

NMÍ-skýrsla
Verknúmer 6EM18058:1

Könnun á efnapáttum í seti við Straumsvík sumarið 2018

Guðjón Atli Auðunsson
Adrianna Milewska
Joe Jephson
Halldór Pálmar Halldórsson
Hermann Dreki Guls
Baldur Jón Vigfússon
Ester Inga Eyjólfsdóttir
Apríl 2020



Nýsköpunarmiðstöð
Íslands

Efnisyfirlit

ÁGRIP	3
SUMMARY	3
INNGANGUR	4
ALMENNT UM SÝNATÖKUR OG SÝNAMEÐFERÐ VIÐ EFNARANNSÓKNIR Á SETI	4
ÓLÍFRÆN SNEFILEFNI	4
PAH-EFNI	7
SÝNATAKA	12
MÆLIÐFERÐIR	13
NIÐURSTÖÐUR OG UMRÆÐA	13
MEGINEFNAÞETTIR	14
ÓLÍFRÆN SNEFILEFNI.	15
As	16
Cd.....	17
Co.....	18
Cu.....	19
Ni	20
Pb.....	21
Zn.....	22
Hg.....	22
Cr	23
Ag	24
V	24
F.....	24
PAH-EFNI	26
Summa PAH-efna	27
Naftalen.....	29
Fenantren	29
Fluoranten	30
Bens(a)pyren.....	30
HEIMILDIR	32

Ágrip

Að ósk Rio-Tinto á Íslandi hf, - ISAL, Straumsvík, fór sumarið 2018 fram sýnataka til efnagreininga á seti undan álverinu. Tilgangur rannsóknarinnar ásamt samhliða rannsóknum á sjó og kræklingi var mat á hugsanlegum áhrifum verksmiðjurekstrar í Straumsvík.

Setsýni voru tekin á 6 stöðvum norðvestan við álverið og nokkuð fjarri. Sýnin voru þó tekin eins nálægt álverinu og kostur var að finna set en á svæðinu næst álverinu var set ekki að finna. Í sýnunum voru mældir næringarefnabættir, meginefni, ólífræn snefilefni og PAH-efni.

Ólífrænu snefilefnin voru metin að teknu tilliti til íslenskra gagna um set fjarri þekktum mengunaruppsprettum í kringum landið og erlendra gagnagrunna og umhverfismarkna. Er varðar ólífrænu snefilefnin var ekki unnt að sjá nokkur áhrif á styrk As, Cd, Cu, Pb, Zn, Hg, Ag og F. Nokkurra en lítilla áhrifa gætti á stöðvum fjærst landi í tilviki kóbalts, nikkels og króms. Einnig sýndi vanadín tilhneigingu til að vera í hærri styrk á fjórum stöðvanna. Gögnin gefa ekki upplýsingar um hverjar séu orsakir þessa en benda má á að nikkell, kóbalt og króm hafa góða fylgni í setinu en sértaklega nikkell og króm koma oft saman fyrir í stáli. Engra áhrifa er að vænta á lífverur.

PAH-efnin mældust í lágum styrk og mátti sjá tilhneigingu til lækkunar er frá dró landi á fyrstu fimm stöðvunum en stöðin fjærst landi var hins vegar með annan og þriðja hæsta styrkinn. Þetta bendir til að PAH-efnin eigi rætur að rekja til athafna á landi en auk álversins er bílaumferð um Reykjanesbraut þekkt uppspretta en einnig má benda á iðnað handan Reykjanesbrautar gegnt álverinu og losun fráveituvatns NA við álverið. Engra áhrifa er að vænta á lífverur.

Umferð skipa og báta getur einnig haft áhrif á styrk bæði lífrænna sem ólífrænna efnabátta í seti.

Samantekið er um nokkur áhrif að ræða en fremur lítil og engra áhrifa er að vænta á lífverur.

Summary

At the request of Rio-Tinto á Íslandi, - ISAL, Straumsvík, a sampling of sediments was undertaken during the summer of 2018 for the assessment of chemical constituents. The objective of the investigation and simultaneous investigations on seawater and mussels was to assess possible effects of the industrial activities at Straumsvík.

The sediment samples were taken on 6 stations NW of the aluminium smelter but not very close. However, the samples were taken as close to the aluminium smelter as possible but no sediments could be found close to the smelter. The samples were analysed for main constituents, trace elements, and PAHs.

The trace elements were assessed by way of Icelandic data on sediments far from known pollution sources around the country, data on sediments from other countries, and environmental guideline values for sediments. As concerns the levels of trace elements, no effects were found for As, Cd, Cu, Pb, Zn, Hg, Ag, and F. Some but small effects could be discerned on the stations farthest from land in the cases of nickel, cobalt, and chromium. Vanadium had also a tendency to be somewhat higher than background at four stations. The data do not allow disclosure of a possible source or sources but it may be noticed that nickel, cobalt, and chromium correlate fairly well in the sediment samples and that both nickel and chromium often occur in stainless steel. No effects on biota are to be expected at these levels.

The PAHs were found at a low levels and a tendency to decrease with distance from shore in the first five samples but the stations farthes away had second and third highest concentration. This indicates that the PAHs originate in activities on land but beside the aluminium smelter a known source is the traffic on Reykjanesbraut road but one may also note the indutrial activites on the opposite side of the road to the smelter, and discharge of sewage to the sea NE of the smelter. No effects on biota are to be expected at these levels.

Ship and boat traffic may also affect the levels of both organic and inorganic constitents of sediments.

In summary there are some effects discerned in the sediments but they are small and no effects on biota are to be expected at the levels found.

Inngangur

Að ósk Rio-Tinto á Íslandi hf, - ISAL, Straumsvík, fór sumarið 2018 fram sýnataka til efnagreininga á seti undan álverinu. Þetta sumar og haust (miður júlí til fyrstu viku október) fór einnig fram rannsókn á efna- og eðlisþáttum í sjósýnum (samfelldar mælingar á seltu, hitastigi, súrefni og þrýstingi og sýnataka vegna ólífræna snefilefnabátta og næringarefna) og á sama tímabili fór einnig fram sýnataka á kræklingi í búrum og af fjöru (líffræðilegir þættir, ólífræn snefilefni og PAH-efni). Tilgangur þessara verkefna var mat á hugsanlegum áhrifum verksmiðjulekstrarins við Straumsvík. Þessi skýrsla gerir grein fyrir niðurstöðum rannsókna á setinu.

Almennt um sýnatökur og sýnameðferð við efnarannsóknir á seti

Almennt er miðað við að sýnatökudýpi, þ.e. dýpi niður í setið sem tekið er til rannsókna, sé í réttu hlutfalli við setmyndunarhraða. Setmyndunarhraði er hins vegar sjaldnast þekktur og á það við um setið í kringum landið, Straumsvík, Hraunavík og nærliggjandi svæði meðtalin. Algengast er að taka efstu 0-5 cm af súrefnisríku og mjúku seti (<63 µm kornastærð) (Bakke *et al.* 2010; Carere *et al.* 2012) en mikilvægast er að sýnin séu tekin eins frá einum tíma til annars á hverjum stað (Carere *et al.* 2012). Í þessari rannsókn var notast við Petite Ponar Grab sýnataka (3,4 L) með sýnatökufötinn 152x152 mm (0,023 m²) en sýnabykkt ræðst af þyngd sýnataka (hér 14 kg) og gerð setsins. Í Noregi er miðað við að sýnatökudýpið sé efsta u.þ.b. 10 cm lag setsins og fæst það með grab-sýnataka ef setið er leirkennt, t.d. van Veen (0,1 m²), en sé setið sandkennt nær grab-sýnataki bara efstu u.þ.b. 5 cm (Miljødirektoratet 2015).

Í Noregi er miðað við að nota setagnir minni en 0,5 mm (Miljødirektoratet 2015) en einnig að flokkunarkerfið byggji á sýnum sem eru silt og leir, þ.e. <63 µm kornastærð (SFT 2007a). Ekki hefur tekist að finna kornastærðarskilyrði fyrir mörkin í Svíþjóð en gera má ráð fyrir að um eiginlegt set sé þar að ræða, þ.e. silt og leir (<63 µm). Fyrir set í íslenska gagnagrunninum voru sýni ekki formeðhöndluð en sáldurgreiningar fóru fram á þeim sýnum og reyndust flest sýnin vera að mestu eiginlegt set eða <125 µm. Í vísindagreinum má sjá mikinn fjölda aðferða fyrir formeðhöndlun og greiningu setsýna og því vandasamt að bera niðurstöður saman. Í þessari rannsókn voru setsýni sigtuð og hlutasýni undir 2 mm notuð í greiningar eins og víða má sjá í vísindagreinum en aðallega var þó um eiginlegt set að ræða í þessari rannsókn og síun einungis ætlað að hreinsa frá stærri lífverur og skeljabrot. Minnsti breytileiki frá sýni til sýnis fæst ef sýni eru síuð og mælt í þeim sýnahluta sem er minni en 20 µm. Í Evrópu er almennt mælt til að leir- og silt-hlutinn (<63µm) sé notaður til mælinga en á árunum 2000-2008 voru um milljón setsýni mæld í Evrópu og voru aðeins um 1 % þeirra með kornastærð <63 µm en 85 % voru < 2 mm (Carere *et al.* 2012) eins og í þessari rannsókn. Með aukinni kornastærð lækkar almennt styrkur allra snefilefna, lífræna sem ólífræna.

Ólífræn snefilefni

Mikill fjöldi viðmiðunarmarkna hafa verið fundin víða um heim fyrir bæði ólífræn og lífræn snefilefni (Burton 2002). Þar sem túlkun gagna byggist á samanburði við mörk og náttúrulegan styrk í seti þarf að rýna þessar viðmiðanir.

Aðferðafræði við mat á bakgrunnsstyrk getur verið mjög breytileg frá einu landi til annars og almennt er ekki tekið tillit náttúrulega áhrifaþátta á styrk snefilefnanna en mikilvægustu áhrifaþættir eru jarðefnafræði svæðanna, hafefnafræði svæðanna, sýnatökudýpi, kornastærð þess hluta setsins sem mældur er, lífrænt efni setsins, lífrænt kolefni og útlit setsins (oxic/anoxic). Til viðbótar koma svo þættir vegna sýnameðhöndlunar og efnagreininga: þurrkunar- og sigtunaraðferðir, mólunaraðferðir, sundrunar-aðferðir til að fá frumefni í upplausn, og aðferðafræði við efnagreiningu s.s. tegundir efnaforma sem mæld eru og mælitækni.

Er varðar ólífræn snefilefni þá fóru fram nokkuð umfangsmiklar rannsóknir á seti í kringum Ísland með sýnum frá árunum 1993-1996 (gagnagrunnur í vörslu Hafrannsóknastofnunar), hér kallaður ÍS9396 (n=43), en hér er hann notaður án sýna sem tekin voru af Sundunum við Reykjavík og í Eyjafirði (nálæg meintum uppsprettum mengunar). Vandí við mat á gögnum fyrir ólífræn efni í seti kemur m.a. til af því að mjög ólíkar mæliaðferðir hafa verið notaðar við öflun gagnanna. Þetta á við um íslenska gagnagrunninn þar sem tvær aðferðir hafa verið notaðar fyrir mismunandi efni, annars vegar heildarefnagreining, þar sem steindum er sundrað og frumefnin mæld, og hins vegar greining á aðgengilegum efnum þar sem sýra eða sýrur hafa verið notaðar til að ná efnunum úr setinu (þ.e. efni úr steindum ekki mæld). Í seinna tilvikinu getur verið munur á milli mismunandi sýra og/eða blöndu sýra auk hitunarméðferðar. Áhættumat á styrk ólífrænna snefilefna í seti byggir ekki ósjaldan á heildarefnagreiningu.

Tafla 1 sýnir bakgrunnsstyrk fyrir þau ólífræn snefilefni á Íslandi, sem mæld hafa verið með áþekktum hætti og í þessari rannsókn (sundrun með þyntri saltþétursýru). Í þessari rannsókn er unnið með sterkari sýrublöndu eða kóngavatn til að matið yrði varfærið, sjá Aðferðafræði mælinga hér að neðan. Í töflunni er einnig að finna bakgrunnsstyrk í Noregi (SFT, 2007a), þ.e. efri mörk þess sem telja má náttúrulegt, og samsvarandi bakgrunnsviðmiðunarstyrk í seti í Svíþjóð („*normal pre-industrial level*“ eða „*normal natural level*“) (Swedish EPA, 2000). Í báðum tilvikum eru efnin fundin með upplausn í þyntri saltþétursýru (SFT, 2007; Swedish EPA, 2000; Borg and Jonsson 1996). Í töflu 1 er einnig að finna bakgrunnsildi sem OSPAR notast við (og fengin eru úr vinnu sérfræðingahópa, aðallega efnafræðinga, innan ICES (ICES: International Council for the Exploration of the Sea; Alþjóðahafrannsóknaráðið) og vinnuhóp þess MCWG (Marine Chemistry Working Group). ICES hefur skilgreint BC („*background concentration*“) og BAC („*background assessment concentration*“) en BAC er fengið með tölfræðilegri viðbót staðalfrávika við BC úr fjölda sýna úr NA-Atlantshafi (ICES 2004). Sé styrkur undir eða jafn BAC er styrkurinn álitinn vera nálægt bakgrunni eða viðbót vegna mengunar óverulega („*near background or close to zero*“). Að auki má nefna að BC og BAC í ICES miðar við að setið sé 5 % í Al. Samanburður við t.d. ÍS9396 er engu að síður mögulegur því íslenska setið er með miðgildi áls um 5,7 % (5tu og 95tu hundraðsmörkin (percentile) 3,5 og 7,2 %). Ólíkt gildum frá Svíþjóð og Noregi þá ráðleggur ICES að notast sé við heildarefnagreiningu frumefnanna í setinu en gagnagrunnarnir, sem lagðir eru til grundvallar bakgrunnsildum, eru engu að síður fengin úr efnagreiningum sýrusundrunar á setinu (ICES 2004; Borg og Jonsson 1996), þ.e. eins og fyrir ÍS9396 og í þessari rannsókn. Í Svíþjóð var viðmiðunargildið fengið sem miðgildi styrks í seti fjölda sýna af 55 cm dýpi í setinu fjarri mengunaruppsprettum (s.k. „*normal pre-industrial level*“). Í Noregi er einnig um að ræða styrk í seti fjarri mengunaruppsprettum en aðferðafræði við skilgreininguna ekki lýst nánar.

Í töflu 1 eru gefin upp þröskuldsgildi frá USA (NOAA) og Kanada. Í tilviki USA er um að ræða heildarefnagreiningu setsins, þ.e. ekki bara aðgengilega hluta snefilefnanna eins og í þessari rannsókn og bakgrunnsildin í ICES, Noregi og Svíþjóð. Hins vegar reynist lítill sem enginn munur á heildarefnagreiningum frumefnanna, sem hafa áhættugildi í töflu 1, og aðgengilega hluta þeirra í sænskum rannsóknnum að frátöldu krómi en þar er um faktor tvo að ræða (Swedish EPA, 2000). Gildin frá NOAA (USA) eru „*effect range low*“ (ER-L) og byggja á miklum fjölda rannsókna á eiturvirkni efnanna í setinu á lífverur og eru 10di hundraðshluti þess styrks sem reynst hefur gefa áhrif á lífverur (Long og Morgan 1991; Long *et al.* 1995). Þessi gildi frá USA eru bæði mat frá 1991 og 1995 og munar miklu á mörgum gildum og eru hér sýnd í töflu 1 til að gera grein fyrir því að þessi gildi eru í stöðugri endurskoðun og þær sýna einnig hve mikill breytileiki getur verið í gagnagrunnum sem unnið er með hverju sinni. Gildin frá Kanada eru „*rare effect level*“ (REL) og „*threshold level*“ (TEL) en þau eru fengin sem meðaltal úr rannsóknnum sem sýna bæði lægsta styrk sem hefur áhrif á lífverur og hæsta styrk sem ekki hefur áhrif á lífverur (Environment Canada 2007) eða $REL = \sqrt{E_{15} \times NE_{15}}$ og $TEL = \sqrt{E_{15} \times NE_{50}}$ þar sem E_x er x-ti hundraðshluti gagna sem sýnir áhrif og NE_x er x-ti hundraðshluti gagnanna sem sýnir engin áhrif (Environment Canada 2007), m.ö.o. þá er ekki um bakgrunnsstyrki að ræða fyrir Kanada og USA heldur mat á líklegri eiturvirkni á lífverur. Norðmenn eru einnig með mörk hærri en

bakrunnsstyrki (Classes II-V), sem byggja á eiturefnafræðilegum forsendum eða PNEC („Predicted No Effect Concentrations“) (Bakke *et al.* 2010; SFT 2007b) en efri mörk flokks II í Noregi eru einnig gefin í töflu 1 (gott ástand er talið ríkja undir efri mörkum flokks II). Svíar hafa einnig efri flokka en þeir byggja á gjörólíkum aðferðum en þeim sem Norðmenn notast við, þ.e. margfeldisstuðla á bakgrunnsgildin, sjá að neðan fyrir PAH-efni. M.ö.o. þá flokka öll löndin í kringum okkur aðskotaefni í seti hvert með sínum ólíka hætti. Almennt má segja að mjög erfitt getur reynst að treysta á eiturefnafræðilega flokkun er varðar ólífræn snefilefni og reyndar öll aðskotaefni í seti því örðugt getur verið að greina sundur áhrif einstakra efna því samlegðaráhrif (synergy) margra aðskotaefnaþátta í seti geta verið umtalsverð.

Tafla 1 Viðmiðunarstyrkur ólífrænna snefilefna í seti og umhverfismörk. Um aðgengilegan hluta snefilefnanna er að ræða fyrir utan ERL-L, REL og TEL. Styrkur er í öllum tilvikum meðeininguna $\mu\text{g/g}$ þurrefnis.

BC: background (bakgrunnsgildi). BAC: background assessment concentration (grunnstyrksmatsgildi).

Table 1 Reference concentrations of trace elements in sediments and their sediment quality guidelines. The levels relate to acid available fractions for background concentrations except for ERL-L, REL and TEL. All data expressed in units $\mu\text{g/g}$ dry weight.

BC: background concentration. BAC: background assessment concentration.

	ÍS9396 5ti hundraðshluti	ÍS9396 Miðgildi	ÍS9396 95ti hundraðshluti	Noregur BC/II-efri	Svíþjóð BC	ICES BC/BAC	ER-L NOAA 1991/1995	REL Kanada	TEL Kanada
As	3,5	9,3	30,3	20/52	10	15/22	33/8,2	4,1	5,9
Cd	0,07	0,15	0,35	0,25/2,6	0,2	0,2/0,31	5/1,2	0,33	0,6
Co	10,1	18,5	24,2	-	12	-	-	-	-
Cu	26,3	39,8	59,8	35/51	15	20/31	70/34	22	36
Ni	19,2	25,2	56,7	30/46	30	45/70	30/20,9	ND°	ND°
Pb	3,0	8,2	23,4	30/83	25	25/34	35/46,7	25	35
Zn	36,5	57,1	79,1	150/360	85	90/116	120/150	80	120
Hg*	0,020	0,021	0,076	0,15/0,63	0,04	0,05/0,08	0,15/0,15	0,094	0,17
Cr**	40	49	112	70/560	40	60/76	80/81	25	37

*Fyrir ÍS9396 hafa hálf greiningarmörkin verið notuð við útreikninga á Hg en um 70 % sýna voru undir greiningarmörkum (0,041-0,043 $\mu\text{g/g}$ þ.v.).**Gildin fyrir króm í ÍS9396 hafa verið umreiknuð úr heildarefnagreiningu í efnagreiningu á aðgengilegum hluta (leiðréttingarstuðull úr Swedish EPA 2000).°ND: ekki var gerlegt að reikna út REL og TEL fyrir Ni.

*For ÍS9396, half the LODs (limit of detection) have been used for the calculations of the Hg percentiles but about 70 % of the samples were below the LODs (0.041-0.043 $\mu\text{g/g}$ dry weight).**Values for chromium in ÍS996 have been converted from total content to acid available fraction (using factors in Swedish EPA 2000). °ND: it was not possible to calculate REL and TEL for Ni.

Úr töflu 1 má lesa margt forvitnilegt en það sem vekur fyrst athygli er hvað mismunandi aðilar komast að ólíkum niðurstöðum um hvað ætla megi að sé hættulaust set (NOAA og Kanada) og kemur hér aðallega til mjög ólík aðferðafræði við matið. Gildin fyrir Pb, Zn og Cr eru þó nokkuð samhljóða en fyrir önnur frumefni er munurinn frá því að vera mikill (tvöfaldur) til þess að vera mjög mikill (tífoldur).

Mat Norðmanna og Svía á bakgrunnsgildum eru ekki alltaf samhljóða. Gildin eru samhljóða í Cd, Ni og Pb en annars er munurinn oft u.þ.b. tvöfaldur. Athygli vekur að íslenska setið (grunnsgildi) getur verið

frábrugðið grunnildum í Noregi og Svíþjóð, einkum er varðar Cu en einnig í tilviki Cr. Hér kemur ugglaut til mismunur í jarðefnafræði og/eða hafefnafræði við Skandinavíu annars vegar og við Ísland hins vegar. Þetta sést líka við samanburð íslensku niðurstaðnanna við ICES, einkum á það við um Cu en styrkur kopars er almennt hærra við Ísland en víða í NA-Atlantshafi skv. töflu 1. Einnig má sjá af töflu 1 að blý er lágt samanborið við ICES, Svíþjóð og Noreg og á það einnig við um sink. Af þessum sökum er ástæða til að meta niðurstöður þessa verkefnis einkum m.t.t. íslenska gagnagrunnsins á sama hátt og Norðmenn og Svíar notast við gagnagrunna úr sínu umhverfi við mat á niðurstöðum.

PAH-efni

Rannsóknir hafa farið fram á bakgrunnstyrk á Íslandi og reynist hann mjög lágur (Hafsteinn G. Guðfinnsson o. fl. 2001) og ekki ósvipaður og grunnstyrkur þessara efna í t.d. Noregi og ICES, sjá töflu 2b, en þess er að geta að mörk Norðmanna og Svía fyrir PAH-efni og önnur lífræn efni miðast við set með 1 % kolefni á þurrefnisgrunni (SFT 2007a; Bakke *et al.* 2010; Swedish EPA 2000). ICES miðar hins vegar sín bakgrunnsmörk við 2,5 % kolefni á þurrefnisgrunni (ICES 2004), sjá töflu 2b, en í Kanada er litið svo á að gögn leyfi ekki að miðað sé við lífrænt kolefni í setinu (Environment Canada 2007), sjá töflu 2a. Rannsóknir benda til að vegna mismunar í gerð lífræns kolefnis þá gerir það ekki grein fyrir breytileika í eiturvirkni lífrænna efna í seti á lífverur (Meyer *et al.* 1993).

Eins og fram kom að ofan er til mikill fjöldi viðmiðunarmarka fyrir aðskotaefni og þar á meðal PAH-efni (Burton *et al.* 2002) og eru forsendur þeirra ólíkar og þar af leiðandi viðmiðunarmörkin sjálf mjög frábrugðin frá einu tilviki til annars. Í töflu 2 (a, b og c) eru tekin saman þau viðmiðunarmörk, sem notuð eru í nágrannalöndum við mat á niðurstöðum en svipaðri aðferðafræði er beitt á flokkun sets er varðar PAH-efni og notuð var á ólífrænu snefilefni hér að ofan.

Í töflu 2a eru viðmiðunargildi fyrir PAH-efni í Kanada en þau eru reiknuð sem $REL = \sqrt{E_{15} \times NE_{15}}$, $TEL = \sqrt{E_{15} \times NE_{50}}$, $OEL = \sqrt{E_{50} \times NE_{50}}$, $PEL = \sqrt{E_{50} \times NE_{85}}$ og $FEL = \sqrt{E_{85} \times NE_{85}}$ þar sem E_x er x-ti hundraðshluti gagna sem sýnir áhrif og NE_x er x-ti hundraðshluti gagnanna sem sýnir engin áhrif (Environment Canada 2007).

Í töflu 2b eru viðmiðunarmörkin fyrir PAH-efni í Noregi. Flokkur I eru bakgrunnsgildi fengin við mat á lægsta styrk efnanna í seti fjarri þekktum mengunaruppsprettum. Við skoðun á töflu 2b má sjá að bakgrunnsgildi í Noregi og ICES (BC-gildi) eru ávallt þau sömu að undanskildum tveimur efnum, benso(ghi)perylene og indeno(123cd)pyren, þar sem viðmiðunarmörkin eru þó mjög áþekkt. Þetta er ekki tilviljun (Bakke *et al.* 2010 og heimildir þar). Það sem ICES gerir hins vegar er að taka tillit til breytileika í niðurstöðum mælinga á seti og býr til BAC, en eins og áður sagði þá er BAC fengið með tölfraðilegri viðbót staðalfrávika við BC úr fjölda sýna úr NA-Atlantshafi (ICES 2004). ICES telur hins vegar gögnin fyrir 6 efnanna ekki leyfa að útbúin séu viðmiðunargildi (acenaften, acenaftýlen, fluoren, bens(b)fluoranten, bens(k)fluoranten og dibens(ah)antracen).

Fyrir flokk II í Noregi, gott ástand, er ekki von á eiturvirkni á lífverur (Bakke *et al.* 2010). Við skoðun á töflum 2a og 2b sést að mismunur er umtalsverður í mati Norðmanna og Kanadamanna en flokkur II (gott ástand) í Noregi er með efri mörk yfir PEL [probable effect level] í Kanada (acenaftýlen, fluoren, og fenantren) og á milli OEL [occasional effect level] og PEL (naftalen, acenaften, bens(a)pyren og dibens(ah)antracen). Hins vegar er flokkur II í Noregi með efri mörk á milli REL [rare effect level] og TEL [threshold effect level] í tilviki antracen og bens(a)antracen.

Tafla 2a. Umhverfismörk PAH-efna í seti ($\mu\text{g}/\text{kg}$ þurrvigt), -Kanada.

Mörkin fyrir Kanada eru eingöngu á þurrefnisgrunni (óháð lífrænu kolefni) og miða við áhrif á lífverur, sjá skýringar í texta.

Table 2a. Sediment quality guidelines for PAHs in sediments ($\mu\text{g}/\text{g}$ dry weight), - Canada.

The guidelines in Canada are expressed on dry weight (irrespective of organic carbon) and relate to effects on biota, see text for further discussion.

REL: rare effect level; TEL: threshold effect level; OEL: occasional effect level; PEL: probable effect level; FEL: frequent effect level.

	Kanada	Kanada	Kanada	Kanada	Kanada
	REL	TEL	OEL	PEL	FEL
	$\mu\text{g}/\text{kg}$	$\mu\text{g}/\text{kg}$	$\mu\text{g}/\text{kg}$	$\mu\text{g}/\text{kg}$	$\mu\text{g}/\text{kg}$
	p.v.	p.v.	p.v.	p.v.	p.v.
naftalen	17	35	120	390	1200
acenaften	3,7	6,7	21	89	940
acenaftýlen	3,3	5,9	31	130	340
fluoren	10	21	61	140	1200
fenantren	23	87	250	540	2100
antracen	16	47	110	240	1100
fluoranten	27	110	500	1500	4200
pyren	41	150	420	1400	3800
bens(a)antracen	27	75	280	690	1900
krysen	37	110	300	850	2200
bens(b)fluoranten	-	-	-	-	-
bens(k)fluoranten	-	-	-	-	-
bens(a)pyren	34	89	230	760	1700
dibens(ah)antracen	3,3	6,2	43	140	200
benso(ghi)perýlen	-	-	-	-	-
indeno(123cd)pyren	-	-	-	-	-
Summa	225	708	2246	6479	19680

Tafla 2b. Viðmiðunarstyrkur og umhverfismörk fyrir PAH-efni í seti, -ICES og Noregur.

Styrkur fyrir ICES-gildin hafa verið umreiknuð úr 2,5 % í 1% lífrænt kolefni (TOC). Öll gildi töflunnar eru því alltaf $\mu\text{g}/\text{kg}$ þurrvigt og 1 % lífrænt kolefni.

Flokkar (Fl.) eiga við umhverfismörk í Noregi fyrir utan Fl. I, sem er bakgrunnsgildi (tölfræðilega unnið). Aðrir flokkar byggja á eiturefnafræðilegu mati (SFT 2007a; Bakke et al. 2010).

Table 2b. Reference values and sediment quality guidelines for PAHs, - ICES and Norway.

The levels of ICES have been converted from 2.5 % to 1 % organic carbon (TOC). The levels in the table are therefore all expressed in $\mu\text{g}/\text{kg}$ at 1 % organic carbon.

Classes (Fl.) relate to sediment quality guidelines in Norway except class I which is statistically evaluated background concentration. Other classes in Norway rely on toxicological evaluations (SFT 2007a; Bakke et al. 2010).

BC: background level; BAC: background assessment level.

	ICES BC	ICES BAC	Fl. I Bak- grunnur	Fl. II Gott	Fl. III Sæmilegt (moderate)	Fl. IV Slæmt	Fl. V Mjög slæmt
naftalen	2	4,4	<2	2-290	290-1000	1000-2000	>2000
acenaften	-	-	<1,6	1,6-33	33-85	85-850	>850
acenaftýlen	-	-	<4,8	2,4-160	160-360	360-3600	>3600
fluoren	-	-	<6,8	6,8-260	260-510	510-5100	>5100
fenantren	6,8	16	<6,8	6,8-500	500-1200	1200-2300	>2300
antracen	1,2	3,2	<1,2	1,2-31	31-100	100-1000	>1000
fluoranten	8	18	<8	8-170	170-1300	1300-2600	>2600
pyren	5,2	11	<5,2	5,2-280	280-2800	2800-5600	>5600
bens(a)antracen	3,6	8,8	<3,6	3,6-60	60-90	90-900	>900
krysen	4,4	12	<4,4	4,4-280	280-280*	280-560	>560
bens(b)fluoranten	-	-	<46	46-240	240-490	490-4900	>4900
bens(k)fluoranten	-	-	-	<210	210-480	480-4800	>4800
bens(a)pyren	6	22	<6	6-420	480-830	830-4200	>4200
dibens(ah)antracen	-	-	<20	20-47	47-70	70-700	>700
benso(ghi)perýlen	18	56	<12	12-590	590-1200	1200-12000	>12000
indeno(123cd)pyren	20	51,2	<18	18-21	21-31	31-310	>310
Summa	75	203	<300	300-2000	2000-6000	6000-20000	>20000

*Gildin eru blámerkt því ekki er um bil að ræða en svona er þetta birt í þeim heimildum sem skoðaðar hafa verið (SFT 2007a og Bakke et al. 2010).

*The values are highlighted in blue since they do not represent an interval but this is the way they have been published (SFT 2007a and Bakke et al. 2010).

Fyrir flokk III í Noregi (sæmilegt ástand; moderate) má búast við eituráhrifum á lífverur við stöðuga viðveru lífvera á og í setinu en fyrir flokk IV má búast við eituráhrifum við skammtímvistun lífvera á og í setinu. Fyrir set í flokki V (mjög slæmt ástand) eru miklar líkur á eituráhrifum á lífverur. Ástæður þessa mikla mismunar á Noregi og Kanada geta verið margvíslegar en sú augljósasta er mikill munur í aðferðafræði við eiturefnafræðilegt mat.

Tafla 2c sýnir flokkun sets í Svíþjóð (Swedish EPA 2000) en þar eru flokkarnir skilgreindir eingöngu á grundvelli mæliniðurstaðna á seti við Svíþjóð. Flokkarnir eru 5. Athygli vekur að ólíkt öðrum þá gera Svíar ráð fyrir að grunnstyrkur allra 11 PAH-efnanna sé núll og að annar flokkur sé grunnstyrkur með efri mörk jöfn miðgildi mælinga á seti af 55 cm dýpi fjarri mengunaruppsprettum (viðmiðunargildi; reference value). Að setja grunnstyrkinn jafnan núlli er líklegast nokkur einföldun því sum efnanna koma fyrir í náttúrulegum en oftast lágum styrk. Gildið sem skilur flokk 4 og 5 er fengið sem 95ta hundraðsmark mæligilda af öllum yfirborðssetsniðurstöðunum (hágildi). Mörk þriðja flokks og fjórða flokks fæst með því að margfalda mörkin milli flokka 2 og 3 með þriðju rótinni af hlutfallinu á milli hágildis og viðmiðunargildis.

Mismunur á bakgrunnsgildum í Noregi og ICES annars vegar, tafla 2b, og Svíþjóð hins vegar, tafla 2c (flokkmörk 2 og 3), er umtalsverður þrátt fyrir að í báðum tilvikum sé miðað við 1 % lífrænt kolefni og tölfræðilegt mat á bakgrunnstyrk PAH-efna.

Tafla 2c. Umhverfismörk PAH-efna í seti, -Svíþjóð. Styrkur er $\mu\text{g}/\text{kg}$ þurrvigt og 1 % lífrænt kolefni.

Mörk annars og þriðja flokks er miðgildi mælinga á djúpseti fjarri mengunaruppsprettu og mörk flokka 4 og 5 er 95ta hundraðsmark mæliniðurstaðna fyrir yfirborðsset. Fyrir skilgreiningu annarra flokkamarka sjá texta.

Table 2c. Sediment quality guidelines for PAHs in sediments, - Sweden. The levels are expressed in units of $\mu\text{g}/\text{kg}$ dry weight and 1 % organic carbon.

Class boundary between second and third class is the medium value for deep sediment samples away from known pollution sources while the boundary between classes 4 and 4 is the 95 % percentile of results from surface sediments. See text for the definition of other boundaries.

	Flokkur 1 Bakgrunnur	Flokkur 2 Lágt	Flokkur 3 Hóflegt (moderate)	Flokkur 4 Hátt	Flokkur 5 Mjög hátt
naftalen	-	-	-	-	-
acenaften	-	-	-	-	-
acenaftýlen	-	-	-	-	-
fluoren	-	-	-	-	-
fenantren	0	0-10	10-30	30-100	>100
antracen	0	0-2	2-8	8-30	>30
fluoranten	0	0-20	20-80	80-270	>270
pyren	0	0-12	12-50	50-200	>200
bens(a)antracen	0	0-10	10-35	35-110	>110
krysen	0	0-13	13-50	50-180	>180
bens(b)fluoranten	0	0-50	50-150	150-400	>400
bens(k)fluoranten	0	0-20	20-50	50-160	>160
bens(a)pyren	0	0-20	20-60	60-180	>180
dibens(ah)antracen	-	-	-	-	-
benso(ghi)perýlen	0	0-30	30-100	100-350	>350
indeno(123cd)pyren	0	0-50	50-170	170-600	>600
Summa	0	0-280	280-800	800-2500	>2500

Sýnataka

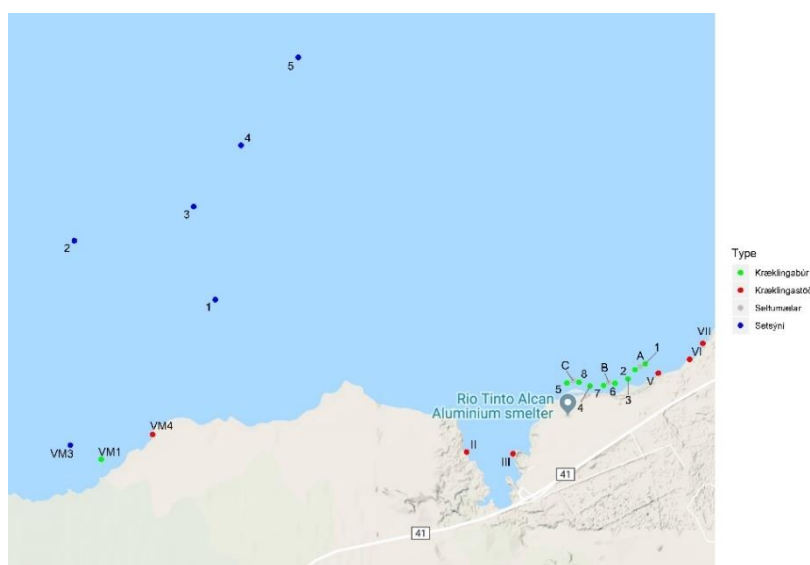
Sjóferðir og sýnatökur fóru fram á Sæmundi fróða RE 32, báti Rannsóknaseturs Háskóla Íslands á Suðurnesjum. Halldór Pálmar Halldórsson og Hermann Dreki Guls sáu um undirbúning sjóferða og framkvæmd.

Þann 6. júlí 2018 var farið í fyrstu sjóferðina til að leita að hentugu seti til efnagreininga. Botngreip af gerðinni Petite Ponar (2,4 lítra, 11 kg) var notuð við leitina að seti. Ekkert set fannst í næsta nágrenni kerbrotagryfjanna, - þar var einungis harður botn og botngreipin kom ýmist upp tóm eða með steina og skeljabrot. Botninn var kannaður með reglulegu millibili til vesturs og norðvesturs út frá kerbrotagryfjum og fannst grófur sandur 1,5 - 2 km frá landi á ca 25 m dýpi. Mjúkur og leirkenndur botn fannst 2,5 – 3 km til vesturs og norðvesturs frá stöðvunum á 30 – 35 m dýpi. Á þessum slóðum voru tekin botngreipasýni á 5 stöðvum til efnagreininga þann 13. júlí. Setsýni var einnig tekið á 30 m dýpi um 200 m norðan við nýja viðmiðunarstöð fyrir krækling en sú stöð er um 3 km vestan við innsiglinguna í Straumsvík. Sýnum var komið fyrir í 120 mL glerkrukkum, sem voru sérstaklega þrífarnar af starfsmönnum NMÍ m.t.t. lífrænna og ólífrænna snefilefna, og sýnin fryst. Hnit stöðvanna koma fram í töflu 3 og sýnd á mynd 1.

Tafla 3 Sýnatökustöðvar setsýna.

Table 3 Sampling stations for the sediments.

Stöð	Baughnit (WGS84)	Dýpi (m)
1	64°03.261' 22°05.198'	34
2	64°03.500' 22°06.502'	36
3	64°03.639' 22°05.399'	37
4	64°03.887' 22°04.962'	34
5	64°04.243' 22°04.433'	31
6 (VM3)	64°02.671' 22°06.538'	31



Mynd 1 Sýnatökustöðvar setsýna, bláir punktar.

Figure 1 Sampling stations of sediment samples, blue markings.

Mæliaðferðir

Fyrir mælingar voru setsýni frostþurrkuð og síðan síuð gegnum 2 mm sigti fyrir einsleitingu (ZrO₂ kúlukvörn). Frostþurrkunin gefur þurrefnisgildi.

Mælingar á öllum mælipáttum utan PAH-efna fóru fram á Efnagreiningadeild Nýsköpunarmiðstöðvar Íslands: ICP-OES, ICP-MS, frumefnagreini (TOC og TN) og flúorsérkvæðu rafskauti eftir örsveimsmeðferð (F). Mælingar á PAH-efnum fóru fram með GC-MS hjá GBA, Flensburger Strasse 15, 25421 Pinneberg, Germany, faggilt fyrir PAH-mælingar af þýsku stofunni DAkKS. Milligöngu um mælingarnar á PAH-efnum hafði ALS Scandinavia AB, Danderyd, Svíþjóð.

Mælingar á ólífrænum snefilefnum fóru fram eftir örbylgjusundrun setsýnanna í kóngavatni. Ekki eru til viðmiðunarefniviður fyrir öll ólífrænu snefilefnin í viðmiðunarsetinu en mælt var í Lake sediment (BCR No 701) og má sjá árangurinn í töflu 4.

Tafla 4 Niðurstöður mælinga á Lake sediment (BCR No 701) samfara mælingum þessa verkefnis.

Table 4 Results from the analysis of Lake sediments (BCR No 701) run concurrently with the analysis of this project.

BCR No. 701	Cr (µg/g)	Ni (µg/g)	Cu (µg/g)	Zn (µg/g)	Cd (µg/g)	Pb (µg/g)
Mælt gildi	298	102	252	462	11,0	153
Vottað gildi	254 ± 17	98 ± 7	267 ± 21	460 ± 28	11,5 ± 0,8	149 ± 11

Eins og fram kom að ofan þá má búast við að þessi sundrun setsýnanna gefi hærri niðurstöður en sundrun með þynntri saltpétursýru eins og í tilviki íslenska gagnagrunnsins auk þess sem viðmiðunargögnin frá Noregi og Svíþjóð eru einnig fengin með saltpétursýrusundrun.

Kloríð var mælt með ICP-MS eftir vatnsútdrátt á setsýnunum og glæðitap (LOI: loss On Ignition) var mælt eftir glæðingu við 550°C í 3 tíma.

Ýmsar gæðatryggingaraðferðir voru notaðar við mælingarnar s.s. innanhússviðmiðunarefni, staðalviðbætur og tvísýnamælingar.

Niðurstöður og umræða

Talsverð fjarlægð er frá álverinu að sýnatökustöðvunum og við það bætist að nettóstraumar eru frá vestri til austurs á þessu svæði (Svend-Aage Malmberg 1989) en sýni voru tekin norðvestur af Straumsvík. Til viðbótar er þess að geta að mörg þeirra aðskotaefna, sem eru til rannsóknar í þessu verkefni, geta átt rætur að rekja til umferðar um Reykjanesbraut, iðnaðarstarfsemi sunnan við álverið og losun frárennslis NA af álverinu. Hins vegar má ætla að agnir á svæðinu safnist fyrir þar sem set getur myndast og því má gera ráð fyrir að niðurstöður þessa verkefnis endurspegli mengunarálag yfir lengri tíma frá m.a. aðliggjandi landsvæðum.

Meginefnabættir

Í töflu 5 eru niðurstöður mælinga á meginefnabáttum setsýnanna.

Tafla 5 Meginefnasamsetning setsýna.

Table 5 Main constituents of sediment samples.

Stöð	Hluti > 2 mm	Þurrefni*	LOI**	TOC	TN	Al	Mn	Fe	Mg	Ca	P	Cl	Cl sem NaCl
	%	%	%	%	%	mg/g	mg/g	mg/g	mg/g	mg/g	mg/g	mg/g	mg/g
	af þ.v.		af þ.v.	af þ.v.	af þ.v.	af þ.v.	af þ.v.	af þ.v.	af þ.v.	af þ.v.	af þ.v.	af þ.v.	af þ.v.
1	4,2	80,7	6,06	1,55	0,11	28,3	0,58	43,8	23,8	153,3	0,82	1,43	2,4
2	17,7	66,4	10,05	2,45	0,13	26,9	0,55	50,3	22,0	153,5	1,00	2,07	3,4
3	15,1	62,4	8,15	2,01	0,11	26,2	0,56	45,6	24,4	163,2	0,77	1,66	2,7
4	10,5	57,4	4,81	1,03	0,04	24,8	0,60	44,7	28,9	186,2	0,64	1,14	1,9
5	12,5	83,0	8,71	2,32	0,16	30,2	0,57	53,7	28,3	119,8	0,91	2,02	3,3
6 (VM3)	6,5	80,6	6,84	1,91	0,15	32,3	0,51	41,5	20,3	142,0	0,85	1,77	2,9

*Úr frostþurrkun. **LOI: Loss On Ignition (glæðitap).

Tafla 5 sýnir að hlutfall efna stærri en 2 mm er á bilinu 4,2 til 17,7 % og gæti það því hafa haft veruleg áhrif á samanburð milli sýna og milli sýna og viðmiðunargilda hefði þessi hluti ekki verið tekinn frá fyrir mælingar. Nokkra lækun í styrk hefði einnig mátt sjá ef þessi hluti hefði verið hafður með í sýnunum. Meginefnabáttunum má lýsa með fylgnistuðlafylki, sjá töflu 6.

Tafla 6 Fylgnifylki meginefnabáttanna setsýna.

Grænn litur: stuðlar á milli 0,5 og 1. Rauður litur: stuðlar á milli -1 og -0,5.

Table 6 Correlation matrix for main constituents.

Green colour: factors between 0.5 and 1. Red colour: factors between -1 and -0.5.

	Hluti > 2 mm	Þurrefni*	LOI**	TOC	TN	Al	Mn	Fe	Mg	Ca	P	Cl
Hluti > 2 mm	1,00	-0,54	0,73	0,56	0,04	-0,45	0,06	0,64	0,11	0,05	0,35	0,51
Þurrefni	-0,54	1,00	0,13	0,36	0,78	0,88	-0,40	0,11	-0,27	-0,86	0,49	0,42
LOI	0,73	0,13	1,00	0,97	0,67	0,15	-0,37	0,70	-0,30	-0,55	0,86	0,93
TOC	0,56	0,36	0,97	1,00	0,83	0,39	-0,51	0,63	-0,39	-0,72	0,90	0,98
TN	0,04	0,78	0,67	0,83	1,00	0,82	-0,67	0,37	-0,46	-0,94	0,80	0,87
Al	-0,45	0,88	0,15	0,39	0,82	1,00	-0,71	-0,06	-0,46	-0,80	0,44	0,48
Mn	0,06	-0,40	-0,37	-0,51	-0,67	-0,71	1,00	0,28	0,87	0,42	-0,49	-0,54
Fe	0,64	0,11	0,70	0,63	0,37	-0,06	0,28	1,00	0,42	-0,50	0,57	0,64
Mg	0,11	-0,27	-0,30	-0,39	-0,46	-0,46	0,87	0,42	1,00	0,17	-0,48	-0,37
Ca	0,05	-0,86	-0,55	-0,72	-0,94	-0,80	0,42	-0,50	0,17	1,00	-0,71	-0,77
P	0,35	0,49	0,86	0,90	0,80	0,44	-0,49	0,57	-0,48	-0,71	1,00	0,92
Cl	0,51	0,42	0,93	0,98	0,87	0,48	-0,54	0,64	-0,37	-0,77	0,92	1

Það sem vekur fyrst athygli eru neikvæðir fylgnistuðlar fyrir Ca gagnvart öllum öðrum efnabáttum (utan Mn og Mg). Setið er hlutfallslega kalkríkt eða 12,0 til 18,6 % Ca (samsvaraði 30,0-46,6 % kalks, CaCO₃). Efni á borð við fínmulinn skeljasand og kalkþörungur virðist því vera ríkjandi í setinu, sem „þynnir út“ aðra efnabætti. Þessi kalkstyrkur er hins vegar áþekkur því sem er að finna í íslensku seti en hann er á bilinu 5-21 % Ca (samsvarar 13-53 % af kalki) (5 % og 95 % hundraðsmörk ÍS9396, n=55). Meginefnabættir gera grein fyrir 38-44 % öskunnar í setinu, afgangur eru steindir ríkar af kísli og áli. Athygli vekur að mólhlutfall Mg og Mg+Ca er nánast það sama í öllum sýnunum eða 19-21 % utan í sýni af stöð 5 með 28 %. Almennt er gert ráð fyrir að þetta hlutfall sé sem hæst 30 % á grunnsævi (Rude and Aller 1991; sýrusundrun) en sýni í íslenska gagnagrunninum eru með mjög breytilegt hlutfall og kemur þar m.a. til mismunur í dýpi og ekki síst munur í mæliaðferð, -hins vegar voru sýni tekin 21/10/1993 út af Keilisnesi (botngreip; 45 m dýpi) og af Leiruboða (botngreip; 52 m dýpi), NV af Álftanesi, með þetta mólhlutfall 23 og 20 %. Magnesín í ÍS9396 er á bilinu 1,9 og 3,6 % (miðgildi 2,9 %; n=55), þ.e. sýni þessa verkefnis eru innan þess bils sem vænta mátti (bæði Mg og Ca voru þó mæld með heildarefnagreiningu í ÍS9396).

Lífrænu þættirnir (LOI og TOC) sýna góða fylgni sín á milli og gagnvart efnum sem aðallega eiga rætur að rekja til lífvera (TN og P) en einnig salts (Cl) og járn (Fe). Kolefni sem hlutfall af glæðitapi (LOI) er hér nákvæmlega það sama og fæst úr íslenska gagnagrunninum eða 25,3 % hér en 25,5 % í ÍS9396. Lífrænt kolefni er hér á bilinu 1-2,5 % en 0,4-6,5 % í ÍS9396 og glæðitap er hér 4,8-10 % en er 2,9-24,0 % í ÍS9396 (5 % og 95 % hundraðsmörk í ÍS9396, n=55). Mólhlutfall C og N í lífandi efni í hafi (þörungur)

er um 106/16 (Redfield-hlutfall) eða um 6,6. Hér mælist það hækkandi er frá dregur ströndu (úr 15 á stöð 6 í 32 á stöð 4) en er þó aftur lágt á stöð 5 eða 17. Þetta bendir til að um lífrænt efni af landi sé að ræða og/eða að um sundraðar lífrænar leifar sjávarplantna sé að ræða (N (og P) losnar hraðar úr lífrænu efni í sjó en C).

Ál í setsýnunum er hér aðgengilegur hluti áls, ekki ál úr heildarefnagreiningu, sem notað er til viðmiðunar viðmiðunargildum í ICES (5 %) eða er að finna í íslenska gagnagrunninum, þ.e. ekki er um sambærilegar niðurstöður að ræða.

Haustið 2011 var tekin botngreip af Sviðsbrún (botngreip; 52 m dýpi) NV af Gróttu og reyndist það innihalda 43,6 mg/g Fe eða svipað og af stöðvum 1, 3, 4 og 6 í töflu 5 (sundrun með kóngavatni eins og nú) (Guðjón Atli Auðunsson 2015). Aftur sker sig stöð 5 út með hæstan járnstyrk eða 53,7 mg/g.

Samanburður við bakgrunnsstyrk aðskotaefna í öðru seti í kringum landið er því réttlætunlegur að svo miklu leyti sem meginefni áhrærir.

Ólífræn snefilefni.

Í töflu 7 er að finna niðurstöður mælinga á ólífrænum snefilefnum í setsýnunum.

Tafla 7 Ólífræn snefilefni í setsýnum.

Styrkur allra frumefnanna er á þurfnisgrunni.

Table 7 Trace elements in sediment samples

All concentrations are expressed on a dry weight basis.

Stöð	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb	F	Hg	Ag
	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g
1	133	63,8	23,9	73,0	41,1	63,7	12,5	0,10	4,1	225	<0,01	<0,4
2	139	61,3	21,7	56,1	36,9	67,7	19,1	0,15	5,1	241	0,02	<0,4
3	136	68,8	23,8	73,6	39,0	63,3	13,8	0,14	4,3	216	0,01	<0,4
4	127	88,2	27,1	100,0	39,5	55,7	12,2	0,09	3,1	174	<0,01	<0,4
5	145	82,1	26,9	95,0	42,0	72,3	16,8	0,13	5,6	196	0,01	<0,4
6 (VM3)	128	46,4	19,7	48,5	39,6	58,1	9,3	0,10	3,8	205	<0,01	<0,4

Fylgnistuðlar gefa þökkalega heildarmynd af hegðun frumefnanna og eru þeir gefnir upp í töflu 8.

Tafla 8 Fylgnistuðlar ólífrænna snefilefna í setsýnum.

Grænn litur: stuðlar á milli 0,5 og 1. Rauður litur: stuðlar á milli -1 og -0,5.

Table 8 Correlation matrix for trace elements in the sediment samples.

Green colour: factors between 0.5 and 1. Red colour: factors between -1 and -0.5.

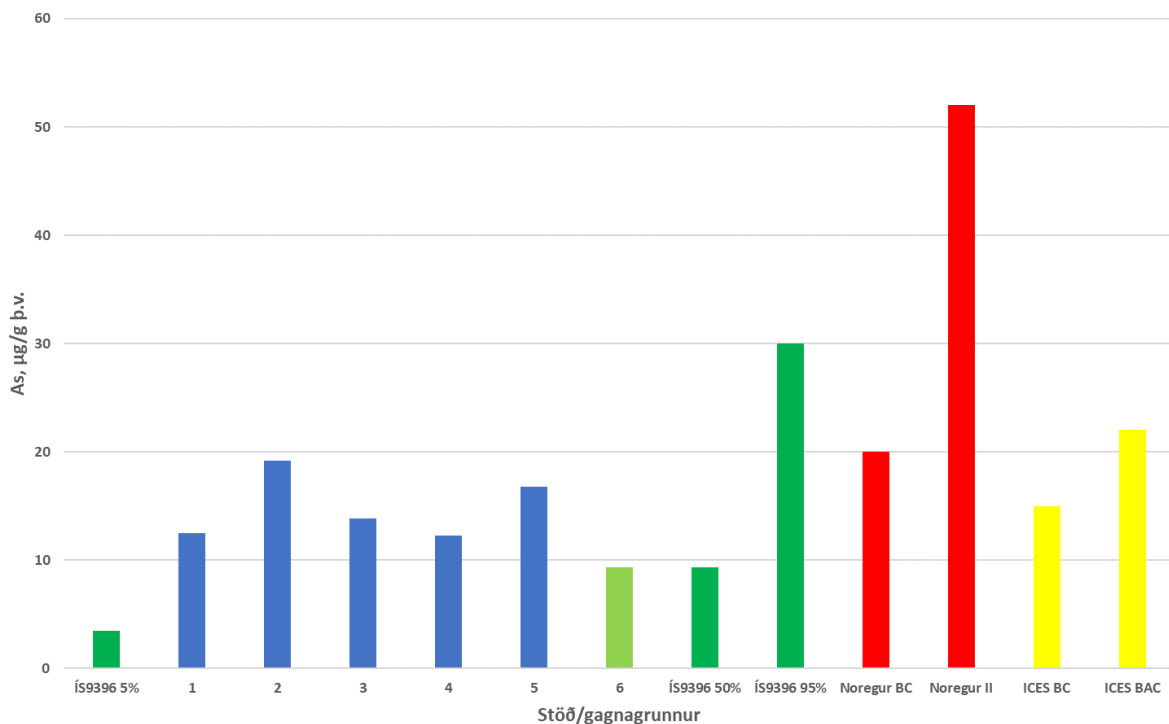
	TOC	Fe	Ca	Mg	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb	F
TOC	1,00	0,63	-0,72	-0,39	0,77	-0,36	-0,37	-0,45	-0,21	0,79	0,65	0,87	0,90	0,62
Fe	0,63	1,00	-0,50	0,42	0,92	0,46	0,44	0,36	0,08	0,87	0,89	0,63	0,85	0,12
Ca	-0,72	-0,50	1,00	0,17	-0,66	0,27	0,16	0,19	-0,47	-0,73	-0,26	-0,32	-0,77	-0,23
Mg	-0,39	0,42	0,17	1,00	0,23	0,98	0,99	1,00	0,47	0,11	0,18	-0,26	-0,04	-0,70
V	0,77	0,92	-0,66	0,23	1,00	0,25	0,28	0,18	0,17	0,98	0,83	0,74	0,96	0,33
Cr	-0,36	0,46	0,27	0,98	0,25	1,00	0,98	0,97	0,31	0,12	0,29	-0,16	-0,02	-0,61
Co	-0,37	0,44	0,16	0,99	0,28	0,98	1,00	0,99	0,50	0,18	0,22	-0,23	0,01	-0,60
Ni	-0,45	0,36	0,19	1,00	0,18	0,97	0,99	1,00	0,52	0,08	0,11	-0,32	-0,09	-0,70
Cu	-0,21	0,08	-0,47	0,47	0,17	0,31	0,50	0,52	1,00	0,20	-0,30	-0,49	0,07	-0,46
Zn	0,79	0,87	-0,73	0,11	0,98	0,12	0,18	0,08	0,20	1,00	0,80	0,71	0,98	0,44
As	0,65	0,89	-0,26	0,18	0,83	0,29	0,22	0,11	-0,30	0,80	1,00	0,81	0,79	0,45
Cd	0,87	0,63	-0,32	-0,26	0,74	-0,16	-0,23	-0,32	-0,49	0,71	0,81	1,00	0,79	0,69
Pb	0,90	0,85	-0,77	-0,04	0,96	-0,02	0,01	-0,09	0,07	0,98	0,79	0,79	1,00	0,50
F	0,62	0,12	-0,23	-0,70	0,33	-0,61	-0,60	-0,70	-0,46	0,44	0,45	0,69	0,50	1,00

Sjá má af töflu 8 að með hærri styrk kalsíums þá lækka V, Zn og Pb sem bendir til að þessi efni hegða sér svipað og efni sem eiga rætur að rekja til lífvera (TOC, LOI, P og TN), sjá að ofan. Sjá má mjög góða fylgni Ni, Co og Cr sem bendir til sameiginlegrar uppsprettu og/eða hegðunar þessara efna í seti, viðmiðun meðtalin. Þessi þrjú frumefni hafa einnig mjög góða fylgni við Mg, sem bendir til að þessi efni hegða sér áþekkt og Mg í setinu.

As

Mynd 2 sýnir að styrkur arsens í setsýnunum er jafn eða lægri en bakgrunnsviðmiðun í Noregi og meðaltal stöðvanna er jafnt bakgrunngildi ICES (BC). Hins vegar eru stöðvarnar undir bakgrunns-matsgildi frá ICES (BAC) og talsvert undir efri mörkum þess sem telst gott ástand í Noregi (flokkur II). Íslenski gagnagrunnurinn hefur talsverða spönn en gildin NV af Straumsvík eru nokkru hærri en viðmiðun á stöð 6 og miðgildi ÍS9396. Íslenski gagnagrunnurinn er með eitt sýni út af Keilisnesi frá 21/10/1993 (botngreip; 45 m dýpi) og reyndist það vera 19,4 µg/g, sem er u.þ.b. jafnhátt hæsta gildinu NV af Straumsvík í þessari rannsókn. Sama dag og sýnið frá Keilisnesi var tekið var einnig tekið sýni frá Leiruboða NV af Álftanesi (botngreip; 52 m dýpi) og reyndist það vera með 9,66 µg/g As, helmingur þess sem mældist við Keilisnes. Haustið 2011 var tekin botngreip af Sviðsbrún (botngreip; 52 m dýpi) NV af Gróttu og reyndist það innihalda 14,2 µg/g As eða u.þ.b. jafnt meðaltalinu í þessari rannsókn (sundrun með kóngavatni eins og nú) (Guðjón Atli Auðunsson 2015). Bendir þetta til að mikill breytileiki getur verið frá einu sýni til annars á svipuðum stöðvum og gefur til kynna að taka þarf nokkur sýni af sömu stöð til að fá góða mynd af styrk snefilefna sbr. tillögur í Noregi (SFT 2007a).

Nokkuð sterk vensl eru á milli arsens annars vegar og járns og lífræns kolefnis hins vegar í íslenska gagnagrunninum. Falla niðurstöðurnar NV af Straumsvík vel að þessu líkani fyrir ÍS9396, þ.e. breytileiki í gögnum þessa verkefnis og mismunur milli viðmiðunar og sýna NV af Straumsvík kemur til af náttúrulegum orsökum.



Mynd 2 As í setsýnum ásamt viðmiðunargildum og umhverfismörkum. Stöð 6 er viðmiðunarstöð.

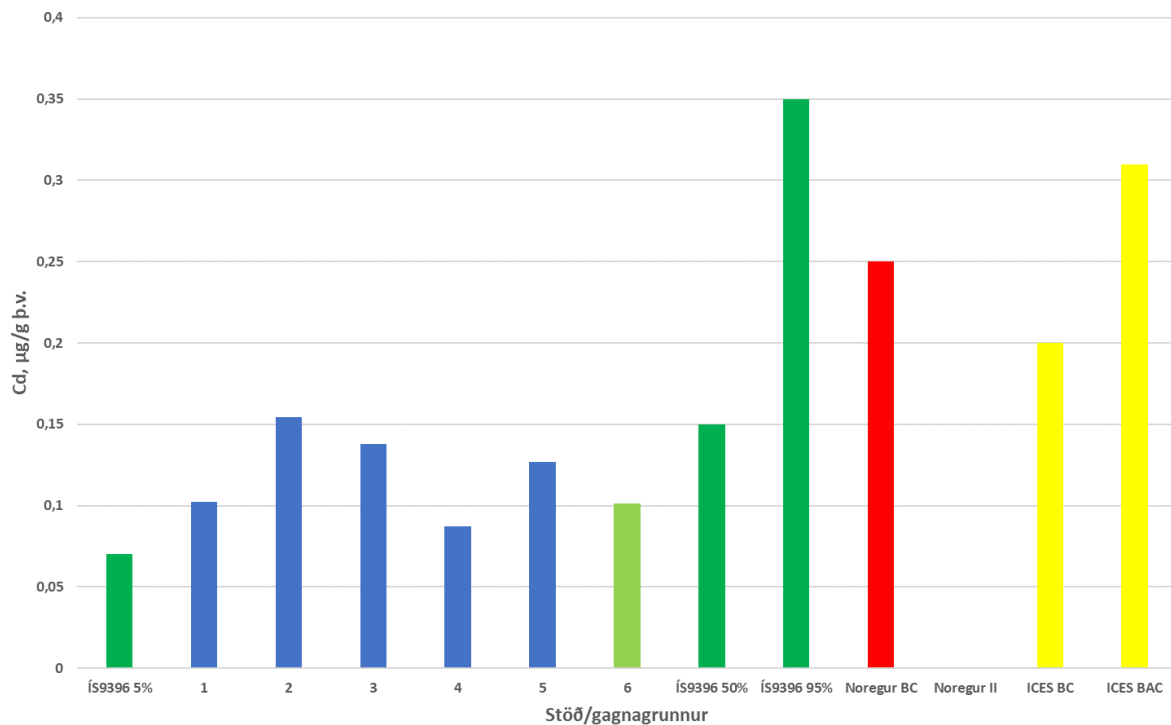
Figure 2 As in sediment samples together with reference values and sediment quality guideline values. Station 6 is a reference station.

Cd

Mynd 3 sýnir styrk kadmíns í setsýnunum NV af Straumsvík ásamt viðmiðunum úr íslenska gagnagrunninum (ÍS9396), Noregi og ICES. Hæsta gildið NV af Straumsvík er jafnt miðgildinu í íslenska gagnagrunninum og telst svæðið því eins og ósnortið set gerist í kringum landið. Af bakgrunnsgildum í Noregi og grunnstyrksmatsgildi ICES (BAC) má sjá að íslenskt set er almennt lágt í kadmíni þó svo hæstu gildin (ÍS9396-95%) fari yfir bakgrunnsstyrki í Noregi og ICES. Bakgrunnsgildi ICES (BC) er 0,2 $\mu\text{g/g}$, um tvöfalt hærra en miðgildi þessarar rannsóknar eða 0,11 $\mu\text{g/g}$.

Íslenski gagnagrunnurinn hefur talsverða spönn. Gagnagrunnurinn inniheldur eitt sýni frá Keilisnesi frá 21/10/1993 (botngreip; 45 m dýpi) og reyndist það vera 0,14 $\mu\text{g/g}$, sem er u.þ.b. jafnhátt miðgildi ÍS9396. Sama dag og sýnið frá Keilisnesi var tekið var tekið sýni frá Leiruboða NV af Álftanesi (botngreip; 52 m dýpi) og reyndist það vera með 0,154 $\mu\text{g/g}$ Cd, ögn hærra en það sem mældist við Keilisnes. Haustið 2011 var tekin botngreip af Sviðsbrún (botngreip; 52 m dýpi) NV af Gróttu og reyndist það innihalda 0,122 $\mu\text{g/g}$ Cd eða jafnt meðaltalinu í þessari rannsókn (sundrun með kóngavatni eins og nú) (Guðjón Atli Auðunsson 2015).

Stöðvarnar NV af Straumsvík eru því eins og búast má við í ósnortnu seti við Ísland er varðar kadmín.



Mynd 3 Kadmín í setsýnum NV af Straumsvík ásamt viðmiðunargildum og umhverfismörkum. Efri mörk góðs ástands í Noregi (flokkur II) er tífalt hærra en bakgrunnsgildið (BC) eða 2,6 $\mu\text{g/g}$ og því sleppt á myndinni.

Figure 3 Cadmium in sedimen samples NW of Straumsvík together with reference values and quality guideline values. Upper bound for good sediments in Norway (class II) is ten times higher than background values (BC) or 2,6 $\mu\text{g/g}$ and therefore excluded in the figure.

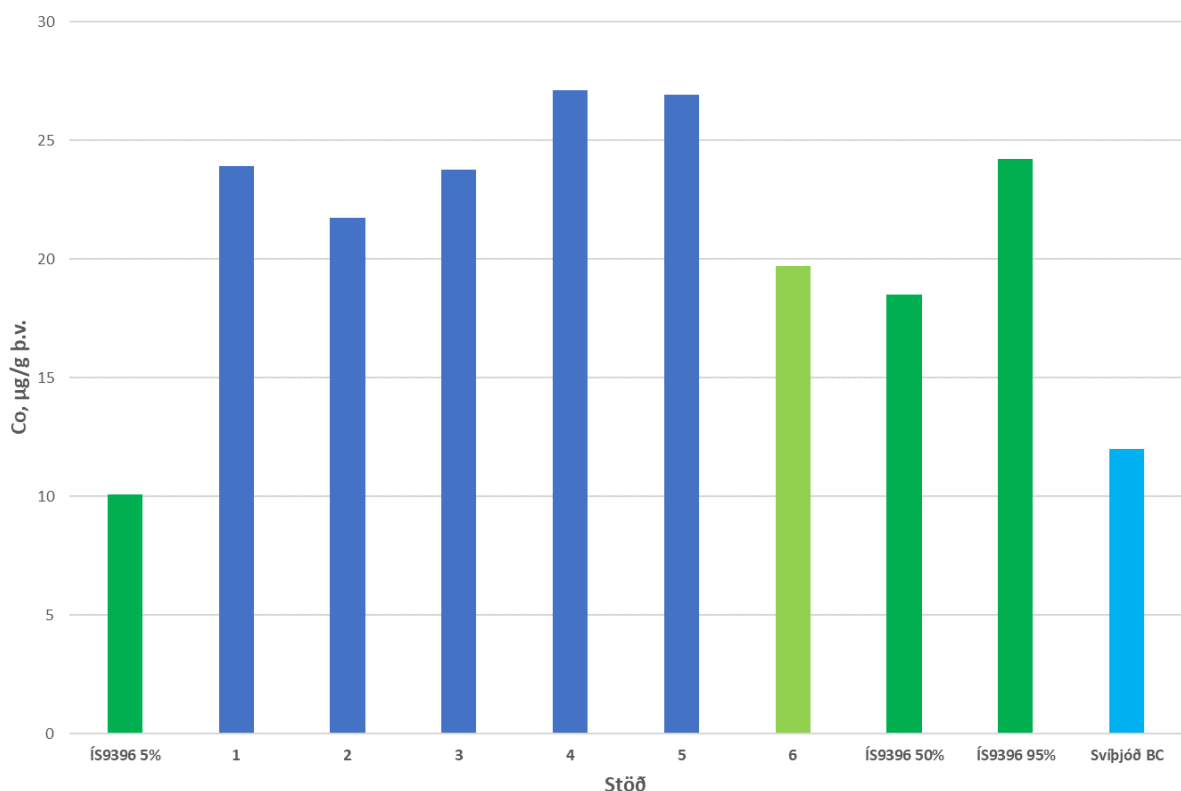
Co

Á mynd 4 má sjá styrk kóbalts í setsýnunum NV af Straumsvík ásamt viðmiðunum úr íslenska gagnagrunninum og bakgrunnsgildi í Svíþjóð. Samanburður við íslenska gagnagrunninn sýnir að stöð 6 hefur áþekkan styrk og miðgildi ÍS9396 en önnur sýni um eða örlítið yfir efri mörkum íslenska gagnagrunnsins. Greina má tilhneigingu til hækkunar er frá dregur landi (stöð 6 næst landi).

Íslenski gagnagrunnurinn er með eitt sýni frá Keilisnesi frá 21/10/1993 (botngreip; 45 m dýpi) og reyndist það vera 22,2 µg/g, sem er u.þ.b. jafnhátt stöð 2 (21,7 µg/g). Sama dag og sýnið frá Keilisnesi var tekið var tekið sýni frá Leiruboða NV af Álftanesi (botngreip; 52 m dýpi) og reyndist það vera með 20,9 µg/g Co, u.þ.b. jafnhátt og viðmiðunarstöð 6. Haustið 2011 var tekin botngreip af Sviðsbrún (botngreip; 52 m dýpi) NV af Gróttu og reyndist það innihalda 19,8 µg/g Co, einnig jafnhátt stöð 6 (sundrun með kóngavatni eins og nú) (Guðjón Atli Auðunsson 2015).

Bakgrunnsstyrkur Co í sænsku seti er 12 µg/g eða u.þ.b. helmingur miðgildis í þessari rannsókn og hæsta gildis í ÍS9396 en litlu hærra en lægstu gildi í ÍS9396. Þetta bendir til að set við Ísland sé almennt herra í styrk kóbalts en set við Svíþjóð a.m.k.

Nokkur áhrif kunna að vera á styrk Co, einkum á stöðvum 4 og 5. Gögnin leyfa ekki að skilgreind sé uppspretta.



Mynd 4 Kóbolt í setsýnum NV af Straumsvík ásamt viðmiðunargildum.

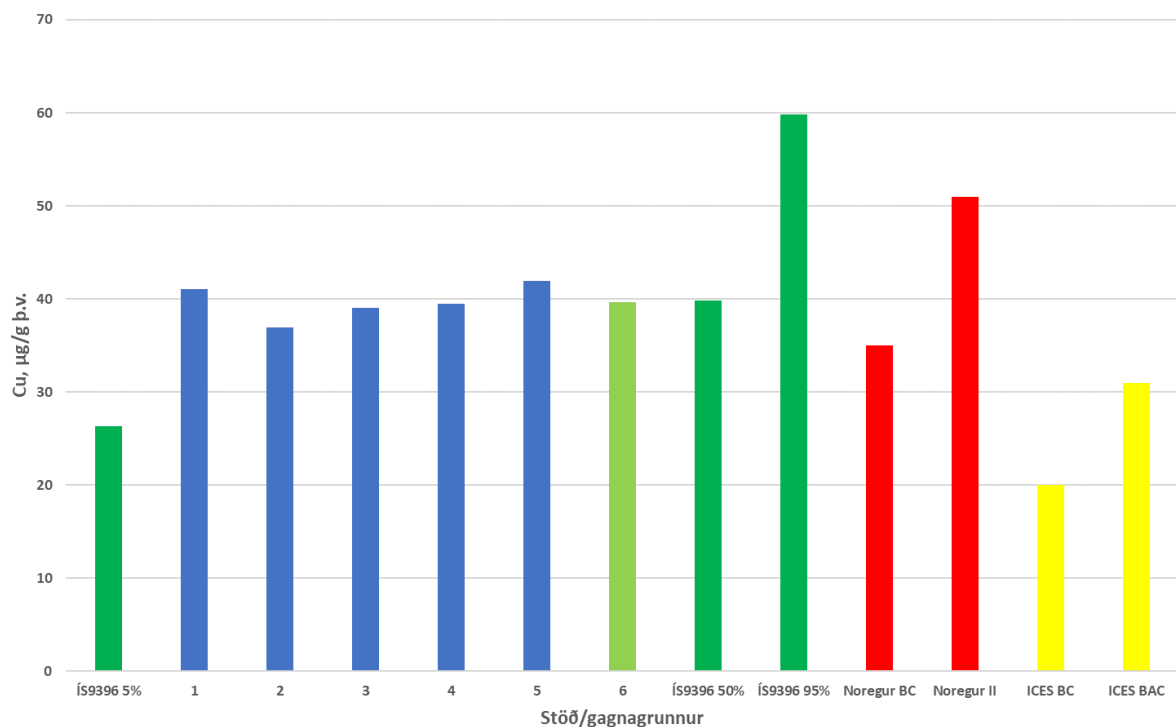
Figure 4 Cobalt in sediment samples NW of Straumsvík together with reference values.

Cu

Af mynd 5 má sjá að styrkur kopars í setsýnunum NV af Straumsvík er mjög jafn og nákvæmlega eins og miðgildi ÍS9396. Styrkurinn er hærri en bakgrunnsgildið í Noregi en lægri en efri mörk þess sem telst til góðs ástands í Noregi. Styrkur kopars hér og miðgildi ÍS9396 er hærra en bakgrunnsbakgrunnsmatsgildið hjá ICES (BAC) og tvöfalt hærra en bakgrunnsgildið hjá ICES (20 µg/g) og umtalsvert hærra en bakgrunnsgildið í Svíþjóð (15 µg/g). Af þessu má ráða að kopar er hærri í seti við Ísland en víðast við NA-Atlantshaf.

Íslenski gagnagrunnurinn hefur talsverða spönn. Eitt sýni hans er frá Keilisnesi tekið 21/10/1993 (botngreip; 45 m dýpi) og reyndist það vera 38,7 µg/g, sem er u.þ.b. jafnhátt miðgildi NV af Straumsvík og ÍS9396-miðgildi. Sama dag og sýnið frá Keilisnesi var tekið var tekið sýni frá Leiruboða NV af Álfanesi (botngreip; 52 m dýpi) og reyndist það vera með 41,3 µg/g Cu, ómarktækt frábrugðið miðgildi ÍS9396. Haustið 2011 var tekin botngreip af Sviðsbrúm NV af Gróttu (botngreip) og reyndist það innihalda 41,0 µg/g Cu, einnig jafnhátt miðgildi ÍS9396 (sundrun með kóngavatni eins og nú) (Guðjón Atli Auðunsson 2015).

Þess má geta í þessu sambandi að setsýni, sem tekin voru í Eyjafirði 29-30/03/1995 (n=6; greip og bor), og eru í íslenska gagnagrunninum, voru með umtalsvert hærri styrk kopars en í sýnunum NV af Straumsvík eða á bilinu 85-112 µg/g og hækkaði styrkurinn frá Pollinum og út fjórðinn. Einnig voru sýnin af Sundunum (n=7) með háan styrk kopars eða á bilinu 70-122 µg/g (bor; 29-30/03/1995).



Mynd 5 Kopar í setsýnum NV af Straumsvík ásamt viðmiðunargildum og umhverfismörkum.

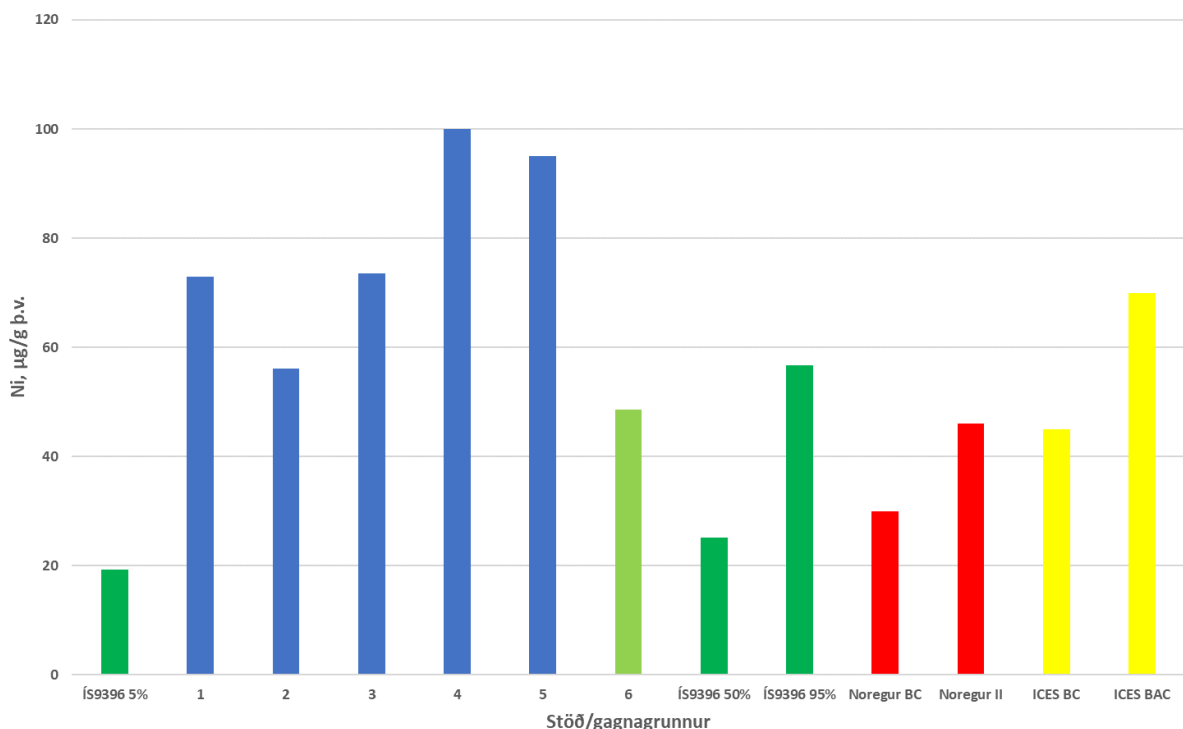
Figure 6 Copper in sediment samples NW of Straumsvík together with reference values and sediment quality guideline values.

Ni

Mynd 6 sýnir styrk nikkels í setsýnunum ásamt viðmiðunargildum. Eins og fram kom að ofan mátti búast við svipaðri hegðun nikkels eins og kóbalts (og króms) og mynd 6 gerir ljóst að einkum stöðvar 4 og 5 en einnig 1 og 3 eru yfir hæsta viðmiði í ÍS9396. Hins vegar eru stöðvar 2 og 6 í námunda við hæstu gildi í ÍS9396. Greina má tilhneigingu til hækkunar er frá dregur landi (stöð 6 næst landi). Samkvæmt norskum viðmiðunarmörkum eru allar stöðvarnar jafnháar (stöð 6) eða hærri en flokkur II og þ.a.l. telst svæði í flokki III eða sæmilegt ástand (moderate). Bakgrunnsgildi ICES er 45 µg/g eða nálægt efri mörkum flokks II í Noregi (46 µg/g) og samkvæmt bakgrunns-matsmörkum ICES (ICES BAC) eru svæði 4 og 5 vel yfir því sem telja má bakgrunnsgildi og stöðvar 1 og 3 nokkuð yfir þeim.

Íslenski gagnagrunnurinn hefur talsverða spönn. Eitt sýni hans var tekið út af Keilisnesi 21/10/1993 (botngreip; 45 m dýpi) og reyndist það vera 42,2 µg/g, sem er af svipuðum toga en lægri en efri mörk flokks II í Noregi, þ.e. gott ástand. Sama dag og sýnið út af Keilisnesi var tekið var tekið sýni frá Leiruboða NV af Gróttu (botngreip; 52 m dýpi) og reyndist það vera með 39,8 µg/g Ni, ómarktækt frábrugðið Keilisnessýninu 1993. Haustið 2011 var tekin botngreip af Sviðsbrún NV af Gróttu (botngreip; 52 m dýpi) og reyndist það innihalda 50,1 µg/g Ni (Guðjón Atli Auðunsson 2015), áþekkt gildinu af stöð 6. Sundrun sýnisins frá Sviðsbrún var með kóngavatni eins og í þessari rannsókn og ekki er loku fyrir það skotið að sú sundrun gefi nokkuð hærri niðurstöður fyrir Ni en þær aðferðir sem liggja til grundvallar ÍS9396, norskum viðmiðunargildum og ICES-viðmiðunum.

Nokkur áhrif virðast vera á styrk Ni, einkum á stöðvum 4 og 5 eins og í tilviki Co en frávikið er meira óyggjandi í tilviki Ni. Gögnin leyfa ekki að að uppspretta sé skilgreind.



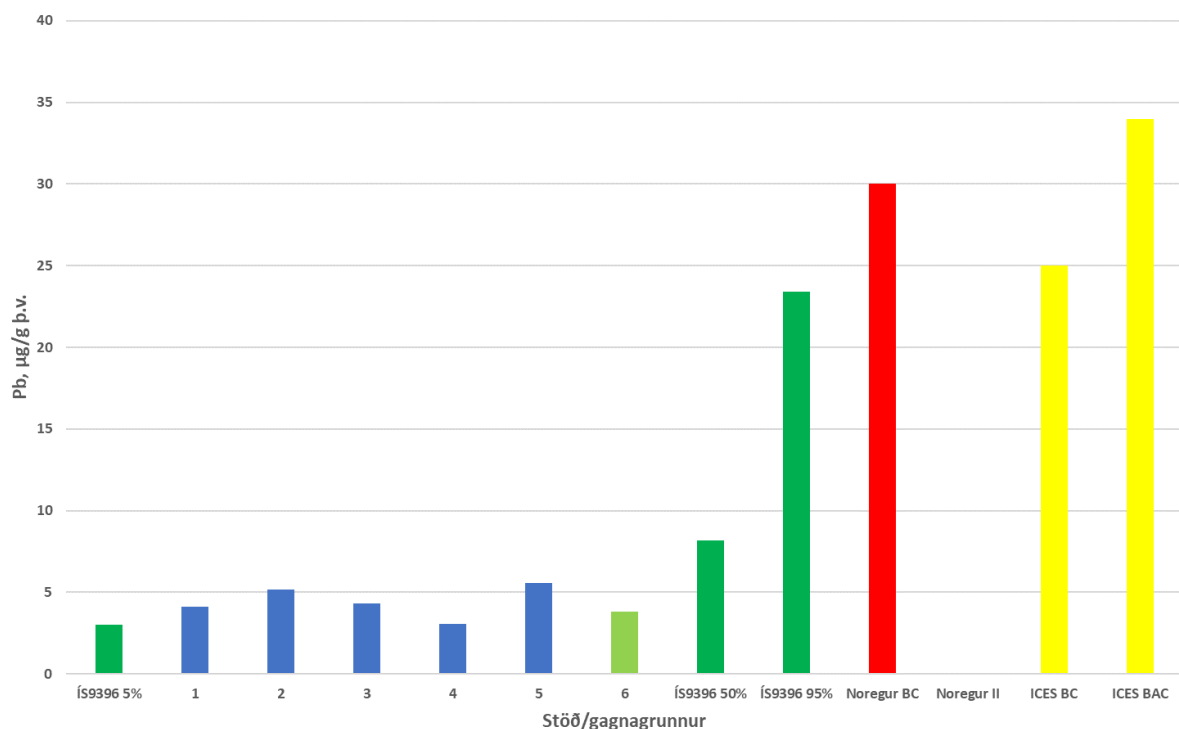
Mynd 6 Nikkel í setsýnum NV af Straumsvík ásamt viðmiðunargildum og umhverfismörkum.

Figure 6 Nickel in sediment samples NW of Straumsvík together with reference values and quality guideline values.

Pb

Mynd 7 sýnir blýniðurstöðurnar fyrir setsýnin NV af Straumsvík ásamt viðmiðunargildum en efri mörk fyrir flokk II í Noregi (gott ástand) eru tæplega þrefalt hærra en bakgrunnsgildið eða 83 µg/g og því ekki sýnt á mynd 7. Niðurstöðurnar fyrir setið NV af Straumsvík liggja öll á milli lágsta gildis og miðgildis í ÍS9396 og ljóst að styrkurinn er lágur í þessari rannsókn. Þetta er athyglisvert í ljósi þess að helsta mengunaruppspretta blýs út í umhverfið var bensín og Reykjanesbrautin ekki fjarri. Þetta skýrir ugglaut há viðmiðunargildi í Noregi og ICES, umtalsvert hærra en í þessari rannsókn, því styrkur blýs í umhverfinu hefur farið lækkandi á heimsvísu síðust 30 árin.

Íslenski gagnagrunnurinn hefur þó talsverða spönn en eitt sýni hans var tekið út af Keilisnesi 21/10/1993 (botngreip; 45 m dýpi) og reyndist það vera 9,14 µg/g, sem bendir til að styrkurinn NV af Straumsvík hafi verið hærra hér á árum áður. Sama dag og sýnið út af Keilisnesi var tekið var tekin botngreip á Leiruboða NV af Álftanesi (botngreip; 52 m dýpi) og reyndist það vera með 6,88 µg/g Pb, marktækt lægra en út af Keilisnesi 1993 en hærra en sýni þessarar rannsóknar. Haustið 2011 var tekin botngreip af Sviðsbrún NV af Gróttu (botngreip; 52 m dýpi) og reyndist það innihalda 3,18 µg/g Pb (sundrun með kóngavatni eins og nú) (Guðjón Atli Auðunsson 2015), þ.e. marktækt lægra en sýnin frá 1993, sem aftur bendir til lækkunar í styrk blýs með tíma.



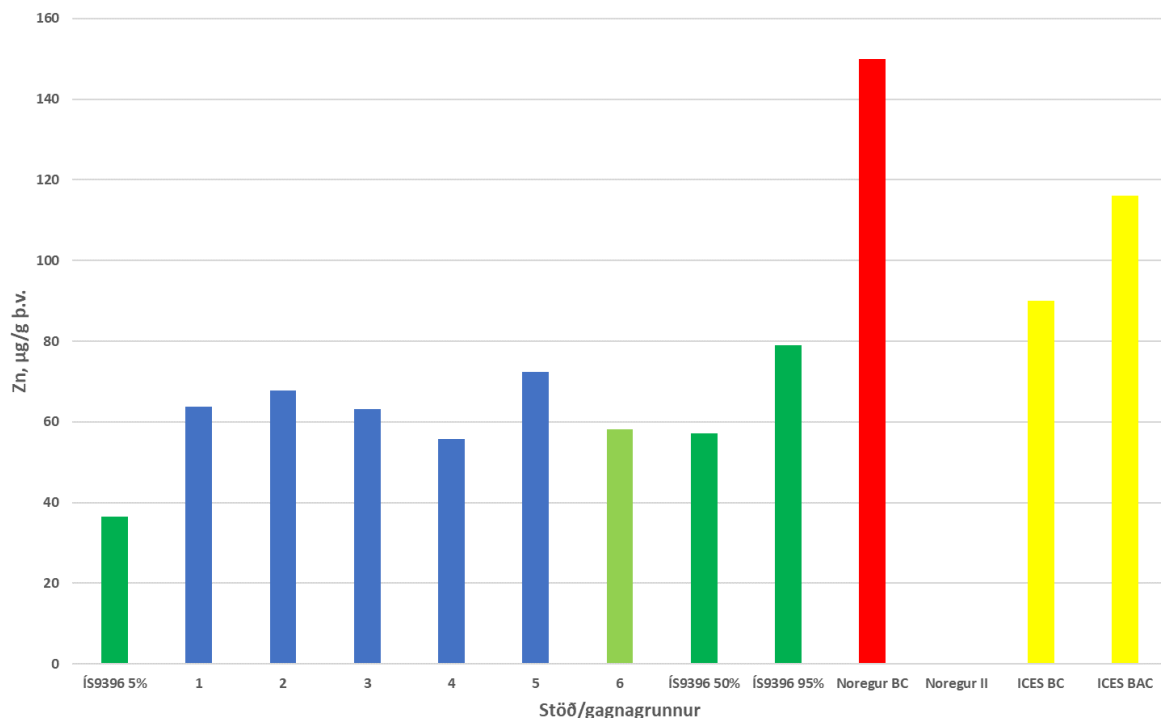
Mynd 7 Blý í setsýnum NV af Straumsvík ásamt viðmiðunargildum og umhverfismörkum. Efri mörk góðs ástands í Noregi (flokkur II) er tæplega þrefalt hærra en bakgrunnsgildið (BC) eða 83 µg/g og því sleppt á myndinni.

Figure 7 Lead in sediment samples NW of Straumsvík together with reference values and quality guideline values. Upper bound for good quality in Norway (class II) is almost three times higher than the background value (BC) or 83 µg/g and therefore excluded in the figure.

Zn

Mynd 8 lýsir niðurstöðum fyrir sink á mælistöðvunum NV af Straumsvík og má þar sjá að niðurstöðurnar fyrir setstöðvarnar NV af Straumsvík liggja á milli miðgildis og efri marka sets í kringum Ísland (50 % og 95 % hundraðsmörk í ÍS9396). Bakgrunnsgildið í ICES (BC) er 90 $\mu\text{g/g}$ eða hærra en allar stöðvarnar og á það einnig við um bakgrunnsgildið í Noregi 150 $\mu\text{g/g}$. Þetta bendir sterklega til að sinkstyrkur íslensks sets sé lægri en víðast í NA Atlantshafi en einnig Svíþjóð er með hærri styrk en ÍS9396-95% eða 85 $\mu\text{g/g}$.

Íslenski gagnagrunnurinn hefur minni spönn fyrir sink en mörg hinna frumefnanna. Eitt sýna hans er út af Keilisnesi og tekið 21/10/1993 (botngreip; 45 m dýpi). Reyndist það vera 79,3 $\mu\text{g/g}$ eða nálægt ÍS9396-95%. Sama dag og sýnið út af Keilisnesi var tekið var tekið sýni á Leiruboða NV af Gróttu (botngreip; 52 m dýpi) og reyndist það vera með 59,1 $\mu\text{g/g}$ Zn eða á svipuðu róli og stöðvarnar í þessari rannsókn. Haustið 2011 var tekin botngreip af Sviðsbrún (botngreip; 52 m dýpi) og reyndist það innihalda 81,5 $\mu\text{g/g}$ Zn (sundrun með kóngavatni eins og nú) (Guðjón Atli Auðunsson 2015), nálægt ÍS9396-95% en lægra en bakgrunnsgildið í Svíþjóð með lægstu bakgrunnsviðmiðunina.



Mynd 8 Sink í setsýnum NV af Straumsvík ásamt viðmiðunargildum og umhverfismörkum. Efri mörk góðs ástands í Noregi (flokkur II) er 2-3 falt hærra en bakgrunnsgildið eða 360 $\mu\text{g/g}$ og því sleppt á myndinni.

Figure 8 Zinc in sediment samples NW of Straumsvík together with reference values and sediment quality guideline values. Upper bound value for good quality in Norway (class II) is 2-3 times higher than the background value (BC) or 360 $\mu\text{g/g}$ and therefore excluded in the figure.

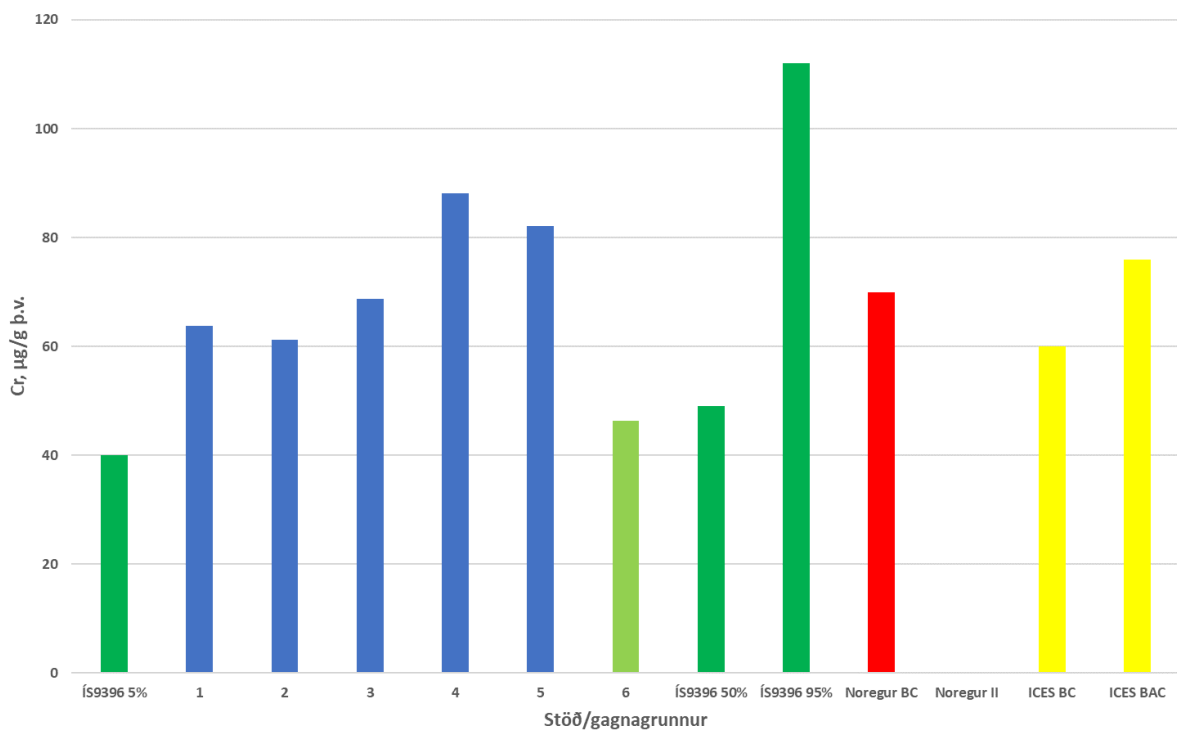
Hg

Styrkur kvikasilfurs í setsýnunum NV af Straumsvík var mjög lágur eða á milli þess að vera <0,01 í 0,02 $\mu\text{g/g}$, tafla 7, eða á milli lægsta gildis í ÍS9396 og miðgildis þess gagnabanka, tafla 1. Þessi gildi eru því umtalsvert lægri en lægstu viðmiðanir í Noregi, ICES og Svíþjóð, tafla 1. Af þessu má ljóst vera að styrkur kvikasilfurs í íslensku seti er mjög lágur, hlutfallslega enn lægri en við átti um sink.

Cr

Mynd 9 sýnir styrk króms á stöðvunum auk viðmiðunargilda. Eins og átti við um Ni og Co og fylgnin í töflu 8 gaf til kynna, þá er styrkur allra stöðvanna utan stöðvar 6 nokkuð hár en stöð 6 og miðgildi ÍS9396 er þó sömu stærðar. Eins og í tilviki Ni og Co þá má greina tilhneigingu til hækkunar er frá dregur landi (stöð 6 næst landi). Styrkur króms er hins vegar innan bilsins á milli miðgildis og hágildis ÍS9396 (ÍS9396-95%). Hins vegar er styrkur stöðvar 6 marktækt lægri en aðrar stöðvar og því má ætla að um nokkuð hærri styrk sé að ræða, einkum á stöðvum 4 og 5 eins og í tilviki kóbalts og nikkels. Stöðvar 4 og 5 eru einnig hærri en bakgrunnsstyrkur í Noregi og grunnstyrksmatsgildi ICES (BAC) svo og grunnstyrks í ICES (60 µg/g).

Þessi hækkun er einnig staðfest af því að þrátt fyrir að íslenski gagnagrunnurinn hefur talsverða spönn þá er eitt sýni hans tekið út af Keilisnesi 21/10/1993 (botngreip; 45 m dýpi) og reyndist það vera 61 µg/g eða jafnt bakgrunnsstyrknum í ICES-gagnagrunninum og bendir það því til þess að styrkurinn á stöðvum 4 og 5 NV af Straumsvík sé hærri en bakgrunnur þessa svæðis. Sama dag og sýnið út af Keilisnesi var tekið var tekið sýni frá Leiruboða NV af Gróttu (botngreip; 52 m dýpi) og reyndist það vera með 59,5 µg/g Cr, þ.e. sama og í sýninu út af Keilisnesi 1993. Haustið 2011 var tekin botngreip af Sviðsbrún NV af Gróttu (botngreip; 52 m dýpi) og reyndist það innihalda 40,6 µg/g Cr (sundrun með kóngavatni eins og nú) (Guðjón Atli Auðunsson 2015), þ.e. marktækt lægra en sýnin frá 1993.



Mynd 9 Króm í setsýnum NV af Straumsvík ásamt viðmiðunargildum. Efri mörk góðs ástands í Noregi (flokkur II) er 8-falt hærra en bakgrunnsildið eða 560 µg/g og því sleppt á myndinni.

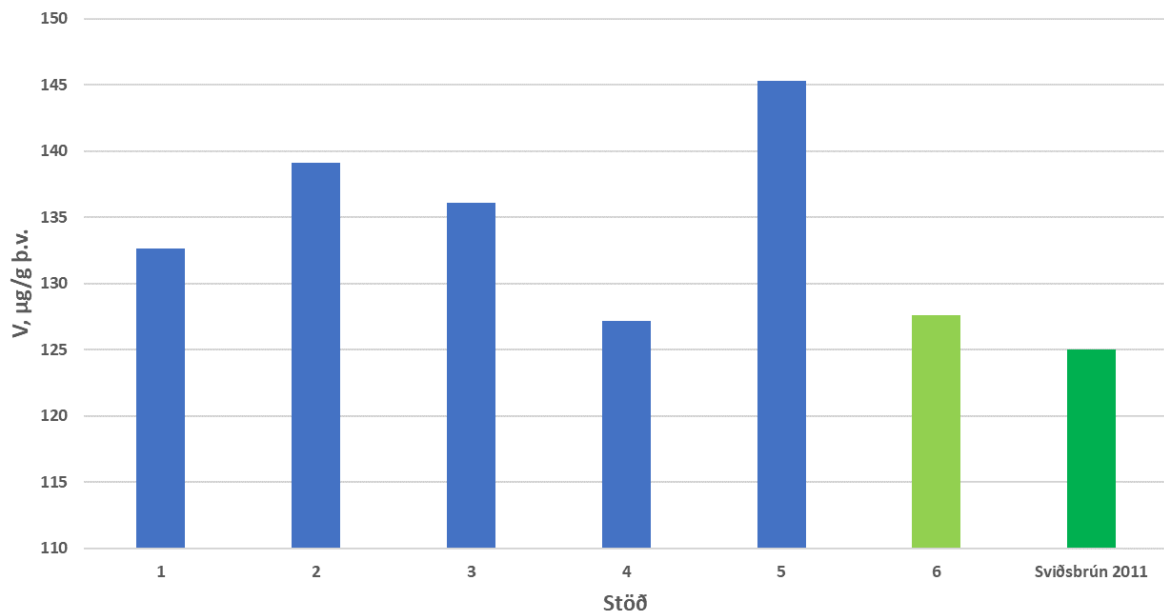
Figure 9 Chromium in sediment samples NW of Straumsvík together with reference values and sediment quality guideline values. Upper bound value for good quality in Norway (class II) is 8 times higher than the background value (BC) or 560 µg/g and therefore excluded in the figure.

Ag

Styrkur silfurs var aldrei yfir greiningarmörkum í setsýnunum NV af Straumsvík eða ávallt undir 0,4 µg/g. Ástæða þess að silfur var mælt í þessari rannsókn er sú að silfur reyndist á árum áður gott bendiefni á fráveituvatn, þ.e. áður en ljósmyndun varð að mestu stafræn (Guðjón Atli Auðunsson 2006; Guðjón Atli Auðunsson 2015) en fráveituvatni frá Hafnarfirði er dælt út í sjó NA af álverinu. Þetta reyndust því miður nokkuð hærri greiningarmörk en lagt var upp með en engu að síður lágur styrkur. Haustið 2011 var tekin botngreip af Sviðsbrún NV af Gróttu (botngreip; 52 m dýpi) og reyndist það innihalda 0,113 µg/g Ag (sundrun með kóngavatni eins og nú) (Guðjón Atli Auðunsson 2015).

V

Mynd 10 sýnir styrk vanadíns í setinu NV af Straumsvík en ekki hefur tekist að finna viðmiðunargildi eða umhverfismörk fyrir vanadín í seti. Íslenski gagnagrunnurinn er með niðurstöður fyrir vanadín eftir heildarefnagreiningu og því ekki sambærilegar við niðurstöður þessa verkefnis. Haustið 2011 var tekin botngreip af Sviðsbrún NV af Gróttu (botngreip; 52 m dýpi) og reyndist það innihalda 125 µg/g V (sundrun með kóngavatni eins og nú) (Guðjón Atli Auðunsson 2015). Þessi niðurstaða er á mynd 10 en gildið rímar við niðurstöður fyrir stöðvar 4 og 6. Aðrar stöðvar eru hærri sem bendir til að þær kunni að hafa hækkaðan styrk umfram bakgrunnsgildi á þessu svæði.

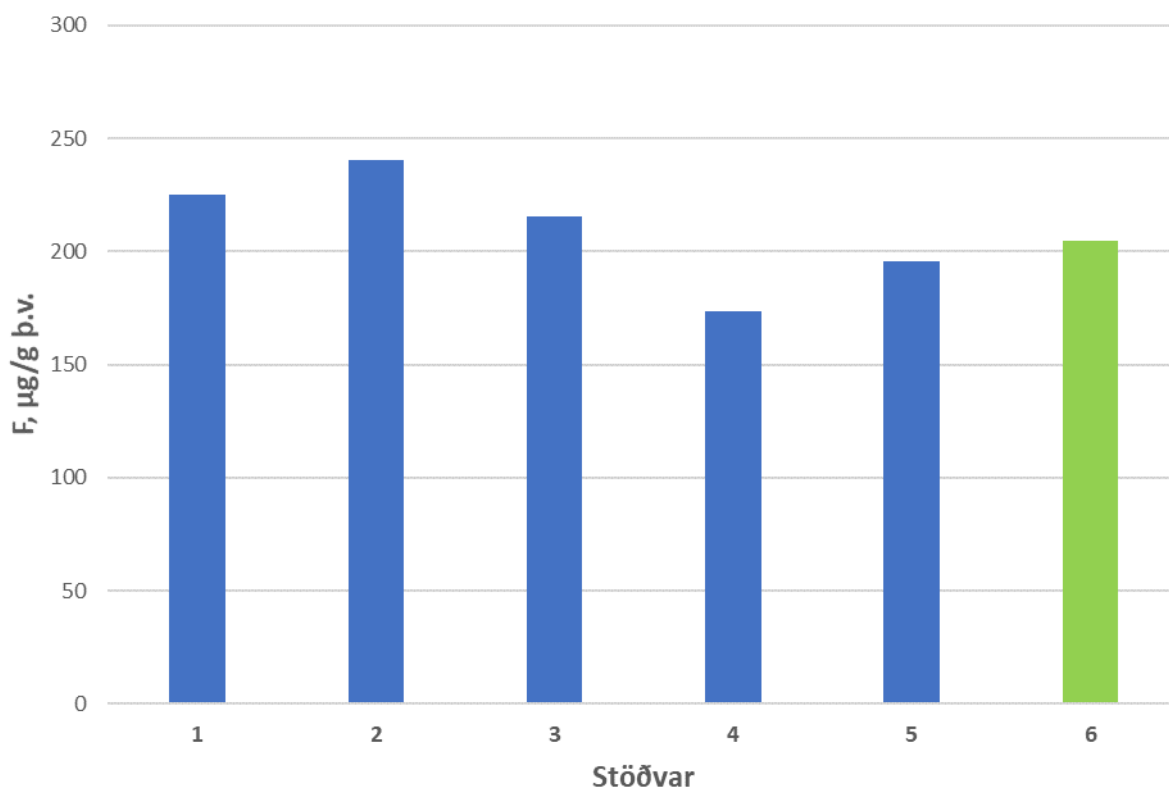


Mynd 10 Vanadín í setsýnum NV af Straumsvík ásamt niðurstöðu fyrir Sviðsbrún NV af Gróttu.

Figure 10 Vanadium in sediment samples NW of Straumsvík together with a result from Sviðsbrún NW of Gróttu.

F

Ekki er algengt að mældur sé flúor í setsýnum og erfitt hefur reynt að finna áreiðanleg gögn til samanburðar við mælingar þessa verkefnis. Niðurstöðurnar eru sýndar á mynd 11 og sýna þær lítinn breytileika milli stöðva og því ástæða til að ætla að stöðvarnar séu ekki eða undir mjög litlum áhrifum frá flúorlosun.



Mynd 11 Flúor í setsýnum NV af Straumsvík.

Figure 11 Fluorine in sediment samples NW of Straumsvík.

Kalkríkt set er líklegt til að innihalda flúor og má til samanburðar nefna að skeljasandur úr Faxaflóa er með styrk flúors um 286 µg/g (sand- og leirfrítt þurrefni) (Guðjón Atli Auðunsson, óbirtar niðurstöður). Flúorstyrkurinn í kalkríku seti er háður gerð steinda og tegundum kalkmyndandi lífvera hverju sinni. Ef til einföldunar er gert ráð fyrir að Ca sé eingöngu á karbónatformi þá er styrkur flúors í karbónatinu á bilinu 373-627 µg/g (meðaltal 557 µg/g) og ef einnig er gert ráð fyrir að Mg sé á karbónatformi þá vær styrkur flúors í samanlögðu karbónati 307-522 µg/g (meðaltal 453 µg/g). Þessu svipar til flúorstyrks sem finna má í calcite kalkþörungum (coccolithophores), 160-350 µg/g, en einkum götungum (foraminifera), 75-505 µg/g (Carpenter 1969), en við báðum þessum þörungum má búast í setinu NV af Straumsvík. Önnur rannsókn á ýmsum götungum sýndi flúorstyrk vera á bilinu 100-600 µg/g, hækkandi með minna dýpi (Opdyke *et al.* 2015). Aragonite í t.d. vængjasniglum (Pteropoda), sem einnig gæti verið að finna í setinu, inniheldur enn hærri styrk flúors eða 670-1640 µg/g (Carpenter 1969; Rude and Aller 1991).

Að lokum er að nefna að F hefur almennt litla fylgni með öðrum frumefnum þessarar rannsóknar fyrir utan fosfór ($r=0,72$) (og reyndar nikkell $(-0,70)$ og magnesín $(-0,70)$). Þessi fylgni við fosfór er áhugaverð en í seti er líklegt að finna megi steindina francolite, skyld fluoroapatite, með samsetninguna $(Ca, Mg, Sr, Na)_{10}(PO_4, SO_4, CO_3)_6F_{2-3}$ (Benmoe *et al.* 1983). Þetta þýðir að mólhlutfall fosfórs og flúors (P/F) gæti líklega verið á bilinu 2-3 í francolite en í setinu NV af Straumsvík er þetta hlutfall á bilinu 2,2-2,9, meðaltal 2,44.

Að öllu samanteknu er líklegast að um náttúrulegan styrk flúors sé að ræða í setinu.

PAH-efni

Í töflu 9 er að finna niðurstöður mælinga á PAH-efnum í setsýnunum.

Tafla 9 Niðurstöður mælinga á PAH-efnum í setsýnum NV af Straumsvík

Styrkur er uppgjafinn sem $\mu\text{g}/\text{kg}$ fyrir set sem er með 1 % lífrænt kolefni (TOC). Við samlagningu styrks eru greiningarmörk sett jöfn núlli.

Table 9 Analytical results for PAHs in the sediment samples NW of Straumsvík.

The levels are expressed as $\mu\text{g}/\text{kg}$ in sediments with 1 % organic carbon (TOC). When summing of PAHs is carried out, LODs are set equal to zero.

Stöð	Flokkur*	6	1	2	3	4	5
naftalen	L	7,3	11,6	7,3	5,0	<9,7	9,5
acenaftýlen	L	<5,2	<6,4	<4,1	<5,0	<9,7	<4,3
acenaften	L	<5,2	<6,4	<4,1	<5,0	<9,7	<4,3
fluoren	M	<5,2	<6,4	<4,1	<5,0	<9,7	<4,3
fenantren	M	18,3	16,1	7,7	8,0	12,7	13,4
antracén	M	<5,2	<6,4	<4,1	<5,0	<9,7	<4,3
fluoranten	M	28,7	21,9	6,9	8,5	<9,7	20,3
pyren	M	23,0	17,4	5,7	6,5	<9,7	16,8
bens(a)antracén	H	17,2	15,4	5,3	6,0	<9,7	13,4
krysen	H	15,1	10,9	<4,1	<5,0	<9,7	9,9
bens(b)fluoranten	H	17,8	10,3	4,9	6,0	<9,7	14,7
bens(k)fluoranten	H	13,1	9,0	4,5	<5,0	<9,7	10,4
bens(a)pyren	H	18,3	14,8	4,9	5,0	<9,7	16,8
dibens(ah)antracén	H	<5,2	<6,4	<4,1	<5,0	<9,7	<4,3
benso(ghi)perýlen	H	11,5	10,3	4,5	<5,0	<9,7	10,8
indeno(123cd)pyren	H	11,0	10,3	<4,1	<5,0	<9,7	9,9
PAH, summa 16		183	148	53,0	44,7	12,7	147
PAH, summa krabbameinsfr.		94	71	19,6	16,9	<34	73,4
PAH, summa önnur		89	77	32,2	27,8	12,7	69,1
PAH, summa L		7	12	7,3	5,0	<14,6	9,5
PAH, summa M		68	55	20,4	22,9	12,7	51,8
PAH, summa H		104	84	24,0	16,9	<39	86,3
Summa PAH11, Svíþjóð		174	136	44	40	13	136
Summa PAH10, ICES		150	129	42	39	13	121

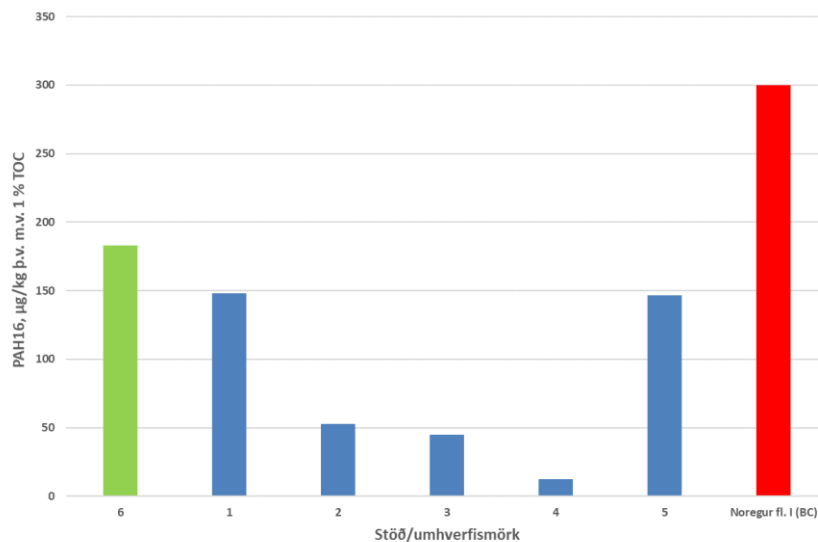
*L: Low molecular weight PAHs. M: Medium molecular weight PAHs. H: High molecular weight PAHs.

Eins og sjá má af töflu 9 þá er fenantren eina efnið sem mælist í öllum sýnunum yfir greiningarmörkum og það er jafnframt eina efnið sem er yfir greiningarmörkum á stöð 4. Fyrir utan naftalen þá mælast ekki önnur L-PAH-efni yfir greiningarmörkum í sýnunum (acenaftýlen og acenaften) né á það við um M-PAH-efnin fluoren og antracén og H-efnið dibens(ah)antracén. Fluoranten og pyren eru með hæstan styrk í hverju sýni, sem bendir til að um efni úr bruna eða hitun við hærri hitastig sé að ræða (pyrogenic PAH-efni), þ.e. ekki beint úr olíu eða kolum (petrogenic).

Það vekur athygli að PAH-efni (summa þeirra og fenantren) án leiðréttingar fyrir lífrænu kolefni hefur ekki mikla fylgni við kolefni eða lífrænt efni (LOI) ($r < 0,4$) en nokkra við TN ($r > 0,82$). Hins vegar hafa þessi efni mjög mikla fylgni við öskuhlutfall ($r > 0,95$) og ál ($r > 0,97$). Þetta er nokkuð óvænt niðurstaða og bendir til að PAH-efnin séu ásogud ólífræna hluta setsins. Þetta gæti einnig bent til þess að PAH-efnin eigi ekki rætur að rekja til lífvera af svæðinu. Hins vegar gæti það lífræna kolefni, sem PAH-efnin bindast, aðeins verið hluti af heildarstyrk lífræna kolefnisins í setinu, t.d. harðgerar sótagfir, sem PAH-efnin geta bundist betur við en við aðrar lífrænar agfir setsins, eða lífrænar örsvifsagnir (colloids) innlyksa (occluded) í setinu.

Summa PAH-efna

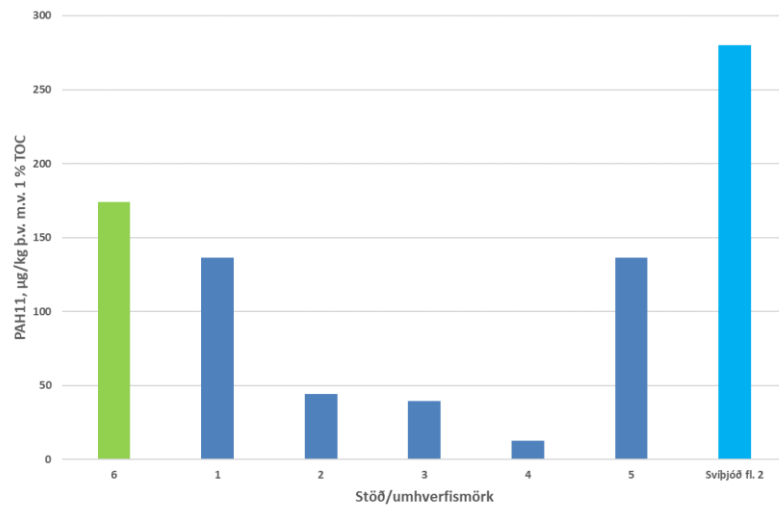
Mynd 12 sýnir summustyrk PAH16 ásamt umhverfismörkum Noregs fyrir flokk I (bakgrunnur) og má þar glögglega sjá að allar stöðvarnar eru undir þeim mörkum, u.þ.b. helmingi lægri eða meira. Það sem vekur einnig athygli er að styrkurinn fellur er frá dregur landi (viðmiðunarstöð 6 næst landi) og út á stöð 4 þar sem hann er lægstur. Stöð 5, fjærst landi, sýnir þó aftur hækkun í styrk og verður jafn styrknum á stöð 2. Þetta bendir til að PAH-efnin eigi rætur að rekja til athafna á landi. Stöð 6 næst landi var hugsuð sem viðmiðunarstöð og reyndist vel sem slík fyrir ólífræna snefilefni en augljóslega ekki fyrir PAH-efnin. Stöðin reynist hins vegar gefa mjög mikilvægar upplýsingar um hegðun PAH-efna á svæðinu.



Mynd 12 PAH16 í setsýnunum NV af Straumsvík ásamt umhverfismörkum í Noregi, flokk I (bakgrunnsstyrkur).

Figure 12 PAH 16 In sediment samples NW of Straumsvík together with sediment quality guidelines values in Norway, class I (background concentration).

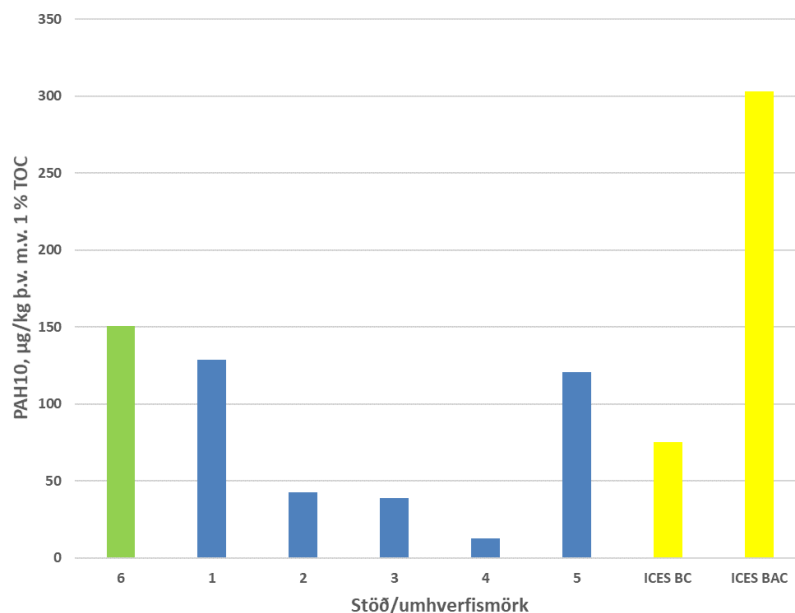
Mynd 13 sýnir PAH11, sem Svíþjóð miðar við, ásamt umhverfismörkum í Svíþjóð fyrir flokk 2 (lágur styrkur) og er myndin mjög snarlík mynd 12.



Mynd 13 PAH11 í setsýnunum NV af Straumsvík ásamt efri umhverfismörkum í Svíþjóð fyrir flokk 2 (lágur styrkur).

Figure 13 PAH11 In sediment samples NW of Straumsvík together with upperbound sediment quality guideline value in Sweden for class 2 (low concentration).

Mynd 14 sýnir að lokum summu PAH10, sem ICES miðar við, ásamt bæði bakgrunnsgildum (BC) og bakgrunnsmatsgildum (BAC) ICES. Mynd 14 gerir grein fyrir því að þrjár stöðvar eru yfir bakgrunnstyrk (6, 1 og 5) en allar stöðvarnar eru undir styrk, sem tekur tillit til breytileika í bakgrunnstyrk (BAC). Allar stöðvarnar eru helmingi lægri eða enn lægri en BAC í ICES-mati.



Mynd 14 PAH10 í setsýnunum NV af Straumsvík ásamt mörkum í ICES fyrir bakgrunnstyrk (BC) og bakgrunnsmatsstyrk (BAC) ICES.

Figure 14 PAH10 In sediment samples NW of Straumsvík together with sediment background values of ICES (background concentration (BC) and background assessment concentration (BAC)).

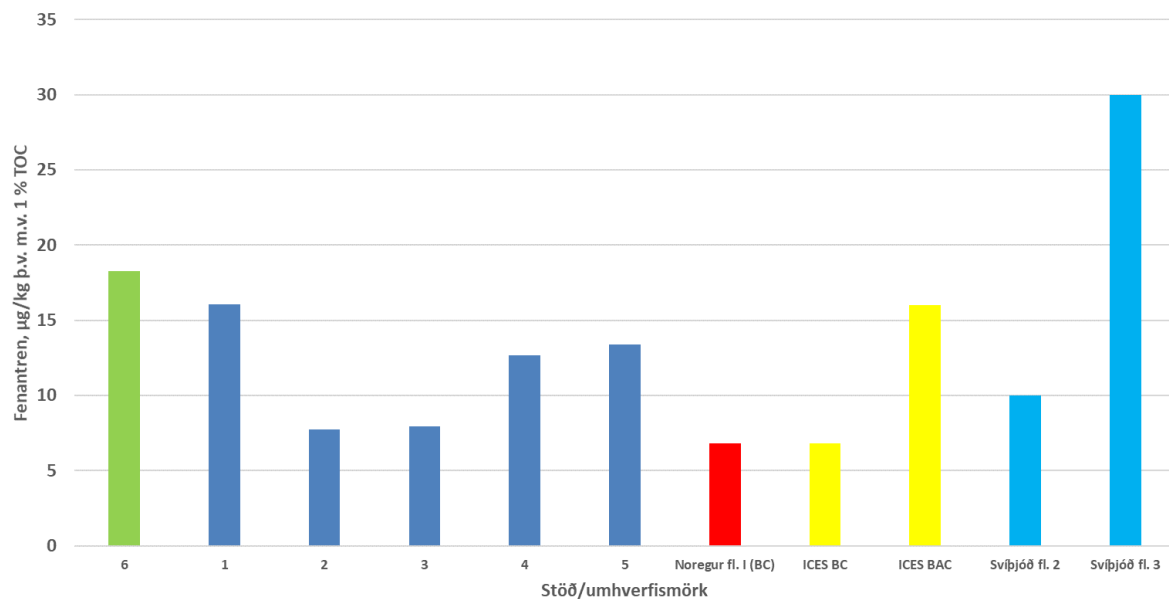
Samantekið sýna myndir 12-14 að um nokkur áhrif sé að ræða, minnka almennt er frá dregur landi, en að þau séu mjög takmörkuð og engra áhrifa sé að vænta á lífverur.

Naftalen

Samkvæmt sænskum viðmiðunum, tafla 2c, þá er naftalen að mestu í flokki 2 á öllum stöðvum, þ.e. lágur styrkur þó hann sé yfir bakgrunnsgildi í Noregi og ICES, sem er 2 µg/kg m.v. 1 % TOC, tafla 2b, og yfir bakgrunnsmatsgildi ICES (BAC), 4,4 µg/kg m.v. 1 % TOC. Áhrif eru því til staðar þó þau séu lítil.

Fenantren

Ástæða er til að skoða fenantren sérstaklega þar sem það mælist á öllum stöðvunum. Mynd 15 sýnir styrk fenantrens í setsýnunum NV af Straumsvík ásamt umhverfismörkum í Noregi, ICES og Svíþjóð. Sjá má að styrkurinn er alltaf ívið hærri en bakgrunnsgildin (Noregur og ICES-BC) en u.þ.b. sá sami eða lægri en bakgrunnsgildi að teknu tilliti til breytileika, ICES-BAC. Styrkurinn er vel undir efri mörk umhverfisflokks 3 í Svíþjóð, sem þýðir hóflegt mengunarstig (moderate). Umhverfisflokkur II í Noregi (gott ástand) er með efri mörk 500 µg/kg (þ.v. og m.v. 1 % TOC) eða meir en 30-faldur styrkur á stöðvunum. Samantekið má því segja að um einhver áhrif sé að ræða en að þau séu lítil og engra áhrifa sé að vænta á lífverur.

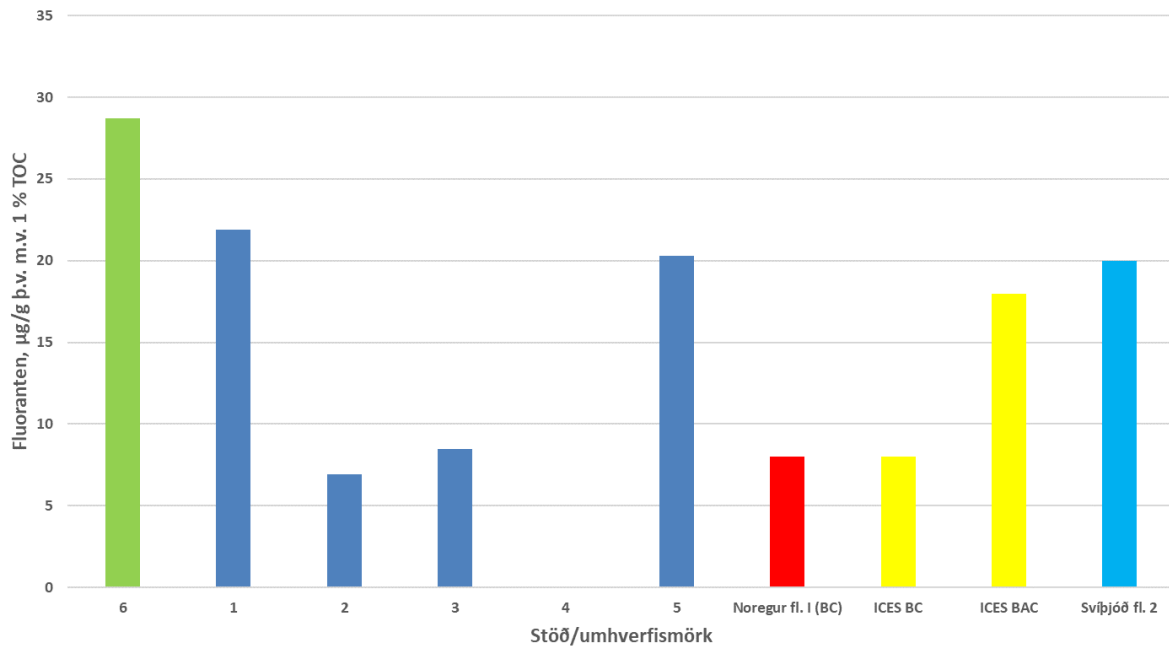


Mynd 15 Fenantren í setsýnunum NV af Straumsvík ásamt lægstu umhverfismörkum í Noregi, bakgrunnstyrk (BC) og bakgrunnsmatsstyrk (BAC) í ICES og efri umhverfismörkum í Svíþjóð fyrir flokk 2, lágur styrkur, og flokk 3: hóflegt álag.

Figure 15 Phenanthrene in sediment samples NW of Straumsvík together with sediment quality guidelines in Norway (Class I; background), background concentration (BC) and background assessment concentration (BAC) in ICES, and upperbound sediment quality guidelines in Sweden for class 2: low concentration, and class 3, moderate concentration.

Fluoranten

Ástæða er til að líta nánar á fluoranten þar sem það mælist að jafnaði í hæstum styrk í setsýnunum. Mynd 16 sýnir niðurstöður fyrir fluoranten ásamt umhverfismörkum. Styrkurinn á stöðvum 2 og 3 er áþekkur bakgrunnsstyrk (Noregur og ICES-BC) en styrkurinn er ívið hærri á stöðvum 6, 1 og 5 en sem nemur bakgrunnsstyrk að viðbættum náttúrulegum breytileika í niðurstöðum (ICES-BAC). Stöðvarnar utan stöðvar 6 teljast til góðs ástands í Svíþjóð. Flokkur II í Noregi (gott ástand) er með efri mörkin há eða 170 µg/kg (þ.v. og m.v. 1 % TOC) og því ekki sýndur á mynd 16. Sömu sögu er að segja af flokk 3 í Svíþjóð (hóflegur styrkur) en hann er með efri mörkin 80 µg/kg (þ.v. og m.v. 1 % TOC).

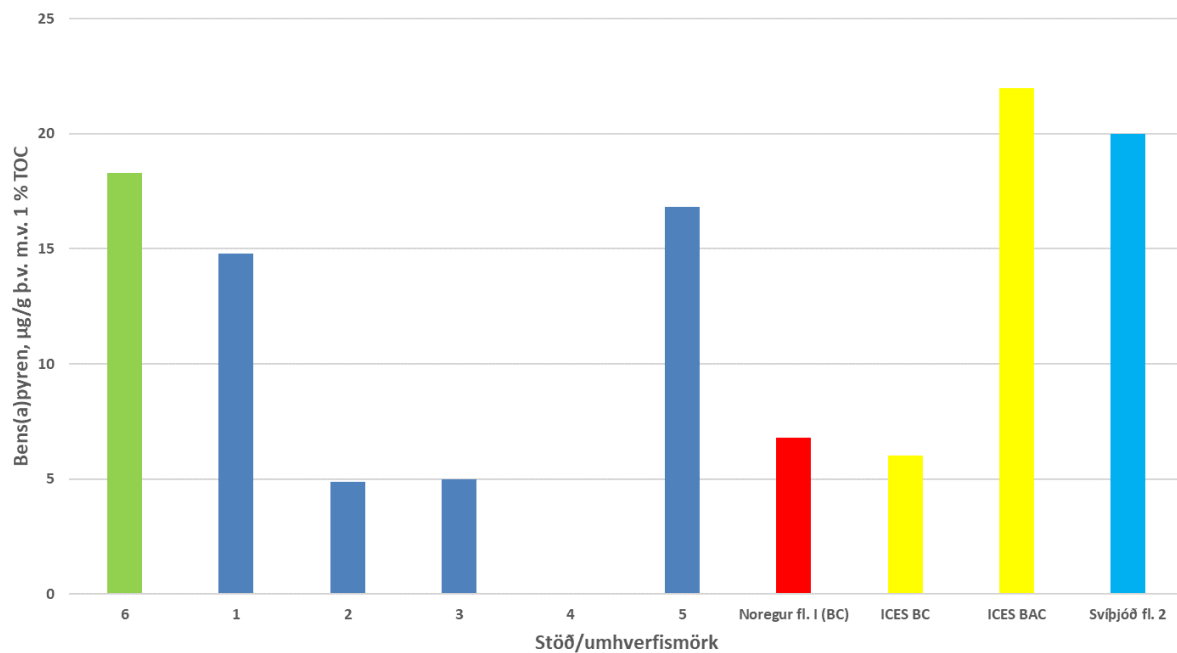


Mynd 16 Fluoranten í setsýnunum NV af Straumsvík ásamt umhverfismörkum í Noregi (bakgrunnur), bakgrunnsstyrk (BC) og bakgrunnsstyrk (BAC) í ICES og efri umhverfismörkum í Svíþjóð fyrir flokk 2, lágur styrkur. Niðurstaða fyrir fluoranten á stöð 4 var undir greiningarmörkum (9,7 µg/kg m.v. 1 % TOC).

Figure 16 Fluoranthene in sediment samples NW of Straumsvík together with sediment quality guideline value in Norway (background), background concentration (BC) and background assessment concentration (BAC) in ICES, and upperbound sediment quality guideline in Sweden for class 2, low concentration. The result for fluoranthene at station 4 was below detection limit (9.7 µg/kg at 1 % TOC).

Bens(a)pyren

Einnig má líta á bens(a)pyren sérstaklega þar sem það er það efni sem mesta eiturvirkni hefur, sjá mynd 17. Myndin er áþekkt því sem sjá mátti fyrir fluoranten: styrkurinn á stöðvum 2 og 3 er áþekkur bakgrunnsstyrk (Noregur og ICES-BC) en styrkurinn er lægri á stöðvum 6, 1 og 5 en sem nemur bakgrunnsstyrk að viðbættum náttúrulegum breytileika í niðurstöðum (ICES-BAC). Stöðvarnar teljast til góðs ástands í Svíþjóð. Flokkur II í Noregi (gott ástand) er með há efri mörk eða 420 µg/kg (þ.v. og m.v. 1 % TOC) og því ekki sýndur á mynd 17. Sömu sögu er að segja af flokki 3 í Svíþjóð (hóflegur styrkur) en hann er með efri mörkin 60 µg/kg (þ.v. og m.v. 1 % TOC). Það má því segja að um einhver áhrif sé að ræða en að þau séu lítil og engra áhrifa sé að vænta á lífverur.



Mynd 17 Bens(a)pyren í setsýnunum NV af Straumsvík ásamt umhverfismörkum í Noregi (bakgrunnur), bakgrunnsstyrk (BC) og bakgrunnsstyrk (BAC) í ICES og efri umhverfismörkum í Svíþjóð fyrir flokk 2, lágur styrkur). Niðurstaða fyrir bens(a)pyren á stöð 4 var undir greiningarmörkum (9,7 µg/kg m.v. 1 % TOC).

Figure 17 Benzo(a)pyrene in sediment samples NW of Straumsvík together with sediment quality guideline value in Norway (background), background concentration (BC) and background assessment concentration (BAC) in ICES, and upperbound sediment quality guideline in Sweden for class 2, low concentration. The result for benzo(a)pyrene at station 4 was below detection limit (9.7 µg/kg at 1 % TOC).

Heimildir

- Bakke *et al.* 2010. Development of sediment quality criteria in Norway. *J.Soil.Sediments*, 10 2010 172-178.
- Benmore *et al.* 1983. Origin of sedimentary francolite from its sulphur and carbon isotope composition. *Nature*, 302 1983 516-518.
- Borg and Jonsson 1996. Large-Scale Metal Distribution in Baltic Sea Sediments. *Mar.Poll.Bull.*, 32 1996 8-21.
- Burton, A. 2002. Sediment quality criteria in use around the world. *Limnol.* 3 2002 65-75.
- Carere *et al.* 2012. Guidance for sediment and biota monitoring under the Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive. *Tr. Anal. Chem.*, 36 2012 15-24.
- Carpenter, R. 1969. Factors controlling the marine geochemistry of fluorine. *Geochim. Cosmochim.Acta*, 33 1969 1153-1167.
- Environment Canada and Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec. 2007. Criteria for the Assessment of Sediment Quality in Quebec and Application Frameworks: Prevention, Dredging and Remediation. 39 pages.
- 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). Report ITÍ0616/EGK05 (6PV05186).
- Guðjón Atli Auðunsson, 2015. Viðtakarannsóknir 2011: Setgildrur. Skýrsla NMÍ 15-02 unnin fyrir OR.
- Hafsteinn G. Guðfinnsson o.fl. 2001. Rannsóknir á straumum, umhverfispáttum og lífríki sjávar í Reyðarfirði frá júlí til október árið 2000. Hafrannsóknastofnun Fjölrit nr. 85, 1-136
- ICES 2004. Report of the ICES Advisory Committee on Marine Environment, 2004. ICES Advice, Volume 1, Number 1, 283 pp.
- Long, E.R. & Morgan, L. G. 1991. The potential for biological effects of sediment-sorbed contaminants tested in the national status and trends program. NOAA Technical Memorandum NOS OMA 52, August 1991.
- Long *et al.* 1995. Incidence of Adverse Biological Effects Within Ranges of Chemical Concentrations in Marine and Estuarine Sediments. *Environmental Management*, 19 1995 81-97.
- Svend-Aage Malmberg 1989. Hita, seltu og straummælingar á Hafnarfirði sumarið 1988. Skýrsla til Bæjarstjórnar Hafnafjarðar í júní 1989. Viðauki: Tafla um næringarefnaælingar frá Jóni Ólafssyni. Skýrsla frá Hafrannsóknastofnuninni.
- Meyer CL, Suedel BC, Rodgers JH, Dorn PB 1993. Bioavailability of sediment-sorbed chlorinated ethers. *Environ. Toxicol. Chem.*, 12 1993 493-505.
- Miljødirektoratet 2015. Risikovurdering av forurenset sediment. Veileder. M409. 2015.
- Opdyke *et al.* 2015. Fluoride content of foraminiferal calcite: Relations to life habitat, oxygen isotope composition, and minor element chemistry. *Geology*, 21 2015 169-172.
- Rude and Aller 1991. Fluorine mobility during early diagenesis of carbonate sediment: An indicator of mineral transformations. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 35 1991 2491-2509.
- SFT 2007a. Revidering av klassifisering av metaller og organiske miljøgifter i vann og sedimenter. Veileder for klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystvann. Statens forurensningstilsyn. 2229-2007.
- SFT 2007b. Bakgrunnsdokument til veiledere TA-2229 og TA-2230. Statens forurensningstilsyn. 2231-2007.
- Swedish EPA 2000. Coasts and Seas. Environmental Quality Criteria. Swedish Environmental Protection Agency. Report 5052.