

NMÍ-skýrsla
Verknúmer 6EM18058:2

Könnun á efnapáttum í sjó við Straumsvík sumarið og haustið 2018

Guðjón Atli Auðunsson
Baldur Jón Vigfússon
Halldór Pálmar Halldórsson
Hermann Dreki Guls
Arnar Sveinbjörnsson
Apríl 2020



Efnisyfirlit

ÁGRIP	3
SUMMARY	3
INNGANGUR	4
SÝNATAKA OG SÝNAMEÐFERÐ	4
MÆLIÞÆTTIR OG AÐFERÐIR	5
NIÐURSTÖÐUR OG UMRÆÐA	6
NIÐURSTÖÐUR ÚR SÍRITUM (CTD)	6
<i>Hitastig</i>	6
<i>Súrefni</i>	8
<i>Selta</i>	9
NÆRINGAREFNI	10
<i>Kísill</i>	11
<i>Nítrat og nítrít</i>	11
<i>Fosfat</i>	12
<i>Ammoníak</i>	12
ÓLÍFRÆN SNEFILEFNI	13
<i>Járn</i>	14
<i>Mangan</i>	14
<i>Sýaníð</i>	14
<i>Kvikasilfur</i>	15
<i>Kadmín</i>	15
<i>Nikkel</i>	15
<i>Sink</i>	15
<i>Arsen</i>	15
<i>Kopar</i>	16
<i>Króm</i>	16
<i>Molybden</i>	17
<i>Barín</i>	17
<i>Vanadín</i>	18
<i>Flúor</i>	18
HEIMILDIR	20

Ágrip

Að ósk Rio-Tinto á Íslandi hf, - ISAL, Straumsvík, fór sumarið og haustið 2018 fram sýritun (með CTD-mælum) á seltu, hitastigi og súrefni undan kerbrotagryfjunum og um haustið fór fram sýnataka til efnagreininga efnabátta á sjósýnum framan við kerbrotagryfjur.

Sjósýni voru tekin á 8 stöðvum framan við kerbrotagryfjur, sömu stöðvum og kræklingasýni. Viðmiðunarsýni var tekið um 3 km vestan við Straumsvík. Sjósýnin voru tekin bæði á 1 og 5 dýpi. Síritar voru á 1 m dýpi til enda og í miðju sýnatökusniðsins.

Niðurstöður sírita á seltu, hitastigi og súrefni sýndu dæmigerða hegðun er varðar hitastig og súrefni í strandsjó á þessum árstíma. Seltumælingarnar sýna mikla ákomu ferskvatns á svæðið en þetta ferskvatn kemur undan hrauninu á svæðinu en ekkert vatn rennur af Reykjanesi á yfirborði.

Í sjósýnunum var mæld selta auk næringarefnanna kísill, fosfat, nítat+nítrít og ammoníak. Eftirtalin ólífræn snefilefni voru mæld: frítt sýaníð og heildarsýaníð, Fe, Si, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, P, Zn, As, og V.

Niðurstöður mælinga á næringarefnum eru almennt í samræmi við það sem búast má við á þessum árstíma og við þau náttúrulegu skilyrði sem ríkja í sjónum undan álverinu. Hins vegar gefa gögnin til kynna uppsprettur á nítati+nítríti, fosfati og ammoníaki. Af ólífrænu snefilefnunum var unnt að greina áhrif losunar á flúor, króm, kopar, nikkell og sink. Greina má áhrif á styrk sinks, flúors, króms og nikkels en þau eru tiltölulega lítil. Mjög greinileg og veruleg áhrif eru á styrk kopars.

Summary

At the request of Rio-Tinto á Íslandi, - ISAL, Straumsvík, continuous recording (by CTDs) of salinity, temperature and oxygen took place during summer and autumn of 2018 in front of the pits of spent pot linings as well as sampling of seawater for the analysis of chemical constituent in the autumn.

The seawater samples were taken at eight stations in front of the pits, same stations as the caged mussels. A reference samples was taken further away or about 3 km west of the spent pot linings. The CTDs were deployed at 1 m depths at the ends and in the middle of the sampling sector.

Results from the CTDs revealed typical behaviour of temperature and oxygen in coastal waters at this season. Salinity recordings show substantial effects of freshwater input at the site. The freshwater runs from underneath the lava of the site but no surfacial water runs off the Reykjanes peninsula.

The seawater samples were analysed for salinity and the dissolved nutrients silica, phosphate, nitrate+nitrite, and ammonia. The following dissolved trace constituents were also analysed: free cyanide and total cyanide, Fe, Si, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, P, Zn, As, and V.

The results for the nutrients reveals levels and behaviour that is characteristic at this season and the natural conditions that prevail in the seawater in front of the aluminium smelter. However, the data indicate sources of nitrate+nitrite, phosphate, and ammonia. For the trace elements, effects could be discerned for fluoride, chromium, copper, nickel, and zinc. The effects on zinc, fluoride, chromium, and nickel could be detected but they were small. Conspicuous and substantial effects were seen for copper.

Inngangur

Að ósk Rio-Tinto á Íslandi hf, - ISAL, Straumsvík, fór sumarið og haustið 2018 fram siritun á seltu, hitastigi, súrefni og þrýstingi undan kerbrotagryfjunum frá miðjum júlí til fyrstu viku október. Um haustið (fyrstu viku október) fór fram sýnataka til efnagreininga efnabátta á sjósýnum við kerbrotagryfjurnar. Þetta sumar og haust fór einnig fram rannsókn á efnabáttum í seti og rannsókn á kræklingi í búrum og af fjöru (miður júlí til fyrstu viku október). Þessi skýrsla gerir grein fyrir niðurstöðum rannsókna á sjó.

Sýnataka og sýnameðferð

Þann 13. júlí 2018 var siritum komið fyrir á þremur stöðvum, sjá töflu 1 og mynd 1. Stöðvarnar voru valdar m.t.t. kræklingabúra og voru staðsettir í miðju lagnanna og við ystu lagnirnar. Um er að ræða CTD-síríta¹ af gerðinni MicroCAT (SBE 37-SI) frá Sea-Bird Scientific, sem voru útbúnir með súrefnisnemum, leiðnimælum (selta), hitamælum og þrýstingsmælum (dýpi). Efnagreiningadeild NMÍ fékk mæla að láni hjá Vegagerðinni en Héðinn Valdimarsson, hafeðlisfræðingur, hjá Hafrannsóknastofnun og Jacek Silwinski hjá sömu stofnun önnuðust undirbúning mællanna fyrir sýnatökur og endurheimt á gögnum þeirra í lok sýnatökutímabilsins. Mælarnir voru hafðir á 1 m dýpi frá yfirborði (staðfest af þrýstingsmælingum sírita), sama dýpi og kræklingabúr. Mælitíðnin var valin 10 mínútur, þ.e. aflestur á 10 mínútna fresti. Sírítarnir voru teknir upp um leið og kræklingabúr og sjósýni voru tekin eða 07/10/2020.

Þann 7. október voru tekin sjósýni á sömu stöðvum og kræklingabúr, sjá töflu 1 og mynd 1. Sýnin voru tekin með Ruttner sjósýnataka frá KC Denmark (3 L) í vörslu Efnagreiningadeildar NMÍ. Sýnin voru tekin á tveimur dýpum á hverri stöð, annars vegar á 1 m dýpi (sama og síritar og kræklingur) og hins vegar á 5 m dýpi. Sýnum var komið fyrir í glerflöskum útbúnum sérstaklega fyrir þessar mælingar af starfsmönnum Efnagreiningadeildar NMÍ en komin á NMÍ voru sýni síuð og skipt niður á ílát til hinna ýmsu mælinga og mæliaðila, sjá að neðan.

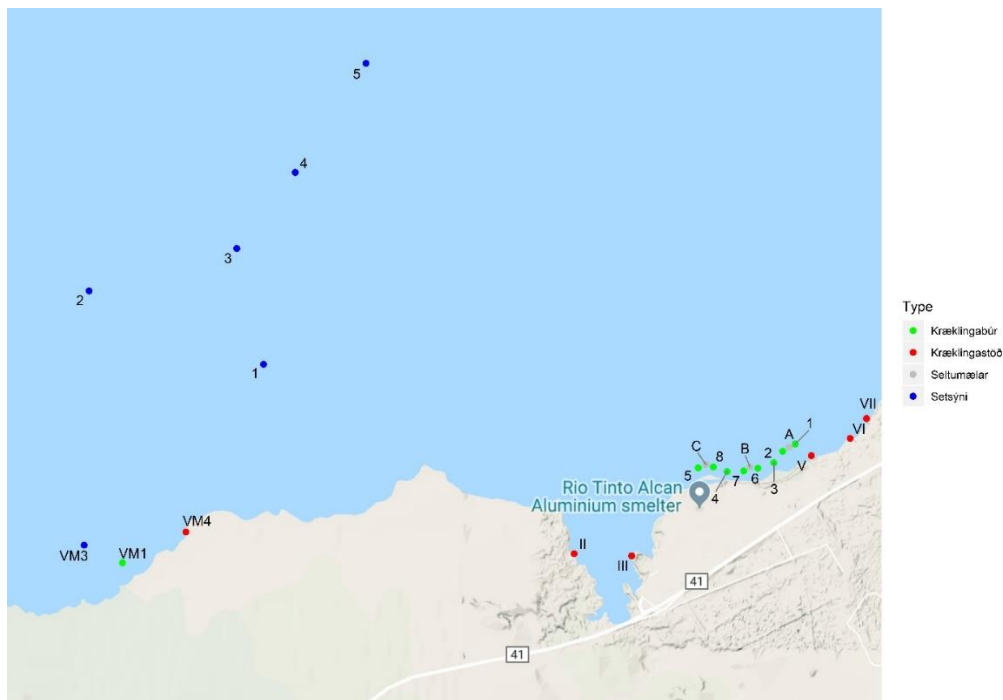
Sjóferðir og sýnatökur fóru fram á Sæmundi fróða RE 32, báti Rannsóknaseturs Háskóla Íslands á Suðurnesjum. Halldór Pálmar Halldórsson og Hermann Dreki Guls sáu um undirbúning sjóferða og framkvæmd sýnatöku.

Tafla 1 Sýnatökustöðvar sjósýna og sírita.

Table 1 Sampling stations for the seawater samples and CTDs.

Sjósýni	Baughnit (WGS84)	Dýpi (m)
1	64°03.001' 22°01.226'	8
2	64°02.977' 22°01.320'	8
3	64°02.940' 22°01.386'	8
4	64°02.911' 22°01.735'	8
5	64°02.923' 22°01.951'	8
6	64°02.922' 22°01.506'	8
7	64°02.913' 22°01.611'	8
8	64°02.926' 22°01.838'	8
9 (viðmið 1)	64°02.613' 22°06.253'	8
Seltumælar		
1 (A á mynd 1)	64°02.990' 22°01.272'	8
2 (B á mynd 1)	64°02.926' 22°01.565'	8
3 (C á mynd 1)	64°02.934' 22°01.893'	8

¹ CTD stendur fyrir conductivity, temperature og depth (dýpi mælt sem þrýstingur).



Mynd 1 Sýnatökustöðvar sjósýna (1-8; grænir punktar) og seltumæla (A, B og C; gráir punktar). Viðmiðun, stöð 9, er á VM1.

Figure 1 Sampling stations of seawater (1-8; green dots) and CTDs (A, B, and C; grey dots). Reference station, station 9, marked as VM1.

Mæliþættir og aðferðir

Í sjósýnunum voru mæld selta og uppleystu næringarefni níturat+nítrít, fosfat og ammóníum með litrófsgreiningum á Hafrannsóknastofnun, sem einnig sá um síun fyrir þessar mælingar (Nuclepore 0,45 μm). Mælingarnar á næringarefnum voru í umsjón efnafræðinganna Sólveigar R. Ólafsdóttur og Alice Benoit-Cattin en gæðaeftirliti er m.a. sinnt með þátttöku í Quasimeme. Seltan var mæld á sömu stofnun í umsjón Magnúsar Danielsen. Þar eð ekki var unnt að mæla sýnin strax við komu á Hafrannsóknastofnun var selta aðeins mæld með þremur markverðum stöfum.

Flúor var mældur í síuðum sýnum af sjó á Efnagreiningadeild NMÍ þar sem beitt var örsveimsaðferð og flúorsérkvæðu rafskauti. Heimtur voru metnar með staðalviðbótum.

Mælingar á sýniði (fríu og heild) fóru fram hjá undirverktaka ALS Scandinavia AB, Svíþjóð, í ósíuðum sýnum (gerð basísk fyrir geymslu og flutning), faggiltar litrófsgreiningar skv. CSN 75 7415 og CSN EN ISO 14403-2 (Na Harfê 9/336, 190 00, Prag 9, Tékklandi).

Fyrir ólífræn snefilefni voru sýni síuð (Nuclepore 0,45 μm) og sýrð (HNO_3) og síðan mæld án frekari sýnavinnslu hjá ALS Scandinavia AB, Aurorum 10, 977 75 Luleå, Svíþjóð, skv. aðferðum EPA-method 200.7(mod), SS EN ISO 11885(mod) (ICP-AES), og EPA-method 200.8(mod), SS EN ISO 17294-1,2(mod) (ICP-SFMS). Hg var mælt með AFS skv. SS-EN ISO 17852:2008. Aðferðir ALS Scandinavia eru faggiltar.

Eftirfarandi 16 ólífræn snefilefni voru mæld: Fe, Si, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, P, Zn, As, og V.

Blý (Pb) var einnig mælt en mjög sterkar líkur bentu til að sýnin hafi mengast við sýnatöku, þ.e. sýnatakinn sem notaður var, hentar ekki til sýnatöku á sjó fyrir blýmælingar. Blýniðurstöður reyndust því ónothæfar.

Niðurstöður og umræða

Gera má ráð fyrir talsverðum ferskvatnsáhrifum á sérstaklega 1 m dýpi (Svend-Aage Malmberg 1989; Jón Ólafsson 1996). Um er að ræða vatn undan hrauninu á Reykjanesi en ekkert afrennsli er af Reykjanesinu á yfirborði utan tveggja lækja í Krýsuvík (Freysteinn Sigurðsson 1986). Heildarrennsli ferskvatns frá Reykjanesi er talið 30-70 m³/s en á Straumsvíkursvæðinu er álitid að ferskvatnsstraumurinn sé > 5 m³/s en vatnið er saltblandað því sjór á greiða leið inn í hraunið og gætir seltu vegna sjávarfalla nokkur hundruð metra inn í landið á sumum svæðum (Freysteinn Sigurðsson 1986). Á flóði getur hægt á ferskvatnsrennslinu, flóðið stíflar það (Freysteinn Sigurðsson 1998). Seinna mat Freysteins Sigurðssonar á rennslinu á Straumsvíkursvæðinu reyndist 8-14 m³/s (Freysteinn Sigurðsson 1998). Rennslið vex í Hraunavík frá Hvaleyrarhöfða að nesinu vestan Straumsvíkur, samtals 6-15 m³/s, og undan álverinu sjálfu falla líklega 1 m³/s eða meira og í Straumsvíkina sjálfa um 5 m³/s (Freysteinn Sigurðsson 1998). Vestan Straumsvíkur hefur hitastig þessa rennslis verið mælt 6-8°C, hugsanlega með rætur í afrennsli frá jarðhitasvæðinu við Trölladyngju (Freysteinn Sigurðsson 1986). Efnasamsetning þessa vatns endurspeglar samspil ofankomu og víxlverkun þess við bergið í hrauninum og þannig má t.d. búast við að kísill (Si) sé um 7 mg/L í þessu ferskvatni (Freysteinn Sigurðsson 1986), sem er helmingur styrks kísils í Þingvallavatni, Þjórsá, Ölfusá og Sogi (Eydís Salome Eiríksdóttir og Sigurður Reynir Gíslason 2009; Sigurður Reynir Gíslason o. fl. 2006).

Þegar út í sjó er komið flyst ferskvatnið með straumum sjávar en nettóstraumar undan álverinu eru frá vestri til austurs (Svend-Aage Malmberg 1989) og má sjá á gögnum, sem Vegagerðin safnar skv. líkani, að rekstraumurinn er til NA framan við álverið. Veður og vindar hafa einnig áhrif á flutning ferskvatns og efna þegar í sjó er komið.

Niðurstöður úr síritum (CTD)

Hitastig

Mynd 2 sýnir að hitastig mælist nánast eins á öllum þremur stöðvunum eins og við var að búast.

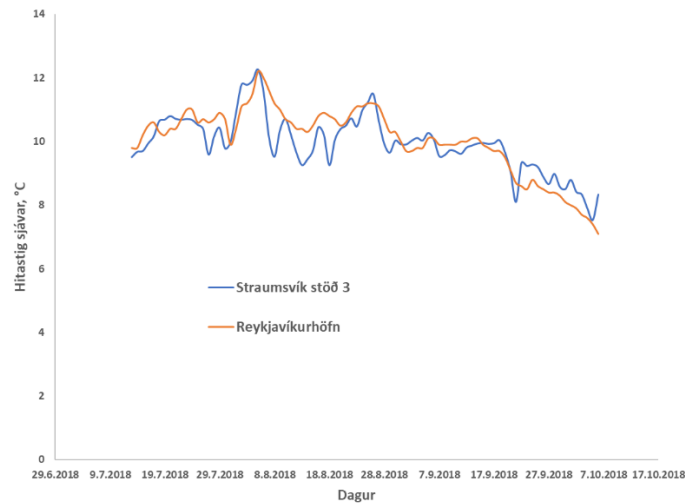


Mynd 2 Sjávarhiti á mælistöðvum þremur (13/07/2018-07/10/2018).

Figure 2 Seawater temperature at the three stations (13/07/2018-07/10/2018).

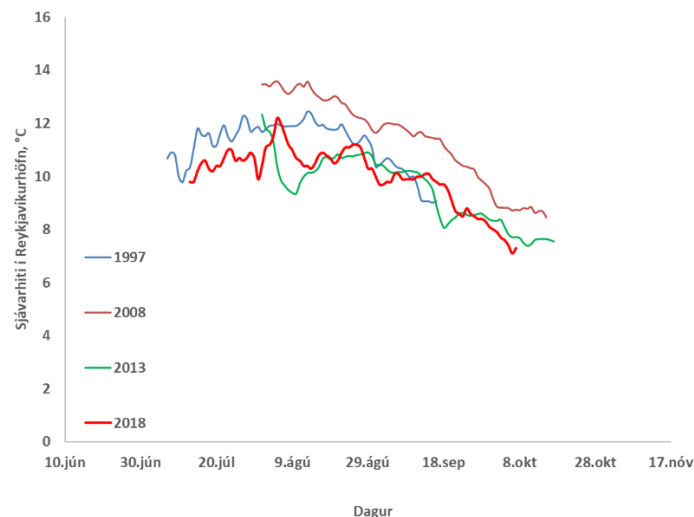
Í fyrri rannsóknum á kræklingi hefur verið miðað við hitastig í Reykjavíkurhöfn til mats á sjávarhita undan álverinu (Guðjón Atli Auðunsson 2014). Á mynd 3 má sjá sjávarhita á stöð 3 í þessari rannsókn samanborinn við hitastig í Reykjavíkurhöfn á sama tíma (heimasíða Hafrannsóknastofnunar) þar sem um sólarhringsmeðaltöl er að ræða í báðum tilvikum. Þer þessum mælingum vel saman (línuleg aðhvarfslína gefur hallatöluna 1,01 og $r^2=0,73$). Ferskvatnið undan hrauninu hefur því lítil áhrif enda hitastig þess litlu lægra en sjávarins á þessu tímabili, sjá að ofan.

Sjá má að hitastig lækkar þegar á líður sumarið og fram á haustið eins og fyrri ár og svipar hitastigið 2018 því sem var að sjá í rannsókninni 2013, - mynd 4 sýnir sjávarhitastig Reykjavíkurhafnar yfir tímabil allra kræklingss- rannsókna við Straumsvík (gögn af heimasíðu Hafrannsóknastofnunar) utan 2003 en fyrir það ár eru ekki til gögn.



Mynd 3 Sjávarhiti í Reykjavíkurhöfn og stöð 3.

Figure 3 Seawater temperature at Reykjavík harbour and station 3.

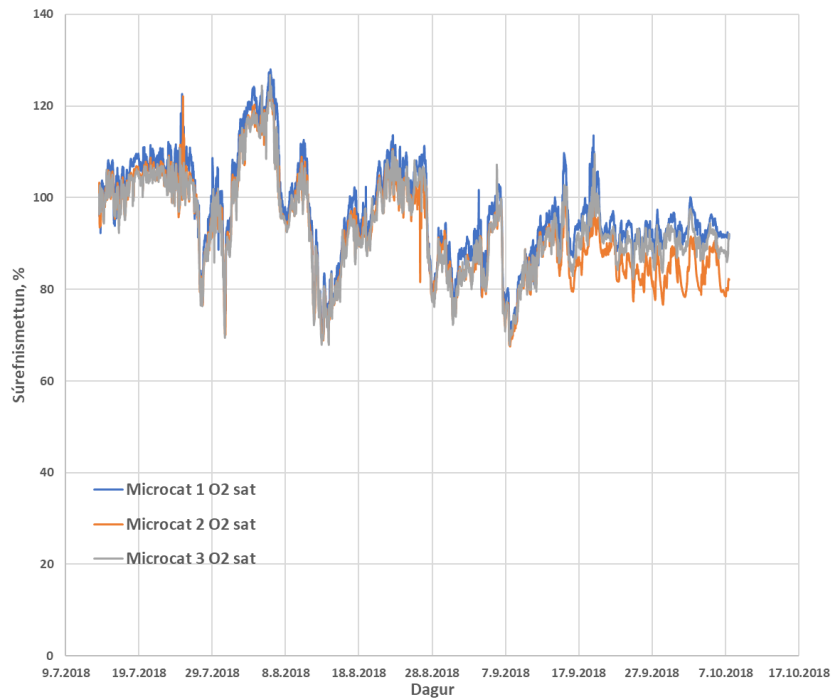


Mynd 4 Sjávarhiti í Reykjavíkurhöfn árána sem kræklingssrannsóknir hafa farið fram undan álverinu (utan 2003) (tímabil rannsókna koma fram á hverjum ferli).

Figure 4 Seawater temperature in Reykjavík harbour the years mussels have been used for monitoring at the aluminium smelter (except for 2003) (periods of the studies appear for each year).

Súrefni

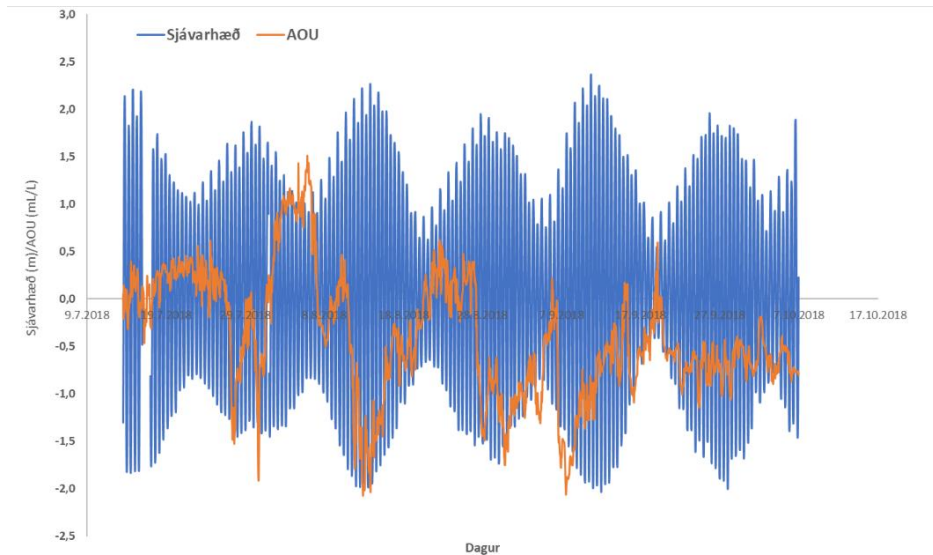
Mynd 5 sýnir súrefnismettun á stöðvunum. Stöðvarnar sýna sömu hegðun en miðjustöðin (stöð 2) hefur nokkuð og marktækt lægri mettnun en hinar stöðvarnar, einkum þó stöð 1. Sjá má nokkra lækknun mettnunar er líður á tímabilið eins og hitastigið og kemur það til af því að ljóstillífun hækkar mettnunina yfir 100 % að sumrinu (og þegar hlýrra er) en súrefnismettun lækkar er líður á haustið þegar sundrun lífrænna leifa tekur við. Norsk viðmiðunarmörk kveða á um að sé súrefnismettunin yfir 65 % þá sé ástand sjávarins mjög gott, fyrsti flokkur (Molvær *et al.* 1997), en eins og mynd 5 sýnir verður súrefnismettun aldrei svo lág (5 % hundraðsmörkin eru 79,1 %, 76,9 % og 76,7 % fyrir stöðvar 1, 2 og 3).



Mynd 5 Súrefnismettun á stöðvunum þremur.

Figure 5 Oxygen saturation at the three stations.

Allnokkur en reglubundinn breytileiki er á súrefnismettuninni fram í miðjan september. Við samanburð á súrefnismettun og sjávarhæð, mynd 6, kemur í ljós að súrefnismettunin er lægst þegar sjávarhæð er nálægt hástreymi og hæst við lágstreymi fyrir utan síðustu bylgjuna í september (gögn um sjávarhæð í Straumsvík af heimasíðu Vegagerðarinnar). AOU er notað hér í stað súrefnismettunar til að sjávarhæð og súrefni lendi á sömu stærð tölugilda. AOU stendur fyrir apparent oxygen utilisation, sýndarnotkun súrefnis, sem er skyld súrefnismettun (hlutfall mælds súrefnis deilt með jafnvægisstyrk (leysni) súrefnis við gefna seltu og hitastig) en AOU er mismunur á mældu súrefni og jafnvægisstyrks súrefnis við gefna seltu og hitastig. Eining AOU er mL/L eða rúmmál súrefnis við staðalaðstæður í lítra af sjó (0°C og 1 loftþyngd). Ástæða þessarar öfugu fylgni sjávarhæðar og súrefnis er sú að við stórstreymi eru líkur á að lífrænar leifar af botni þyrlist upp í efsta 1 m vatnssúlunnar (minna dýpi og meiri straumhraði við mikinn munur í sjávarhæð). Ástæða annarrar hegðunar seinni hluta september, þ.e. ekki einn neikvæður toppur í súrefni heldur jafnt og lágt AOU, er líklega sú að vindar verða þá meiri og tíðari (gögn af vef Veðurstofu Íslands) og ölduhæð við Garðskaga vex verulega (gögn af vef Vegagerðarinnar) en í báðum tilvikum verður uppblöndun á allri vatnssúlunni tíð, sem bætist við áhrif sjávarhæðar í meira mæli en fyrri skipti sumarsins. Á stöð 3 má t.d. sjá að súrefnismettun lækkar marktækt (línulega) með auknum vindhraða (í Reykjavík) á öllu tímabilinu (sóláhringsmeðaltöl; $r^2=0,148$; $n=80$), - ekki þarf að vera um orsakasamband að ræða.

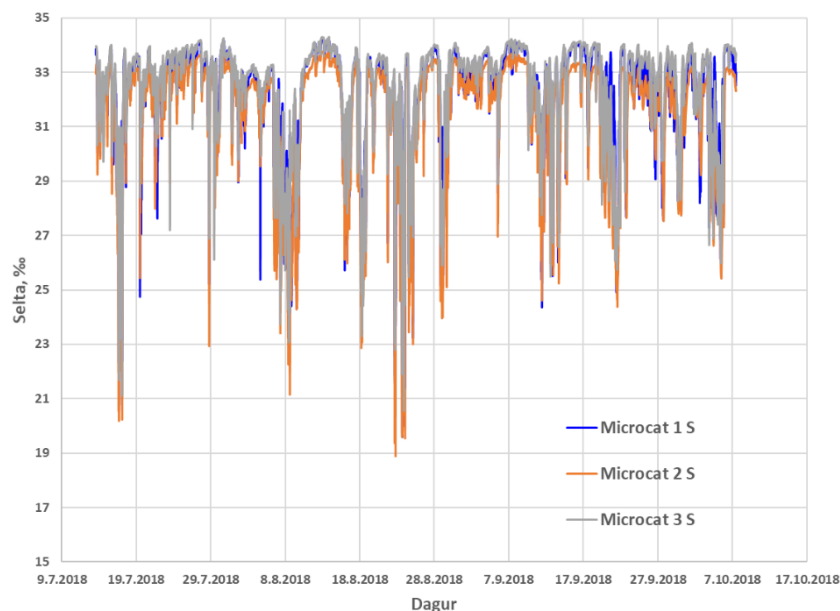


Mynd 6 Sýndarnotkun súrefnis (AOU) á stöð 3 og sjávarhæð við Straumsvík á rannsóknartímabili.

Figure 6 Apparent oxygen utilisation (AOU) at station 3 and sea level height at Straumsvík during the investigation period.

Selta

Á mynd 7 má sjá hegðun seltu á 1 m dýpi og er mjög mikil sveifla í ferskvatnsinnstreymi augljós eins og við mátti búast sbr. umræðu hér að ofan. Hegðun allra stöðvanna er mjög áþekkt. Seltan sveiflast frá því að vera eingöngu sjór (99 % hundraðsmark 34,13 ‰; max=34,3 ‰) í 24,70 ‰ (1 % hundraðsmark; min=18,9 ‰) (n=37119)². Þetta þýðir að við minnstu seltuna er ferskvatnið u.þ.b. 45 % af sjósýninu sem mælt var.



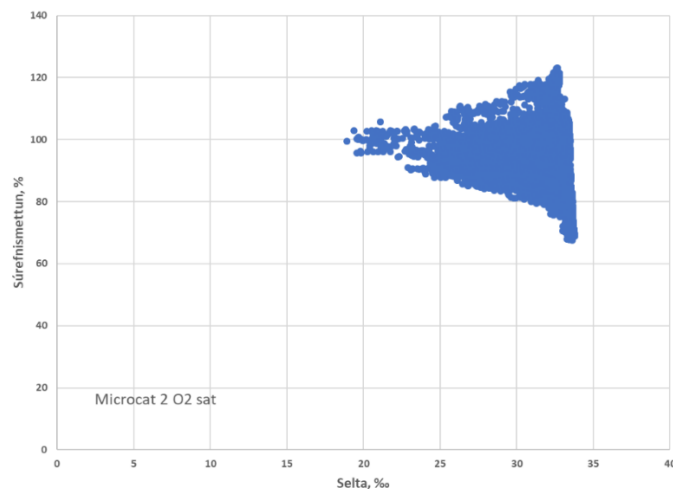
Mynd 7 Selta á stöðvunum þremur á 1 m dýpi.

Figure 7 Salinity at the three stations 1 m below surface.

² Í raun er einingin á seltu ekki ‰ heldur er um einingarlöusan s.k. Practical Salinity Scale (PSS78) að ræða, sem byggir á leiðnimælingum í stað efnamælinga áður (CI).

Þessi mikli breytileiki í seltunni hefur mikil áhrif á styrk efna í sjósýnum en styrkur þeirra getur verið mjög mismunandi í annars vegar ferskvatni og hins vegar sjó, sjá að neðan. Af þessum sökum er mjög mikilvægt að mæld sé selta í þeim sýnum sem tekin eru til mats á styrk efna í sjónum undan álverinu (og reyndar öllum sjó, einkum strandsjó). Af sömu ástæðu er mikilvægt að þekkja þann sjó m.t.t. að minnsta kosti seltu þegar kræklingur er notaður til að mats á mengun því auk árfa á styrk snefilefnanna hefur seltan áhrif á viðgang kræklingins sem lífveru og efnaform og hegðun margra þeirra efna sem eru til skoðunar og þ.a.l. upptökumætti í kræklinginn.

Að lokum má líta á samband súrefnismettunar og seltu, mynd 8, sem sýnir að mesti breytileiki í súrefni er við hæstu seltuna (nær eingöngu sjór) og að inn kemur sjóblandað ferskvatn með jafna og um 100 % súrefnismettun.



Mynd 8 Samband súrefnismettunar og seltu á 1 m dýpi á stöð 2.

Figure 8 Relationship between oxygen saturation and salinity 1 m below surface at station 2.

Næringarefni

Tafla 2 sýnir seltu og næringarefni í sýnunum 18 sem tekin voru. Athygli vekur að selta í sýnum á 1 m dýpi er ávallt minni en seltan á 5 m dýpi eins og við var að búast sbr. umræðu að ofan. Hins vegar er lítill munur á 1 m og 5 dýpi á viðmiðunarstöðinni, stöð 9, auk þess sem þessi stöð er meðal sýna með hæstu seltuna. Þetta bendir til að ferskvatnsáhrif á þessu svæði eru minni en á stöðvunum undan álverinu og að því leyttinu ekki eins ákjósanleg til viðmiðunar og efni stóðu til.

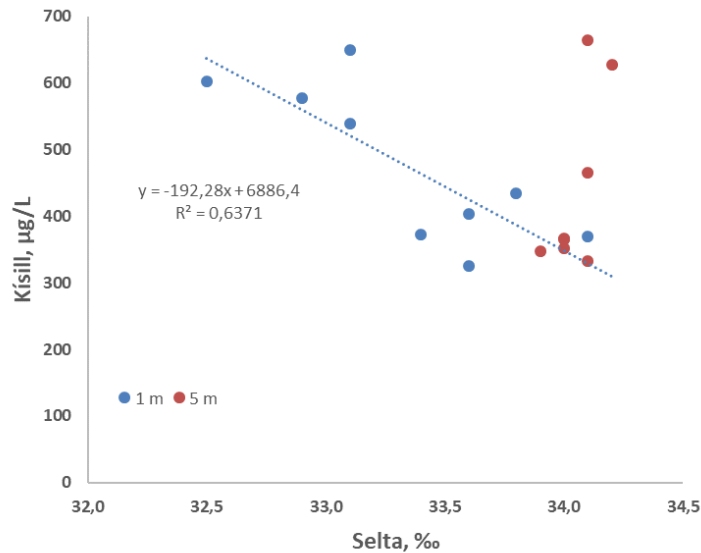
Tafla 2 Selta og næringarefni í sjósýnum.

Table 2 Salinity and nutrients in seawater samples

Stöð-dýpi	Selta	(NO ₂ +NO ₃)-N	NH ₄ -N	PO ₄ -P	Si
	‰	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L
1-1m	32,5	74,5	28,6	22,94	603
1-5m	34,1	73,8	30,4	21,7	332
2-1m	32,9	75,6	31,9	22,94	578
2-5m	34,1	71,7	35,3	22,32	664
3-1m	33,4	73,2	26,5	22,01	373
3-5m	34,0	69,4	27,7	22,32	366
4-1m	33,6	72,7	27,9	22,32	403
4-5m	34,0	68,2	29,1	21,7	365
5-1m	33,6	67,9	25,3	19,22	325
5-5m	34,2	68,0	29,4	23,56	627
6-1m	33,1	72,9	28,3	23,25	539
6-5m	34,0	68,9	27,9	21,7	352
7-1m	33,1	71,0	28,4	22,63	650
7-5m	33,9	69,9	28,4	22,01	348
8-1m	33,8	72,1	28,0	22,32	434
8-5m	34,1	70,1	26,9	22,63	465
9-1m	34,1	64,1	28,0	21,08	369
9-5m	34,2	67,6	31,8	20,15	<300

Kísill

Einfaldast við mat á efnunum er að skoða þau m.t.t. seltu eins og áður kom fram. Mynd 9 sýnir samband seltu og kísils. Athygli vekur að sjórinn á 5 m dýpi er ekki eða undir litlum áhrifum ferskvatns (svipuð selta í öllum sýnunum) en styrkur kísils er þó mjög breytilegur þar, spannar skala Si á 1 m dýpi. Í 1 m er þokkalegt samband kísils og seltu og bendir það til að ferskvatnið beri með sér kísil og að seltufrítt vatnið hafi kísilstyrkinn um 7 mg/L, sem er áþekkt því sem búast mátti við (Freysteinn Sigurðsson 1986).

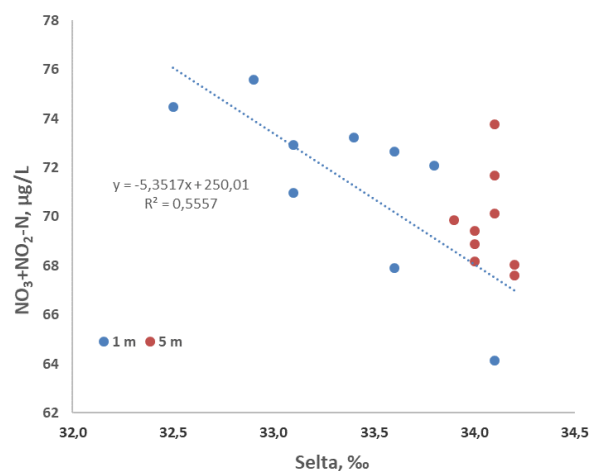


Mynd 9 Samband kísils og seltu.

Figure 9 Relationship between silicium and salinity.

Nítrat og nítrít

Mynd 10 sýnir vensl nítrats+nítríts og seltu og er um mjög áþekka hegðun að ræða og í tilviki kísils, 5m undir litlum áhrifum ferskvatns en háseltnisýnin þó með mikinn breytileika í nítrati+nítríti.



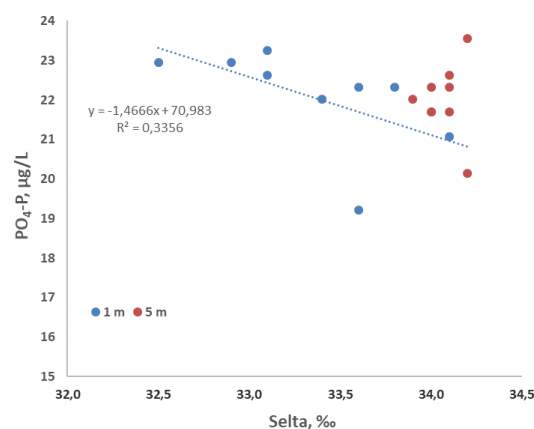
Mynd 10 Samband nítrats+nítríts og seltu.

Figure 10 Relationship between nitrate+nitrite and salinity.

Styrkur nítrats+nítríts í seltulauðu vatni virðist nokkuð hár og talsvert hærri en í vatni Þingvallavatns, Sogs, Þjórsár og Ölfusár (Eydís Salome Eiríksdóttir og Sigurður Reynir Gíslason 2009; Sigurður Reynir Gíslason o. fl. 2006). Úr kerbrotum losna köfnunarefnissambönd (Guðjón Atli Auðunsson 2011) og á það m.a. við um nítrat úr gryfjunum sjálfum (Jón Ólafsson 1996). Breytileiki í gögnum á mynd 10 fyrir a.m.k. 1 m kann einnig að skýrast af að kerbrot séu uppspretta nítrats(+nítríts). Lægstu umhverfismörk í Noreg fyrir vetrarsýni (desember-febrúar) eru 90 µg/L fyrir nítrat eingöngu (Molvær *et al.* 1997) en nítrat er mun stærri hluti nítrats+nítríts en nítrít. Öll sýni eru undir þessum lægstu umhverfismörkum í Noregi. Hins vegar gætu þörungar enn verið lifandi í sýnunum (07/10/2018), sem lækkar gildin á nítrati+nítríti. Gildin eru einnig langt undir vetrargildum sjávar við Ísland, 196 µg/L (Sólveig R. Ólafsdóttir 2006).

Fosfat

Mynd 11 sýnir samband fosfats og seltu og enn fæst svipuð hegðun og í tilviki bæði kísils og nítrats+nítríts.



Mynd 11 Samband fosfats og seltu.

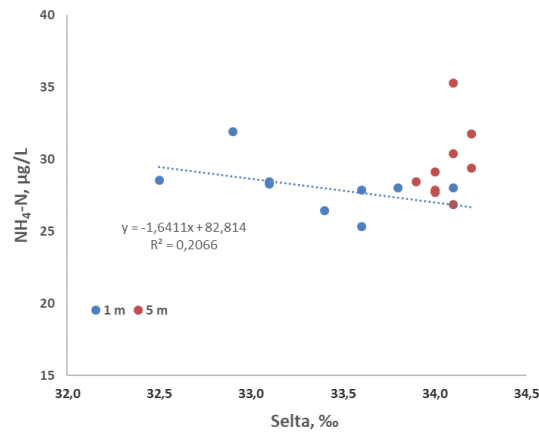
Figure 11 Relationship between phosphate and salinity.

Styrkur í seltulauðu vatni er nokkuð hár og umtalsvert hærri en í vatni Þingvallavatns, Sogs, Þjórsár og Ölfusár (Eydís Salome Eiríksdóttir og Sigurður Reynir Gíslason 2009; Sigurður Reynir Gíslason o. fl. 2006). Úr kerbrotum losna fosfórsambönd (Guðjón Atli Auðunsson 2011) og á það m.a. við um fosfat úr kerbrotagryfjunum (Jón Ólafsson 1996). Breytileiki í gögnum á mynd 10 fyrir a.m.k.. 1 m kann einnig að skýrast af að kerbrot séu uppspretta fosfats. Lægstu umhverfismörk í Noreg fyrir vetrarsýni (desember-febrúar) eru 16 µg/L fyrir fosfat-P (Molvær *et al.* 1997) og eru öll sýnin yfir þessum lægstu umhverfismörkum í Noregi. Sjórinn undan álverinu falla í flokka II (gott, 16-21 µg/L) en aðallega III (síður gott, 21-34 µg/L). Hér við bætist að þörungar gætu enn verið lifandi í sýnunum (07/10/2018), sem lækkar gildin á fosfati. Gildin eru hins vegar öll undir vetrargildum sjávar við Ísland, 28 µg/L (Sólveig R. Ólafsdóttir 2006).

Ammoníak

Af mynd 12 má sjá að ólíkt öðrum næringarefnum að ofan þá eru sýnin af 5 m (minni áhrif ferskvatns) alla jafna hærri en sýnin af 1 m (undir áhrifum ferskvatns) og kemur hér til sundrun lífrænna leifa á þessum árstíma, efni sem eru í hærri styrk við botn, sjá umræðu um súrefnismettunina hér að ofan. Breytileiki í 1 m dýpi er minni en á 5 m og er nánast sami styrkur í öllum sýnunum (línuleg aðfallsgreining gefur ekki marktæka lækkun með seltu). Úr kerbrotum losna köfnunarefnissambönd (Guðjón Atli

Auðunsson 2011) og á það m.a. við um ammoníak úr gryfjunum sjálfum (Jón Ólafsson 1996). Breytileiki í gögnum fyrir a.m.k. 1 m á mynd 10 kann að skýrast af að kerbrot séu uppspretta ammoníaks. Lægstu umhverfismörk í Noreg fyrir vetrarsýni (desember-febrúar) eru 33 µg/L fyrir NH₄-N (Molvær *et al.* 1997) og eru öll sýnin utan eins undir þessum lágstu umhverfismörkum í Noregi, gott ástand.



Mynd 11 Samband ammóníaks og seltu.

Figure 11 Relationship between ammonia and salinity.

Ólífræn snefilefni

Tafla 3 hefur að geyma niðurstöður mælinga á snefilefnum sjósýnanna.

Tafla 3 Styrkur ólífrænna snefilefna í sjósýnum.

Table 3 Concentrations of trace elements in seawater samples.

Stöð-dýpi	Selta	F	Ba	Mn	Mo	As	V	Cr	Fe	Cd	Cu	Hg	Ni	Zn	Sýnið heild	Sýnið frítt
	‰	mg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	mg CN/L	mg CN/L
1-1m	32,5	1,30	5,89	1,14	10,1	1,46	3,13	0,21	0,0237	<0.05	<0.5	<0.002	<0.5	6,5	<0.005	<0.005
1-5m	34,1	1,30	6,47	0,48	10,7	1,59	2,04	0,11	<0.004	<0.05	<0.5	<0.002	<0.5	<2	<0.005	<0.005
2-1m	32,9	1,32	6,03	0,30	10,6	1,31	2,89	0,27	0,00557	<0.05	<0.5	<0.002	<0.5	2,2	<0.025	<0.025
2-5m	34,1	1,29	6,04	0,38	10,8	1,45	2,14	0,20	<0.004	<0.05	0,619	<0.002	<0.5	<2	<0.005	<0.005
3-1m	33,4	1,29	5,9	0,68	10,3	1,54	2,43	0,38	0,0165	<0.05	0,556	<0.002	<0.5	<2	<0.005	<0.005
3-5m	34,0	1,23	6,11	0,70	10,9	1,73	2,22	0,29	0,0336	<0.05	<0.5	<0.002	<0.5	<2	<0.005	<0.005
4-1m	33,6	1,25	5,9	0,15	10,9	1,42	2,56	0,20	<0.004	<0.05	<0.5	<0.002	<0.5	<2	<0.250	<0.250
4-5m	34,0	1,28	5,41	3,00	10,7	1,66	2,11	0,25	0,0452	<0.05	0,579	<0.002	<0.5	<2	<0.005	<0.250
5-1m	33,6	1,28	6,22	2,84	11,5	1,85	2,71	4,41	0,0393	0,0506	0,863	<0.002	2,64	<2	<0.005	<0.005
5-5m	34,2	1,28	5,38	4,26	10,8	1,45	2,42	<0,1	0,116	<0.05	<0.5	<0.002	<0.5	<2	<0.005	<0.250
6-1m	33,1	1,29	5,95	1,42	10,6	1,6	2,82	0,28	0,0635	<0.05	0,866	<0.002	<0.5	<2	<0.250	<0.250
6-5m	34,0	1,28	6,23	0,34	10,7	1,41	2,34	0,10	<0.004	<0.05	<0.5	<0.002	<0.5	<2	<0.005	<0.005
7-1m	33,1	1,27	5,81	0,49	10,5	1,42	2,69	<0,1	<0.004	<0.05	<0.5	0,00218	<0.5	<2	<0.250	<0.250
7-5m	33,9	1,29	5,96	0,36	10,8	1,5	2,26	0,14	0,0115	<0.05	0,658	<0.002	<0.5	<2	<0.250	<0.250
8-1m	33,8	1,28	6,05	1,57	10,7	1,38	2,54	0,20	0,06	0,388	0,766	<0.002	<0.5	<2	<0.250	<0.250
8-5m	34,1	1,24	5,64	1,57	11,0	1,73	2,26	0,18	0,0467	<0.05	<0.5	<0.002	1,89	<2	<0.005	<0.005
9-1m	34,1	1,24	6,01	1,24	11,0	1,64	2,29	0,14	0,0226	<0.05	<0.5	<0.002	<0.5	<2	<0.005	<0.005
9-5m	34,2	1,25	5,94	0,86	10,7	1,72	2,03	0,25	0,0158	<0.05	<0.5	<0.002	<0.5	<2	<0.005	<0.005

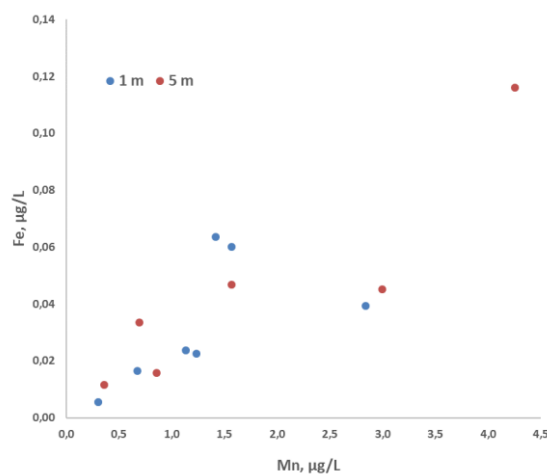
Það á við um ólífrænu snefilefni og ekki síður næringarefni að sýnataka einn dag gefur mynd af augnabliksaðstæðum. Aðstæður geta verið breytilegar yfir tíma, greiningar á kræklingi og þangi gefa betri mynd af meðaltalsaðstæðum yfir lengri tímabil.

Járn

Styrkur járns í sýnunum er á bilinu frá því að vera undir greiningarmörkum (0,004 µg/L), 4 sýni af 18, í það að vera 0,116 µg/L. Miðað við að um strandsjó sé að ræða og þess utan nálægt starfsemi manna á landi þá telst þessi styrkur vera hóflegur í sjósýnunum. Ein heimild fyrir járn í sjó miðar við að 0,022 µg/L sé meðalstyrkur járns í sjó (Open University 2005) en meðalstyrkur járns í þessari rannsókn er snarlíkur þessu gildi eða 0,028 µg/L (sýni undir greiningarmörkum sett jöfn hálfum greiningarmörkum). Ef hæsta gildið 0,116 µg/L er undanskilið (sýni með hæstu seltuna á 5-5m) þá væri meðalstyrkurinn jafn ætlaðs meðalstyrks í sjó. Styrkur járns í ferskvatni er umtalsvert hærri en í sjó (sjá t.d. Eydís Salome Eiríksdóttir og Sigurður Reynir Gíslason 2009; Sigurður Reynir Gíslason o. fl. 2006). Reyndar leyfa gild rök að flokka ætti járn sem eitt af næringarefnum en það kemur þó ávallt fyrir í snefilmagni í sjó þar sem það oxast hratt úr Fe(II) í Fe(III) og fellur til botns sem oxíð enda meginefnabáttur í seti (Guðjón Atli Auðunsson 2020).

Mangan

Mangan hegðar sér ekki ósvipað og járn, oxast í súrefnisríkum sjó og fellur niður í setið, sem jafnan er manganríkt (Guðjón Atli Auðunsson 2020). Þetta gerist þó hægar í tilviki mangans og er ein ástæða þess að styrkur Mn er jafnan hærri í sjó en járns. Sjá má vensl járns og mangans í sýnunum á mynd 12 en fylgnistuðull allra sýnanna er nokkuð hár, $r = 0,82$ (sýnin með járn undir greiningarmörkum undanskilin). Ferskvatn inniheldur talsvert hærri styrk mangans en sjór eins og átti við um járn, ferskvatn gæti verið með Mn á bilinu 2-10 µg/L (sjá t.d. Eydís Salome Eiríksdóttir og Sigurður Reynir Gíslason 2009; Sigurður Reynir Gíslason o. fl. 2006) en sjór um 1 µg/L (Open University 2005).



Mynd 12 Samband járns og mangans.

Figure 12 Relationship between iron and manganese.

Styrkur mangans er á bilinu 0,2-4,3 µg/L í sýnunum átján og því nokkru hærri en vænta má í súrefnisríkum úthafssjó en hann telst þó eðlilegur í ljósi þess að vera á grunnsævi nálægt strönd.

Sýaníð

Þar sem vitað er að kerbrot geta losað sýaníð (Guðjón Atli Auðunsson 2011) var mælt frítt sýaníð og heildarstyrkur þess í sjósýnunum. Eins og sjá má af töflu 3 þá greindust þessi efni aldrei yfir greiningarmörkum mæliaðferðanna. Sjá má að greiningarmörkin eru hærri í 5 sýnum en öðrum og koma hér til truflanir á efnagreininguna vegna efna og/eða agna í sýnunum.

Kvikasilfur

Aðeins í einu tilviki mælist Hg yfir greiningarmörkum (stöð 7-1m) en mjög nálægt þeim (2,18 ng/L en greiningarmörk 2,0 ng/L). Bakgrunnsstyrkur Hg í sjó í Noregi er <0,001 µg/L (Bakke *et al.* 2010; SFT 2007) eða helmingur greingarmarka í þessari rannsókn. Næsti flokkur fyrir ofan bakgrunn í Noregi er hins vegar hár eða 0,001-0,048 µg/L (gott ástand) og því óhætt að segja að styrkurinn í sjó undan álverinu í Straumsvík sé a.m.k. í góðu ástandi og niður undir bakgrunn í Noregi utan eins sýnis.

Kadmín

Kadmín mælist oftast undir greiningarmörkum mæliaðferðarinnar (0,05 µg/L) utan tveggja sýna: 5-1m (0,0506µg/L) og 8-1m (0,388 µg/L). Af þessum tveimur stöðvum er einkum niðurstaðan fyrir 8-1m há eða um 80-föld greiningarmörkin. Bakgrunnsstyrkur Cd í sjó í Noregi er <0,03 µg/L (Bakke *et al.* 2010; SFT 2007) eða rúmlega helmingur greiningarmarka í þessari rannsókn. Næsti flokkur fyrir ofan bakgrunn í Noregi er hins vegar hár eða 0,03-0,24 µg/L (gott ástand) og því óhætt að segja að styrkurinn í sjó undan álverinu í Straumsvík sé a.m.k. í góðu ástandi og niður undir bakgrunn í Noregi utan eins sýnis, sem var hátt og lendir í flokki III (0,24-1,5 µg/L), sem er sæmilegt (moderate) ástand.

Nikkel

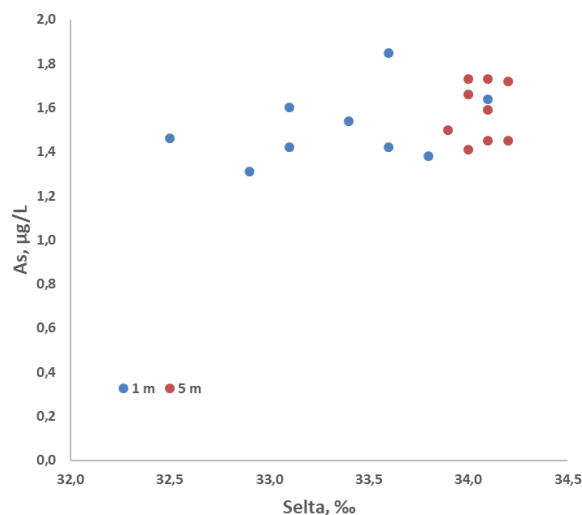
Nikkel mælist oftast undir greiningarmörkum (0,5 µg/L) utan tveggja sýna: 5-1m (2,64 µg/L) og 8-5m (1,89 µg/L). Báðar þessar stöðvar eru vel yfir greiningarmörkum og athygli vekur að aftur er það stöð 5-1m, sem mælist hærri en greiningarmörk eins og í tilviki Hg og Cd. Bakgrunnsstyrkur Ni í sjó í Noregi er <0,5 µg/L (Bakke *et al.* 2010; SFT 2007), sömu og greiningarmörk í þessari rannsókn. Næsti flokkur fyrir ofan bakgrunn í Noregi er hins vegar hár eða 0,5-2,2 µg/L (gott ástand) og því óhætt að segja að styrkurinn í sjó undan álverinu í Straumsvík sé almennt í góðu ástandi ef undan eru skilin tvö sýni af átján en hærra sýnið fer með viðtakann í neðri hluta III. flokks í Noregi (sæmilegt ástand: 2,2-12 µg/L). Áhrif af völdum nikkels eru því til staðar og staðfestist í niðurstöðum fyrir nikkel í einkum fjörukræklingi, sem er undir meira álagi en kræklingur í búrum (Guðjón Atli Auðunsson 2012, 2014 og 2020a).

Sink

Flest sýnanna eða 15 af 18 eru með styrk sinks undir greiningarmörkum (2 µg/L). Tvö sýni eru yfir greiningarmörkum, stöð 1-1m með 6,5 µg/L og stöð 2-1m rétt yfir greiningarmörkum eða 2,2 µg/L. Stöð 1-1m er jafnframt sú stöð sem hefur minnsta seltuna. Sýnahópurinn með styrk undir greiningarmörkum er u.þ.b. bakgrunnsstyrkur í Noregi (1,5 µg/L) (Bakke *et al.* 2010; SFT 2007). Stöð 2-1m setur sýnin í flokk II (1,5-2,9 µg/L; gott ástand) en stöð 1-1m í flokk III (2,9-6 µg/L; sæmilegt ástand) í Noregi. Áhrif af völdum sinks eru því líklegast til staðar og staðfestist í niðurstöðum fyrir sink í fjörukræklingi og ekki síst í skúfþangi með meira álagi en kræklingur í búrum (Guðjón Atli Auðunsson 2012, 2014 og 2020a) en einkum skúfþang hentar vel til mats á sinki í sjávarumhverfi. Vöktun með kræklingi og fjörugróðri hentar vel til mats á mengunarálagi yfir lengri tímabil en sýni af sjó gefa aðeins augnablikmynd.

Arsen

Mynd 13 sýnir að arsen hefur tilhneigingu til að vaxa með seltu en hækkunin er ekki marktæk (línuleg aðfallsgreining; $p>0,05$). Styrkur arsens í ósnortnum sjó er talsverður og oft ætlaður um 2 µg/L m.v. seltuna 35 ‰ (Open University 2005) eða hærri en hann greinist í sýnum þessarar rannsóknar. Styrkur arsens í ferskvatni (sjá t.d. Eydís Salome Eiríksdóttir og Sigurður Reynir Gíslason 2009; Sigurður Reynir Gíslason o. fl. 2006) er umtalsvert lægri en í sjó og þess vegna þessi tilhneiging til hækkunar með aukinni seltu. <2 µg/L er jafnframt ætlaður bakgrunnsstyrkur í sjó í Noregi (Bakke *et al.* 2010; SFT 2007) og telst sjórinn undan álverinu því til ósnortins sjávar m.t.t. arsens.



Mynd 13 Samband arsens og seltu.

Figure 13 Relationship between arsenic and salinity.

Kopar

Styrkur kopars er á bilinu frá því að vera undir greiningarmörkum (0,5 µg/L), 11 sýni af 18, í það að vera 0,86 µg/L. Líklegur styrkur í hafi er um 0,1 µg/L (Open University 2005) og bakgrunnsstyrkur kopars í Noregi er talinn 0,3 µg/L (Bakke *et al.* 2010; SFT 2007). Flokkur II í Noregi (gott ástand) er á bilinu 0,3-0,64 µg/L og falla þrjú sýni yfir greiningarmörkum í þann flokk. Flokkur III í Noregi (sæmilegt ástand) er með Cu á bilinu 0,64-0,8 µg/L og falla 2 sýni í þann flokk en flokkur IV (slæmt ástand) er með vítt bil eða 0,8-7,7 µg/L og falla tvö sýni í neðsta hluta þess flokks (0,87 og 0,86 µg/L). Sjórinn næst kerbrotunum er því nokkuð áreiðanlega undir áhrifum af koparuppsprettu(m) á svæðinu. Áhrif af völdum kopars eru staðfest í niðurstöðum fyrir kopar í einkum fjörukræklingi, sem er undir meira álagi en kræklingur í búrum (Guðjón Atli Auðunsson 2014 og 2020a).

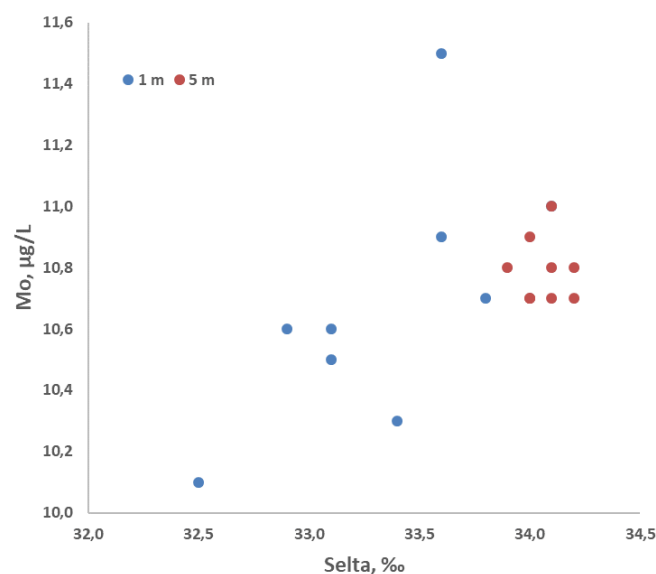
Króm

Krómstyrkurur í sýnunum hefur enga marktæka fylgni með seltu en skiptist í þrjá flokka eftir styrk. Í fyrsta lagi er flokkur með 2 sýnum undir greiningarmörkum (0,1 µg/L) en flest sýnanna eða 15 talsins falla í flokk með styrk á bilinu 0,11-0,38 µg/L. Að lokum er eitt sýni með umtalsvert hærri styrk eða 4,4 µg/L (stöð 5-1m), þ.e. á sömu stöð og sýndi hærri styrk kadmíns, nikkels og kvikasilfurs. Styrkur í sjó er talinn vera um 0,3 µg/L (Open University 2005) en bakgrunnsstyrkurur í Noregi er talinn <0,2 µg/L (Bakke *et al.* 2010; SFT 2007). Flokkur II í Noregi (gott ástand) er með vítt bil eða 0,2-3,4 µg/L og falla öll sýnanna í neðri hluta þess flokks utan sýnisins á stöð 5-1m, sem fellur neðarlega í flokk III (sæmilegt ástand): 3,4-36 µg/L. Athygli vekur að viðmiðunarstöðin, stöð 9, er með 0,14 µg/L (1 m) og 0,25 µg/L (5 m) og því er það aðeins sýnið af stöð 5-1 m, sem unnt er að segja að sé undir áhrifum af krómuppsprettu(m). Þessar niðurstöður benda til að niðurstöðurnar gætu verið undir áhrifum viðlægs bjaga. Sjórinn undan álverinu er því líklegast undir áhrifum af uppsprettu(m) króms. Áhrif af völdum króms eru staðfest í niðurstöðum fyrir króm í einkum fjörukræklingi, sem er undir meira álagi en kræklingur í búrum (Guðjón Atli Auðunsson 2014 og 2020a).

Molybden

Af mynd 14 má glögglega sjá hækkun í styrk molybdens með aukinni seltu, þ.e. sjórinn sjálfur er stór uppspretta samanborið við ferskvatn.

Ferskvatn gæti verið með styrk Mo á bilinu 0,1-0,5 µg/L (sjá t.d. Smedley & Kinniburgh 2017; Eydís Salome Eiríksdóttir og Sigurður Reynir Gíslason 2009; Sigurður Reynir Gíslason o. fl. 2006), umtalsvert lægri en líklegur styrkur í sjó en í súrefnisríkum úthafssjó gæti styrkurinn verið 9,3-10,4 µg/L (Smedley & Kinniburgh 2017; Open University 2005). Fylgni við As, sem einnig á helst rætur að rekja til sjávar, er þokkaleg ($r=0,55$). Það telst því afar ólíklegt að sjávarumhverfi álversins sé undir áhrifum af völdum molybdens þó svo mældur styrkur sé aðeins yfir styrk í súrefnisríkum úthafssjó.



Mynd 14 Samband molybdens og seltu.

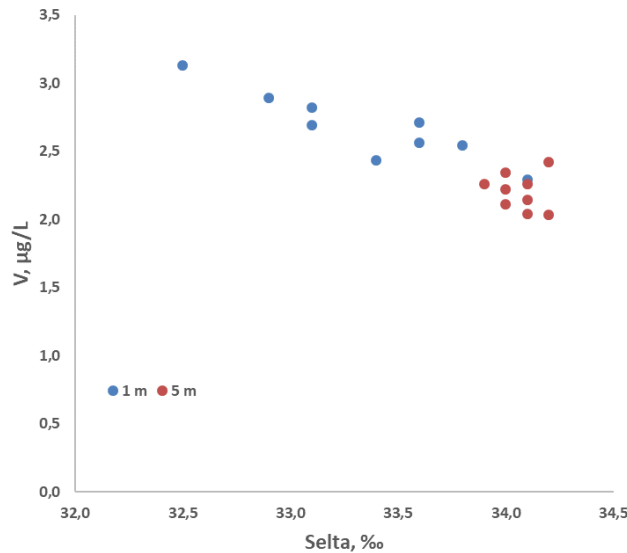
Figure 14 Relationship between molybdeum and salinity.

Barín

Ba hefur enga fylgni með seltu og er styrkur allra sýna normaldreifður (Shapiro-Wilk) á nokkuð þröngu bili (5,4-6,5 µg/L). Við þessu er að búast því leysnimargfeldi baríumsúlfats er mjög lágt (pK_{sp} um 10) og súlfat næstalgengasta anjón sjávarins, þ.e. súlfatið ræður styrk baríns í sjó. Við 25°C og 1 atm er leysnin í sjó 37-52 µg/L og líklegur styrkur í sjó hefur mælst 7,4-14,0 µg/L í NA-Atlantshafi en styrkurinn í sjósýnunum við álverið líkist einna helst styrknum sem mælst hefur í NV-Kyrrahafi eða um 5 µg/L, - styrkur baríns í seti er því umtalsverður (Neff 2002 og heimildir þar).

Vanadín

Mynd 15 sýnir vensl vanadíns og seltu og er fylgnin sterk ($r^2=0,83$ fyrir alla punktana; $n=18$) og augljóst að uppspretta vanadíns er ferskvatn. Vanadín er normaldreift á nokkuð þröngt bil eða 2,03-3,13 $\mu\text{g/L}$. Línulega aðfallsgreining bendir til að styrkur vanadíns sé um 21 $\mu\text{g/L}$ í fersku vatni undan hrauninu, sem rímar þokkalega við það sem mælt hefur í Þingvallavatni, Sogi, Ölfusá og Þjórsá eða 10-25 $\mu\text{g/L}$ (Eydís Salome Eiríksdóttir og Sigurður Reynir Gíslason 2009; Sigurður Reynir Gíslason o. fl. 2006). Styrkur og hegðun vanadín í sjónum undan álverinu endurspeglar því náttúruleg ferli.



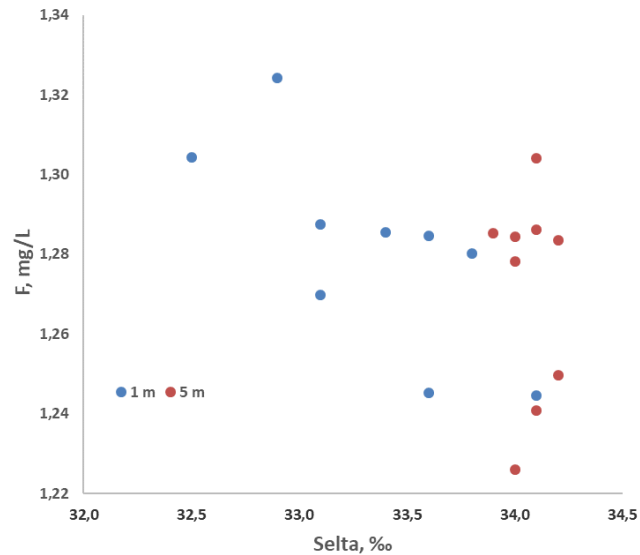
Mynd 15 Samband vanadíns og seltu.

Figure 15 Relationship between vanadium and salinity.

Flúor

Flúorstyrkur á stöðvunum á 1 m dýpi sýnir fallandi styrk með seltu, sem bendir til að flúor eigi rætur að rekja til ferskvatns og/eða að hann sé loftborinn, sjá mynd 16. Meiri frávik frá línulegri aðhvarfslínu fyrir „flúor vs. selma“ en var að finna í „vanadín vs. selma“ helgast m.a. og líklega af því að uppsprettur eru fleiri en ein í tilviki flúors. Þekkt er að kerbrot losa flúor við útskolun (Guðjón Atli Auðunsson 2011) og einnig er vitað að álverið í Straumsvík losar flúor í andrúmsloft (Sigrún Hrönn Halldórsdóttir 2019). Styrkur á 5 m stöðvunum er á nokkuð þröngu bili eða 1,24-1,30 mg/L og á svipuðu bili á 1 m dýpi eða 1,24-1,32 mg/L (allar niðurstöður saman eru normaldreifðar með meðaltalið 1,28 mg/L). Styrkur í sjó er yfirleitt í kringum 1,3 mg/L m.v. seltuna 35 (sjá t.d. Open University 2005) en þannig séð eru allar niðurstöður jafnar eða undir því sem ætla má að mælist í hreinum sjó. Styrkur flúors í sjó stjórnast af styrk Ca í sjónum en einnig Mg þar sem flúorsölt þessara katjóna eru torleyst en styrkur Ca- og Mg-jóna er hár í sjó (sjá umfjöllun um afdrif flúors í sjó í Guðjón Atli Auðunsson 2011). Styrkur flúors í sjó er þess vegna víðast sá sami (sömu lögmál og í tilviki baríns). Styrkur í ferskvatni er talsvert minni eða um 0,2 mg/L eða lægri í t.d. Sogi, Ölfusá og Þjórsá (Sigurður Reynir Gíslason o. fl. 2006) og tífalt minni í tilviki vatns úr lindum við Reykjavík (Jón Ólafsson 1987). Það kemur því á óvart að sjá þennan fallandi styrk flúors með seltu á 1 m dýpi, sem bendir til uppsprettu með talsvert háan styrk (aðhvarfslína ($r^2=0,53$) gefur 2,5 mg/L í fersku vatni ef gert er ráð fyrir ferskvatnssuppsprettu eingöngu, sem er mikil einföldun). Samantekið má því segja að sjórinn undan álverinu sé undir áhrifum flúorlosunar vegna hegðunar hans

Í yfirborðslaginu en styrkurinn er lágur, sem kemur til af því að hann stjórnast af aðallega Ca- og Mg-innihaldi sjávarins. Áhrifin á sjó eru því lítil. Hins vegar eru greinileg ummerki um hækkaðan styrk flúors að meðaltali yfir tíma í kræklingi af bæði fjöru og í búrum á svæðinu (Guðjón Atli Auðunsson 2014 og 2020a).



Mynd 16 Samband flúors og seltu.

Figure 16 Relationship between fluoride and salinity.

Heimildir

- Bakke *et al.* 2010. Development of sediment quality criteria in Norway. *J.Soil.Sediments*, 10 2010 172-178.
- Eydís Salome Eiríksdóttir og Sigurður Reynir Gíslason 2009. Efnasamsetning Þingvallavatns 2007-2008. RH-07-2009.
- Sigurður Reynir Gíslason o. fl. 2006. Efnasamsetning, rennsli og aurburður straumvatna á Suðurlandi IX. Gagnagrunnur Raunvísindastofnunar og Orkustofnunar. RH-05-2006.
- Freysteinn Sigurðsson 1986. Hydrogeology and Groundwater on the Reykjanes Peninsula. *Jökull* 40 1986 11-29.
- Freysteinn Sigurðsson 1998. Grunnvatnið í Straumsvík. *Náttúrufræðingurinn* 67 1989 179-188.
- Guðjón Atli Auðunsson 2011. Útskolunarpróf á kerbrotum frá Alcan á Íslandi hf. Greinargerð til Alcan á Íslandi hf 25.11.2011. 16+9 síður.
- Guðjón Atli Auðunsson 2012. Könnun á ólífrænum snefilefnum og aromatískum fjölhringa-samböndum (PAH) í kræklingi og skúfþangi við álverið í Straumsvík. *Sýnataka 2008*. Skýrsla NMÍ 12-01.
- Guðjón Atli Auðunsson 2014. Könnun á ólífrænum snefilefnum og aromatískum fjölhringa-samböndum (PAH) í kræklingi við álverið í Straumsvík. *Sýnataka 2013*. Skýrsla NMÍ 14-06 (6EM13087).
- Guðjón Atli Auðunsson 2020. Könnun á efnabáttum í seti við Straumsvík sumarið 2018. NMÍ-skýrsla 6EM18058:1.
- Guðjón Atli Auðunsson 2020a. Könnun á ólífrænum snefilefnum og aromatískum fjölhringa-samböndum (PAH) í kræklingi við álverið í Straumsvík. *Sýnataka 2018*. NMÍ-skýrsla 6EM18058:3.
- Jón Ólafsson 1987. Chemical composition of cold water in drillholes near Reykjavík. A project for Vatnsveita Reykjavíkur.
- Jón Ólafsson 1996. Útskolun uppleystra efna úr flæðigryfjum við álverið í Straumsvík. Geinargerð til Íslenska Álfélagsins 24.09.1996.
- Molvær, J., Knutzen, J., Magnusson, J., Rygg, B., Skei, J. og Sørensen, J. 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. *Statens Fourensningstilsyn (SFT)*. Veiledning 97:03. Oslo.
- Neff, J.M. 2002. Barium in the Ocean. Chapter 4 in *Bioaccumulation in Marine Organisms: Effect of Contaminants from Oil Well Produced Water*. Pergamon 2002.
- Open University 2005. *Marine Biogeochemical cycles*. Open University. Elsevier Butterworth Heineman.
- Sólveig R. Ólafsdóttir 2006. Styrkur næringarefna í hafinu umhverfis Ísland. *Hafrannsóknastofnun*. Fjölrit nr. 122.
- Svend-Aage Malmberg 1989. Hita, seltu og straummælingar á Hafnarfirði sumarið 1988. Skýrsla til Bæjarstjórnar Hafnarfjarðar í júní 1989. Viðauki: Tafla um næringarefnamælingar frá Jón Ólafssyni. Skýrsla frá Hafrannsóknastofnuninni.
- SFT 2007. Revidering av klassifisering av metaller og organiske miljøgifter i vann og sedimenter. *Veileder for klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystvann*. Statens fourensningstilsyn. 2229-2007.
- Sigrún Hrönn Halldórsdóttir 2019. Vöktun á loftbornum flúor í gróðri. Samantekt á niðurstöðum flúormælinga í gróðri umhverfis álverið í Straumsvík frá 1968 til 2017. *Jarðvísindadeild Háskóli Íslands* 2019.
- Smedley and Kinniburgh 2017. Molybdenum in natural waters: A review of occurrence, distributions and controls. *Appl.Geochem.*, 84 2017 387-432.