Þessi stöð og einungis þessi stöð fer yfir lægstu umhverfisviðmið í Noregi sem flokkar svæðið sem undir nokkrum áhrifum mengunar. Þrátt fyrir mæligildi yfir greiningarmörkum þá er kræklingurinn af þessari stöð vel undir hámarksgildi fyrir krækling til manneldis. Allar aðrar stöðvar flokkast sem svæði með óverulegri ef nokkurri mengun.

1 Inngangur

Í samræmi við starfsleyfi Orkuveitu Reykjavíkur fyrir fráveitukerfi Reykjavíkur og nágrannasveitarfélaga fóru fram rannsóknir á kræklingi í búrum í viðtaka fráveituvatns frá hreinsistöðvunum við Ánanaust og Klettagarða. Sýnataka fór fram árið 2011. Rannsóknirnar eru liður í víðtækum viðtakarannsóknum en auk kræklingrannsókna fóru fram hafefnafræðilegar rannsóknir á svæðinu og setgildrurannsóknir. Allar þessar rannsóknir hófust sumarið 2008 en vegna mikillar umferðar báta og skipa á svæðinu misfórust lagnir fyrir set og krækling það árið.

Markmið rannsókna með kræklingi eru til að leggja mat á það hvort og þá í hvaða mæli aðskotaefni og örverur safnast fyrir í lífverur á losunarsvæðunum.

Tilskipun ráðsins um losun fráveituvatns frá þéttbýli (Dir. 271/1991) leggur megináherslu á að losunin valdi ekki næringarofauðgun og súrefnissnauðum sjó eða jafnvel súrefnisfirrð, ella skilgreinist viðtaki sem viðkvæmur. Viðtaki frárennslis frá Ánanaustum og Klettagörðum er skilgreindur sem síður viðkvæmur þar sem litlar sem engar líkur eru taldar á að næringarefnaofauðgun eða að hröð lífræn rotnun á botni geti átt sér stað (Guðjón Atli Auðunsson, 2006). Enn fremur hafa fyrri rannsóknir einnig sýnt að frekari hreinsun fráveituvatns muni ekki leiða til umhverfisbætandi áhrifa. Vöktun viðtaka felur m.a. í sér að gera grein fyrir því hvort þessi skilgreining haldi enda kveður Reglugerð um fráveitur (Reglugerð um fráveitur og skólp nr 798/1999) á um að endurmat fari fram á fjögurra ára fresti. Rannsóknir með kræklingi svara þessum spurningum ekki beint heldur er þeim ætlað að sýna að lífverur hljóti ekki skaða af losuninni og er það í samræmi við markmið Vatnatilskipunarinnar (Dir. 60/2000) en í Tilskipun 39/2013 koma fram þau aðskotaefni sem sem Framkvæmdastjórnin leggur áherslu á (priority substances) og gæðamarkmið þeirra (environmental quality standards). Kræklingur hentar mjög vel til þessara nota því hann sýar agnir úr umhverfinu sér til fæðuöflunar og fer mikið magn sjávar gegnum hverja lífveru en kræklingur með þurrvigina 4 g sýar t.d. um 20 L á klukkustund (Riisgård 2001). Við þetta safnar kræklingurinn aðskotaefnum í vefi sína yfir tímabil rannsóknarinnar og gerir þau bæði mælanleg og gefur meðaltalsstyrk en mælingar á sjónum sjálfum gefur bæði mjög lágan styrk og breytilegan með tíma. Annar mjög mikilvægur kostur er sá að staðla má aðferðina og að ekki þarf að sækja lífverur af ákveðinni gerð á fyrirfram gefnum stöðvum og tíma við útrásirnar en vegna mikils breytileika í lífríki getur það reynst óvinnandi vegur, bæði lífverur ekki til staðar og ekki af réttri stærð. Stöðlunin fer þannig fram að allur kræklingur rannsóknarinnar er af sömu stærð og í sama ástandi þegar honum er komið fyrir og kræklingi úr þessu safni er unnt að halda á viðmiðunarsvæði til samanburðar. Af þessum sökum hefur kræklingur verið notaður til mats á frárennslis m.t.t. örvera, þungmálma, PAH-efna, PCB-efna og annarra klórlífrænna efna, lyfjaleifa, hormóna (mannsmíðaðra og náttúrulegra frá manni), sápu efna, ilmefna, saursteróla, fitusýra, stöðugar samsætur niturs og kolefnis o.s.frv. Lífvirkir hlutar aðskotaefna eru til rannsókna, þ.e. efnin á því formi sem geta safnast upp í lífverur. Í þessari rannsókn voru ólífræn snefilefni, PCB-efni og klórlífræn pláguefni, fjölbrómaðir eterar (PBDEs), PAH-efni og stöðugar samsætur niturs og kolefnis til athugunar.

Umfangsmiklar rannsóknir hafa farið fram með kræklingi á Sundunum, bæði áður en losun hófst eftir hreinsun og eftir að hafið var að losa frárennslis á núverandi losunarsvæðum (Guðjón Atli Auðunsson 1992, 2001, 2005; Guðjón Atli Auðunsson og Hannes Magnússon 1994, 1995). Helstu niðurstöður þessara rannsókna eru þær að kræklingur hentar vel til mats á örverum og ólífrænum og lífrænum aðskotaefnum, að örverur sjást í hæstum styrk á tiltölulega litlu svæði við útrásarendana að sumri, að PCB-efni og önnur klórlífræn efni eru af

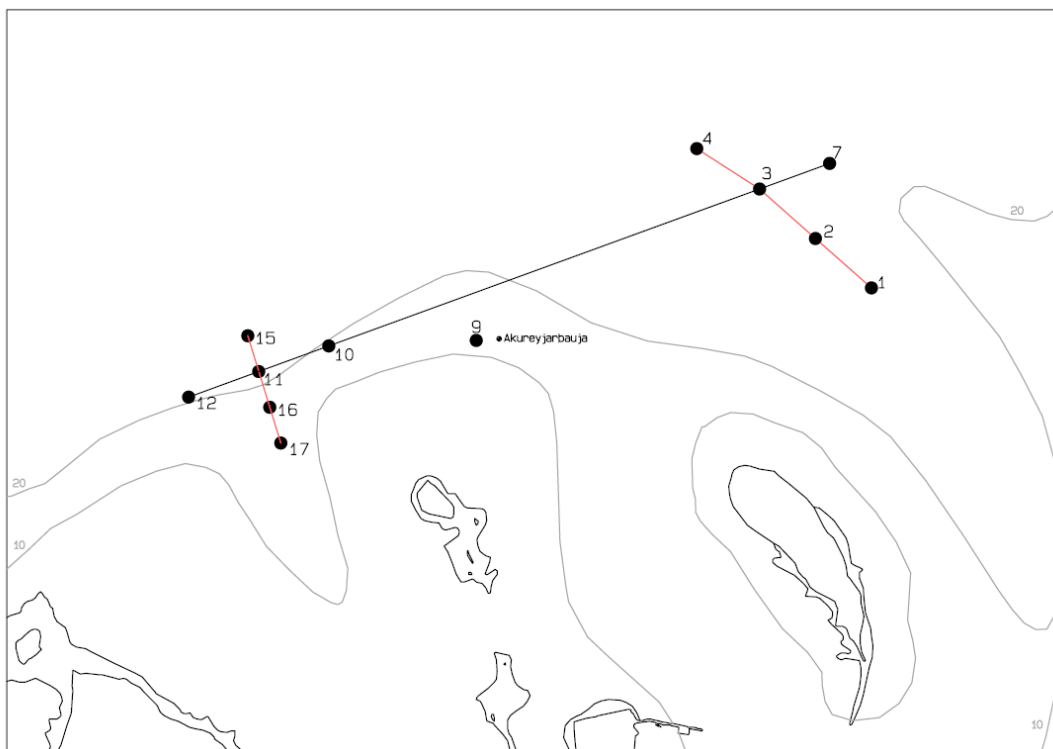
almennum landrænum toga og vegna hugsanlegrar losunar með frárennsli á árum áður en ekki í dag, og að aðeins uppsöfnun silfurs í kræklingi má tengja núverandi losun en þó í minna mæli en áður en núverandi losun fráveituvatns hófst (Guðjón Atli Auðunsson 2005, 2006).

2 Hönnun rannsóknar og framkvæmd

Rannsókn fór fram kræklingi í búrum. Rannsóknin fór fram að sumri á tímabilinu 12/06/2011 til 09/08/2011. Sýnatökustöðvar eru sýndar á mynd 1 en í ljósi fyrri rannsókna voru búr nú nær útrásum en áður. Þess er að geta að setgildir voru á þessum sömu stöðvum en einnig voru sjósýni tekin á þessum stöðvum auk nokkurra til viðbótar (samtsals 17 stöðvar fyrir sjósýni).

Fyrir Ánanaustræsið voru stöðvar 16 og 15 á dreifistútsendum (250 m frá miðju) en 11 við miðju dreifistúts. Stöðvar 12 og 10 voru 500 m frá miðju til vesturs og austurs. Stöð 17 var 500 m sunnan við miðju, um 250 m frá landenda dreifistúts.

Fyrir Klettagarðaræsið voru stöðvar 2 og 4 á dreifistútsendum eða um 500 m frá miðju dreifistúts á stöð 3. Stöð 7 var 500 m austan við miðju dreifistúts en stöð 1 var um 1000 m suðaustan við miðju dreifistúts, 500 m frá landenda dreifistúts.



Mynd 1 Sýnatökustöðvar á Sundunum (mynd unnin af Jarðfræðistofu Kjartans Thors).

Stöð 9 var valin til að vera miðja vegu milli miðju dreifistúta.

Búrkræklingi á tiltölulega þröngu lengdarbili var fenginn úr kræklingarækt Bláskeljar ehf. við Kiðey, Stykkishólmi (Símon Sturluson tengiliður), N 65°02,56 og V 22°48.83. Banki var stofnaður 30/04/2011 til að kræklingur yrði sem einsleitastur þegar hann yrði settur út á Sundin. Viðmiðunarsýni var tekið við upphaf rannsókna (12/06/2011) og einu buri jafnframt

haldið í Hvalfirði til viðmiðunar á náttúrulegum breytileika meðan á eldi stóð á Sundunum. Um 120 einstaklingar voru í hverju búi til að tryggja að 100 einstaklingar næðust í hvet sýni.

Dýpi niður á krækling var alltaf 5 m undir stórstraumsyfirborði eins og í fyrri rannsóknum.

Hnit allra stöðvanna koma fram í töflu 2.

Tafla 2 Hnit sýnatökustöðva

Stöð	X _{UTM}	Y _{UTM}	N. Br.	V. L.	Dýpi/m
1	455960	7118121	64°11.1958'	21°54.3877'	27,9
2	455585	7118451	64°11.3706'	21°54.8566'	29,6
3	455211	7118782	64°11.5458'	21°55.3244'	30,8
4	454791	7119052	64°11.6879'	21°55.8480'	31,8
7	455680	7118953	64°11.6415'	21°54.7482'	31
9	453315	7117770	64°10.9859'	21°57.6471'	12,8
10	452328	7117733	64°10.9580'	21°58.8650'	20,8
11	451859	7117562	64°10.8619'	21°59.4407'	24,7
12	451390	7117391	64°10.7659'	22°00.0164'	24,6
15	451786	7117801	64°10.9900'	21°59.5354'	30,1
16	451933	7117323	64°10.7339'	21°59.3448'	14,6
17	452007	7117084	64°10.6058'	21°59.2488'	11,4
Hvalfjörður	-	-	64°23.6523'	21°35.0259'	-

Notast var við sleppibúnað frá Sonardyne (7986 Lightweight Release Transponder (LRT) með 7967 LRT command unit og LRT rope canister). Umjón með lögnum og vinnu með hnit sá Jarðfræðistofa Kjartans Thors. Þrátt fyrir þennan viðbúnað týndist lögna á stöð 1 og stöð 12 var eyðilögð (setgildra skæld og kræklingabúr rífið frá). Þetta gerir enn grein fyrir því hve erfitt svæðið er til slíkra rannsókna vegna mikillar og þungrar umferðar báta og skipa um svæðið. 2008 var sleppibúnaður ekki notaður en þá náðist aðeins í fjórar lagnir af 17 og þessar fjórar höfðu dregist talsvert frá niðursetningarstöðvum sínum, setgildir fullar af sandi.

Sýni voru fryst við -22 °C við komu í land og fram til þess að sýni voru unnin fyrir mælingar.

Rannsóknastöðin í Sandgerði í umsjón Halldórs Pálmars Halldórssonar sá að mestu um vinnslu kræklingssýna fyrir mælingar, þ.e. mælingar á heildarþyngd, þyngd skelja, þyngd mjúkvöðva, lengd, breidd og hæð. Ólífræn snefilefni, þurrefni og aska voru mæld hjá ALS Scandinavia AB, Luleå, Svíþjóð, en tengiliður þar var Anna Engberg. Aromatísk fjölhringasambönd, nitur og fita voru mæld hjá undirverktaka ALS Scandinavia AB, GBA, Pinneberg, Þýskalandi. PCB-efni, klórlífræn efnasambönd og PBDE voru mæld á Rannsóknastofu í Lyfja- og eiturefnafræði undir umsjón Kristínar Ólafsdóttur. Mælingar á hlutfalli stöðugra samsæta kolefnis ($R_C = {}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}$) og köfnunarefnis ($R_N = {}^{15}\text{N}/{}^{14}\text{N}$) fóru fram hjá Institute for Energy Technology, Kjeller, Noregi, eftir fituútdrátt með blöndu af díklórmetani og metanóli (7 %) (til að fita, sem er með mjög lækkað hlutfall $\delta^{13}\text{C}$, hefði minni áhrif á niðurstöðurnar). $\delta X = (R_{\text{sýni}} / R_{\text{staðall}} - 1) \times 1000$ (X er ${}^{13}\text{C}$ eða ${}^{14}\text{N}$) þar sem VPDE (Vienna Pee Dee Belemnite) er staðall fyrir kolefni ($\Rightarrow \delta^{13}\text{C}_{\text{VPDE}}$) en loft fyrir köfnunarefni ($\Rightarrow \delta^{15}\text{N}_{\text{AIR}}$).

Hlutur EGK, NMÍ, í þessu verkefni var hönnun og skipulagning rannsóknarinnar, umsjón með verkinu, úrvinnslu gagna og skýrslugerð. EGK aðstoðaði við öflun sýna, sýnatökur og annaðist undirbúning og skilgreiningu sýna fyrir allar mælingar umfram það sem komið var fram hér að ofan.

Niðurstöður mælinga á viðmiðunarefnivið fyrir ólífræn snefilefni koma fram í töflu 2 en viðmiðunarefnið var kjúklingur frá China National Center for Iron and Steel (NCS ZC 73016) (Beijing, Kína).

**Tafla 2 Niðurstöður mælinga á viðmiðunarefnivið
fyrir ólífræn snefilefni (NCS ZC 73016)**

Frumefni	Eining	Vottað*	Mælt
Ag	mg/kg	0.016±0.003	<0.02
Al	mg/kg	-	27,1
As	mg/kg	0.109±0.013	0,115
Cd	mg/kg	(0,005)	<0.005
Co	mg/kg	(0.010)	0,0065
Cr	mg/kg	0.59±0.11	0,434
Cu	mg/kg	1.46±0.12	1,27
Fe	mg/kg	31±3	25
Hg	mg/kg	0.0036±0.0015	<0.01
Mn	mg/kg	1.65±0.07	1,38
Ni	mg/kg	0.15±0.03	0,0763
Pb	mg/kg	0.11±0.02	0,0427
Se	mg/kg	0.49±0.06	0,576
V	mg/kg	(0.06)	<0.02
Zn	mg/kg	26±1	26,2

*Vísendingargildi (indicative value) á viðmiðunarefnivið eru innan sviga.

Tafla 2 gerir ljóst að mælingar eru af góðum gæðum almennt. Hins vegar eru tvö frumefni nokkuð utan vottaðra gilda. Þetta eru frumefnin nikkell (Ni) og blý (Pb) en fundin gildi er umtalsvert lægra en vottuð gildi. Rannsóknastofan hefur alltaf fengið þessi lágu gildi fyrir þennan efnivið en bæði viðbætur í sýnin svo og önnur viðmiðunarefni hafa komið vel út. Skýringin er væntanlega sú að hið valda viðmiðunarefni fyrir þessa rannsókn er ekki með rétt vottað gildi.

Niðurstöður mælinga á klórlífrænum efnum á viðmiðunarefnivið (kræklingur úr Quasimeme) koma fram í töflu 3. eru niðurstöður mjög fullnægjandi en ekki voru til samþykkt gildi (assigned value) fyrir alla mæliþættina.

Ekki var mældur styrkur PAH-efna í viðmiðunarefnivið en rannsóknastofan hefur umfangsmikla reynslu af mælingunum.

Tafla 3 Niðurstöður mælinga á viðmiðunarefnivið

fyrir klórlífræn snefilefni (kræklingur Q96 úr Quasimeme)

Efni	Eining: ng/g	
	Samþykkt	Mælt
a-HCH	0,03	0,03
HCB	0,06	0,06
b-HCH	0,017	0,02
g-HCH	0,03	0,03
PCB-31	0,10	0,11
PCB-28	0,15	0,16
PCB-52	0,26	0,26
PCB-74	-	-
oxychlordan	-	-
gamma-Chl.	-	-
PCB-101	1,10	1,13
PCP-99	-	-
alfa-Chl.	-	-
transnonachlor	0,06	0,06
4,4'-DDE	0,66	0,68
Tox-26	-	-
PCB-118	0,92	0,96
4,4'-DDD	0,22	0,24
2,4'-DDT	-	-
PCB-153	3,52	3,65
PCB-105	0,21	0,22
4,4'-DDT	-	-
PCB-138	2,28	2,12
PCB-187	-	-
PCB-183	-	-
PCB-128	-	-
Tox-50	-	-
PCB-156	0,08	0,08
PBDE-47	-	-
PCB-180	0,16	0,16
Tox-62	-	-
PCB-170	-	-
PBDE-100	-	-
PBDE-99	-	-

Er varðar stöðugar samsætur kolefnis og niturs var mælt í innanhúsefnivið (IFE trout) samfara mælingum þessa verkefnis en þessi efniviður hafði verið mældur í mörg skipti yfir langan tíma. Þetta innanhúsviðmiðunarefni var staðlað gagnvart IAEA-N-1 og IAEA-N-2 fyrir $\delta^{15}\text{N}$ og gagnvart USGS-24 fyrir $\delta^{13}\text{C}$. Niðurstöður langtímamælinga og mælinga samfara mælingum á kræklingi þessa verkefnis má sjá í töflu 4.

Tafla 4 Niðurstöður mælinga á viðmiðunarefnið

fyrir $\delta^{15}\text{N}$ og $\delta^{13}\text{C}$ (IFE trout)

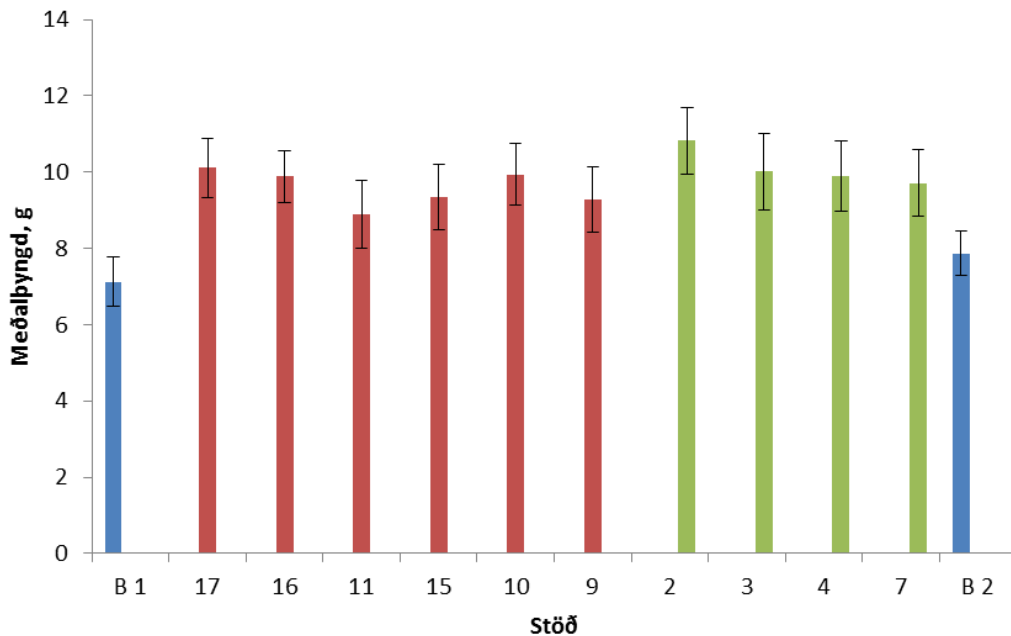
Mælipáttur	Langtímamælingar	Þetta verkefni (n=9)
$\delta^{15}\text{N}_{\text{AIR}}$	$11,45 \pm 0,20$ (1 σ), ‰	$11,38 \pm 0,11$ (1 σ), ‰
$\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$	$-20,22 \pm 0,19$ (1 σ), ‰	$-20,17 \pm 0,08$ (1 σ), ‰

3 Niðurstöður og umfjöllun

3.1 Vöxtur og holdafar

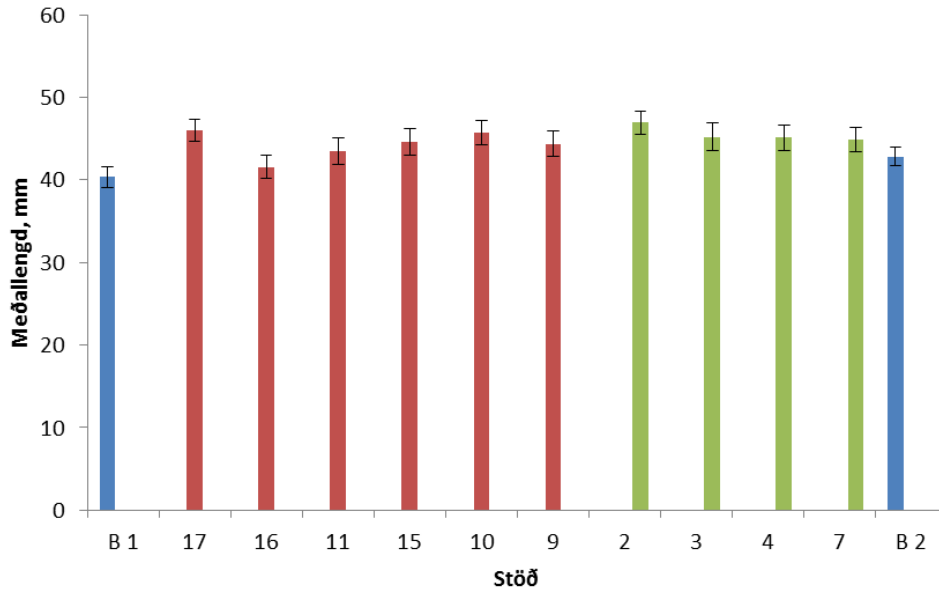
Niðurstöður mælinga á líffræðilegum þáttum koma fram í viðauka I. Niðurstöður mælinga á meginefnaþáttum koma fram í viðauka II (þurrefni, fita, prótein og aska).

Mynd 2 sýnir meðalþyngd kræklingssýnanna. Ekki er marktækur munur á Ánanauststöðvunum (brúnar súlur) og Klettagarðastöðvunum (grænar súlur ($p=0,13$) en kræklingur vex marktækt á stöðvunum miðað við banka í upphafi (B1) ($p=0,001$) eða um 37 % að meðaltali en bankinn í Hvalfirði aðeins um 10 %.



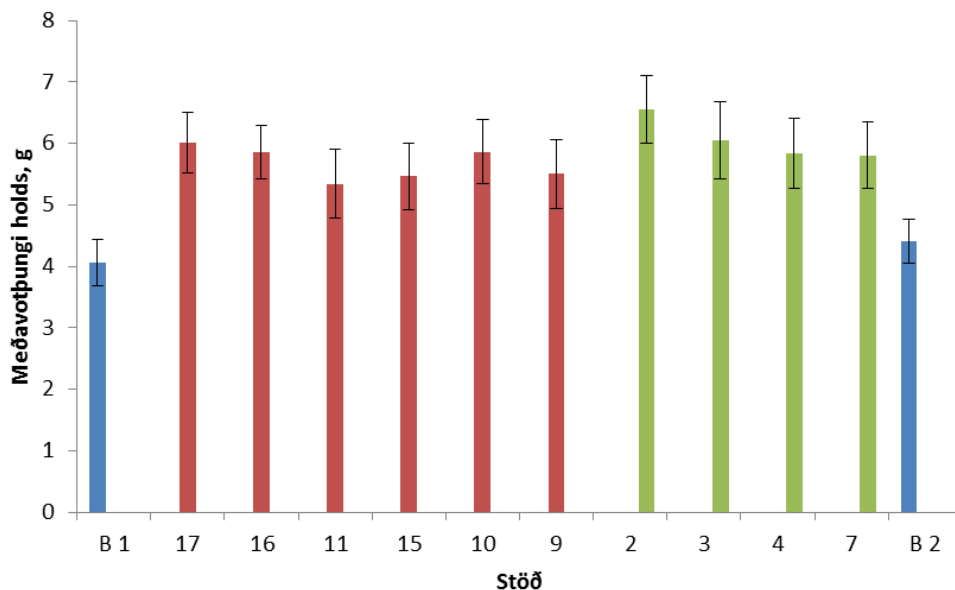
Mynd 2 Meðallengd kræklingssýna með 95 % vikmörkum.

Mynd 3 sýnir meðallengd kræklingssýnanna. Ekki er munur á Ánanauststöðvunum og Klettagarðastöðvunum ($p=0,20$) en stöðvarnar á Sundunum eru marktækt hærri en í banka í upphafi ($p=0,02$). Banki í lokinn er hins vegar með sömu lengd og stöðvarnar á Sundunum og er lengdaraukningin um 10 %.



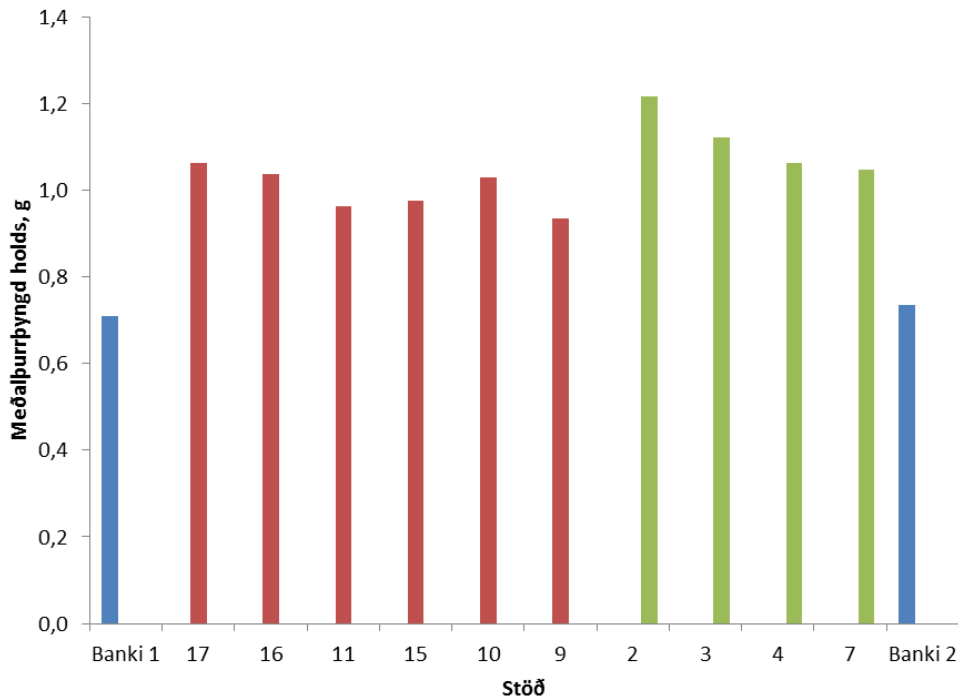
Mynd 3 Meðallengd kræklingssýna með 95 % vikmörkum.

Mynd 4 sýnir meðalvotþyngd holds. Ekki er munur á Ánanauststöðvunum og Klettagarðastöðvunum ($p=0,08$) en kræklingurinn á Sundunum vex marktækt miðað við banka í upphafi ($p=0,001$) og jafnframt er banki í lokinn með marktækt minni holdþunga en stöðvarnar á Sundunum ($p=0,004$). Stöðvarnar vaxa um að meðaltali 44 % í votþunga holds en banki einungis um 9 %.



Mynd 4 Meðalvotþungi holdskræklingssýna með 95 % vikmörkum.

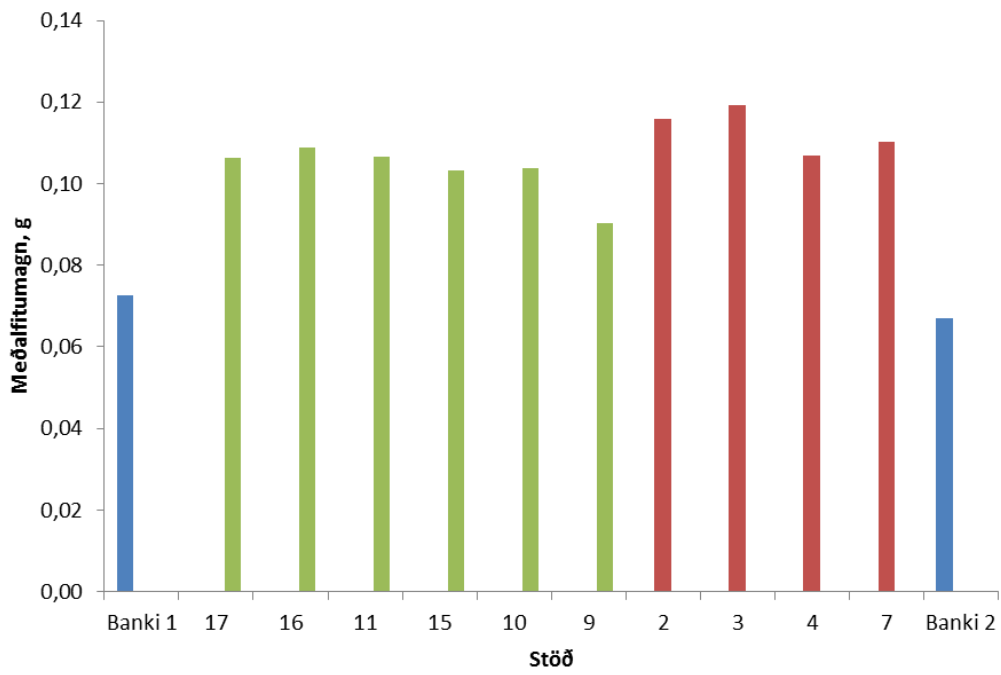
Í stað votþunga holds er hentugra að skoða þurrþunga holds, mynd 5, m.a. vegna þess að ólífræn snefilefni eru reiknuð á þurrvigtagrunni en einnig vegna þess að magn sjávar getur verið breytilegt við frystingu sýnanna. Nú bregður svo við að Klettagarðastöðvarnar eru marktækt hærri en Ánanauststöðvarnar ($p=0,02$) en báðir hóparnir eru með marktækt meiri þurrþyngd en bæði banki í upphafi ($p=0,004$) og banki í lokinn ($p=0,005$). Ánanauststöðvarnar vaxa að meðaltali um 41 % en Klettagarðastöðvarnar um 56 %. Kræklingur í bankanum í Hvalfirði vex óverulega eða um 3 %.



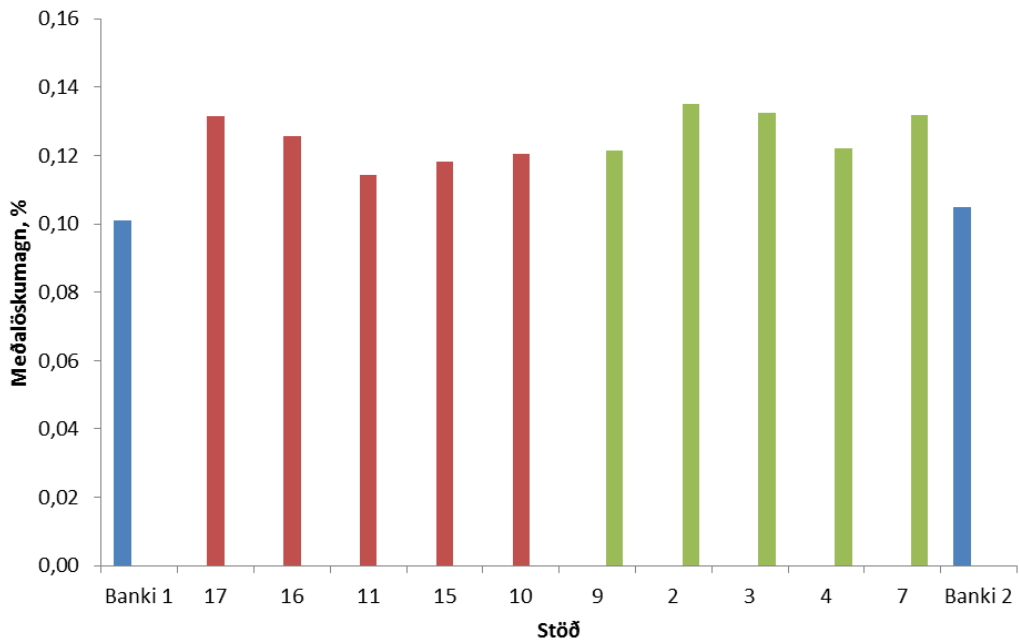
Mynd 5 Meðalþurrþyngd kræklingssýna.

Einnig er ástæða til að skoða fitumagn í meðalkræklingi, mynd 6, en lífrænu aðskotaefnin eru reiknuð á fitugrunni. Styrkur fitu mælist ekki eins á rannsóknastofunum tveimur, þ.e. parað t-próf gefur $p=0,001$. Rannsóknastofa í Lyfja- og eiturefnafræði mælir meiri fitu en ALS Scandinavia, viðauki II, og kemur hér til að ekki eru notaðar sömu aðferðir á báðum stöðum. Niðurstöður úr fituákvörðun er háð ýmsum þáttum en einna mest vegur val á leysum og mælir Rannsóknastofa í Lyfja- og eiturefnafræði það sem kalla má heildarfitu (óskautuð fita (aðallega tríglyseríð) og fosfólípíð) en ALS Scandinavia mælir það sem kalla má óskautaða fitu nær eingöngu (með Wibull-Stoldt: sundrun með saltsýru og útdráttur með peteter). Mynd 6 er útbúin á grundvelli heildarfitu. Fita eins og þurrvig er marktækt meiri á Klettagarðastöðvunum en Ánanauststöðvunum þó munur sé ekki mikill ($p=0,04$). Báðir hópar eru þó hærri en banki í upphafi ($p=0,008$ fyrir Á en $p=0,007$ fyrir K). Vöxturinn er 42 % fyrir Ánanauststöðvarnar en 56 % fyrir Klettagarðstöðvarnar. Kræklingurinn í Hvalfirði rýrnar örlítið í fitumagni eða um 8 %.

Mynd 7 sýnir að öskumagn í hverjum meðalkræklingi er af svipaðri stærðargráðu og fitan. Ekki er marktækur munur á milli Ánanauststöðvanna og Klettagarðastöðvanna ($p=0,15$) en stöðvarnar á Sundunum eru hærri en bæði banki í upphafi ($p=0,01$) og banki í lokinn ($p=0,02$). Stöðvar vaxa sem nemur um 24 % að meðaltali en bankinn í Hvalfirði um aðeins um 4 %.

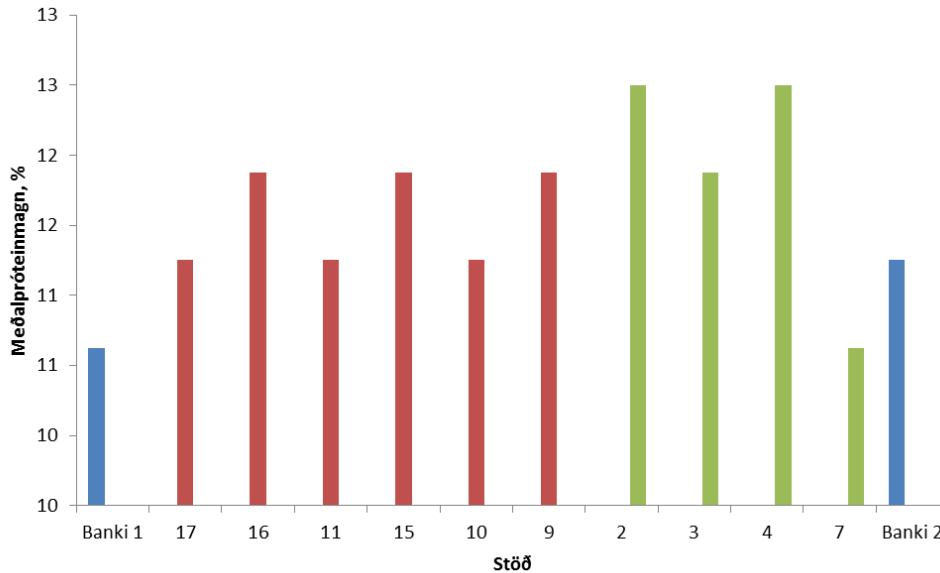


Mynd 6 Meðalfitumagn í kræklingssýnum.



Mynd 7 Meðalöskumagn í kræklingssýnum.

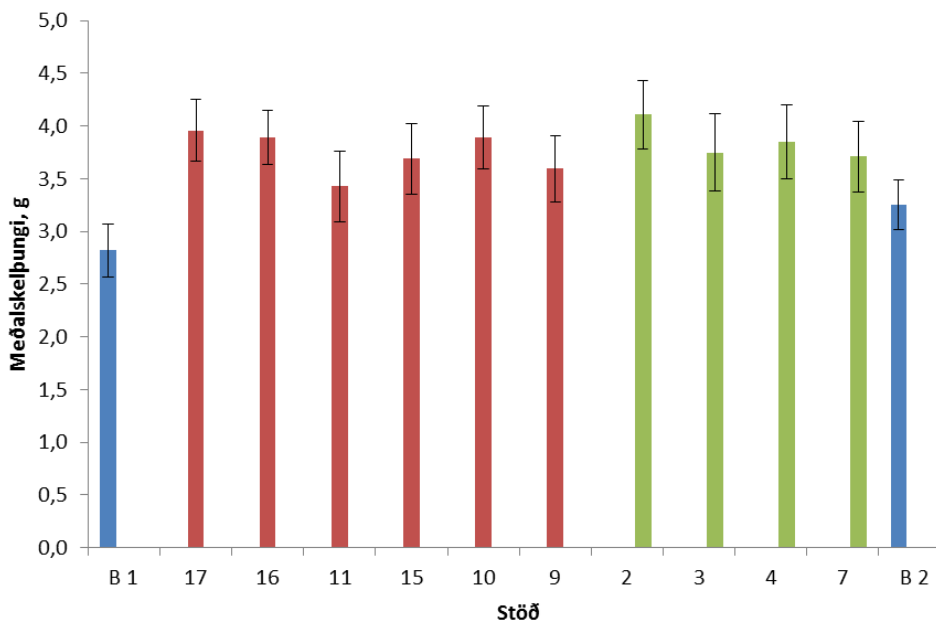
Próteinmagn hvers meðaleinstaklings er sýnt á mynd 8. Allnokkur breytileiki er í gögnunum. Vegna þessa breytileika reynast stöðvar ekki vera marktækt frábrugðnar hvor annarri, þ.e. Ánanaust og Klettagarðar ($p=0,45$), né er munur á bankasýnum og sýnunum af Sundunum ($p=0,12$).



Mynd 8 Próteinmagn í kræklingssýnum.

Samanlagt stendur prótein, raki, aska og heildarfita fyrir $98,0 \pm 0,6$ % af heildarmassa kræklingssýnanna allra ($n=12$), marktækt frábrugðið 100 % ($p=0,008$). Það sem upp á vantar til að ná 100 % má áætla að sé sykrur. Loku verður þó ekki fyrir það skotið að efnagreiningar raka, fitu, próteins og ösku sé að einhverju ábótavant.

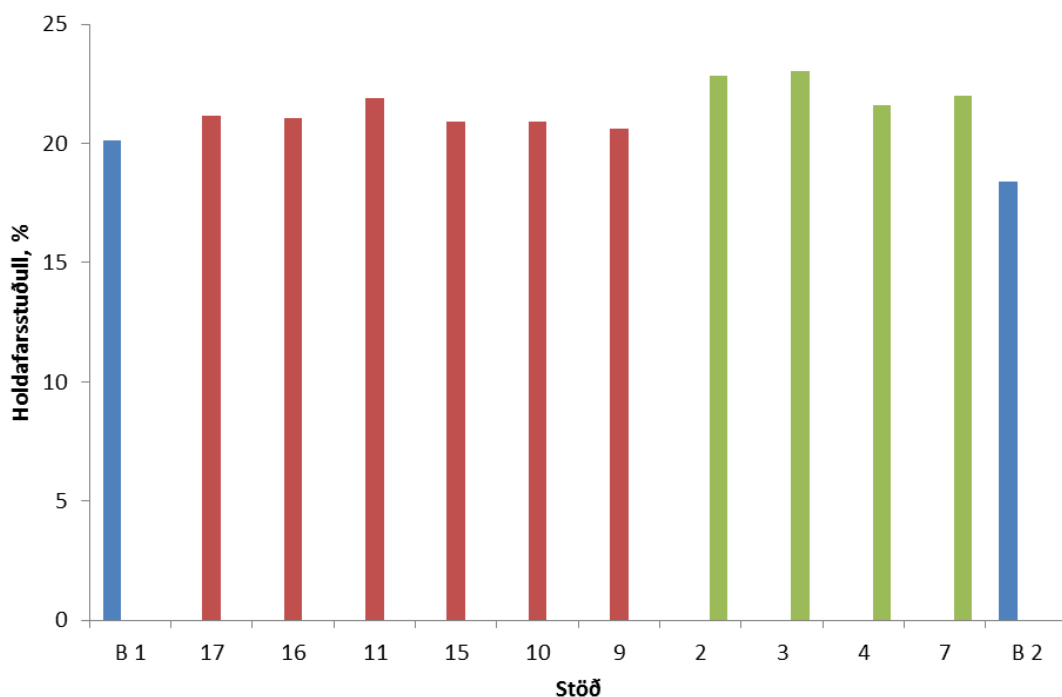
Mynd 9 sýnir meðalskeljamassa kræklingssýnanna.



Mynd 9 Meðalskeljamassi kræklingssýna með 95 % vikmörkum.

Skeljamassi stöðvanna tveggja á Sundunum er eins ($p=0,40$) en þær eru marktækt hærri en í bankanum í upphafi ($p=0,001$) og bankanum í lokin ($p=0,03$). Vöxtur kræklingssýna á Sundunum er um 34 % að meðaltali en í bankanum aðeins 15 %.

Að lokum má líta á holdafarsstuðul sem er hlutfall þurrþyngdar holds og þurrþyngdar einstaklings, mynd 10. Í kræklingaeldi til manneidis á Íslandi og af baujum í rannsóknum skýrsluhöfundar er þessi stuðull venjulega um 20 % og má sjá af mynd 10 að kræklingurinn af Sundunum er því í meðallagi góður að þessu leytinu. Hér er kræklingurinn af Klettagarðasvæðinu með hærri stuðul en af Ánanaustsvæðinu ($p=0,006$) en bankakræklingur í upphafi er þó ekki marktækt frábrugðinn kræklingnum af Sundunum ($p=0,09$ fyrir Á en $p=0,06$ fyrir K). Hins vegar eru báðir hóparnir af Sundunum hærri en kræklingurinn í bankanum í lokinn ($p=0,01$ fyrir Á og $p=0,02$ fyrir K).



Mynd 10 Holdafarsstuðull kræklingssýna.

3.1.1 Samantekið um vöxt og holdafar kræklingssýna

Samantekið má því draga þá ályktun að kræklingurinn af Sundunum hafi þrífist mjög vel, betur en kræklingur af viðmiðunarsvæðinu í Hvalfirði. Einnig hefur kræklingurinn af Klettagarðasvæðinu þrífist nokkuð betur en kræklingurinn af Ánanaustsvæðinu (þurrþyngd, fitumagn, holdafarsstuðull). Hitastig og næringarefnaframboð hafa m.a. áhrif á vöxt kræklingssýna (sjá nánar um áhrifaþætti vaxtar í Guðjón Atli Auðunsson 2001). Ætla má að kræklingurinn geti nýtt sér næringarefni úr fráveituvatninu sér til viðurværis og þ.a.l. þrífist betur á Sundunum en í Hvalfirði. Nánar um þennan þátt í næsta kafla um stöðugar samsætur niturs og kolefnis.

3.2 Stöðugar samsætur niturs og kolefnis

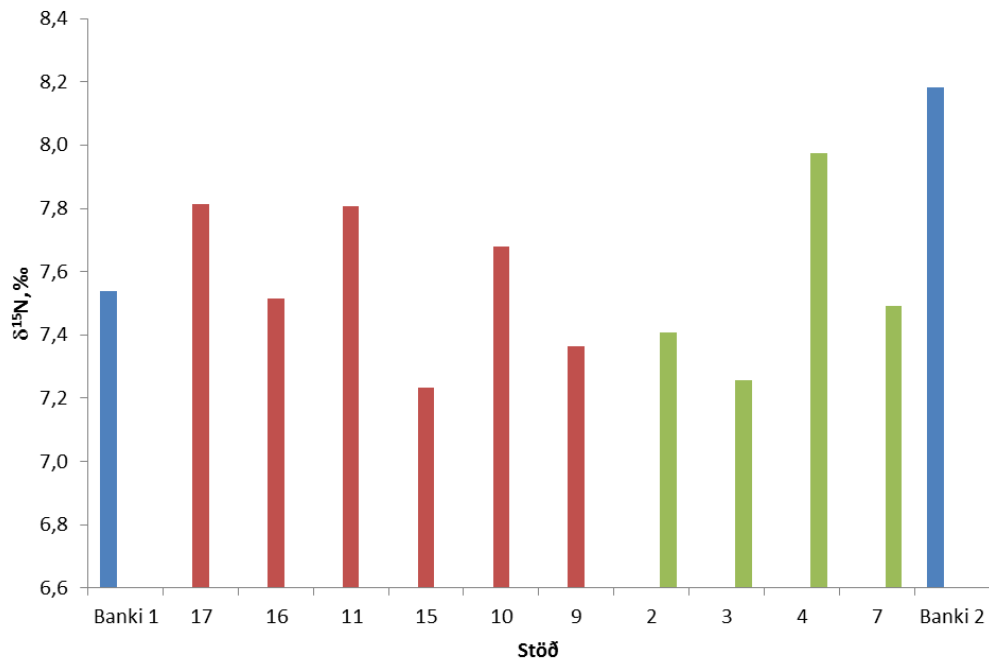
Í töflu 5 eru niðurstöður mælinga á stögum samsætum niturs og kolefnis teknar saman.

Tafla 5 Stöðugar samsætur kolefnis og niturs í kræklingssýnum og vigtarhlutfall kolefnis og niturs (C/N)

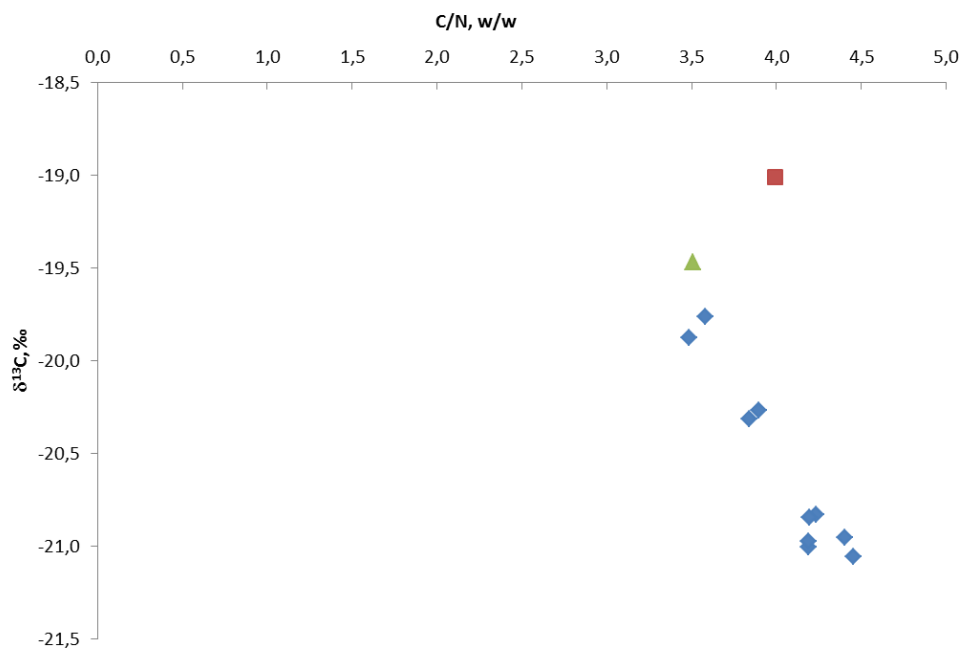
Stöð	$\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ ‰	$\delta^{15}\text{N}_{\text{AIR}}$ ‰	C/N W%
Banki 1	-19,01	7,54	3,99
17	-21,00	7,81	4,19
16	-20,27	7,52	3,90
11	-21,06	7,81	4,46
15	-20,83	7,23	4,23
10	-20,95	7,68	4,40
9	-20,84	7,36	4,19
2	-20,32	7,41	3,84
3	-19,76	7,26	3,58
4	-19,88	7,98	3,49
7	-20,97	7,49	4,19
Banki 2	-19,47	8,18	3,51

Ef áhrifa af völdum íbúafrárennslis og rennslis af ræktuðu landi eru til staðar þá kæmu þau fram sem lækkun í bæði $\delta^{13}\text{C}$ og $\delta^{15}\text{N}$, sjá t.d. Lassauque *et al.* (2010). $\delta^{15}\text{N}$ lækkar sökum þess að t.d. matvæli eru framleidd úr tilbúnum áburði, en köfnunarefni hans er unnið úr andrúmslofti og því með mjög lágt $\delta^{15}\text{N}$ (loft er staðall við mælingu á $\delta^{15}\text{N}$). $\delta^{13}\text{C}$ lækkar vegna þess að plöntur af landi eru með lægra $\delta^{13}\text{C}$ en plöntur sjávar (plöntusvif meðtalið), sjá t.d. Cloern *et al.* (2002).

Mynd 11 sýnir $\delta^{15}\text{N}$ í kræklingssýnunum og kemur í ljós talsverð dreifing á gögnunum. Enginn marktækur munur er á stöðvunum út af annars vegar Klettagörðum og hins vegar Ánanaustum ($p=0,84$) né er munur milli stöðvanna á Sundunum og bankanum í upphafi ($p=0,95$). Bankinn í lokin er hins vegar hærri en stöðvarnar á Sundunum ($p=0,04$). Vitað er að munur getur verið frá einu svæði til annars og milli árstíða (Lassauque *et al.* 2010), sem gæti skýrt mun á banka í lokin og stöðvunum af Sundunum. Ekki er því unnt að sjá að fráveituvatnið hafi áhrif á $\delta^{15}\text{N}$ í kræklingssýnunum, þ.e. af þessu virðist mega draga þá ályktun að kræklingurinn nýti sér ekki fæðu úr fráveituvatninu.



Mynd 11 δ¹⁵N í kræklingi.



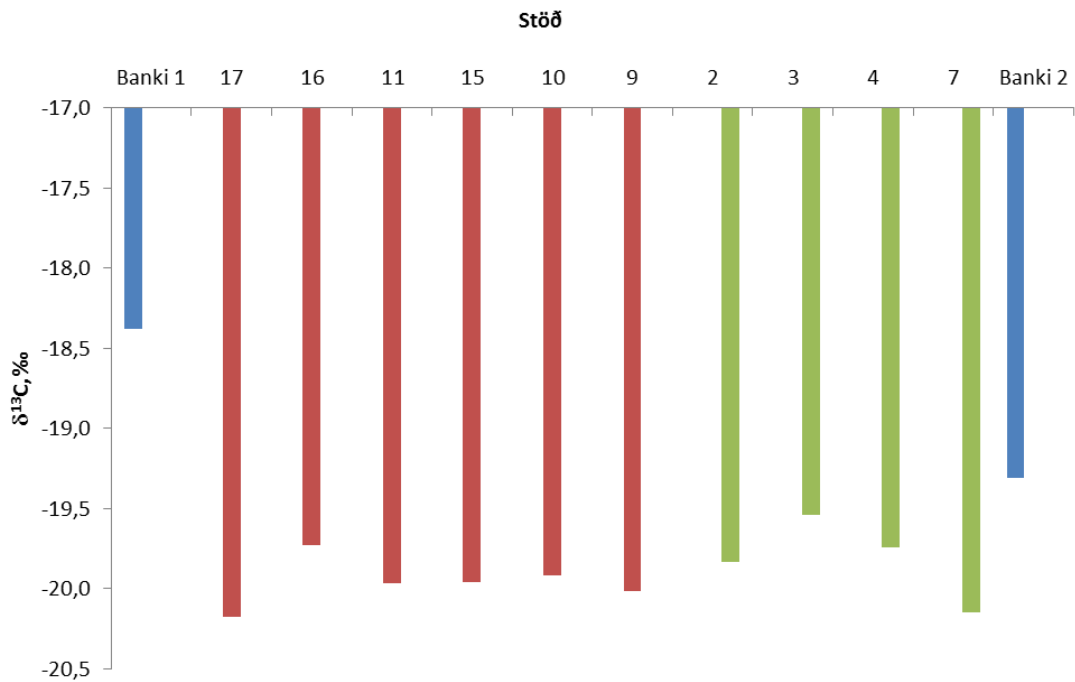
Mynd 12 δ¹³C í kræklingi sem fall af vigtarhlutfalli C og N (bláir punktar: Sundin; grænn punktur: banki í lokin; brúnn punktur: banki í upphafi).

Eins og tafla 5 ber með sér þá er δ¹³C fall af vigtarhlutfalli C og N og sýnt er á mynd 12 en aðeins banki í upphafi (sjórinn utan við Stykkishólm) vísar frá beinlínusambandi. Þessi hegðun kemur til af því að með hækkuðu C/N fer fita vaxandi (Post *et al.* 2007),

fituútdrátturinn hefur því ekki skilað nægilegum árangri við mælinguna. Skv. Post *et al.* (2007) má leiðrétta fyrir þessum áhrifum með sambandinu ef $C/N > 3,5$ eins og í tilviki kræklings í þessari rannsókn:

$$\Delta\delta^{13}C = \delta^{13}C_{raw} - 3,32 + 0,99 \times C/N$$

en C/N vex með auknum styrk fitu. Mynd 13 sýnir $\delta^{13}C$ í kræklingssýnunum eftir leiðréttingu með þessum hætti.



Mynd 13 $\delta^{13}C$ eftir leiðréttingu fyrir fitu í kræklingi Sundanna.

Ekki er munur á milli stöðvanna við Klettagarða og Ánanaust ($p=0,28$) en kræklingur Sundanna er marktækt lægri en bankans í lokin ($p=0,02$) auk bankans í upphafi augljóslega ($p=0,00004$). Spurningin vaknar því um hvort þessi lækkun á Sundunum miðað við Hvalfjörð (-0,23 til -0,86 ‰) sé vegna fráveituvatns eða ekki. Það er tvennt sem talar gegn áhrifum fráveituvatns. Í fyrsta lagi eru gildin mjög jöfn á Sundunum, þ.e. nálægð við dreifistúta virðist skipta litlu máli og hæsta gildið á $\delta^{13}C$ er á stöð 3, yfir miðjum dreifara frá Klettagörðum, en lægsta gildið er á stöð 17, 250 m áður en að dreifara frá Ánanaustum kemur, þ.e. báðar þessar stöðvar eru öfugt við það sem hefði mátt ætla. Í öðru lagi er þessi munur, -0,23 til -0,86 ‰ af sömu stærðargráðu og sést hefur vegna árstíðabreytinga og frá einni stöð til annarrar af náttúrulegum ástæðum (Lassauque *et al.* 2010). Þannig er munur bankasýnanna tveggja, -0,93 ‰, meiri en munurinn milli banka í lokin og Sundanna (-0,23 til -0,86 ‰). Þannig má líta á gildin á mynd 13 sem lýsandi fyrir þrjú svæði, þ.e. við Stykkishólm (banki 1), úti á Sundunum, og í Hvalfirði (banki 2), og er það líklegasta skýringin á þeim mun sem mynd 12 sýnir.

3.3 Ólífræn snefilefni

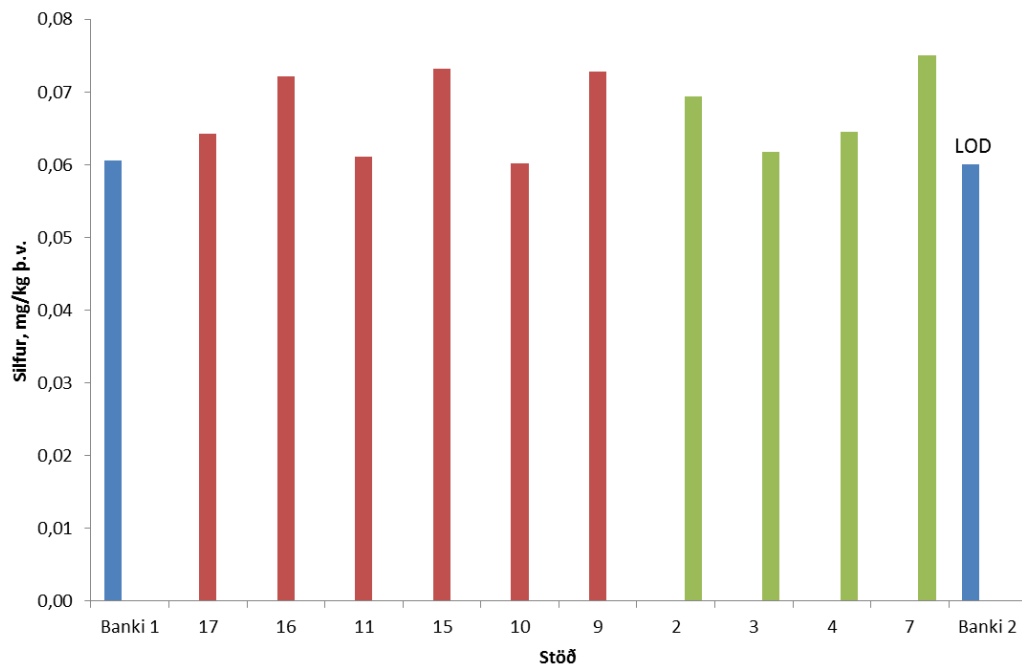
Niðurstöður mælinga á ólífrænum snefilefnum koma fram í töflu 5.

Tafla 5 Niðurstöður mælinga á ólífrænum snefilefnum í kræklingi.

Stöð		2	3	4	7	9	10	11	15	16	17	Banki 1	Banki 2
Eining													
Ag	mg/kg þ.v.	0,0694	0,0618	0,0645	0,075	0,0728	0,0602	0,0611	0,0732	0,0721	0,0642	0,0606	<0.06
Al	mg/kg þ.v.	16,2	25,8	21,6	19,7	26,7	34,6	29,9	26,2	46,5	23,6	214	108
As	mg/kg þ.v.	9,24	8,92	8,96	9,13	9,66	10,5	10,6	10,3	11,3	10,1	15,6	11,8
Cd	mg/kg þ.v.	2,56	3,4	3,31	3,17	2,36	3,23	2,63	2,9	2,81	2,15	2,26	2,33
Co	mg/kg þ.v.	0,56	0,613	0,596	0,606	0,538	0,558	0,541	0,563	0,535	0,463	0,806	0,822
Cr	mg/kg þ.v.	0,219	0,288	0,257	0,252	0,286	0,326	0,307	0,277	0,295	0,252	0,474	0,356
Cu	mg/kg þ.v.	5,78	7,68	6,02	6,43	6,18	6,51	6,44	6,09	6,65	5,71	6,95	6,37
Fe	mg/kg þ.v.	64,9	496	70,7	69,3	79,6	87,4	82,6	74,1	109	78,1	387	226
Hg	mg/kg þ.v.	0,0391	0,0354	0,036	0,039	0,0391	0,0447	0,0422	0,035	0,0483	0,0374	0,057	0,044
Mn	mg/kg þ.v.	6,3	7,25	6,06	6,91	6,43	6,98	7,13	6,73	6,94	6,15	24,1	16,9
Ni	mg/kg þ.v.	0,534	0,591	0,585	0,589	0,645	0,68	0,6	0,617	0,642	0,555	1,42	0,779
Pb	mg/kg þ.v.	<0.1	<0.1	<0.1	0,117	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0,0844	<0.1	<0.1	<0.1
Se	mg/kg þ.v.	3,42	3,51	3,44	3,42	3,79	3,67	3,85	4,13	4,33	3,75	4,14	4,15
V	mg/kg þ.v.	0,746	0,968	0,885	0,889	0,686	0,691	0,617	0,672	0,81	0,67	2,19	2,26
Zn	mg/kg þ.v.	114	112	111	116	123	125	126	112	136	119	113	125

Silfur (Ag)

Mynd 14 sýnir styrk silfurs í kræklingssýnum.



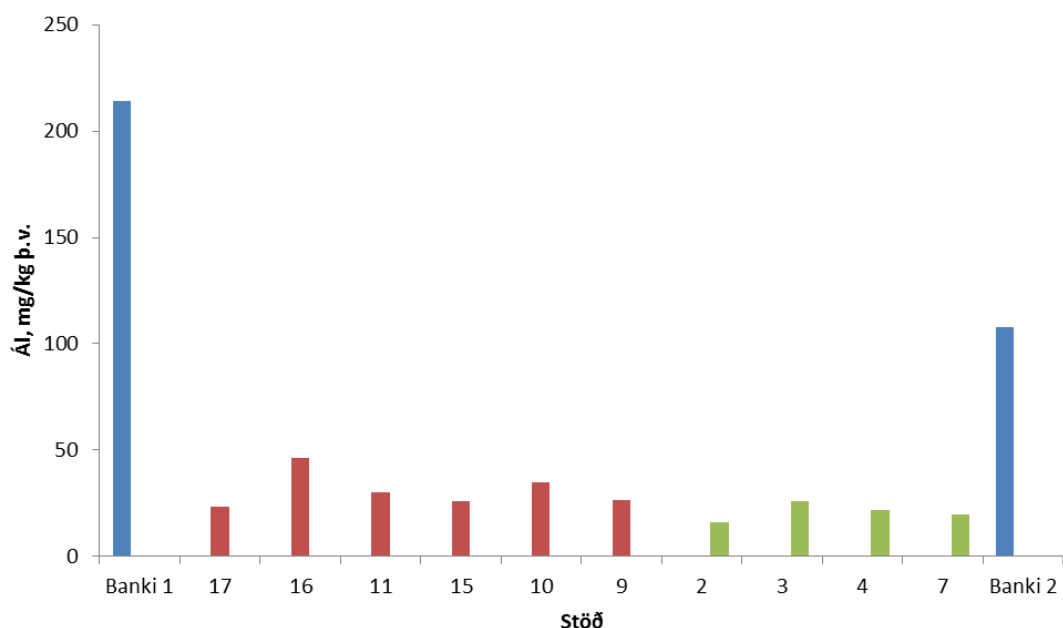
Mynd 14 Silfur í kræklingssýnum á þurrvigtagrunni.

Um mjög lágan styrk silfurs er að ræða og er banki í upphafi jafn greiningarmörkum (LOD) og banki í lokinn undir þeim, 0,06 mg/kg. Breytileiki í niðurstöðum fyrir Sundin endurspeglar þetta, þ.e. mælingar rétt ofan við greiningarmörk mæliaðferðarinnar. Þessi styrkur í bönkunum er svipaður og í bankasýnum fyrri ára en þá voru greiningarmörk á silfri lægri (Guðjón Atli Auðunsson 2001 og 2005). Ekki er marktækur munur á svæðunum tveimur á Sundunum ($p=0,92$) né er marktækur munur milli Sundanna og bankans í upphafi (6-7 mílur frá Stykkishólmi) ($p=0,27$) eða bankans í lokin sé hann settur jafn greiningarmörkum ($p=0,24$). Þetta er jafnframt talsverð lækkun á styrk silfurs miðað við fyrri rannsóknir á Sundunum eða 2-3 föld lækkun. Þetta er athyglisvert í ljósi þess að silfur var eina aðskotaefnið sem tengja mátti fráveituvatni í fyrri rannsóknum en hafði þó lækkað talsvert við að losun fráveituvatns hófst á núverandi svæðum (Guðjón Atli Auðunsson 2006). Lægstu umhverfisviðmið í Noregi fyrir silfur í kræklingi eru 0,3 mg/kg þ.v. (Molvær *et al.* 1997) eða fimmfalt hærri en styrkurinn á Sundunum og teldust Sundin þar því vera undir óverulegum áhrifum.

Ætla má að tannfyllingar (20-35 % silfur), silfurborðbúnaður, prentiðnaður og framköllun hafi verið stórar uppsprettur silfurs á árum áður en uppsöfnunargeta kræklinga á silfri er mjög mikil þannig að lágur styrkur í sjó verður hár í kræklingi. Þessar uppsprettur hafa minnkað. Þetta atriði samfara breyttri losun fráveituvatns hafa því fært Sundin undan áhrifum silfurs.

Ál (Al)

Mynd 15 sýnir styrk ál í kræklingssýnum en ál hefur ekki verið mælt í fyrri rannsóknum en var tekið með að þessu sinni til mats á m.a. áhrifum sets en ólífrænar setagnir eru ríkar uppsprettur áls.

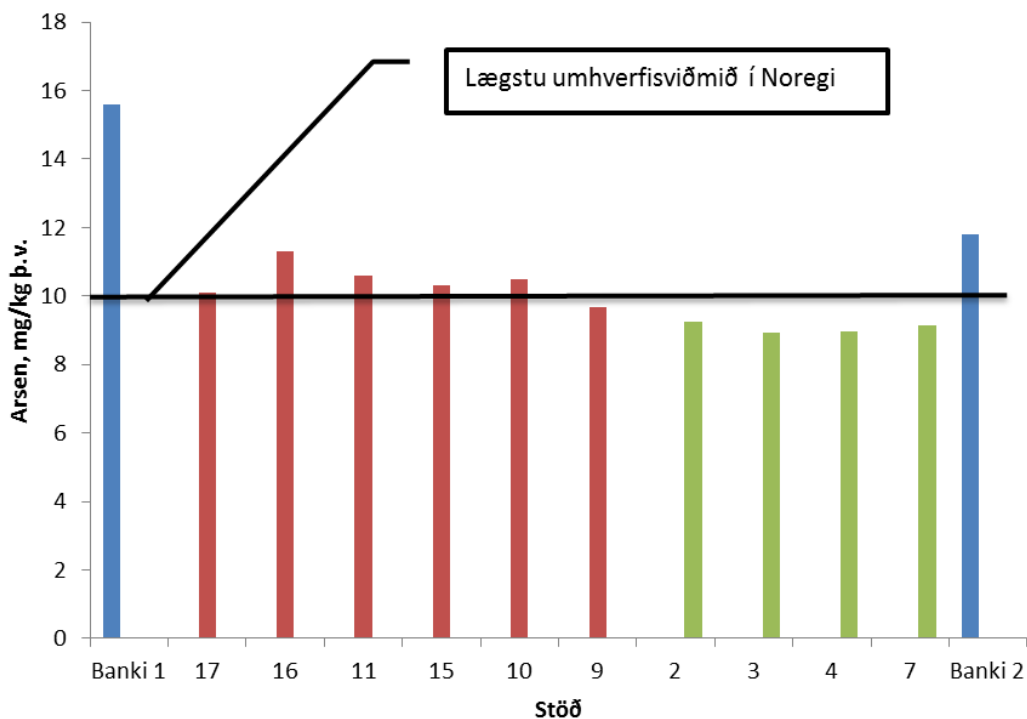


Mynd 15 Ál í kræklingi á þurrvigtagrunni.

Þó svo meðalstyrkur undan Ánanaustum sé 50 % hærrí en undan Klettagörðum, þá er munurinn ekki marktækur þó svo það sé nærri ($p=0,051$). Ástæðan er líklegast sú að dýpi er minna á dreifara undan Ánanaustum (Guðjón Atli Auðunsson 2006). Styrkurinn er sjöfalt og tíufælt lægri við Ánanaustdreifara og Klettagarðadreifara en banka í upphafi en bankasýni í lokin er um tvöfalt lægri en banki í upphafi.

Arsen (As)

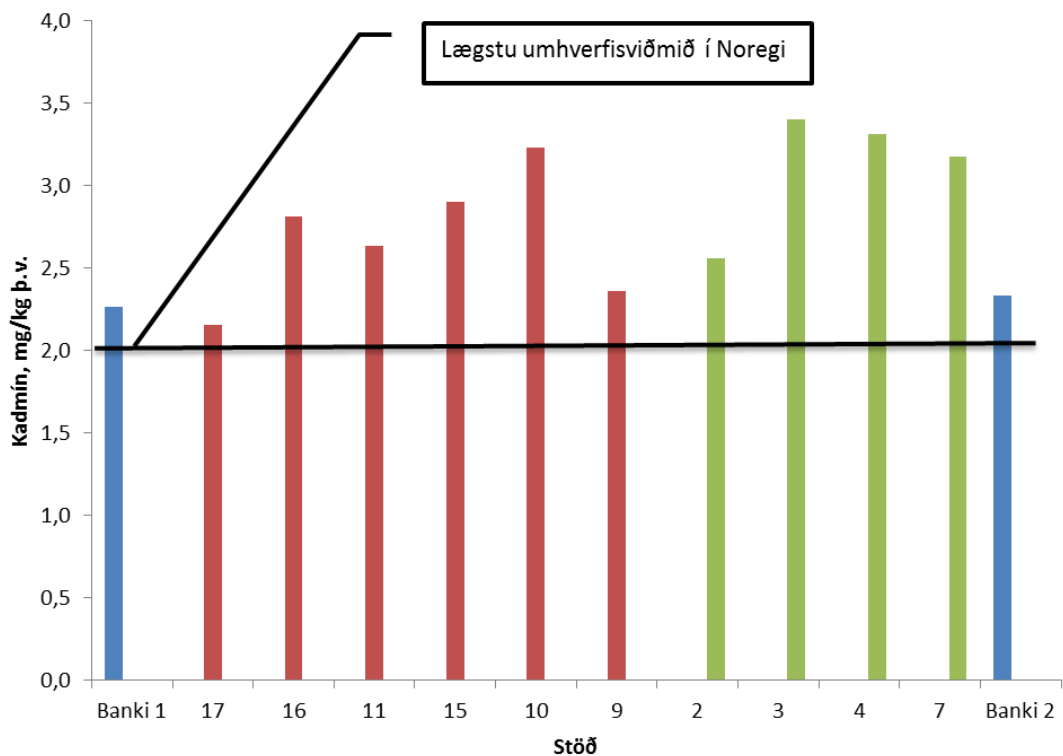
Mynd 16 sýnir arsen í kræklingi ásamt lægsta umhverfisviðmiði í Noregi (Molvær *et al.* 1997) og má sjá lækkan styrks í kræklingi miðað við banka í upphafi, bæði á Sundunum og í Hvalfirði, sem þó lækkar minna en á Sundunum. Stöðvarnar undan Ánanaustum eru marktækt hærrí en undan Klettagörðum eða um 15 % ($p=0,002$). Ánanaustsýnin eru ekki frábrugðin banka í lokin ($p=0,07$) en Klettagarðasýnin eru um 30 % lægri ($p=0,0005$). Augsýnilega hefur fráveituvatn ekki áhrif á styrk arsens í kræklingi en um náttúrulegan styrk er að ræða miðað við krækling frá Íslandi en lægstu mörk í Noregi endurspeglar ekki íslenskar aðstæður. Arsen í kræklingi og öðrum sjávarlífverum er hár (miðað við dýr af landi) en um er að ræða hættulaust form arsens (arsenobetain), sem lífríki sjávar notar til að stýra osmótískum þrýstingi, þ.e. styrkurinn er seltuháður (lækkar með minni seltu).



Mynd 16 Arsen í kræklingi á Sundunum (þurrefnisgrunnur).

Kadmín (Cd)

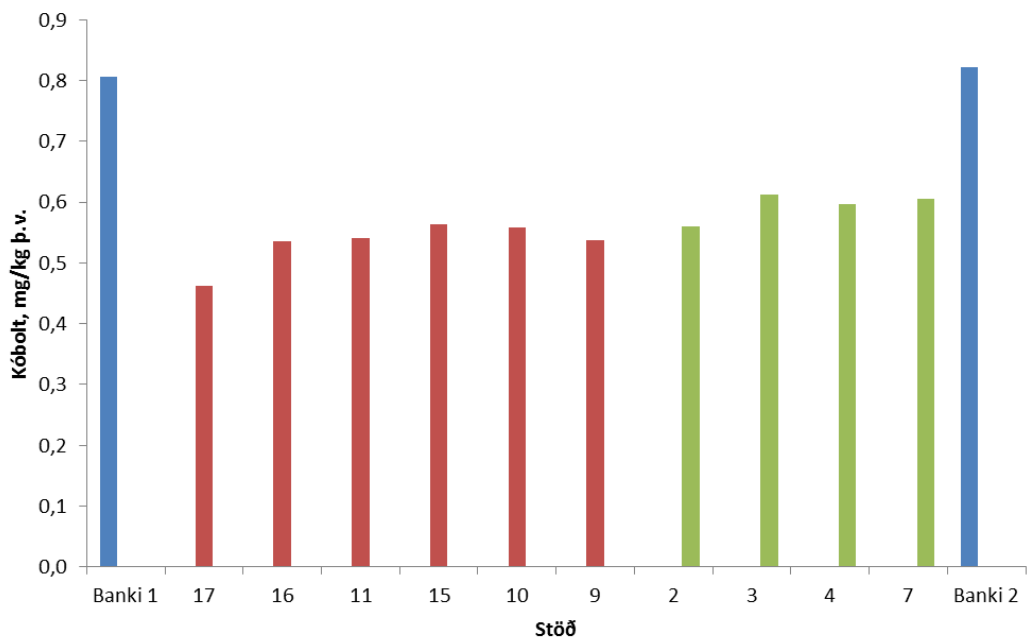
Mynd 17 sýnir styrk kadmíns í kræklingnum. Lægstu umhverfisviðmið í Noregi (Molvær *et al.* 1997), sem sýnd eru á myndinni, endurspeglar þó ekki íslenskar aðstæður frekar en fyrir arsen en kadmín er almennt hátt í innnyflum íslenskra sjávardýra, heilum kræklingi meðtöldum. Setgildur og set 7 km vestnorðvestur af Gróttu reyndist einnig yfir lágsta umhverfisviðmiði í Noregi en kadmín fylgir lífræna efni setsins, þ.e. á uppruna sinn í lífverum svæðisins (Guðjón Atli Auðunsson 2015). Einnig hækkar styrkur kadmíns með lækkaðri seltu að öðru óbreyttu. Sá styrkur sem hér um ræðir er víða að finna í kræklingi á ósnortnum svæðum við Ísland. Ekki er marktækur munur á Ánanauststöðvunum og Klettagarðastöðvunum ($p=0,12$) né eru stöðvarnar á Sundunum frábrugðnar banka í upphafi ($p=0,27$) og banka í lokin ($p=0,22$) þó svo þær virðist í fljótu bragði hærri en bankasýni. Styrkur kadmíns er um 60 % eða minni en leyfilegur hámarksstyrkur í kræklingi til manneldis í Evrópu, Ísland meðtalið, 1,0 mg/kg vv. (Comm. Reg. 629/2008). Áhrifa af fráveituvatni eru því ekki til staðar á styrk kadmíns.



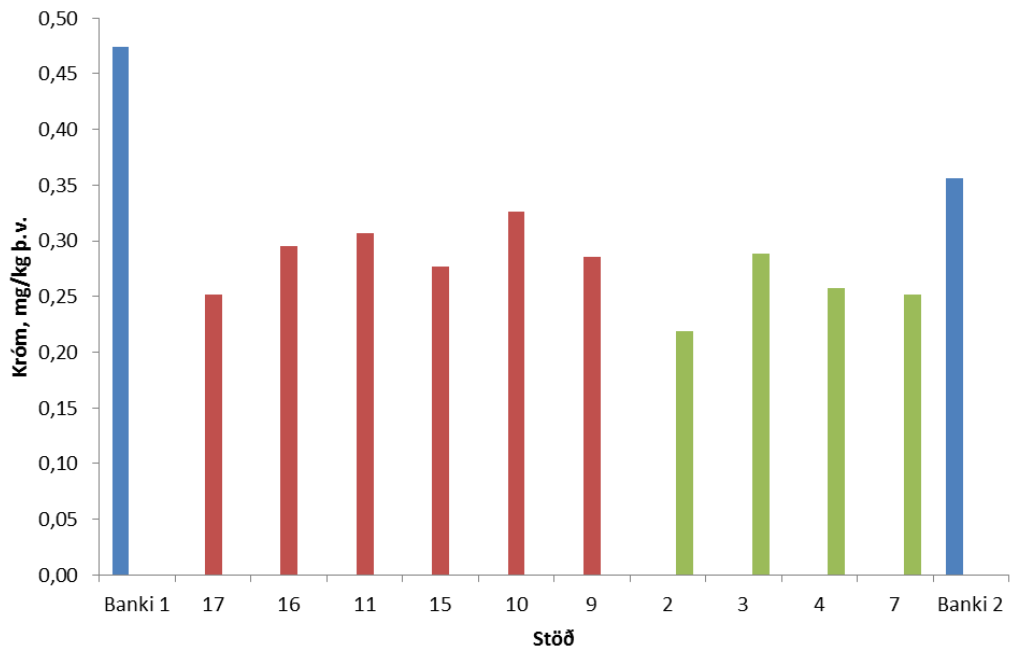
Mynd 17 Kadmín í kræklingi á þurrvigartargrunni.

Kóbolt (Co)

Styrkur kóbólts í kræklingssýnum er sýndur á mynd 18 og má sjá að kræklingurinn í bönkunum tveimur er eins og um 45 % hærri en á Sundunum. Styrkur undan Klettagörðum er marktækt um 10 % hærri en undan Ánanaustum ($p=0,02$). Ekki er kunn skýring þessa en kóbolt fylgir ólífræna hluta setsins, þ.e. stýrist af jarðefnafræði svæðisins (Guðjón Atli Auðunsson 2015). Fráveituvatn hefur því ekki áhrif á styrk kóbólts.



Mynd 18 Styrkur kóbólts í kræklingssýnum á þurrvigtagrunni.



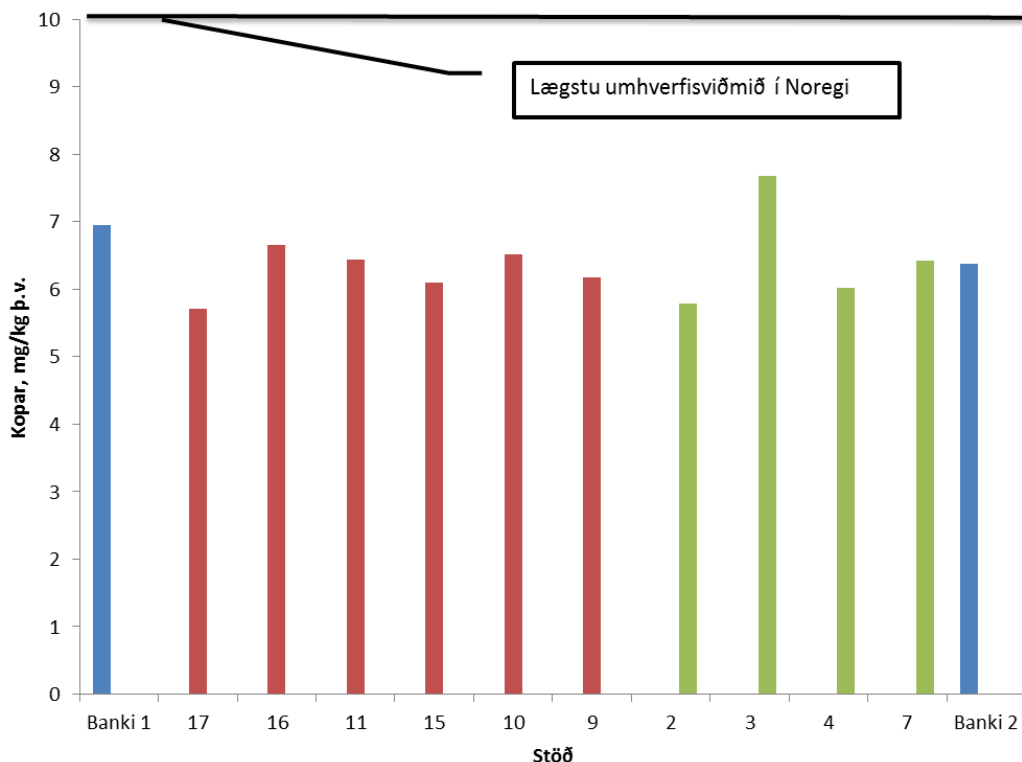
Mynd 19 Króm á þurrvigtagrunni í kræklingi á Sundunum.

Króm (Cr)

Mynd 19 sýnir króm í kræklingnum og reynist styrkur þess vera mjög lágur eða meir en tífalt lægri en lægstu umhverfisviðmið í Noregi, 3 mg/kg þ.v. (Molvær *et al.* 1997). Stöðvahóparnir tveir á Sundunum eru ekki marktækt frábrugðnir ($p=0,07$) en Sundin eru bæði lægri en banki í lokinn eða um 30 % ($p=0,04$) og banka í upphafi eða um 70 % lægri ($p=0,0002$). Króm tengist jarðefnafræði svæðisins (Guðjón Atli Auðunsson 2015) og sjá má góða fylgni áls og króms í kræklingnum að stöð 16 undanskilinni (með háan styrk áls) ($r^2=0,95$; $p=,00002$) en stöð 16 fylgir bankasýnunum ($r^2=0,9991$; $p=0,012$; $n=3$). Fráveituvatn hefur því ekki áhrif á styrk króms í kræklingi á Sundunum.

Kopar (Cu)

Kopar er sýndur á mynd 20 ásamt lægsta umhverfisviðmiði í Noregi (Molvær *et al.* 1997) en það er talsvert hærra en hæsti styrkur á Sundunum. Kræklingur getur almennt stjórnað styrk kopars vel í vefjum sínum og sýnir því aðeins hærri styrk sé hann orðinn talsvert hár í umhverfinu. Af þessum sökum veur athygli að stöð 3, yfir miðjum dreifara frá Klettagörðum, sýnir um 25 % marktækt hærri styrk en allar aðrar stöðvar á Sundunum ($p=0,003$). Ekki er um mikla hækkun að ræða og má oft sjá slíkan styrk í kræklingi í ósnortinni íslenskri náttúru en kopar fylgir ólífræna hluta setsins vel og er því aðallega af jarðefnafræðilegum toga (Guðjón Atli Auðunsson 2015).



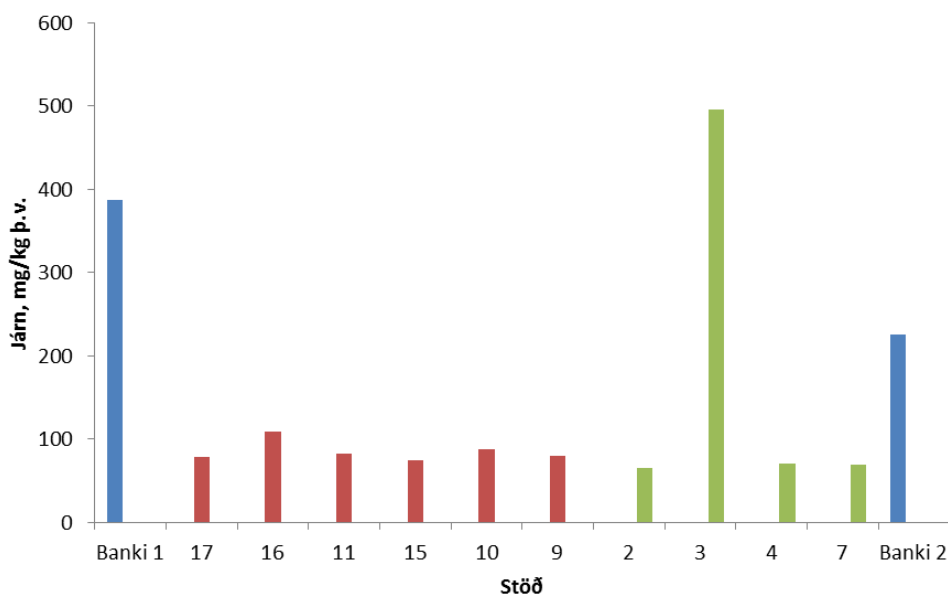
Mynd 20 Kopar í kræklingi á þurrvigtagrunni.

Að stöð 3 undanskilinni er styrkur kopars í báðum hópunum á Sundunum sá sami ($p=0,46$) og jafn styrk í banka í upphafi ($p=0,06$) og lokinn ($p=0,64$). Telst kopar því ekki vera undir áhrifum fráveituvatns svo nokkru nemi.

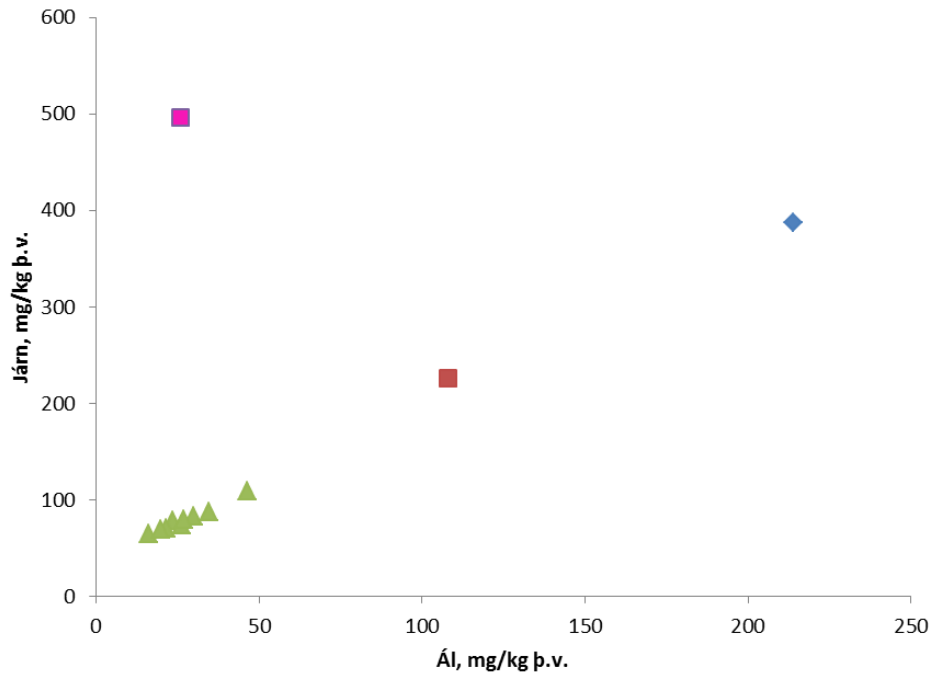
Járn (Fe)

Járn telst venjulega ekki til mengunarefna heldur nausynlegra næringarefna en það er að finna í ríku mæli í seti (Guðjón Atli Auðunsson 2015). Mynd 21 sýnir styrk járn í kræklingssýnunum og vekur strax athygli háur styrkur þess á stöð 3, miðjum Klettagarðadreifara, sömu stöð og gaf hærri styrk kopars. Fyrri rannsóknir á kræklingi á Sundunum sýndu einnig samfellt lægri styrk er frá dró ströndu bæði vegna meiri fjarlægðar við set en einnig vegna landrænna áhrifa (Guðjón Atli Auðunsson 2005). Það er jafnframt líklegasta skýring á háum styrk járn í bankasýnunum tveimur. Að öðru leyti er um sama styrk að ræða á svæðunum tveimur á Sundunum ($p=0,06$). Athygli vekur svipuð hegðun járn og áls og er þar ekki um tilviljun að ræða þar sem stór náttúruleg uppspretta þess er set en mynd 22 sýnir vensl þessara tveggja frumefna og gerir grein fyrir sameiginlegri uppsprettu þeirra að stöð 3 undanskilinni.

Að stöð 3 undanskilinni og bankasýnunum er þokkaleg fylgni milli kopars og járn ($r^2=0,45$; $p=0,048$) sem bendir að kopar komi einnig að hluta til úr setinu en járn og kopar sýna mjög góða fylgni í setinu sjálfu (Guðjón Atli Auðunsson 2015). Fráveituvatn kann að hafa áhrif á styrk járn og kopars en líklega er um tímabundin áhrif að ræða.



Mynd 21 Járn í kræklingi á þurrvigartargrunni.



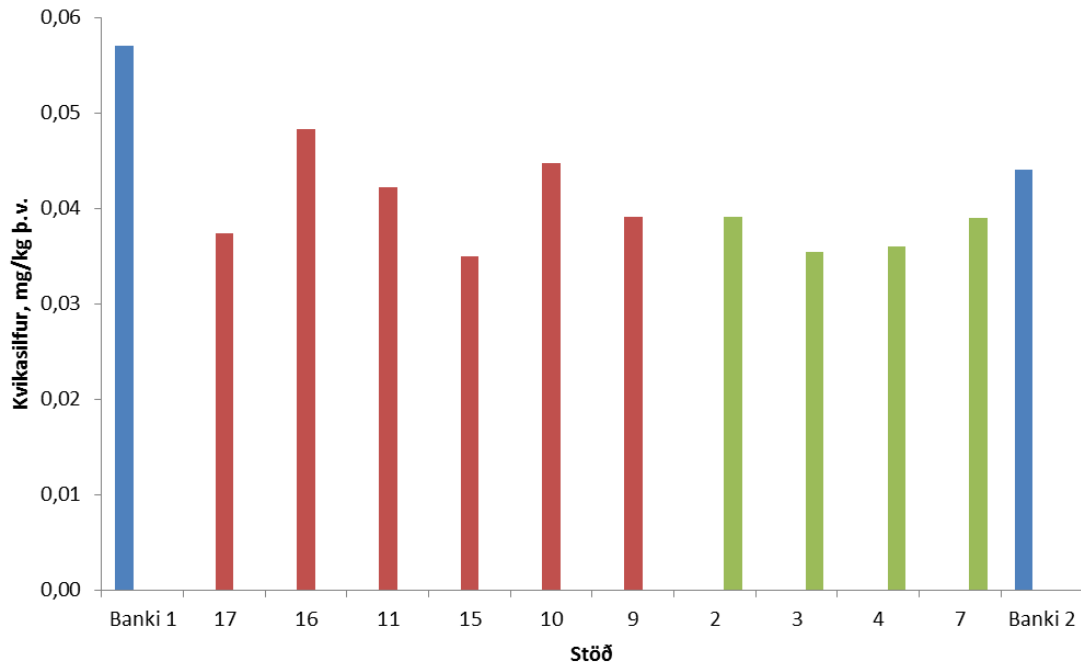
Mynd 22 Venzl járn og áls í kræklingssýnum. Grænir punktar: Sundin utan stöðvar 3. Blár punktur: B1. Brúnn punktur: B2. Bleikur punktur: stöð 3 fyrir miðju dreifara frá Klettagörðum.

Kvikasilfur (Hg)

Kvikasilfur mælist í mjög lágum styrk í kræklingi á Sundunum eins og í öllum fyrri rannsóknum á þessu svæði, sjá mynd 23, og að meðaltali í fimmfalt lægri styrk en lægsta umhverfisviðmið í Noregi, 0,2 mg/kg p.v. (Molvær *et al.* 1997) og því lýsandi fyrir ósnortna íslenska náttúru. Styrkur kvikasilfurs í íslenskum kræklingi er eins og hann gerist lægstur í heiminum öllum (Guðjón Atli Auðunsson 2005). Ekki er munur á svæðunum tveimur á Sundunum ($p=0,19$) og er kræklingur Sundanna ómarktækt frábrugðinn bankanum í lokin ($p=0,36$) en lægri en banki í upphafi, 6-7 mílur undan Stykkishólmi ($p=0,04$).

Leyfilegur hámarksstyrkur kvikasilfurs í kræklingi til manneðis er 0,5 mg/kg v.v. í Evrópu, Ísland meðtalið, eða meir en 50-falt hærra en hann mælist á Sundunum og í Hvalfirði (Comm. Reg. 629/2008).

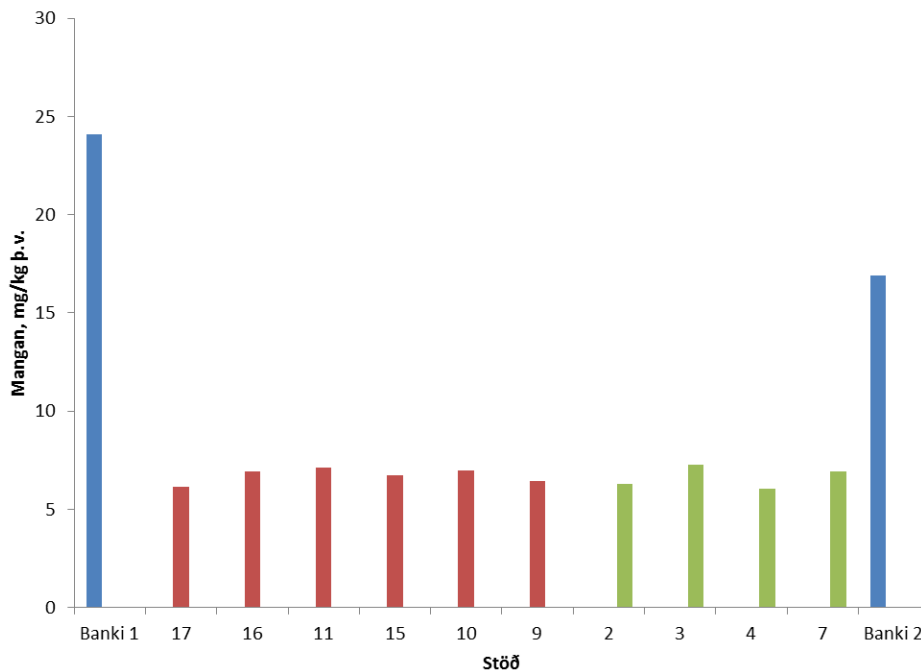
Augljóst er að fráveituvatn hefur engin áhrif á styrk kvikasilfurs í kræklingi þó svo kræklingabúr hafi verið eins nálægt dreifurum skólpsins og hægt var að komast.



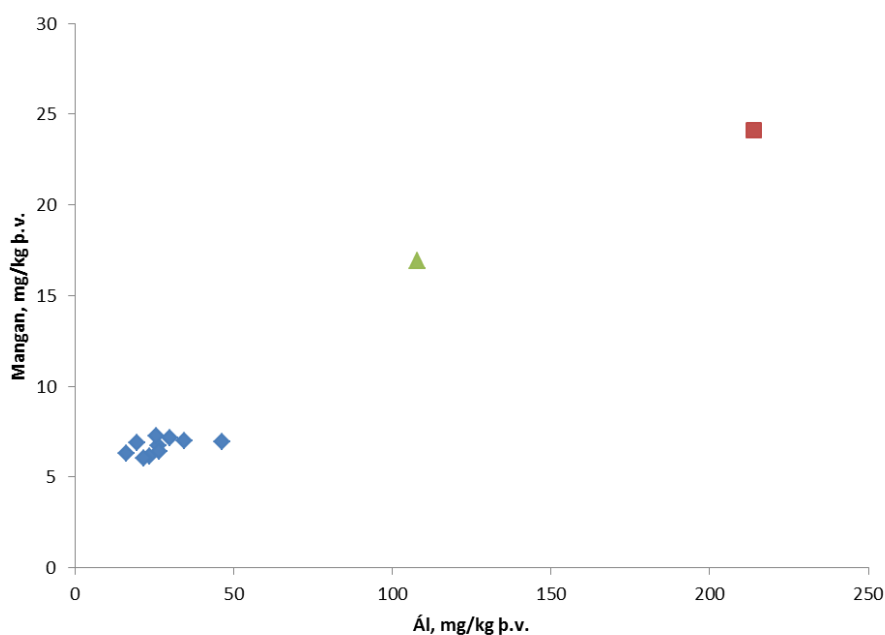
Mynd 23 Kvikasilfur í kræklingi á þurrvigtagrunni.

Mangan (Mn)

Eins og járn þá telst mangan ekki til hefðbundinna mengunarefna og er að finna í ríku mæli í seti eins og járn og ál. Mynd 24 sýnir einnig hegðun og sást fyrir ál og járn, sem og mynd 25 staðfestir. Ekki er munur á hópunum tveimur á Sundunum ($p=0,74$). Losun fráveituvatns hefur því ekki áhrif á styrk mangans.



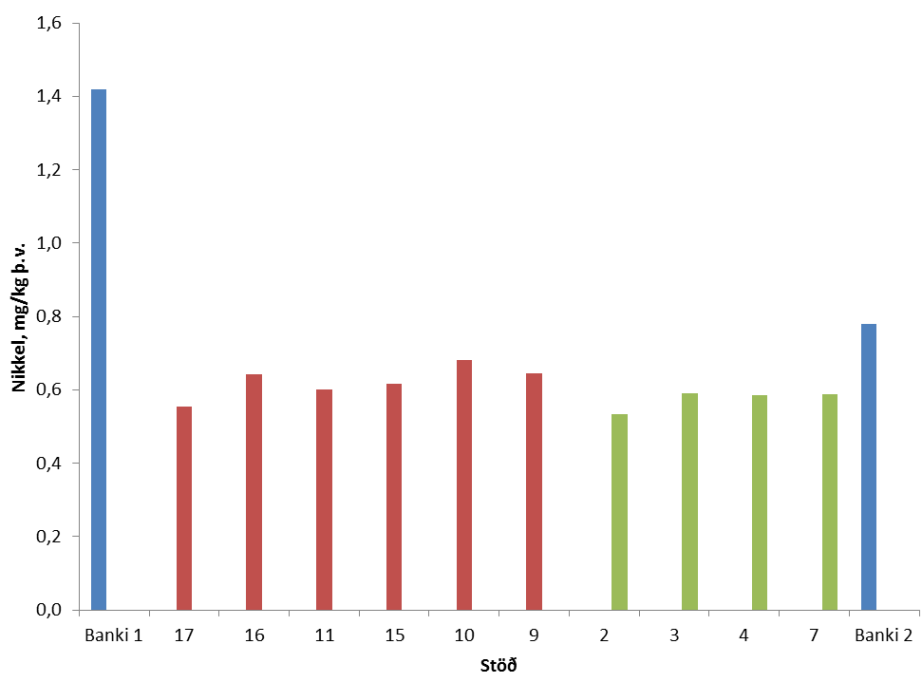
Mynd 24 Mangan í kræklingssýnum.



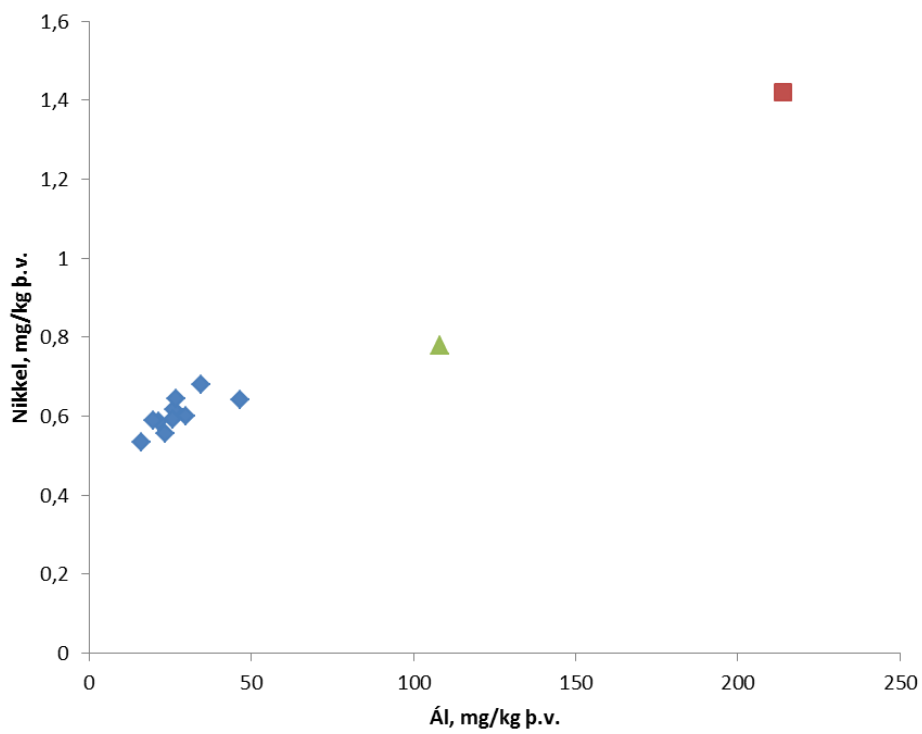
Mynd 25 Venst mangans og áls í kræklingssýnum. Bláir punktar: Sundin. Rauðbrúnn punktur: B1. Grænn punktur: B2.

Nikkel (Ni)

Nikkel mælist í mjög lágum styrk á Sundunum og að meðaltali fimmfalt lægri en lægsta umhverfisviðmið í Noregi, 5 mg/kg þ.v. (Molvær *et al.* 1997), mynd 26. Ekki er munur á hópunum tveimur á Sundunum ($p=0,08$) en styrkurinn þar er lægri en í bankanum í lokin ($p=0,004$) og umtalsvert lægri en í bankanum í upphafi. Sömu hegðun er að sjá og finna mátti fyrir króm, járn og mangan og kemur það ekki á óvart því nikkell fylgir vel járn í seti (Guðjón Atli Auðunsson 2015) og því er set stór uppspretta þess í kræklingnum, þ.e. jarðefnafræði svæðisins stýrir styrk þess, mynd 27. Fylgni áls og nikkels á Sundunum eingöngu er þokkaleg ($r^2=0,52$; $p=0,018$) en skárri á milli nikkels og króms ($r^2=0,74$; $p=0,0015$). Fráveituvatn hefur því ekki áhrif á styrk nikkels.



Mynd 26 Nikkel í kræklingi á þurrvigtargrunni.



Mynd 27 Vensli nikkels og áls í kræklingi. Bláir punktar: Sundin. Rauðbrúnn punktur: B1. Grænn punktur: B2.

Pb

Styrkur blýs er mjög lágur í kræklingasýnunum, tafla 6, og virðist hafa lækkað nokkuð frá 1998 og 2000 en greiningarmörk voru lægri í þeim rannsóknum (Guðjón Atli Auðunsson 2001 og 2005) en þessari og eru flest sýni undir greiningarmörkum, 0,1 mg/kg þ.v. Styrkurinn er þrjátíufalt lægri en lægstu umhverfisviðmið í Noregi, 3 mg/kg þ.v. (Molvær *et al.* 1997). Styrkur blýs er jafnframt meir en 70-falt lægri í kræklingnum á Sundunum en leyfilegur hámarksstyrkur blýs í kræklingi til manndis í Evrópu, 1,5 mg/kg vv. (Comm. Reg. 1881/2006). Rannsóknir höfundar sunnan við Hafnarfjörð frá 1997 til 2013 sýna einnig talsverða lækkun í styrk blýs og kemur hér til að áður var bensín stór uppspretta blýs í umhverfinu en hætt var að nota blý í bensín á tíunda áratug síðustu aldar. Gera má ráð fyrir áframhaldandi lækkun blýstyrks í náinni framtíð. Losun fráveituvatns hefur því lítil ef nokkur áhrif á styrk blýs í viðtaka.

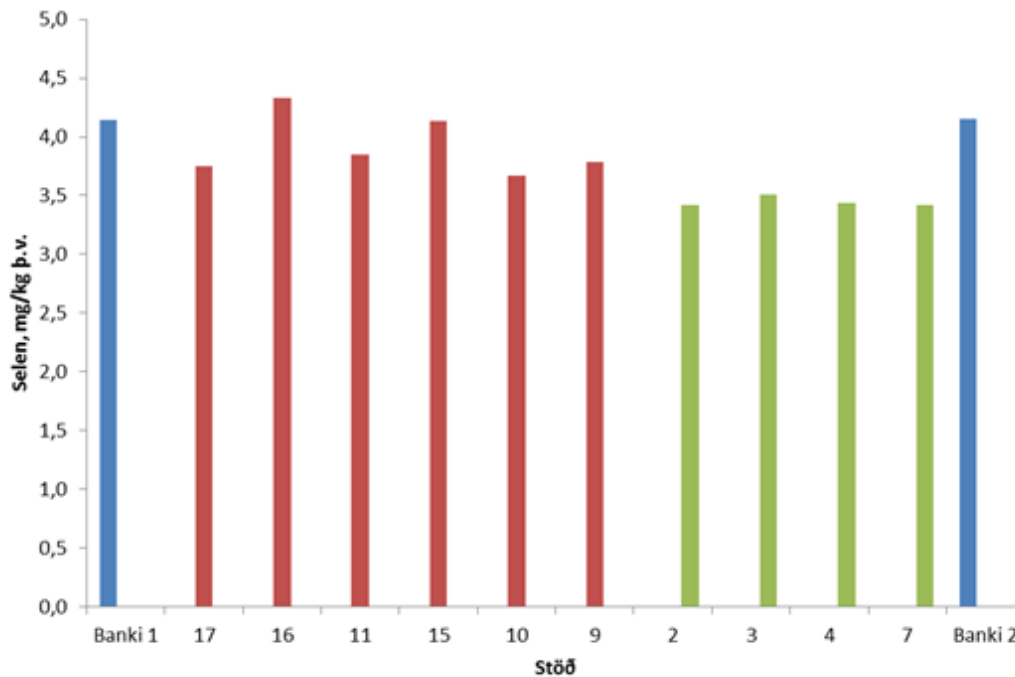
**Tafla 6 Blý í kræklingi á Sundunum
og viðmiðunarsvæðum**

Stöð	Pb mg/kg þ.v.
Banki 1	<0.1
17	<0.1
16	0,08
11	<0.1
15	<0.1
10	<0.1
9	<0.1
2	<0.1
3	<0.1
4	<0.1
7	0,12
Banki 2	<0.1

Se

Selenstyrkur í kræklingi er sýndur á mynd 28. Um hærri styrk er almennt að ræða en í fyrri rannsóknum (Guðjón Atli Auðunsson 2001 og 2005) en fyrri mælingar gáfu svipaðan styrk og í stórum alþjóðlegum gagnabönkum (Cantillo 1998) auk þess sem heimtur í viðmiðunarefni og viðbótum voru 100%. Ekki er kunn ástæða þessa en nýlegar rannsóknir höfundar í Hvalfirði sýna mjög áþekkan styrk og nú mælist á Sundunum en grunur leikur á að um aðferðafræðimun sé að ræða (áður mælt með hýdríðmyndun en nú og í rannsókninni í Hvalfirði með ICP-MS).

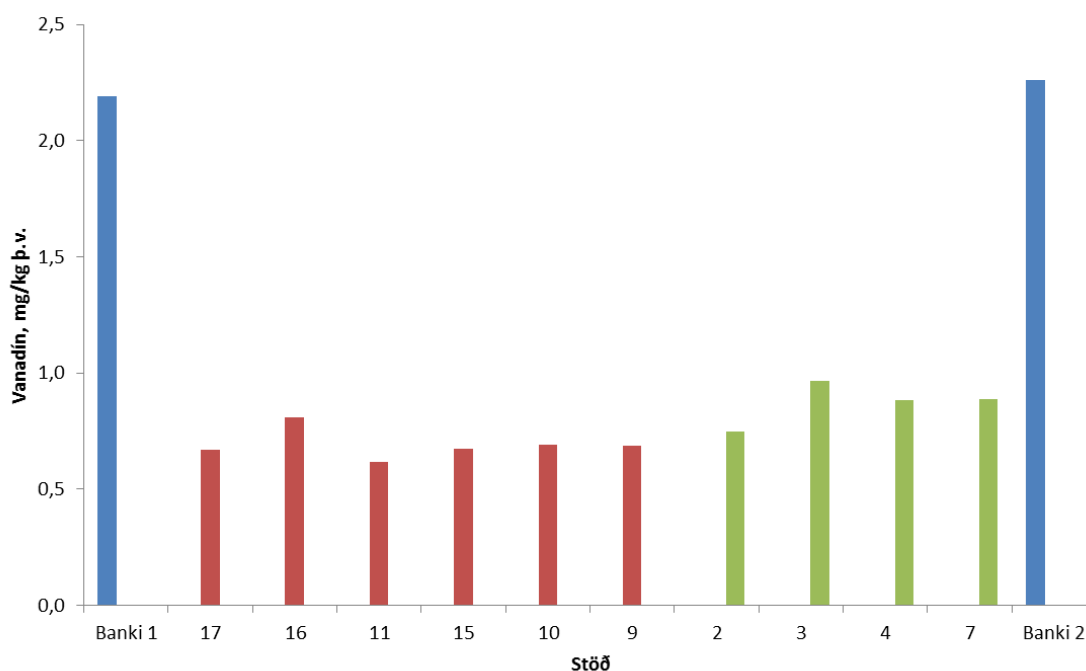
Svæðið undan Ánanaustum sýnir marktækt hærri styrk en viðtakasvæðið frá Klettagörðum eða um 14 % ($p=0,007$). Ánanaustkræklingurinn er einnig ómarktækt frábrugðinn bankasýnunum í upphafi ($p=0,46$) og lokin ($p=0,44$) en Klettagarðakræklingurinn er 20 % lægri en bæði bankasýnin ($p=0,0007$). Ekki er kunn ástæða þessa en það er þó ljóst að fráveituvatn kemur þar ekki við sögu.



Mynd 28 Selen í kræklingi á þurrvigtagrunni.

Vanadín (V)

Mynd 29 sýnir vanadín í kræklingi og má sjá svipaða hegðun og sjá mátti fyrir ál, kóbolt, járn, mangan og nikkell. Bankakræklingur sýnir sama styrk í upphafi og í lokin en í þrefalt hærri styrk en í kræklingi af Sundunum. Kræklingurinn af Klettagarðasvæðinu er 26 % hærri en af Ánanaustsvæðinu ($p=0,006$). Styrkur vanadíns í lífverum sjávar stýrist að talsverðu leyti af styrk þess í seti en fylgni er góð milli vanadíns og járn í seti á Sundunum, þ.e. fylgir ólífrænum hluta setsins og þ.a.l. háður jarðefnafræði svæðisins (Guðjón Atli Auðunsson 2015). Eins og í seti er fylgni góð milli kóbólts og vanadíns en fylgni sýnanna af Sundunum eingöngu er þökkaleg eða $r^2=0,52$ ($p=0,018$) en um tvö sambönd er líklegast að ræða fyrir sitt hvort losunarsvæðið. Vanadín og kóbolt eru einu frumefnin sem sýna hærri styrk á Klettagarðasvæðinu en Ánanaustsvæðinu og endurspeglar sá munur þessa fylgni. Losun fráveituvatns hefur því ekki áhrif á styrk vanadíns í viðtaka.



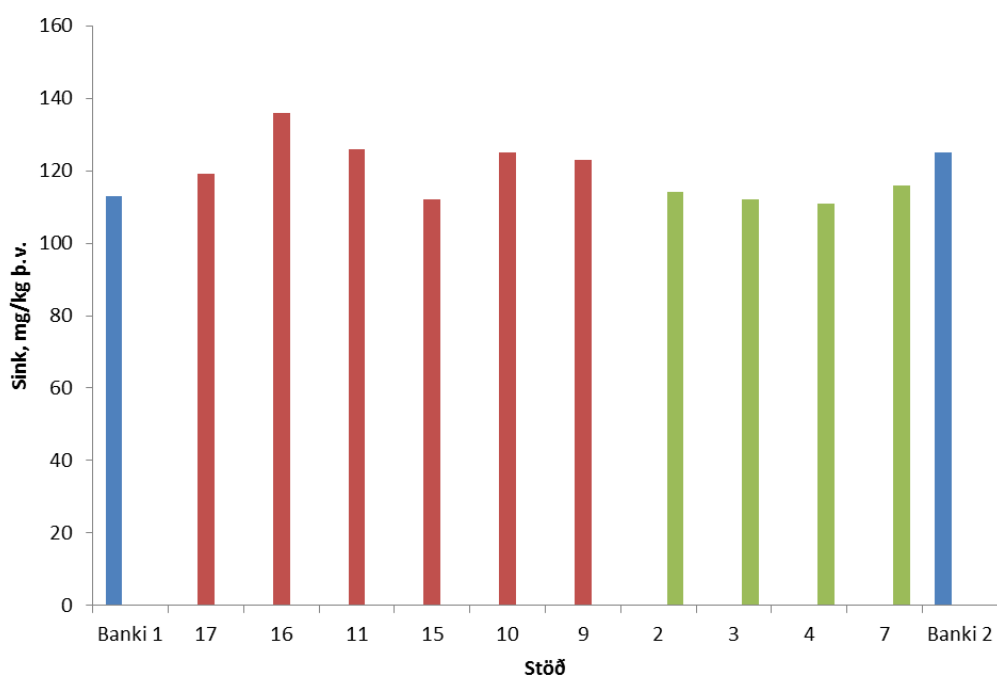
Mynd 29 Vanadín í kræklingi á þurrvigtagrunni.

Sink (Zn)

Að lokum má sjá styrk sinks í kræklingi á mynd 30. Um lágan styrk er að ræða eða um 60 % af lágsta umhverfisviðmiðun í Noregi, 200 mg/kg þ.v. (Molvær *et al.* 1997). Það á við um sink eins og kopar að kræklingur getur almennt stýrt styrk í vefjum sínum nema umhverfisstyrkur verði mjög hár.

Í ljós kemur að viðtakasvæðið frá Ánanaustum er marktækt hærra en Klettagarðasvæðið ($p=0,039$) eða 9 % hærra. Klettagarðasvæðið er marktækt lægra en banki í lokinn ($p=0,018$), 10 %, en eins og banki í upphafi ($p=0,92$). Ánanaustsvæðið er hins vegar eins og bæði banki í upphafi ($p=0,28$) og banki í lokinn ($p=0,87$).

Sink ásamt seleni og arseni eiga það sameiginlegt að vera marktækt hærri á viðtakasvæði frá Ánanaustum en Klettagörðum. Ekki er kunn ástæða þessa en á Sundunum er fylgni þokkaleg á milli sinks og selens annars vegar ($r^2=0,68$; $p=0,003$) og sinks og arsens hins vegar ($r^2=0,41$; $p=0,045$). Skást er fylgnin á milli arsens og selens ($r^2=0,75$; $p=0,001$). Þessi fylgni endurspeglar ofangreindan mun í þessum þremur snefilefnum á milli svæðanna tveggja á Sundunum en á ekki rætur að rekja til losunar fráveituvatns á þessum svæðum.



Mynd 30 Sink í kræklingi á þurrvigtargrunni.

3.3.1 Samantekið um ólífræn snefilefni

Í engu tilviki var unnt að tengja styrk ólífrænna snefilefna við losun fráveituvatns í viðtaka á Sundunum en sýnastöðvar voru eins nálægt losun fráveituvatnsins og nokkur kostur var á. Tímabundin undantekning er styrkur kopars og járns í kræklingi yfir miðju dreifistúts frá Klettagörðum. Þessi aukning í koparstyrk er vel innan lægstu viðmiðunarmarka í Noregi sem endurspeglar svæði sem eru undir óverulegum áhrifum ef nokkrum áhrifum og lífríkinu meinlaus. Styrkur járns sem er að finna á þessari stöð er hættulaus lífríkinu með öllu. Silfur hefur fram til þessa mátt tengja við losun fráveituvatns þó svo rannsóknir hafi sýnt að áhrifa gætti minna eftir að losun hófst í núverandi viðtaka. Nú bregður svo við að styrkur þess hefur lækkað og er nú eins og finna má á ósnortnum svæðum á SV-landi a.m.k.

Í þeim tilvikum sem Noregur hefur umhverfismörk fyrir ólífræn snefilefni (As, Pb, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Zn, Ag), þá er kræklingur Sundanna ávallt vel undir lægstu umhverfismörkum (óveruleg ef nokkur áhrif) að kadmíni undanskildu en þar kemur til hærri styrkur vegna náttúrulegra skilyrða á Íslandi.

Í þeim tilvikum sem til staðar eru hámarksgildi fyrir ólífræn snefilefni í kræklingi til manndis (Cd, Hg, Pb) er styrkurinn lægri (Cd) eða umtalsvert lægri (Hg, Pb) í kræklingi af Sundunum.

3.4 PBDE-efni og klórlífræn efnasambönd

Mæliniðurstöður er að finna í töflu 7.

Tafla 7 Niðurstöður mælinga á klórlífrænum efnasamböndum og PBDE-efnum.

Eining $\mu\text{g}/\text{kg}$ á votvigtargrunni

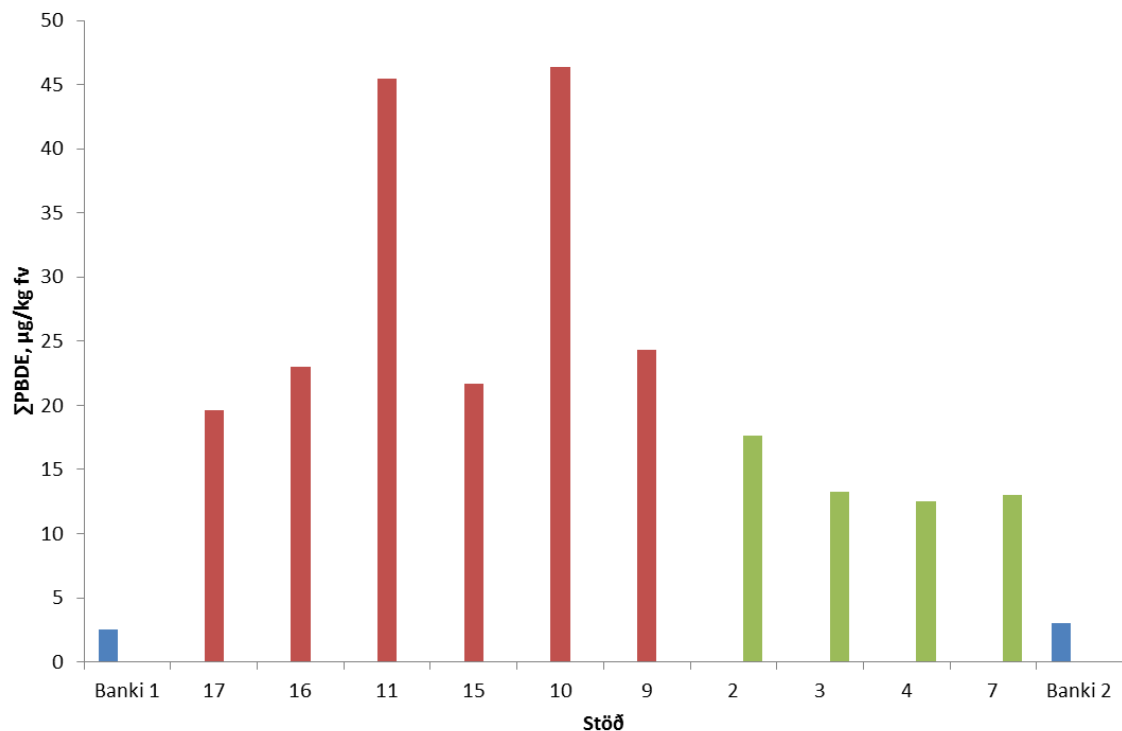
Stöð	Banki 1	Banki 2	2	3	4	7	9	10	11	15	16	17
Mælipáttur												
PCB28	0,02	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05	0,03	0,03	0,03
PCB31	0,01	<0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02
PCB52	0,02	0,02	0,04	0,04	0,04	0,05	0,06	0,08	0,10	0,05	0,06	0,05
PCB101	0,06	0,07	0,11	0,11	0,10	0,12	0,13	0,16	0,17	0,13	0,13	0,13
PCB105	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	0,03	0,04	0,04
PCB118	0,05	0,05	0,08	0,08	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,08	0,09	0,08
PCB138	0,11	0,12	0,15	0,16	0,15	0,16	0,18	0,19	0,21	0,17	0,18	0,18
PCB153	0,16	0,17	0,20	0,21	0,20	0,21	0,24	0,27	0,30	0,23	0,23	0,23
PCB156	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
PCB170	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
PCB180	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02
$\Sigma 7\text{PCB}^*$	0,43	0,45	0,61	0,63	0,60	0,66	0,76	0,86	0,97	0,72	0,72	0,72
HCB	0,05	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,06	0,04	0,04	0,04
a-HCH	0,04	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04
b-HCH	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
g-HCH	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
p,p'-DDE	0,11	0,10	0,16	0,18	0,16	0,17	0,28	0,51	0,57	0,31	0,34	0,28
p,p'-DDD	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,09	0,09	0,06	0,06	0,05
p,p'-DDT	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,01	0,03	0,03	<0,02	<0,02	<0,02
o,p'-DDT	<0,02	0,04	0,02	0,03	0,03	0,04	0,03	0,06	0,05	0,03	0,04	0,04
transnonachlor	0,04	0,04	0,06	0,07	0,06	0,07	0,10	0,19	0,22	0,12	0,12	0,10
a-chlordan	0,04	0,03	0,04	0,05	0,04	0,05	0,06	0,10	0,12	0,07	0,07	0,06
g-chlordan	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02
oxychlordan	<0,01	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,02	<0,04	<0,06	<0,03	<0,03	<0,02
Tox-26	0,06	0,04	0,06	0,07	0,07	0,08	0,08	0,12	0,14	0,10	0,10	0,08
Tox-50	0,05	0,04	0,06	0,07	0,07	0,07	0,08	0,11	0,13	0,09	0,10	0,09
Tox-62	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	0,04	0,04	0,05	0,05
PBDE-47	0,03	0,03	0,17	0,14	0,12	0,13	0,21	0,45	0,48	0,22	0,23	0,18
PBDE-99	0,02	0,02	0,11	0,10	0,09	0,10	0,15	0,29	0,35	0,16	0,16	0,14
PBDE-100	<0,01	<0,01	0,03	0,02	0,02	0,02	0,04	0,08	0,08	0,04	0,04	0,03

* $\Sigma 7\text{PCB}$: summa 28, 52, 101, 118, 138, 153 og 180.

PBDE-efni

PBDE-efni (polybrominated diphenyl ethers) eru eldhemjandi efni sem notuð voru í ýmsan varning s.s. raftæki og rafeindabúnað eins og tölvur, áklæði og fatnað, plastefni, byggingarefni o.fl. Þau hafa ekki verið rannsökuð áður í tengslum við losun fráveituvatns frá Reykjavík og nágrannasveitarfélögum. Eins og klórlífræn efni sem eru hér til rannsókna safnast þau í fituvef og magnast upp fæðukeðjuna, flytjast frá móður til barns við brjóstgjöf, raska hormónabúskap (estrogen og skjaldkirtilhormón), og hafa áhrif á andlegan þroska barna verði styrkur hár. ESB bannaði notkun á PBDE-efnum og PBB-efnum (polybrominated biphenyls) í raftækjum og rafeindabúnaði 2009.

Mynd 31 sýnir styrk þeirra í kræklingi en notuð er summa þeirra þriggja sem mæld voru en aðallega er um PBDE-47 að ræða (53 %) en PBDE-99 er 38 % og PBDE-100 er um 9%. Þessi þrjú standa venjulega fyrir stærstum hluta PBDE-efna í náttúrunni. Bankasýnin í upphafi og í lokin eru mjög áþekkt. Sundin eru greinilega undir talsverðum áhrifum af völdum PBDE-efna þar sem Klettagarðasvæðið er um 5-sinnum hærra en bankasýnin, Ánanaustsvæðið utan stöðva 11 og 10 er 8-sinnum hærra en bankasýnin og stöðvar 11 og 10 eru 16-sinnum hærri en bankasýnin. Stöðvar 11 og 10 eru svipaðar í styrk og hæstar af öllum stöðvunum. Stöð 11 er yfir miðjum dreifistút frá Ánanaustum og stöð 10 um 500 m austan við miðju stúts frá Ánanaustum. Stöð 10 er í stefnu stöðuga straumsins frá dreifistút Ánanaustdreifara og er því líklegt að þessar stöðvar séu með hærri styrk vegna losunar frá Ánanaustum. Ánanaustsvæðið er með hærri styrk en Klettagarðasvæðið sem að hluta til a.m.k kemur til af meiri losun þaðan en frá Klettagörðum.



Mynd 31 PBDE-efni á fitugrunni í kræklingi á Sundunum.

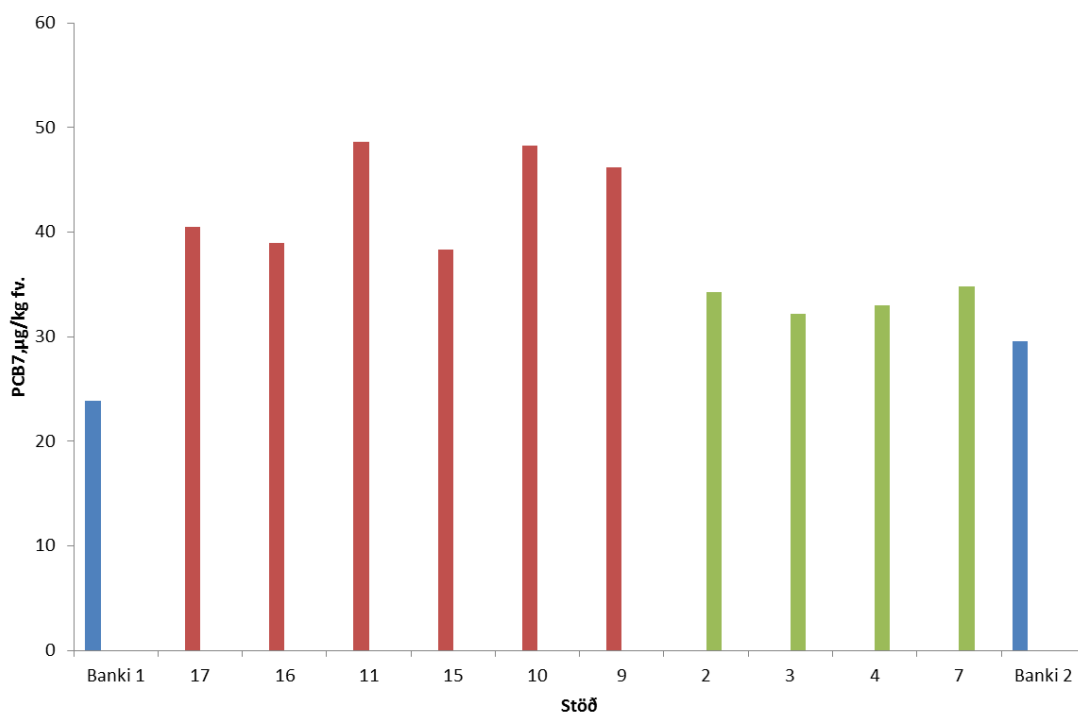
Styrkur PBDE-efnanna á Sundunum er einnig hár í samanburði við ýmis svæði í Evrópu en hæstu gildi þar koma einnig fram vegna áhrifa frá fráveituvatni (Johansson *et al.* 2006) en Σ PBDE₃ (summa 47, 99 og 100) er t.d. 0,13-2,53 µg/kg þurrvigt í kræklingi frá Frakklandi 2001-2003 en öll sýni í þessari rannsókn á Sundunum eru innan þessara marka í Frakklandi utan stöðva 11 og 10 (bankar: 0,26 og 0,27 µg/kg þv.; Klettagarðar: 1,27-1,75 µg/kg þv.; Ánanaust utan stöðva 10 og 11: 1,96-2,44 µg/kg þv.; stöðvar 11 og 10 eru með 4,82 og 5,04 µg/kg þv.). Nýleg rannsókn á kræklingi af ströndum Kaliforníu 2009-2010 sýnir einnig að losun fráveituvatns hækkar styrk PBDE-efna í kræklingi en 68 stöðvar voru þar skoðaðar og reyndist styrkur Σ PBDE₃ þar vera með meðaltalið 11,4 µg/kg þv. (miðgildi 4,8 µg/kg þv.) og hámarkið 121 µg/kg þv. (Dodder *et al.* 2014), þ.e. miðgildi eins og stöðvar 10 og 11 en meðaltal og hámark umtalsvert hærra en hæstu kræklingssýnin af Sundunum.

PCB-efni

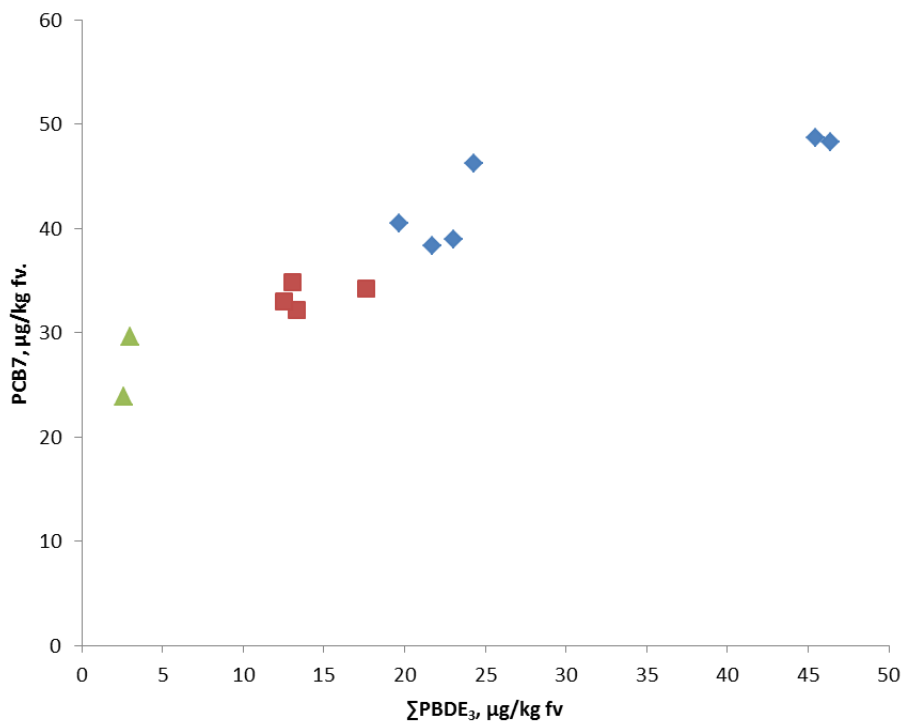
Mynd 32 sýnir styrk summu PCB-efnanna 7. Nokkra hækkun eða um 25 % má sjá í bankanum frá því að hafa verið undan Stykkishólmi í byrjun og Hvalfirði í lokin eða í 58 daga (12/06/2011 til 09/08/2011). Kræklingurinn undan Klettagörðum er ekki marktækt frábrugðinn bankanum í lokin ($p=0,06$). Kræklingurinn undan Ánanaustum er hins vegar um 30 % hærri en kræklingurinn af Klettagarðasvæðinu ($p=0,004$) en einnig 45 % hærri en kræklingurinn í bankanum í lokin ($p=0,04$). Styrkur PCB7 hefur hins vegar lækkað umtalsvert frá síðustu rannsókn við bæði Ánanaust árið 2000 (Guðjón Atli Auðunsson 2005) og Klettagarða 1998 (Guðjón Atli Auðunsson 2001). Styrkurinn 2011 er um þriðjungur styrksins á Ánanaustsvæðinu 2000 (á 11 árum) og styrkurinn 2011 er um fimmtungur styrksins á Klettagarðasvæðinu 1998 (13 ár). Er varðar PCB7 hefur því ástandið batnað umtalsvert.

Stöðvar 11, 10 og 9 (allar yfir og austur af Ánanaustdreifara) sýna um 20 % hærri styrk en önnur sýni undan Ánanaustum á svipaðan hátt og átti við um PBDE-efnin á stöðvum 11 og 10, sjá mynd 33. Mynd 33 bendir til að losun eigi sér stað á PCB-efnum með fráveituvatni en í litlu mæli því stærsti hluti PCB-efnanna er bakgrunnsstyrkur undan Klettagörðum og um helmingur undan Ánanaustum.

Samanborið við lægstu umhverfisviðmið í Noregi, 4 µg/kg votvigt fyrir PCB7 (Molvær *et al.* 1997), þá er kræklingurinn undan Klettagörðum að meðaltali um 0,55 µg/kg vv. en undan Ánanaustum 0,70 µg/kg vv. eða minna en um fimmtungur lægstu viðmiðunar. Svæðið er því skv. þessum mörkum undir óverulegum áhrifum PCB-efna. Einnig má bera styrk PCB-efna í kræklingnum við nýleg mörk fyrir þennan efnaflokk í sjávarfangi í Evrópu (Comm. Reg. 1259/2011) en þau taka til sex PCB-efna eða allra PCB7-efnanna að undaskildu PCB118 (sem er díoxínlíkt PCB-efni). Þessi mörk eru 75 µg/kg á votvigtargrunni en kræklingurinn á Sundunum er á bilinu 0,53-0,86 µg/kg vv. eða 90- til 140-falt lægri en þetta hámark á kræklingi til manndis. M.ö.o. er svæðið undir mjög litlu álagi af völdum PCB-efna. Lægsta hámarksgildi fyrir matvæli er fyrir kjötvörur (alifuglar, svín, lamb, naut) eða 40 µg/kg á fitugrunni samanborið við 32-49 µg/kg fituvigtar í kræklingi á Sundunum. Kræklingurinn undan Klettagörðum stenst þessi mörk en kræklingurinn undan Ánanaustum er aðeins um 10 % yfir þeim 2011. Miðað við hraða lækkunar á PCB-efnum á undanförunum árum stenst kræklingurinn undan Ánanaustum líklegast þessi ströngustu mörk í dag.



Mynd 32 PCB-efnin sjö í kræklingi á fitugrunni.



Mynd 33 Vensl PCB7 og PBDE-efna á fitugrunni. Grænir punktar: bankasýni. Rauðbrúnir punktar: Klettagarðasvæði. Bláir punktar: Ánanaustsvæði.

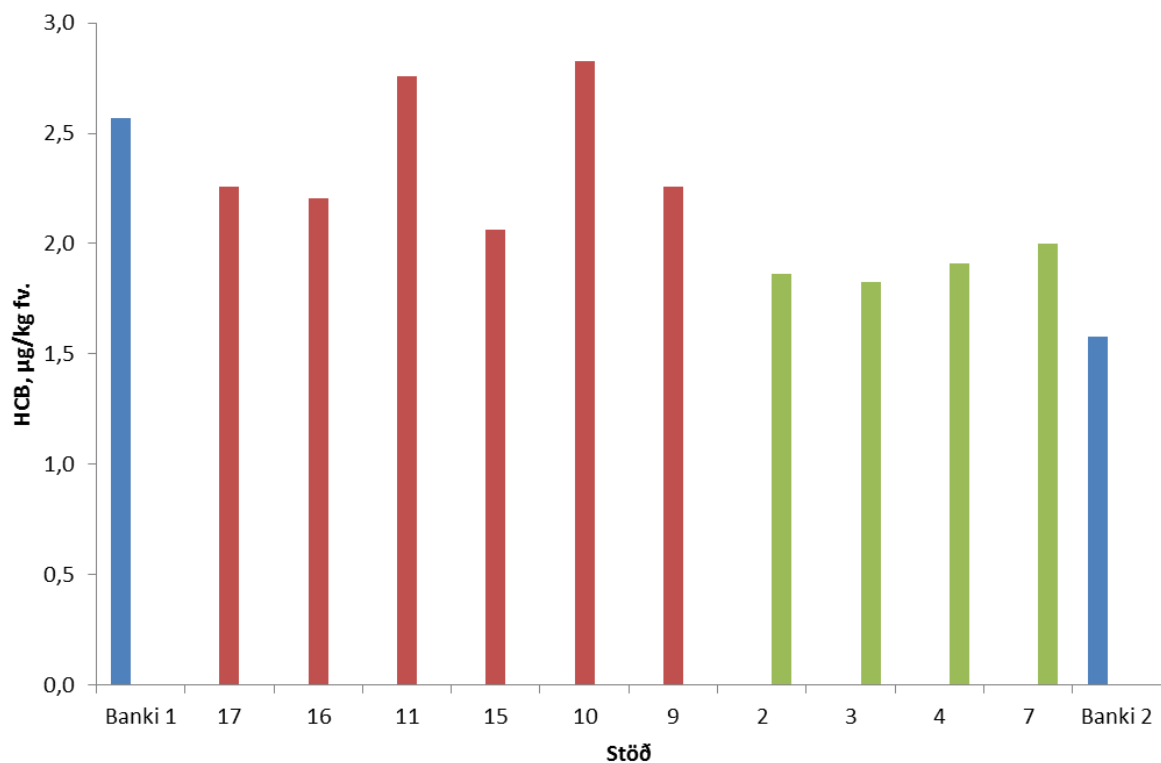
HCB

Á mynd 34 má sjá HCB í kræklingssýnum og svipar því mjög til PCB7 enda fylgni góð milli HCB og PCB7 á Sundunum, mynd 35. Hins vegar lækkar banki talsvert eða um helming. Ánanaustsvæðið er marktækt hærra en Klettagarðasvæðið eða um 25 % ($p=0,017$) en kræklingurinn undan Ánanaustum er eins og bankasýni í upphafi ($p=0,63$) og í lokin ($p=0,06$). Klettagarðakræklingurinn er hins vegar 20 % hærri en banki í lokinn en 35 % lægri en banki í upphafi ($p=0,03$). Af þessu má draga þá ályktun að mismunur banka og Sundanna er mjög lítill. Stöðvar 11 og 10 eru þó örlítið hærri og svipar þannig til PBDE-efna og örlíttillar losunar frá Ánanaustum.

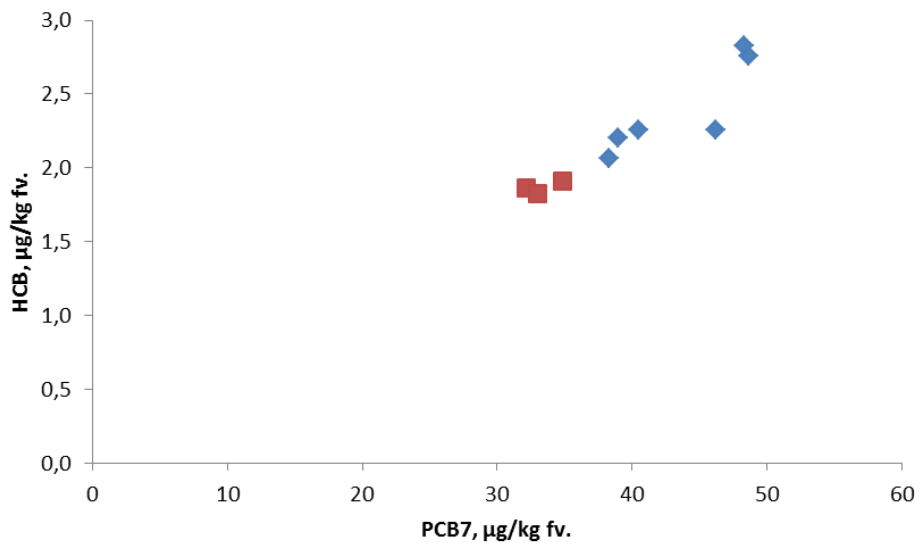
Miðað við krækling undan Ánanaustum 2000, þá er HCB 2011 um 60 % af gildinu 2000 en kræklingurinn undan Klettagörðum er eins bæði 1998 og 2011. Styrkur HCB lækkar því mun hægar en PCB7 og má ætla að um loftborna bakgrunnsmengun sé að mestu að ræða, bæði á Sundunum og í bönkunum.

Styrkur HCB á Sundunum er mjög lágur en lægstu umhverfisviðmið í Noregi eru $0,1 \mu\text{g}/\text{kg}$ vv (Molvær *et al.* 1997) samanborið við $0,033\text{--}0,055 \mu\text{g}/\text{kg}$ vv á Sundunum eða tvöfalt til þrefalt lægri og telst því svæðið undir óverulegum áhrifum af völdum HCB. Ekki eru fyrir hendi hámarksgildi á HCB í sjávarfangi.

Aðeins að óverulegu leyti ef nokkru er styrkur HCB í kræklingi undan Ánanaustum kominn til vegna losunar fráveituvatns en HCB í kræklingi undan Klettagörðum er ekki undir áhrifum losunar HCB úr fráveituvatni.



Mynd 34 HCB í kræklingssýnum á fitugrunni.



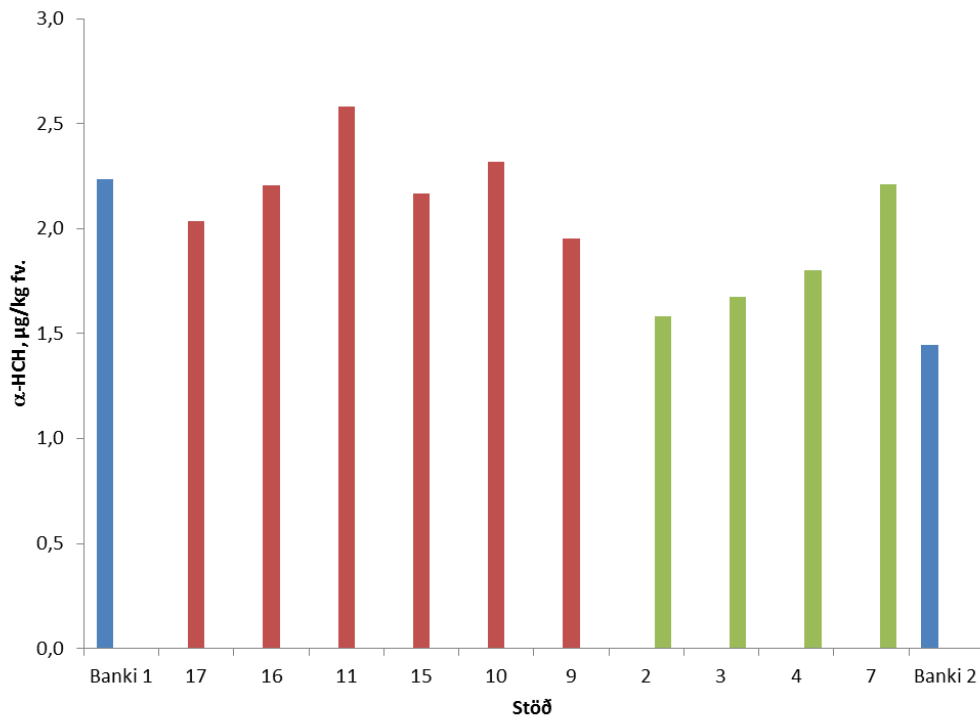
Mynd 35 Vensl HCB og PCB7 á fitugrunni. Rauðbrúnir punktar: Klettagarðasvæði. Bláir punktar: Ánanaustsvæði.

HCH-efni

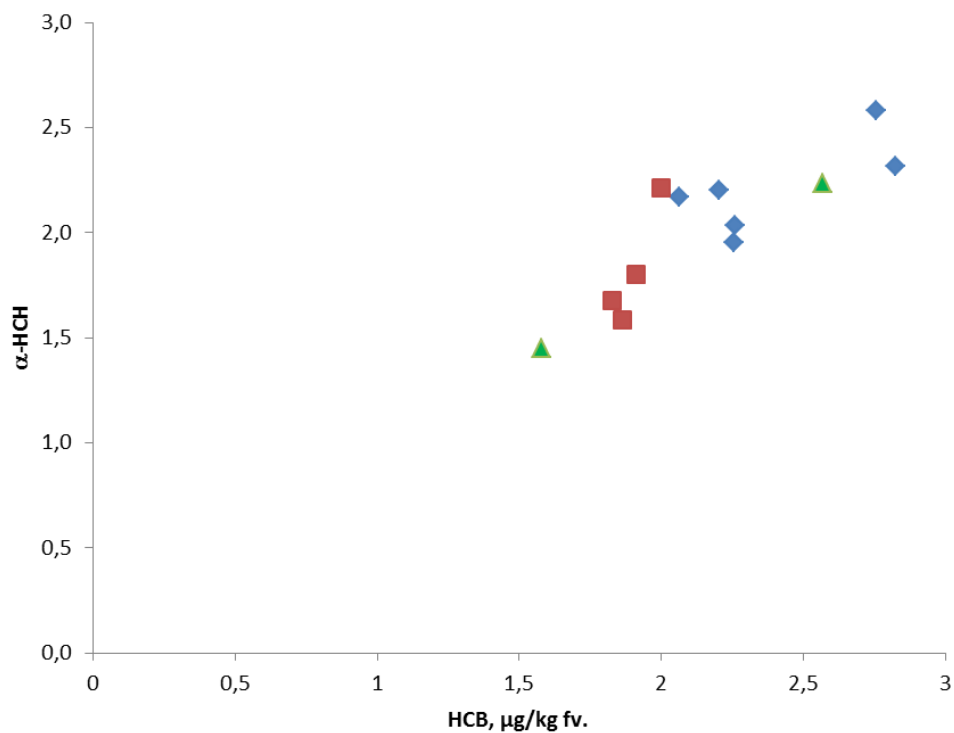
Aðeins α -HCH mældist yfir greiningarmörkum aðferðarinnar (0,01 $\mu\text{g}/\text{kg}$ vv.), þ.e. β -HCH og γ -HCH mælast ekki yfir greiningarmörkum. Mynd 36 sýnir styrk α -HCH og veður athygli hve lík hegðunin er og fyrir HCB, bankasýni undanskilin. Það kemur því ekki á óvart að fylgni sé góð á milli α -HCH og HCB, mynd 37. Enn er Ánanaustsvæðið um 20 % hærra en Klettagarðasvæðið ($p=0,038$) en Ánanaustsvæðið er jafnt banka í upphafi ($p=0,92$) en um 50 % hærra en banki í lokin ($p=0,025$). Hins vegar er Klettagarðasvæðið eins og banki í upphafi ($p=0,27$) og banki í lokinn ($p=0,32$).

Miðað við síðustu rannsóknir með kræklingi á svæðinu, þá er α -HCH í Ánanaustkræklingnum 2011 aðeins um 40 % af styrk þess 2000 og sömu sögu er að segja af Klettagarðasvæðinu, styrkurinn 2011 er um 40 % af styrknum 1998. Þetta ásamt niðurstöðu að ofan bendir sterklega til að α -HCH á hvorki Ánanaustsvæðinu né Klettagarðasvæðinu eigi ekki rætur að rekja til fráveituvatns, líklegast er um loftborna mengun að ræða.

Styrkurinn á HCH-efnum er einnig lágur og samanborið við lágstu umhverfismörk í Noregi, 1 $\mu\text{g}/\text{kg}$ vv. fyrir summu allra þriggja HCH-efnanna (Molvær *et al.* 1997). Miðað við α -HCH eingöngu er styrkur á Sundunum því aðeins 20-35 % af þessum lágsta viðmiðunarstyrk og svæðið því undir óverulegum áhrifum mengunar af völdum HCH-efna.



Mynd 36 α-HCH í kræklingssýnum á fitugrunni.



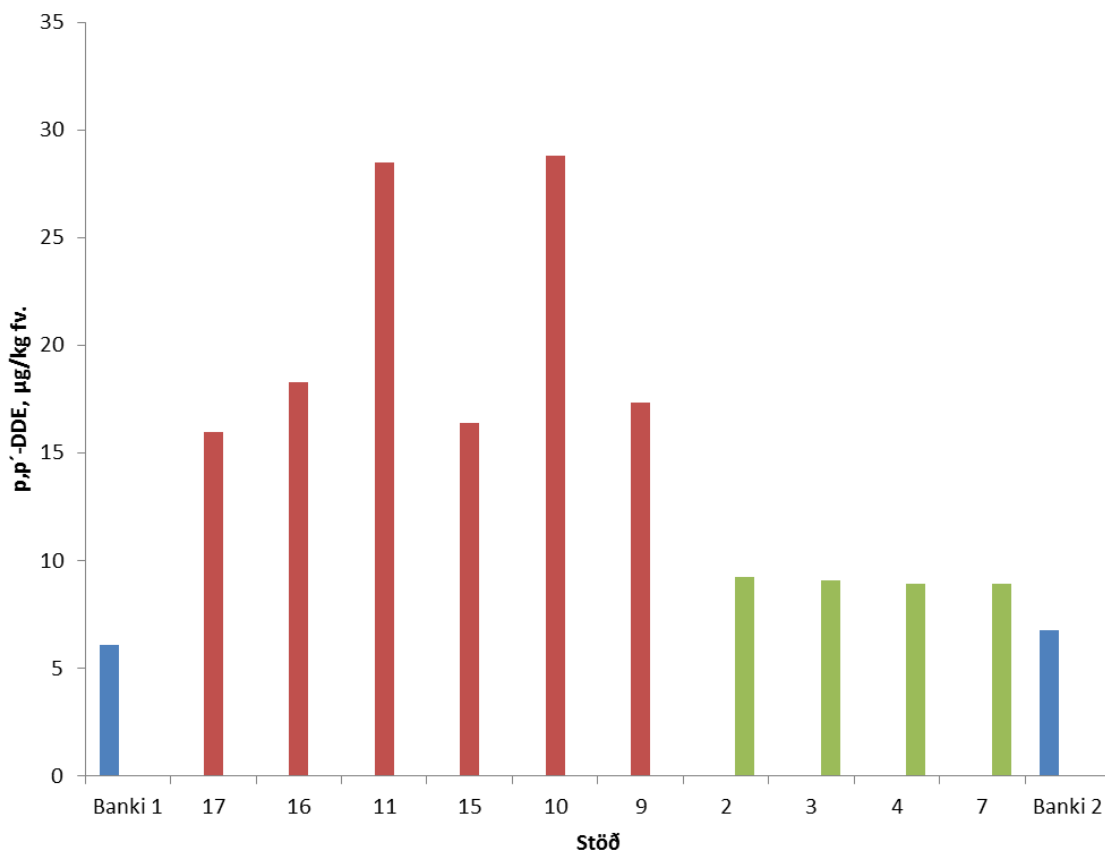
Mynd 37 Vensl α-HCH og HCB í kræklingssýnum á fitugrunni. Grænir punktar: bankasýni. Rauðbrúnir punktar: Klettagarðasvæði. Bláir punktar: Ánanaustsvæði.

DDT-efni

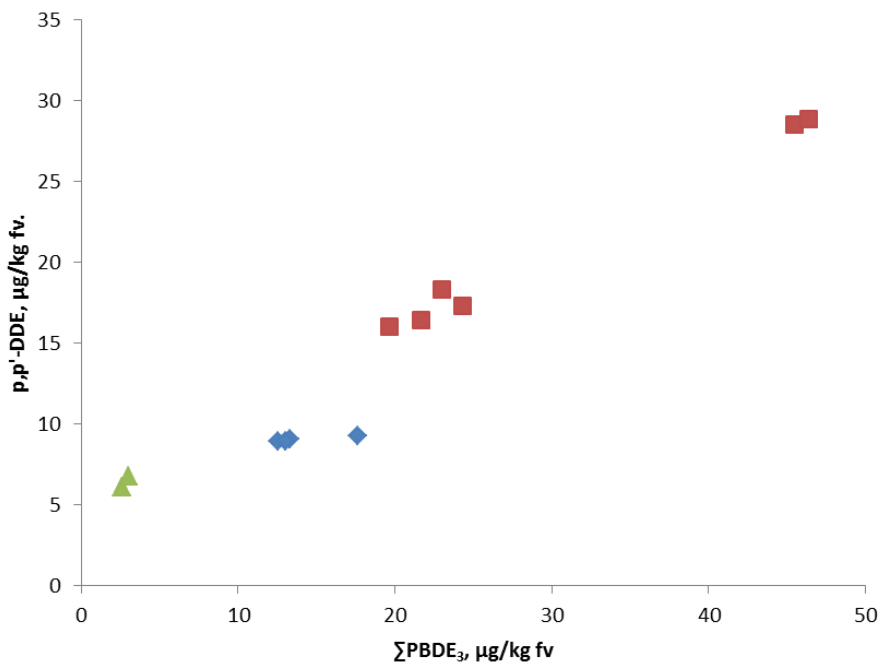
p,p'-DDE er um ¾ af summu allra DDT-efnanna og er því umfjöllunin aðallega um p,p'-DDE hér en á árum áður var oftast einungis mælt p,p'-DDE. Hátt hlutfall DDE af heildarsummu gefur sterklega til kynna að losunin átti sér stað fyrir talsverðu síðan. Mynd 38 sýnir styrk p,p'-DDE í kræklingssýnum og er um óverulega hækkun í bankasýni að ræða en athygli vekur hve mynstri svipar til PBDE-efnanna er varðar stöðvar 11 og 10 þó svo styrkur á Sundunum almennt sé ekki eins hár miðað við bankasýnin og við átti um PBDE-efnin, sjá mynd 39. Bendir þetta til losunar þó lítil sé frá Ánanaustdreifara. Eins og á við um PBDE-efnin og klórlífrænu efnin þá er styrkur undan Ánanaustum hærri en undan Klettagörðum eða tvöfalt hærri ($p=0,005$). Ánanaustsvæðið er einnig þrefalt herra en bankasýnin ($p=0,019$). Klettagarðasvæðið er marktækt 50 % herra en bæði banki í upphafi ($p=0,0004$) og 35 % herra en banki í lokinn ($p=0,0009$).

Að stöðvum 11 og 10 undanskildum er Ánanaustsvæðið 2011 með sama styrk p,p'-DDE og var að finna árið 2000. Stöðvar 11 og 10 árið 2011 eru hins vegar með nálægt því tvöfalt hærri styrk p,p'-DDE en raunin var 2000. Klettagarðasvæðið hefur hins vegar lækkað 50 % miðað við 1998.

Þrátt fyrir nokkra losun á Ánanaustsvæðinu þá er um lágan styrk DDT-efna að ræða en lægstu umhverfismörk í Noregi eru 2 $\mu\text{g}/\text{kg}$ á votvigtargrunni (Molvær *et al.* 1997). Hæsti og lægsti styrkur á Sundunum eru 0,23 og 0,74 $\mu\text{g}/\text{kg}$ votvigtar eða 11 og 37 % af lægstu umhverfismörkum í Noregi eða svæði undir óverulegum áhrifum.



Mynd 38 p,p'-DDE á fitugrunni í kræklingssýnum



Mynd 39 Vensl p,p'-DDE og PBDE-efna í kræklingssýnum. Grænir punktar: bankasýni. Rauðbrúnir punktar: Klettagarðasvæði. Bláir punktar: Ánanaustsvæði.

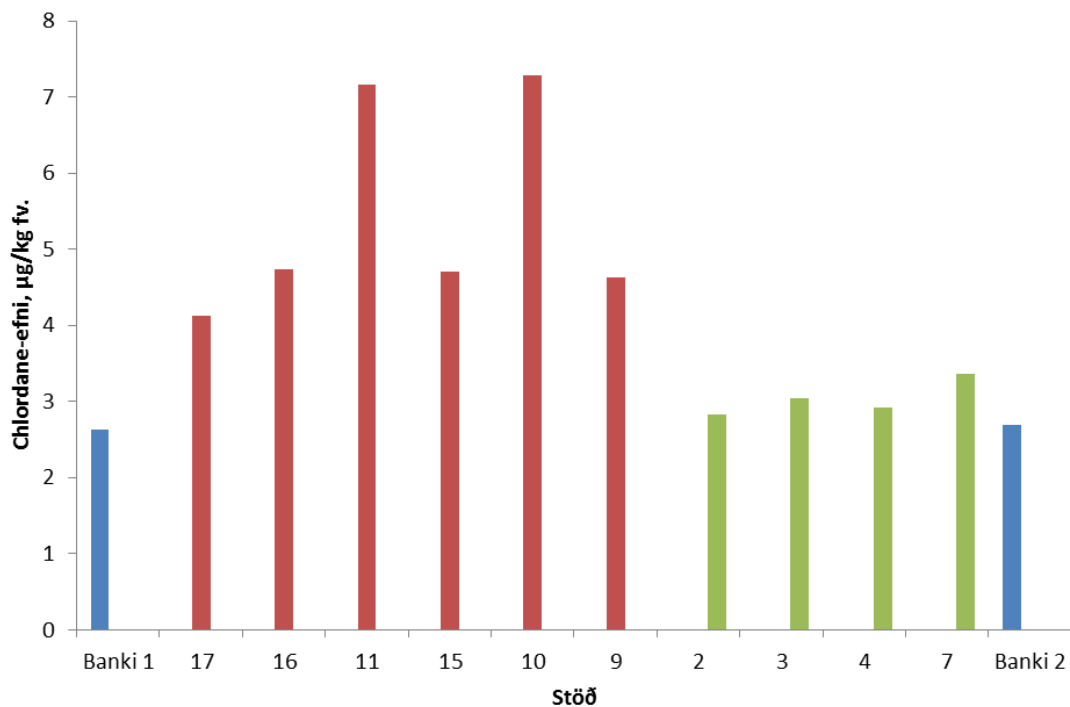
Chlordane-efni

Með Chlordane-efnum er átt við summu α -Chlordane, γ -Chlordane og oxychlordane. Oxychlordane mældist aldrei yfir greiningarmörkum (0,01-0,06 $\mu\text{g}/\text{kg}$ vv.) og α -Chlordane stendur fyrir tæplega 80 % af summu α -Chlordane og γ -Chlordane. Mynd 40 sýnir Chlordane-efnin í kræklingnum og má sjá að banki breytist ekki á tímabilinu. Enn er Ánanaustsvæðið hærra en Klettagarðasvæðið eða 50 % ef stöðvar 11 og 10 eru undanskildar ($p=0,02$) en stöðvar 11 og 10 eru rúmlega tvöfalt hærri en stöðvarnar á Klettagarðasvæðinu. Ánanaustsvæðið er einnig um 70 % hærra en bankasýnin, stöðvar 11 og 10 undanskildar ($p=0,001$) en stöðvar 11 og 10 eru um þrefalt hærri en bankasýnin. Kræklingurinn af Klettagarðasvæðinu er hins vegar ómarktækt frábrugðinn bankasýnunum ($p=0,10$).

Miðað við niðurstöður árið 2000 hefur styrkur Chlordane efna lækkað um helming á Ánanaustsvæðinu þó svo stöðvar 10 og 11 séu teknar með. Chlordane-efnin voru ekki mæld í rannsókninni 1998 á Klettagarðasvæðinu en ljóst er að Klettagarðasvæðið er eins og finna má í íslenskri náttúru, þ.e. eins og bankasýnin.

Ekki eru til staðar umhverfisviðmið í Noregi fyrir Chlordane-efni.

Greina má örlitla losun á Ánanaustsvæðinu yfir og 500 m austur af dreifara.



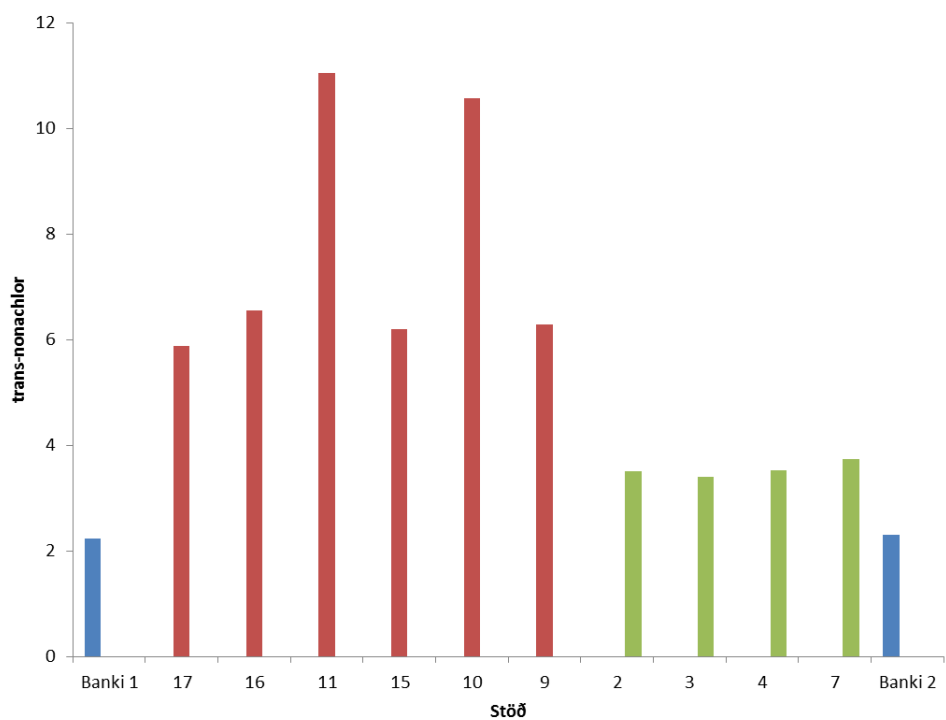
Mynd 40 Chlordane-efni á fitugrunni í kræklingi.

trans-nonachlor

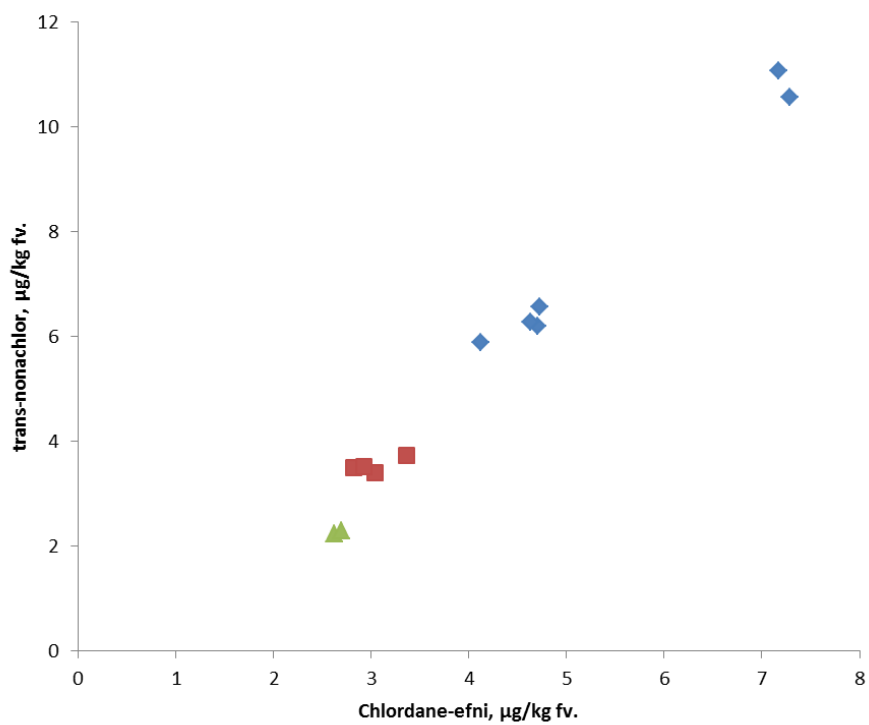
trans-nonachlor er oftast talinn með Chlordane-efnum því þetta efni var að finna í þeirri flóknu blöndu sem Chlordane-efnin voru. *trans-nonachlor* var þó einnig framleitt sem slíkt sem pláguefni. Mynd 41 sýnir niðurstöður fyrir *trans-nonachlor* í kræklingi rannsóknarinnar en mynd 42 vensl *trans-nonachlor* og Chlordane-efna sem sýnir mjög gott línulegt samband eins og vænta mátti. Styrkur í banka breytist ekki og sama mynstur hærrí styrks á Ánnaustsvæðinu en Klettagarðasvæðinu og hækkun má sjá á stöðvum 11 og 10 eins og fyrir PBDE-efni, PCB-efni, p,p'-DDE og Chlordane-efni.

Ólíkt Chlordane-efnunum þá hefur styrkur *trans-nonachlor* ekki lækkað á Ánanaustsvæðinu svo nokkru nemur frá 2000 þó svo stöðvar 11 og 10 séu undanskildar. *Trans-nonachlor* var ekki mældur í rannsókninni 1998 á Klettagarðasvæðinu. Ólíkt Chlordane-efnunum þá er Klettagarðasvæðið marktækt um 55 % hærra en bankasýnin ($p=0,0003$). Að stöðvum 11 og 10 undanskildum er Ánanaustkræklingurinn um tvöfalt hærrí en Klettagarðakræklingurinn en stöðvar 11 og 10 um þrefalt hærrí.

Um lága styrki er að ræða en ekki eru fyrir hendi umhverfismörk fyrir *trans-nonachlor*.



Mynd 41 trans-nonachlor á fitugrunni í kræklingi.



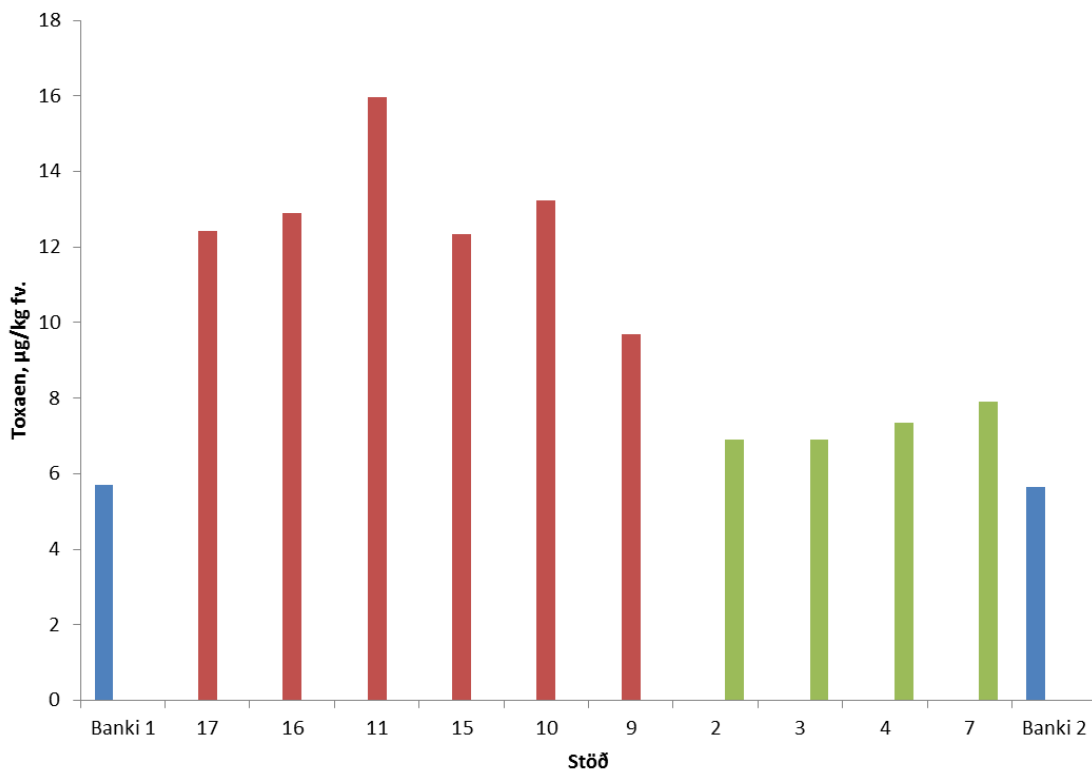
Mynd 42 Vensl trans-nonachlor og Chlordane-efna í kræklingi. Grænar punktar: bankasýni. Rauðbrúnir punktar: Klettagarðasvæði. Bláir punktar: Ánanaustsvæði.

Toxafen-efni

Eins og í tilviki Chlordane-efna eru þrjú efni tekin sem bendiefni á toxafen-efni í annars flóknum blöndum, þ.e. Tox-26, Tox-50 og Tox-62. Við umfjöllun er summa þessara þriggja skoðuð. Mynd 43 sýnir toxafen í kræklingssýnunum en bankasýni hefur ekki breyst meðan á eldi á Sundunum stóð. Eins og í öllum tilvikum að ofan fyrir lífræn aðskotaefni er Ánanaustsvæðið marktækt hærra en Klettagarðasvæðið eða 75 % hærra hér ($p=0,0008$) og er Ánanaustsvæðið um tvöfalt hærra en bankasýnin ($p=0,003$). Klettagarðasvæðið er hærra en bankasýnin eða um 30 % ($p=0,01$).

Eins og raunin var með trans-nonachlor og p,p'-DDE þá hefur ekki orðið marktæk lækkun á toxafen-efnum á Ánanaustsvæðinu frá árinu 2000. Toxafen-efni voru ekki mæld í Klettagarðarannsókninni 1998.

Ekki eru fyrir hendi umhverfisviðmið fyrir toxafen-efni í kræklingi.



Mynd 43 Toxafen-efni á fitugrunni í kræklingi.

3.4.1 Samantekið fyrir PBDE-efni og klórlífræn efni

Losun er talsverð á PBDE-efnum með fráveituvatni og er hún meiri í viðtaka fráveituvatns frá Ánanaustum en Klettagörðum, sérstaklega ofan við miðjan dreifara og 500 m austur af miðjum dreifara. Er styrkur þessa efnaflokks á svipuðum nótum og í kræklingi í Frakklandi 2001-2003 en lægri en á ströndum Kaliforníu, sérstaklega þegar fráveituvatns gætti á umhverfi hans.

Almennt er hærri styrkur lífrænna aðskotaefna á Ánanaustsvæðinu en Klettagarðasvæðinu. Ekki verður þessi munur á svæðum tengdur losun á fráveituvatni en Klettagarðasvæðið er áþekkt ómengaðri íslenskri náttúru eða nálægt henni í flestum tilvikum fyrir utan PBDE-efni.

Styrkur flestra klórlífrænu aðskotaefnanna hefur lækkað í kræklingi frá síðustu rannsóknum á svæðunum, 1998 og 2000, að undanskildum DDT-efnum, *trans*-nonachlor og toxafen efnunum en þessir þrír flokkar sýna enga lækkun og reyndar mátti sjá um tvöfalda hækkun í p,p'-DDE þar sem áhrifa fráveituvatns gætti mest undan Ánanaustum (miður dreifari og 500 m austur af miðjum dreifara). Mesta lækkun mátti sjá í PCB-efnum þar sem um er að ræða lækkun um 2/3 á Ánanaustsvæðinu og 80 % á Klettagarðasvæðinu.

Örlitla losun má greina á Ánanaustsvæðinu (miður dreifari og 500 m austur af miðjum dreifara) fyrir PCB-efni, p,p'-DDE, Chlordane-efni og *trans*-nonachlor. Hins vegar er um mjög lága styrki að ræða og vel undir lægstu umhverfisviðmiðunum þegar slík eru fyrir hendi (PCB-efni, HCB, HCH-efni, og DDT-efni), þ.e. svæði undir óverulegum áhrifum. Fyrir PCB-efni eru fyrir hendi mörk fyrir krækling og annað sjávarfang til manneldis og eru þau 90- til 140-falt hærri en styrkur PCB-efna í kræklingi á Sundunum.

3.5 PAH-efni

Í töflu 8 eru niðurstöður mælinga á PAH-efnum. Um mjög lága styrki er að ræða og hafa niðurstöður með styrk yfir greiningarmörkum verið litaðar bláar.

Fjallað verður um PAH-efni í fjórum flokkum. Í fyrsta lagi sem summu allra efnanna 16, þ.e. EPA16. Í öðru lagi sem PAH4 en hámarksgildi eru fyrir þau í kræklingi til manneldis [bens(a)antracen, krysen, bens(b)fluoranten, og dibens(ah)antracen]. Í þriðja lagi um krabbameinsvirk PAH-efni, þ.e. KPAH, en það eru PAH4-efnin fjögur auk fjögurra annarra [bens(k)fluoranten, dibens(ah)antracen, benso(ghi)perylene, og indeno(123cd)pyren]. Umhverfisviðmið hafa verið útbúin fyrir bæði EPA16 og KPAH í kræklingi. Að lokum verður fjallað um benso(a)pyren eitt og sér en auk þess að fyrir það sé til hámarksgildi í kræklingi til manneldis þá hafa einnig verið útbúin umhverfisviðmið fyrir benso(a)pyren. Benso(a)pyren hefur mesta eiturvirkni af PAH-efnum.

Tafla 8 Niðurstöður mælinga á PAH-efnum

Mælieining: mg/kg votvigt

Stöð	2	3	4	7	9	10	11	15	16	17	Banki 1	Banki 2
Mælipáttur												
naftalen	<0.0050	<0.0050	<0.0050	<0.0050	<0.0050	<0.0050	<0.0050	<0.0050	<0.0050	<0.0050	<0.0050	<0.0050
acenaftýlen	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0015	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010
acenaften	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0030	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010
fluoren	<0.0010	<0.0010	<0.0010	0,0022	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010
fenantren	<0.0010	<0.0010	<0.0010	0,0062	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010
antracén	<0.0010	<0.0010	<0.0010	0,0018	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010
fluoranten	<0.0010	<0.0010	<0.0010	0,0085	0,0014	0,0013	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010
pyren	<0.0010	<0.0010	<0.0010	0,011	0,0015	0,0013	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010
bens(a)antracén	<0.0010	<0.0010	<0.0010	0,0032	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010
krysen	<0.0010	<0.0010	<0.0010	0,0059	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010
bens(b)fluoranten	<0.0010	<0.0010	<0.0010	0,0052	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010
bens(k)fluoranten	<0.0010	<0.0010	<0.0010	0,0016	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010
bens(a)pyren	<0.0010	<0.0010	<0.0010	0,0015	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010
dibenso(ah)antracén	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010
benso(ghi)perýlen	<0.0010	<0.0010	<0.0010	0,0028	<0.0015	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010
indeno(123cd)pyren	<0.0010	<0.0010	<0.0010	0,0011	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010
Summa 16 EPA-PAH	<0.01	<0.01	<0.01	0,051	0,0029	0,0026	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Summa PAH4 (UB)	<0.004	<0.004	<0.004	0,014	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004
KPAH (PAH cancerogena)	<0.004	<0.004	<0.004	0,019	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004
Summa önnur en KPAH	<0.006	<0.006	<0.006	0,033	0,0029	0,0026	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006

EPA16

Aðeins þrjár stöðvar hafa gildi yfir greiningarmörkum, þ.e. stöðvar 7, 9 og 10 með 51, 2,9 og 2,6 µg/kg vv. Svæðið kringum stöð 7 500 m austan við miðju dreifistúts frá Klettagörðum hefur áður sýnt mælanlegt gildi og var það áður en losun fráveituvatns hófst á svæðinu (Guðjón Atli Auðunsson 2001). Hér getur verið um annaðhvort umferð skipa og báta að ræða eða meðferð olúefna sem áður átti sér stað á þessu svæði. Lægsta umhverfisviðmið fyrir EPA16 í Noregi er 50 µg/kg vv. (Molvær *et al.* 1997) og er stöð 7 jöfn því viðmiðunargildi en stöðvar 9 og 10 langt undir því gildi og telst svæðið því undir óverulegum áhrifum og þau litlu áhrif sem um ræðir líklegast ekki tengd losun fráveituvatns.

PAH4

PAH4 mælast aðeins á stöð 7 og jöfn 14 ppb vv. en það er u.þ.b. helmingurinn af hámarksgildi fyrir krækling til manndis, 30 ppb vv. (Comm.Reg. 835/2011). Eins og fram kom að ofan verður þessi mæling yfir greiningarmörkum ekki auðveldlega tengd losun fráveituvatns þó það sé ekki útilokað.

KPAH

Einungis stöð 7 mælist yfir greiningarmörkum eða 19 ppb vv. en það er yfir lágsta umhverfisviðmiði í Noregi, 10 ppb vv. (Molvær *et al.* 1997). Þetta setur þessa stöð í flokk 2 (af fimm) eða svæði undir nokkurri mengun.

Benso(a)pyren

Aðeins stöð 7 mælist yfir greiningarmörkum eða 1,5 ppb vv. en það er yfir lágsta umhverfisviðmiði í Noregi, 1 ppb vv. (Molvær *et al.* 1997), þ.e. jöfn greiningarmörkum flestra mæliaðferða fyrir PAH-efni þ.m.t. aðferð þessarar rannsóknar. Þetta setur þessa stöð í

flokk 2 (af fimm) eða svæði undir nokkurri mengun. Leyfilegt hámarksgildi fyrir benzo(a)pyren í kræklingi til mannelis er fimmfalt hærra eða 5 ppb vv. (Comm.Reg. 835/2011) og kræklingurinn því vel hæfur til mannelis.

3.5.1 Samanteknar niðurstöður fyrir PAH-efni

Styrkur skaðlegra PAH-efna mælist einungis á einni stöð yfir greiningarmörkum mæliaðferðar, 500 m austur af miðju dreifara frá Klettagörðum. Ekki verður óyggjandi sagt að þetta sé fyrir áhrif fráveituvatns frá Klettagörðum þar sem þetta svæði mældist einnig yfir greiningarmörkum áður en losun fráveituvatns hófst á svæðinu. Þessi stöð og einungis þessi stöð fer yfir lágstu umhverfisviðmið í Noregi sem flokkar svæðið undir nokkrum áhrifum mengunar. Þrátt fyrir mæligildi yfir greiningarmörkum þá er kræklingurinn af þessari stöð vel undir hámarksgildi fyrir krækling til mannelis. Allar aðrar stöðvar flokkast sem svæði með óverulegri ef nokkurri mengun.

4 Helstu niðurstöður, ágríp

Vöxtur og holdafar Samantekið má draga þá ályktun að kræklingurinn af Sundunum hafi þrífist mjög vel, betur en kræklingur af viðmiðunarsvæðinu í Hvalfirði. Einnig hefur kræklingurinn af Klettagarðasvæðinu þrífist nokkuð betur en kræklingurinn af Ánanaustsvæðinu (þurrþyngd, fitumagn, holdafarsstuðull). Hitastig og næringarefnaframboð hafa m.a. áhrif á vöxt kræklinga (sjá nánar um áhrifaþætti vaxtar í Guðjón Atli Auðunsson 2001). Ætla má að kræklingurinn geti nýtt sér næringarefni úr fráveituvatninu sér til viðurværis og þ.a.l. þrífist betur á Sundunum en í Hvalfirði. Nánar um þennan þátt í næstu málsgrein um stöðugar samsætur niturs og kolefnis.

Stöðugar samsætur niturs og kolefnis. Það er þrennt sem talar gegn áhrifum fráveituvatns. Í fyrsta lagi eru gildin á $\delta^{13}\text{C}$ mjög jöfn á Sundunum, þ.e. nálægð við dreifistúta virðist skipta litlu máli. Í öðru lagi er munur á hæsta og lágsta gildis á $\delta^{13}\text{C}$ af sömu stærðargráðu og sést hefur vegna árstíðabreytinga og frá einni stöð til annarrar af náttúrulegum ástæðum. Þannig er munur bankasýnanna tveggja meiri en munurinn milli banka í lokin og Sundanna. Þannig má líta á gildin á $\delta^{13}\text{C}$ sem lýsandi fyrir þrjú svæði, þ.e. við Stykkishólm, úti á Sundunum, og í Hvalfirði, og er það líklegasta skýringin á þeim mun sem sjá má á $\delta^{13}\text{C}$. Í þriðja lagi sýni $\delta^{15}\text{N}$ engan mun milli svæðanna þriggja. Af þessu leiðir að kræklingur virðist ekki nýta sér fæðu úr fráveituvatninu svo nokkru nemur.

Ólífræn snefilefni. Í engu tilviki var unnt að tengja styrk ólífrænna snefilefna við losun fráveituvatns í viðtaka á Sundunum en sýnastöðvar voru eins nálægt losun fráveituvatnsins og nokkur kostur var á. Tímabundin undantekning er styrkur kopars og járnns í kræklingi yfir miðju dreifistúts frá Klettagörðum. Þessi aukning í koparstyrk er vel innan lágstu viðmiðunarmarka í Noregi sem endurspeglar svæði sem eru undir óverulegum áhrifum ef nokkrum áhrifum og lífríkinu meinlaus. Styrkur járnns sem er að finna á þessari stöð er hættulaus lífríkinu með öllu. Silfur hefur fram til þessa mátt tengja við losun fráveituvatns þó svo rannsóknir hafi sýnt að áhrifa gætti minna eftir að losun hófst í núverandi viðtaka. Nú bregður svo við að styrkur þess hefur lækkað og er nú eins og finna má á ósnortnum svæðum á SV-landi a.m.k.

Í þeim tilvikum sem Noregur hefur umhverfismörk fyrir ólífræn snefilefni (As, Pb, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Zn, Ag), þá er kræklingur Sundanna ávallt vel undir lögstu umhverfismörkum (óveruleg ef nokkur áhrif) að kadmíni undanskildu en þar kemur til hærri styrkur vegna náttúrulegra skilyrða á Íslandi.

Í þeim tilvikum sem til staðar eru hámarksgildi fyrir ólífræn snefilefni í kræklingi til manneldis (Cd, Hg, Pb) er styrkurinn lægri (Cd) eða umtalsvert lægri (Hg, Pb) í kræklingi af Sundunum.

PBDE-efni og klórlífræn snefilefni. Losun er talsverð á PBDE-efnum með fráveituvatni og er hún meiri í viðtaka fráveituvatns frá Ánanaustum en Klettagörðum, sérstaklega ofan við miðjan dreifara og 500 m austur af miðjum dreifara. Er styrkur þessa efnaflokks á svipuðum nótum og í kræklingi í Frakklandi 2001-2003 en lægri en á ströndum Kaliforníu, sérstaklega þegar fráveituvatns gætti á umhverfi hans.

Almennt er hærri styrkur lífrænna aðskotaefna á Ánanaustsvæðinu en Klettagarðasvæðinu. Ekki verður þessi munur á svæðum tengdur losun á fráveituvatni en Klettagarðasvæðið er áþekkt ómengaðri íslenskri náttúru eða nálægt henni í flestum tilvikum fyrir utan PBDE-efni.

Styrkur flestra klórlífrænu aðskotaefnanna hefur lækkað í kræklingi frá síðustu rannsóknnum á svæðunum, 1998 og 2000, að undanskildum DDT-efnum, *trans*-nonachlor og toaxafen efnum en þessir þrjú flokkar sýna enga lækkun og reyndar mátti sjá um tvöfalda hækkun í p,p'-DDE þar sem áhrifa fráveituvatns gætti mest undan Ánanaustum (miður dreifari og 500 m austur af miðjum dreifara). Mesta lækkun mátti sjá í PCB-efnum þar sem um er að ræða lækkun um 2/3 á Ánanaustsvæðinu og 80 % á Klettagarðasvæðinu.

Örlitla losun má greina á Ánanaustsvæðinu (miður dreifari og 500 m austur af miðjum dreifara) fyrir PCB-efni, p,p'-DDE, Chlordane-efni og *trans*-nonachlor. Hins vegar er um mjög lága styrki að ræða og vel undir lögstu umhverfisviðmiðunum þegar slík eru fyrir hendi (PCB-efni, HCB, HCH-efni, og DDT-efni), þ.e. svæði undir óverulegum áhrifum. Fyrir PCB-efni eru fyrir hendi mörk fyrir krækling og annað sjávarfang til manneldis og eru þau 90- til 140-falt hærri en styrkur PCB-efna í kræklingi á Sundunum.

PAH-efni. Styrkur skaðlegra PAH-efna mælist einungis á einni stöð yfir greiningarmörkum mæliaðferðar, 500 m austur af miðju dreifara frá Klettagörðum. Ekki verður óyggjandi sagt að þetta sé fyrir áhrif fráveituvatns frá Klettagörðum þar sem þetta svæði mældist einnig yfir greiningarmörkum áður en losun fráveituvatns hófst á svæðinu. Þessi stöð og einungis þessi stöð fer yfir lögstu umhverfisviðmið í Noregi sem flokkar svæðið sem undir nokkrum áhrifum mengunar. Þrátt fyrir mæligildi yfir greiningarmörkum þá er kræklingurinn af þessari stöð vel undir hámarksgildi fyrir krækling til manneldis. Allar aðrar stöðvar flokkast sem svæði með óverulegri ef nokkurri mengun.

5 Heimildir

Cantillo, A.Y.1998. Comparison of Results of Mussel Watch Programs of the United States and France with Worldwide Mussel Watch Studies. *Mar.Poll.Bull.*, 36: 712-717.

Cloern, James E., Elizabeth A. Canuel, and David Harris 2002. Stable carbon and nitrogen isotope composition of aquatic and terrestrial plants of the San Francisco Bay estuarine system. *Limnol. Oceanogr.*, 47: 713–729.

Dodder, Nathan G., Keith A. Maruya, P. Lee Ferguson, Richard Grace, Susan Klosterhaus, Mark J. La Guardia, Gunnar G. Lauenstein, and Juan Ramirez 2014. Occurrence of contaminants of emerging concern in mussels (*Mytilus* spp.) along the California coast and the influence of land use, storm water discharge, and treated wastewater effluent. *Marine Pollution Bulletin* 81: 340–346.

Guðjón Atli Auðunsson 1992. Kræklingrannsóknir vegna væntanlegrar losunar frárennslis frá Reykjavík. Unnið fyrir Gatnamálastjóran í Reykjavík. *Skýrsla Rf 51* (65 síður). Júní 1992.

Guðjón Atli Auðunsson & Hannes Magnússon 1994. Kræklingrannsóknir 1994 vegna væntanlegrar losunar frárennslis frá Reykjavík. Framhald-I. Unnið fyrir Gatnamálastjóran í Reykjavík. *Rf Skýrsla 96* (68 síður). September 1995.

Guðjón Atli Auðunsson & Hannes Magnússon 1995. Kræklingrannsóknir 1995 vegna væntanlegrar losunar frárennslis frá Reykjavík. Framhald-II. Unnið fyrir Gatnamálastjóran í Reykjavík. *Rf Skýrsla 98* (20 síður). Október 1995.

Guðjón Atli Auðunsson 2001. Kræklingrannsóknir út af Klettagörðum 1998. Unnið fyrir Gatnamálastjóran í Reykjavík. *Skýrsla Rf 10-01*. Júní 2001.

Guðjón Atli Auðunsson 2005. Kræklingrannsóknir: Ánanaust 2000. Unnið fyrir Orkuveitu Reykjavíkur. *Skýrsla ITÍ0605/EGK02* (6ÞV05186).

Guðjón Atli Auðunsson 2006. Summary and evaluation of environmental impact studies on the recipient of sewage from the STP at Ánanaust, Reykjavík. Work for Reykjavík Energy (Orkuveita Reykjavíkur). *Skýrsla ITÍ0616/EGK05* (6ÞV05186).

Guðjón Atli Auðunsson 2015. Viðtakarannsóknir: setgildirur. Unnið fyrir Orkuveitu Reykjavíkur. *Skýrsla NMÍ 15-02*.

Johansson, Inger, Karine Héas-Moisan, Nadége Guiot, Catherine Munsch, and Jacek Tronczynski 2006. Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in mussels from selected French coastal sites: 1981–2003. *Chemosphere* 64: 296–305.

Lassauque, J., G. Lepoint, T. Thibaut, P. Francour, and A. Meinesz 2010. Tracing sewage and natural freshwater input in a Northwest Mediterranean bay: Evidence obtained from isotopic ratios in marine organisms. *Marine Pollution Bulletin* 60: 843–851.

Molvær, J., J.Knutzen, J.Magnusson, B.Rygg, J.Skei og J.Sørensen 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Veiledning. Classification of environmental quality in fjords and coastal waters. A guide. Statens forurensningstilsyn, SFT. 1997.

Post, David M., Craig A. Layman, D. Albrey Arrington, Gaku Takimoto, John Quattrochi, and Carman G. Montan 2007. Getting to the fat of the matter: models, methods and assumptions for dealing with lipids in stable isotope analyses. *Oecologia* 152: 179–189.

Riisgård, H.U. 2001. On measurement of filtration rates in bivalves—the stony road to reliable data: review and interpretation. *Mar.Ecol.Prog.Ser.*, 221: 275–291.

VIÐAUKI I
ÁSTANDSPÆTTIR KRÆKLINGS

VIÐAUKI 1 Líffræðilegir þættir kræklingssýna

Stöð	Banki 1	Þyngd [g]	Þyngd holds [g]	Þyngd skeljar [g]	Lengd [mm]	Breidd [mm]	Hæð [mm]
Meðaltal		7,12	4,06	2,82	40,34	15,30	22,11
Miðgildi		5,93	3,505	2,445	38,44	14,7	21,75
Lágmark		2,98	1,58	1,15	29,78	11,13	17,1
Hámark		14,33	8,89	5,79	54,04	20,9	29,16
Fjöldi alls		145					
Fjöldi í sýni		100					
Fjöldi dauðra		0					

Stöð	Banki 2	Þyngd [g]	Þyngd holds [g]	Þyngd skeljar [g]	Lengd [mm]	Breidd [mm]	Hæð [mm]
Meðaltal		7,87	4,41	3,25	42,85	16,55	23,56
Miðgildi		7,39	4,23	2,975	43,645	16,605	23,67
Lágmark		2,92	1,36	1,12	30,53	11,09	17,36
Hámark		14	7,84	6,25	53,9	21,68	28,54
Fjöldi alls		129					
Fjöldi í sýni		100					
Fjöldi dauðra		4					

Stöð	2	Þyngd [g]	Þyngd holds [g]	Þyngd skeljar [g]	Lengd [mm]	Breidd [mm]	Hæð [mm]
Meðaltal		10,82	6,55	4,11	46,93	18,20	25,00
Miðgildi		10,81	6,69	4,11	47,77	18,32	25,51
Lágmark		4,35	2,28	1,59	34,23	12,99	19,05
Hámark		19,67	12,7	7,52	59,35	23,62	29,97
Fjöldi alls		94					
Fjöldi í sýni		93					
Fjöldi dauðra		1					

Stöð	3	Þyngd [g]	Þyngd holds [g]	Þyngd skeljar [g]	Lengd [mm]	Breidd [mm]	Hæð [mm]
Meðaltal		10,02	6,06	3,75	45,23	17,56	24,21
Miðgildi		8,625	5,14	3,26	44,205	17,01	24,6
Lágmark		1,79	0,93	0,8	26,39	10,21	13,61
Hámark		20,17	12,43	7,62	58,53	23,77	29,39
Fjöldi alls		88					
Fjöldi í sýni		86					
Fjöldi dauðra		2					

Stöð	4	Þyngd [g]	Þyngd holds [g]	Þyngd skeljar [g]	Lengd [mm]	Breidd [mm]	Hæð [mm]
Meðaltal		9,89	5,84	3,85	45,12	17,62	24,25
Miðgildi		8,89	5,03	3,675	44,17	17,685	23,95
Lágmark		2,11	1,1	0,97	28,1	9,73	15,64
Hámark		19,57	12,57	7,85	63	26,16	31,1
Fjöldi alls		106					
Fjöldi í sýni		100					
Fjöldi dauðra		0					

Stöð	7	Þyngd [g]	Þyngd holds [g]	Þyngd skeljar [g]	Lengd [mm]	Breidd [mm]	Hæð [mm]
Meðaltal		9,71	5,81	3,71	44,90	17,34	24,54
Miðgildi		9,78	5,88	3,53	45,17	17,45	25,17
Lágmark		2,34	0,99	0,9	28,61	11,41	16,2
Hámark		18,22	11,68	7,23	60,36	24,59	30,82
Fjöldi alls		98					
Fjöldi í sýni		93					
Fjöldi dauðra		5					

Stöð	9	Þyngd [g]	Þyngd holds [g]	Þyngd skeljar [g]	Lengd [mm]	Breidd [mm]	Hæð [mm]
Meðaltal		9,29	5,50	3,60	44,39	17,08	23,46
Miðgildi		8,97	5,14	3,36	44,99	16,97	23,66
Lágmark		1,82	0,9	0,75	26,23	9,57	14,79
Hámark		18,44	12,22	6,45	59,04	25,6	31,23
Fjöldi alls		103					
Fjöldi í sýni		97					
Fjöldi dauðra		6					

Stöð	10	Þyngd [g]	Þyngd holds [g]	Þyngd skeljar [g]	Lengd [mm]	Breidd [mm]	Hæð [mm]
Meðaltal		9,9	5,9	3,9	45,7	17,7	24,6
Miðgildi		9,47	5,62	3,81	46,37	17,98	25,28
Lágmark		3,8	1,96	1,41	31,44	12,45	18,11
Hámark		19,69	13,07	6,46	60,06	23,7	30,47
Fjöldi alls		94					
Fjöldi í sýni		89					
Fjöldi dauðra		5					

Stöð	11	Þyngd [g]	Þyngd holds [g]	Þyngd skeljar [g]	Lengd [mm]	Breidd [mm]	Hæð [mm]
Meðaltal		8,90	5,34	3,43	43,47	16,90	23,68
Miðgildi		8,11	4,84	2,98	42,975	17,415	23,97
Lágmark		2,07	0,91	0,69	26,36	10,25	15,64
Hámark		18,93	11,79	7,69	59,01	23,87	31,38
Fjöldi alls		115					
Fjöldi í sýni		100					
Fjöldi dauðra		0					

Stöð	15	Þyngd [g]	Þyngd holds [g]	Þyngd skeljar [g]	Lengd [mm]	Breidd [mm]	Hæð [mm]
Meðaltal		9,34	5,47	3,69	44,54	17,11	23,72
Miðgildi		9,03	5,17	3,30	44,97	17,06	24,10
Lágmark		2,18	1,06	1,01	28,08	10,72	15,95
Hámark		17,63	10,6	7,09	58,66	22,22	30,04
Fjöldi alls		115					
Fjöldi í sýni		100					
Fjöldi dauðra		1					
Stöð	16	Þyngd [g]	Þyngd holds [g]	Þyngd skeljar [g]	Lengd [mm]	Breidd [mm]	Hæð [mm]
Meðaltal		9,89	5,85	3,89	41,58	13,66	20,94
Miðgildi		9,1	5,5	3,6	40,6	12,9	20,2
Lágmark		4,01	1,91	1,9	28,05	8,03	13,71
Hámark		18,78	11,95	6,64	59,73	22,14	28,86
Fjöldi alls		116					
Fjöldi í sýni		100					
Fjöldi dauðra		5					
Stöð	17	Þyngd [g]	Þyngd holds [g]	Þyngd skeljar [g]	Lengd [mm]	Breidd [mm]	Hæð [mm]
Meðaltal		10,12	6,01	3,95	46,01	17,82	24,69
Miðgildi		9,27	5,73	3,78	46,40	18,09	24,99
Lágmark		2,19	1,27	0,84	28,31	10,66	15,14
Hámark		18,54	11,3	7,17	59,17	24,64	30,31
Fjöldi alls		114					
Fjöldi í sýni		100					
Fjöldi dauðra		3					

VIÐAUKI II
MEGINEFNARÞETTIR KRÆKLINGS

Stöð	Þurrefni	Þurrefni	Fita	Fita	Aska	Nitur
	ALS	RaLyf	ALS	RaLyf	ALS	ALS
	%	%	% vv	% vv	% vv	% vv
Banki 1	17,5	17,50	1,2	1,79	2,49	1,7
17	17,6	17,72	1,3	1,77	2,18	1,8
16	17,9	17,54	1,4	1,86	2,17	1,9
11	18,0	18,00	1,4	2,00	2,14	1,8
15	18,3	17,38	1,3	1,89	2,21	1,9
10	18,1	17,04	1,5	1,77	2,12	1,8
9	16,9	17,04	1,7	1,64	2,20	1,9
2	19,3	17,83	1,5	1,77	2,14	2,0
3	18,6	18,43	1,6	1,97	2,19	1,9
4	18,3	18,07	1,5	1,83	2,10	2,0
7	18,0	18,05	1,8	1,90	2,27	1,7
Banki 2	16,3	16,98	1,1	1,52	2,33	1,8

ALS: ALS Scandinavia AB.

RaLyf: Rannsóknastofa í Lyfja- og eiturefnafræði.

NMÍ 15-04
Verknúmer 6EM08081

Viðtakarannsóknir 2011: Sjór

Guðjón Atli Auðunsson
Maí 2015



Nýsköpunarmiðstöð
Íslands

Viðtakarannsóknir 2011: Sjór

Efnisyfirlit

Ágrip	2
1 Inngangur	4
1.1 Fyrri hafefnafræðirannsóknir á Sundunum	4
2 Hönnun rannsóknar og framkvæmd	5
3 Niðurstöður og umræða	7
3.1 Selta og kísill	7
3.2 Blaðgræna, nítrat og fosfat	9
3.3 Heildarnitur og heildarfosfór	14
3.4 Svifagnir (TSM, POM og POC)	18
3.5 Súrefni	20
3.6 Örverur	21
4 Helstu niðurstöður, ágrip	24
5 Heimildir	25
VIÐAUKAR	
VIÐAUKI I Allar mæliniðurstöður sjósýna	27
VIÐAUKI II Gagnaskýrsla Hafrannsóknastofnunar fyrir 16/07/2008	29
VIÐAUKI III Gagnaskýrsla Hafrannsóknastofnunar fyrir 29/10/2008	37
VIÐAUKI IV Gagnaskýrsla Hafrannsóknastofnunar fyrir 17/04/2011	45
VIÐAUKI V Gagnaskýrsla Hafrannsóknastofnunar fyrir 03/12/2011	53

Ágrip

Þessar rannsóknir á sjó eru liður í víðtækum viðtakarannsóknum en auk hafefnafræðilegra rannsókna fóru fram kræklingarannsóknir á svæðinu og rannsóknir með setgildrum.

Selta reyndist haldbærasti mælipátturinn á fráveituvatnið en hefur þó ókosti s.s. að aðrar ferskvatnssuppsprettur hafa áhrif á hann. Kísill, sem berst aðallega í fráveituvatnið með hitaveituvatni, hentar síður sem bendiefni þar sem losun hans með skólpi er árstíðabundin.

Aðeins í tilviki heildarniturs, heildarfosfórs og lífrænna agna má greina áhrif af losun fráveituvatns í efnasamsetningu sjávar og er það næst útrásarendum og hverfa áhrifin hratt eða innan við 1 km frá útrásardreifurum. Má því líta á þetta svæði sem þynningarsvæði fráveituvatns er varðar næringarefni og lífræn efni. Ekki er ástæða til að ætla að þetta hafi áhrif á aukinn gróðurvöxt á þynningarsvæðunum, bæði vegna samsetningar agnanna og þess hve vatnsskipti eru ör miðað við vaxtarhraða þörungna.

Er varðar heildarnitur og heildarfosfór eru breytingarnar langt innan þess sem Oslóar- og Parísarsamningurinn kveður á um að sé óæskileg aukning. Þessi gildi eru einnig innan lægstu viðmiðana í Noregi þegar þau eiga við og innan þess sem búast má við í íslenskri náttúru. Tveggja þrepa hreinsun fráveituvatnsins hefði hverfandi áhrif á styrk þessara tveggja efnabátta.

Aukning lífrænna svifagna á þynningarsvæðinu sjálfu á Sundunum er vel inna marka þess sem skólpreglugerðin kveður á um að skuli gilda utan þynningarsvæða.

Engra áhrifa gætir á önnur efni þessarar rannsóknar s.s. súrefnismettunar að kísli undanskildum þegar losun hitaveituvatns er sem mest á köldustu tímum vetrar en á þeim tíma getur lífríkið ekki nýtt sér kísilinn vegna skorts á aðallega birtu og kemur því ekki að sök.

Örverur eru óhjákvæmilegur fylgifiskur fráveituvatns og hefur hefðbundin tveggja þrepa hreinsun ekki áhrif þar á. Þessi rannsókn sýnir að fjöldi sólskinsstunda á dag skýrir á afgerandi hátt styrk örvera í viðtaka. Ætla má að þynningarsvæðið sjálft fullnægi strangari skilyrðum utan þynningarsvæðis í um helming tímans og almenna skilyrðinu um 1000 saurkóligerla í 100 mL í um 70 % tímans. Saurkokkar hafa lengri líftíma en eru í um tífalt lægri styrk en saurkóligerlar innan þynningarsvæðisins. Afmörkun þynningarsvæðis á grundvelli saurkokka, bendiörvera á baðsvæðum ólíkt saurkóligerlum, yrði því umtalsvert minni.

Viðtaki frárennslis frá Ánanaustum og Klettagörðum er skilgreindur sem síður viðkvæmur þar sem litlar sem engar líkur eru taldar á að næringarefnaofauðgun eða að hröð lífræn rotnun á botni eða vatnsbol geti átt sér stað. Frekari hreinsun fráveituvatns mun ekki leiða til umhverfisbætandi áhrifa. Þessi rannsókn og rannsóknir á setflæði og kræklingi staðfestir að viðtaki á Sundunum fullnægir skilyrðum um síður viðkvæman viðtaka mjög vel.

1 Inngangur

Í samræmi við starfsleyfi Orkuveitu Reykjavíkur fyrir fráveitukerfi Reykjavíkur og nágrannasveitarfélaga fóru fram rannsóknir á sjó í viðtaka fráveituvatns frá hreinsistöðvunum við Ánanaust og Klettagarða. Sýnataka fór fram árin 2008 og 2011. Rannsóknirnar eru liður í viðtækum viðtakarannsóknum en auk hafefnafræðilegra rannsókna fóru fram kræklingarannsóknir á svæðinu og rannsóknir með setgildrum. Allar þessar rannsóknir hófust sumarið 2008 en vegna mikillar umferðar báta og skipa á svæðinu misfórust lagnir fyrir set og krækling það árið. Allar rannsóknir voru settar í bið í lok árs 2008 vegna efnahagsþrenginga og síðan fram haldið 2011 er varðar sýnasöfnun.

Fráveituvatn inniheldur lífræn efni og næringarefnin nitur og fosfór (Guðjón Atli Auðunsson 1992, 2000 og 2002). Auk þessara efna inniheldur fráveituvatnið kísil, bæði vegna ferskvatns en ekki síður vegna hitaveituvatns en kísill er næringarefni kísilþörungna. Kísillinn er hæstur í fráveituvatninu að vetri vegna húshitunarvatns og því nátengdur hitastigi andrúmslofts (Guðjón Atli Auðunsson 2000 og 2002). Af þeim sökum er framboð kísils með fráveituvatni mest þegar minnst eftirspurn er eftir honum þar sem frumframleiðni á svæðinu er lítil sem engin þegar hitastig eru lægst og birtustig minnst þar sem þörungar þurfa bæði ljós og næringarefni. Séu líkur á að lífrænar agnir setjist á botn, jafnvel aðeins tímabundið, getur það valdið súrefnislökkun og síðar súrefnisfirrð. Að auki getur fall niður á botn valdið uppsöfnun mengunarefna í lífverum botnsins þar sem agnirnar innihalda að jafnaði háan styrk mengunarefna. Um þennan þátt hefur verið fjallað ítarlega og niðurstaðan sú að agnir fráveituvatnsins, 50-75 % af lífrænu efni fráveituvatnsins, setjast afar ólíklega á botninn (Guðjón Atli Auðunsson 2001, 2005 og 2015). Næringarefnaofauðgun vegna aukinnar næringarefnaákomu úr t.d. fráveituvatni getur haft áþekk áhrif sé hún til staðar því hún veldur vexti þörungna, sem falla niður á botn, rotna, og geta því einnig valdið lökkun í súrefnisstyrk og að lokum súrefnisfirrð þegar sjórinn nær ekki að fæða setið með súrefni umfram það sem ákoma lífræns efnis krefst. Við lökkun í súrefnisstyrk niður við botn eða í vatnsbolnum verður vistkerfið fyrst tegundafærra og við mjög lækkaðan súrefnisstyrk eða langvarandi súrefnisfirrð, kemur til almennur dauði lífvera utan örvera sem þrífast við slík skilyrði. Afdrif þessara næringarefna og hugsanleg áhrif þeirra á vistkerfi viðtakans er viðfangsefni þess verkefnis sem hér er til umfjöllunar.

Tilskipun ráðsins um losun fráveituvatns frá þéttbýli (Dir. 271/1991) leggur megináherslu á að losunin valdi ekki næringarofauðgun og súrefnissnauðum sjó eða jafnvel súrefnisfirrð, ella skilgreinist viðtaki sem viðkvæmur. Viðtaki frárennslis frá Ánanaustum og Klettagörðum er skilgreindur sem síður viðkvæmur þar sem litlar sem engar líkur eru taldar á að næringarefnaofauðgun eða að hröð lífræn rotnun á botni eða vatnsbol geti átt sér stað (Guðjón Atli Auðunsson, 2006). Enn fremur hafa fyrri rannsóknir einnig sýnt að frekari hreinsun fráveituvatns muni ekki leiða til umhverfisbætandi áhrifa. Vöktun viðtaka felur m.a. í sér að gera grein fyrir því hvort þessi skilgreining haldi enda kveður Reglugerð um fráveitur (Reglugerð um fráveitur og skólp nr 798/1999) á um að endurmat fari fram á fjögurra ára fresti.

1.1 Fyrri hafefnafræðirannsóknir á Sundunum

Ítarlegar rannsóknir fóru fram á hafefnafræði sjávar á svæðinu undan Ánanaustum bæði fyrir og eftir að losun hófst í viðtaka frá hreinsistöðinni við Ánanaust (Jón Ólafsson og fl. 1996 og Jón Ólafsson og Sólveig Ólafsdóttir 2001). Helstu niðurstöður þessara rannsókna voru þær að

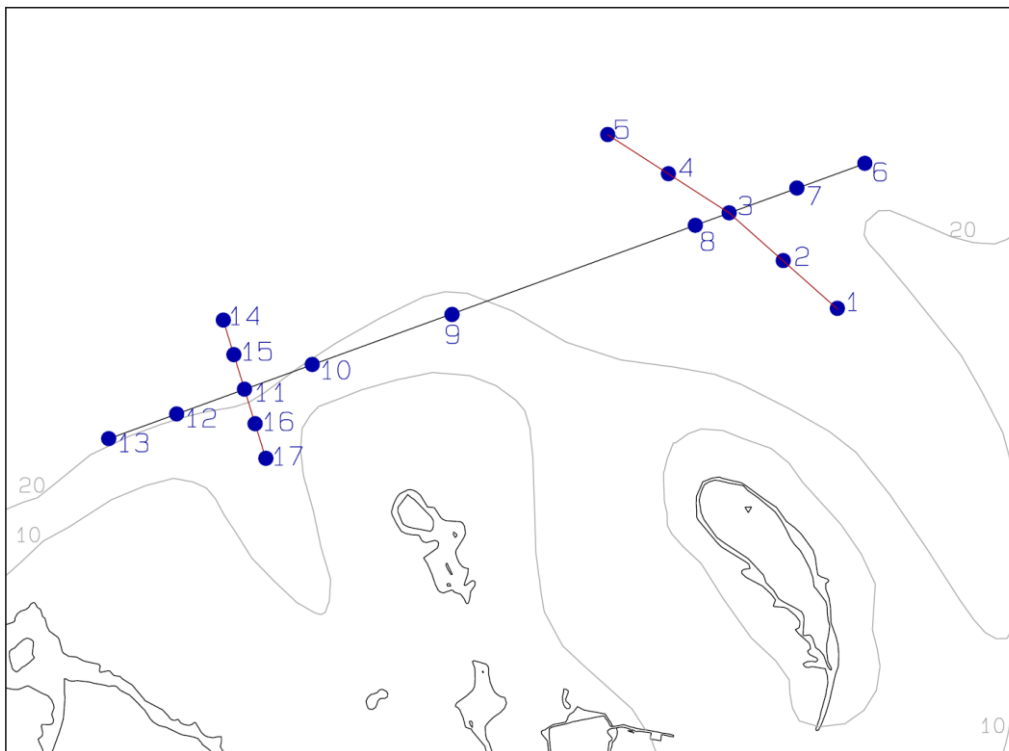
Þynning skolps á svæðinu væri mjög mikil eða meiri en sem nam 0,164 % eða meir en 600-föld þynning. Að meðaltali var upphafsþynning um 1000-föld (þynning sem mælist minnst þegar á yfirborð er komið) og aukning niturs og fosfórs miðað við vetrargildi nitrats og fosfats að hámarki 15 og 10 % (Guðjón Atli Auðunsson 2006). Viðmiðunarreglur Oslóar- og Parísarsamningsins miða við að aukning um 50 % umfram vetrarstyrk eða meira teldist ofauðgun (Heslenfeld og Enserink 2008). Fyrri rannsóknir bentu því eindregið til að áhrif af völdum fráveituvatnsins á vöxt þörungagróðurs (og þ.a.l. á hugsanlega ofauðgun og lækkun súrefnis í viðtakanum) væru hverfandi lítil. Frekari hreinsum myndi því ekki hafa mælanleg umhverfisbætandi áhrif.

2 Hönnun rannsóknar og framkvæmd

Sýnatökustöðvar eru sýndar á mynd 1. Á hluta þessara stöðva voru einnig setgildir og kræklingur 2011 eða stöðvar 1-4, 7, 9-12, og 15-17) (Guðjón Atli Auðunsson 2015 og 2015b).

Fyrir Ánanaustræsið voru stöðvar 16 og 15 á dreifistútsendum (250 m frá miðju) en 11 við miðju dreifistúts, en stöðvar 14 og 17 voru 250 m norður og suður af útrásarendum. Stöðvar 12 og 10 voru 500 m frá miðju til vesturs og austurs en stöð 13 1000 m vestur af miðju útrásarenda.

Fyrir Klettagarðaræsið voru stöðvar 2 og 4 á dreifistútsendum eða um 500 m frá miðju dreifistúts, stöð 3. Stöð 7 var 500 m austan við miðju dreifistúts og stöð 6 um 1000 m austur af miðju. Stöð 1 var um 1000 m suðaustan við miðju dreifistúts, 500 m frá landenda dreifistúts. Stöð 5 var 1000 m norðvestur af miðju dreifistúts, 500 m frá ytri enda. Stöð 8 var um 250 m vestur af miðju dreifistúts. Stöð 9 var valin til að vera um miðja vegu milli miðju dreifistúta.



Mynd 1 Sýnatökustöðvar á Sundunum (mynd unnin af Jarðfræðistofu Kjartans Thors).

Eins og þessi lýsing ber með sér voru stöðvar valdar til að gefa hæstu möguleg merki um áhrif frá losun fráveituvatnsins, þ.e. stöðvarnar voru valdar til að vera eins nálægt losunarstöðvum og nokkur kostur var.

Botndýpi og hnit allra stöðvanna koma fram í töflu 1.

Tafla 1 Hnit sýnatökustöðva

Stöð	X _{UTM}	Y _{UTM}	N. br.	V. l.	Dýpi, m
1	455960	7118121	64°11.1958'	21°54.3877'	27,9
2	455585	7118451	64°11.3706'	21°54.8566'	29,6
3	455211	7118782	64°11.5458'	21°55.3244'	30,8
4	454791	7119052	64°11.6879'	21°55.8480'	31,8
5	454371	7119323	64°11.8305'	21°56.3717'	32,2
6	456150	7119124	64°11.7372'	21°54.1707'	30,8
7	455680	7118953	64°11.6415'	21°54.7482'	31,0
8	454978	7118695	64°11.4972'	21°55.6106'	30,9
9	453295	7118078	64°11.1516'	21°57.6776'	12,8
10	452328	7117733	64°10.9580'	21°58.8650'	20,8
11	451859	7117562	64°10.8619'	21°59.4407'	24,7
12	451390	7117391	64°10.7659'	22°00.0164'	24,6
13	450920	7117220	64°10.6699'	22°00.5932'	23,3
14	451713	7118040	64°11.1180'	21°59.6302'	32,4
15	451786	7117801	64°10.9900'	21°59.5354'	30,1
16	451933	7117323	64°10.7339'	21°59.3448'	14,6
17	452007	7117084	64°10.6058'	21°59.2488'	11,4

Til að fá sem gleggsta mynd af ástandi sjávar á losunarsvæðunum fóru sýnatökurnar fram á fjórum árstíðum eða sem hér segir.

16/07/2008

29/10/2008

17/04/2011

03/12/2011

Að sýnataka skuli hafa farið fram á fjögurra ára tímabili gerir niðurstöðurnar í reynd traustari.

Sýnataka var úr Plexi-plasti af Ruttner-gerð frá KC-Denmark með rúmmálið 3 L. Sýni voru tekin u.þ.b. 30 cm undir yfirborði í samræmi við leiðbeiningar um sýnatökur á baðströndum en séríslensk ákvæði Reglugerðarinnar um fráveitur og skólþ (798/1999) taka til örvera, ákvæða sem á rætur að rekja til eldri viðmiðunarreglna Alþjóðaheilbrigðisstofnunarinnar og ESB um baðsvæði (Guðjón Atli Auðunsson 2009). Ísland er hins vegar undanþegið baðvatnsreglugerð ESB þar sem sjóböð eru ekki stunduð á Íslandi.

Umsjón með sýnatökum, mælingum á hitastigi sjávarsýna (innbyggt í sýnataka), og vinnu með hnit annaðist Jarðfræðistofa Kjartans Thors.

Mælingar á næringarefnum fóru fram á Hafrannsóknastofnun undir umsjón Sólveigar R. Ólafsdóttur. Mælingar á svifögnum (TSM), agnabundnu lífrænu efni (POM) og agnabundnu kolefni (POC) fóru fram á Nýsköpunarmiðstöð Íslands undir umsjón skýrsluhöfundar. Mælingar á örverum, saurkólígerlum og saurkokkum, fóru fram hjá Rannsóknþjónustunni Sýni. Ástæða er til að benda á að mælingar á örverum fóru fram skv. stöðlum ISO 9308-1:2000/AC:2008 (saurkólígerlar) og ISO 7899-2:2000 (saurkokkar) (skálaaðferð eftir síun sýna) þar sem a) baðvatnsreglugerð ESB kveður svo á um, b) breytileiki er minni en með fyrri aðferðum (MPN glasaaðferð), og greiningarmörk eru um tífalt lægri en með fyrri aðferðum. Er þetta í fyrsta sinn sem slíkum aðferðum er beitt á Sundunum.

Umsjón með verkinu var í höndum skýrsluhöfundar.

3 Niðurstöður og umfjöllun

Allar niðurstöður mælinga á sjósýnum koma fram í viðauka I. Gagnaskýrslur Hafrannsóknastofnunar eru í viðaukum II, III, IV og V.

3.1 Selta og uppleystur kísill

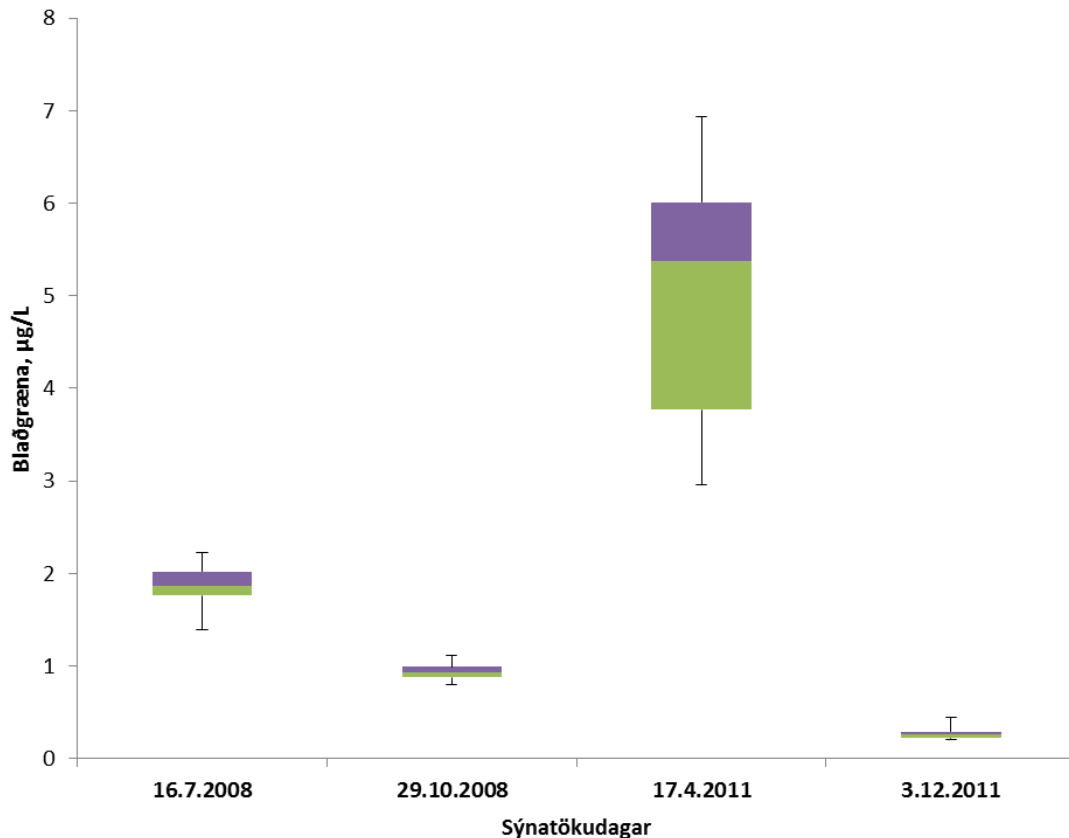
Við mat á niðurstöðum kemur sér vel að hafa gott bendiefni á skólþ til að geta gert grein fyrir því hver hlutdeild skólþs er á t.d. næringarefni og aðra mælipætti. Fyrri rannsóknir sýndu að kísill, samband seltu og kísils, hentar að vetri (Jón Ólafsson og Sólveig Ólafsdóttir 2001; Jón Ólafsson o. fl. 1996), þ.e. þegar upptaka þörunga á kísli er lítil og losun kísils með fráveituvatni er sem mest. Ammóníak gæti einnig komið til greina (Jón Ólafsson og Sólveig Ólafsdóttir 2001) en 1/3 af heildarköfnunarefni fráveituvatsins er á því formi (Guðjón Atli Auðunsson 1992). Ammóníak var ekki mælt í þessari rannsókn en þess má þó geta að náttúran sjálf getur gefið talsvert af ammóníaki í sjó þegar lífrænar leifar dýra og plantna rotna og er því að vænta talsverðs breytileika í styrk þess við þá miklu þynningu sem um ræðir á Sundunum. Hér verður því að mestu notast við seltu sem bendipátt á fráveituvatn en varlega verður að fara við notkun hans vegna annarra ferskvatnssuppspretta á svæðinu. Örverur eru ágætir til mats á skólþáhrifum en líftími þeirra er mjög háður birtustigi og henta því mjög illa sem bendipættir á afdrif efna.

Mynd 2 sýnir hitastig sem fall af seltu til að gefa hugmynd um ástand sjávar sýnatökudagana. Það sem vekur helst athygli er tiltölulega lág selta alla dagana utan 17/04/2011 en þá er selta hærri vegna flæðis selturíks jávar utan úr Faxaflóa inn á Sundin, þ.e. ferskvatnsáhrif eru minni en í öðrum sýnatökum. Einnig má sjá að hitastig var áþekkt alla dagana fyrir utan sumarsýnatökuna 16/07/2008.

Ekki var að vænta sambands seltu og kísils á öðrum árstímum en að vetri og sýna niðurstöður svo vera. Mynd 3 sýnir þetta samband fyrir 03/12/2011 og má sjá að minni selta gefur hærri kísil og bendir sambandið til að styrkur í óþynntu fráveituvatninu sé um 650 μM . Hæstu seltu, minnst áhrif fráveituvats, eru á stöð 5 og næsthæst á stöð 9, þ.e. þær stöðvar sem fjarst eru dreifistútum eins og vænta mátti. Ekki er um sömu hallatölu að ræða og mældist 2000 (-25,251) en hallatalan er breytileg frá einum tíma til annars vegna m.a. mismikillar losunar kísils með fráveituvatninu (háð hitastigi andrúmslofts, meiri húshitun við lægri hitastig).

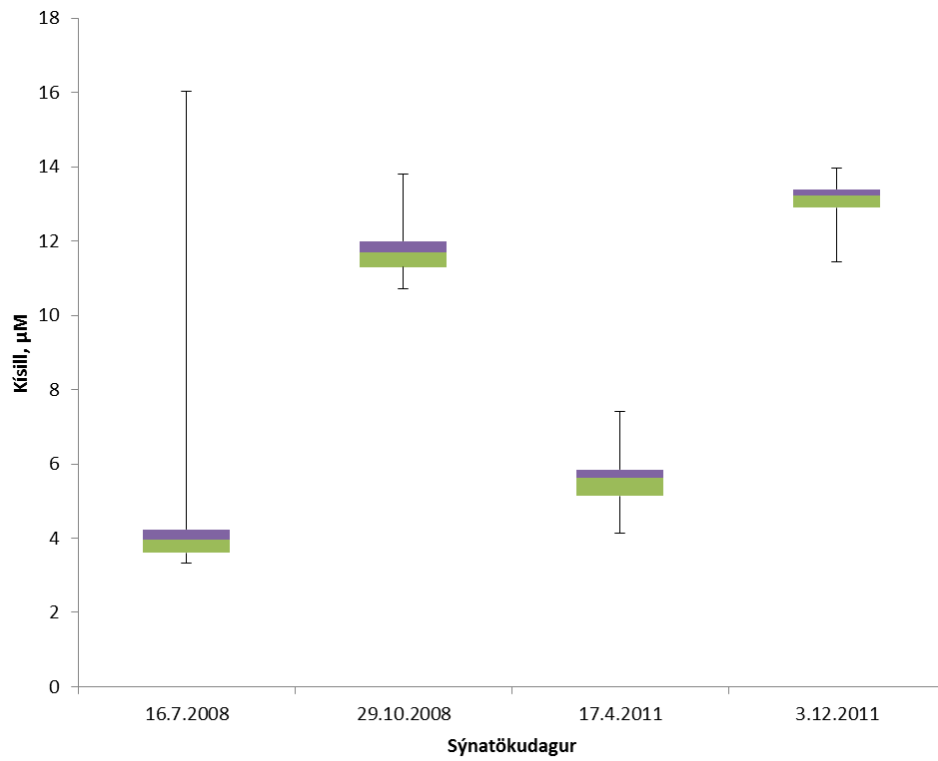
3.2 Blaðgræna, nítrat og fosfat

Blaðgræna hefur ekki fyrr verið mæld í sjósýnum á Sundunum í tengslum við viðtakarannsóknir. Ástæða þess að hún var mæld að þessu sinni er til mats á því hvort losun næringarefna fylgdi aukinn þörungavöxtur en það er grundvallarspurning er varðar skilgreiningu á viðtaka (almennur, síður viðkvæmur eða viðkvæmur). Mynd 4 sýnir niðurstöður fyrir blaðgrænu alla fjóra sýnatökudagana.

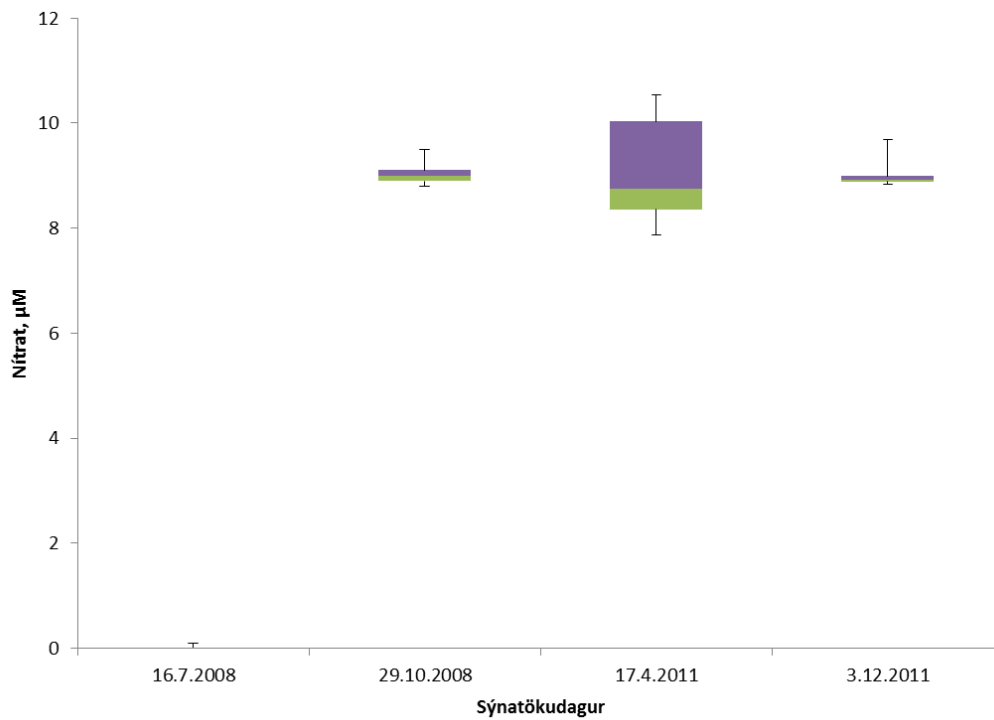


Mynd 4 Blaðgræna í sjósýnum alla fjóra sýnatökudagana (sumar, haust, vor og vetur). Lóðréttar línur sýna lægstu og hæstu gildi, neðri hluti kassa 25 % hundraðsmarkið, efri hluti kassa 75 % hundraðsmarkið, en miðgildi er á litaskilum.

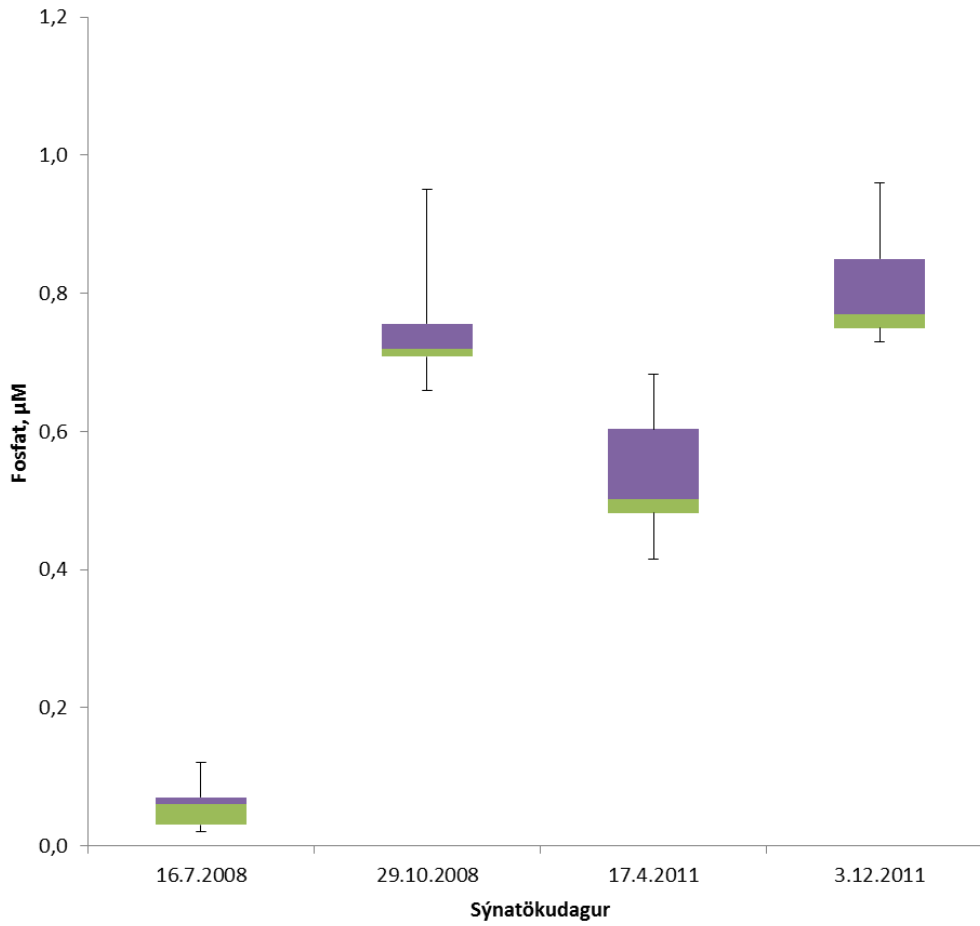
Mynd 4 sýnir vel mun milli árstíða en sumarsýnin eru tiltölulega lág og með litlum breytileika en undanfari er vorhámark gróðurs sem eytt hefur öllu nítrati og stórum hluta kísils og fosfats, sjá myndir 5, 6 og 7. Haust- og vetrargildi blaðgrænu eru lág og með litlum breytileika vegna lítills þörungagróðurs á þessum árstímum. Vorsýnin eru hins vegar í upphafi gróðurtímabilsins, eru tiltölulega há og sýna mestan breytileika þar sem mismunandi sjósýni hafa tekið upp mismikið af næringarefnum, þ.e. gildin eiga eftir að hækka dagana og vikurnar eftir 17/4/2011, sjá að neðan.



Mynd 5 Kísill í sjósýnum. Ferskvatn, fráveituvatn og gróður hafa áhrif á kísilstyrk á Sundunum.



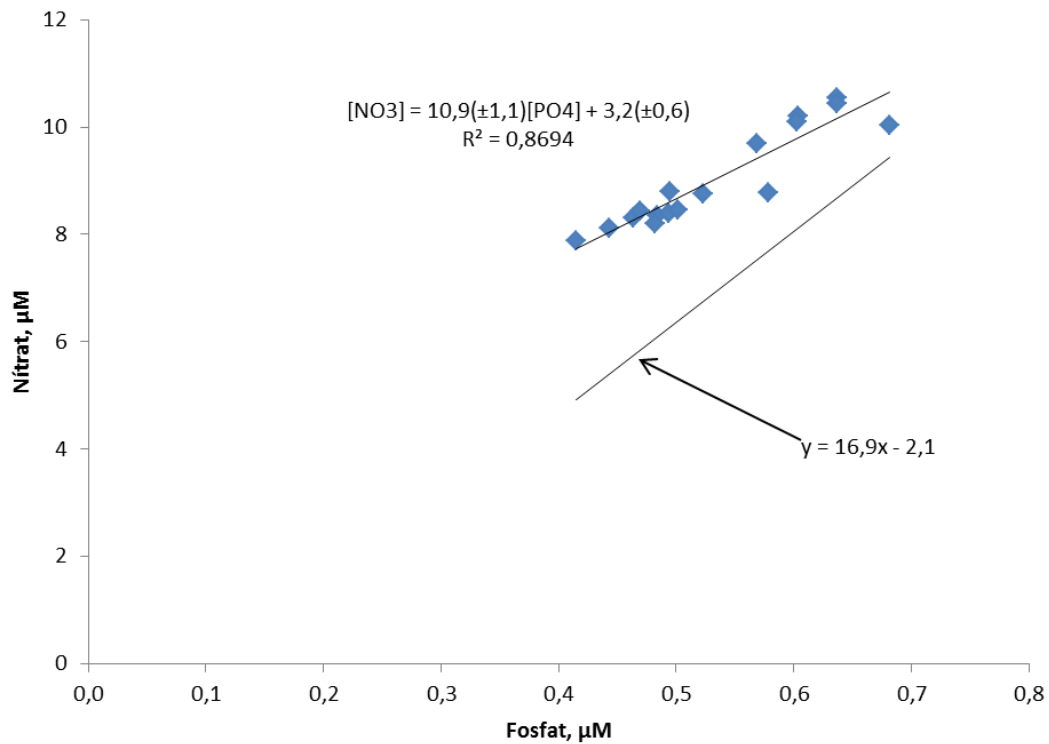
Mynd 6 Nítrat í sjósýnum. Athygli er vakin á mjög lágum styrk í sumarsýnum ($0,1 \mu\text{M}$ = greiningarmörk) og breytileika í vorsýnum.



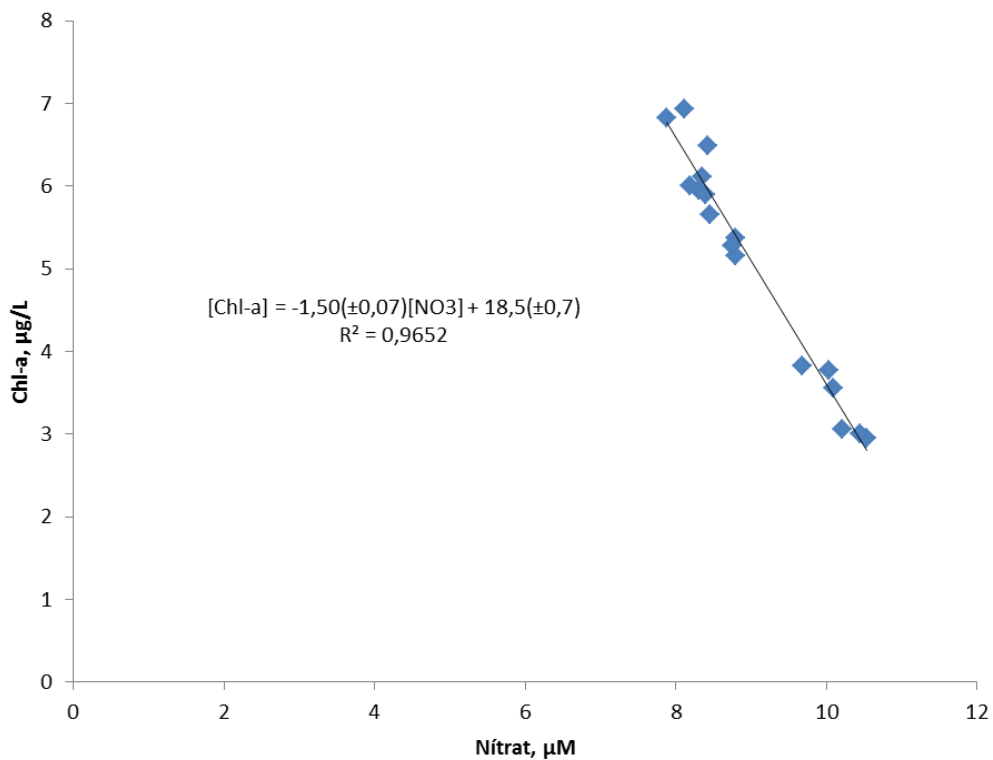
Mynd 7 Uppleyst fosfat í sjósýnum. Athygli er vakin á að sumarsýnin eru með mælanlegt fosfat ólíkt nitrati.

Mynd 8 sýnir vensl nitrats og fosfats en aðeins fyrir sumarsýnin fæst samband á milli þessara næringarefna en myndin bendir ekki til að nitrát er takmarkandi á gróður á Sundunum eins og við á um hafsvæðin í kringum Ísland (Sólveig Ólafsdóttir 2006; Unnsteinn Stefánsson og Jón Ólafsson 1991), þ.e. nitrát hverfur nánast alveg þegar fosfat er í lágmarki en mælanlegum styrk. Þetta sýna hins vegar myndir 6 og 7 þannig að mynd 8 er augnabliksástand auk þess að vera einungis yfirborðssýni og hefðu fleiri sýni yfir vormánuði líklegast sýnt svipað ferli og íslensk hafsvæði. Hallatala nitrats sem fall af fosfati er einnig lægri þennan dag en íslensk hafsvæði, sjá mynd 8, og skýrist líklegast einnig af fáum sýnum.

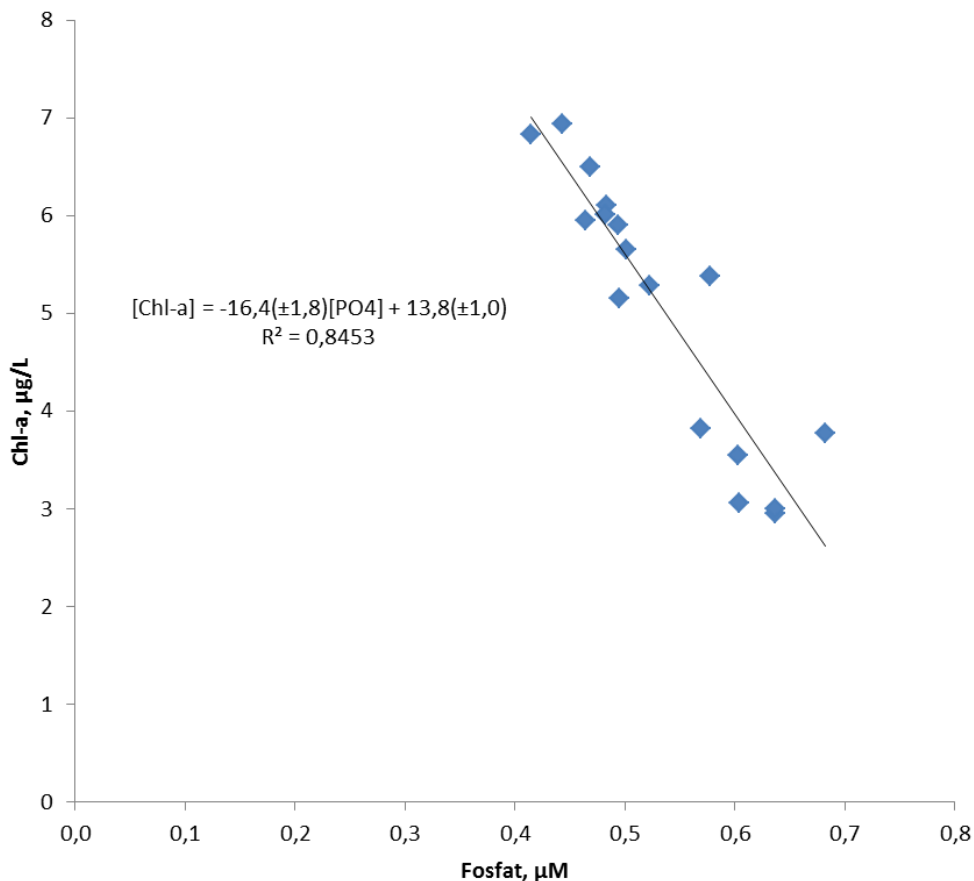
Myndir 9 og 10 sýna samband blaðgrænu og annars vegar nitrats og fosfats hins vegar. Mynd 9 sýnir hvernig gróðurinn eyðir nitratinu við vöxt og sýna þessi takmörkuðu gögn að það myndist um 1,5 mg af blaðgrænu úr hverju millimól af nitrati. Þetta er hærri tala en Tett *et al.* (2003) nota eða 1,1 mg Chl-a/mmol nitrats. Það er freistandi að framlengja þennan feril í nitrátstyrkinn núll, þ.e. þegar allt nitrát hefur verið notað en þá fengist blaðgrænustyrkurinn um 18,5 µg/L sem gæti varað í skamman tíma og svæðisbundið en miðað er við að unnt sé að sjá þörunga í sjónum fari styrkur blaðgrænu yfir 10 µg/L (Guðjón Atli Auðunsson 2006 og tilvísanir þar). Aldrei er þó of varlega farið þegar ferlar eru framlengdir með þessum hætti en eins og mynd 8 benti til þá er um augnabliksástand að ræða varðandi næringarefnin en ekki ástand yfir lengri tíma.



Mynd 8 Vensl nitrats og fosfats 17/04/2011. Inn á myndina er sett samband þessara næringarefna í Faxaflóa (Sólveig Ólafsdóttir 2006).



Mynd 9 Vensl blaðgrænu og nitrats í vorsýnum 17/04/2011.



Mynd 10 Vensl blaðgrænu og fosfats í vorsýnum 17/04/2011.

Mynd 10 sýnir á sama hátt hvernig gróður notar fosfatið og bendir þessi ferill til þess að það myndist 16,5 µg af blaðgrænu úr hverju millimóli af fosfati sem er um helmingi lægra en Tett *et al.* (2003) gera ráð fyrir eða 30. Ástæða mismunar er m.a. fæð sýna, það augnabliksástand sem þessi eini vordagur endurspeglar, og að aðstæður frá einu svæðis til annars geta verið mjög mismunandi s.s. tegund þörungna hverju sinni.

Í Noregi hafa verið sett viðmiðunargildi á næringarefni og blaðgrænu í sjó, bæði sumargildi og vetrargildi (Molvær *et al.* 2003). Varasamt er að gera slíkt í ljósi þeirra náttúrulegu breytinga sem eiga sér stað með tíma. Enn varasamara er að heimfæra slík viðmiðunargildi á ísenskar aðstæður. Til hliðsjónar má þó skoða þetta yfir vetrartímamann er varðar næringarefnin.

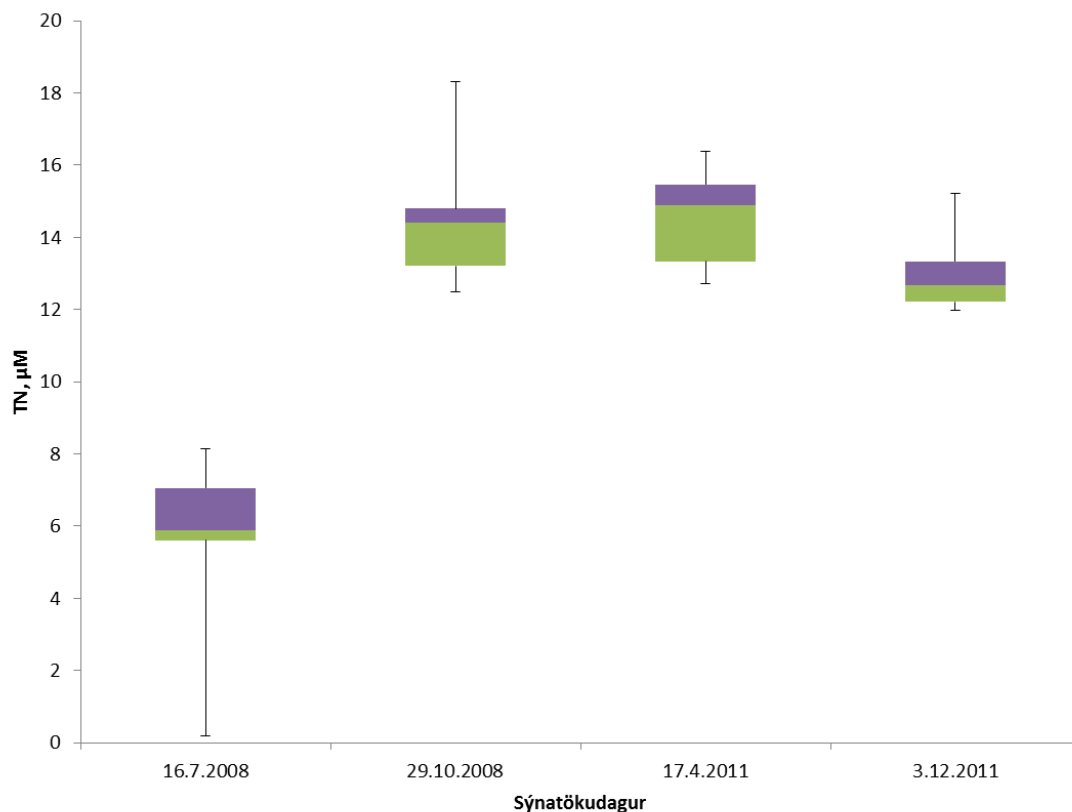
Lægsta sumarviðmiðunargildi (júní-ágúst) fyrir blaðgrænu er t.d. 2 µg/L og er það u.þ.b. jafnt miðgildi í júlí á Sundunum, mynd 4, og á það að endurspeгла mjög gott ástand. Sundin eru hins vegar dæmi um mjög frjósamt svæði og gætu blaðgrænugildi því verið há á svæðinu (Guðjón Atli Auðunsson 2006 og tilvísanir þar). Lægsta sumarviðmiðunargildi fyrir níturat-N er 12 µg/L eða 0,86 µM og standast Sundin það með miklum ágætum, mynd 6. Lægsta vetrarviðmiðunargildi (desember-janúar) fyrir níturat-N er 90 µg/L eða 6,4 µM en Sundin og eru með 8-10 µM í desember 2011, mynd 6, sem flokkaði svæðið sem gott eða meðalgott skv. norskum viðmiðunarreglum. Vetrargildi hlýsjávarins við Ísland er hins vegar með níturatstyrkinn 14 µM (Sólveig Ólafsdóttir 2006) eða talsvert hærra en á Sundunum þannig að samanborið við náttúrulegan styrk í hlýsjó við Ísland telst svæðið því með tiltölulega lágan

vetrarstyrk nitrats. Fyrir fosfat-P er lágsta sumarviðmiðunargildi í Noregi 4 µg/L eða 0,13 µM, hærra en júlígildið á Sundunum, mynd 7, og telst svæðið því mjög gott. Lágsta vetrarviðmiðunargildi fyrir fosfat-P er 16 µg/L eða 0,52 µM en Sundin eru með desembergildin 0,8-1 µM, mynd 7, og teldist svæðið því meðalgott skv. norskum viðmiðunum. Hins vegar er vetrargildi fosfats í hlýsjónum við Ísland með 0,9 µM fosfats (Sólveig Ólafsdóttir 2006) eða jafnt því sem er að finna á Sundunum í desember og því eins og búast má við í þessari sjógerð.

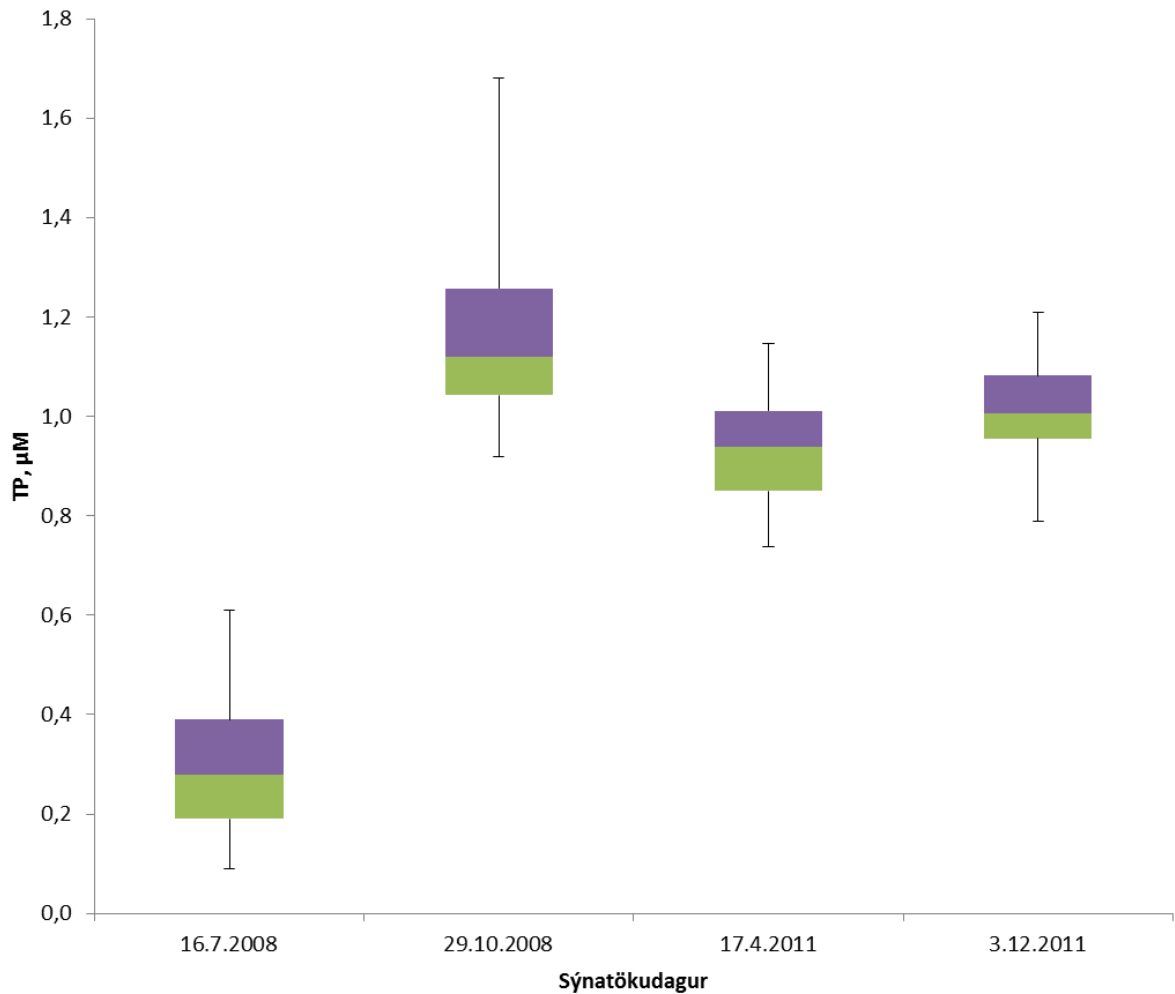
3.3 Heildarnitur og heildarfosfór

Heildarstyrkur þessara þátta er ekki að öllu leyti aðgengilegur plöntum til vaxtar en það eru aðallega níturat og ammóníak er varðar nitur og *ortho*-fosfat er varðar fosfórinn. Mælingin á sjó í þessu verkefni tekur til allra forma þeirra, m.a. þeirra sem er að finna í ögnum og þörungunum sjálfum. Ástæða þess að heildarstyrkur er mældur kemur m.a. til af því að heildarstyrkur er jafnan mældur í fráveituvatninu sjálfu.

Mynd 11 sýnir heildarköfnunarefni í sjósýnunum og mynd 12 heildarfosfór. Ástæða þess að sumargildin eru lægri en önnur gildi kemur til af því að dauðir þörungar úr vorblómanum hafa fallið úr efra laginu í átt að botni og/eða flust með hafstraumum af svæðinu (Guðjón Atli Auðunsson 2006 og 2015). Vor, haust og vetur gefa hins vegar áþekkt gildi.



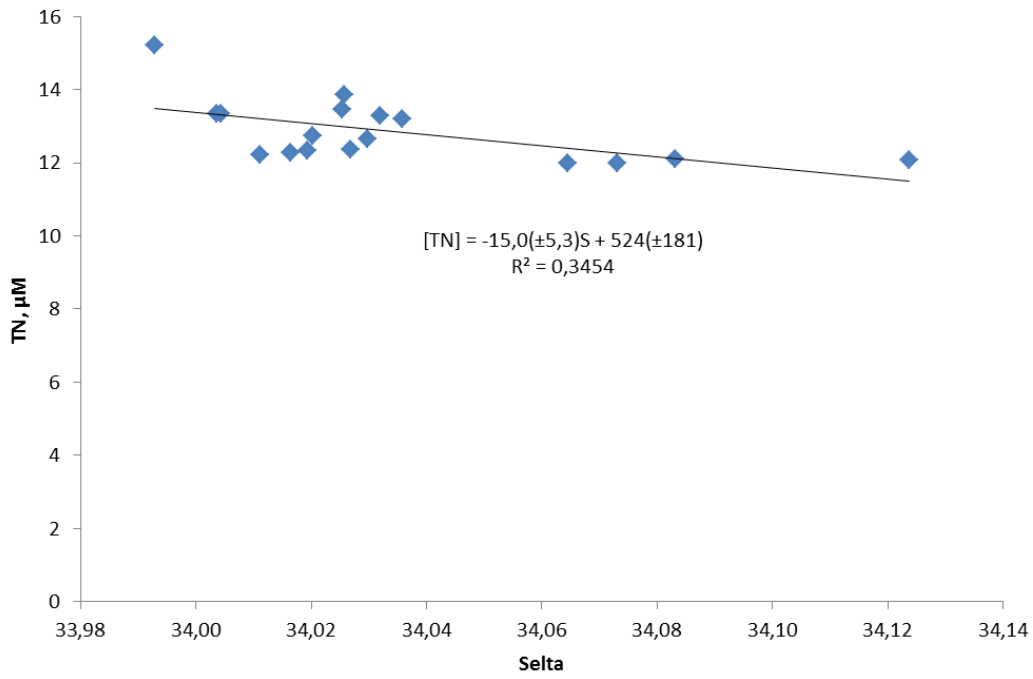
Mynd 11 Heildarnitur í sjósýnum.



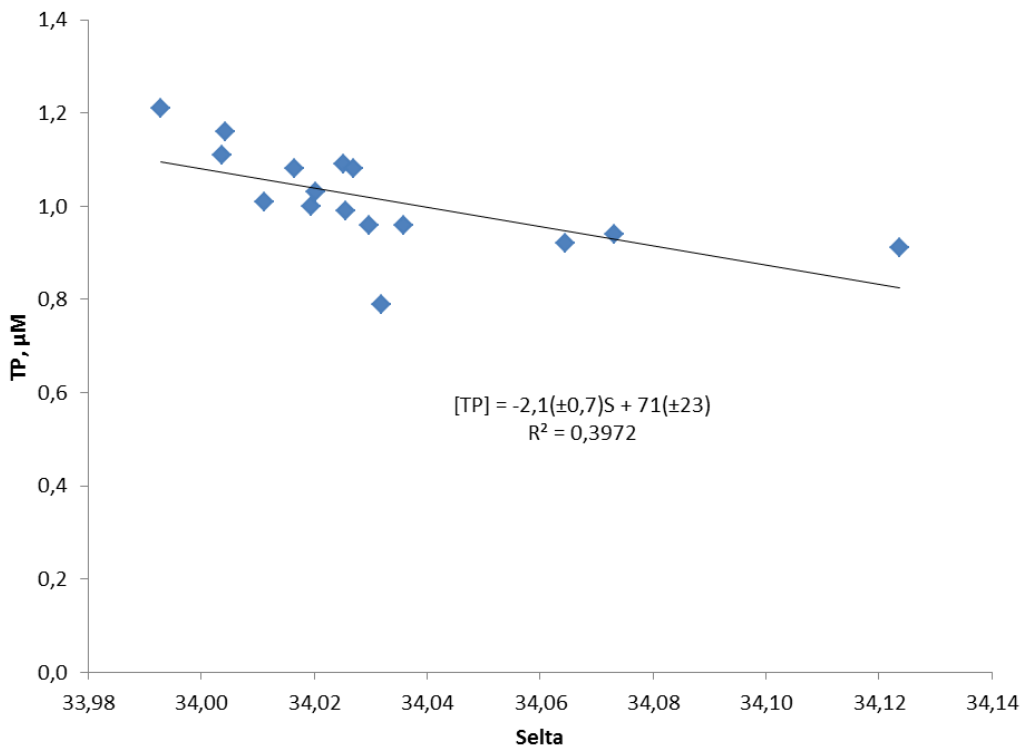
Mynd 12 Heildarföfór í sjósýnum.

Myndir 13 og 14 sýna TN og TP sem fall af seltu fyrir desembersýnin en selta gaf betri aðfallsgreiningu en kísill. Aðrar árstíðir gáfu ekki marktæk vensl milli þessara þátta. Samböndin eru veik en þó vel marktæk ($p < 0,05$) og benda til að bæði TN og TP hækka með lækkaðri seltu og þ.a.l. líklegast vegna áhrifa af losun fráveituvatnsins. Eins og vænta mátti er lægsta seltan og hæstu gildi TN og TP á stöð 11 yfir miðjum dreifistút frá Ánanaustum. Lægstu gildin eru á stöðvum 13 (TN) og 7 (TP) fjarri dreifistútum, myndir 15 og 16. Mynd 16 bendir til að styrkur heildarföfórs á Ánanauststöðvunum sé hærri en af Klettagarðasvæðinu og er munurinn marktækur ($p = 0,02$).

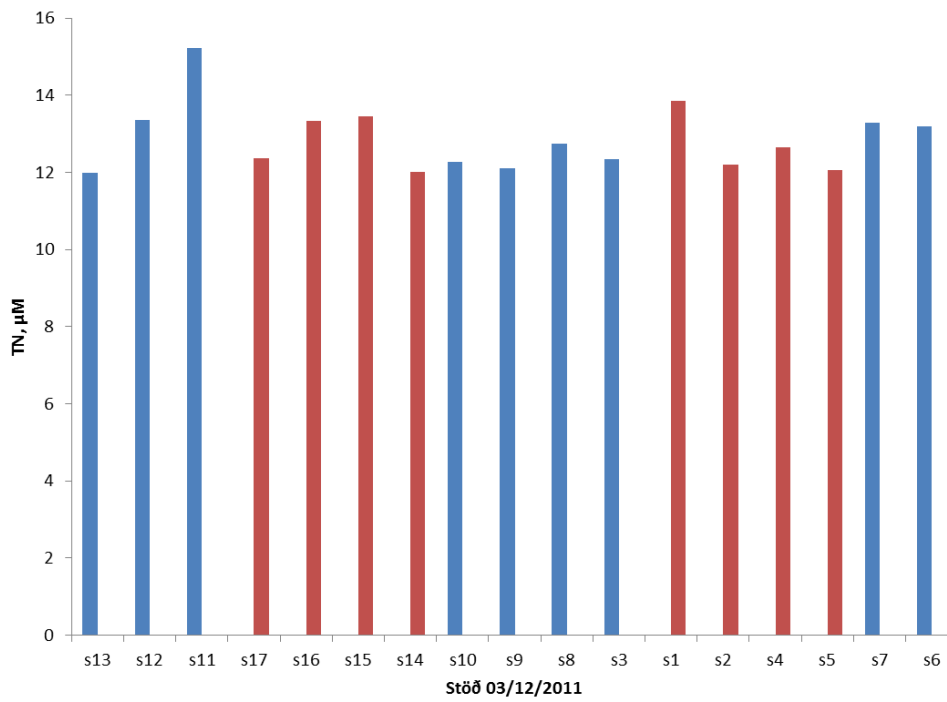
Munurinn á lægsta og hæsta styrk heildarniturs er um $3,2 \mu\text{M}$ en samsvarandi munur fyrir föfór er $0,4 \mu\text{M}$. Af þessu má ráða að styrkukning sé að hámarki 20 % fyrir heildarnitur og um 35 % að hámarki fyrir heildarföfór, aðallega við Ánanaustræsið. Þessi munur er horfinn í 0,5-1 km fjarlægð frá dreifistúnum og því skilgreining á þynningarsvæði fráveituvatnsins er varðar næringarefni en Tilskipun ráðsins um skólp frá þéttbýli (Dir. 271/1991) tekur einungis til næringarefna, lífræns efnis og súrefnis. Eins og sagði að ofan segir þá svarar þessi hækkun í styrk niturs og föfórs ekki nema að óverulegu leyti til aukins þörungavaxtar, bæði vegna þess að efnin eru aðeins að litlu leyti á því formi sem nýtist þörungum (TN er t.d. að 2/3 hlutum sem lífrænt bundinn nitur (Guðjón Atli Auðunsson 1992)) og vegna þess að vatnsskipti eru það ör á svæðinu að þörungarnir ná illa að nýta sér þessa auknu ákomu næringarefnanna (Guðjón Atli Auðunsson 2006), þ.e. ekki má nota nýtingarhlutföllin á myndum 9 og 10 til mats á auknum þörungavexti.



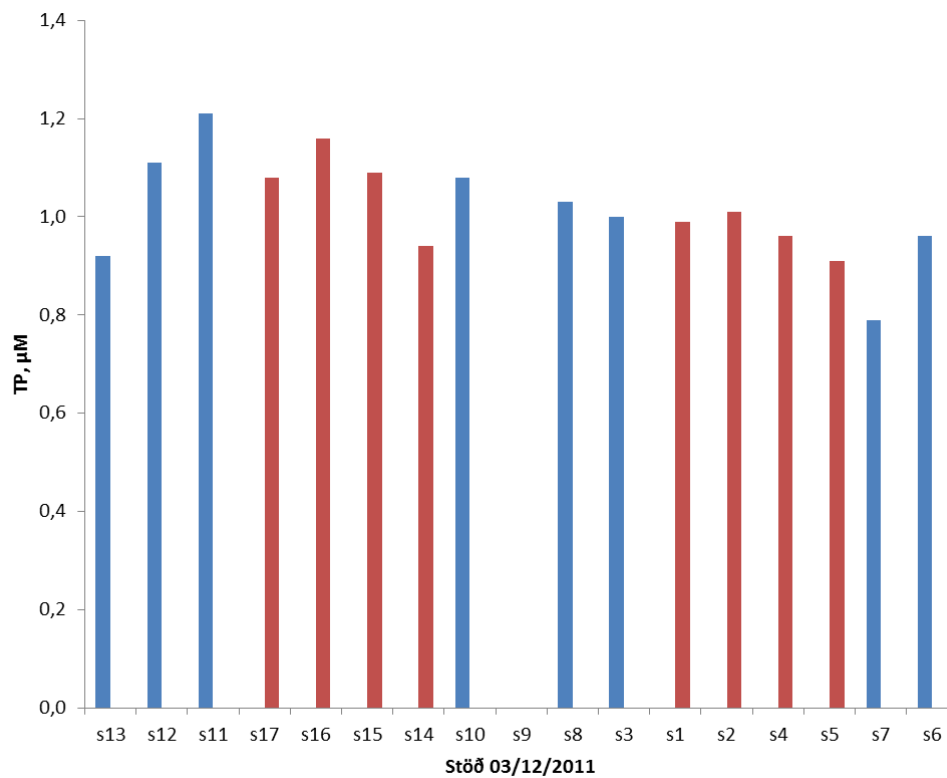
Mynd 13 Vensl heildarniturs og seltu í sjósýnum 03/12/2011.



Mynd 14 Vensl heildarfósors og seltu í sjósýnum 03/12/2011.



Mynd 15 Heildarnitur í sjósýnum 03/12/2011.



Mynd 16 Heildarfösfór í sjósýnum 03/12/2011.

Þessi hækkun á mjög litlum svæðum yfir dreifistútum þar sem styrkurinn er hæstur stenst viðmiðanir Oslóar- og Parísarsamningsins um hækkun umfram náttúrulegan bakgrunnsstyrk á svæðinu eða minni en 50 % hækkun og er þar þó átt við uppleystan styrk nítrats og fosfats (Heslenfeld og Enserink 2008) sem hér sést ekki hækka.

Viðmiðunargildi eru fyrirbyggjandi í Noregi fyrir heildarnitur og heildarfosfór í sjó (Molvær *et al.* 1997).

Fyrir heildarnitur er lægsta sumarviðmiðunargildið (júní-ágúst) 250 µg/L eða 18 µM og má sjá af mynd 11 að Sundin standast þau mjög vel og á það því einnig við um vetrarviðmiðunargildin (desember-janúar) 295 µg/L eða 21 µM. Sundin teljast því í mjög góðu ástandi skv. þessum viðmiðunargildum.

Fyrir heildarfosfór er lægsta sumarviðmiðunargildið 4 µg/L eða 0,13 µM en Sundin eru með 0,1-0,6 µM, talsvert hærri. Telst svæðið því gott skv. norskum viðmiðunum en niðurstöður þessa verkefnis að um náttúrulegur bakgrunnsstyrk á Sundunum sé að ræða. Lægsta vetrarviðmiðunargildi fyrir heildarfosfór í Noregi er hins vegar 21 µg/L eða 0,68 µM eða um helmingi lægri en vetrargildin á Sundunum (03/12/2011). Þessi gildi á Sundunum er hins vegar náttúrulegur skv. þessu verkefni og fyrri rannsóknum (Jón Ólafsson o. fl. 1996; Jón Ólafsson og Sólveig Ólafsdóttir 2001) og gerir enn grein fyrir því að varhugavert er að færa erlendar viðmiðanir yfir á íslenskar aðstæður og sjógerðir sem ríkja við Ísland.

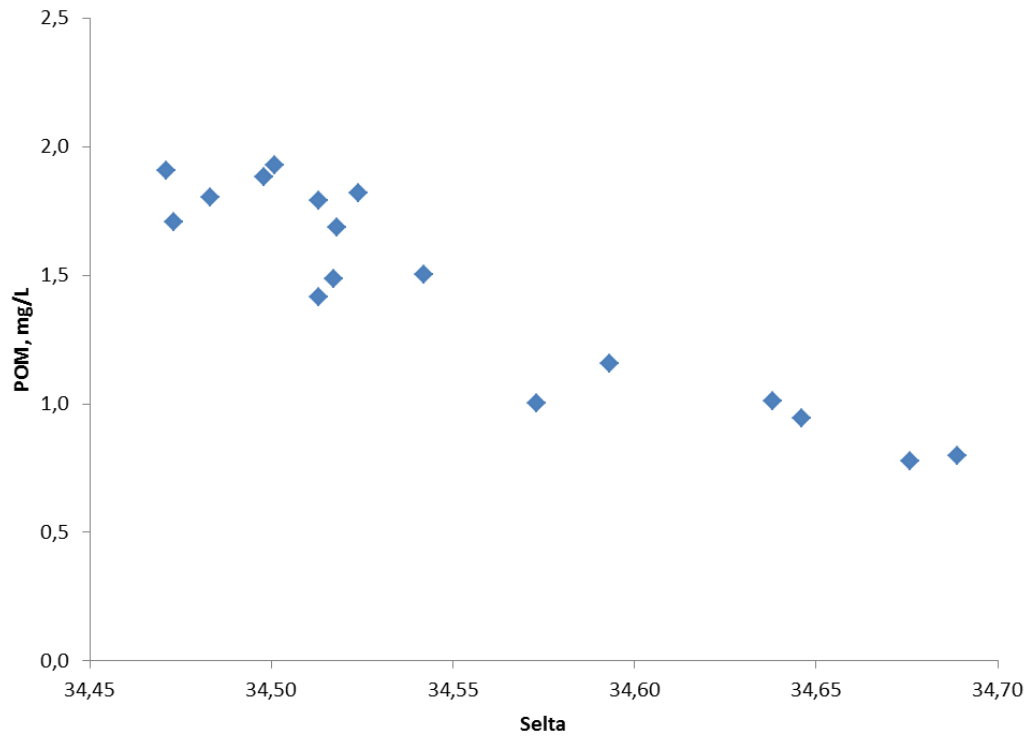
Hefðbundin tveggja þrepa hreinsun hefur óveruleg áhrif á styrk fosfórs og niturs (Guðjón Atli Auðunsson 2006 og 2009)

3.4 Svifagnir (TSM, POM og POC)

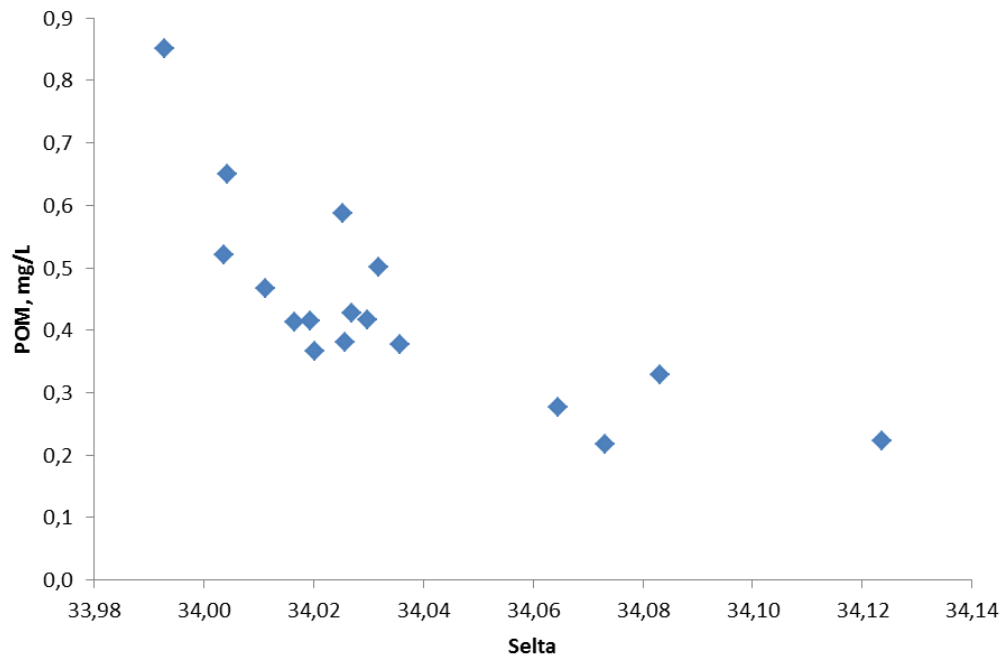
TSM stendur fyrir heildarstyrk svifagna (total suspendible solids), POM stendur fyrir lífræna hluta svifagnanna (particulate organic matter) og POC stendur fyrir agnabundið kolefni (particulate organic carbon). Svifagnir úr skolpi samsvara því sem hér er mælt sem POM því agnir fráveituvatnsins eru >80 % lífrænt efni (Guðjón Atli Auðunsson 1992, 2000 og 2002). Mun því aðaláherslan lögð á POM.

Fyrir sýnatökurnar 17/04/2011 og 03/12/2011 fást bestu mæligildin og því skoðaðar nánar en í báðum tilvikum er POM um 28 % af TSM ($r^2=0,89$) en afgangur af TSM, 72 % eru ólífrænar agnir sem að hluta eða öllu leyti eru komnar til af uppróti af botni. POC sem fall af POM ($r^2=0,92$) sýnir að um 50 % af lífræna efninu er kolefni sem er áþekkt hlutfall og sjá má fyrir agnir fráveituvatns eða nokkru lægra eða um 40-50 % (Guðjón Atli Auðunsson 200 og 2001) en einnig má ætla að þörungur séu með sömu samsetningu (Geider og La Roche 2002). Myndir 17 og 18 sýna POM sem fall af seltu fyrir sýnatökur 17/04/2011 og 03/12/2011 og má glöggst sjá að styrkur vex með minni seltu. Ætla má að a.m.k. hluti þessara aukningar sé vegna fráveituvatnslosunar en hún er allt að fjórföld í desembersýnatökunni þegar ætla má að áhrifin séu mest frá skólplosuninni. Áhrifin hverfa hins vegar hratt er frá dregur dreifistútum niður í bakgrunnsstyrk á svipaðan hátt og heildarnitur og heildarfosfór.

Reglugerð um fráveitur og skólp kveður á um að aukning svifagna skuli vera innan við 2 mg/L og fullnægir viðtakinn því skilyrði mjög vel.



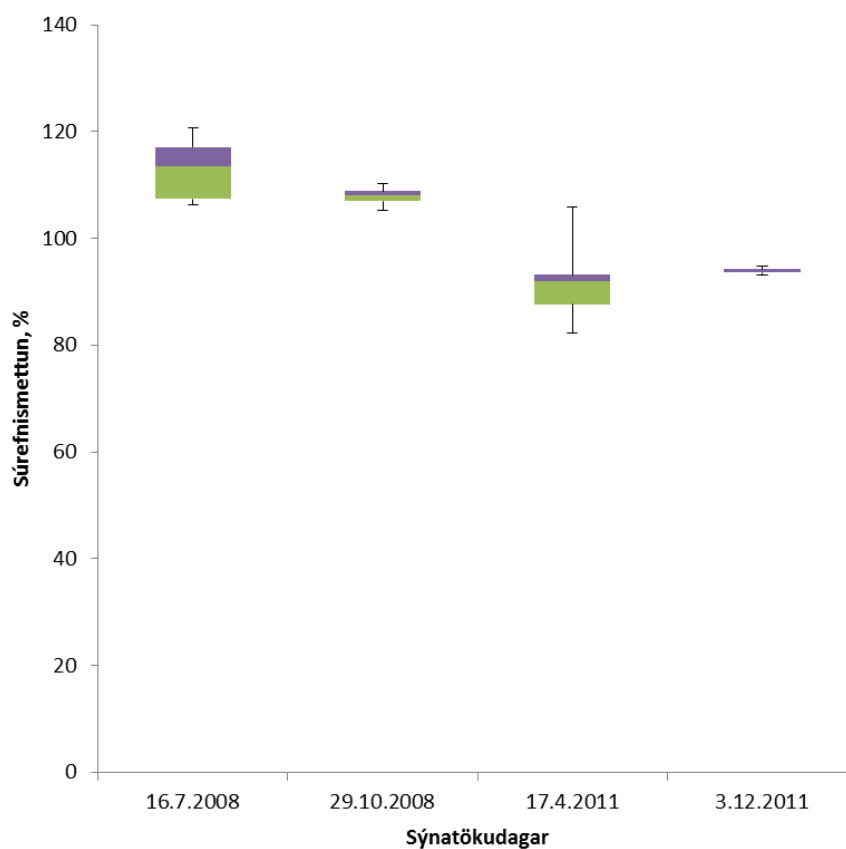
Mynd 17 POM sem fall af seltu 17/04/2011.



Mynd 18 POM sem fall af seltu 03/12/2011.

3.5 Súrefni

Mynd 19 sýnir súrefnismettun sýnatökudagana. Greina má marktæka lækkun í súrefnismettun frá sumri til hausts ($p < 0,05$) og marktækt minnst er hún að vori og vetri en metnunin er eins á þessum árstíðum ($p > 0,05$). Súrefnismettunin er meiri en 100 % að sumri og hausti, þ.e. yfirmettun vegna nægilegs streymis súrefnis niður í sjóinn. Metnunin er lægri að vori en þó ekki marktækt frábrugðin 100 % ($p > 0,05$). Lægst og með minnstan breytileika er súrefnismettunin að vetri og er þá marktækt lægri en 100 % ($p < 0,05$). Aðeins að vetri má örla fylgni súrefnis með seltu en ekki er um marktæka breytingu að ræða ($p > 0,05$) enda aðeins um tæp 2 % hámarks-lækkun að ræða. Af þessu má draga þá ályktun að lægri súrefnismettun í desember kemur til af almennri rotnun gróðurleifa á svæðinu.

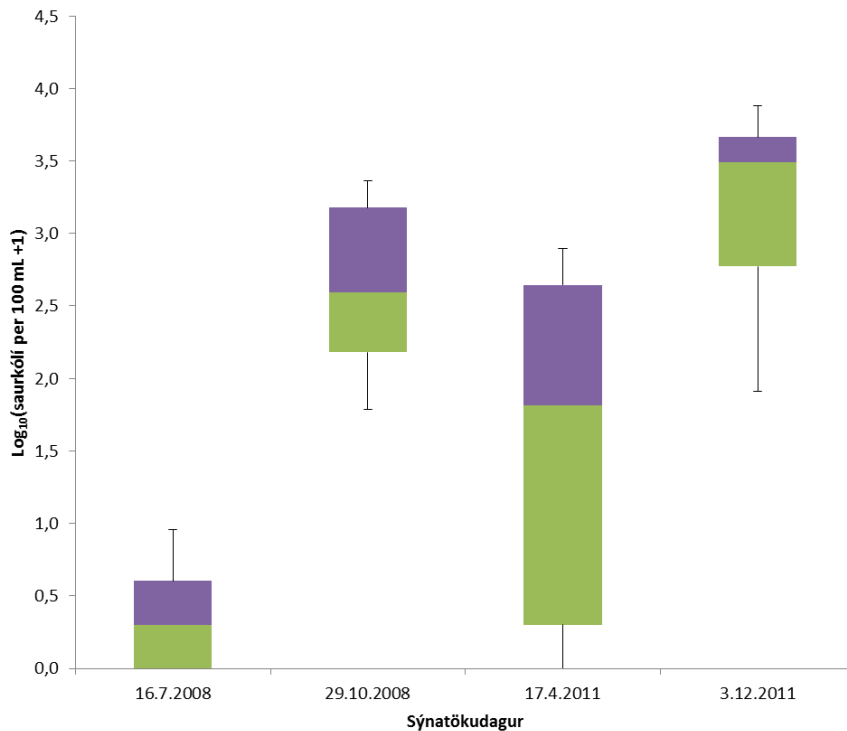


Mynd 19 Súrefnismettun sýnatökudagana.

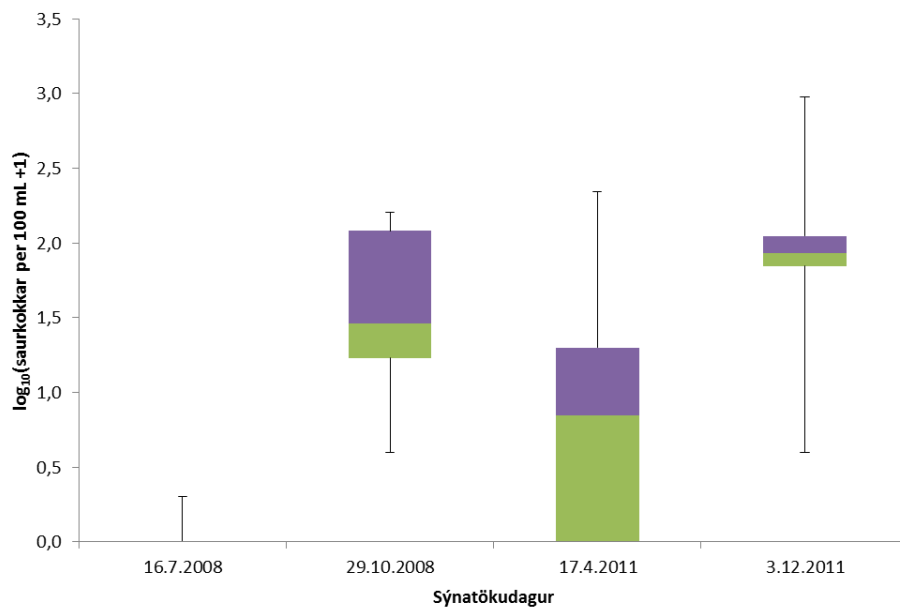
Í Noregi hafa verið sett viðmiðunargildi á lækkun í súrefnisstyrk (Molvær *et al.* 1997) og telst svæði mjög gott sé súrefnisstyrkur hærri en 4,5 mL/L og súrefnismettun meiri en 65 % en báðum þessum skilyrðum fullnægja Sundin mjög vel á öllum árstíðum, desember meðtalinn.

3.6 Örverur

Myndir 20 og 21 taka saman niðurstöður örverumælinganna og benda þær strax til þess að árstíð og birta skipta talsverðu um styrk þeirra en einnig að um fylgni sé á milli þessara tveggja örveruflokka. Styrkur örvera er log-normal-dreifður og tekur eftirfarandi umfjöllun tillit til þess. Greiningarmörk fyrir báða flokka er 1 per 100 mL. Við vinnslu gagnanna eru greiningarmörkin sett jöfn núlli en varpað sem (styrkur+1) per 100 mL.

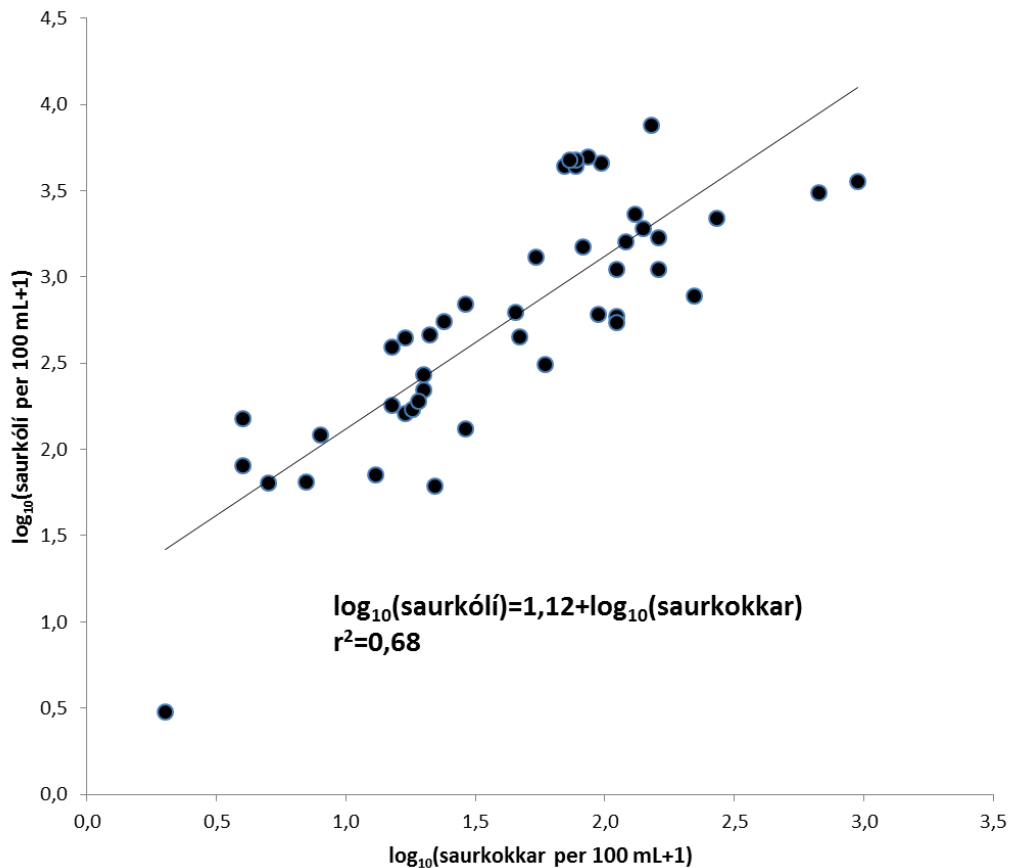


Mynd 20 Saurkólgerlar í sjósýnum



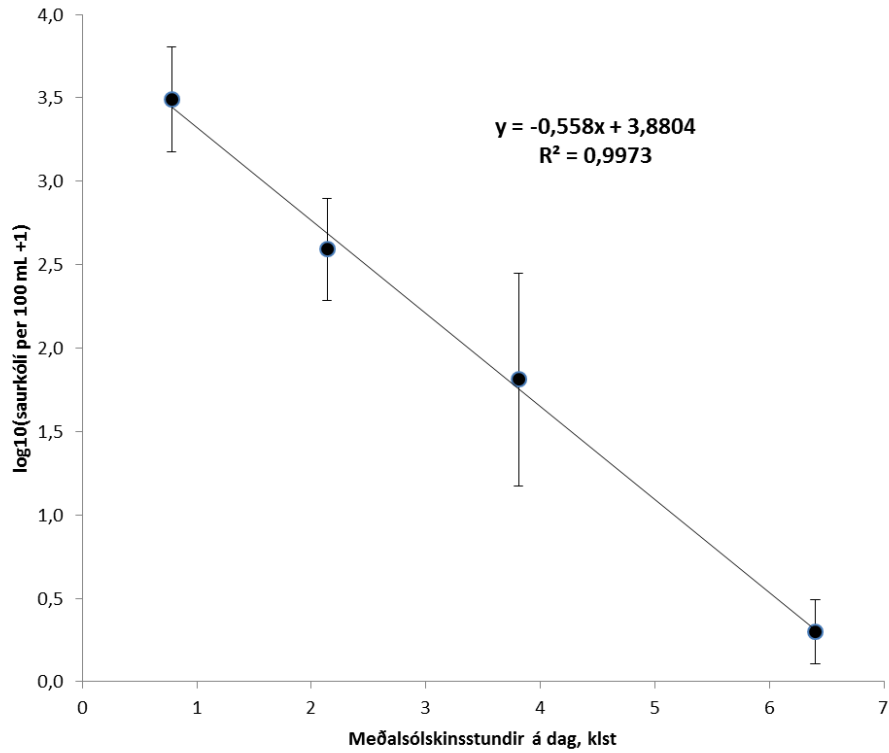
Mynd 21 Saurkokkar í sjósýnum

Mynd 22 sýnir fylgni örveruflokkana og má af henni ráða að styrkur saurkólígerla er um þrettánfaldur styrkur saurkokka. Þetta er hærra hlutfall en áður hefur fengist við meinta jaðra þynningarsvæðanna en þá fékkst meðalhlutfallið um fimm (Guðjón Atli Auðunsson 2009). Ástæða þessa kann að vera af tvennum toga a.m.k. Í fyrsta lagi eru sýni þessarar rannsóknar tekin mjög nálægt uppsprettunum en líftími saurkokka er almennt talinn meiri en saurkólígerla, þ.e. saurkólígerlar hafa náð að deyja í meira mæli en saurkokkar þegar að útjaðri svæðanna kemur. Í öðru lagi var sýnataka og mæliaðferðir með öðrum hætti en í fyrri rannsókn.

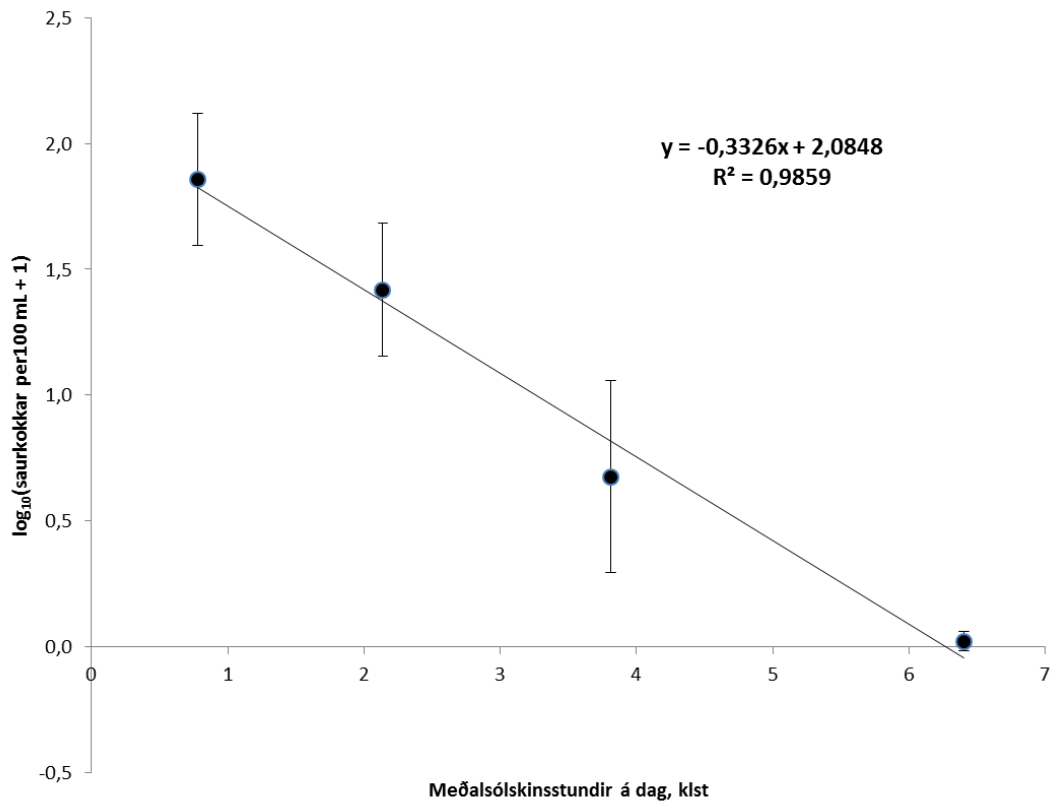


Mynd 22 Vensl saurkokka og saurkólígerla í sjósýnum

Myndir 23 og 24 sýna hegðun örveranna með meðalsólarstundum á dag sýnatökumánuðina (sólargögn frá Veðurstofu Íslands). Má sjá að það er engum vafa undirorpið að birtustig og birtulengd skiptir öllu máli er varðar styrk örveranna í sjó. Einnig má sjá að styrkur saurkólígerla (eftir log-vörpun) lækkar 70 % hraðar með birtustigi en saurkokkar sem staðfestir ályktunina að ofan varðandi hlutföll saurkólígerla og saurkokka annars vegar nálægt og hins vegar fjarri uppsprettum.



Mynd 23 Vensl meðaltals saurkóligerla (eftir log-vörpun) og meðalsólskinsstunda á dag í sjósýnum. Lóðréttar línur sýna 95 % vikmörk í mældum gildum (n=17 hvern mældidag).



Mynd 24 Vensl meðaltals saurkokka (eftir log-vörpun) og meðalsólskinsstunda á dag í sjósýnum. Lóðréttar línur sýna 95 % vikmörk í mældum gildum (n=17 hvern mældidag).

Varlega verður að draga of almennar ályktanir af þessum gögnum þó þau sýnist óbyggjandi. Hins vegar má sjá að saurkóligerlar (í log-vörpuðum styrk) lækka um 56 % fyrir hverja sólskinsstund á dag en saurkokkar lækka hins vegar um 33 % fyrir hverja viðbótarsólskinsstund. Skoða má nokkur dæmi fyrir saurkóligerla sem setja strangari skorður en saurkokkar þar sem þeir eru í hærri styrk innan þynningarsvæða sbr. þessa rannsókn og við útjaðra þess (Guðjón Atli Auðunsson 2009). Ef engrar birtu gætti á dag myndi hámarksstyrkur nást eða um 7600 per 100 mL innan þynningarsvæðisins (um 1 km frá útrásarendum hér) en þau skilyrði nást 13 % af tímanum miðað við gögn Veðurstofunnar 1949-2014. Miðað við séríslensk (bað)ákvæði Reglugerðarinnar um fráveitur skólps (nr. 798/1999) umfram ákvæði tilskipunar ESB (Dir. 271/1991), sem reglugerðin annars byggir á, um að svæðið sé undir 100 saurkóligerlum per 100 mL utan þynningarsvæðis við útvistarsvæði og þegar matvælaíðnaður er í grennd, þá myndi því skilyrði verða fullnægt fyrir saurkóligerla 50 % af tímanum (veðurgögn 1949-2014). Miðað við vægari skilyrði reglugerðarinnar um að styrkur saurkóligerla eða saurkokka sé undir 1000 per 100 mL þá myndi það eiga við í um 27 % af tímanum, þ.e. 73 % af tímanum yrði því skilyrði fullnægt innan þynningarsvæðisins.

Ólíkt saurkóligerlum þá eru saurkokkar (enterococci) bendiörverur til verndar heilsu fyrir baðandi fólk á baðsvæðum í ESB og er það jafnframt viðmiðun Alþjóðaheilbrigðisstofnunarinnar (Guðjón Atli Auðunsson 2009). Í ljósi mismunar í styrk saurkokka og saurkóligerla, mynd 22, þá myndi afmörkun þynningarsvæðis á grundvelli saurkokka vera umtalsvert minni en afmörkun á grundvelli saurkóligerla.

Þess er að geta að frekari hreinsun skólps með tveggja þrepa hreinsun hefur ekki áhrif á styrk örvera í fráveituvatninu (Guðjón Atli Auðunsson 2009).

4 Helstu niðurstöður, ágrip

Þessar rannsóknir á sjó eru liður í víðtækum viðtakarannsóknnum en auk hafefnafræðilegra rannsókna fóru fram kræklingarannsóknir á svæðinu og rannsóknir með setgildrum.

Selta reyndist haldbærasti mæliþátturinn á fráveituvatnið en hefur þó ókosti s.s. að aðrar ferskvatnssuppsprettur hafa áhrif á hann. Kísill, sem berst aðallega í fráveituvatnið með hitaveituvatni, hentar síður sem bendiefni þar sem losun hans með skólpi er árstíðabundin.

Aðeins í tilviki heildarniturs, heildarfosfórs og lífrænna agna má greina áhrif af losun fráveituvatns í efnasamsetningu sjávar og er það næst útrásarendum og hverfa áhrifin hratt eða innan við 1 km frá útrásardreifurum. Má því líta á þetta svæði sem þynningarsvæði fráveituvatns er varðar næringarefni og lífræn efni. Ekki er ástæða til að ætla að þetta hafi áhrif á aukinn gróðurvöxt á þynningarsvæðunum, bæði vegna samsetningar agnanna og þess hve vatnsskipti eru ör miðað við vaxtarhraða þörungna.

Er varðar heildarnitur og heildarfosfór eru breytingarnar langt innan þess sem Oslóar- og Parísarsamningurinn kveður á um að sé óæskileg aukning. Þessi gildi eru einnig innan lægstu viðmiðana í Noregi þegar þau eiga við og innan þess sem búast má við í íslenskri náttúru.

Tveggja þrepa hreinsun fráveituvatnsins hefði hverfandi áhrif á styrk þessara tveggja efnabátta.

Aukning lífrænna svifagna á þynningarsvæðinu sjálfu á Sundunum er vel innna marka þess sem skólpreglugerðin kveður á um að skuli gilda utan þynningarsvæða.

Engra áhrifa gætir á önnur efni þessarar rannsóknar s.s. súrefnismettunar að kísli undanskildum þegar losun hitaveituvatns er sem mest á köldustu tímum vetrar en á þeim tíma getur lífríkið ekki nýtt sér kísilinn vegna skorts á aðallega birtu og kemur því ekki að sök.

Örverur eru óhjákvæmilegur fylgifiskur fráveituvatns og hefur hefðbundin tveggja þrepa hreinsun ekki áhrif þar á. Þessi rannsókn sýnir að fjöldi sólskinsstunda á dag skýrir á afgerandi hátt styrk örvera í viðtaka. Ætla má að þynningarsvæðið sjálft fullnægi strangari skilyrðum utan þynningarsvæðis í um helming tímans og almenna skilyrðinu um 1000 saurkólígerla í 100 mL í um 70 % tímans. Saurkokkar hafa lengri líftíma en eru í um tífalt lægri styrk en saurkólígerlar innan þynningarsvæðisins. Afmörkun þynningarsvæðis á grundvelli saurkokka, bendiörvera á baðsvæðum ólíkt saurkólígerlum, yrði því umtalsvert minni.

Viðtaki frárennslis frá Ánanaustum og Klettagörðum er skilgreindur sem síður viðkvæmur þar sem litlar sem engar líkur eru taldar á að næringarefnaofauðgun eða að hröð lífræn rotnun á botni eða vatnsbol geti átt sér stað. Frekari hreinsun fráveituvatns mun ekki leiða til umhverfisbætandi áhrifa. Þessi rannsókn og rannsóknir á setflæði og kræklingi staðfestir að viðtaki á Sundunum fullnægi skilyrðum um síður viðkvæman viðtaka mjög vel.

5 Heimildir

Geider, Richard and La Roche, Julie 2002. Redfield revisited: variability of C:N:P in marine microalgae and its biochemical basis. *Eur. J. Phycol.* 37: 1-17.

Guðjón Atli Auðunsson 1992. Efnamælingar í fráveituvatni í Reykjavík. Unnið fyrir Gatnamálastjórnann í Reykjavík. Skýrsla Rf 9 (115 síður). Desember 1992.

Guðjón Atli Auðunsson 2000. Hegðun og samsetning fráveituvatns í hreinsistöðinni við Ánanaust. Unnið fyrir Gatnamálastjórnann í Reykjavík. Skýrsla Rf 4-00. Mars 2000.

Guðjón Atli Auðunsson 2001. Setgildrurannsóknir út af Ánanaustum ,95-,96 og Klettagörðum ,98-,99: hafræn meðferð skolps. Unnið fyrir Gatnamálastjórnann í Reykjavík. Verkefnisskýrsla Rf 27-01. Október 2001.

Guðjón Atli Auðunsson 2002. Hegðun og samsetning fráveituvatns í Skolpu 2000-2001. Unnið fyrir Gatnamálastjórnann í Reykjavík. Skýrsla Rf 06 - 02. Mars 2002.

Guðjón Atli Auðunsson 2005. Setgildrurannsóknir út af Ánanaustum ,00-,01: hafræn meðferð skolps. Unnið fyrir Orkuveitu Reykjavíkur. Verkefnaskýrsla Iðntæknistofnunar. ITÍ0605/EGK01. Desember 2005.

Guðjón Atli Auðunsson 2009. Viðtaki fráveituvatns frá Borgarnesi. Greinargerð vegna skilgreiningar viðtaka með sérstöku tilliti til friðlýstra svæða í næsta nágrenni við viðtaka. Unnið fyrir Orkuveitu Reykjavíkur. Skýrsla NMÍ 09-09. Júlí 2009.

Guðjón Atli Auðunsson 2015. Viðtakarannsóknir 2011: setgildirur. Unnið fyrir Orkuveitu Reykjavíkur. Skýrsla NMÍ 15-02. Apríl 2015.

Guðjón Atli Auðunsson 2015b. Viðtakarannsóknir 2011: kræklingur. Unnið fyrir Orkuveitu Reykjavíkur. Skýrsla NMÍ 15-03. Apríl 2015.

Guðjón Atli Auðunsson 2006. Summary and evaluation of environmental impact studies on the recipient of sewage from the STP at Ánanaust, Reykjavík. Work for Orkuveita Reykjavíkur (Reykjavík Energy). Report of Technological Institute of Iceland ITI0616/EGK05. November 2006.

Heslenfeld, P., and Enserink, E. L. 2008. OSPAR Ecological Quality Objectives: the utility of health indicators for the North Sea. – ICES Journal of Marine Science, 65: 1392–1397.

Jón Ólafsson, Magnús Danielsen, Sólveig Ólafsdóttir og Þórarinn Arnarson 1996. Næringarefni í sjó undan Ánanaustum í nóvember 1995. Hafrannsóknastofnun. Fjölrit nr. 50.

Jón Ólafsson and Sólveig R. Ólafsdóttir 2001. Ástand sjávar á losunarsvæði skolps undan Ánanaustum. Hafrannsóknastofnun. Fjölrit nr. 81.

Molvær, J., J.Knutzen, J.Magnusson, B.Rygg, J.Skei og J.Sørensen 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Veiledning. Classification of environmental quality in fjords and coastal waters. A guide. Statens forurensningstilsyn, SFT. 1997.

Sólveig R. Ólafsdóttir 2006. Styrkur næringarefna í hafinu umhverfis Ísland. Hafrannsóknastofnun. Fjölrit nr. 122.

Tett, P., Gilpin, L., Svendsen, H., Erlandsson, C. P., Larsson, U., Kratzer, S., Fouilland, E., Janzen, C., Lee, J.-Y., Grenz, C., Newton, A., Ferreira, J. G., Fernandes, T. & Scory, S. 2003. Eutrophication and some European waters of restricted exchange. Continental Shelf Research, 23: 1635-1671.

Unnsteinn Stefánsson og Jón Ólafsson 1991. Nutrients and fertility of Icelandic waters. Rit Fiskideildar, Bindi XII, no. 3.

VIÐAUKI I

Allar mæliniðurstöður sjósýna

Dagsetning	Stöð	Hitastig	S	Chl a	TN	TP	NO3	PO4	Si(OH)4	O2	O2-mettun	POC	TSM	POM	Saurkófi	Saurkokkar
		°C		µg/L	µM	µM	µM	µM	µM	mL/L	%	µg/L	mg/kg	mg/kg	per 100 mL	per 100 mL
16.7.2008	1	12,5	34,066	1,39	6,69	0,31	0,1	0,02	3,68	7,27	121	454	<5	<2	<1	<1
16.7.2008	2	12,5	34,16	1,85	6,42	0,23	0,1	0,06	3,33	7,21	120	496	<5	<2	<1	<1
16.7.2008	3	12,5	34,119	1,76	5,7	0,19	0,1	0,06	3,33	7,15	119	496	<5	<2	<1	<1
16.7.2008	4	12,5	34,182	1,86	6,78	0,19	0,1	0,07	3,82	6,46	107	461	<5	<2	<1	<1
16.7.2008	5	12,5	34,216	1,72	8,15	0,26	0,1	0,07	3,4	6,85	114	404	<5	<2	<1	<1
16.7.2008	6	12,4	34,155	1,71	7,87	0,14	0,1	0,02	3,95	NA	NA	520	<5	<2	<1	<1
16.7.2008	7	12,4	34,192	1,8	0,2	0,36	0,01	0,11	7,55	6,87	114	452	<5	<2	<1	<1
16.7.2008	8	12,7	34,28	1,86	1,98	0,14	0,1	0,06	4,23	6,98	117	456	<5	<2	<1	<1
16.7.2008	9	12,5	34,282	2,22	1,71	0,09	0,1	0,05	3,61	6,4	106	455	<5	<2	1	<1
16.7.2008	10	12,4	34,279	1,97	5,88	0,28	0,1	0,07	4,02	6,46	107	475	<5	<2	2	1
16.7.2008	11	12,4	34,304	1,97	5,61	0,55	0,1	0,07	4,02	6,83	113	452	<5	<2	8	<1
16.7.2008	12	12,4	34,291	1,74	7,78	0,61	0,1	0,02	4,23	6,43	107	377	<5	<2	3	<1
16.7.2008	13	12,4	34,294	2,07	7,05	0,43	0,1	0,02	3,95	6,88	114	481	<5	<2	3	<1
16.7.2008	14	12,3	34,293	2,02	0,2	0,34	0,01	0,12	16,03	7,2	119	469	<5	<2	8	<1
16.7.2008	15	12,3	34,294	2,09	7,05	0,39	0,1	0,03	4,23	6,48	107	452	<5	<2	4	<1
16.7.2008	16	12,3	34,294	1,88	5,7	0,56	0,1	0,05	4,02	6,83	113	469	<5	<2	1	<1
16.7.2008	17	12,2	34,287	2,18	5,61	0,25	0,1	0,05	3,47	6,82	113	463	<5	<2	1	<1
Dagsetning	stöð	Hitastig	S	Chl a	TN	TP	NO3	PO4	Si(OH)4	O2	O2 metnun	POC	TSM	POM	Saurkófi	Saurkokkar
		°C		µg/L	µM	µM	µM	µM	µM	mL/L	%	µg/L	mg/kg	mg/kg	per 100 mL	per 100 mL
29.10.2008	1	5,0	34,1082	0,90	12,8	1,16	9,5	0,72	11,8	6,581	108,1	-	2,7	0,5	1300	53
29.10.2008	2	5,0	34,1434	0,99	14,4	0,97	9,0	0,672	11,4	6,454	110,2	-	6,2	1,0	1100	160
29.10.2008	3	5,0	34,1899	0,89	16,7	1,09	9,1	0,744	11,3	0,543	108,7	-	4,1	0,8	1100	110
29.10.2008	4	5,0	34,1013	0,88	18,3	1,28	9,4	0,95	12,4			-	2,5	<0,5	270	19
29.10.2008	5	5,0	34,1209	1,11	14,6	1,02	9,3	0,804	12,0	6,67	106,7	-	2,3	<0,5	390	14
29.10.2008	6	5,0	34,1921	0,97	14,8	0,95	9,1	0,672	11,1	6,529	108,9	-	2,8	0,6	1500	81
29.10.2008	7	5,0	34,1877	0,93	13,6	1,17	9,2	0,672	10,7	6,6	107,7	-	2,7	<0,5	1600	120
29.10.2008	8	5,0	34,0880	0,93	13,3	1,15	9,0	0,732	11,7			-	2,5	0,5	160	16
29.10.2008	9	5,0	34,1562	1,06	15,5	0,92	9,1	0,913	12,2	6,518	109,1	-	3,3	0,8	1700	160
29.10.2008	10	5,0	34,1499	0,92	14,4		8,9	0,72	10,9	6,534	108,9	-	2,2	<0,5	1900	140
29.10.2008	11	5,2	34,2262	0,85	13,7	1,28	8,9	0,756	11,7	6,493	109	-	5,9	1,2	2300	130
29.10.2008	12	5,2	34,1481	1,11	13,2	1,68	8,9	0,78	12,6	6,683	105,9	-	<2	<1	130	28
29.10.2008	13	5,2	34,1605	0,80	12,7	1,25	8,9	0,66	13,8	6,726	105,2	-	3,2	0,7	60	21
29.10.2008	14	5,2	34,1895	0,98	13,2	1,52	8,8	0,72	11,5	6,541	108,2	-	3,1	0,5	170	17
29.10.2008	15	5,2	34,1089	1,00	12,5	1,06	8,9	0,708	11,1	6,703	105,6	-	4,3	0,7	70	12
29.10.2008	16	5,0	34,0674	0,85	14,9	1,05	8,8	0,744	11,5	6,638	107,2	-	2,8	<1	120	7
29.10.2008	17	5,0	34,0678	0,87	14,4	1,07	9,0	0,708	12,0	6,631	107,3	-	2,7	0,5	150	3
Dagsetning	Stöð	Hitastig	S	Chl-a	TN	TP	NO3	PO4	Si(OH)4	O2	O2-mettun	POC	TSM	POM	Saurkófi	Saurkokkar
		°C		µg/L	µM	µM	µM	µM	µM	mL/L	%	µg/kg	mg/kg	mg/kg	per 100 mL	per 100 mL
17.4.2011	1	5,4	34,5170	5,95	13,10	0,78	8,31	0,46	5,13	5,786	82,3	521	5,41	1,49	63	4
17.4.2011	2	5,3	34,5420	6,11	13,27	0,85	8,35	0,48	6,52	7,109	100,9	657	5,47	1,50	700	28
17.4.2011	3	5,3	34,4730	5,90	16,34	0,74	8,40	0,49	6,11	6,486	92,0	693	5,79	1,71	440	16
17.4.2011	4	5,3	34,4830	5,37	15,64	1,12	8,79	0,58	5,79	6,412	91,0	724	6,61	1,80	550	23
17.4.2011	5	5,4	34,5240	5,16	14,88	1,01	8,79	0,50	5,18	6,686	95,1	609	6,86	1,82	220	19
17.4.2011	6	5,3	34,5130	6,83	13,98	0,97	7,87	0,42	4,14	6,535	92,8	736	5,16	1,41	64	6
17.4.2011	7	5,3	34,5130	6,94	13,34	0,98	8,12	0,44	4,64	5,846	83,0	662	5,04	1,79	190	18
17.4.2011	8	5,4	34,4710	6,49	13,39	1,04	8,43	0,47	5,53	6,245	88,8	736	6,52	1,91	460	20
17.4.2011	9	5,5	34,5180	6,01	12,70	0,93	8,19	0,48	4,89	6,478	92,4	697	5,24	1,69	26	<1
17.4.2011	10	5,6	34,5010	3,77	15,59	1,15	10,03	0,68	7,42	7,401	105,8	-	8,59	1,93	780	220
17.4.2011	11	5,5	34,4980	5,66	13,05	0,92	8,45	0,50	5,43	6,783	96,7	-	5,65	1,88	180	14
17.4.2011	12	5,7	34,6460	3,05	14,93	0,99	10,20	0,60	5,80	6,419	92,1	-	3,07	0,94	2	<1
17.4.2011	13	5,7	34,6890	2,95	15,38	1,03	10,53	0,64	5,90	6,497	93,2	218	2,77	0,80	<1	<1
17.4.2011	14	5,7	34,5930	3,82	14,70	0,75	9,68	0,57	5,63	6,250	89,6	367	3,38	1,16	1	<1
17.4.2011	15	5,7	34,6380	3,55	15,10	0,94	10,09	0,60	5,73	6,048	86,7	273	2,79	1,01	<1	<1
17.4.2011	16	5,6	34,6760	3,00	16,39	0,94	10,45	0,64	5,84	6,132	87,7	171	3,24	0,78	<1	<1
17.4.2011	17	5,6	34,5730	5,28	15,47	0,84	8,75	0,52	5,04	6,099	87,2	307	4,14	1,00	<1	<1
Dagsetning	Stöð	Hiti	Selta	Blaðgræna	TN	TP	NO3	PO4	Si(OH)4	O2	O2 metnun	POC	TSM	POM	Saurkófi	Saurkokkar
		°C		µg/l	µmól/l	µmól/l	µmól/l	µmól/l	µmól/l	ml/l	%	µg/kg	mg/kg	mg/L	per 100 mL	per 100 mL
3.12.2011	1	4,3	34,0257	0,27	13,85	0,99	9,69	0,77	13,45	6,841	94,3	160	1,3	0,38	7600	150
3.12.2011	2	4,6	34,0112	0,29	12,21	1,01	8,97	0,77	13,95	6,751	93,7	202	2,3	0,47	4600	96
3.12.2011	3	4,6	34,0194	0,24	12,34	1,00	9,01	0,77	13,53	6,742	93,6	150	1,4	0,41	5000	85
3.12.2011	4	4,6	34,0298	0,21	12,66	0,96	8,99	0,75	13,22	6,787	94,2	113	1,9	0,42	4400	69
3.12.2011	5	4,8	34,1237	0,28	12,07	0,91	8,99	0,73	11,43	6,75	94,2	78	1,3	0,22	80	3
3.12.2011	6	4,7	34,0358	0,28	13,19	0,96	8,99	0,75	13,2	6,815	94,8	118	2,4	0,38	4400	76
3.12.2011	7	4,7	34,0319	0,44	13,28	0,79	9,00	0,75	13,14	6,801	94,6	159	1,1	0,50	4800	76
3.12.2011	8	4,6	34,0202	0,29	12,74	1,03	8,89	0,76	13,39	6,763	93,9	123	1,1	0,37	4800	72
3.12.2011	9	4,6	34,0831	0,20	12,11		8,92	0,75	11,93	6,778	94,1	111	1,0	0,33	620	44
3.12.2011	10	4,7	34,0165	0,25	12,26	1,08	8,94	0,81	13,25	6,731	93,7	124	2,3	0,41	610	93
3.12.2011	11	4,7	33,9928	0,22	15,22	1,21	8,89	0,96	13,62	6,694	93,1	402	2,5	0,85	3600	950
3.12.2011	12	4,6	34,0037	0,22	13,35	1,11	8,90	0,85	13,31	6,719	93,3	218	2,1	0,52	590	110
3.12.2011	13	4,6	34,0645	0,26	11,99	0,92	8,89	0,76	12,22	6,733	93,5	116	1,1	0,28	450	46
3.12.2011	14	4,6	34,0731	0,23	12,00	0,94	8,84	0,77	12,19	6,75	93,7	92	0,7	0,22	310	58
3.12.2011	15	4,7	34,0253	0,31	13,45	1,09	8,87	0,86	12,92	6,726	93,6	233	1,9	0,59	2200	270
3.12.2011	16	4,7	34,0043	0,22	13,33	1,16	8,84	0,92	13,29	6,736	93,7	259	1,9	0,65	3100	670
3.12.2011	17	4,7	34,0269	0,30	12,36	1,08	8,86	0,88	12,9	6,746	93,9	214	1,4	0,43	540	110

VIÐAUKI II

Gagnaskýrsla Hafrannsóknastofnunar fyrir 16/07/2008

Vöktun á viðtaka við Reykjavík- gagnaskýrsla eftir 1. sýnasöfnun

Sólveig R. Ólafsdóttir, Hafrannsóknastofnuinni, solveig@hafro.is

Sýnum var safnað af verkkaupa við yfirborð þann 16. júlí 2008 á 17 stöðvum (1. mynd). Í sýnunum var mælt: selta, súrefni, nítat, fosfat, silikat, heildar köfnunarefni og heildarfosfór og blaðgræna. Efnagreiningar fóru fram á Hafrannsóknastofnuninni 17. júlí 2008 á öllum þáttum nema seltu og blaðgrænu. Niðurstöður mælinga eru sýndar í töflu 1 og dreifing efnanna á myndum 2 – 10.

Aðferðir:

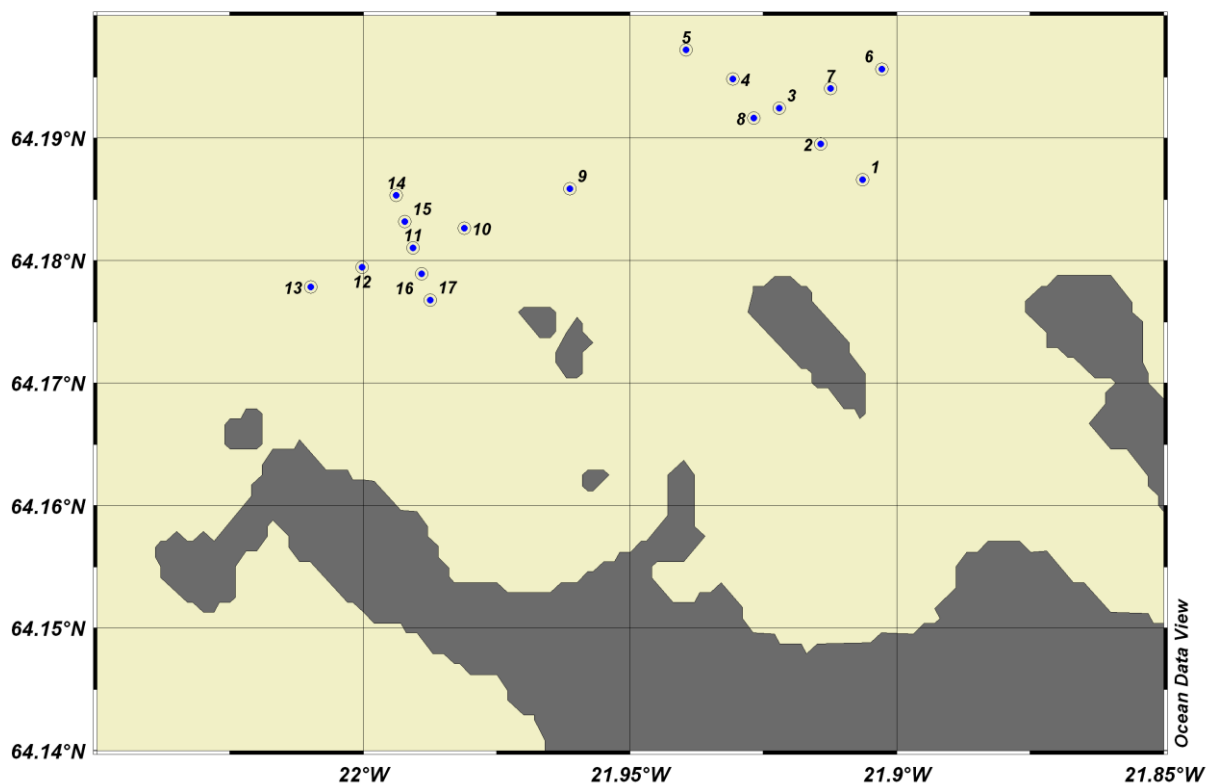
Selta: leiðnimæling

Súrefni: Winkler títrun

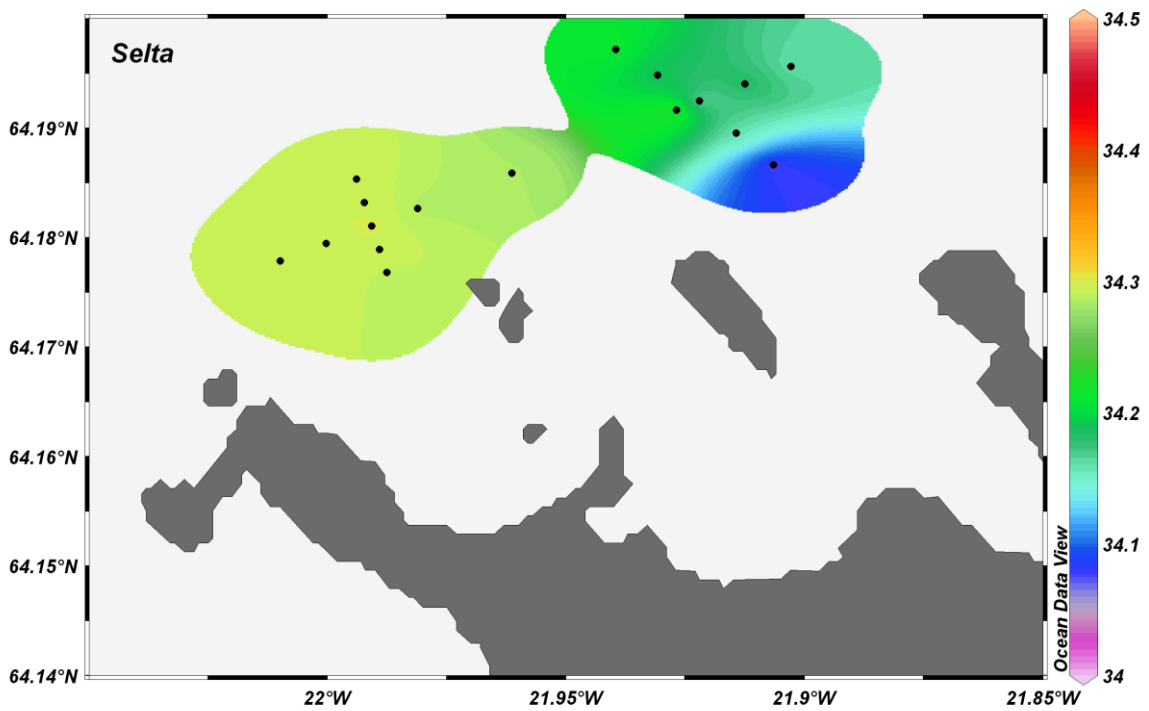
nítat, fosfat og silikat: filtrun með 0,45 μ filter og ljósgleypnimæling

heildar köfnunarefni og heildarfosfór, TN og TP:, geislað með UV ljósi og síðan mælt sem nítat og fosfat

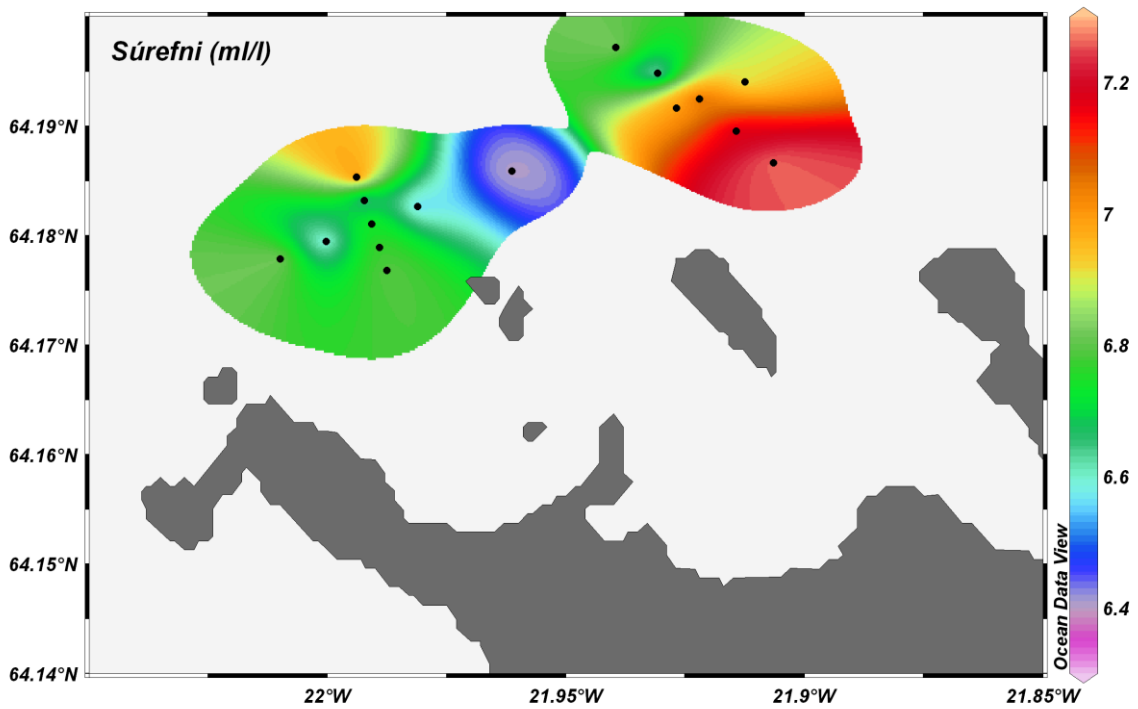
Blaðgræna: útdráttur með acetón og svo ljósgleypnimæling.



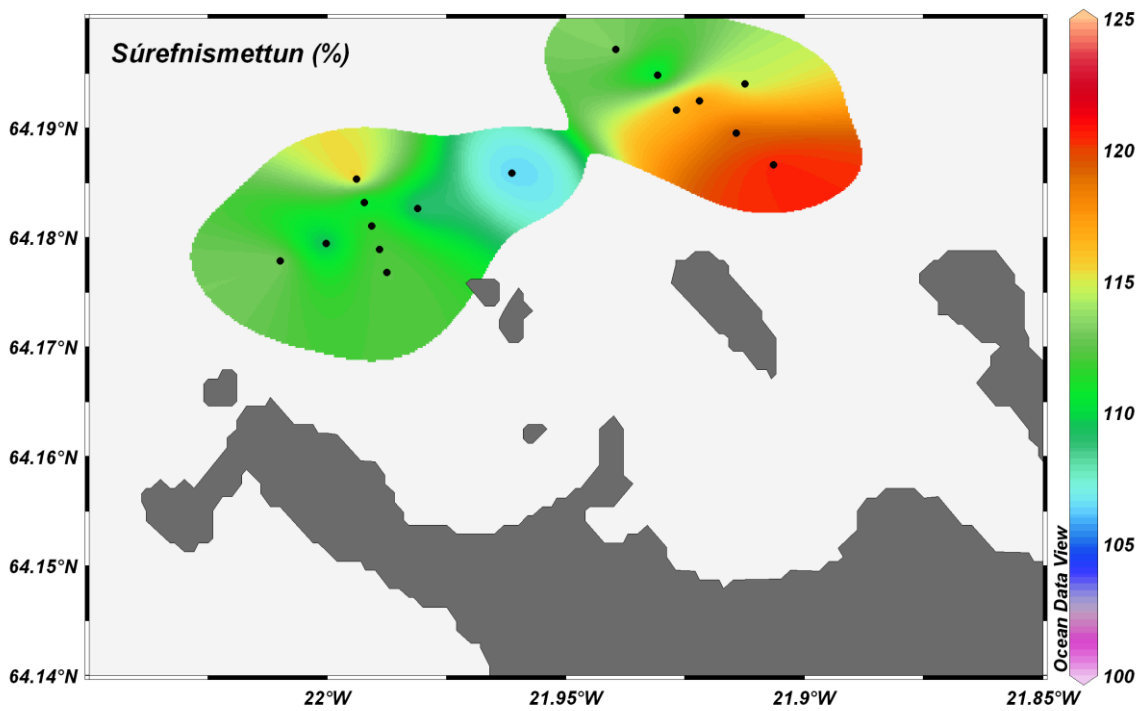
1. Mynd. Sýnatökustöðvar og númer þeirra.



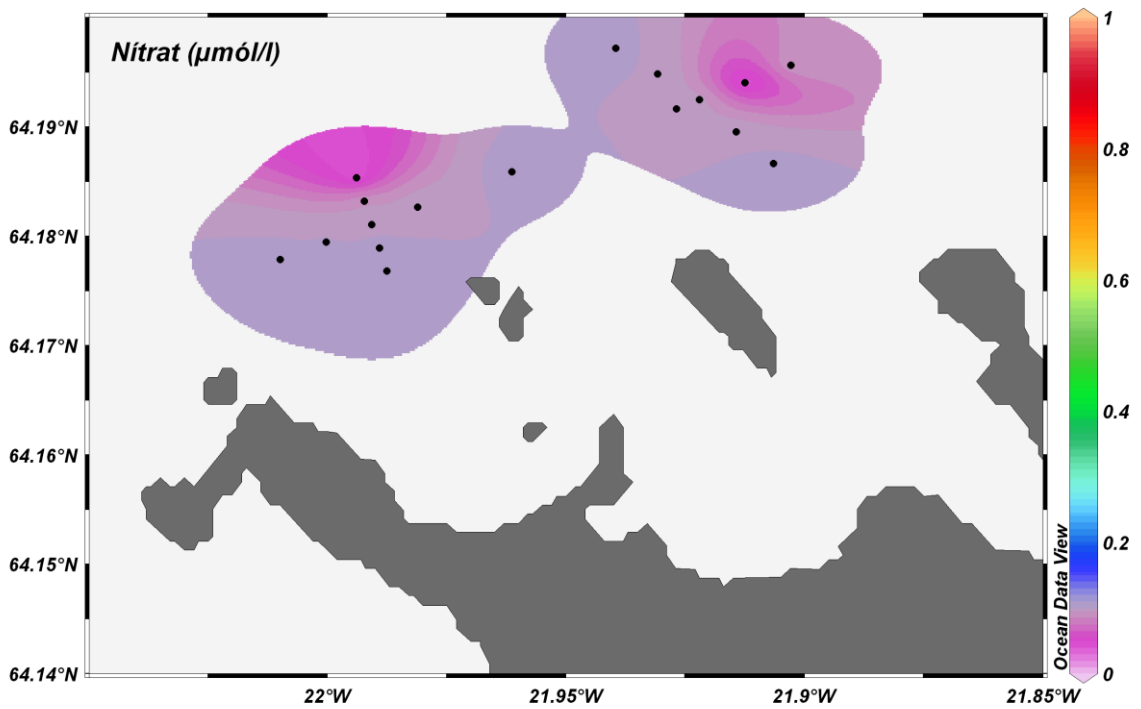
2. Mynd. Dreifing seltu við yfirborð þann 16. júlí 2008.



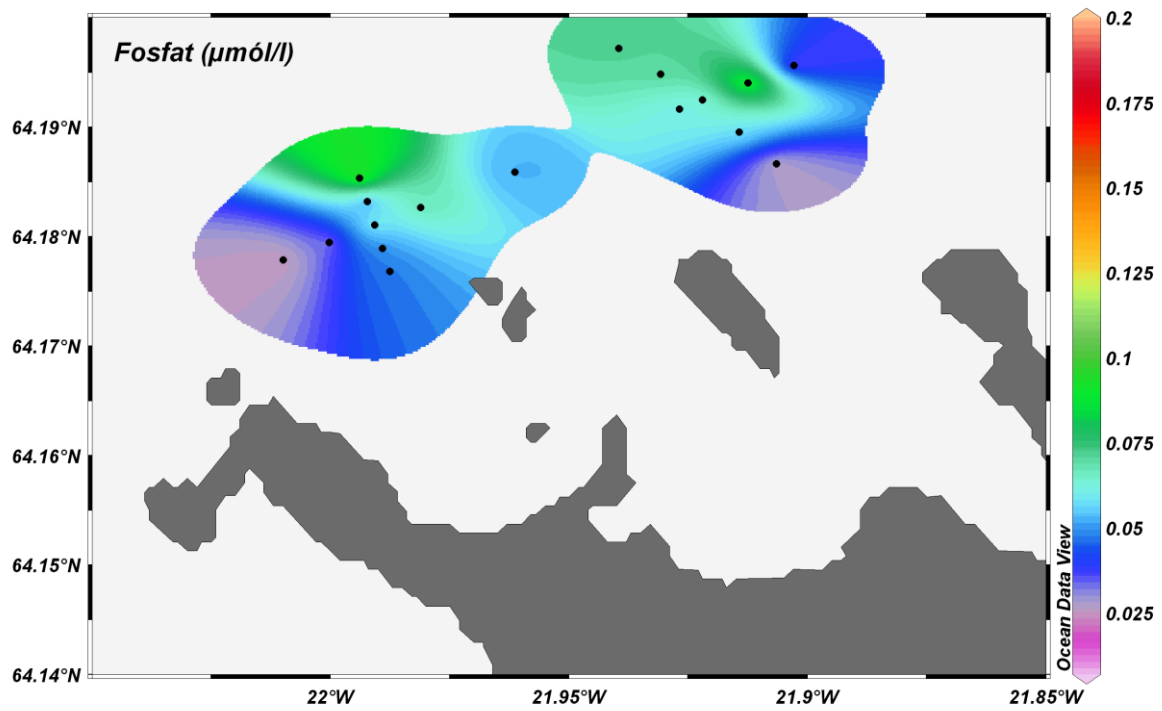
3. Mynd. Dreifing súrfeinis (ml/l) við yfirborð þann 16. júlí 2008.



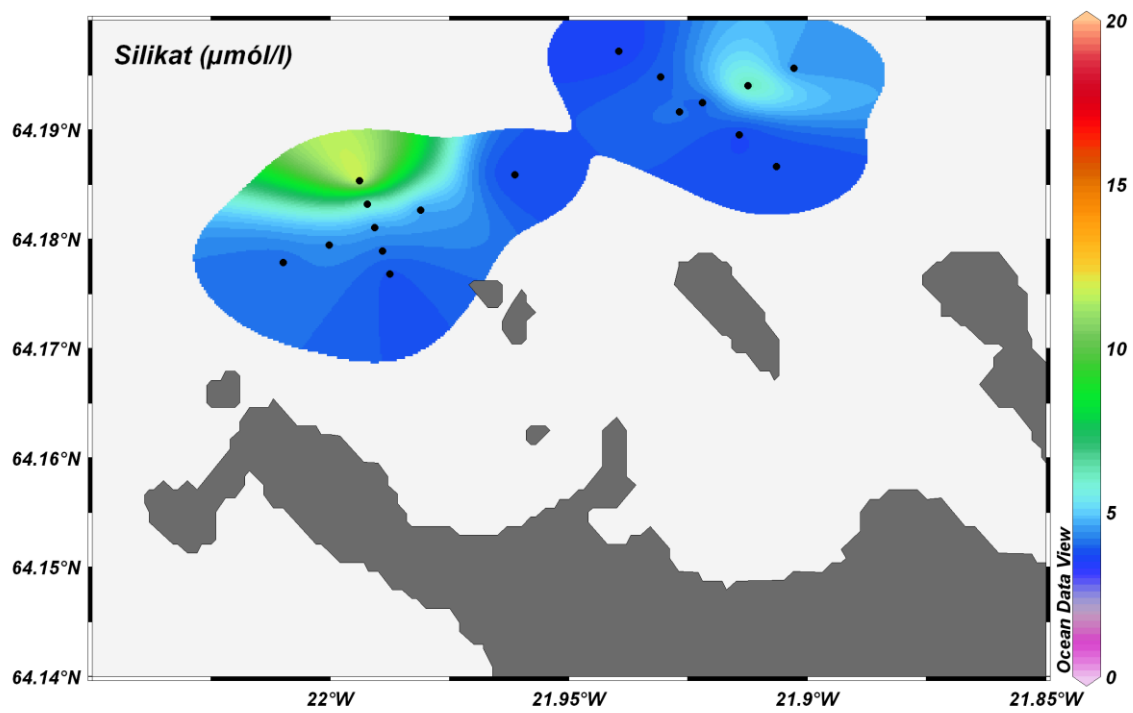
4. Mynd. Dreifing súrefnismettunar (%) við yfirborð þann 16. júlí 2008.



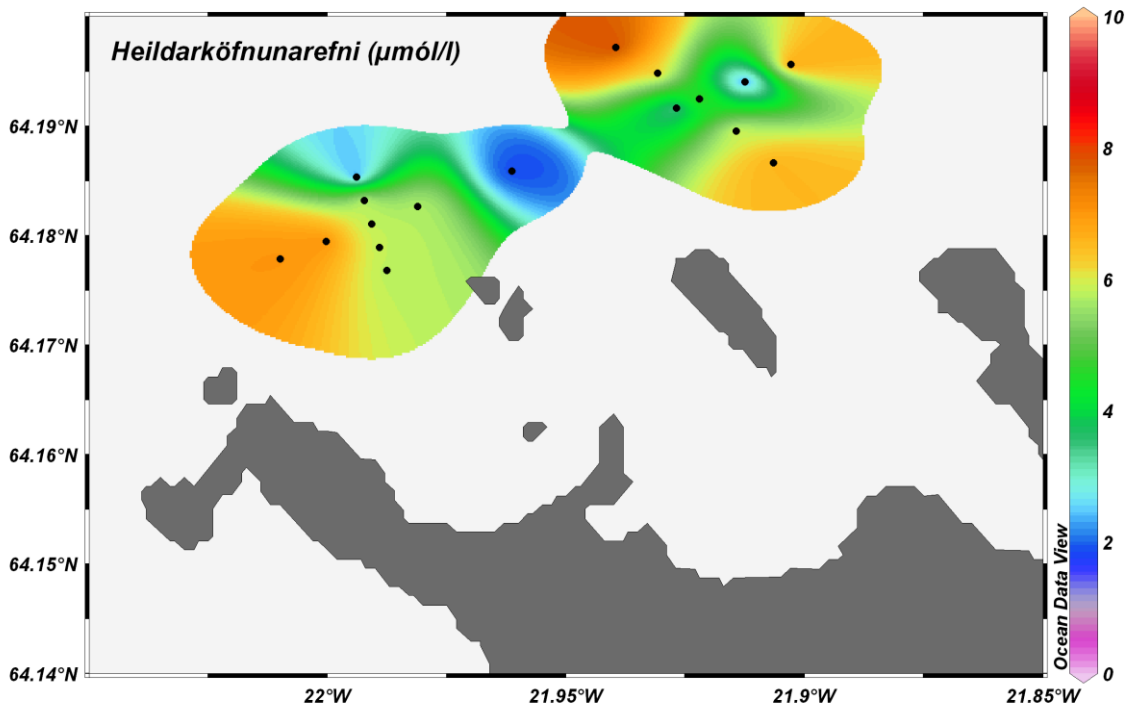
5. Mynd. Dreifing nítrats ($\mu\text{mól/l}$) við yfirborð þann 16. júlí 2008.



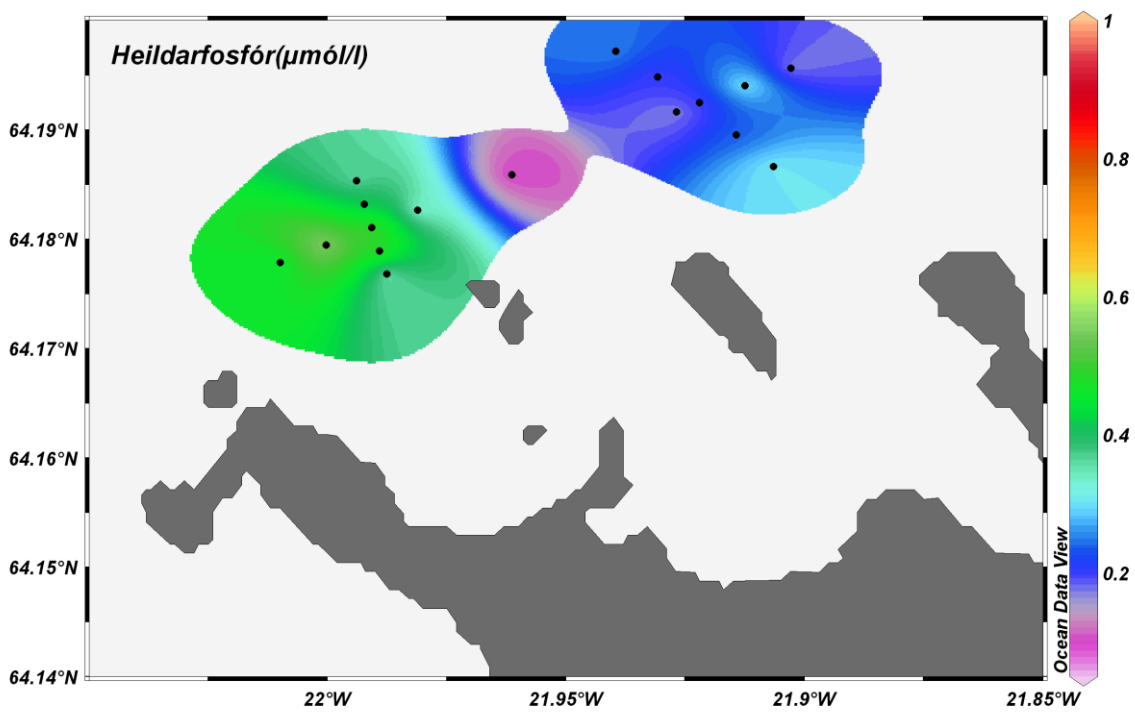
6. Mynd. Dreifing fosfats ($\mu\text{mól/l}$) við yfirborð þann 16. júlí 2008.



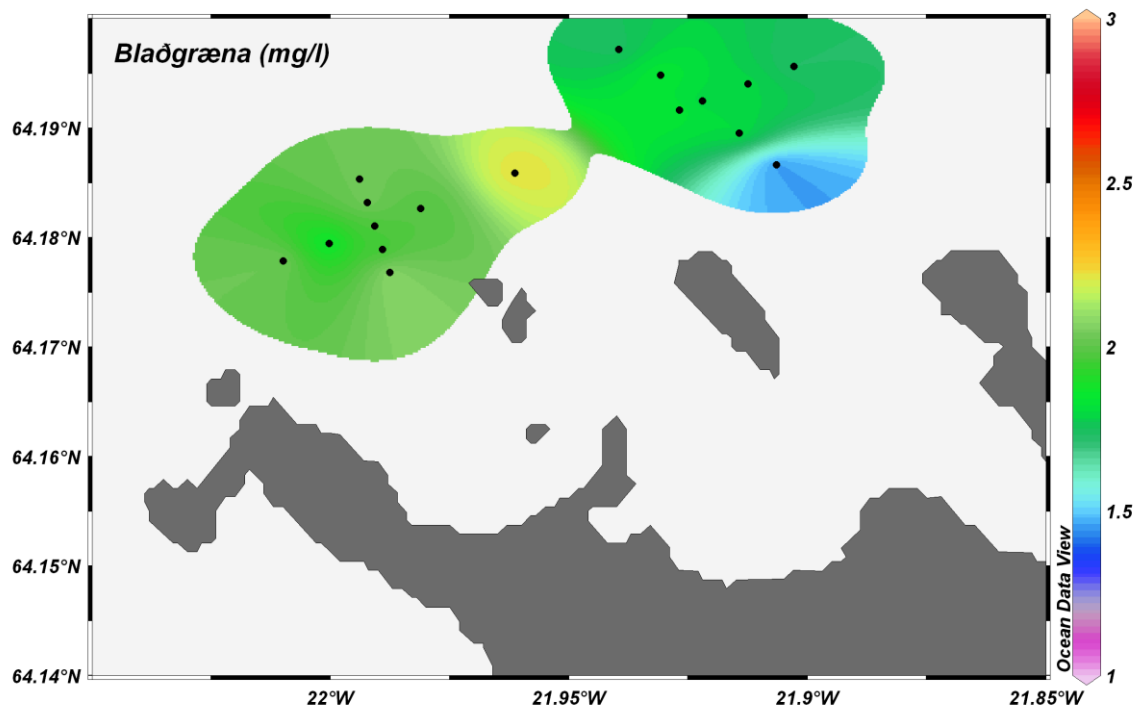
7. Mynd. Dreifing silikats ($\mu\text{mól/l}$) við yfirborð þann 16. júlí 2008.



8. Mynd. Dreifing heildarköfnunarefnis ($\mu\text{mol/l}$) við yfirborð þann 16. júlí 2008.



9. Mynd. Dreifing heildarfósforis ($\mu\text{mol/l}$) við yfirborð þann 16. júlí 2008.



10. Mynd. Dreifing blaðgrænu (mg/l) við yfirborð þann 16. júlí 2008.

Tafla 1. Niðurstöður mælinga þann 16. júlí 2008.

Stöð	Staðsetning		Dýpi m	Hitastig °C	Selta	O2	O2-mettun	PO4	Si(OH)4	NO3	TP	PN	Blaðgr
	Breidd	Lengd				ml/l	%	µmól/l	µmól/l	µmól/l	µmól/l	µmól/l	mg/l
1	64.1866	-21.9065	0.3	12.5	34.066	7.27	120.76	0.02	3.68	0.10	0.31	6.69	1.39
2	64.1895	-21.9143	0.3	12.5	34.16	7.21	119.76	0.06	3.33	0.10	0.23	6.42	1.85
3	64.1924	-21.9221	0.3	12.5	34.119	7.15	118.69	0.06	3.33	0.10	0.19	5.70	1.76
4	64.1948	-21.9308	0.3	12.5	34.182	6.46	107.40	0.07	3.82	0.10	0.19	6.78	1.86
5	64.1972	-21.9395	0.3	12.5	34.216	6.85	113.80	0.07	3.40	0.10	0.26	8.15	1.72
6	64.1956	-21.9029	0.3	12.4	34.155	NA	NA	0.02	3.95	0.10	0.14	7.87	1.71
7	64.1940	-21.9125	0.3	12.4	34.192	6.87	113.84	0.11	7.55	0.01	0.36	0.20	1.80
8	64.1916	-21.9269	0.3	12.7	34.28	6.98	116.54	0.06	4.23	0.10	0.14	1.98	1.86
9	64.1859	-21.9613	0.3	12.5	34.282	6.40	106.34	0.05	3.61	0.10	0.09	1.71	2.22
10	64.1826	-21.9811	0.3	12.4	34.279	6.46	107.14	0.07	4.02	0.10	0.28	5.88	1.97
11	64.1810	-21.9907	0.3	12.4	34.304	6.83	113.39	0.07	4.02	0.10	0.55	5.61	1.97
12	64.1794	-22.0003	0.3	12.4	34.291	6.43	106.69	0.02	4.23	0.10	0.61	7.78	1.74
13	64.1778	-22.0099	0.3	12.4	34.294	6.88	114.19	0.02	3.95	0.10	0.43	7.05	2.07
14	64.1853	-21.9938	0.3	12.3	34.293	7.20	119.20	0.12	16.03	0.01	0.34	0.20	2.02
15	64.1832	-21.9923	0.3	12.3	34.294	6.48	107.22	0.03	4.23	0.10	0.39	7.05	2.09
16	64.1789	-21.9891	0.3	12.3	34.294	6.83	113.09	0.05	4.02	0.10	0.56	5.70	1.88
17	64.1768	-21.9875	0.3	12.2	34.287	6.82	112.67	0.05	3.47	0.10	0.25	5.61	2.18

VIÐAUKI III

Gagnaskýrsla Hafrannsóknastofnunar fyrir 29/10/2008

Vöktun á viðtaka við Reykjavík- gagnaskýrsla eftir 2. sýnasöfnun

Sólveig R. Ólafsdóttir, Hafrannsóknastofnuinni, solveig@hafro.is

Sýnum var safnað af verkkaupa við yfirborð þann 29. október 2008 á 17 stöðvum (1. mynd). Í sýnunum var mælt: selta, súrefni, níturat, fosfat, silikat, heildar köfnunarefni og heildarfosfór og blaðgræna. Efnagreiningar fóru fram á Hafrannsóknastofnuninni 3. nóvember 2008 á öllum þáttum nema seltu og blaðgrænu. Niðurstöður mælinga eru sýndar í töflu 1 og dreifing efnanna á myndum 2 – 10.

Aðferðir:

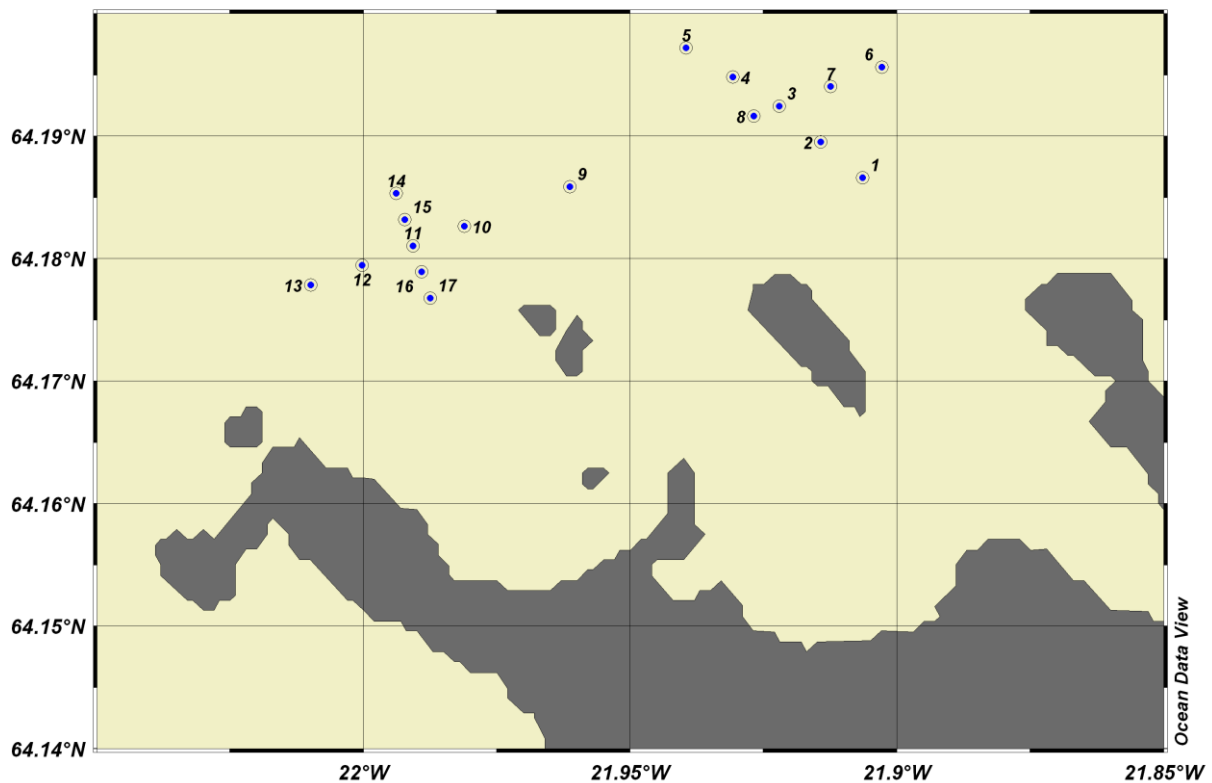
Selta: leiðnimæling

Súrefni: Winkler títrun

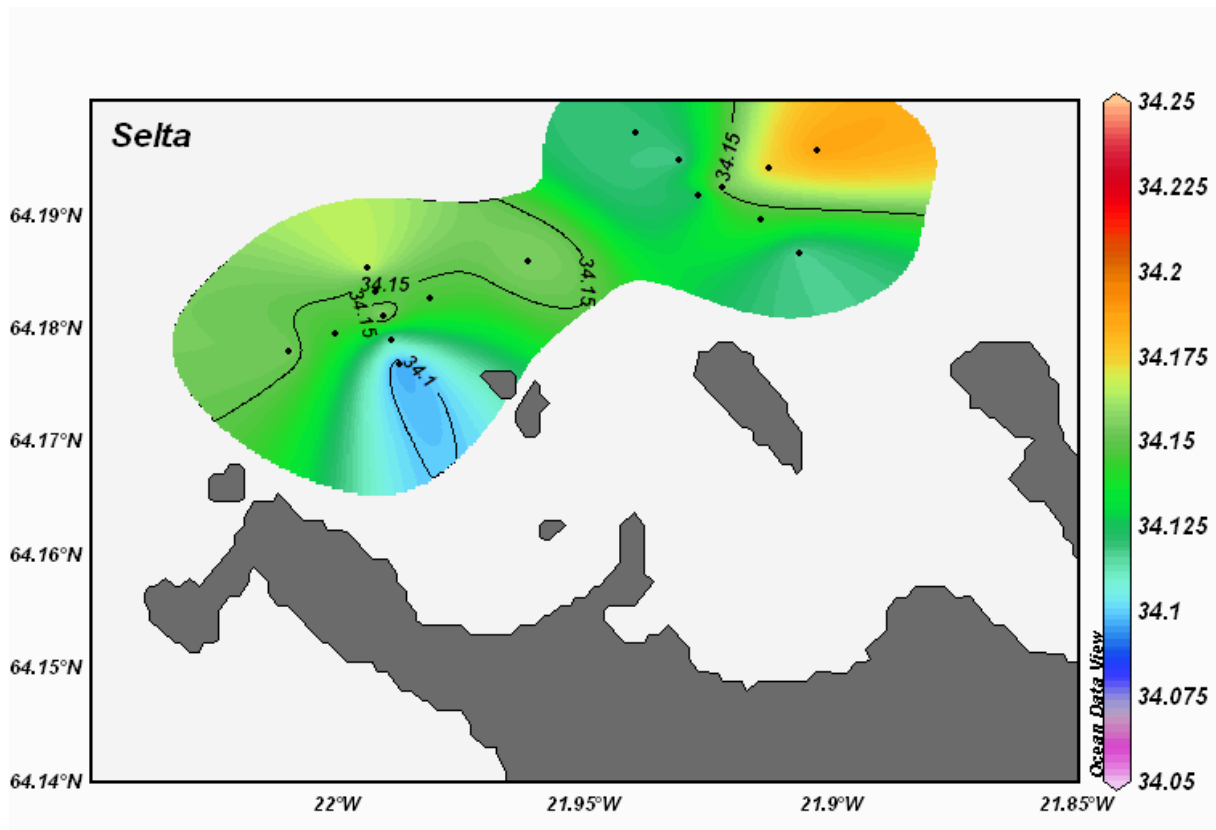
níturat, fosfat og silikat: filtrun með 0,45 μ filter og ljósgleypnimæling

heildar köfnunarefni og heildarfosfór, TN og TP:., geislað með UV ljósi og síðan mælt sem níturat og fosfat

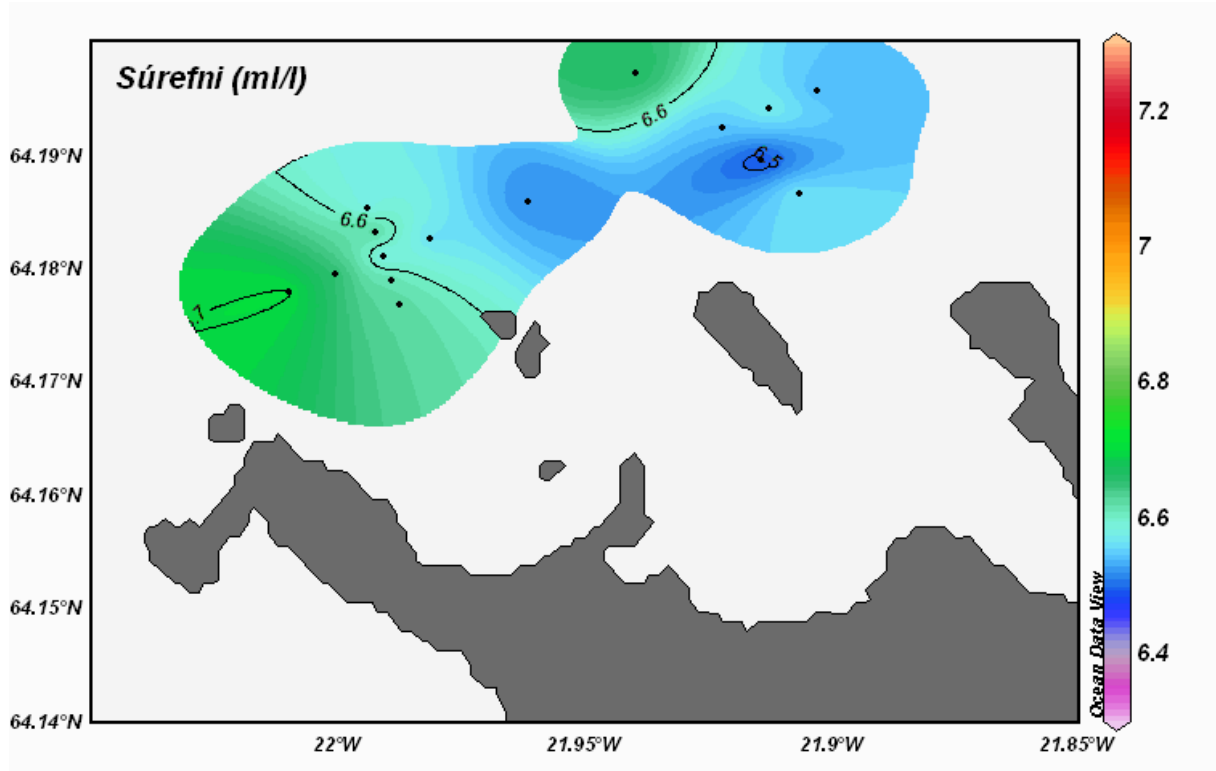
Blaðgræna: útdráttur með acetón og svo ljósgleypnimæling.



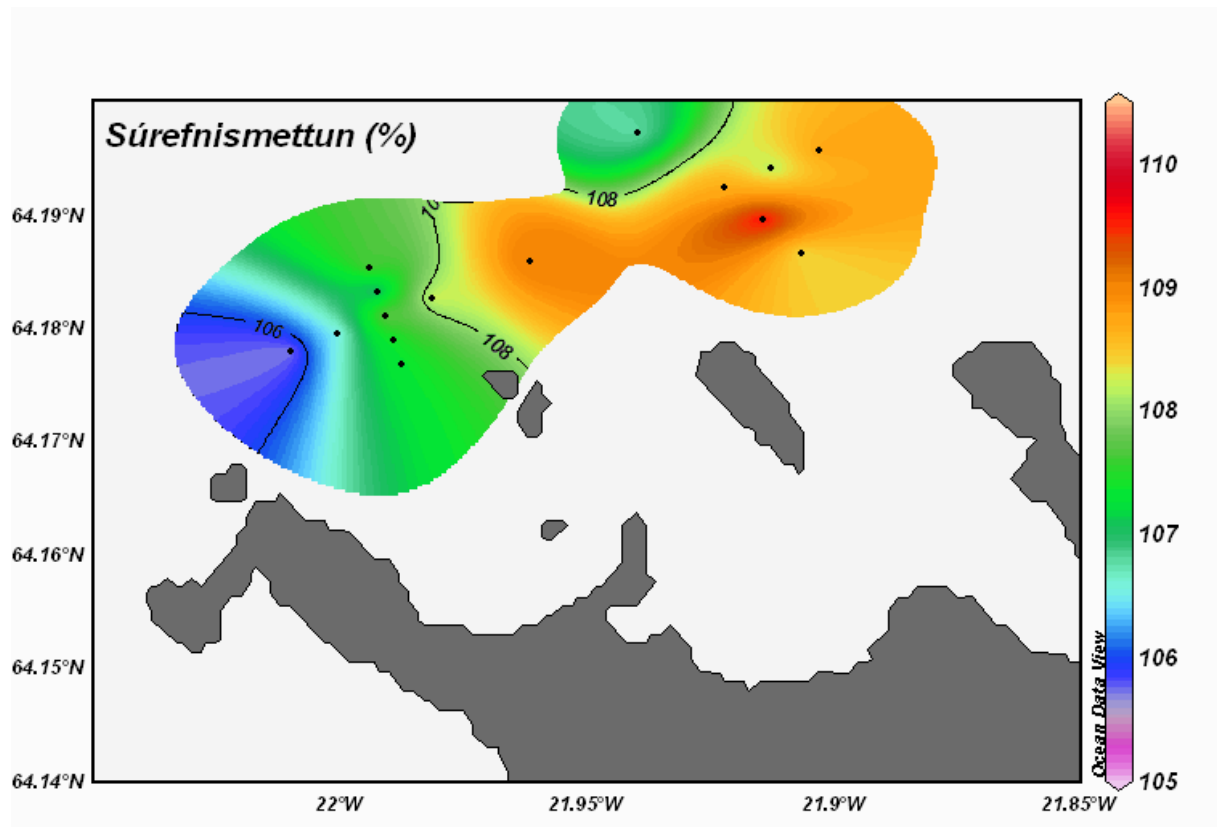
1. Mynd. Sýnatökustöðvar og númer þeirra.



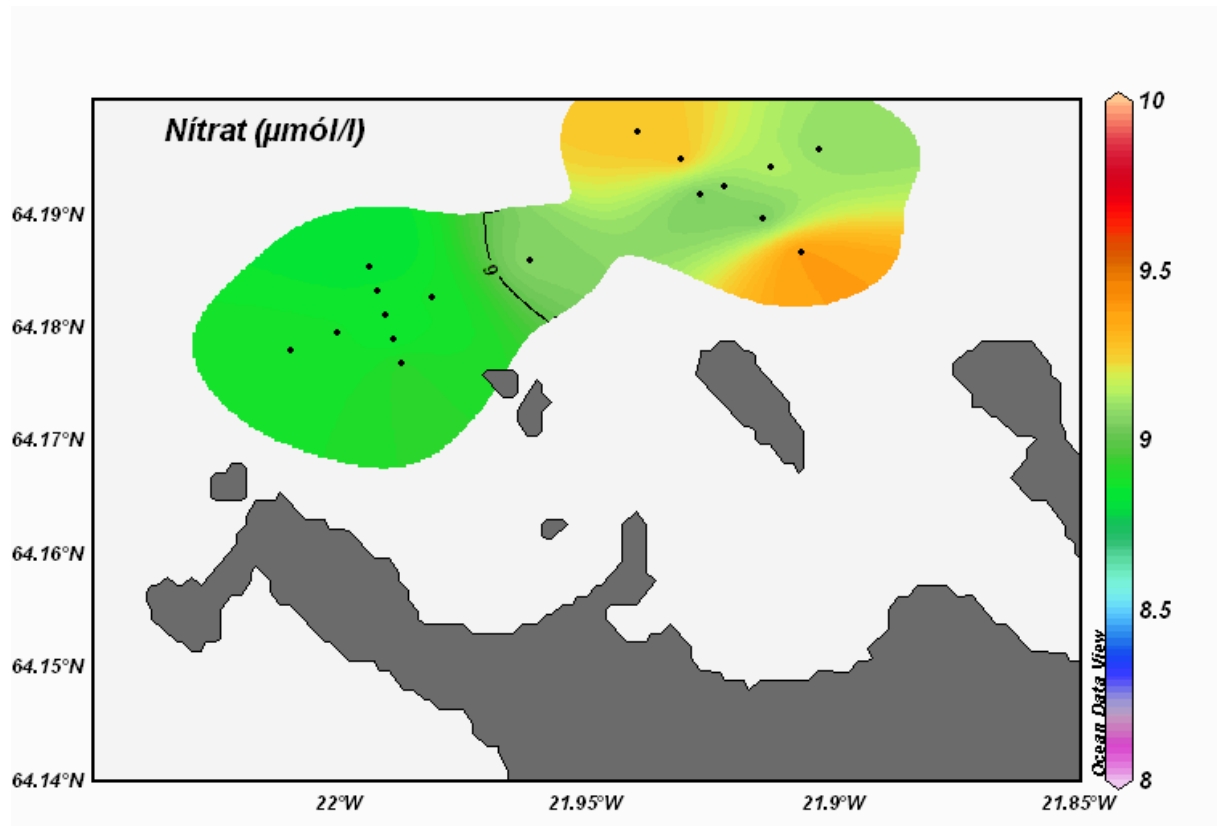
2. Mynd. Dreifing seltu við yfirborð þann 29. október 2008.



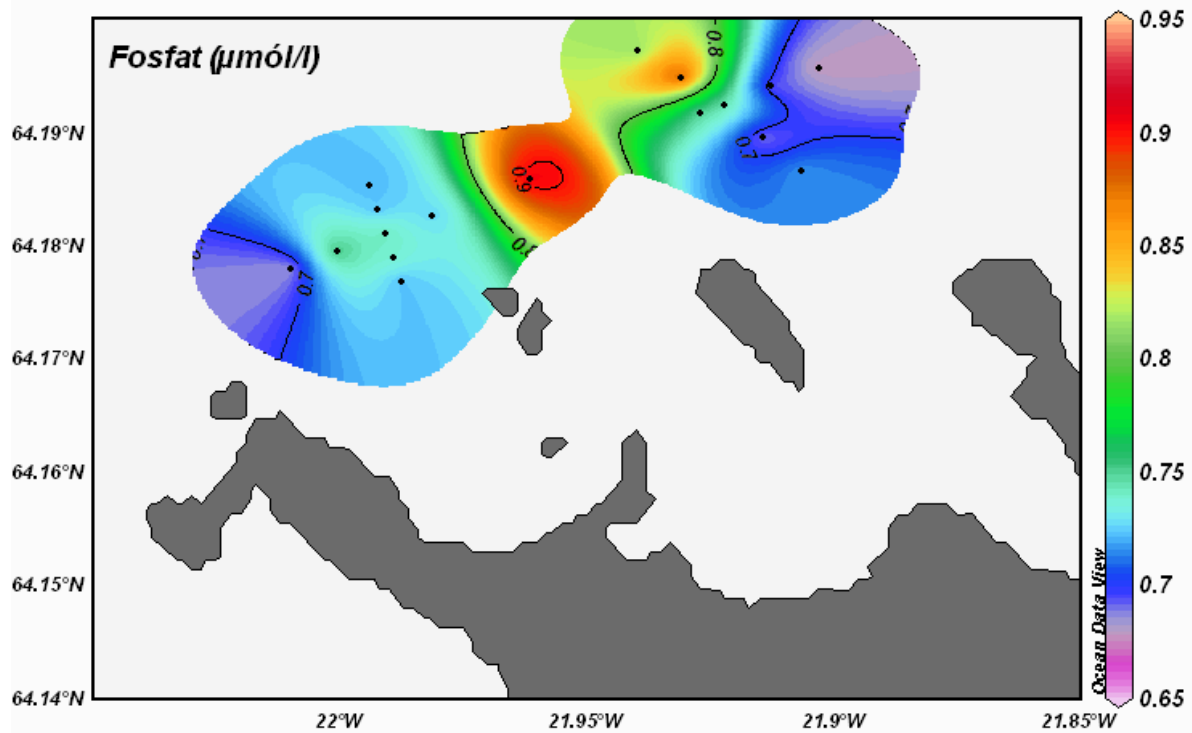
3. Mynd. Dreifing súrefnis (ml/l) við yfirborð þann 29. október 2008.



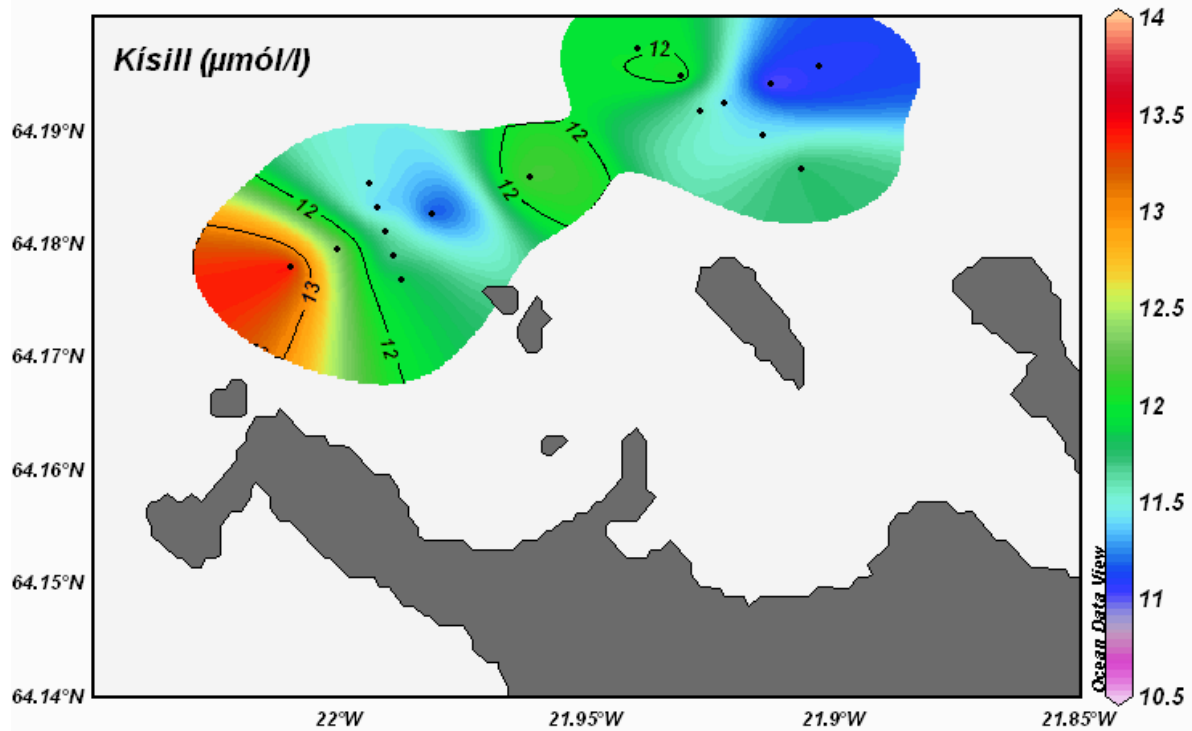
4. Mynd. Dreifing súrefnismettunar (%) við yfirborð þann 29. október 2008.



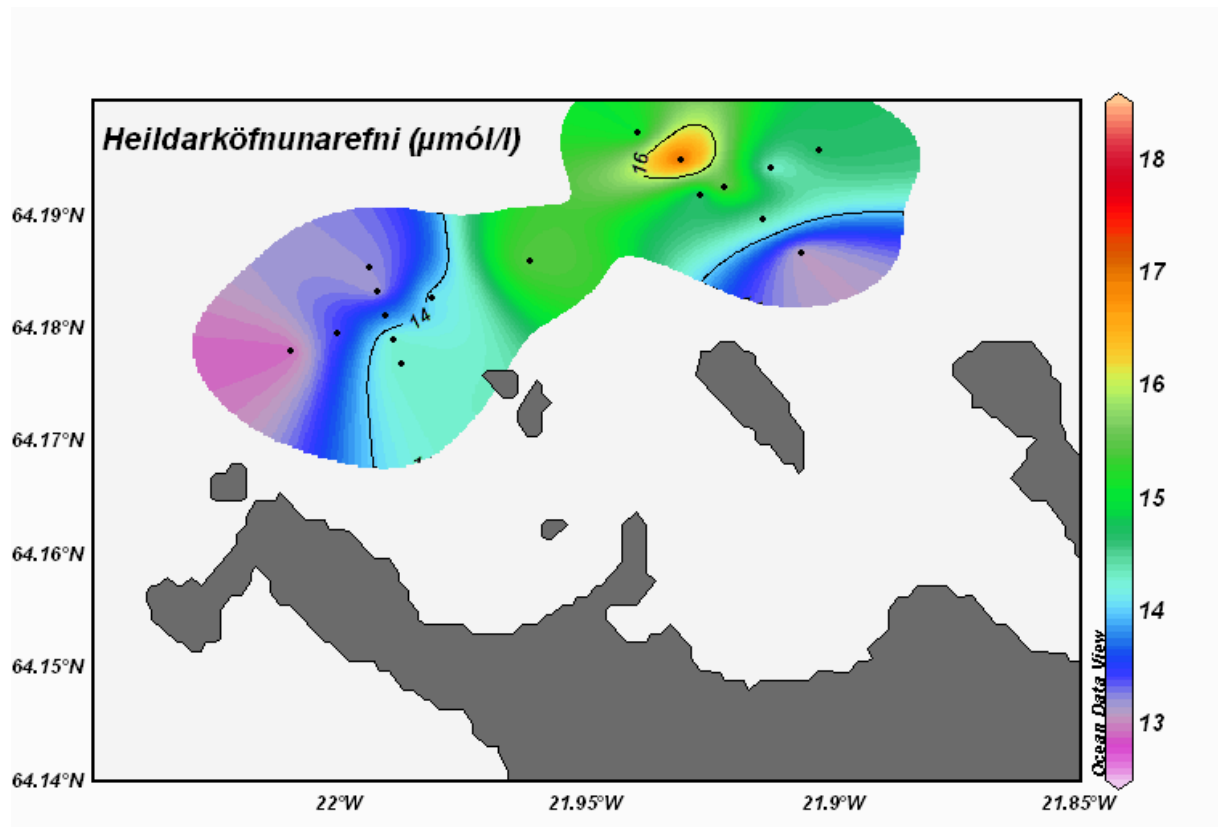
5. Mynd. Dreifing nítrats ($\mu\text{mól/l}$) við yfirborð þann 29. október 2008.



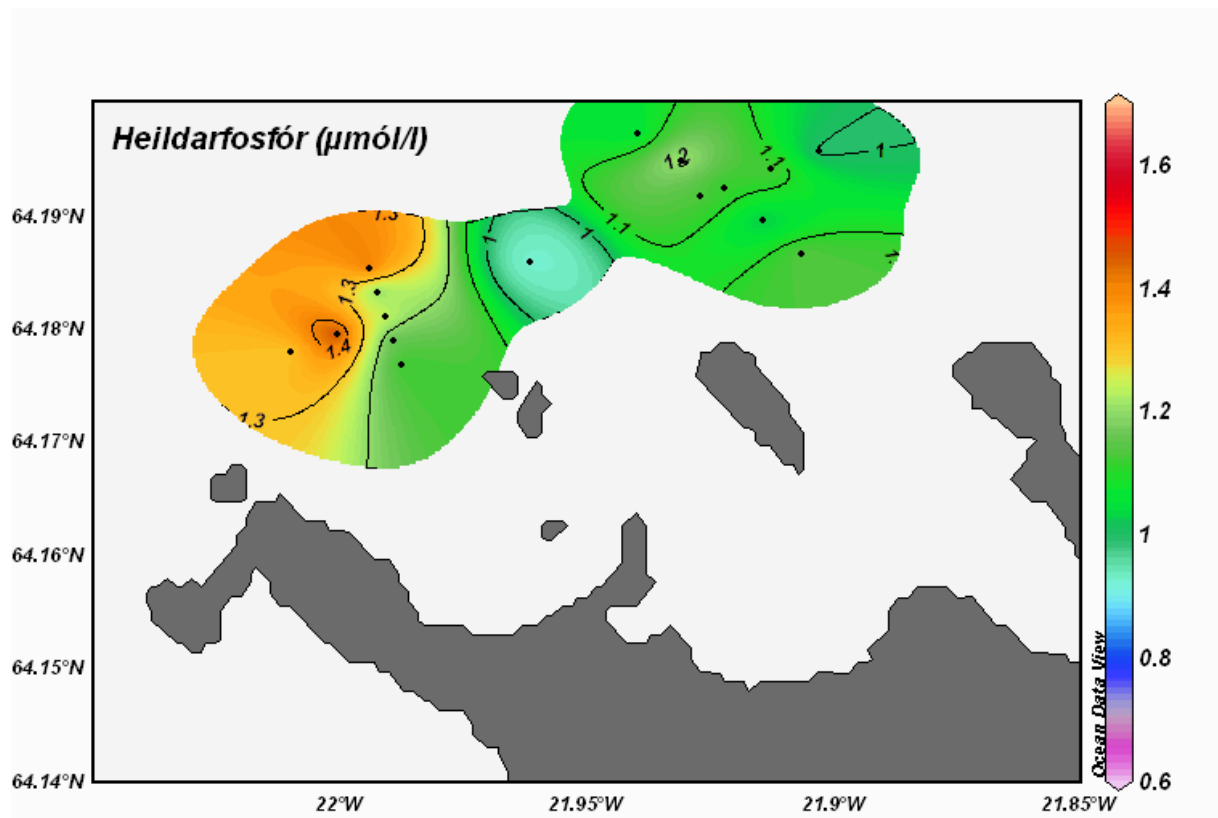
6. Mynd. Dreifing fosfats ($\mu\text{mól/l}$) við yfirborð þann 29. október 2008.



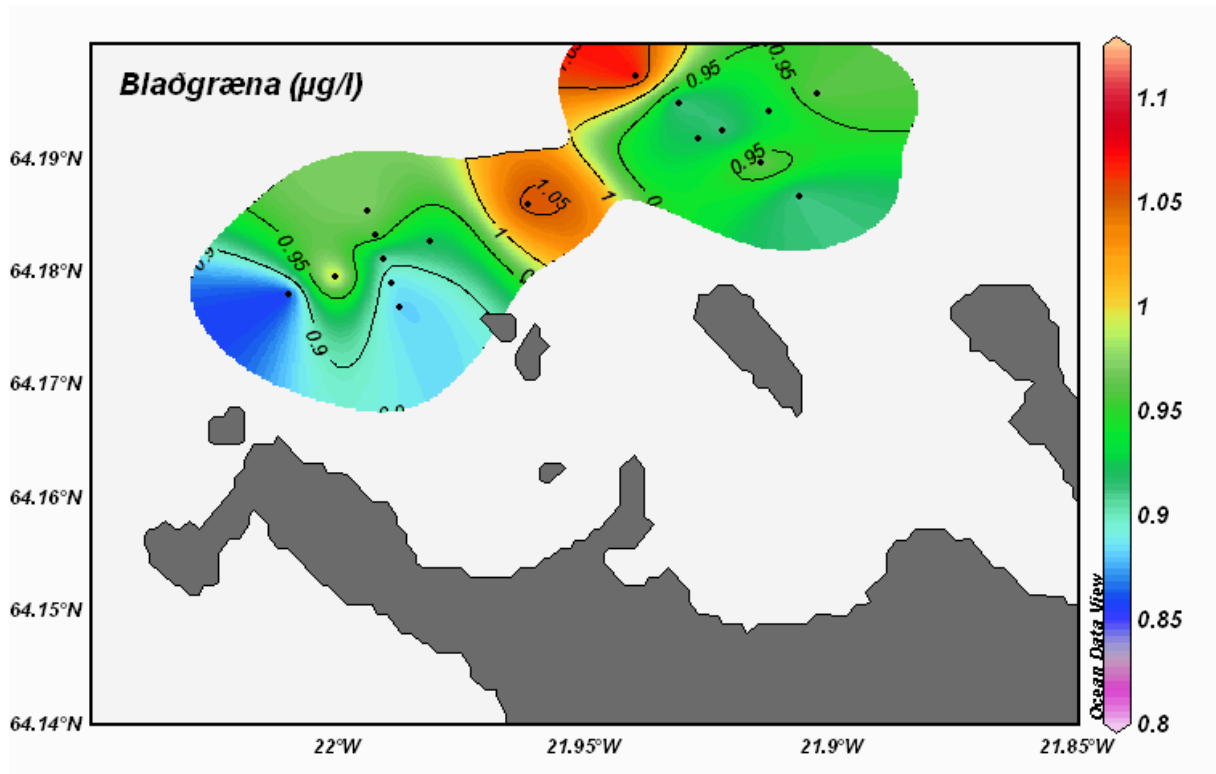
7. Mynd. Dreifing sílikats ($\mu\text{mól/l}$) við yfirborð þann 29. október 2008.



8. Mynd. Dreifing heildarköfnunarefnis ($\mu\text{mól/l}$) við yfirborð þann 29. október 2008.



9. Mynd. Dreifing heildarfosfórs ($\mu\text{mól/l}$) við yfirborð þann 29. október 2008.



10. Mynd. Dreifing blaðgrænu ($\mu\text{g/l}$) við yfirborð þann 29. október 2008.

Tafla 1. Niðurstöður mælinga þann 29. október 2008.

Stöð	Staðsetning		Dýpi m	Hitastig °C	Selta	O2	O2-mettun	PO4	Si(OH)4	NO3	TP	TN	Blaðgr
	Breidd	Lengd				ml/l	%	µmól/l	µmól/l	µmól/l	µmól/l	µmól/l	µg/l
1	64.1866	-21.9065	0.3	5.0	34.1082	6.581	108.1	0.720	11.8	9.5	1.16	12.8	0.90
2	64.1895	-21.9143	0.3	5.0	34.1434	6.454	110.2	0.672	11.4	9.0	0.97	14.4	0.99
3	64.1924	-21.9221	0.3	5.0	34.1899	6.543	108.7	0.744	11.3	9.1	1.09	16.7	0.89
4	64.1948	-21.9308	0.3	5.0	34.1013		.	0.950	12.4	9.4	1.28	18.3	0.88
5	64.1972	-21.9395	0.3	5.0	34.1209	6.670	106.7	0.804	12.0	9.3	1.02	14.6	1.11
6	64.1956	-21.9029	0.3	5.0	34.1921	6.529	108.9	0.672	11.1	9.1	0.95	14.8	0.97
7	64.1940	-21.9125	0.3	5.0	34.1877	6.600	107.7	0.672	10.7	9.2	1.17	13.6	0.93
8	64.1916	-21.9269	0.3	5.0	34.0880		.	0.732	11.7	9.0	1.15	13.3	0.93
9	64.1859	-21.9613	0.3	5.0	34.1562	6.518	109.1	0.913	12.2	9.1	0.92	15.5	1.06
10	64.1826	-21.9811	0.3	5.0	34.1499	6.534	108.9	0.720	10.9	8.9		14.4	0.92
11	64.1810	-21.9907	0.3	5.2	34.2262	6.493	109.0	0.756	11.7	8.9	1.28	13.7	0.85
12	64.1794	-22.0003	0.3	5.2	34.1481	6.683	105.9	0.780	12.6	8.9	1.68	13.2	1.11
13	64.1778	-22.0099	0.3	5.2	34.1605	6.726	105.2	0.660	13.8	8.9	1.25	12.7	0.80
14	64.1853	-21.9938	0.3	5.2	34.1895	6.541	108.2	0.720	11.5	8.8	1.52	13.2	0.98
15	64.1832	-21.9923	0.3	5.2	34.1089	6.703	105.6	0.708	11.1	8.9	1.06	12.5	1.00
16	64.1789	-21.9891	0.3	5.0	34.0674	6.638	107.2	0.744	11.5	8.8	1.05	14.9	0.85
17	64.1768	-21.9875	0.3	5.0	34.0678	6.631	107.3	0.708	12.0	9.0	1.07	14.4	0.87

VIÐAUKI IV

Gagnaskýrsla Hafrannsóknastofnunar fyrir 17/04/2011

Vöktun á viðtaka við Reykjavík- gagnaskýrsla eftir 3. sýnasöfnun

Sólveig R. Ólafsdóttir, Hafrannsóknastofnuinni, solveig@hafro.is

Sýnum var safnað við yfirborð þann 17. apríl 2011 á 17 stöðvum (1. mynd). Í sýnunum var mælt: selta, súrefni, níturat, fosfat, silíkat, heildar köfnunarefni og heildarfosfór og blaðgræna. Efnagreiningar fóru fram á Hafrannsóknastofnuninni í apríl 2011 á öllum þáttum. Niðurstöður mælinga eru sýndar í töflu 1 og dreifing efnanna á myndum 2 – 10.

Aðferðir:

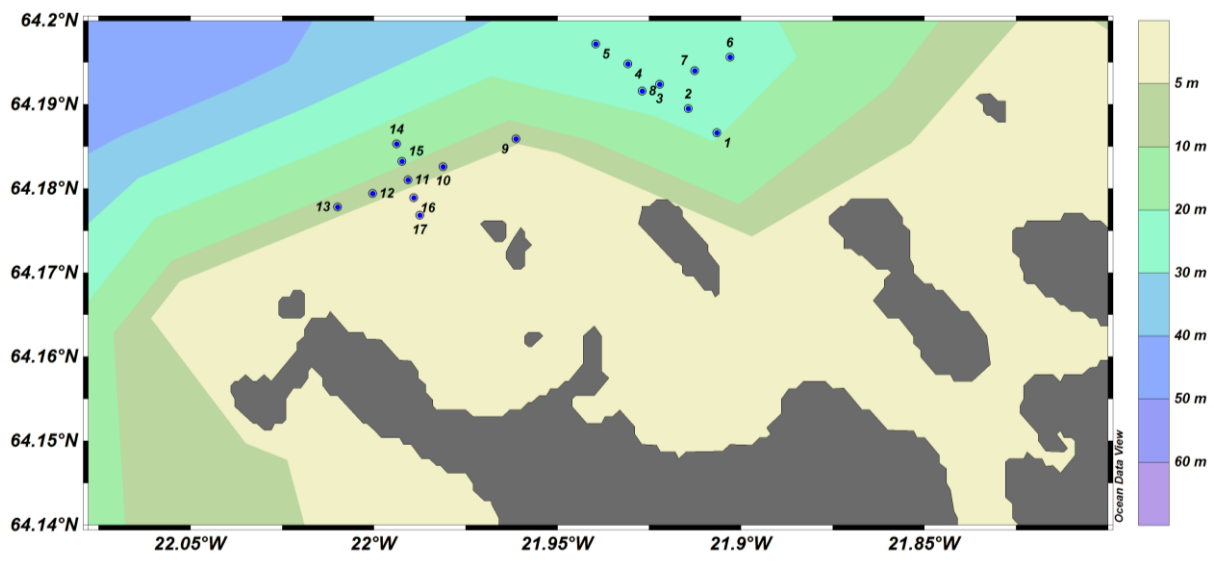
Selta: leiðnimæling

Súrefni: Winkler títrun

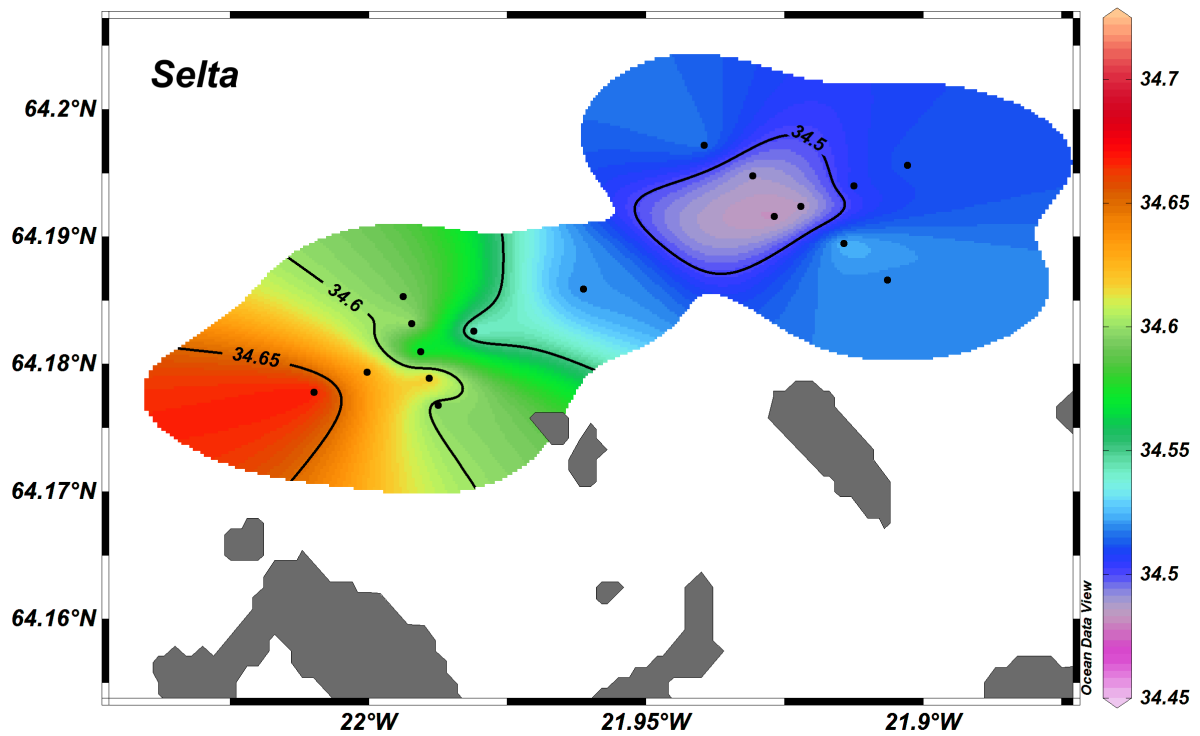
níturat, fosfat og silíkat: filtrun með 0,45 μ filter og ljósgleypnimæling

heildar köfnunarefni og heildarfosfór, TN og TP:, geislað með UV ljósi og síðan mælt sem níturat og fosfat

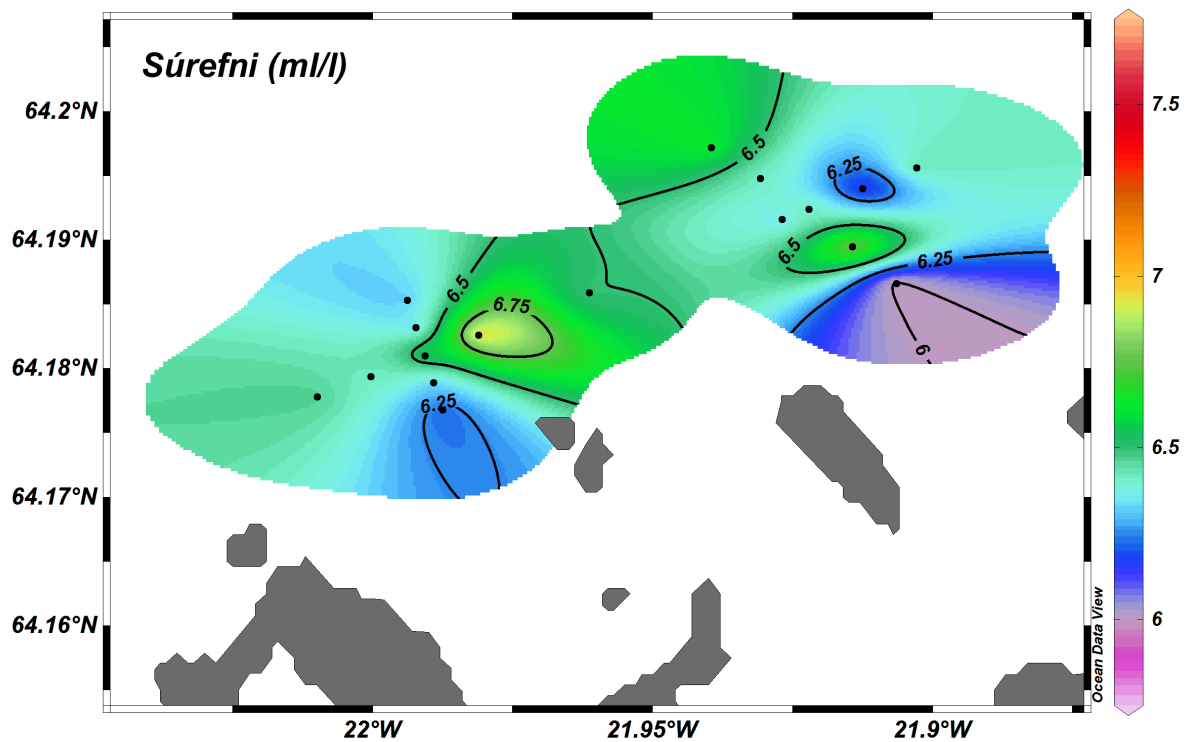
Blaðgræna: útdráttur með acetón og svo flúrljómunarmæling.



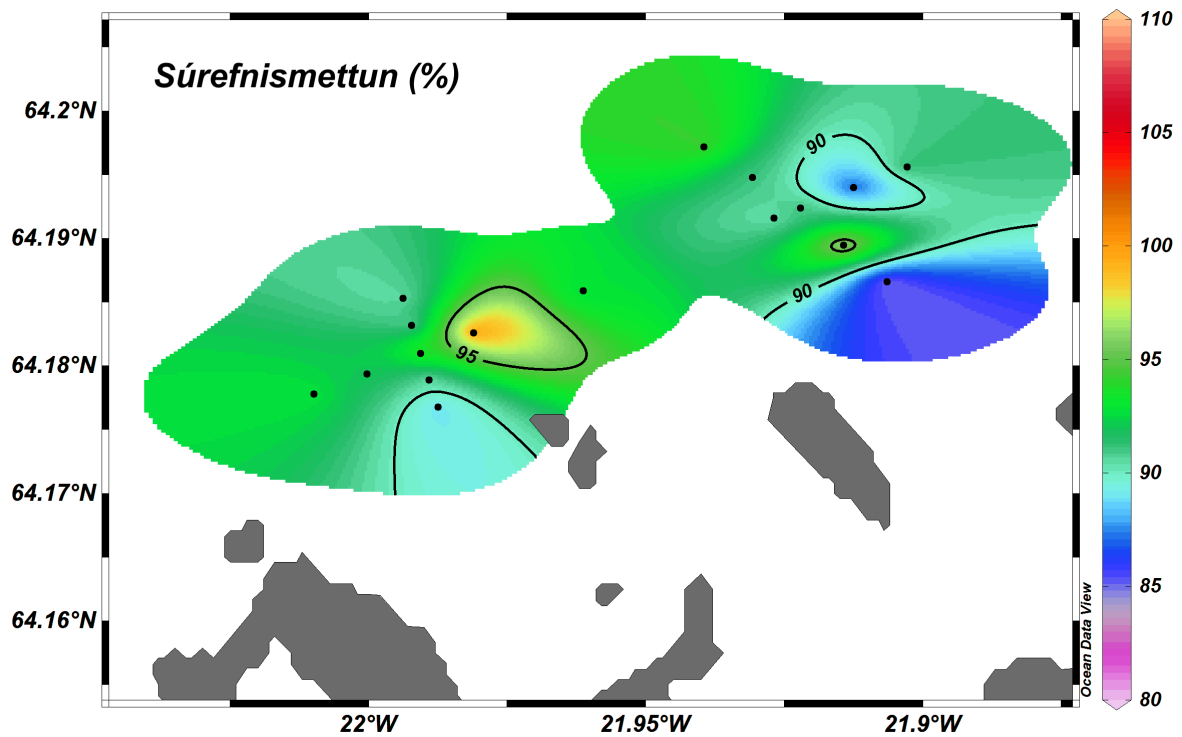
1. Mynd. Sýnatökustöðvar og númer þeirra.



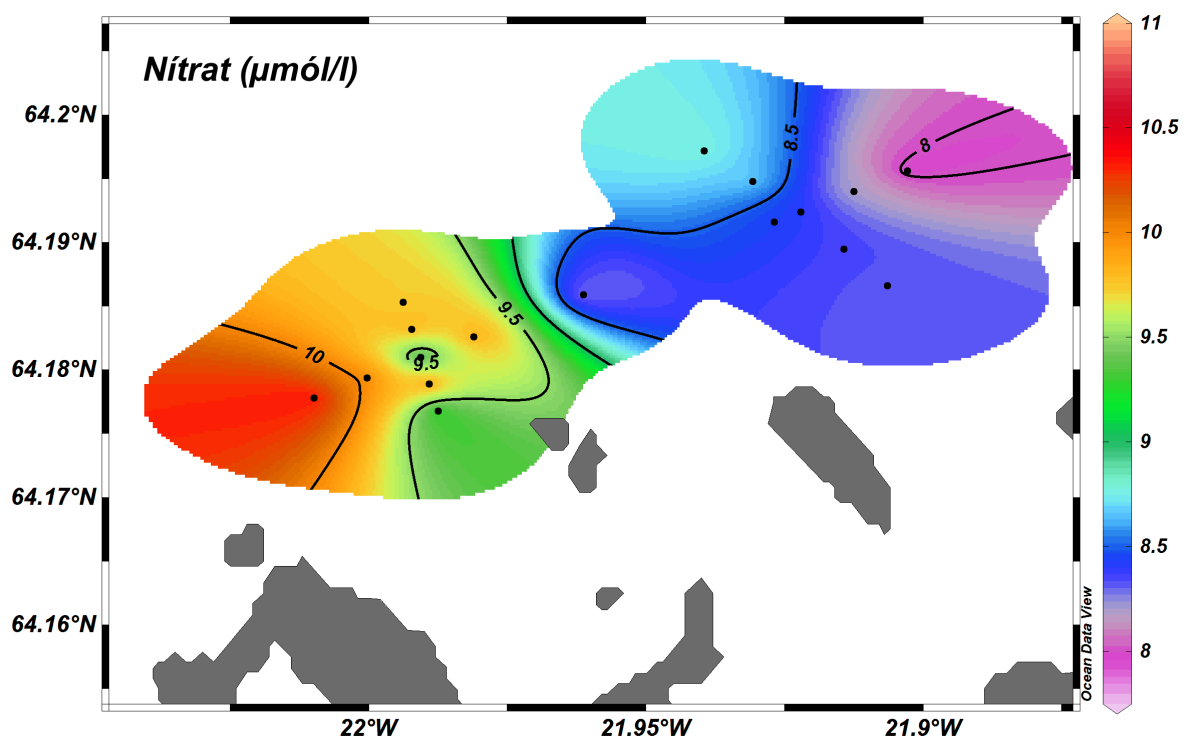
2. Mynd. Dreifing seltu við yfirborð þann 17. apríl 2011.



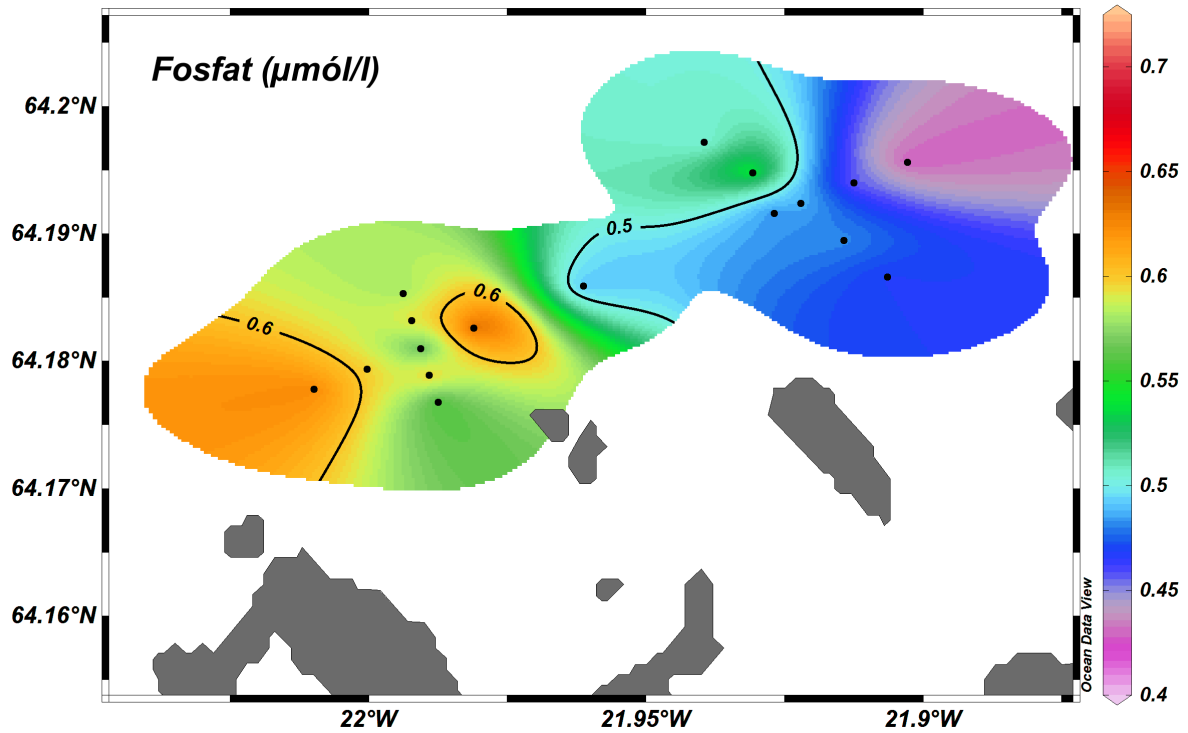
3. Mynd. Dreifing súrfeinis (ml/l) við yfirborð þann 17. apríl 2011.



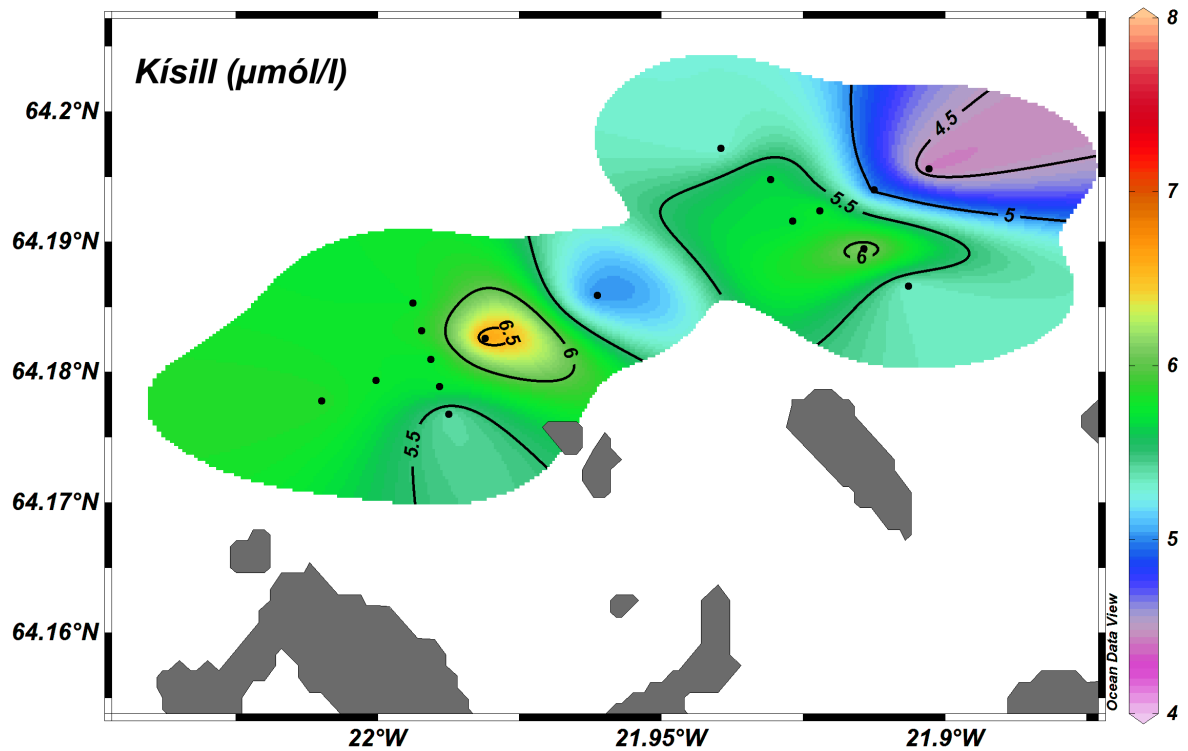
4. Mynd. Dreifing súrefnismettunar (%) við yfirborð þann 17. apríl 2011.



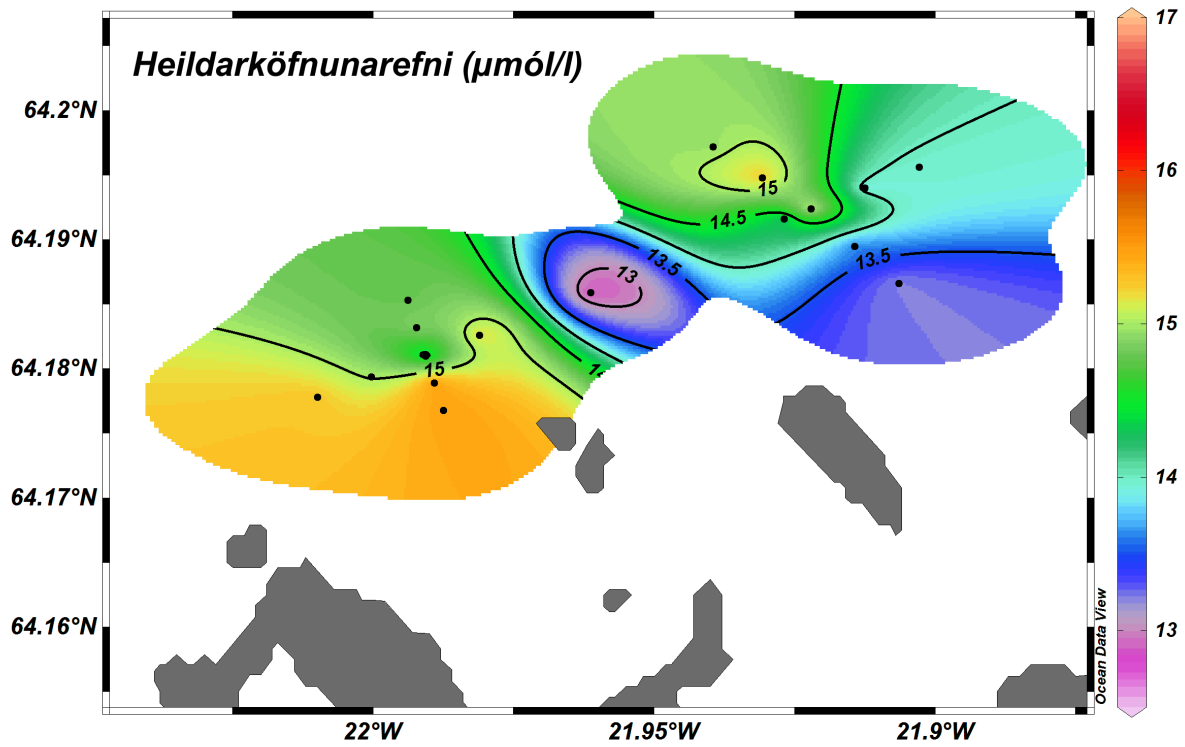
5. Mynd. Dreifing nítrats ($\mu\text{mól/l}$) við yfirborð þann 17. apríl 2011.



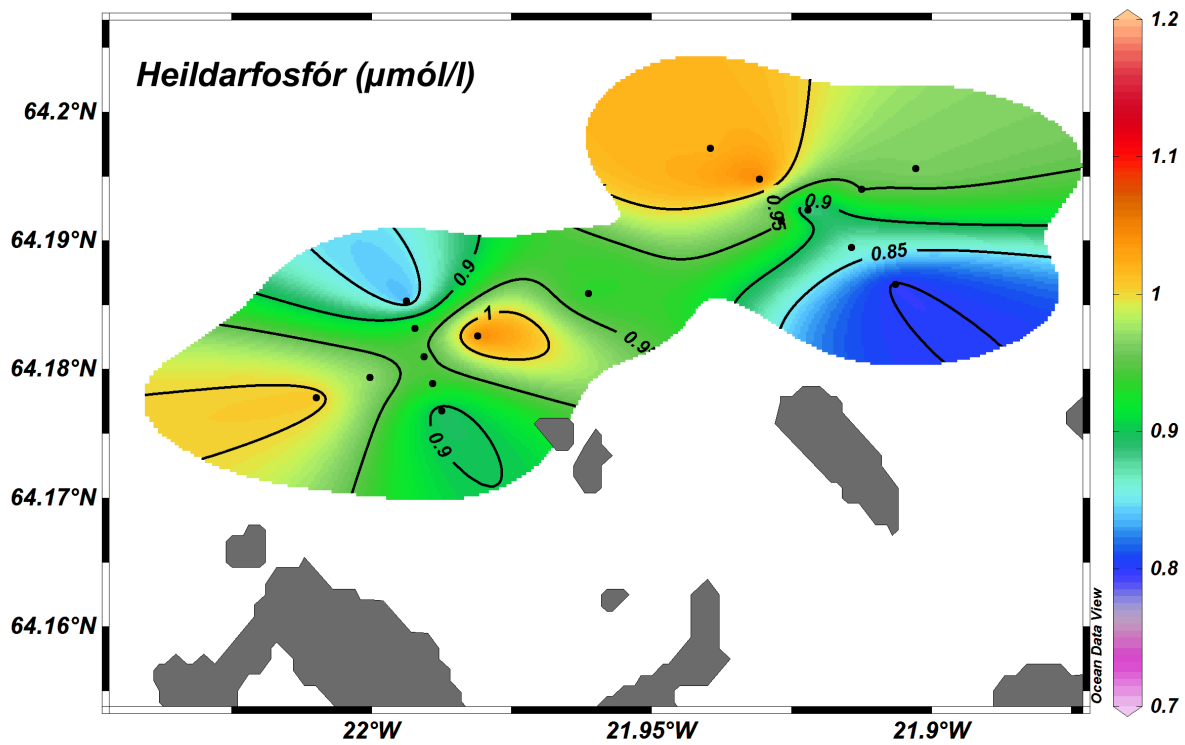
6. Mynd. Dreifing fosfats ($\mu\text{mól/l}$) við yfirborð þann 17. apríl 2011.



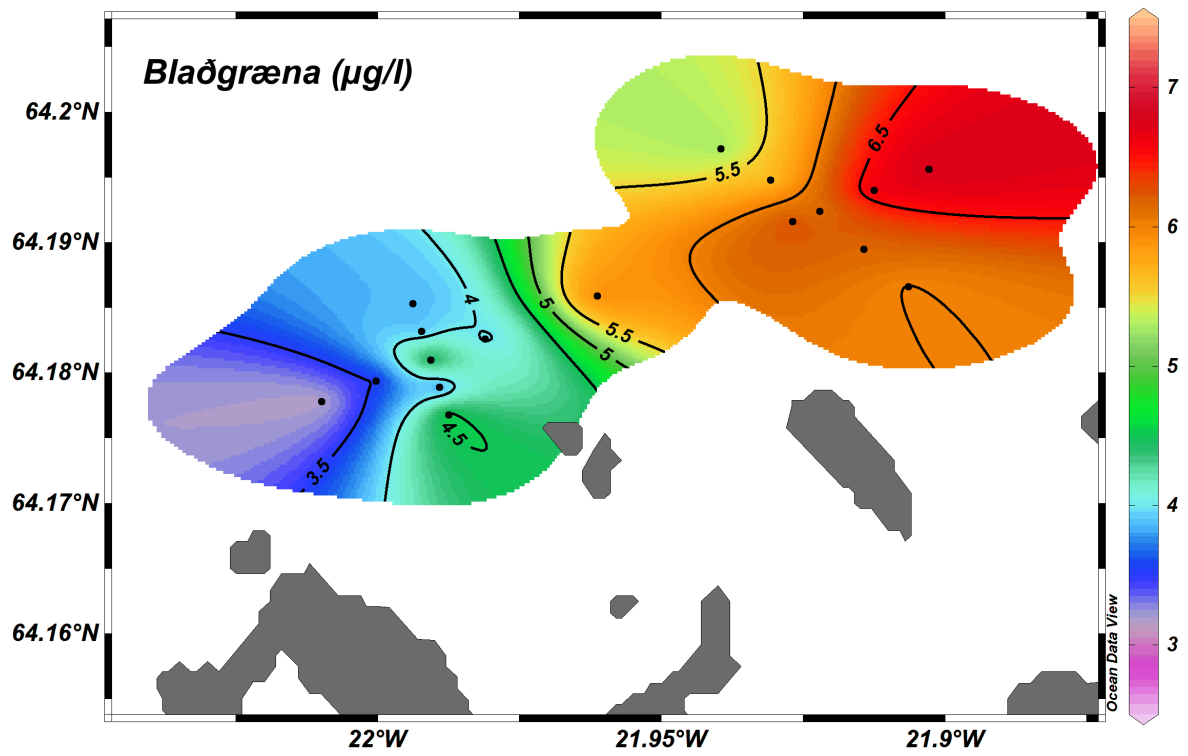
7. Mynd. Dreifing silikats ($\mu\text{mól/l}$) við yfirborð þann 17. apríl 2011.



8. Mynd. Dreifing heildarköfnunarefnis ($\mu\text{mól/l}$) við yfirborð þann 17. apríl 2011.



9. Mynd. Dreifing heildarfosfórs ($\mu\text{mól/l}$) við yfirborð þann 17. apríl 2011.



10. Mynd. Dreifing blaðgrænu ($\mu\text{g/l}$) við yfirborð þann 17. apríl 2011.

Tafla 1. Niðurstöður mælinga þann 17. apríl 2011.

Stöð	Staðsetning		Dýpi m	Hiti °C	Selta	O2 ml/l	O2 mettun %	PO4 µmól/l	Si(OH)4 µmól/l	NO3 µmól/l	TM µmól/l	TP µmól/l	Bláðgr µg/l
	Breidd	Lengd											
1	64.1866	-21.9065	0.3	5.4	34.517	5.786	82.3	0.46	5.13	8.31	13.10	0.78	5.95
2	64.1895	-21.9143	0.3	5.3	34.5420	7.109	100.9	0.48	6.52	8.35	13.27	0.85	6.11
3	64.1924	-21.9221	0.3	5.3	34.4730	6.486	92.0	0.49	6.11	8.40	16.34	0.74	5.90
4	64.1948	-21.9308	0.3	5.3	34.4830	6.412	91.0	0.58	5.79	8.79	15.64	1.12	5.37
5	64.1972	-21.9395	0.3	5.4	34.5240	6.686	95.1	0.50	5.18	8.79	14.88	1.01	5.16
6	64.1956	-21.9029	0.3	5.3	34.5130	6.535	92.8	0.42	4.14	7.87	13.98	0.97	6.83
7	64.194	-21.9125	0.3	5.3	34.5130	5.846	83.0	0.44	4.64	8.12	13.34	0.98	6.94
8	64.1916	-21.9269	0.3	5.4	34.4710	6.245	88.8	0.47	5.53	8.43	13.39	1.04	6.49
9	64.1859	-21.9613	0.3	5.5	34.5180	6.478	92.4	0.48	4.89	8.19	12.70	0.93	6.01
10	64.1826	-21.9811	0.3	5.6	34.5010	7.401	105.8	0.68	7.42	10.03	15.59	1.15	3.77
11	64.181	-21.9907	0.3	5.5	34.4980	6.783	96.7	0.50	5.43	8.45	13.05	0.92	5.66
12	64.1794	-22.0003	0.3	5.7	34.6460	6.419	92.1	0.60	5.80	10.20	14.93	0.99	3.05
13	64.1778	-22.0099	0.3	5.7	34.6890	6.497	93.2	0.64	5.90	10.53	15.38	1.03	2.95
14	64.1853	-21.9938	0.3	5.7	34.5930	6.250	89.6	0.57	5.63	9.68	14.70	0.75	3.82
15	64.1832	-21.9923	0.3	5.7	34.6380	6.048	86.7	0.60	5.73	10.09	15.10	0.94	3.55
16	64.1789	-21.9891	0.3	5.6	34.6760	6.132	87.7	0.64	5.84	10.45	16.39	0.94	3.00
17	64.1768	-21.9875	0.3	5.6	34.5730	6.099	87.2	0.52	5.04	8.75	15.47	0.84	5.28

VIÐAUKI V

Gagnaskýrsla Hafrannsóknastofnunar fyrir 03/12/2011

Vöktun á viðtaka við Reykjavík- gagnaskýrsla eftir 4. sýnasöfnun

Sólveig R. Ólafsdóttir, Hafrannsóknastofnuninni, solveig@hafro.is

Alice Benoit-Cattin-Breton, Hafrannsóknastofnuninni, alice@hafro.is

Sýnum var safnað við yfirborð þann 3. desember 2011 á 17 stöðvum (1. mynd). Í sýnunum var mælt: selta, súrefni, níturat, fosfat, silíkat, heildar köfnunarefni og heildarfosfór og blaðgræna. Efnagreiningar fóru fram á Hafrannsóknastofnuninni í desember 2011 á öllum þáttum. Niðurstöður mælinga eru sýndar í töflu 1 og dreifing efnanna á myndum 2 – 10.

Aðferðir:

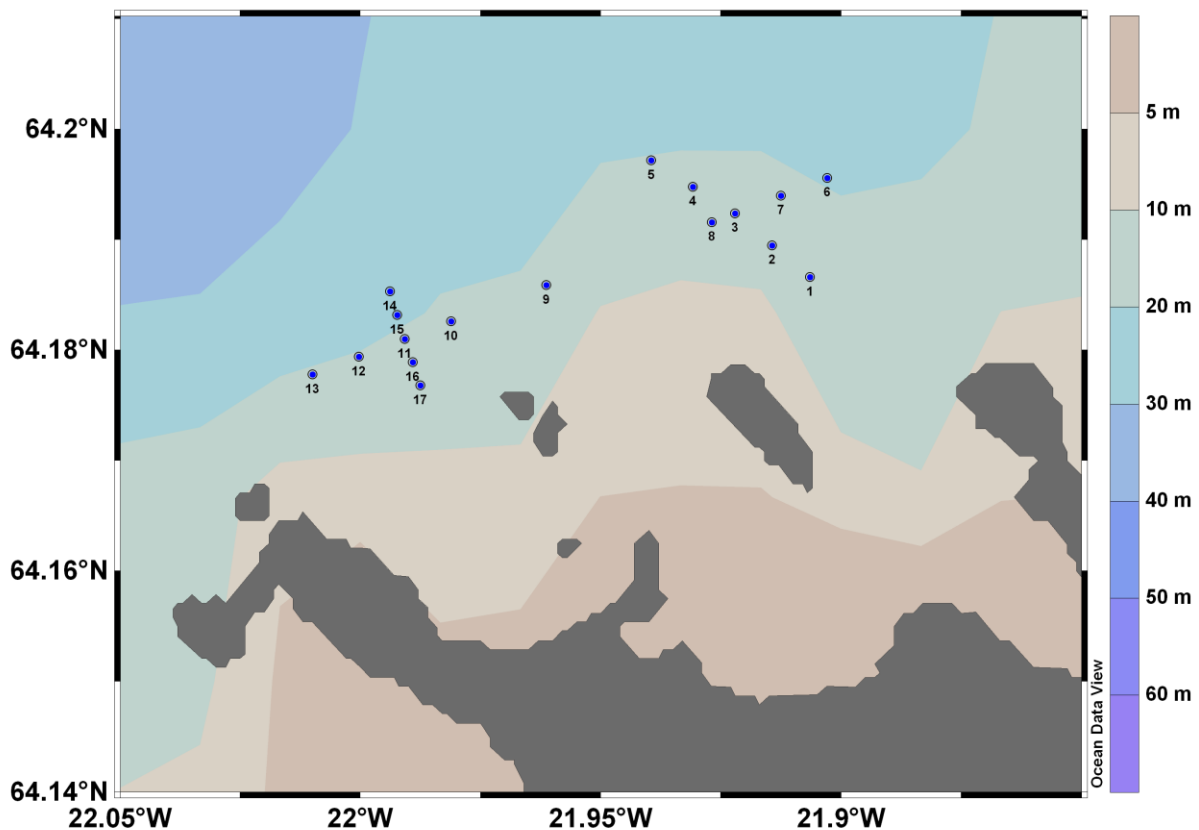
Selta: leiðnimæling

Súrefni: Winkler títrun

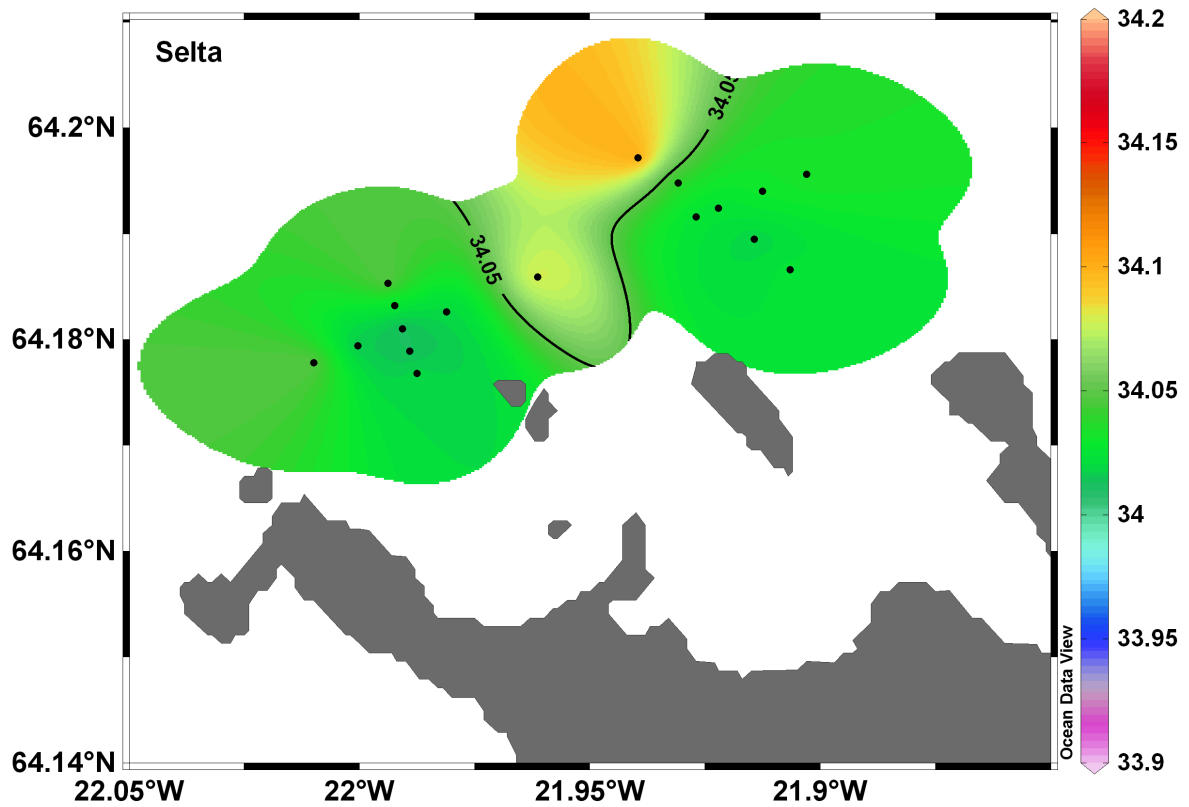
níturat, fosfat og silíkat: filtrun með 0,45 μ filter og ljósgleypnimæling

heildar köfnunarefni og heildarfosfór, TN og TP:, geislað með UV ljósi og síðan mælt sem níturat og fosfat

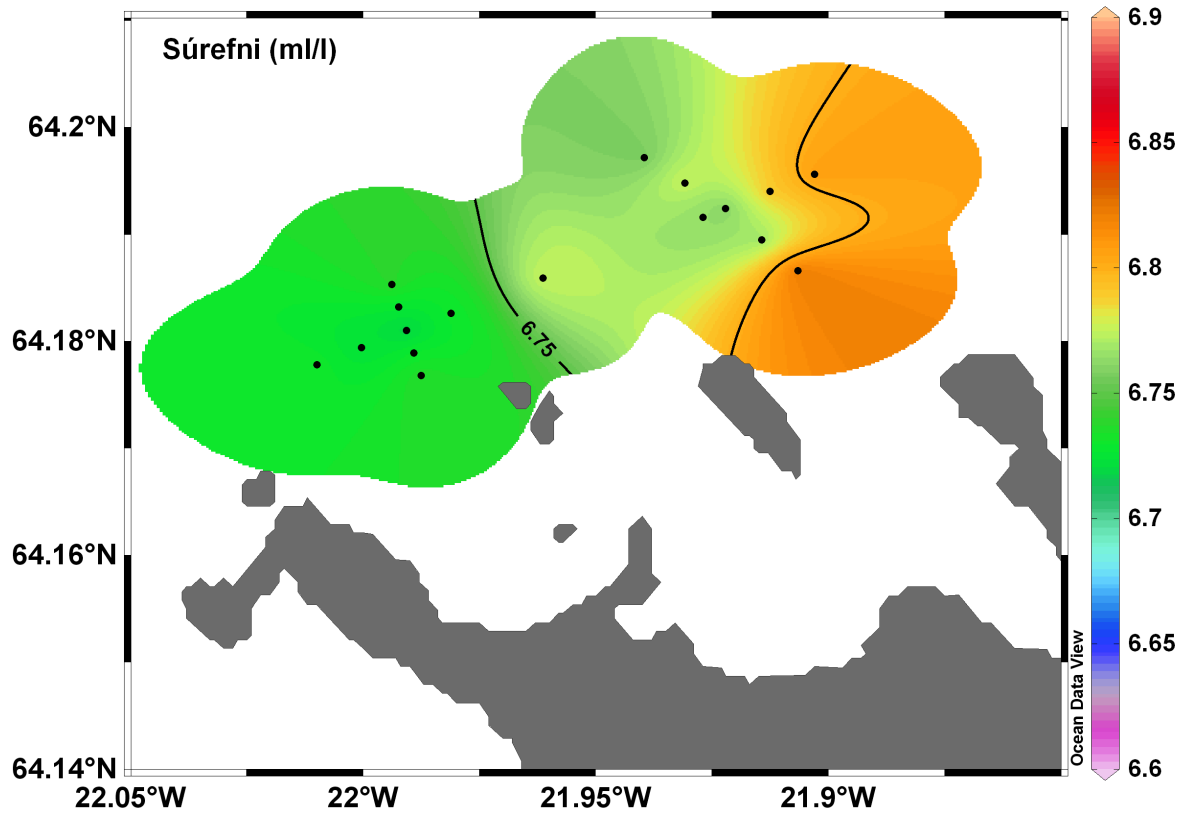
Blaðgræna: útdráttur með acetón og svo flúrljómunarmæling.



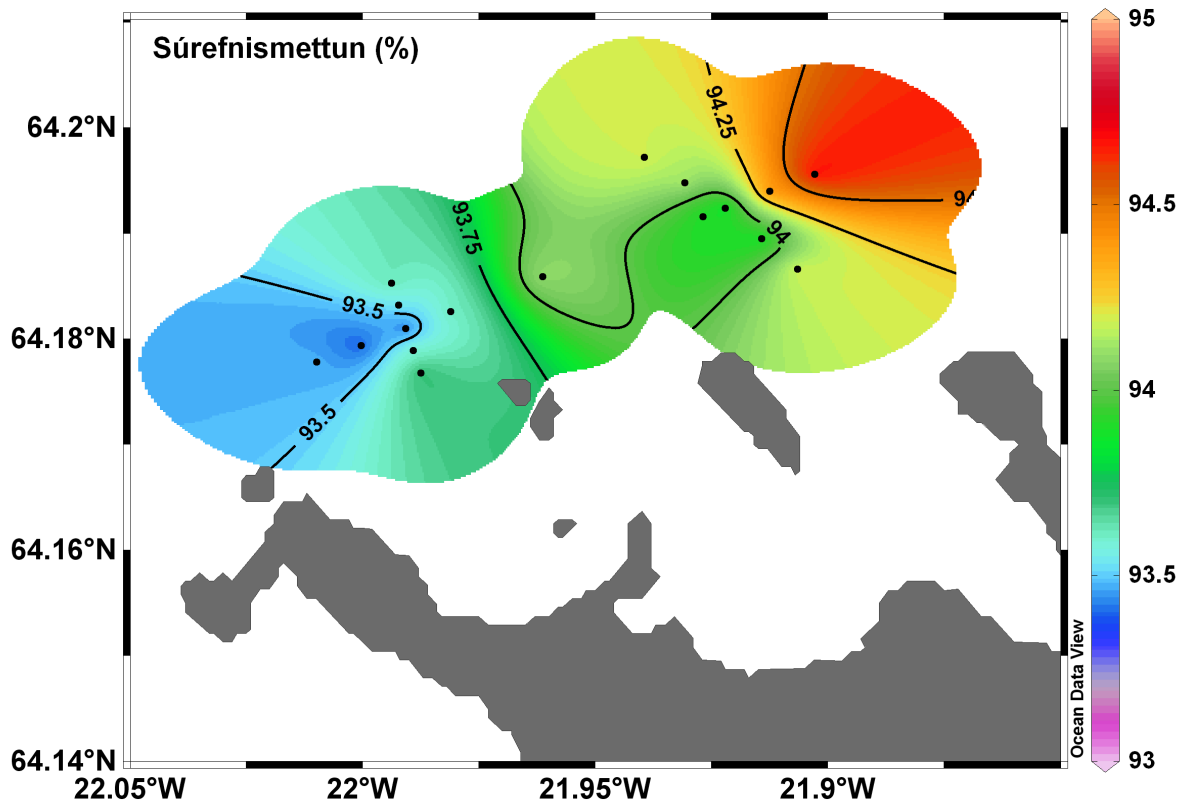
1. Mynd. Sýnatökustöðvar og númer þeirra.



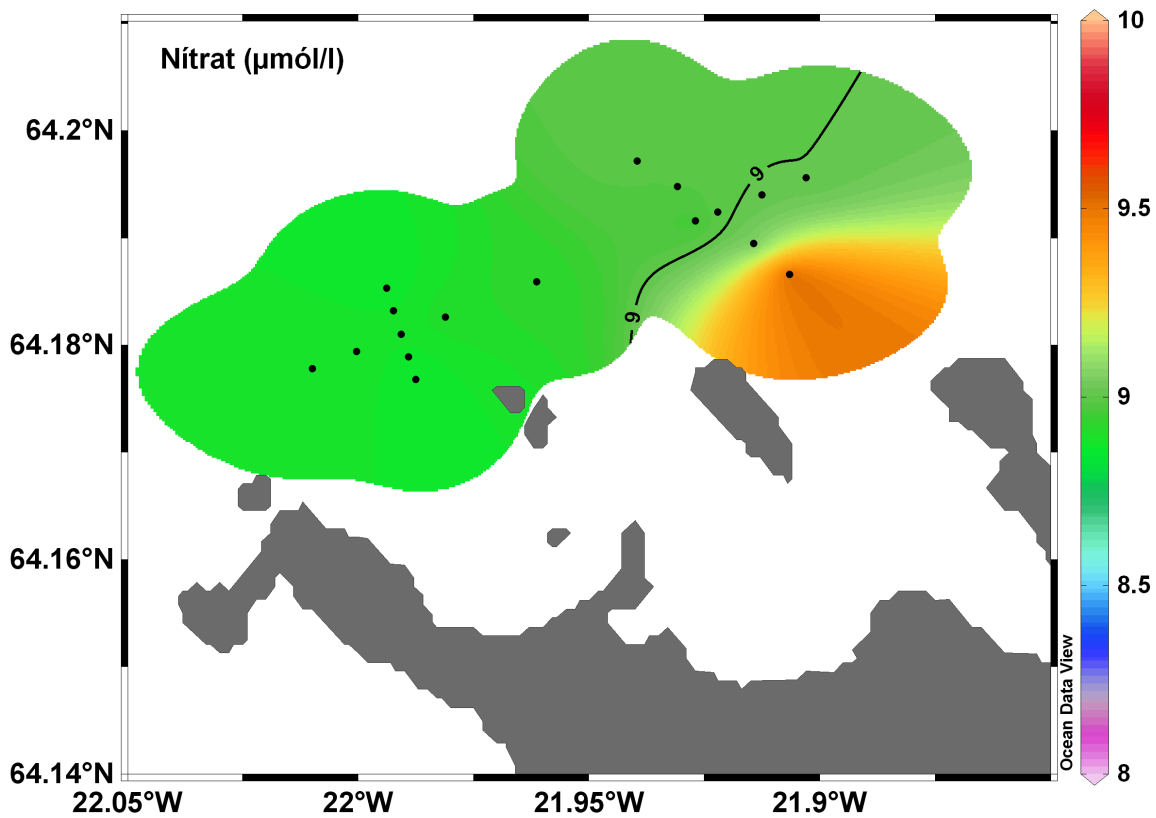
2. Mynd. Dreifing seltu við yfirborð þann 3. desember 2011.



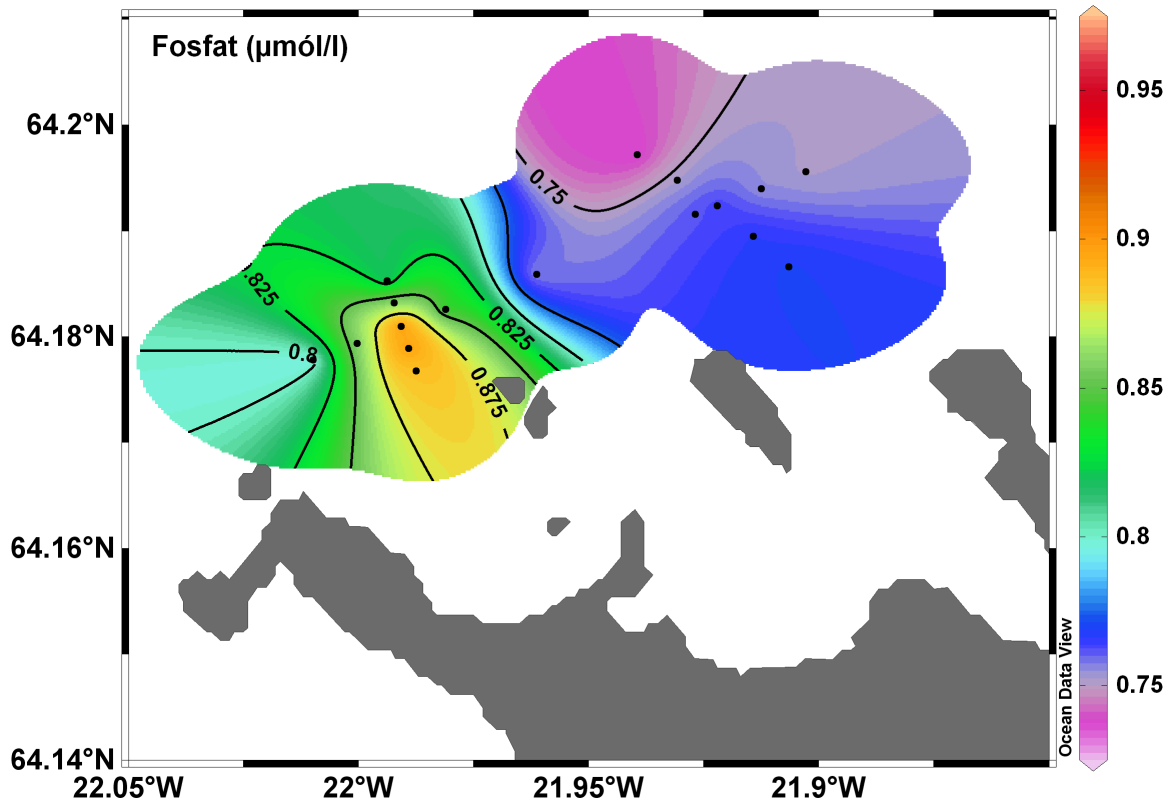
3. Mynd. Dreifing súrrefnis (ml/l) við yfirborð þann 3. desember 2011.



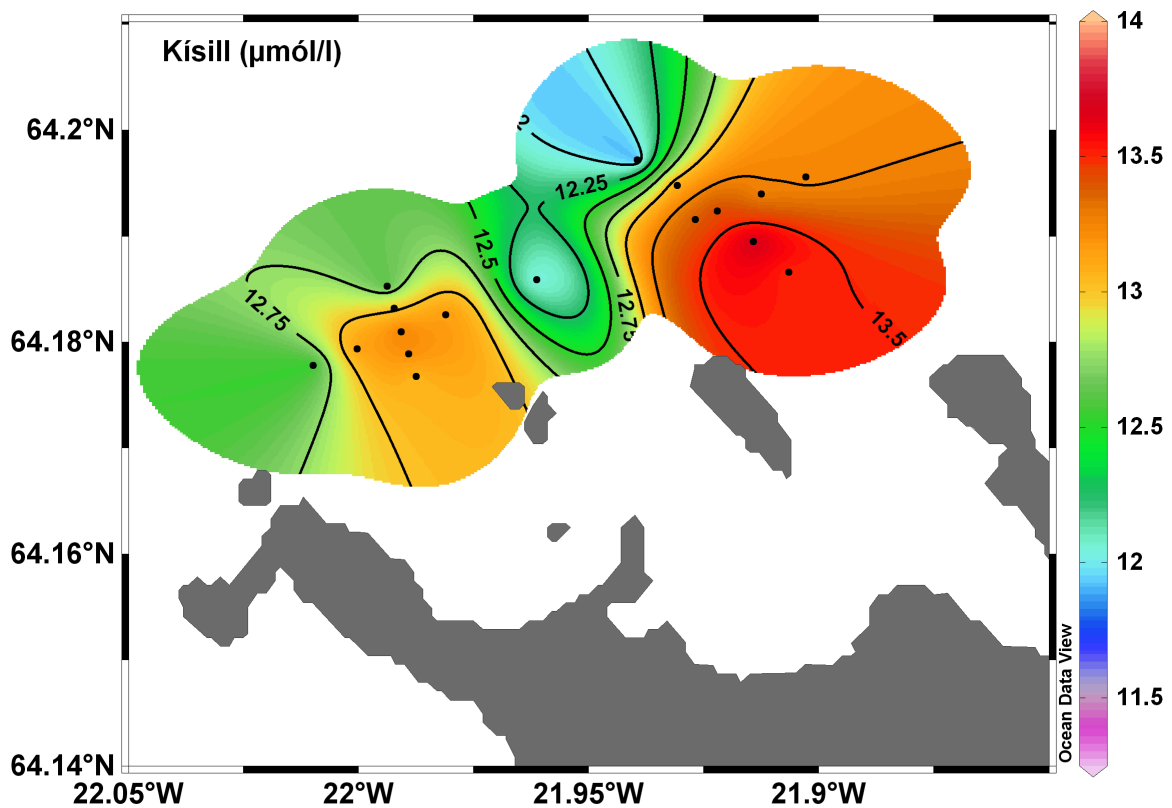
4. Mynd. Dreifing súrefnismettunar (%) við yfirborð þann 3. desember 2011.



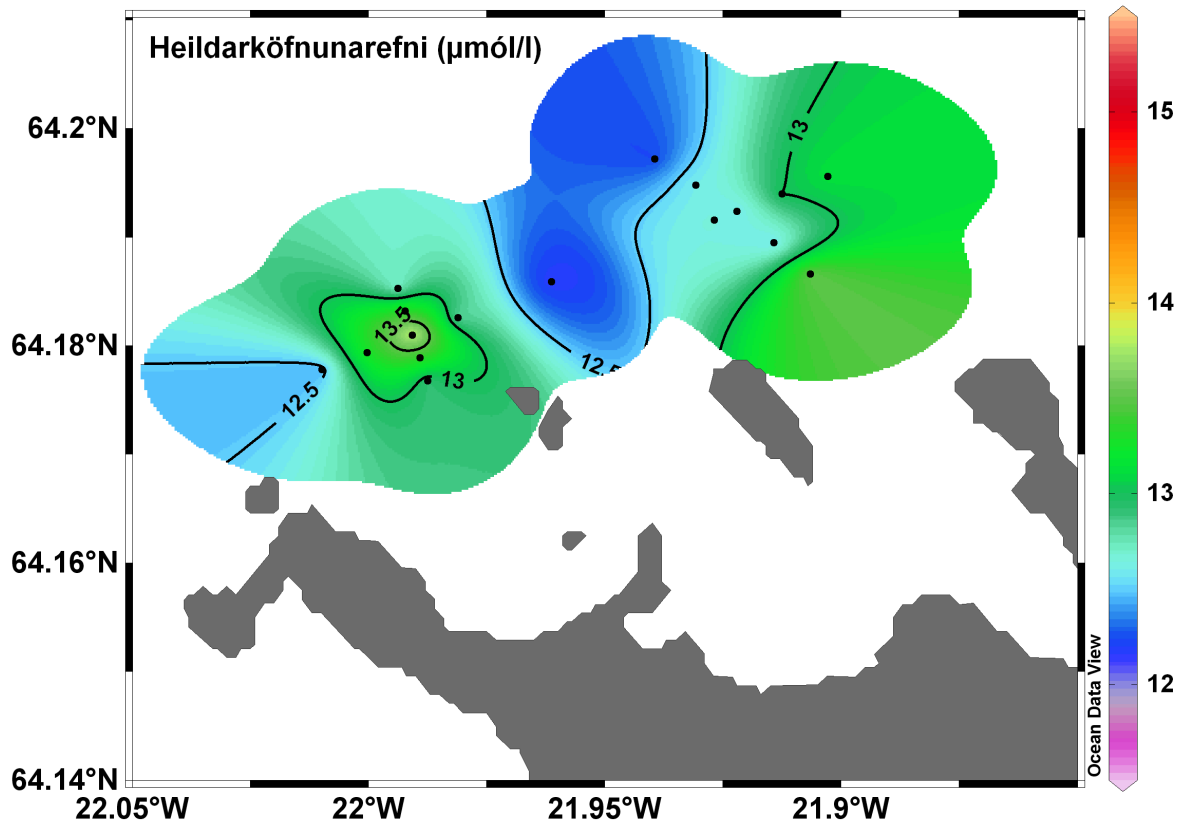
5. Mynd. Dreifing nítrats (μmól/l) við yfirborð þann 3. desember 2011.



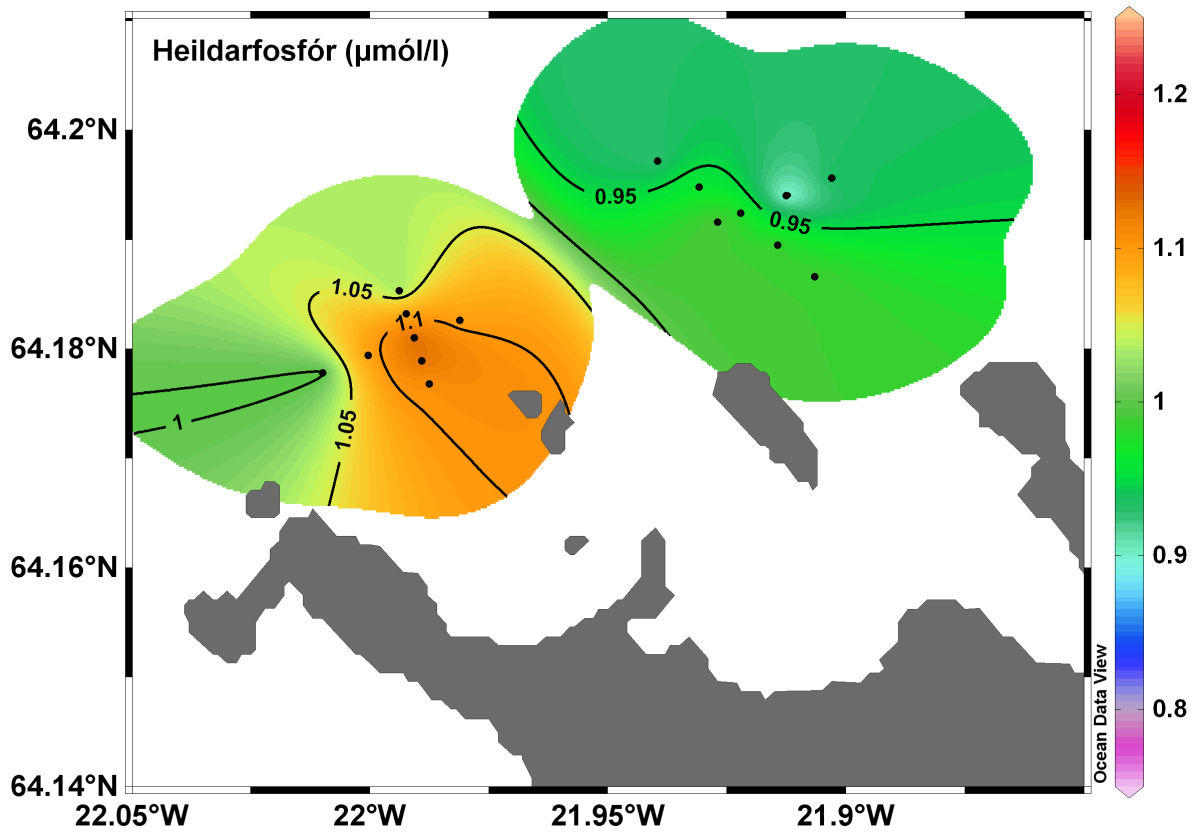
6. Mynd. Dreifing fosfats ($\mu\text{mól/l}$) við yfirborð þann 3. desember 2011.



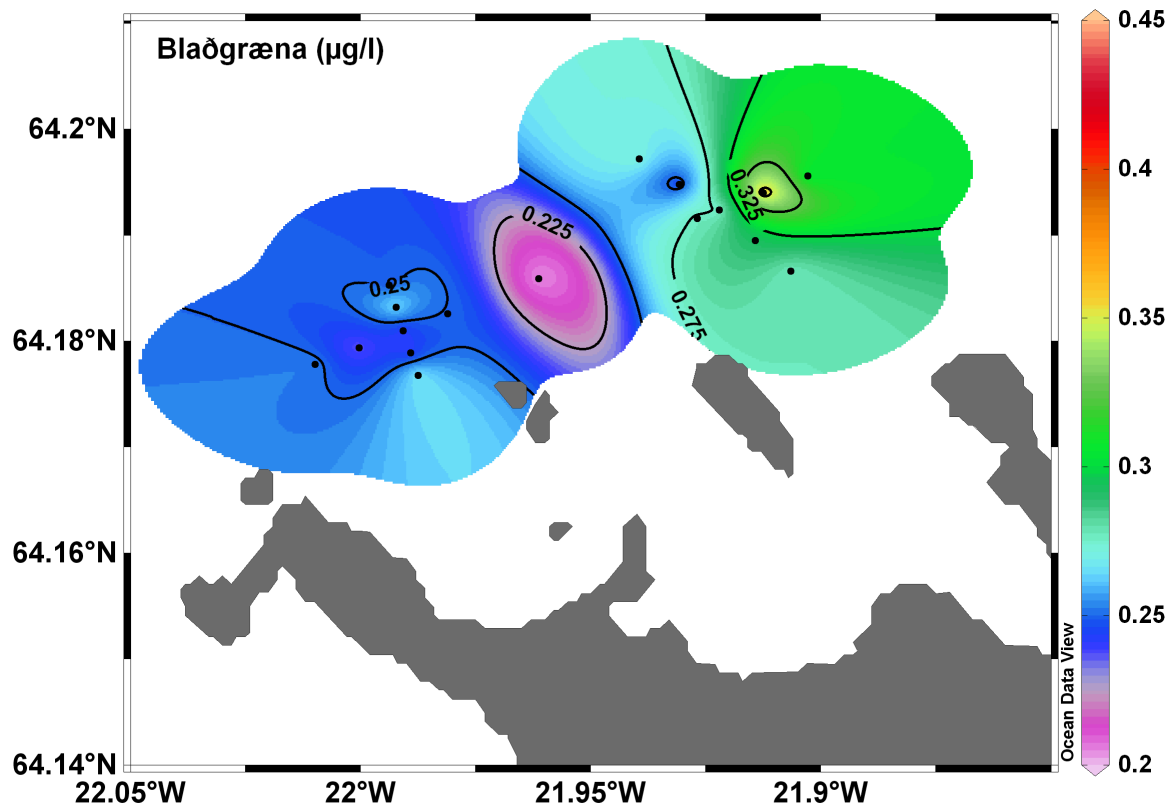
7. Mynd. Dreifing silikats ($\mu\text{mól/l}$) við yfirborð þann 3. desember 2011.



8. Mynd. Dreifing heildarköfnunarefnis ($\mu\text{mól/l}$) við yfirborð þann 3. desember 2011.



9. Mynd. Dreifing heildarfosfórs ($\mu\text{mól/l}$) við yfirborð þann 3. desember 2011.



10. Mynd. Dreifing blaðgrænu ($\mu\text{g/l}$) við yfirborð þann 3. desember 2011.

Tafla 1. Niðurstöður mælinga þann 3. desember 2011.

Stöð	Staðsetning		Dýpi m	Hiti °C	Selta	O2	O2 metnun	PO4	Si(OH)4	NO3	TN	TP	Bláðgræna
	Breidd	Lengd				ml/l	%	µmól/l	µmól/l	µmól/l	µmól/l	µmól/l	µg/l
1	64.1866	-21.9065	0.3	4.3	34.0257	6.841	94.3	0.77	13.45	9.69	13.85	0.99	0.27
2	64.1895	-21.9143	0.3	4.6	34.0112	6.751	93.7	0.77	13.95	8.97	12.21	1.01	0.29
3	64.1924	-21.9221	0.3	4.6	34.0194	6.742	93.6	0.77	13.53	9.01	12.34	1.00	0.24
4	64.1948	-21.9308	0.3	4.6	34.0298	6.787	94.2	0.75	13.22	8.99	12.66	0.96	0.21
5	64.1972	-21.9395	0.3	4.8	34.1237	6.750	94.2	0.73	11.43	8.99	12.07	0.91	0.28
6	64.1956	-21.9029	0.3	4.7	34.0358	6.815	94.8	0.75	13.20	8.99	13.19	0.96	0.28
7	64.1940	-21.9125	0.3	4.7	34.0319	6.801	94.6	0.75	13.14	9.00	13.28	0.79	0.44
8	64.1916	-21.9269	0.3	4.6	34.0202	6.763	93.9	0.76	13.39	8.89	12.74	1.03	0.29
9	64.1859	-21.9613	0.3	4.6	34.0831	6.778	94.1	0.75	11.93	8.92	12.11	NA	0.20
10	64.1826	-21.9811	0.3	4.7	34.0165	6.731	93.7	0.81	13.25	8.94	12.26	1.08	0.25
11	64.1810	-21.9907	0.3	4.7	33.9928	6.694	93.1	0.96	13.62	8.89	15.22	1.21	0.22
12	64.1794	-22.0003	0.3	4.6	34.0037	6.719	93.3	0.85	13.31	8.90	13.35	1.11	0.22
13	64.1778	-22.0099	0.3	4.6	34.0645	6.733	93.5	0.76	12.22	8.89	11.99	0.92	0.26
14	64.1853	-21.9938	0.3	4.6	34.0731	6.750	93.7	0.77	12.19	8.84	12.00	0.94	0.23
15	64.1832	-21.9923	0.3	4.7	34.0253	6.726	93.6	0.86	12.92	8.87	13.45	1.09	0.31
16	64.1789	-21.9891	0.3	4.7	34.0043	6.736	93.7	0.92	13.29	8.84	13.33	1.16	0.22
17	64.1768	-21.9875	0.3	4.7	34.0269	6.746	93.9	0.88	12.90	8.86	12.36	1.08	0.30