

NMÍ-skýrsla
Verknúmer 6EM18058:3

Könnun á ólífrænum snefilefnum
og aromatískum fjölhringa-
samböndum (PAH) í kræklingi
við álverið í Straumsvík.
Sýnataka 2018

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



Efnisyfirlit

ÁGRIP	3
SUMMARY	3
INNGANGUR	4
SÝNATAKA OG SÝNAMEÐFERÐ	4
BÚRKRÆKLINGUR	4
FJÖRUKRÆKLINGUR	7
AÐFERÐAFRÆÐI OG FRAMKVÆMD MÆLINGA	7
FRAMKVÆMD SÝNATÖKU OG SÝNAMEÐFERÐ	7
FRAMKVÆMD MÆLINGA OG MÆLIADFERÐIR	8
NIÐURSTÖÐUR OG UMRÆÐA	8
FORMPÆTTIR OG VÖXTUR KRÆKLINGS	8
<i>Dauðatiðni</i>	9
<i>Lengd</i>	10
<i>Skeljamassi</i>	12
<i>Mjúkvöðvi</i>	15
<i>Holdafarsstuðull</i>	18
<i>Samantekið um formfræði og vöxt</i>	19
ÓLÍFRÆN SNEFILEFNI	20
<i>Al</i>	20
<i>F</i>	22
<i>Hg</i>	23
<i>Cr</i>	25
<i>Cu</i>	27
<i>Cd</i>	29
<i>Ni</i>	33
<i>Pb</i>	34
<i>As</i>	36
<i>Co</i>	38
<i>Zn</i>	39
<i>Ag</i>	41
PAH-EFNI	42
<i>Summa PAH-efna</i>	42
<i>KPAH</i>	44
<i>PAH4</i>	47
<i>Bens(a)pyren</i>	47
HEIMILDIR	50

Ágrip

Að ósk Rio-Tinto á Íslandi hf, - ISAL, Straumsvík, fór sumarið og haustið 2018 fram sýnataka til efnagreininga á kræklingi undan álverinu.

Kræklingur var annars vegar hafður í búrum utan við flæðigryfjur, 8 stöðvar í 86 daga, og hins vegar var kræklingi safnað á fjöru, 5 stöðvar. Sem upphafsviðmiðun var búrkræklingur úr Kiðey, Breiðafirði, en sem samtímaviðmiðun var kræklingur hafður í búrum í Saurbæjarvík, Hvalfirði, meðan á rannsókn stóð. Að auki var til samtímaviðmiðunar búrkræklingur við Lónakot meðan á rannsókn stóð, um 3 km vestan við Straumsvík. Sem viðmiðun fyrir fjörukrækling var sýni safnað við Lónakot, um 3 km vestan við Straumsvík. Í sýnunum voru mældir líffræðilegir þættir, meginefni, ólífræn snefilefni og PAH-efni.

Er varðar vöxt búrkræklinga þá þreifst kræklingur vel á stöðvunum og hafði verksmiðjurekstur ekki áhrif á hann.

Ólífrænu snefilefnin voru metin að teknu tilliti til viðmiðunarsýnanna og norskra umhverfisviðmiðana.

Er varðar ólífrænu snefilefnin var ekki unnt að sjá nokkur áhrif á styrk Hg, Cd, As, Co, Pb, Zn og Ag í búr- og fjörukræklingi fyrir utan fjörukrækling á stöð (VI) austan álversins, sem var með hækkaðan styrk Hg, As, Cu og Co. Nokkurra áhrifa gætti á F, Cr og Ni í búrkræklingi og stöð VI í fjörukræklingi en vísbendingar eru um að þar kunni að vera um áhrif af setögnum í meltingarvegi vegna m.a. fylgni við járn og ál, sem eru í ríku mæli í ómenguð seti. Sjá mátti verulega lækun í Pb frá því niðurstöður mældust fyrst yfir greiningarmörkum undan álverinu 2003. Með tilliti til ólífrænna snefilefna flokkast svæðin oftast til þess að vera við eða undir flokki ósnortinna svæða fyrir utan stöð VI í fjöru, nokkuð mengað.

PAH-efni í fjörukræklingi eru í lægri styrk í fjörukræklingi en búrkræklingi. Greina má lækun PAH-efna í fjörukræklingi með tíma en styrkur þeirra í búrkræklingi hefur haldist óbreyttur frá 1997. Hæstur styrkur PAH-efna í búrkræklingi er við nýja flæðigryfju, vestast á gryfjussvæðinu, og lækka til austurs. Þetta er sama hegðun og fyrri ár að þessu leyti. Samkvæmt norskum umhverfisviðmiðunum telst svæðið með hæstum styrk í búrkræklingi til verulega mengaðs svæðis (flokkun m.t.t. KPAH og bens(a)pyren, sem gefa ströngustu skilyrðin). Stærsti hluti búrkræklinga er hins vegar í flokki II, nokkuð mengað svæði. Fjörukræklingurinn lendir að mestu í flokknum lítt eða óverulega mengað svæði utan stöðvar VI í fjöru, nokkuð mengað. Allur kræklingurinn stenst þó vel hámarksgildi fyrir PAH-efni í skelfiski til mannelis.

Summary

At the request of Rio-Tinto á Íslandi, - ISAL, Straumsvík, a sampling of mussels was undertaken during the summer and autumn of 2018 outside the plant for the assessment of chemical constituents.

The mussels were both kept in cages in front of the spent pot linings, 8 stations for 86 days, and collected from the beach, 5 stations. As reference sites for the caged mussels were samples from Kiðey, Breiðafjörður, as a reference for the start of the investigation, and in Saurbæjarvík, Hvalfjörður, during the investigation. Additional reference for caged mussels were kept at Lónakot about 3 km west of Straumsvík. As a reference for the beach samples was a station at Lónakot 3 km west of Straumsvík. The mussels were analysed for biological parameters, macroconstituents, trace elements, and PAHs.

The growth of the caged mussel revealed no effect of the industrial activities at the aluminium smelter.

The trace elements and the PAHs were assessed with regard to their levels at the reference sites and Norwegian quality guidelines.

As regards the trace elements no effects could be discerned on the levels of Hg, Cd, As, Co, Pb, and Ag in the caged and beach mussels except for station VI on the beach, east of the smelter, that was elevated with regard to Hg, As, Cu, and Co. Some effects could be detected on F, Cr, and Ni in the caged mussels and station VI on the beach but the correlation of these elements with iron and aluminium, at high levels in unpolluted sediments, indicates that these may be due to sediment particles stuck in the hepatopancreas of the mussels. A marked decrease could be seen in the levels of Pb since mussels were first analysed at these sites back in 2003. As trace elements are concerned, the area is classified as not affected in most cases except for station VI on the beach, somewhat affected.

The PAHs were found at lower levels in beach mussels than caged mussels. A decrease may be indicated with time for the beach mussels since 1997 but that is not the case for caged mussels. Highest level of PAHs in caged mussels are found at the latest pit for pot linings westernmost of the area and decrease to the east. This is the same behaviour as in earlier years in this respect. In accordance with Norwegian guidelines the area with the highest levels in the caged mussels is classified as very polluted (classification by CPAH and benzo(a)pyrene providing the strictest conditions). However, most of the caged mussels classify the area as moderately polluted. The beach mussels place the area in the class of slightly or not polluted area except for station VI, moderately polluted. All samples of mussels are though well below maximum limits for PAHs in bivalves for human consumption.

Inngangur

Að ósk Rio-Tinto á Íslandi hf, - ISAL, Straumsvík, fór sumarið 2018 fram sýnataka til efnagreininga á kræklingi 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 ólífrænna snefilefnaþátta og næringarefna) og á sama tímabili fór einnig fram sýnataka á seti undan álverinu (meginefni, ólífræn snefilefni og PAH-efni). Þessi skýrsla gerir grein fyrir niðurstöðum rannsókna á kræklingi.

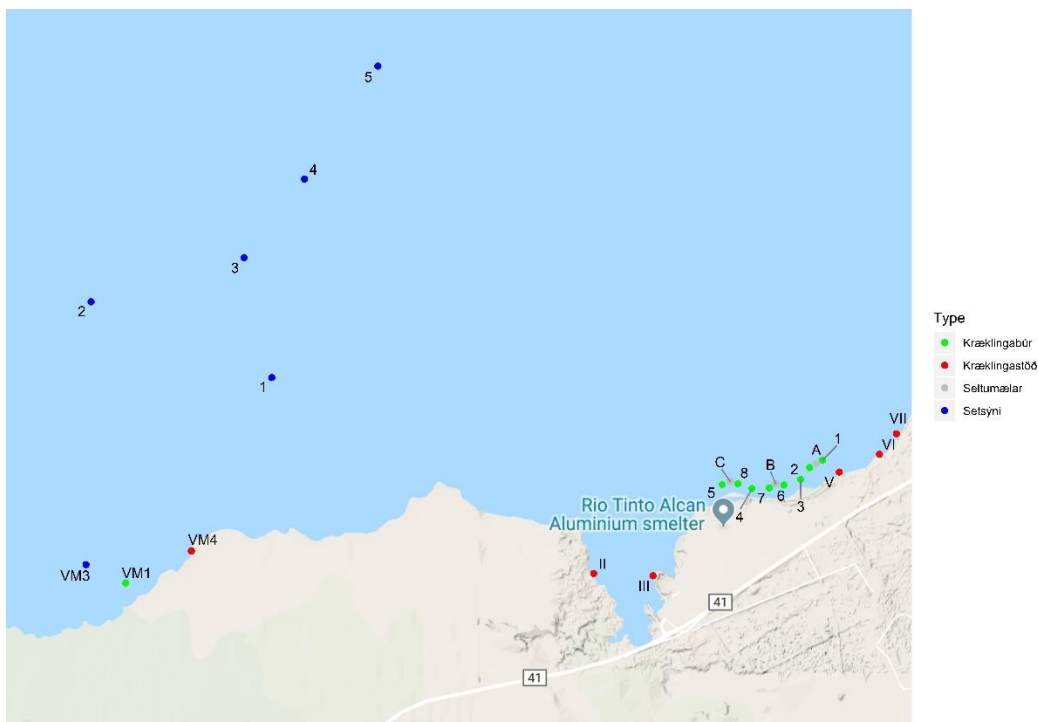
Þetta verkefni er framhald verkefna sem unnin voru 1997, 2003, 2008 og 2013 (Guðjón Atli Auðunsson o. fl. 1998, 2005, 2012 og 2014). Eins og í fyrri rannsóknum var kannað hvort og þá í hversu miklu mæli PAH-efni og ólífræn snefilefni væru tekin upp í krækling í búrum og kræklingi af fjöru við strönd álversins vegna þeirrar iðnaðarstarfsemi, sem þar fer fram.

Sýnataka og sýnameðferð

Þessari rannsókn er m.a. ætlað að gera grein fyrir hvort breyting hafi átt sér stað frá þeim tíma er fyrri rannsóknir fóru fram og sýnatökur nú því miðaðar við að halda fyrri sýnatökustöðvum eins og kostur er.

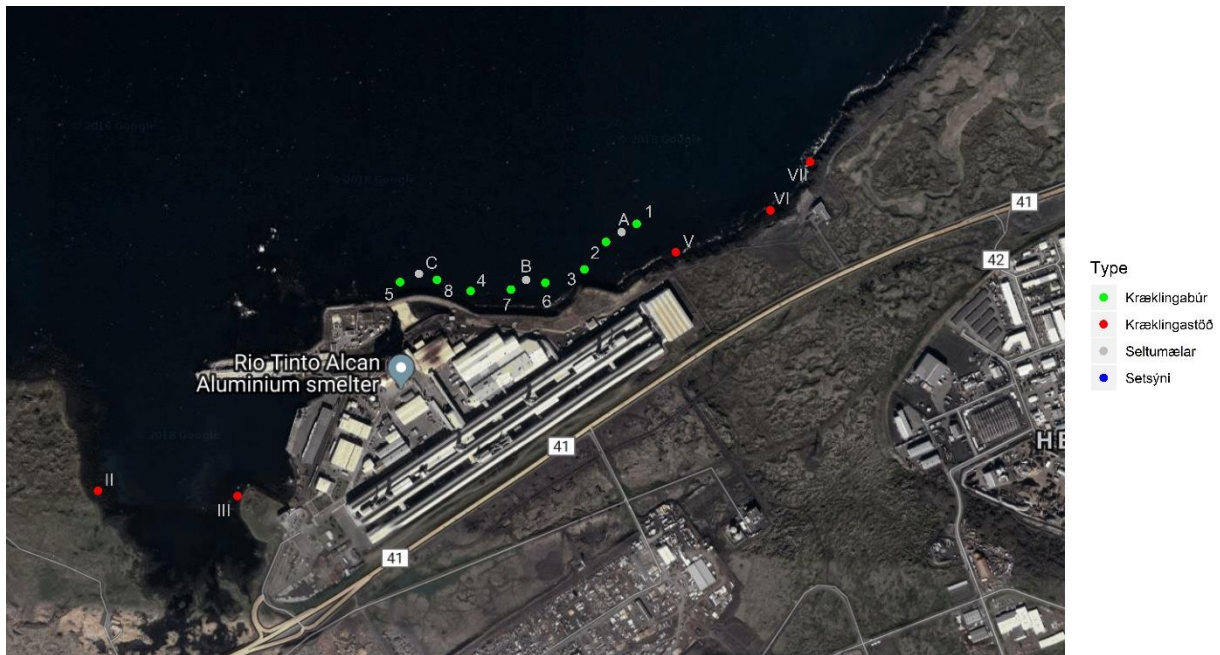
Búrkræklingur

Kræklingabúr með einsleitum kræklingi (*Mytilus edulis*) var komið fyrir skammt frá landi á átta stöðvum norðan verksmiðjusvæðisins á 1 m dýpi frá yfirborði eins og fyrri ár. Botndýpi var ávallt 8 m miðað við stórstraumsfjöru. Sjö stöðvanna hafa verið notaðar í öllum fimm rannsóknunum en áttundu stöðinni (stöð 8) var nú bætt við vegna nýrrar kerbrotagryfju, sjá myndir 1a og 1b.



Mynd 1a Stöðvar kræklingabúra (grænir punktar) og sýna af fjöru (rauðir punktar) .

Figure 1a Stations for deployed mussels (green dots) and mussels from beach (red dots).



Mynd 1b Stöðvar kræklingabúra (grænir punktar) og sýna af fjöru (rauðir punktar) .

Figure 1b Stations for deployed mussels (green dots) and mussels from beach (red dots).

Búrkræklingi á tiltölulega þröngu lengdarbili var fenginn úr kræklingarækt Íslenskrar Bláskeljar og Sjávargróðurs ehf. við Kiðey, Stykkishólmi (Símon Sturluson tengiliður). Hnitin í Kiðey: N 65°02,56 V 22°48.83 en botndýpi þar er 20-22m. Þar sem sýni voru í rækt á baujum var ekki þörf á að hafa kræklinginn í banka áður en honum var komið fyrir á stöðvar sínar í Straumsvík (eins og þurfti 1997, 2003 og 2008, þegar kræklingi var safnað af stórstraumsfjöru í Hvalfirði eða af botni Hvalfjarðar. Fyrri ár þurfti því að hafa krækling í um mánaðartíma í banka m.a. til að ástand einstaklinganna yrði sem líkast innbyrðis, þ.e. safnið yrði sem einsleitast). Sýni komu til Reykjavíkur 06/07/2018 og flutt á Rannsóknasetur HÍ á Suðurnesjum í Sandgerði, þar sem hann var settur í hreinan rennandi sjó. 09/07/2018 var kræklingurinn flokkaður og lengdarmældur áður en honum var skipt í hópa með 70 kræklinga (u.þ.b. 45 mm) í hverjum hópi fyrir hverja stöð; gengið var úr skugga um að einungis er notast við lifandi krækling. Þröngt lengdarbil er valið til að minnka líffræðilegan breytileika í samræmi við leiðbeiningar Alþjóðahafrannsóknaráðsins og leiðbeiningar ASTM (2002) en þessi tiltekni fjöldi einstaklinga er einnig í samræmi við þessar leiðbeiningar en í lokasýni var ætlunin að ná a.m.k. 50 lifandi einstaklingum í hvert sýni. Einn hópurinn var settur í frysti (viðmið 1; Breiðafjörður (1)) en hinir voru settir í netpoka og hafðir í hreinum rennandi sjó í Sandgerði fram að útsetningu. Kræklingurinn nær þannig að festa sig í pokunum áður en hann er settur út á stöðvarnar.

13/07/2018 var kræklingi komið fyrir á lögnum við Straumsvík auk þess sem eitt sýni var sett á nýjan viðmiðunarstað við Lónakotsvatnagarða um 3 km vestan við Straumsvík, stöð 9 (VM 1 á mynd 1a). Áður hafði viðmiðun einungis verið höfð í Hvalfirði við talsvert aðrar aðstæður en ríkja í og við Straumsvík, einkum er varðar ferskvatnsáhrif en þau eru umtalsverð á Straumsvíkursvæðinu (Guðjón Atli Auðunsson o.fl. 2020). Þessi nýja viðmiðunarstöð er ólíkleg til að vera undir áhrifum verksmiðjurekstrarins m.a. vegna ríkjandi vindátta (úr SA) og þess að rekstraumar ganga til vesturs á þessu svæði (Svend-Aage Malmberg 1989). Búrkræklingi var einnig komið fyrir á viðmiðunarstöð í Saurbæjarvík, Hvalfirði, 12/07/2018 (Hvalfjörður (2)), sjá mynd 2. Ólíkt öðrum stöðvum var dýpi í Saurbæjarvík ekki 8 m m.v. stórstraumsfjöru heldur 21 m, áþekk dýpinu við Kiðey. Þessar tvær viðmiðanir ásamt sýninu úr Breiðafirði eru notaðar til mats á náttúrulegum breytingum með tíma. Hnit

stöðvanna koma fram í töflu 1. Stöð bankans er sú sama og 2008 og 2013, örlítið vestar en við Skeljatanga, stöð bankans 2003. 1997 var bankinn við Katanes sem nú er allnærri verksmiðjurekstri á Grundartanga og því flutt f.o.m. 2003.



Mynd 2 Stöð viðmiðunarkræklingsbúrs í Saurbæjarvík, Hvalfirði.

Figure 2 Station of deployed reference cage of mussels in Saurbæjarvík, Hvalfjörður.

Tafla 1 Hnit búrkræklings og dýpi.

Table 1 Coordinates of caged mussels and depth.

Kræclingastöð í sjó	Baughnit (WGS84)	Dýpi (m)
S 1	64°03.001' 22°01.226'	8
S 2	64°02.977' 22°01.320'	8
S 3	64°02.940' 22°01.386'	8
S 4	64°02.911' 22°01.735'	8
S 5	64°02.923' 22°01.951'	8
S 6	64°02.922' 22°01.506'	8
S 7	64°02.913' 22°01.611'	8
S 8	64°02.926' 22°01.838'	8
S 9 (VM1)	64°02.613' 22°06.253'	8
Hvalfjörður (2)	64°23.878' 21°37.691'	21

07/10/2018 voru kræclingabúr tekin upp við Straumsvík og í Saurbæjarvík og höfðu þá verið úti í 86 daga, sem er nokkuð lengri tími en fyrri ár, sjá töflu 2, en veður töfðu sýnatökuna að þessu sinni. Þessi mismunur í sýnatökutíma hefur ekki áhrif við samanburð þessara þriggja rannsókna. Árferði hefði meiri áhrif í þá veru.

Í öllum tilvikum var sýnum komið fyrir í frysti við -20°C fram að undirbúningi þeirra og mælingum. Öll kræclingssýni voru skilgreind með tilliti til heildarþyngdar, lengdar skelja, hæðar og þykktar, þyngdar mjúkvöðva og þyngdar skelja.

Tafla 2 Sýnatökudagsetningar og tímalengd fyrri rannsókna.

Table 1 Sampling dates and duration of earlier investigations.

Ár rannsóknar	Búr sett út	Búr sótt	Tímalengd, dagar
1997	7/7	16/9	71
2003	8/7	23/9 og 25/9	77 og 79
2008	1/8	15/10	75
2013	1/8	17/10	77
2018	13/7	7/10	86

Fjörukræklingur

12/09/2018 var kræklingi safnað í fjöru á tveimur stöðvum í Straumsvík og á þremur stöðvum austan við álverið. 13/09/2018 var kræklingi safnað á viðmiðunarstöð við Lónakot, stöð I (VM 4 á mynd 1a), sjá stöðvar á myndum 1a og 1b og hnit í töflu 3. Ekki var unnt að taka krækling af stöð IV eins og fyrri ár vegna erfiðs aðgengis. Samdægurs var kræklingurinn settur í frysti og geymdur þannig fram að undirbúningi fyrir efnagreiningar.

Tafla 3 Hnit fjörukræklings.

Table 3 Coordinates of beach mussels.

Kræklingastöð í fjöru	Baughnit (WGS84)	Athugasemdir
I (viðmið 1; VM1)	64°02.714' 22°05.778'	Viðmið við Lónakot (ný stöð)
II	64°02.643' 22°02.877'	Svipuð staðsetning og í vöktun 2013
III	64°02.636' 22°02.449'	Svipuð staðsetning og í vöktun 2013
V	64°02.963' 22°01.106'	Svipuð staðsetning og í vöktun 2013
VI	64°03.019' 22°00.816'	Svipuð staðsetning og í vöktun 2013
VII	64°03.084' 22°00.694'	Svipuð staðsetning og í vöktun 2013

Fjörusýni voru sótt 14/10 árið 1997, 25/10 árið 2003, 15 og 16/10 2008 og 24/10/2013. Þessi mismunur í sýnatökutíma hefur ekki áhrif við samanburð þessara fjögurra rannsókna. Árferði er líklegur til að hafa meiri áhrif.

Eins og 2003, 2008 og 2013 en ólíkt því sem var 1997, þá var fjörukræklingur ekki hafður í hreinum sjó í sólarhring áður en hann var frystur. Þessi mismunur í meðferð getur haft mikla þýðingu við samanburð niðurstaðna fyrir aðskotaefni, sjá niðurstöðukafla.

Aðferðafræði og framkvæmd mælinga

Framkvæmd sýnatöku og sýnameðferð

Sjóferðir og sýnatökur fóru fram á Sæmundi fróða RE 32, báti Rannsóknaseturs HÍ á Suðurnesjum. Rannsóknasetrið í Sandgerði í umsjón Halldórs Pálmaris Halldórssonar og Hermanns Dreka Guls sá um alla vinnu varðandi búrkrækling og sýnatökur úr fjöru. Sömu aðilar sáu jafnframt að mestu um vinnslu kræklingssýna fyrir mælingar, þ.e. mælingar á lengd, hæð, þykkt, þunga skelja og mjúkvöðva með áhöldum og aðferðum útbúnum af Efnagreiningadeild Nýsköpunarmiðstöðvar.

Framkvæmd mælinga og mæliaðferðir

Í öllum sýnunum voru mæld næringarefni, PAH-efni og ólífræn snefilefni. Vísað er í ítarlega umfjöllun um aðskotaefnin í skýrslu rannsóknanna 2003 og 2013.

Mæld voru meginefni (þurrefni, prótein og aska), PAH-efni eða sk. EPA16, og ólífrænu snefilefni F, Al, As, Se, Pb, Cd, Cu, Co, Cr, Fe, Hg, Mn, Ni, V, og Zn.

Fyrir allar efnamælingar voru sýni frostþurrkuð og síðan möluð í fínan salla (kúlukvörn; ZrO₂) og í kjölfarið skipt niður á mælingaaðila. Frostþurrkunin gefur þurrefnisinnihald.

Nitur var mældur með frumefnagreini og aska var metin út frá mælingum á Na, K, Ca og Mg (ICP-OES).

Allar mælingar utan mælinga á PAH-efnum fóru fram á Efnagreiningadeild Nýsköpunarmiðstöðvar. PAH-efnin voru mæld með GC-MS hjá GBA, Flensburger Strasse 15, 25421 Pinneberg, Þýskalandi, en sú stofa vinnur með faggilda aðferðafræði við mælingarnar (vottuð af DAKKS, þýsku vottunarstofunni). Milligöngu um mælingarnar á PAH-efnum hafði ALS Scandinavia AB, Danderyd, Svíþjóð.

Flúor var mældur með flúorsérkvæðu rafskauti eftir örsveimsmeðhöndlun á sýnunum. Notaðar voru staðalviðbætur við gæðatryggingu mælingarinnar.

Önnur ólífræn snefilefni voru mæld með ICP-OES og ICP-MS eftir örbylgjusundrun með blöndu af HNO₃ og H₂O₂. Mældur var ýmiss viðmiðunarefni við samfara mælingunum til gæðatryggingar, sjá töflu 4. Ekki var unnt að finna viðmiðunarefni með vottuð gildi fyrir ál, aðeins ábendingargildi, sjá töflu 4. Ábendingargildin fyrir ál eru hærri en þau mælast hér. Ábendingargildi eru hins vegar ekki áreiðanleg og geta verið umtalsvert frábrugðin réttum gildum og má t.d. sjá að ábendingargildi fyrir Mn í DORM-3 er um 60 % hærri en mælt gildi en mælinákvæmni er hins vegar góð fyrir þann viðmiðunarefni við þar sem vottuð gildi eru til staðar fyrir Mn (BCR-278 og TORT-2). Einnig má nefna að ekki er vísað í aðferðafræði við mælingu á áli í viðmiðunarefniviðnum í töflu 4 og kunna ábendingargildi fyrir ál í DOLT-4, DORM-3 og BCR-278, að hafa verið metin út frá mælingum á heildarstyrk áls, þ.e. bæði aðgengilegum hluta og þeim hluta sem bundinn er í steindum, en hér er aðeins aðgengilegi hlutinn mældur.

Tafla 4 Niðurstöður mælinga á viðmiðunarefni við.

Table 4 Analytical results on certified reference materials.

		Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Cd	Pb	Hg	Al
DOLT-4	Mælt (n=3)	1,1±0,1	9,6±0,4	1647±50	0,22±0,06	0,8±0,2	28,7±0,4	107±2	8,4±0,2	7,2±0,5	21,8±0,4	0,12±0,01	2,1±0,03	101±20
	Vottað	1,4*		1833±75		0,97 ± 0,11	31,2±1,1	116±6	9,66±0,62	8,3±1,3	24,3±0,8	0,16±0,04	2,58±0,22	200*
DORM-3	Mælt (n=4)	1,78±0,12	2,87±0,13	311±22	0,24±0,04	1,28±0,19	14,5±0,6	45,9±1,3	6,2±0,3	3,2±0,1	0,29±0,01	0,38±0,02	0,34±0,01	1372±81
	Vottað	1,89±0,17	4,6*	347±20		1,28±0,24	15,5±0,6	51,3±3,1	6,8±0,3	3,3*	0,29±0,02	0,39±0,05	0,38±0,06	1700*
BCR-278	Mælt (n=4)	0,74±0,18	7,2±0,4	112±13	0,33±0,06	0,86±0,05	8,66±0,29	73,3±3,7	5,59±0,33	1,54±0,15	0,32±0,01	1,85±0,15	0,17±0,01	49±5
	Vottað	0,80±0,08	7,3±0,2	133±4	0,34*	1*	9,60±0,16	76±2	5,9±0,2	1,66±0,04	0,34±0,02	1,91±0,04	0,188±0,007	70*
TORT-2	Mælt (n=3)	0,70±0,14	12,2±0,7	84±3	0,49±0,08	1,97±0,05	92±5	167±9	19,5±1,1	5,1±0,3	25,2±1,6	0,34±0,02	0,27±0,02	23±4
	Vottað	0,77±0,15	13,6±1,2	105±13	0,51±0,09	2,50±0,19	106±10	180±6	21,6±1,8	5,63±0,67	26,7±0,6	0,35±0,13	0,27±0,06	

*Ábendingargildi (indicative value/information value).

Niðurstöður og umræða

Formþættir og vöxtur kræklinga

Búrkræklingurinn var í upphafi með miðgildislengdina 44 mm eða áþekk lengd og 2013, 45 mm. Árin 1997, 2003 og 2008 var kræklingurinn minni eða 30, 32 og 30 mm að miðgildislengd. Nú og 2013 var kræklingur fenginn af baujum úr eldi en hann vex hraðar á baujum en á t.d. stórstraumsfjöru, sem var

safnað í fyrri rannsóknum þannig að aldursmunur getur verið lítill þó svo um stærðarmun sé að ræða. Ástæða þess að frekar smáum kræklingi var safnað fyrri ár er sú að þannig má tryggja að hlutfallslegur vöxtur yrði sem mestur auk þess sem smár/ungur kræklingur er viðkvæmari fyrir áhrifum mengunarálags almennt. Ekki gafst kostur á jafn smáum kræklingi 2013 og 2018 eins og fyrri ár. Áhrif stærðar og vaxtar kann að vera nokkur á styrk mengunarefna sem hafa þarf í huga við mat á niðurstöðum.

Eðli málsins samkvæmt er örðugra að ná fyrirfram ákveðinni stærð af villtum kræklingi úr fjöru. Tafla 5 sýnir miðgildislengdir og fjölda í fjörusýnunum 2013 og 2018.

Tafla 5 Fjöldi og lengd fjörukræklinga.

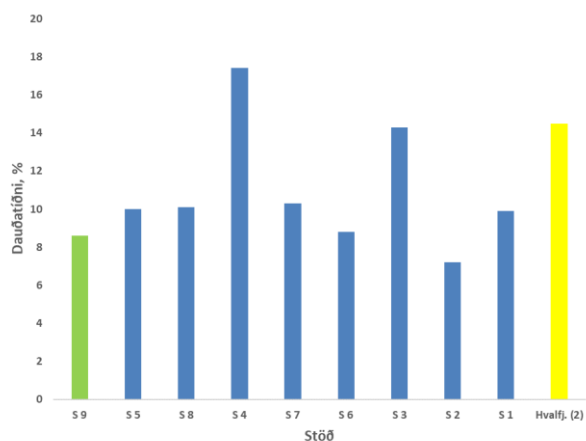
Table 5 Number and lengths of beach mussels.

Stöð	Fjöldi í sýni	Miðgildislengd	Fjöldi í sýni	Miðgildislengd
		mm		mm
		2013	2018	
Botnsvogur	100	35,0		
Vatnsleysuströnd			60	35,5
II	84	31,9	50	39,4
III	73	28,5	50	41,4
IV	35	19,7		
V	20	18,8	40	39,8
VI			100	23,8
VII	37	14,8	40	32,9

Aðeins ein stöð reyndist rýr að þessu sinni eða stöð VI en ekki náðist sýni þaðan 2013. Eins og fram kom að ofan þá reyndist aðgengi að stöð IV gera sýnatöku ógerlega að þessu sinni. Ýmsar náttúrulegar ástæður kunna að liggja að baki breytileika á milli ára í viðkomu og vexti kræklinga á stórstraumsfjöru.

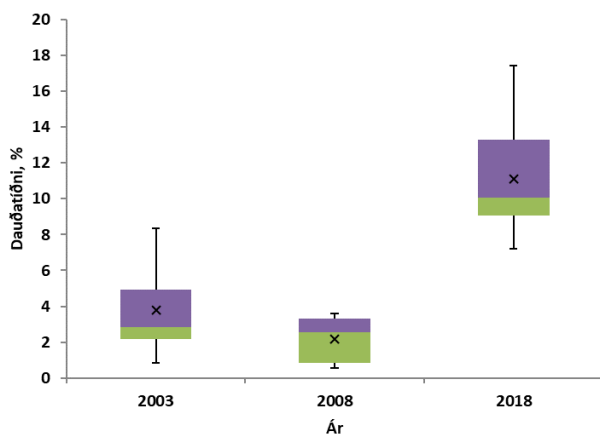
Dauðatíðni

Mynd 3 sýnir hlutfall dauðra kræklinga í sýnunum og reynist það nokkuð hátt að þessu sinni. Ekki var unnt að mæla þetta hlutfall 2013 þar sem fugl hafði líklegast komist í búrin og 1997 var þetta hlutfall ekki til athugunar. Hins vegar er fróðlegt að bera hlutfallið nú saman við hlutföllin 2003 og 2008, sjá mynd 4. Af mynd 4 má sjá að hlutfallið nú 2018 er umtalsvert hærra en fyrri ár. Hins vegar er dauðatíðnin nú í bankanum í Hvalfirði einnig mjög há og ekki marktækt frábrugðin sýnunum við Straumsvík. Viðmiðunin á stöð 9 er heldur ekki frábrugðin safninu undan kerbrotagryfjunum. Ekki er ástæða þessarar háu dauðatíðni nú kunn með vissu en ljóst að ekki megi rekja hana til áhrifa af verksmiðjurekstri því viðmiðunin í Hvalfirði og viðmiðunin á stöð 9 sýndu áþekka hegðun.



Mynd 3 Hlutfall dauðra kræklinga í sýnum.

Figure 3 Rate of dead mussels in samples.



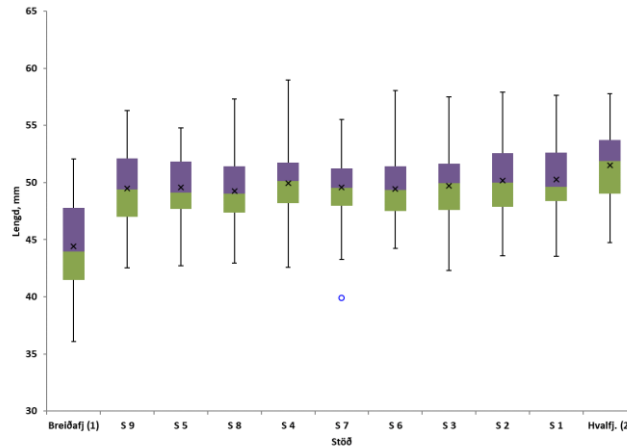
Mynd 4 Hlutfall dauðra kræklinga í sýnum 2003, 2008 og 2018¹.

Figure 4 Rate of dead mussels in samples 2003, 2008, and 2018.

Lengd

Mynd 5 sýnir að lengd kræklinga hefur vaxið marktækt á stöðvunum miðað við Breiðafjörð í upphafi en sýnið í Hvalfirði hefur vaxið mest. Lengd hvers sýnis er normaldreifð (Shapiro-Wilk) og er ekki munur á lengd kræklinga á stöðvunum við Straumsvík. Hins vegar hefur Hvalfjarðarsýnið vaxið marktækt meira en stöðvarnar undan álverinu eða um 7,1 mm (16%) en stöðvarnar um 4,8-5,9 mm ($11,9 \pm 0,8$ %), viðmiðunarstöð 9 meðtalin því hún ekki marktækt frábrugðin kræklingnum undan álverinu. Breytileiki milli ára er umtalsverður en árið 2013 óx t.d. kræklingur ekki marktækt, hvorki undan kerbrotagryfjunum né í Hvalfirði. Tafla 6 sýnir lengdarbreytingu allra rannsóknanna f.o.m. 1997. Tölurnar í töflu 6 benda til að vöxturinn 2018 sé áþekkur vextinum 2008 en marktækt meiri en 1997 og 2013, -2003 óx hann mest.

¹ Um er að ræða s.k. box-plot. Neðri brún kassa (hér grænn) er 25 % hundraðsmark, efri brún hans er miðgildi (=neðri brún efri kassa), og efri brún hærri kassa (hér purpuralitur) er 75 % hundraðsmark. Krossinn sýnir meðaltal. Stikarnir undir og yfir kössum er lægsta gildi og hæsta gildi. Fari gildi í safni yfir 1,5-falt interquartile range (IQR; mismunur 75 og 25 % hundraðsmark) frá 25 og 75 hundraðsmörkum, þá er um útlaga (outlier) að ræða og eru þau gildi sýnd sérstaklega sem bláir punktar (sjá t.d. mynd 5).



Mynd 5 Lengd kræklinga í búrum.

Figure 5 Lengths of caged mussels.

Mismunur í vaxtarhraða kann að koma til af ýmsum ástæðum en þættir eins og t.d. hitastig, fæðuframboð, fæðutegund, selta, þéttleiki í búri, dýpi, ölduhreyfing og straumhraði geta haft áhrif á vaxtarhraða en einnig mengunarálag (Gosling 2003). Munur getur verið í öllum þessum breytum í þessum fimm rannsóknum utan dýpis (sem er hins vegar meira í Hvalfirði). Seltustig er lægra framan við verksmiðjувæðið en á þessu svæði kemur mikið ferskvatnsrennsli undan hrauninu (Guðjón Atli Auðunsson o.fl. 2020) og getur verið mikill munur frá einu sumri til annars hvernig ferskvatnið leggur sig á því 1 m dýpi sem kræklingurinn er staðsettur. Mikill breytileiki reyndist í ferskvatnsáhrifum á tímabili rannsóknarinnar og getur það einnig haft neikvæð áhrif á vöxt (stress). Vöxtur minnkar með minni seltu. Þessi ferskvatnsáhrif koma fram í ýmsum efnabáttum, sem ræddir verða hér að neðan.

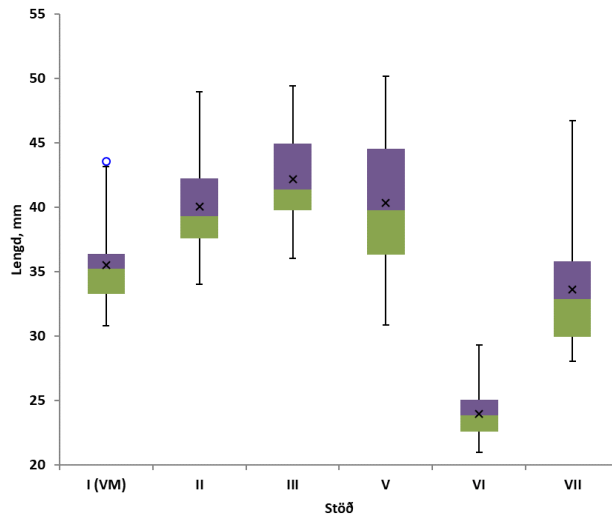
Tafla 6 Lengdaraukning búrkræklings.

Table 6 Increase in length of caged mussels.

Ár	% lengdaraukning	Vaxtarhraði	Vaxtarhraði*
		µm/d	ár ⁻¹
1997	3	13	0,15
2003	21	86	0,89
2008	9	36	0,42
2013	0	0	0,00
2018	12	61	0,48

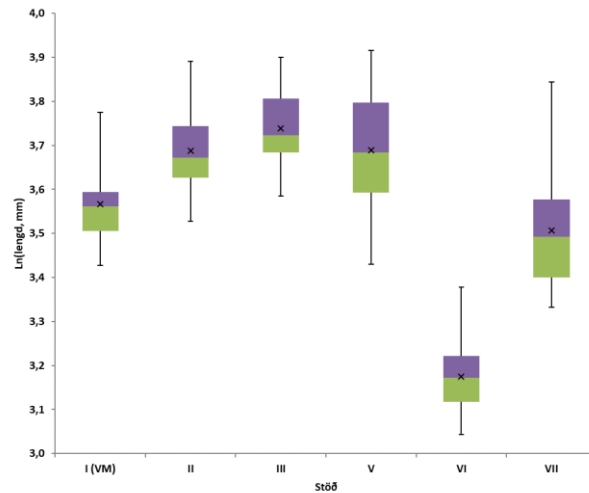
*Vaxtarhraði er reiknaður með líkingunni: $vaxtarhraði = \ln(L_t/L_0)/\Delta t$.

Ólíkt lengd kræklings í búrum þá er lengd kræklings úr fjöru log-normal-dreifð (Shapiro-Wilk), mynd 6a sýnir lengdirnar og mynd 6b sýnir lengdirnar eftir log-vörpun. Ekkert sýnanna er öðru líkt er varðar lengd. Náttúrulegur breytileiki kemur jafnan í veg fyrir að unnt sé að ná sýnum af sömu stærð úr fjöru á öllum þeim stöðvum sem sóst er eftir sýnum frá. Gerir þetta túlkun á gögnum vandasamari en ella.



Mynd 6a Lengd kræklinga af fjöru.

Figure 6a Lengths of beach mussels.

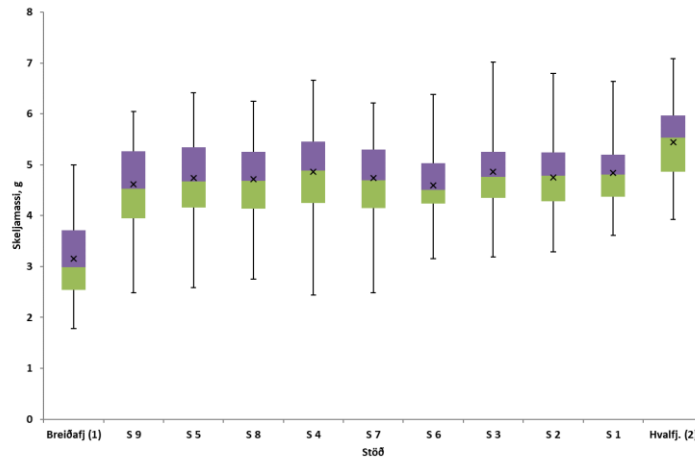


Mynd 6b Lengd kræklinga af fjöru eftir log-vörpun.

Figure 6b Lengths of beach mussels log-transformed.

Skeljamassi

Skeljamassi búkræklinga er sýndur á mynd 7 og reynist hann normaldreifður á öllum stöðvunum (Shapiro-Wilk) og ekki er marktækur munur á milli sýnanna 8 undan álverinu né á viðmiðun á stöð 9. Hins vegar hefur kræklingurinn vaxið marktækt meira í Hvalfirði en undan álverinu eða um 72,3 % en á stöðvunum um 50,2 % að meðaltali (spönn: 45,4 % (stöð 6) - 54,0 % (stöð 4)).



Mynd 7 Skeljamassi búkræklings.

Figure 7 Mass of shell in caged mussels.

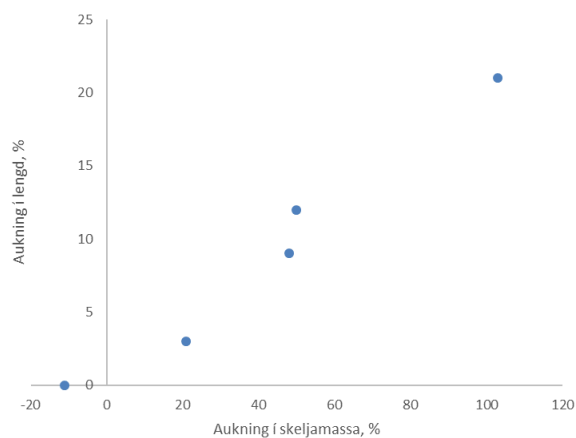
Samanborið við fyrri vöktunarverkefni við álverið í Straumsvík þá er vöxtur skeljamassa (eins og í tilviki lengdar) áþekkur því sem gerðist 2008, sjá töflu 7. Við skoðun á töflum 6 og 7 sést að svipaðir þættir eru að verki við lengdarvöxt og skeljavöxt eins og við var að búast, sjá mynd 8. Athygli vekur skeljarýrnunin árið 2013.

Tafla 7 Aukning skeljamassa búkræklings.

Table 7 Increase in shell mass of caged mussels.

Ár	Aukning í skeljamassa %	Vaxtarhraði* ár ⁻¹
1997	21	1,0
2003	103	3,3
2008	48	1,9
2013	-11 (-6 til -17)	-0,6
2018	50	1,7

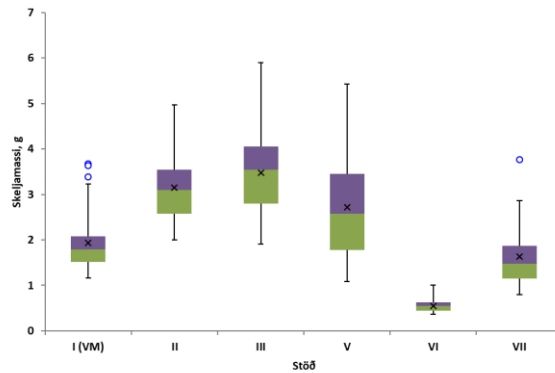
*Vaxtarhraði er reiknaður með líkingunni: $vaxtarhraði = \ln(M_t/M_0)/\Delta t$.



Mynd 7 Samband vaxtar í lengd og skeljamassa í búkræklingi.

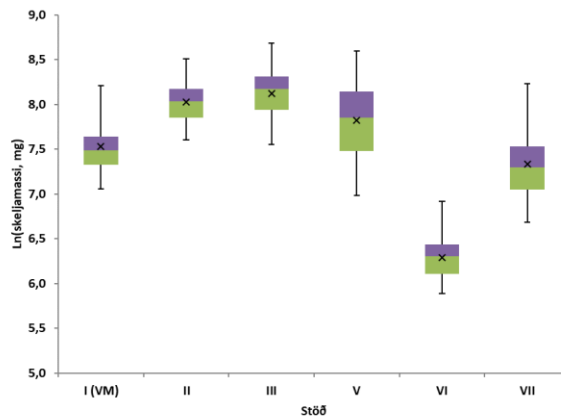
Figure 7 Relationship between length growth and shell mass growth of caged mussels.

Mynd 8a sýnir skeljamassa fjörukræklings og hegðar hann sér áþekkt lengdinni, massarnir eru log-normal-dreifðir og ekkert sýni er öðru líkt. Mynd 8b sýnir skeljamassana eftir log-vörpun. Vensl skeljamassa og lengdar má glögglega sjá á mynd 9.



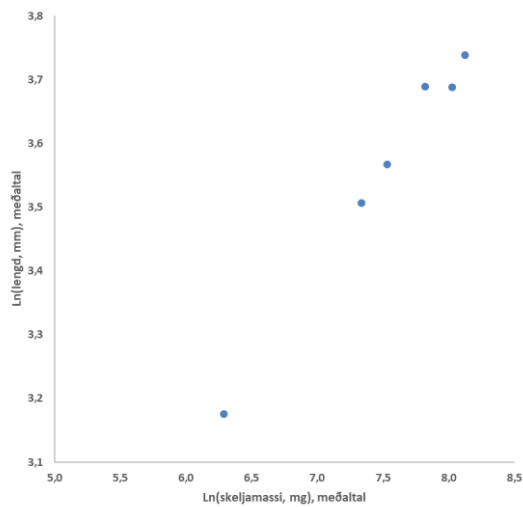
Mynd 8a Skeljamassi fjörukræklings.

Figure 8a Shell mass of beach mussels.



Mynd 8b Skeljamassi fjörukræklings eftir log-vörpun.

Figure 8b Shell mass of beach mussels log-transformed.

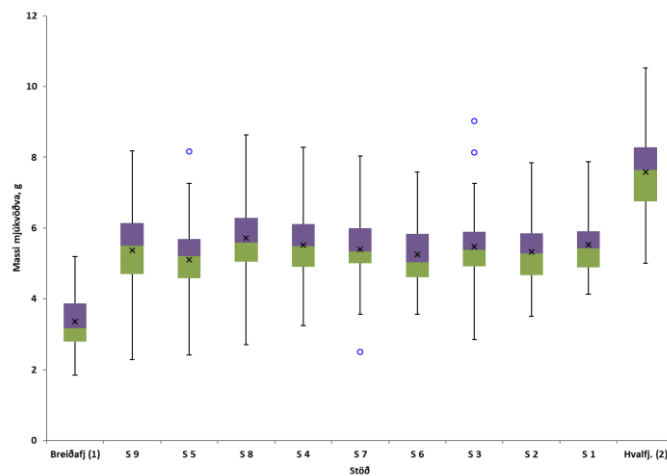


Mynd 9 Vensl skeljamassa fjörukræklings og lengdar.

Figure 9 Relationship between shell mass and length of of beach mussels.

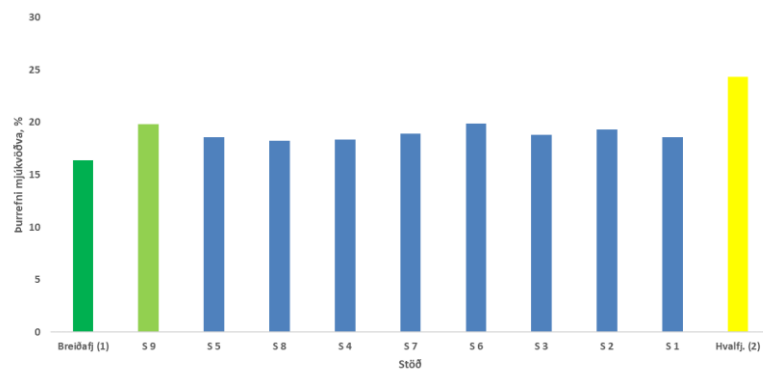
Mjúkvöðvi

Þar sem allar mælingar fara fram á holdi kræklingins er ástæða til að líta nánar á mjúkvöðinn en aðallega þarf að huga að þurrþyngdinni því breytileiki getur verið í votþunga kræklingins s.s. vegna mismikils magns af sjó við frystingu. Votvigt mjúkvöðva er normal-dreifð í öllum tilvikum búkræklinga nema á stöðvum 3 og 1 (Saphiro-Wilk og d'Augustino-Pearson), sjá mynd 10. Þessar stöðvar eru þó ekki með log-normal-dreifðan mjúkvöðva. Munur reynist á milli stöðva við Straumsvík (ANOVA og Kruskal-Wallis) en munurinn er lítill ($p=0,035$ (ANOVA) og $p=0,043$ (Kruskal-Wallis)). Mynd 10 sýnir glögglega að kræklingurinn á stöðvunum undan álverinu hefur vaxið og reynist vöxturinn vera 61 % að meðaltali, spönn: 52 % (stöð 5) – 70 % (stöð 8), en þessar tvær stöðvar sem sýna útgildin liggja þó hlið við hlið. Kræklingurinn í Hvalfirði hefur hins vega vaxið tvöfalt meira eða um 126 %. Vísað er í sömu lögmál og að ofan fyrir lengd um orsakir mismunar fyrir vaxtarhraða. Þurrefni mjúkvöðva vex með meiri holdmassa, sjá mynd 11, og eykur því mun á viðmiðunum og búkræklingi við álverið, sjá mynd 12.



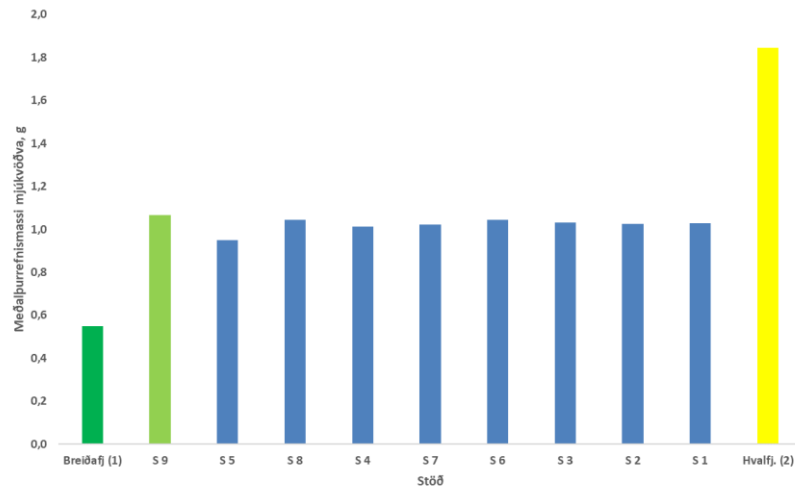
Mynd 10 Massi mjúkvöðva búkræklinga (votvigt).

Figure 10 Mass of soft tissue of caged mussels (wet weight).



Mynd 11 Þurrefni mjúkvöðva búkræklinga.

Figure 11 Dry weight of soft tissue of caged mussels.



Mynd 12 Meðalþurrrefnismassi mjúkvöðva búrkræklings.

Figure 12 Average dry weight of soft tissue of caged mussels.

Þannig verður vöxturinn í þurrrefnismassa mjúkvöðva undan kerbrotagryfjunum 86 % að meðaltali en 235 % í Hvalfirði. Mynd 12 sýnir einnig glögglega hve einsleitt safnið er fyrir allan búrkræklinginn undan álverinu. Tafla 8 sýnir vaxtarhraða mjúkvefs búrkræklings fyrir öll vöktunarverkefni fram til þessa og má þá sjá að vöxturinn í mjúkvöðva 2018 er sú næstbesta, aðeins hlýárið 2003 sýnir meiri vöxt sem er þó minni en sýnið í Hvalfirði 2018.

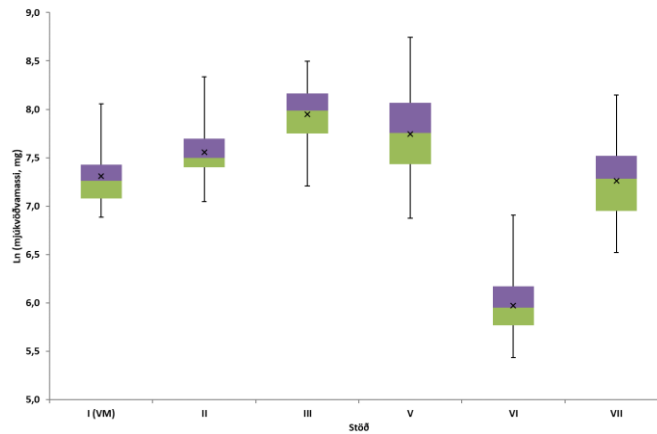
Tafla 8 Aukning í þurrmassa mjúkvöðva búrkræklings.

Table 8 Increase in soft tissue dry mass of caged mussels.

Ár	Vöxtur í þurrþunga holds %	Vaxtarhraði* ár ⁻¹
1997	0	0,0
2003	174	4,7
2008	26	1,1
2013	12	0,5
2018	86	2,6

*Vaxtarhraði er reiknaður með líkingunni: $vaxtarhraði = \ln(M_t/M_0)/\Delta t$.

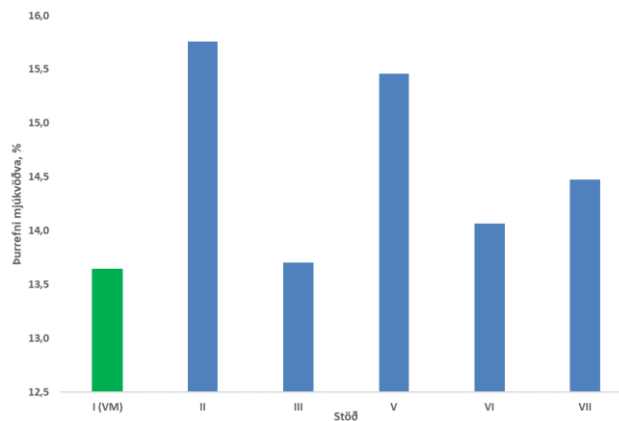
Mjúkvöðvi kræklings af fjöru er breytilegur og hefur mikla fylgni við bæði skeljamassa og lengd. Eins og í tilviki skeljamassa og lengdar er massi mjúkvöðva log-normal-dreifður utan viðmiðunar-stöðvarinnar við Lónakot (Saphiro-Wilk), sjá mynd 13.



Mynd 13 Massi mjúkvöðva fjörukræklings (votvigt) með log-vörpun.

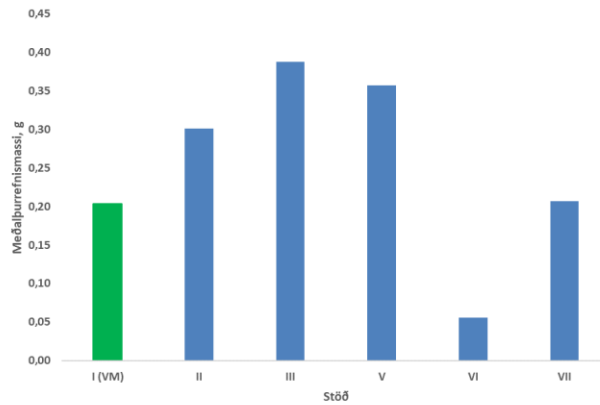
Figure 13 Mass of soft tissue of beach mussels (wet weight) with log-transformation.

Þurrefni kræklings af fjöru hefur hins vegar litla fylgni við holdmassa, sjá mynd 14, en þurrefni fjörukræklings er jafnframt talsvert minna en í búrkræklingi eins og við var að búast. Mynd 15 sýnir þurrefnismassa fjörukræklings og má sjá að hann er mjög lítill. Kemur hér aðallega til minni möguleikar kræklings til viðgangs í fjöru en í búrum, en þegar kræklingur er á þurru á útfalli nærast hann ekki heldur notar orku, þó í litlu mæli sé, og gengur þá á vefi sína. Af m.a. þessum sökum þarf að fara varlega almennt við að bera saman styrk aðskotaefna beint á milli fjöru- og búrkræklings.



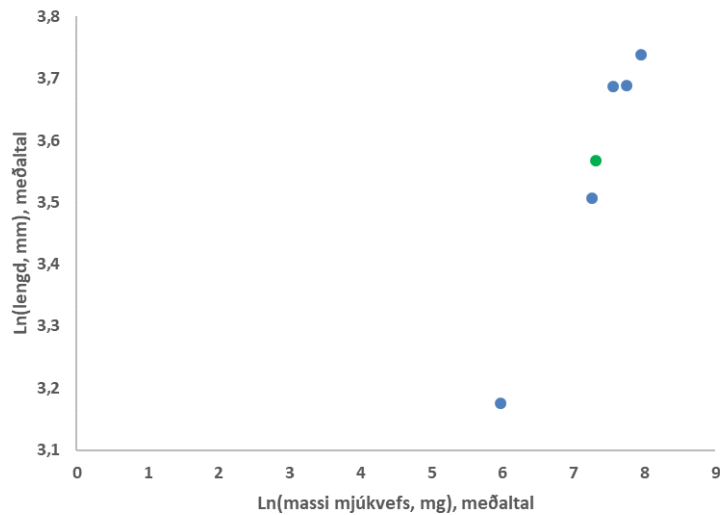
Mynd 14 Þurrefni mjúkvöðva fjörukræklings.

Figure 14 Dry weight of soft tissue of beach mussels.



Mynd 15 Meðalþurrfeinismassi (varp úr log-normal-dreifingu) mjúkvöðva fjörkræklings.

Figure 15 Average dry weight (from antilog transformation) of soft tissue of beach mussels.

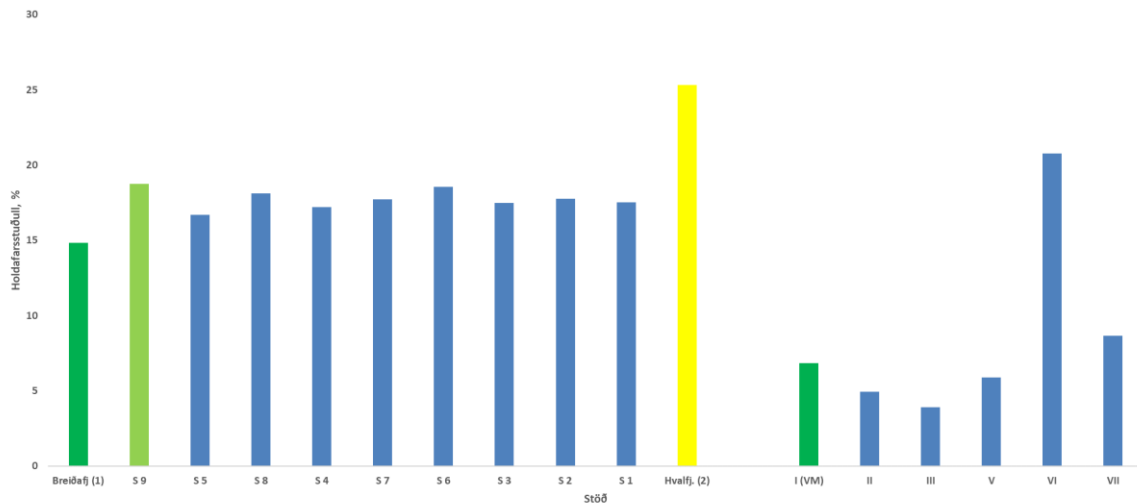


Mynd 16 Vensl meðal massa mjúkvöðva (votvigt) fjörkræklings og lengdar.

Figure 16 Relationship between soft tissue mass (wet weight) and length of beach mussels.

Holdafarsstuðull

Mynd 17 sýnir holdafarsstuðla kræklingssýnanna en stuðullinn er hlutfall þurrþyngdar mjúkvöðva og heildarþurrþyngdar. Athygli vekur að holdafarsstuðlarnir sýna mikla einsleitni í búkræklingi undan álverinu en holdafar kræklingssins í Hvalfirði er sá hæsti sem mælt hefur í fyrri vöktunum og áþekkur því sem gerðist hlýsumarið 2003 undan álverinu. Einnig vekur athygli að minnsti kræklingurinn af fjöru (stöð VI) er með hærri holdafarsstuðul en í búkræklingnum undan álverinu en ekki var að finna krækling á þessari stöð 2013. Almennt er þó holdafar fjörkræklingssins lakara en í búrum eins og við var að búast.



Mynd 17 Holdafarsstuðlar búr- og fjörkræklings.

Figure 17 Condition indices of caged and beach mussels.

Tafla 9 gerir grein fyrir breytingum í holdafarsstuðlum fyrri rannsókna og líkist ár 2018 hlýsumrinu 2003 að þessu leyti.

Tafla 9 Breyting í holdafarsstuðlum búrkræklings.

Table 9 Changes in condition indices of caged mussels.

Ár	Breyting í holdafarsst.	Hraði breytingar
	%	%/d
1997	0	0,00
2003	16	0,21
2008	-13	-0,17
2013	47	0,61
2018	20	0,23

Samantekið um formfræði og vöxt

Tafla 10 tekur saman hraða breytinga á lengd, skeljamassa, þurrþunga mjúkvefs og holdafars. Má þar sjá að fylgni er góð milli lengdar, skeljamassa og þurrþunga mjúkvefs en holdafarstuðull sýnir ekki fylgni við þessar breytur. Það sem vekur helst athygli er mjög mikill munur frá einu ári til annars, sem svo aftur gerir grein fyrir mikilvægi þess að hafa samtímaviðmið til samanburðar ár hvert.

Tafla 10 Breyting í vexti og holdafari búkræklings.

Table 10 Changes in growth and condition of caged mussels.

Ár	Lengd %/d	Skeljamassi %/d	Purrþungi mjúkvefs %/d	Holdafar %/d
1997	0,04	0,30	0,00	0,00
2003	0,27	1,32	2,23	0,21
2008	0,12	0,64	0,35	-0,17
2013	0,00	-0,14	0,16	0,61
2018	0,14	0,58	1,00	0,23
Fylgnifylki				
	Lengd	Skeljamassi	Purrþungi mjúkvefs	Holdafar
Lengd	1,00	0,98	0,94	-0,27
Skeljamassi	0,98	1,00	0,88	-0,42
Mjúkv. þ.v.	0,94	0,88	1,00	0,07
Holdafar	-0,27	-0,42	0,07	1,00

Tafla 10 gerir einnig grein fyrir því að búkræklingurinn 2018 hefur þrífist mjög vel. Ekki verður séð að vöxtur hafi orðið fyrir áhrifum af völdum verksmiðjurekstrarins, aðstæður í náttúrunni eru langstærsti áhrifaþátturinn.

Ólífræn snefilefni

Niðurstöður mælinga á ólífrænum snefilefnum í öllum kræklingssýnum er að finna í töflu 11 fyrir bú- og fjörúkrækling.

Járn og mangan, næringarefni, voru mæld til notkunar við túlkun á gögnunum fyrir krækling, sérstaklega til mats á áhrifum setagna á styrk ólífrænna snefilefna

Tafla 11 Niðurstöður mælinga á meginefnum og ólífrænum snefilefnum í kræklingi.

Table 11 Results for macro- and microconstituents in mussel samples.

	Aska % þ.v.	Cl sem NaCl % þ.v.	Þurrefni % þ.v.	Prótein % þ.v.	F µg/g þ.v.	Cr µg/g þ.v.	Mn µg/g þ.v.	Fe µg/g þ.v.	Co µg/g þ.v.	Ni µg/g þ.v.	Cu µg/g þ.v.	Zn µg/g þ.v.	As µg/g þ.v.	Se µg/g þ.v.	Cd µg/g þ.v.	Pb µg/g þ.v.	Hg µg/g þ.v.	Al µg/g þ.v.
Breiðafj. (1)	6,4	9,1	16,4	56,8	4,2	0,90	7,9	281	0,60	1,28	5,36	84	7,91	2,65	2,63	0,10	0,027	153
S 9	6,2	9,4	19,8	56,6	6,1	1,43	8,4	300	0,39	1,03	6,74	88	6,29	2,25	2,32	0,12	0,025	211
S 5	6,0	8,3	18,6	57,7	9,0	1,62	8,4	336	0,34	1,22	6,27	100	6,26	2,26	1,75	0,12	0,030	271
S 8	6,2	11,0	18,2	55,7	8,1	1,32	6,8	276	0,31	1,01	6,59	100	6,24	2,23	1,87	0,11	0,024	196
S 4	6,0	10,3	18,3	55,0	8,6	1,54	7,6	360	0,32	1,08	6,63	97	6,13	2,20	1,79	0,14	0,022	241
S 7	5,6	17,5	18,9	57,8	13,2	2,05	8,5	395	0,38	1,42	6,83	104	6,25	2,19	1,73	0,15	0,026	306
S 6	5,9	10,4	19,9	56,9	15,7	3,41	12,4	564	0,48	1,89	7,28	95	6,05	2,08	1,66	0,17	0,025	500
S 3	5,9	10,8	18,8	56,6	11,9	2,09	8,2	416	0,36	1,43	6,64	99	5,87	1,97	1,72	0,13	0,023	288
S 2	5,8	9,3	19,3	57,2	9,8	2,28	9,0	438	0,37	1,48	6,83	100	6,30	2,22	1,57	0,12	0,025	326
S 1	4,4	11,8	18,6	56,6	6,8	2,60	9,2	454	0,38	1,68	6,78	100	6,47	2,29	1,72	0,14	0,031	309
Hvalfj. (2)	7,1	9,0	24,3	49,4	3,3	0,51	9,9	186	0,58	0,51	7,13	67	6,42	1,89	3,04	0,05	0,018	125
	Aska	Cl sem NaCl	Þurrefni	Prótein	F	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Cd	Pb	Hg	Al
I (VM)	11,0	15,1	13,6	58,8	10,1	2,01	7,18	262	0,41	1,72	5,39	97,7	8,6	2,6	1,49	0,07	0,035	150
II	13,1	18,1	15,8	53,0	5,5	4,19	9,39	439	0,54	2,51	6,44	117,2	8,6	3,0	1,89	0,13	0,038	306
III	9,0	12,0	13,7	63,1	4,6	0,95	6,54	183	0,30	0,78	5,92	85,9	8,1	2,7	1,18	0,05	0,029	92
V	8,8	12,1	15,5	63,6	4,3	2,01	7,43	224	0,34	1,19	7,07	110,2	8,3	3,2	1,72	0,09	0,026	102
VI	14,2	11,4	14,1	52,9	12,0	13,6	26,95	1346	1,07	6,46	8,64	124,7	10,0	3,5	1,72	0,27	0,047	777
VII	10,9	12,5	14,5	63,2	5,7	2,60	7,84	274	0,42	1,94	6,26	100,1	8,9	2,8	1,36	0,07	0,029	153

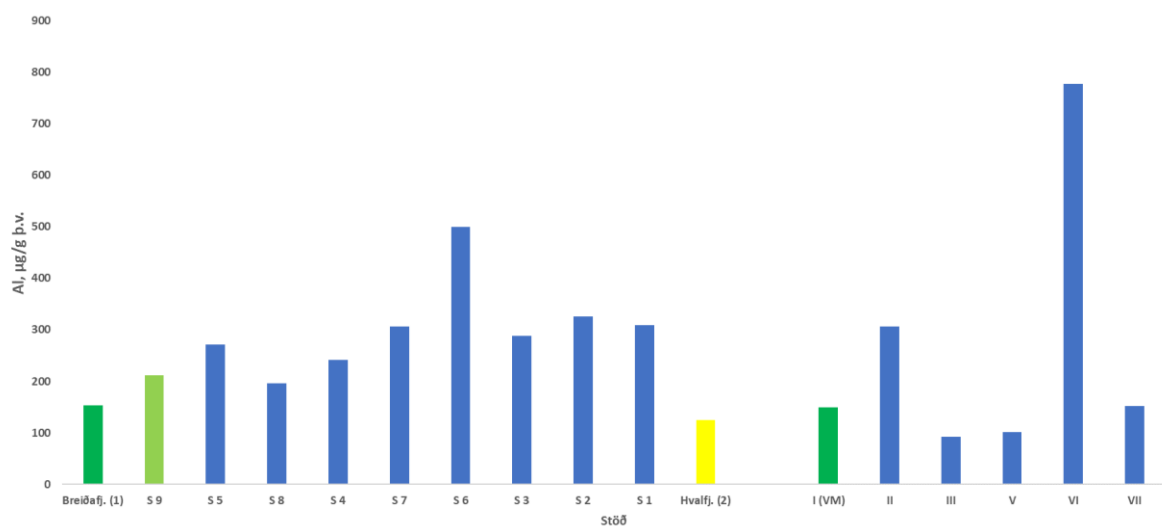
Al

Al var fyrst mælt í kræklingi við Straumsvík 2008. Mynd 18 sýnir styrk áls í búkræklingi og kræklingi úr fjöru á þurrvigtargrunni. Styrkur áls er hærri en Hvalfjarðarsýnið sem nemur 57-400 % í búrunum en lækkar um 18 % í Hvalfjarðarbankanum. Í fjöru er það aðeins stöð VI austur af álverinu sem sýnir háan styrk eða 520 % hærri en viðmiðunin. Agnir af botni geta innihaldið talsvert af áli, gjarnan bundið

steindum og lífrænu efni (Guðjón Atli Auðunsson o.fl. 2020a), og því getur mikill munur verið á kræklingi af ströndu og af baujum. Af þessari ástæðu getur mikill munur komið til af mismiklu botndýpi við kræklingalagnir en viðmiðunarsýnin í Kiðey og í Hvalfirði eru á talsvert meira dýpi en sýnin á viðmiðunarstöð 9 vestan Straumsvíkur og stöðvanna undan álverinu. Ekki er marktækur munur á milli viðmiðunar á stöð og safnsins framan við álverið.

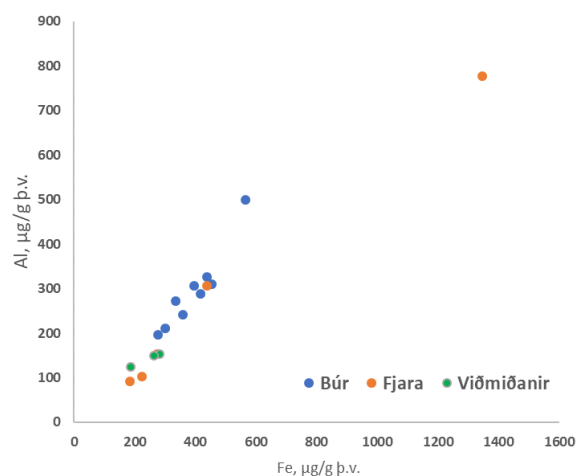
Járn kemur ríkulega fyrir í ómenguðu seti (Guðjón Atli Auðunsson o.fl. 2020a) og er fylgni áls við járn mjög mikil í kræklingnum, sjá mynd 19, og á það við öll sýnin í þessari rannsókn (búr, fjara og viðmiðanir). Þetta samband á mynd 19 gerir ljóst að enginn munur er á sýnunum er varðar ál og áhrif verksmiðjurekstrarins því óveruleg eða engin á styrk áls í kræklingnum því allur kræklingurinn sýnir sömu hegðun með járn.

Ekki eru til umhverfismörk fyrir ál í kræklingi né hámarksgildi fyrir ál í kræklingi eða öðrum matvælum.



Mynd 18 Ál í búr- og fjörkræklingi.

Figure 18 Aluminium in caged and beach mussels.



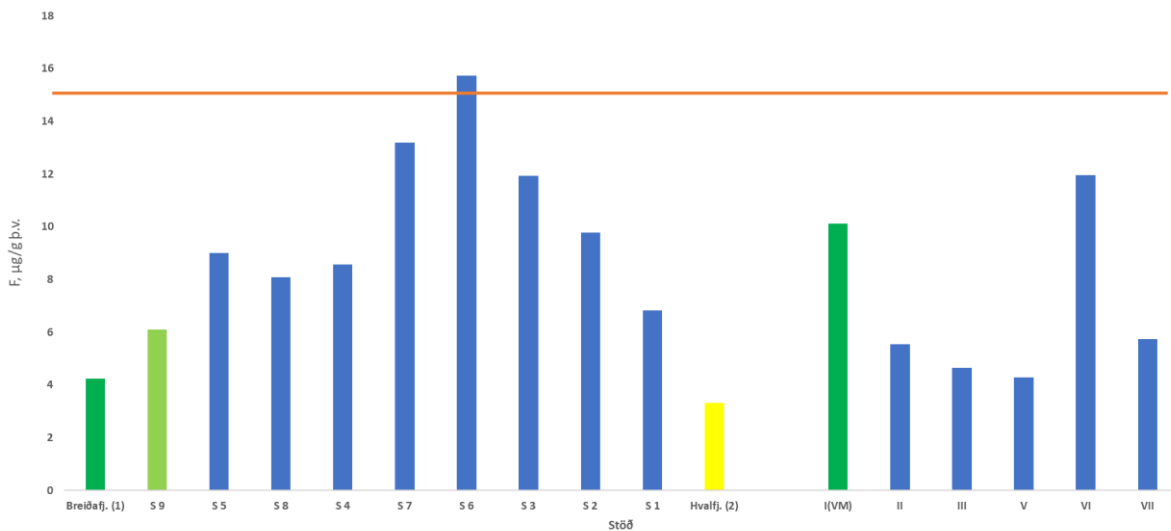
Mynd 19 Samband Al og Fe í viðmiðunarsýnum, búr- og fjörkræklingi.

Figure 19 Relationship between Al and Fe in mussels at references, cages, and beach.

F

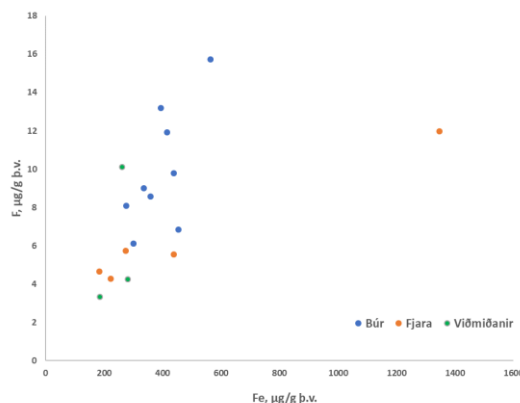
Flúor sýnir hærri styrk í búrsýnum undan álverinu en viðmiðunarsýnin (stöð 9 og Hvalfjörður) eða frá 83 % til 474 % hærri en kræklingur í Hvalfirði en fjörukræklingurinn sýnir aðeins hærri styrk á stöð VI eins og í tilviki áls, sjá mynd 20. Við skoðun á gögnum má sjá að fylgni við járn er talsverð, mynd 21, öll sýni (búr, fjara og viðmiðanir) utan sýnis VI úr fjöru með lægri styrk flúors en ætla mátti út frá styrk járns. Eins og í tilviki áls geta agnir á botni (og í sviflausn) innihaldið talsvert af flúor, gjarnan bundið kalkríku seti eins og því undan álverinu, og járn kemur ríkulega fyrir í ómengduðu seti (Guðjón Atli Auðunsson o.fl. 2020a), agnir sem kræklingurinn síar. Þetta samband á mynd 21 gerir ljóst að enginn munur er á sýnunum er varðar flúor (utan stöðvar VI þar sem hann er í raun lágur) og áhrif verksmiðjurekstrarins því óveruleg eða engin á styrk flúors í kræklingnum því allur kræklingurinn sýnir sömu hegðun með setbornu járni. Öll sýnin undan álverinu 2018 eru jöfn (stöð 6) eða undir lægstu umhverfismörkum í Noregi (Molvær *et al.* 1997), 15 µg/g þ.v. (> bakgrunnsgildi).

Við skoðun á gögnum fyrri ára sést sama samband járns og flúors og er fundið hér 2018, t.d. er samband flúors og járns fyrir 2018 það sama og 2003 þegar 31 sýni var mælt. M.ö.o. þá er ekki að sjá neina breytingu með tíma frá 2003 þegar flúor var fyrst mældur í mjúkvöðva kræklingins.



Mynd 20 Flúor í búr- og fjörukræklingi. Lægstu umhverfismörk Norðmanna, 15 µg/g þ.v., eru sýnd á myndinni (lárétt lína).

Figure 20 Fluorine in caged and beach mussels. Lowest quality guideline level in Norway, 15 µg/g d.w., shown (horizontal bar).



Mynd 21 Samband F og Fe í viðmiðunarsýnum, búr- og fjörukræklingi.

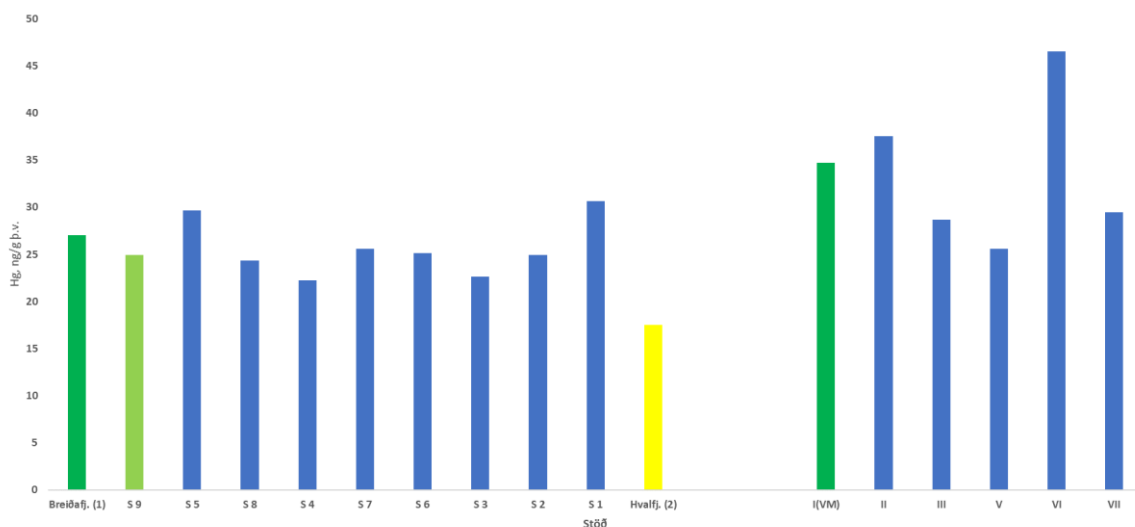
Figure 21 Relationship between F and Fe in mussels at references, cages, and beach.

Hg

Myndir 22a og 22b sýna styrk kvikasilfurs í kræklingnum og má ljóst vera að styrkurinn er mjög lágur eins og fyrri ár og á það við um krækling almennt við Ísland eða meira en fjórfalt lægri en lægstu umhverfisviðmið í Noregi, 200 ng/g þ.v., > bakgrunnsgildi í Noregi. Þetta gildi í Noregi er um tvöfalt gildi, sem OSPAR miðar við sem bakgrunnsmatgildi (BAC) fyrir krækling eða 95 ng/g þ.v. (Robinson *et al.* 2017). Þetta BAC-gildi OSPAR er svo aftur mjög áþekkt EQS (environmental quality standard) í Evrópusambandinu fyrir kvikasilfur í lífverum almennt eða 20 ng/g v.v.² (100 ng/g þ.v. ef miðað er við 20 % þurrefni). EQS er hugsað sem náttúrulegt bakgrunnsgildi.

Ekki er marktækur munur á milli búrkræklings á viðmiðunarstöð 9 og safnsins undan kerbrotagryfjunum (8 sýni). Lækkun styrks í Hvalfjarðarbúri kemur líklegast til af þynningu vegna meiri vaxtar þar en undan álverinu, sjá mynd 12.

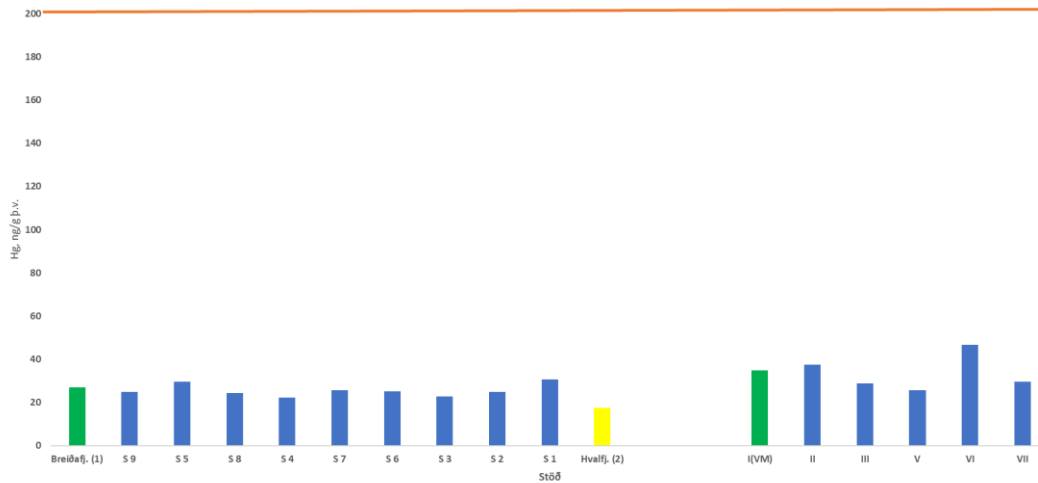
Marktækt hærri styrkur fæst fyrir fjörukrækling en búrkrækling nú sem fyrri ár (ANOVA fyrir einstök ár og fyrir öll gögnin). Dreifing kvikasilfurs er log-normal (Saphiro-Wilk og d'Agostino-Pearson) og eru próf því gerð á log-vörpuðum gögnum. Einnig er munur á milli ára og er hann meiri fyrir búrkrækling (F=59; n=38; 5 ár) en fjörukrækling (F=9,3; n=33; 5 ár), sjá myndir 23a og 23b. Ekki er um marktæka breytingu með tíma að ræða.



Mynd 22a Kvikasilfur í búr- og fjörukræklingi.

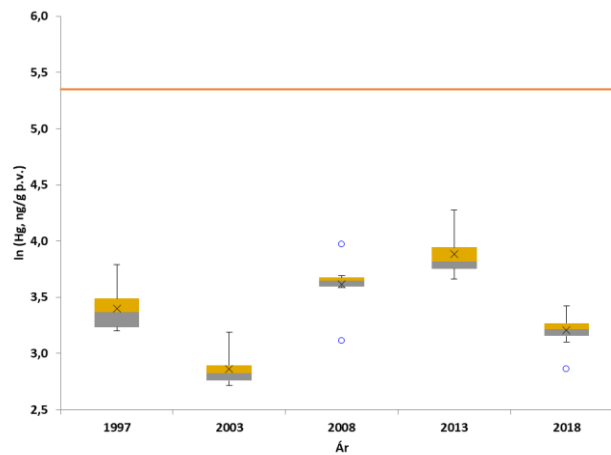
Figure 22a Mercury in caged and beach mussels.

² DIRECTIVE 2013/39/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 12 August 2013 amending Directives 2000/60/EC and 2008/105/EC as regards priority substances in the field of water policy



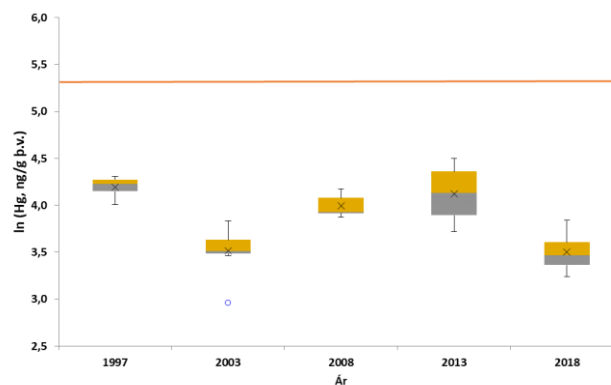
Mynd 22b Kvikasilfur í búr- og fjörukræklingi. Lægstu umhverfismörk Norðmanna, 200 ng/g b.v., eru sýnd á myndinni (lárétt lína).

Figure 22b Mercury in caged and beach mussels. Lowest quality guideline level in Norway, 200 ng/g d.w., is shown (horizontal bar).



Mynd 23a Kvikasilfur í búrkræklingi. Lægstu umhverfismörk Norðmanna, $\ln(200 \text{ ng/g b.v.})$, eru sýnd á myndinni (lárétt lína).

Figure 23a Mercury in caged mussels. Lowest quality guideline level in Norway, $\ln(200 \text{ ng/g d.w.})$, is shown (horizontal bar).



Mynd 23b Kvikasilfur í fjörukræklingi. Lægstu umhverfismörk Norðmanna, $\ln(200 \text{ ng/g b.v.})$, eru sýnd á myndinni (lárétt lína).

Figure 23b Mercury in beach mussels. Lowest quality guideline level in Norway, $\ln(200 \text{ ng/g d.w.})$, is shown (horizontal bar).

Styrkur kvikasilfurs í kræklingnum er ávallt mjög langt undir hámarksgildi fyrir samlokur eins og krækling til manneldis, 500 ng/g votvigt³ eða 2500 ng/g þ.v. (m.v. 20 % þurrefni í mjúkvæf kræklinga).

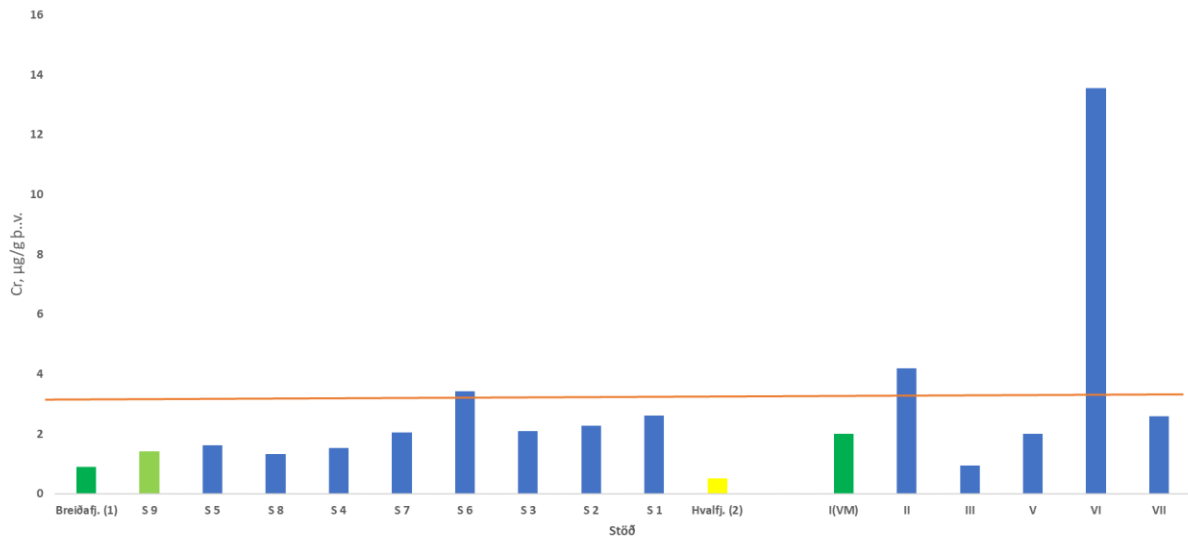
Cr

Á mynd 24 má sjá styrk króms í sýnunum og að eitt búrsýni (stöð 6) og tvö fjörusýni (II og einkum VI) er jöfn eða talsvert hærri en lægstu viðmiðunarmörk í Noregi, 3 µg/g þ.v. (Molvær *et al.* 1997). Einnig sést að búrkræklingurinn undan álverinu er 30 til 670 % hærri en viðmiðun í Hvalfirði. Hins vegar er ekki marktækur munur á viðmiðunarsýni búrkræklinga á stöð 9 og safninu (8 sýni) framan við álverið (gögn normaldreifð; ANOVA p=0,37). Lækkun styrks í Hvalfjarðarbúri kemur líklegast til af þynningu vegna meiri vaxtar þar en undan álverinu, sjá mynd 12.

Eins og í tilviki áls og flúors er fylgni króms við járn mikil, sjá mynd 25. Dreifing króms er log-normal (Saphiro-Wilk og d'Agostino-Pearson) og myndin því með gögnin log-vörpuð. Hins vegar er munur á sambandi króms í fjörukræklingi annars vegar og búrkræklingi hins vegar. Eins og í tilviki áls og flúors geta agnir á botni innihaldið talsvert af króm og járn kemur ríkulega fyrir í ómenguðu seti og er setið undan álverinu ekki frábrugðið seti af ósnortnum svæðum í umhverfis Ísland er varðar járn, - króm í íslensku seti almennt er hins vegar nokkuð hærra en í seti víða í NA-Atlantshafi (Guðjón Atli Auðunsson o.fl. 2020a). Munurinn á búrkræklingi og kræklingi af fjöru er m.a. sá að fjörukræklingurinn inniheldur meira af setögnum í meltingarvegi sínum en búrkræklingurinn og þess vegna hefur fjörukræklingur tilhneigingu til að vera hærri í styrk króms en búrkræklingur, bæði 2018 og fyrri ár (1997, 2003, 2008 og 2013). Þetta samband á mynd 25 er þó breytilegt á milli ára, - 2018 áþekkt því sem sést hefur fyrri ár (járn þó ekki mælt 1997) en styrkurinn 2018 gefur hærri en samsíða línu gegnum punktana en línur fyrri ára. 2008 sýndi hins vegar lægri styrk en öll önnur ár (en u.þ.b. samsíða línu), - 2003 og 2013 voru með sama samband króms og járns. Króm á því líklegast rætur að rekja til setsins en venslin eru flóknari en fyrir flúor og ál en í þeim tilvikum var ávallt um sama samband að ræða öll árin bæði fyrir búr- og fjörukrækling. Ekki er því hægt að útiloka áhrif verksmiðjurekstrarins á styrk króms í kræklingnum en þau eru lítil samanborið við náttúrulegan breytileika. Þess er að geta að vegna meira botndýpis á viðmiðun búrkræklinga í Hvalfirði (21 m í stað 8 m undan álverinu) og í Kiðey á Breiðafirði (20-22 m) er hann fjær setinu en kræklingurinn undan álverinu, sem ber að hafa í huga við skoðun á mynd 24.

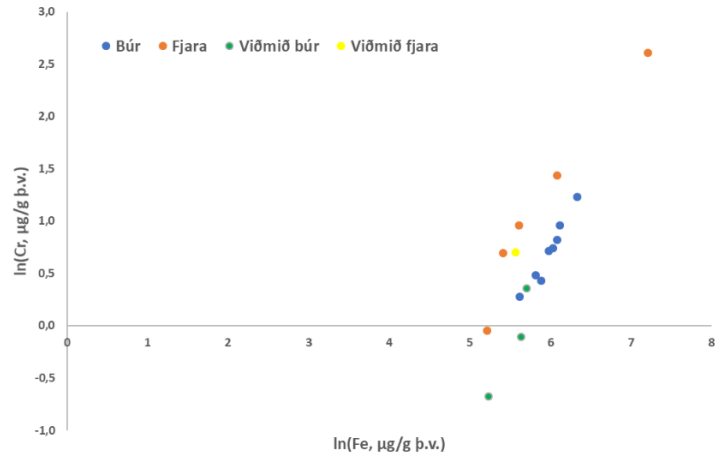
Myndir 26a og 26b sýna niðurstöður fyrir króm öll árin. Fyrir búrkrækling, mynd 26a, er ekki unnt að sjá marktæka tilhneigingu til langtímabreytingar og ekki er marktækur munur á árunum 2003, 2008 og 2013. Fyrir fjörukrækling, mynd 26b, er ekki heldur að sjá marktæka breytingu yfir tímabilið frá 1997 en ekki er marktækur munur á styrk króms árin 2008, 2013 og 2018.

³ Commission Regulation (EC) No 1881/2006 of 19 December 2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs.



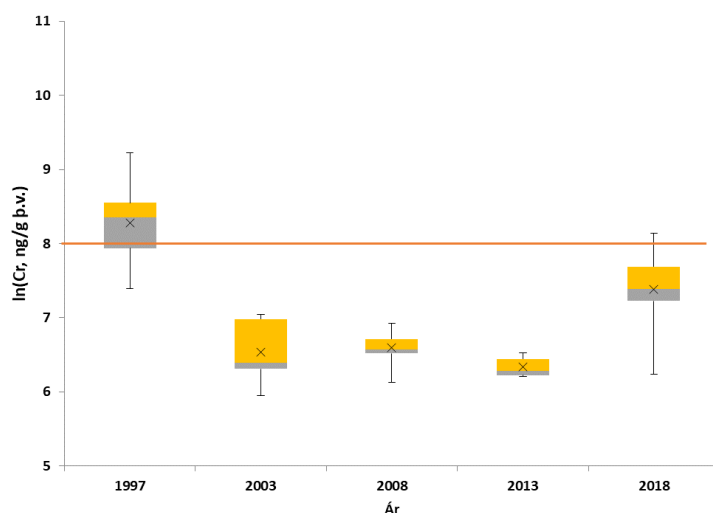
Mynd 24 Króm í búr- og fjörukræklingi. Lægstu umhverfismörk Norðmanna, 3 $\mu\text{g/g d.w.}$, eru sýnd á myndinni (lárétt lína).

Figure 24 Chromium in caged and beach mussels. Lowest quality guideline level in Norway, 3 $\mu\text{g/g d.w.}$, is shown (horizontal bar).



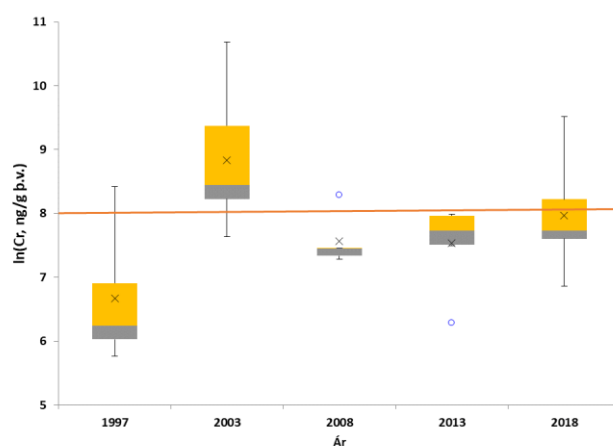
Mynd 25 Samband Cr og Fe í viðmiðunarsýnum, búr- og fjörukræklingi.

Figure 25 Relationship between Cr and Fe in mussels at references, cages, and beach.



Mynd 26a Króm í búkræklingi. Lægstu umhverfismörk Norðmanna, $\ln(3000 \text{ ng/g p.v.})$, eru sýnd á myndinni (lárétt lína).

Figure 26a Chromium in caged mussels. Lowest quality guideline level in Norway, $\ln(3000 \text{ ng/g d.w.})$, is shown (horizontal bar).



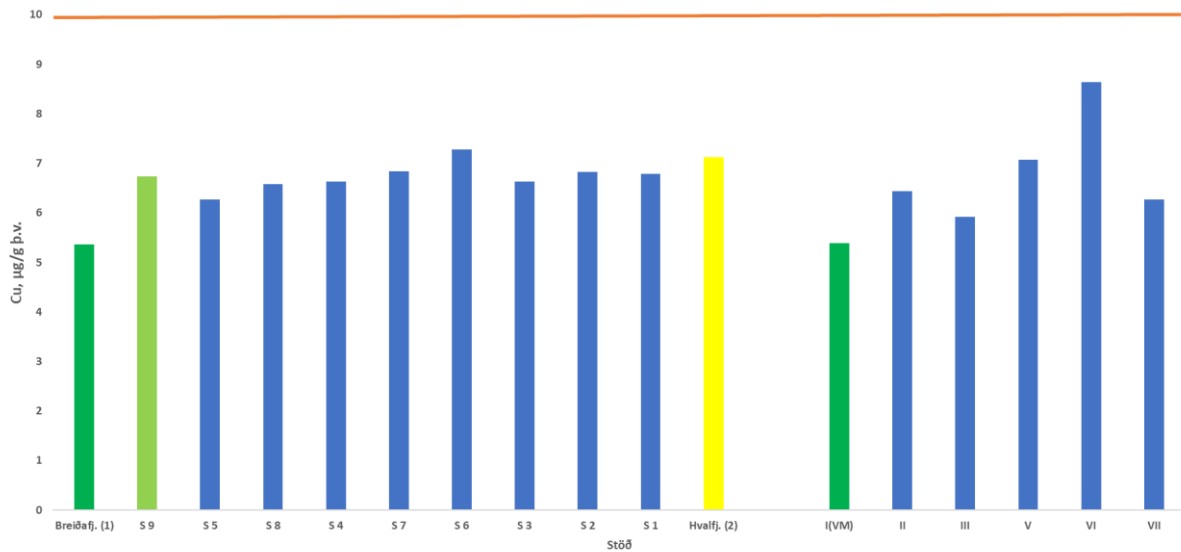
Mynd 26b Króm í fjörukræklingi. Lægstu umhverfismörk Norðmanna, $\ln(3000 \text{ ng/g p.v.})$, eru sýnd á myndinni (lárétt lína).

Figure 26b Chromium in beach mussels. Lowest quality guideline level in Norway, $\ln(3000 \text{ ng/g d.w.})$, is shown (horizontal bar).

Cu

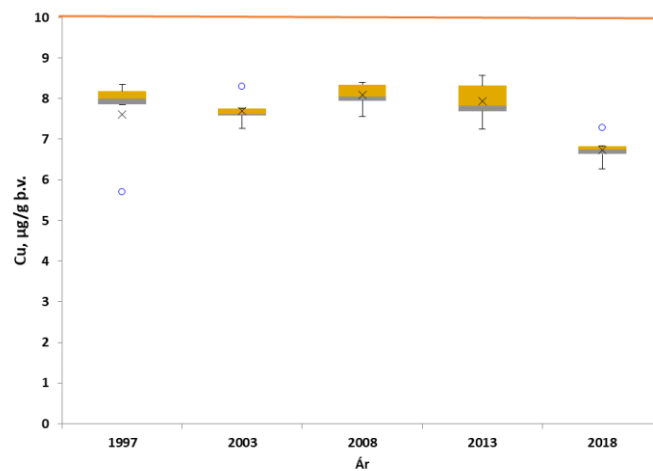
Mynd 27 sýnir styrk kopars í kræklingasýnunum og sýnir að styrkur kopars er ávallt undir lægstu umhverfisviðmiðun í Noregi, $10 \mu\text{g/g p.v.}$ (> bakgrunnsstyrkur) (Molvær *et al.* 1997). Kræklingur getur stýrt nokkuð styrk kopars í vefjum sínum og því er þang jafnan valið til mats á styrk kopar verði því við komið, sjá skýrslur 1997, 2003 og 2008 (Guðjón Atli Auðunsson o.fl. 1998, 2005 og 2012). Koparstyrkur er normal-dreifður í bæði búrum og af fjöru (að útlögum undanskildum). Myndir 28a og 28b sýna samanburð á milli ára. Ekki er marktækur munur á milli árunna 1997, 2003, 2008 og 2013 í búkræklingi en 2018 er marktækt lægra, sjá mynd 28a. Þessi lækkun í búkræklingi 2018 er líklega ekki tilviljun því fjörukræklingur 2018 er einnig lægri en fyrri ár, einkum lægri en fyrir árin 2003 og 2008, mynd 28b. Ekki er marktækur munur milli 2003 og 2008 í fjörukræklingi né er marktækur munur á milli 1997, 2013

og 2018. Ekki er loku fyrir það skotið að áhrifa álversins gæti á fjörukækling sum ár þó áhrifin séu mjög lítil 2018 miðað við einkum árin 2003 og 2008.



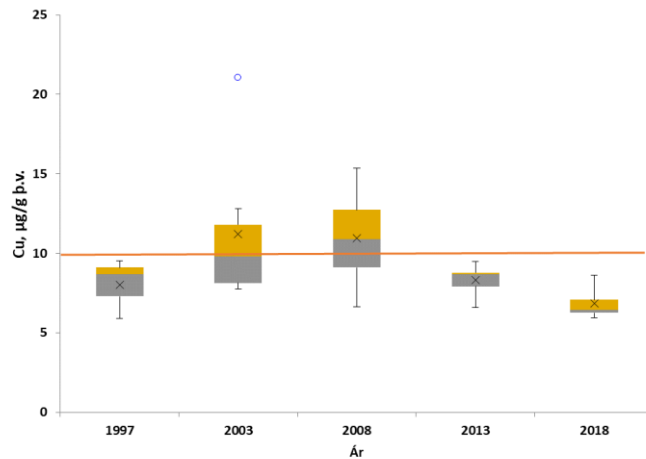
Mynd 27 Kopar í búr- og fjörukæklingi. Lægstu umhverfismörk Norðmanna, 10 µg/g p.v., eru sýnd á myndinni (lárétt lína).

Figure 27 Copper in caged and beach mussels. Lowest quality guideline level in Norway, 10 µg/g d.w., is shown (horizontal bar).



Mynd 28a Kopar í búræklingi. Lægstu umhverfismörk Norðmanna, 10 µg/g p.v., eru sýnd á myndinni (lárétt lína).

Figure 28a Copper in caged mussels. Lowest quality guideline level in Norway, 10 µg/g d.w., is shown (horizontal bar).



Mynd 28b Kopar í fjörukræklingi. Lægstu umhverfismörk Norðmanna, 10 µg/g p.v., eru sýnd á myndinni (lárétt lína).

Figure 28b Copper in beach mussels. Lowest quality guideline level in Norway, 10 µg/g d.w., is shown (horizontal bar).

Cd

Mynd 29 sýnir styrk kadmíns í fjöru- og búrkræklingi og má sjá að styrkurinn er í báðum tilvikum jafn (fjara) eða lægri (búr) en í viðmiðunarsýnum. Allur kræklingurinn fyrir framan álverið er undir lægsta umhverfisviðmiði í Noregi, 2 µg/g p.v. (> bakgrunnsstyrkur) (Molvær *et al.* 1997).

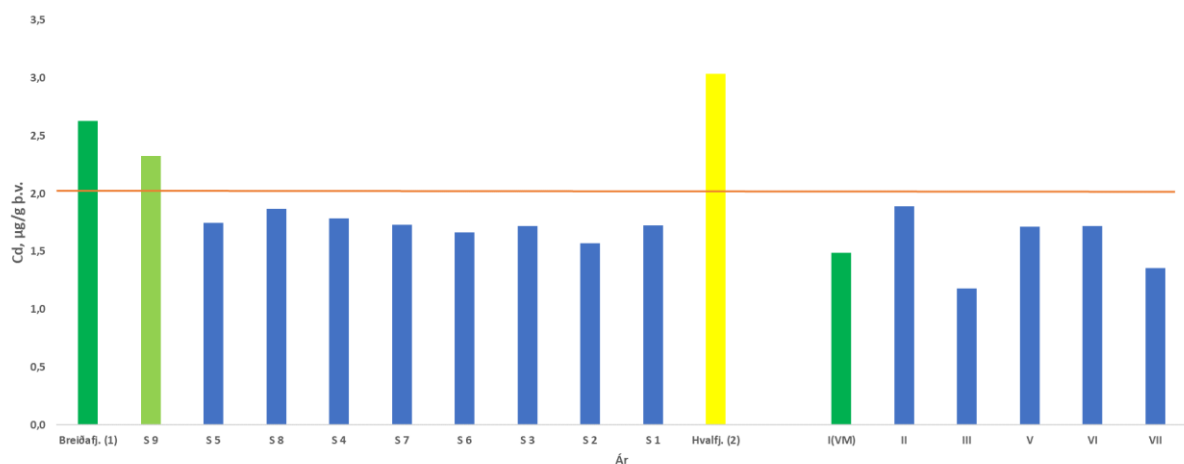
Niðurstöður fyrir kadmín eru normal-dreifðar (að útlögum undanskildum).

Myndir 30a og 30b sýna niðurstöður fyrri ára. Fyrir búrkrækling undan álverinu má sjá allmikinn mun á milli ára en 1997, 2008, 2013 og 2018 eru niðurstöður undir lægsta umhverfisviðmiði í Noregi utan eins búrs 1997. Árið 2003 voru öll búrsýnin yfir þessum mörkum í Noregi. Ástæða þessa munar á milli ára kemur m.a. til vegna ferskvatnsáhrifa á svæðinu sem geta verið umtalsverð í Straumsvíkina sjálfa og undan álverinu (Guðjón Atli Auðunsson o.fl. 2020) og liggur ferskvatnslag ofan á sjónum í um 1-2 m lagi (Jón Ólafsson 1996). Þessi áhrif geta verið mjög breytileg á milli ára, einkum í búrkræklingi. Aðrir áhrifaþættir gætu einnig verið að verki. Hins vegar er þekkt að upptaka kadmíns í krækling vex með lækkaðri seltu. Nú ber þó svo við að styrkurinn í búrkræklingi er talsvert lægri undan álverinu en á viðmiðunarstöðvunum (stöð 9, Kiðey í upphafi og Hvalfirði í lokin). Fjörukræklingur, líklegast undir meiri áhrifum ferskvatns en búrkræklingur, mælist jafn viðmiðun við Lónakot og jafnframt lægri en öll fyrri ár (ANOVA), mynd 30b. Viðmiðun fyrir fjörukrækling 2018 við Lónakot er hins vegar við áþekkari aðstæður og fjörukræklingur undan álverinu samanborið við fyrri ár, þegar viðmiðun var sótt í Hvalfjörð. Mynd 30c sýnir fyrir öll árin styrk kadmíns í búr- og fjörukræklingi undan álverinu sem hlutfall af styrk banka í Hvalfirði í lokin. Á mynd 30c sést gjörlla að fjörukræklingur hefur jafnan verið hærri en viðmiðun (hlutfall >1) utan 2018 þegar viðmiðun er við Lónakot í stað Hvalfjarðar (hlutfall u.þ.b. 1). Búrkræklingur sveiflast hins vegar frá því að vera lægri (2003 og 2018), jafn (1997) og hærri (2008 og 2013) en á viðmiðunarstöðvum. Mynd 30d sýnir hins vegar að fylgni er talsverð milli búrkrækling og fjörukrækling og reynist fjörukræklingur vera nánast tvöfaldur styrkur kadmíns í búrum. Ástæða þessa háa hlutfalls á milli fjöru- og búrkrækling kemur líklegast einnig til af lægri holdafarsstuðli fjörukræklingins. Mynd 30d sýnir vel að 2018 hefur hlutfallslega lægstan styrk kadmíns. Almennt er kræklingur hlutfallslega hár í kadmíni í kringum Ísland af náttúrulegum ástæðum

og fellur fjörukræklingurinn undan álverinu innan marka þess sem finna má í íslenskri náttúru. Nýleg rannsókn sýndi að kræklingur við Hvassahraun og Bjarnarhöfn var tvöfalt hærri en víða við NA-Atlantshaf (Robinson *et al.* 2017). Er þetta ágætt dæmi um það að umhverfismörk á einum stað þurfa ekki að vera rétt viðmiðun á öðrum.

Styrkur kadmíns er ávallt vel undir mörkum sem sett hafa verið á samlokur og þ.m.t. krækling til manndis eða 1,0 µg/g votvigt⁴ samsvarandi til 5,0 µg/g þ.v. (m.v. 20 % þurrefni). OSPAR er með s.k. BAC-gildi á Cd í kræklingi og er það 0,7 µg þ.v. (Robinson *et al.* 2017), umtalsvert undir þeim gildum, sem mælast hér. BAC-gildi (background assessment concentration) er fengið með því að leggja breytileika í niðurstöðum við niðurstöður mælinga á bakgrunnsstyrk.

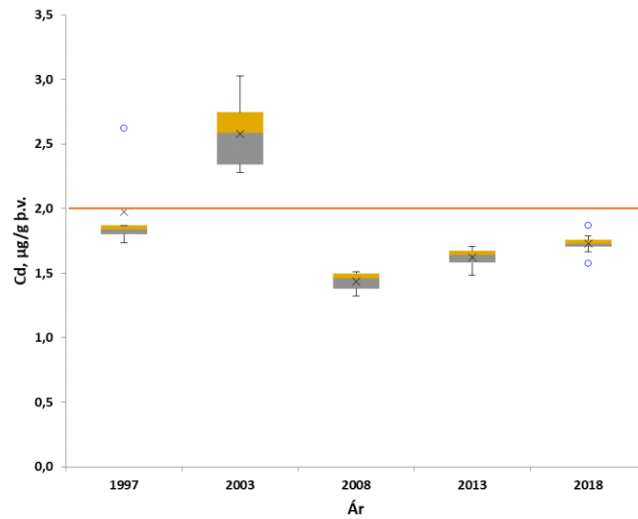
Af öllum niðurstöðunum má því draga þá ályktun að ekki er um aukinn styrk kadmíns að ræða í búrkræklingi og fjörukræklingi sem rekja má til verksmiðjurekstrarins.



Mynd 29 Kadmín í búr- og fjörukræklingi. Lægstu umhverfismörk Norðmanna, 2 µg/g þ.v., eru sýnd á myndinni (lárétt lína).

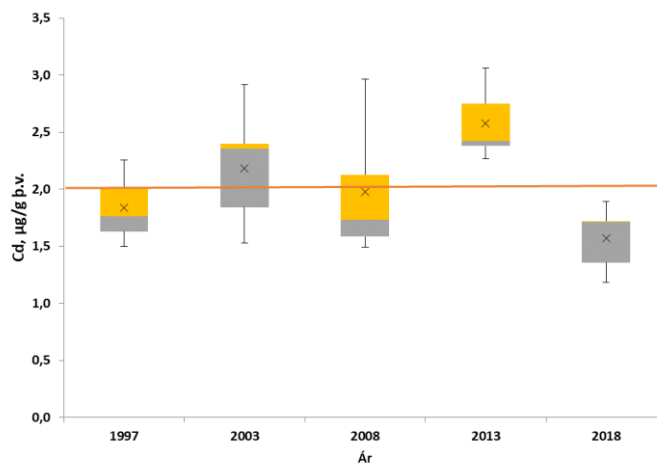
Figure 29 Cadmium in caged and beach mussels. Lowest quality guideline level in Norway, 2 µg/g d.w., is shown (horizontal bar).

⁴ Commission Regulation (EC) No 1881/2006 of 19 December 2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. Endurskoðað 2014 varðandi Cd en án breytinga fyrir samlokur eins og krækling: Commission Regulation No 488/2014 of 12 May 2014 amending Regulation No 1881/2006 as regards maximum levels of cadmium in foodstuffs.



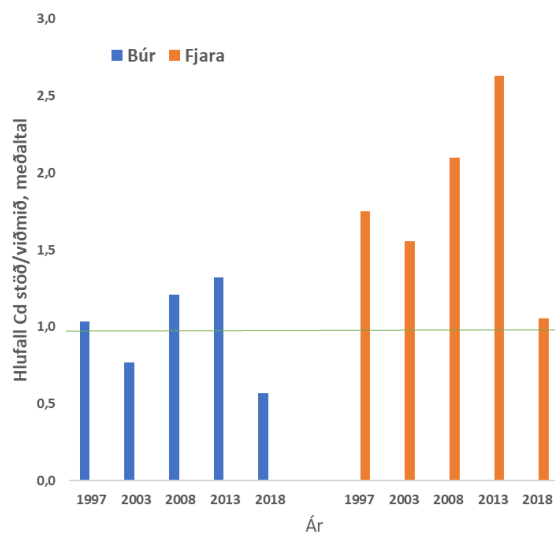
Mynd 30a Kadmín í búkræklingi. Lægstu umhverfismörk Norðmanna, 2 µg/g þ.v., eru sýnd á myndinni (lárétt lína).

Figure 30a Cadmium in caged mussels. Lowest quality guideline level in Norway, 2 µg/g d.w., is shown (horizontal bar).



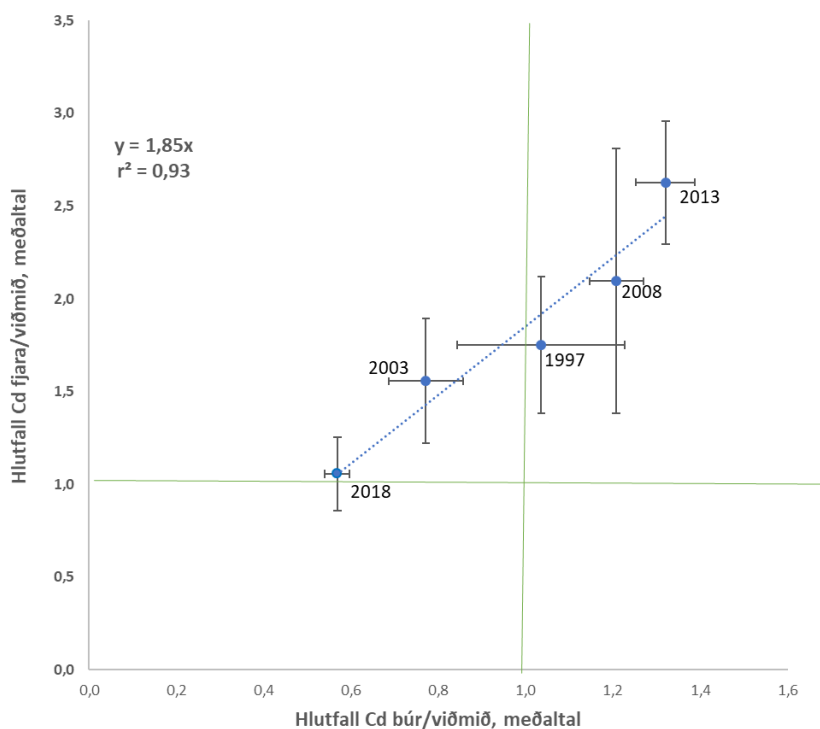
Mynd 30b Kadmín í fjörukæklingi. Lægstu umhverfismörk Norðmanna, 2 µg/g þ.v., eru sýnd á myndinni (lárétt lína).

Figure 30b Cadmium in beach mussels. Lowest quality guideline level in Norway, 2 µg/g d.w., is shown (horizontal bar).



Mynd 30c Kadmín í fjöru- og búrkræklingi sem hlutfall af styrk á viðmiðun hvert ár.

Figure 30c Cadmium in beach and caged mussels as a ratio of its level at the reference site each year.

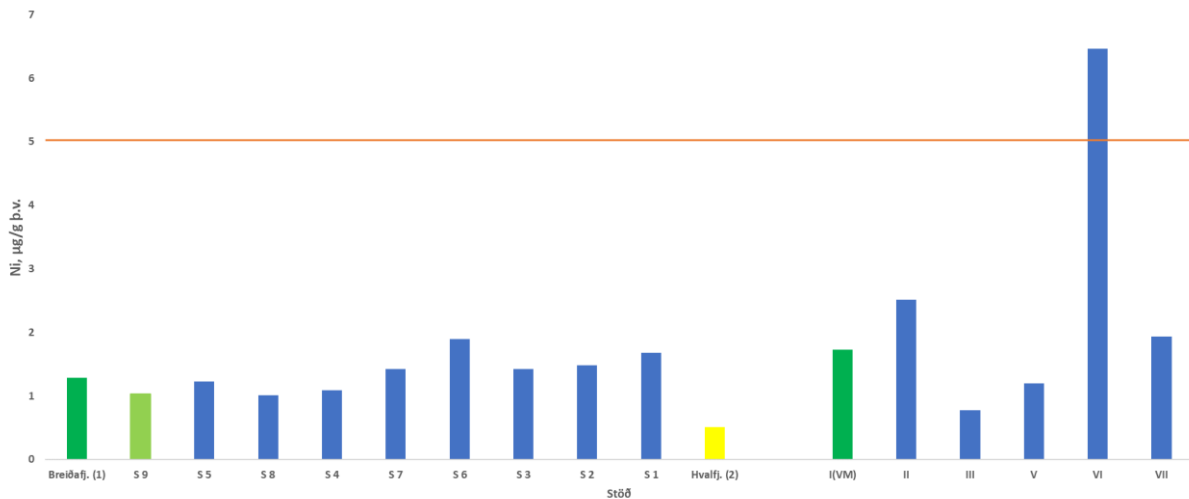


Mynd 30d Hlutfall Cd stöðva og Cd í viðmiðun öll ár: hlutfall fjara sem fall af hlutfalli í búrum (með staðalfráviki hvert ár)

Figure 30c Ratio of Cd at stations and Cd at reference sites all years: ratios for beach vs. ratios for cages (with standard deviation each year).

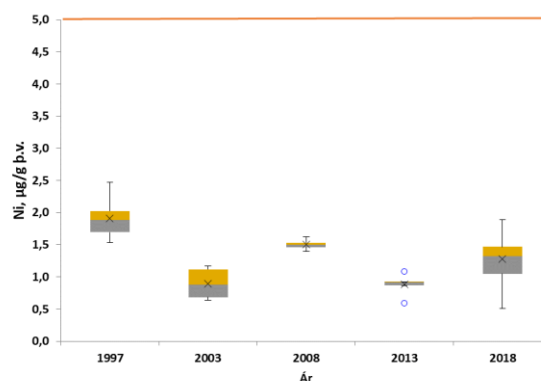
Ni

Mynd 31 sýnir styrk nikkels í bæði búr- og fjörukraeklingi og má sjá að stöðvar 7, 6, 3, 2 og 1 eru hærri en viðmiðun í upphafi og að búrsýnin eru 200-375 % hærri en viðmiðun í lokin (Hvalfirði) en 97-183 % af viðmiðun á stöð 9. Stöð VI er há í nikkel og eina stöðin sem fer yfir lægsta umhverfisviðmið í Noregi, 5 µg/g þ.v. en undir þeim styrk er um bakgrunnsstyrk að ræða (Molvær *et al.* 1997). Stöð VI hefur einnig reynst há í Cu, Cr, F, Al og Fe. Þetta og sú staðreynd að nikkel hefur mikla fylgni með járnþendur bendir til að kraeklingur á þessari stöð sé undir áhrifum setagna, sem kraeklingurinn síar en setagnir eru ríkar af öllum þessum snefilefnum (Guðjón Atli Auðunsson o.fl. 2020a). Myndir 32a og 32b sýna samanburð við fyrri ár. Búrkraeklingurinn hefur alltaf verið lágur í samanburði við lægstu umhverfisviðmið í Noregi og er ekki unnt að greina breytingu með tíma, mynd 32a. Hins vegar má sjá tilhneigingu til lækkunar með tíma í fjörukraeklingi, mynd 32b, miðgildin lækka marktækt. Sjá má háa niðurstöðu 2013 og var það stöð V. Eins og í tilviki kopars og króms er ekki hægt að útiloka áhrif álversins á styrk nikkels í fjörukraeklingi.



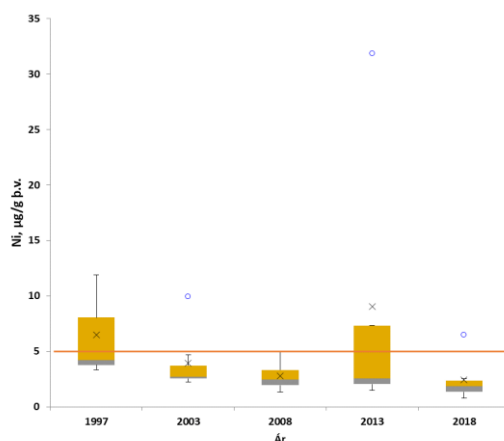
Mynd 31 Nikkel í búr- og fjörukraeklingi. Lægstu umhverfismörk Norðmanna, 5 µg/g þ.v., eru sýnd á myndinni (lárétt lína).

Figure 31 Nickel in caged and beach mussels. Lowest quality guideline level in Norway, 5 µg/g d.w., is shown (horizontal bar).



Mynd 32a Nikkel í búrkraeklingi. Lægstu umhverfismörk Norðmanna, 2 µg/g þ.v., eru sýnd á myndinni (lárétt lína).

Figure 32a Nickel in caged mussels. Lowest quality guideline level in Norway, 2 µg/g d.w., is shown (horizontal bar).

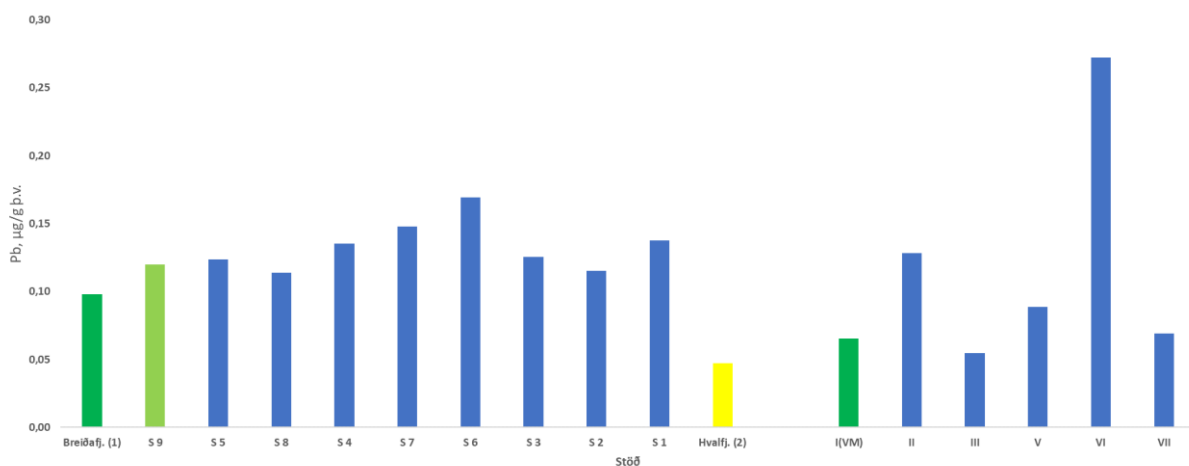


Mynd 32b Nikkel í fjörukræklingi. Lægstu umhverfismörk Norðmanna, 2 µg/g þ.v., eru sýnd á myndinni (lárétt lína).

Figure 32b Nickel in beach mussels. Lowest quality guideline level in Norway, 2 µg/g d.w., is shown (horizontal bar).

Pb

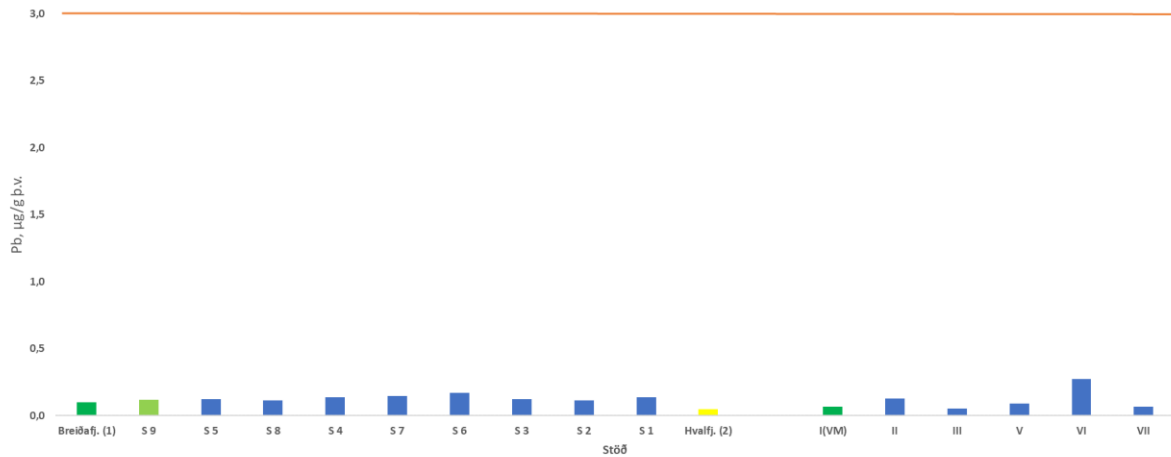
Mynd 33a sýnir styrk blýs í búr- og fjörukræklingi og má sjá að styrkur blýs hefur hækkað um 16 til 73 % í búrunum og er 240 til 360 % hærrí búrunum en banki í lokin, 95 til 140 % af styrk á viðmiðunarstöð 9. Fjörukræklingur er 80 til 415 % af styrknum á viðmiðunarstöð. Um mjög lágan styrk er þó að ræða og má sjá af mynd 33b að styrkurinn er meira en tífalt lægri en lægsta umhverfisviðmið í Noregi, 3,0 µg/g þ.v. (> bakgrunnsstyrkur) (Molvær et al. 1997). Hins vegar eru norsku mörkin gömul og hefur styrkur blýs í umhverfinu lækkað verulega á síðustu 20-30 árum vegna banns á blýi í bensíni. OSPAR er t.d. með s.k. BAC-gildi fyrir Pb (frá 2009) og er það meir en helmingi lægra en lægsta gildið í Noregi eða 1,3 µg/g þ.v. (Robinson et al. 2017). Hámarksgildi eru fyrir blý í matvælum og fyrir samlokur eins og krækling eru þau 1,5 µg/g votvigt⁵ samsvarandi 7,5 µg/g þurrvigt (m.v. 20 % þurrefni í kræklingi), margfaldur styrkurinn í öllum sýnum undan álverinu. Forsendur umhverfismarka og hámarksgilda í matvælum er auðvitað gjörólíkar, umhverfisviðmið jafnan talsvert lægri.



Mynd 33a Blý í búr- og fjörukræklingi.

Figure 33a Lead in caged and beach mussels.

⁵ COMMISSION REGULATION (EU) 2015/1005 of 25 June 2015 amending Regulation (EC) No 1881/2006 as regards maximum levels of lead in certain foodstuffs.

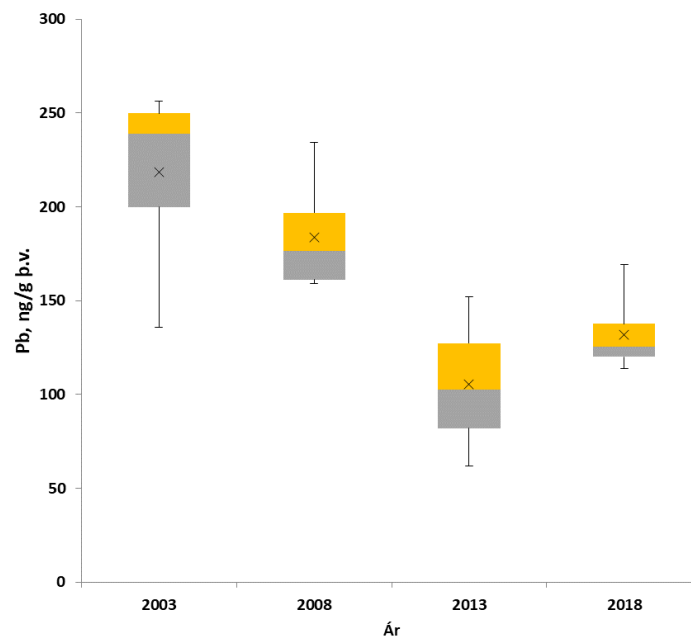


Mynd 33b Blý í búr- og fjörukræklingi. Lægstu umhverfismörk Norðmanna, 3 µg/g p.v., eru sýnd á myndinni (lárétt lína).

Figure 33b Lead in caged and beach mussels. Lowest quality guideline level in Norway, 3 µg/g d.w., is shown (horizontal bar).

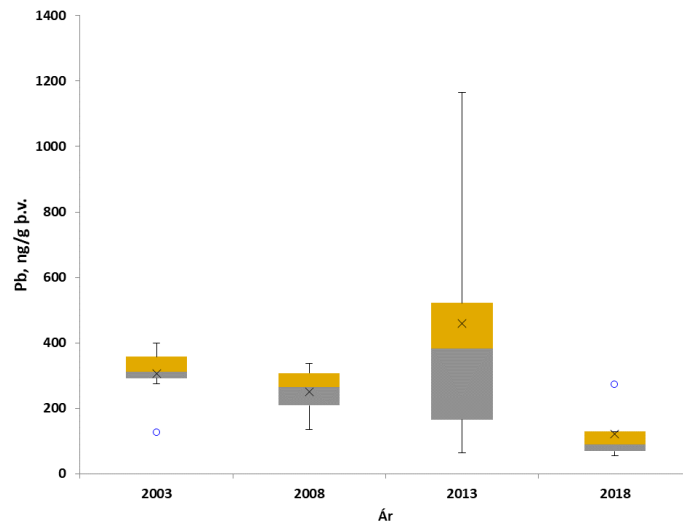
Merkja má þessa lækun þegar skoðuð eru gögn fyrri ára og sýnir mynd 34a það ljóslega en 1997 voru öll sýnin undir greiningarmörkum og því ekki sýnd á mynd 34a en greiningarmörkin voru um 100 ng/g p.v. eða áþekk styrknum 2013. Við gerð myndarinnar var sýnum undir greiningarmörkum sleppt en um var að ræða þrjár niðurstöður af sex 2013. Mynd 34b sýnir breytinguna í fjörukræklingi en eitt hátt gildi mældist 2013 (stöð V). Fjörukræklingssýnin 1997 voru öll undir greiningarmörkum eða á bilinu 150-200 ng/g p.v. eða áþekk styrknum 2008.

Miðað við viðmiðunarsýni má því greina áhrif af blýi á svæðinu en styrkurinn er mjög lágur og fer lækkandi.



Mynd 34a Blý í búrkræklingi.

Figure 34a Lead in caged mussels.

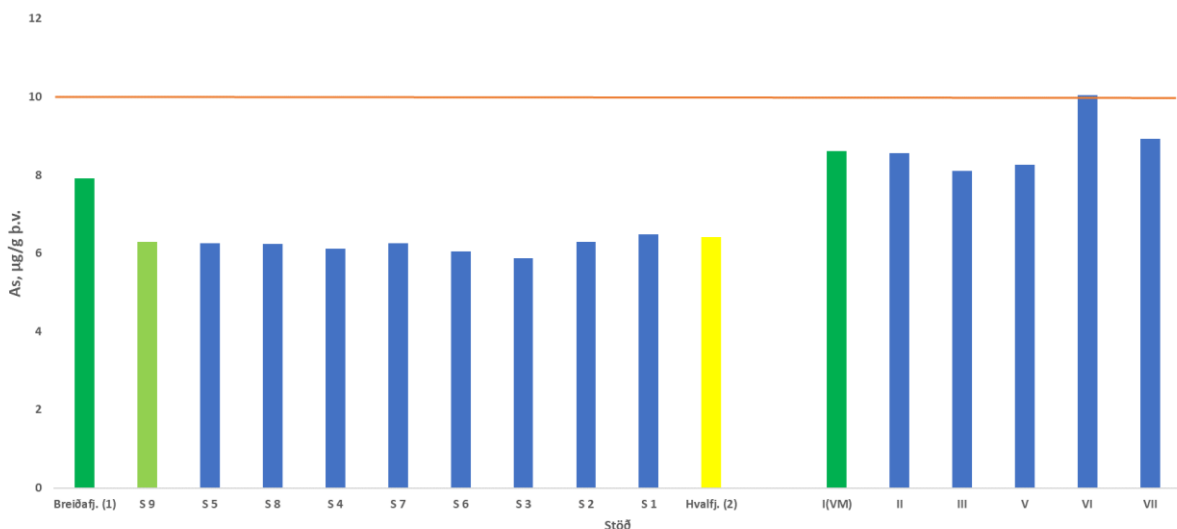


Mynd 34b Blý í fjörukræklingi.

Figure 34b Lead in beach mussels.

As

Arsen var fyrst mælt 2008 en ekki rannsóknunum 1997 og 2003. Mynd 35 sýnir styrk heildararsens í búr- og fjörukræklingi ásamt lægstu umhverfismörkum í Noregi, 10 µg/g þ.v. (> bakgrunnsgildi) (Molvær *et al.* 1997). Styrkur As í búrum er um 60 % af lægstu umhverfismörkunum í Noregi en 80-100 % í tilviki fjörukræklinga. Styrkurinn í búrunum er jafn styrk á viðmiðunarstöð 9 og í Hvalfirði í lokin en greina má hærri styrk í fjörukræklingi en búrkræklingi og nokkra hækkun á stöð VI í fjörukræklingi miðað við viðmiðunarstöð (eins og fyrir Ni, Cu, Cr, Hg, F, Al og Fe).



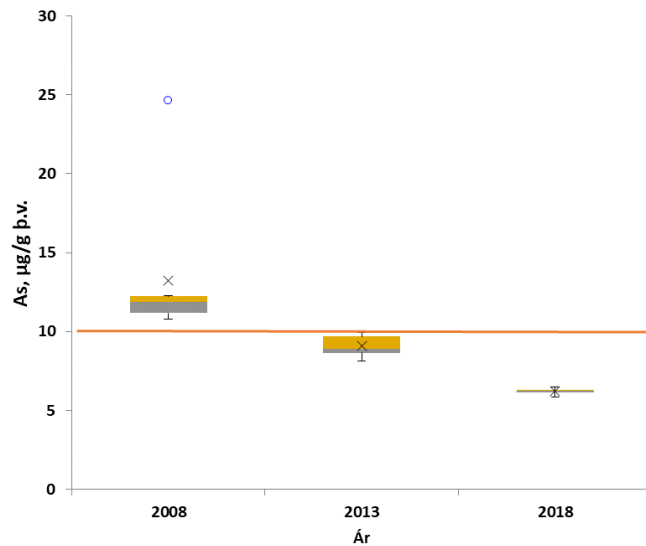
Mynd 35 Heildararsen í búr- og fjörukræklingi. Lægstu umhverfismörk Norðmanna, 10 µg/g þ.v., eru sýnd á myndinni (lárétt lína).

Figure 35 Total arsenic in caged and beach mussels. Lowest quality guideline level in Norway, 10 µg/g d.w., is shown (horizontal bar).

Á mynd 36a má sjá samanburð arsens í búrkræklingi við fyrri ár og kemur í ljós marktæk lækkun með tíma. Þessa lækkun má einnig sjá í fjörukræklingnum, mynd 36b. Ekki er kunn ástæða þessa en þekkt er að aukin hlutdeild ferskvatns lækkar styrk arsens í kræklingi (Fattorini *et al.* 2008; Clowes and

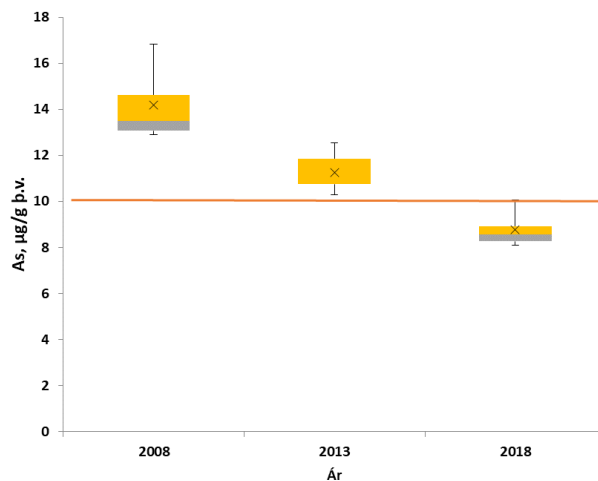
Francesconi 2004). Það verður að bíða frekari rannsókna til að sjá hvernig þessu mun vinda fram en líklegast er hér um tilviljun að ræða fyrir áhrif náttúrulegra umhverfispátta.

Samantekið má fullyrða að verksmiðjurekstur álversins í Straumsvík hefur ekki áhrif á styrk arsens í kræklingi.



Mynd 36a Arsen í búrkræklingi. Lægstu umhverfismörk Norðmanna, 10 µg/g b.v., eru sýnd á myndinni (lárétt lína).

Figure 36a Arsenic in caged mussels. Lowest quality guideline level in Norway, 10 µg/g d.w., is shown (horizontal bar).

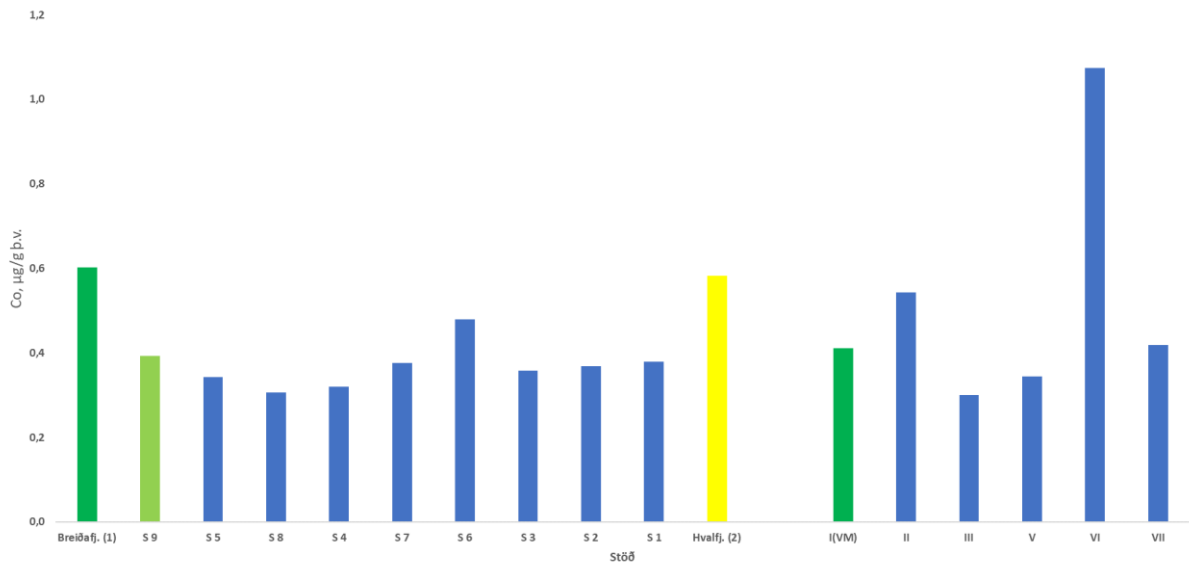


Mynd 36b Arsen í fjörukræklingi. Lægstu umhverfismörk Norðmanna, 10 µg/g b.v., eru sýnd á myndinni (lárétt lína).

Figure 36b Arsenic in beach mussels. Lowest quality guideline level in Norway, 10 µg/g d.w., is shown (horizontal bar).

Co

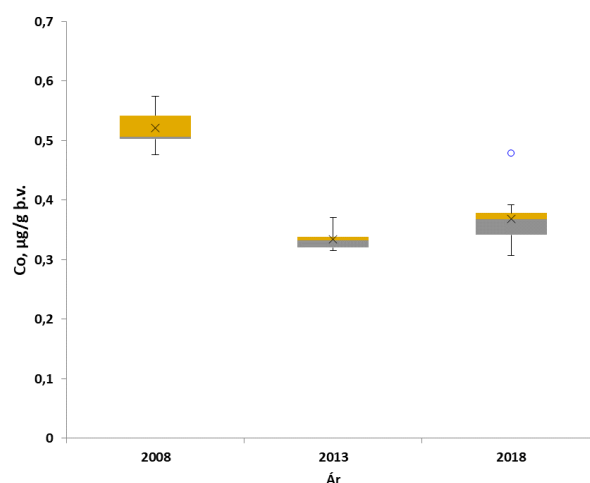
Kóbolt var fyrst mælt í rannsókninni 2008. Engin umhverfismörk eru kunn fyrir kóbolt í kræklingi þannig að styðjast þarf við viðmið í Hvalfirði og við Lónakot. Ekki hafa verið sett hámarksgildi á kóbolt í matvælum. Mynd 37 sýnir styrk kóbólts og má sjá að viðmiðin í Breiðafirði og Hvalfirði hafa sama styrk og að búrin framan við kerbrotagryfjurnar eru lægri en þessi viðmiðunarsýni. Þetta er sama hegðun og var að sjá fyrir kóbolt 2008 og 2013. Enn og aftur er það stöð VI sem vísar frá öðrum sýnum (eins og fyrir Ni, Cu, As, Cr, Hg, F, Al og Fe), sem bendir til setagna í meltingarvegi.



Mynd 37 Kóbolt í búr- og fjörukræklingi.

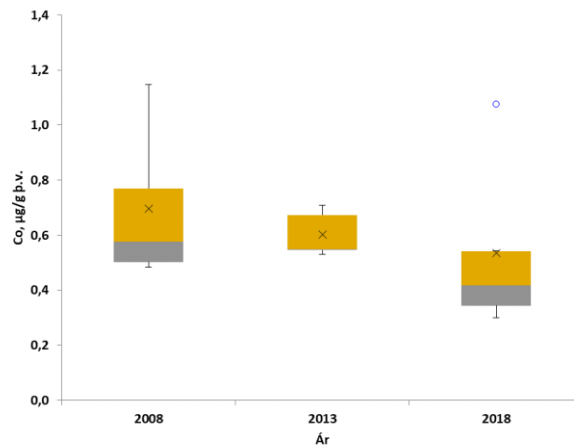
Figure 37 Cobalt in caged and beach mussels.

Kóbalt virðist hafa tilhneingingu til að lækka með tíma í búrkræklingi, mynd 37a, og er það enn skýrar í tilviki fjörukræklings, mynd 37b. Þessu svipar því til arsens en ástæður þessa eru ekki kunnar frekar en í tilviki arsens en líklegast er um áhrif óþekktis umhverfispáttar.



Mynd 38a Kóbolt í búrkræklingi.

Figure 38a Cobalt in caged mussels

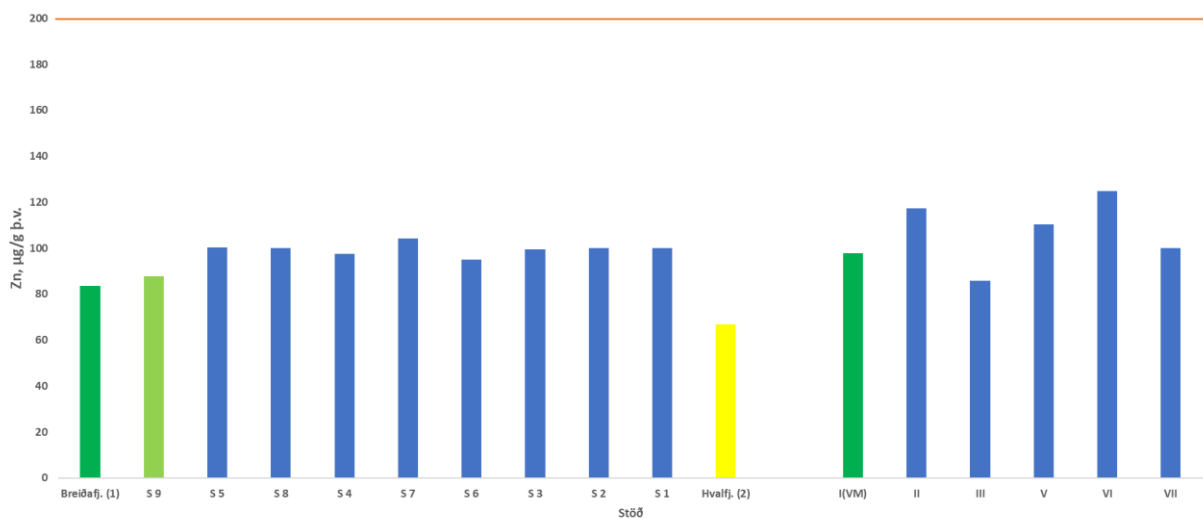


Mynd 38b Kóbolt í fjörukræklingi.

Figure 38b Cobalt in beach mussels

Zn

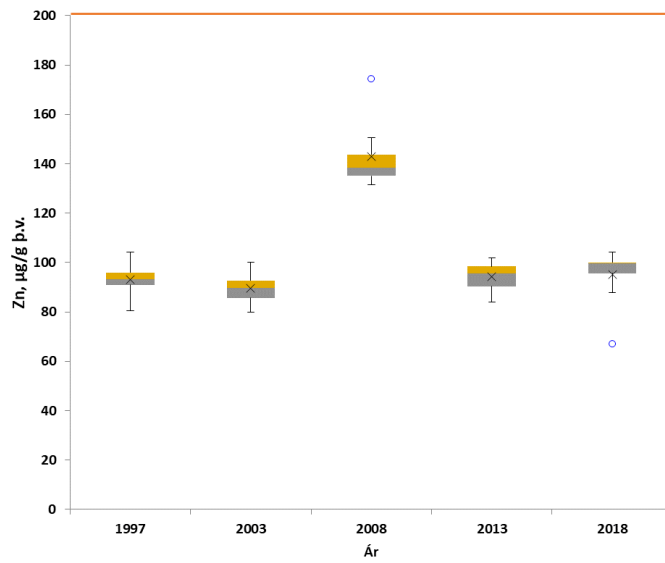
Eins og fyrir kopar þá getur kræklingur stjórnað nokkuð vel innihaldi sínu á sinki í vefjum sínum og þang því talið hentugra til vöktunar á sinki en kræklingur, sjá t.d. Molvær *et al.* 1997. Mynd 39 sýnir styrk sinks í búr- og fjörukræklingi en sinkstyrkurinn í búrunum er um 45 % hærri en viðmiðun í Hvalfirði í lokin en ekki er um marktæka hækkun í fjörukræklingi umfram viðmiðunarstöðina. Öll sýni er helmingi lægri en lægsta umhverfisviðmið í Noregi, 200 µg/g þ.v. (> bakgrunnsgildi) (Molvær *et al.* 1997).



Mynd 39 Sink í búr- og fjörukræklingi. Lægstu umhverfismörk Norðmanna, 200 µg/g þ.v., eru sýnd á myndinni (lárétt lína).

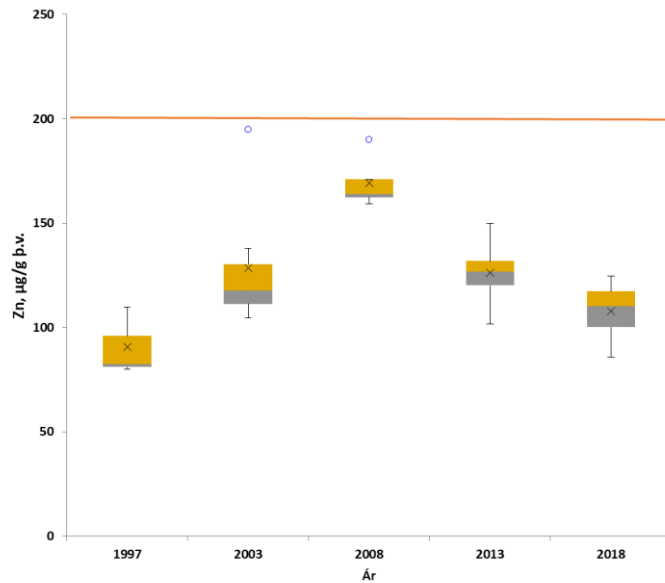
Figure 39 Zinc in caged and beach mussels. Lowest quality guideline level in Norway, 200 µg/g d.w., is shown (horizontal bar).

Mynd 40a sýnir niðurstöður fyrir sink fyrir búrkrækling í fyrri rannsóknum og er ekki um breytingu með tíma að ræða en af ókunni ástæðu er styrkurinn um 40 % hærri árið 2008. Þetta virðist ekki tilviljun því fjörukræklingurinn sýnir greinilega hækkun frá 1997 til 2008 og síðan fellur styrkurinn fram til 2018, mynd 40b.



Mynd 40a Sink í búkræklingi. Lægstu umhverfismörk Norðmanna, 200 µg/g þ.v., eru sýnd á myndinni (lárétt lína).

Figure 40a Zinc in caged mussels. Lowest quality guideline level in Norway, 200 µg/g d.w., is shown (horizontal bar).

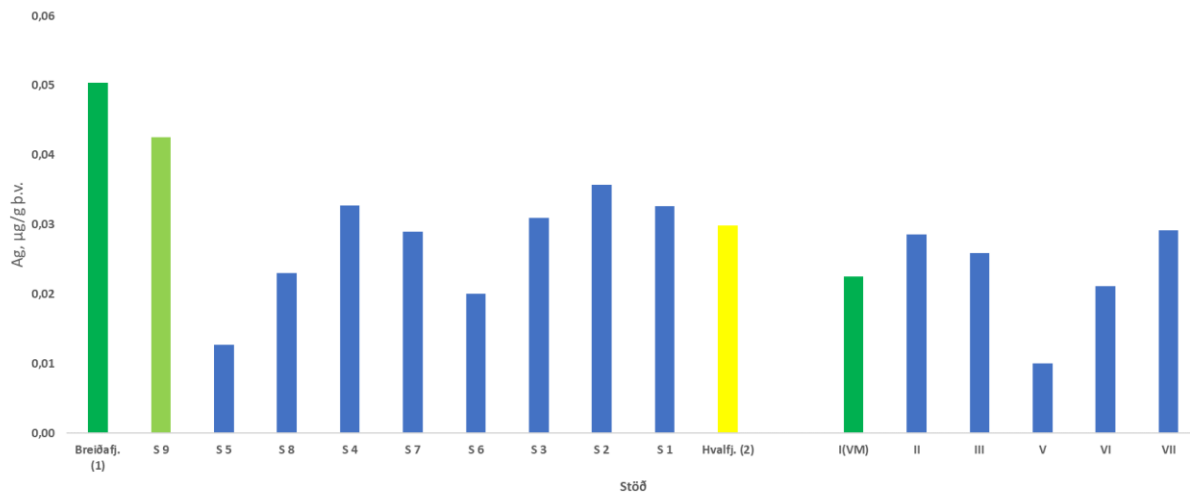


Mynd 40b Sink í fjörukæklingi. Lægstu umhverfismörk Norðmanna, 200 µg/g þ.v., eru sýnd á myndinni (lárétt lína).

Figure 40b Zinc in beach mussels. Lowest quality guideline level in Norway, 200 µg/g d.w., is shown (horizontal bar).

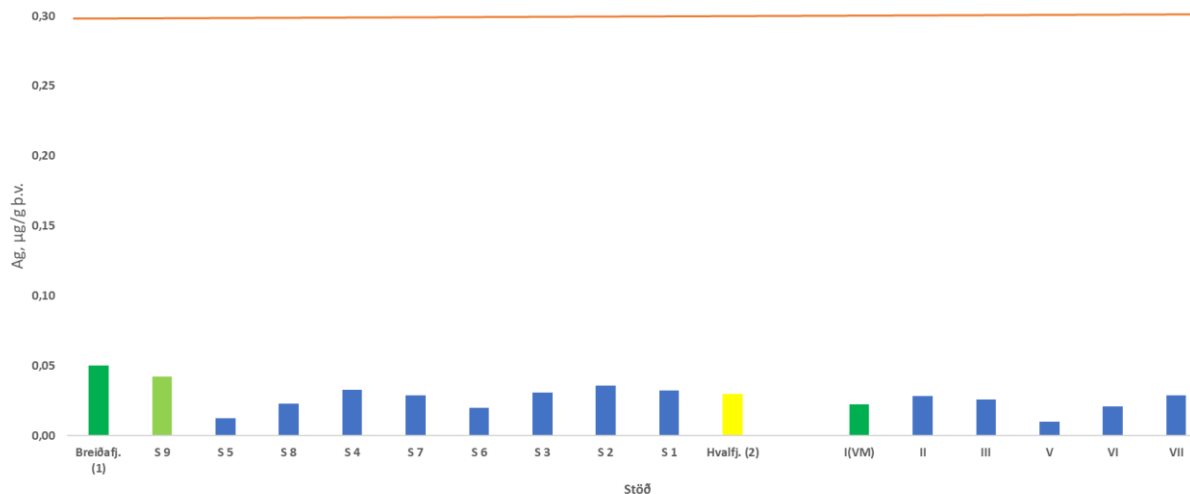
Ag

Að þessu sinni var mælt silfur í kræklingasýnunum, m.a. vegna þess að losun fráveituvatns frá Hafnarfirði á sér stað NA af álverinu og silfur var gott bendiefni á fráveituvatn, einkum áður en ljósmyndun varð stafræn (Guðjón Atli Auðunsson 2006 og 2015). Er skemmst frá því að segja að styrkur silfurs er mjög lágur og um tífalt lægri en lægsta umhverfisviðmið í Noregi, 0,3 $\mu\text{g/g}$ þ.v. (> bakgrunnsgildi) (Molvær *et al.* 1997), sjá myndir 41a og 41b.



Mynd 41a Silfur í búr- og fjörukræklingi.

Figure 41a Silver in caged and beach mussels.



Mynd 41b Silfur í búr- og fjörukræklingi. Lægstu umhverfismörk Norðmanna, 0,3 $\mu\text{g/g}$ þ.v., eru sýnd á myndinni (lárétt lína).

Figure 41b Silver in caged and beach mussels. Lowest quality guideline level in Norway, 0.3 $\mu\text{g/g}$ d.w., is shown (horizontal bar).

PAH-efni

Niðurstöður mælinga á PAH-efnum er að finna í töflu 12.

Tafla 12 Niðurstöður mælinga á PAH-efnum í kræklingssýnum.

Allar niðurstöður eru með eininguna $\mu\text{g}/\text{kg}$ votvigt (v.v.).

Table 12 Results on PAHs in mussel samples.

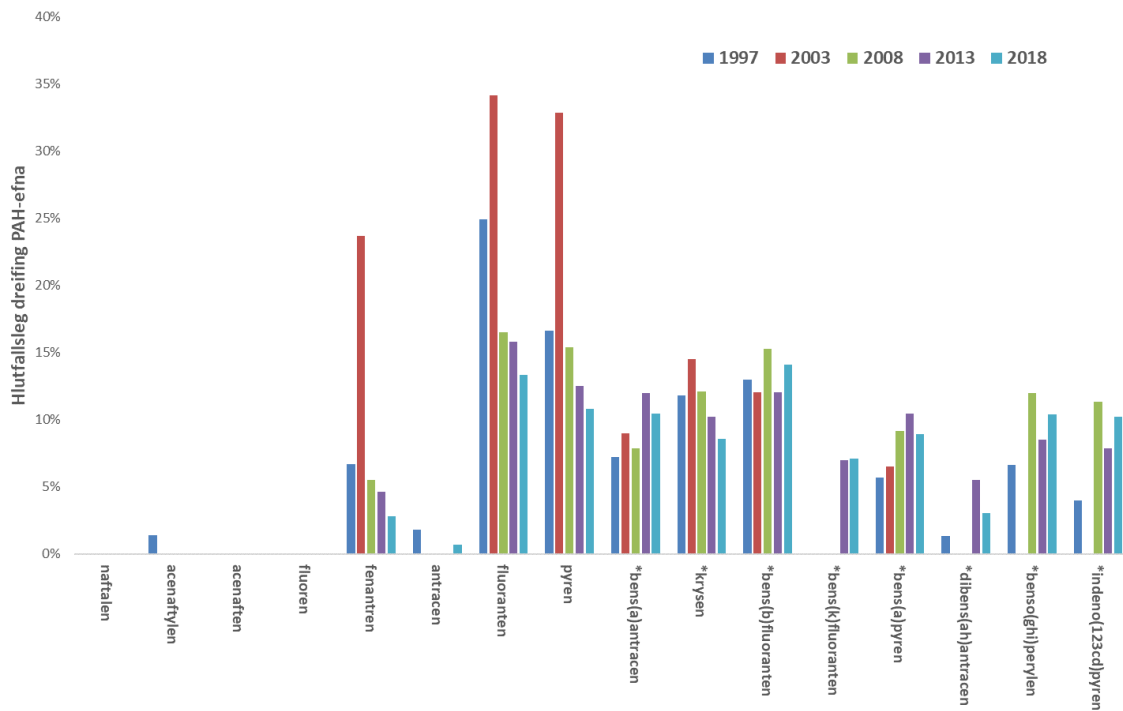
The results are expressed as $\mu\text{g}/\text{kg}$ wet weight (w.w.).

Efni/stöð	Breiðafj. (1)	S 9	S 5	S 8	S 4	S 7	S 6	S 3	S 2	S 1	Hvalfj. (2)	I(VM)	II	III	V	VI	VII
naftalen	<0,82	<1,0	<0,93	<0,91	<0,92	<0,94	<1,0	<0,94	<0,96	<0,93	<1,2	<0,68	<0,79	<0,69	<0,77	<0,70	<0,72
acenaftýlen	<0,16	<0,20	<0,19	<0,18	<0,18	<0,19	<0,20	<0,19	<0,19	<0,19	<0,24	<0,14	<0,16	<0,14	<0,15	<0,14	<0,14
acenaftén	<0,16	<0,20	<0,19	<0,18	<0,18	<0,19	<0,20	<0,19	<0,19	<0,19	<0,24	<0,14	<0,16	<0,14	<0,15	<0,14	<0,14
fluoren	<0,16	<0,20	<0,19	<0,18	<0,18	<0,19	<0,20	<0,19	<0,19	<0,19	<0,24	<0,14	<0,16	<0,14	<0,15	<0,14	<0,14
fenantren	<0,16	<0,20	1,3	0,9	0,9	0,7	1,1	0,5	0,50	0,41	0,46	0,14	0,22	<0,14	0,37	0,48	<0,14
antracen	<0,16	<0,20	0,30	0,20	0,18	0,19	0,34	<0,19	<0,19	<0,19	<0,24	<0,14	<0,16	<0,14	<0,15	0,18	<0,14
fluoranten	0,48	0,28	7,6	4,6	3,3	3,6	5,4	2,3	2,3	1,7	0,75	0,20	0,30	0,27	0,54	2,3	<0,14
pyren	<0,33	<0,30	5,4	3,1	3,5	2,6	4,6	1,8	1,9	1,5	0,58	<0,34	0,41	0,30	0,45	2,1	<0,22
bens(a)antracen	0,20	<0,30	6,9	4,4	3,1	2,6	3,2	1,5	1,8	1,3	<0,24	0,20	0,52	0,33	0,54	1,8	<0,14
krysen	<0,16	<0,20	5,2	3,8	2,6	2,1	2,8	1,2	1,5	1,1	<0,24	0,18	0,47	0,38	0,49	1,5	<0,14
bens(b)fluoranten	<0,16	<0,20	7,4	4,9	4,8	3,6	4,8	2,3	2,5	1,9	<0,24	0,27	0,77	0,53	0,68	2,4	0,16
bens(k)fluoranten	<0,16	<0,20	3,5	2,4	2,4	1,7	2,2	1,3	1,3	1,0	<0,24	0,15	0,38	0,25	0,43	1,4	<0,14
bens(a)pyren	<0,16	<0,20	4,1	3,5	3,5	2,3	3,0	1,3	1,7	1,2	<0,24	<0,14	0,39	0,26	0,42	2,0	<0,14
dibenso(ah)antracen	<0,16	<0,20	1,2	1,6	0,9	0,9	1,0	0,4	0,56	0,37	<0,24	<0,14	<0,24	<0,21	<0,23	0,55	<0,14
benso(ghi)perýlen	<0,16	0,26	5,6	4,4	3,5	2,5	3,0	1,8	1,9	1,4	<0,24	0,20	0,46	0,34	0,46	1,7	<0,14
indeno(123cd)pyren	<0,16	<0,30	4,3	6,0	3,1	3,0	3,0	1,3	1,8	1,2	<0,24	<0,20	0,43	0,26	0,43	1,7	<0,14
Σ 16 EPA-PAH	0,67	0,54	52	40	31	26	34	15	18	13	1,8	1,4	4,4	2,9	4,8	18,3	0,16
PAH, Σ krabbameinsv.	0,20	<0,79	33	27	20	16	20	9,2	11	8,0	<0,85	0,80	3,0	2,1	2,9	11,4	0,16
PAH, Σ önnur	0,48	0,54	20	13	11	10	14	6,2	6,6	4,8	1,8	0,55	1,4	0,92	1,9	6,8	<0,98

Summa PAH-efna

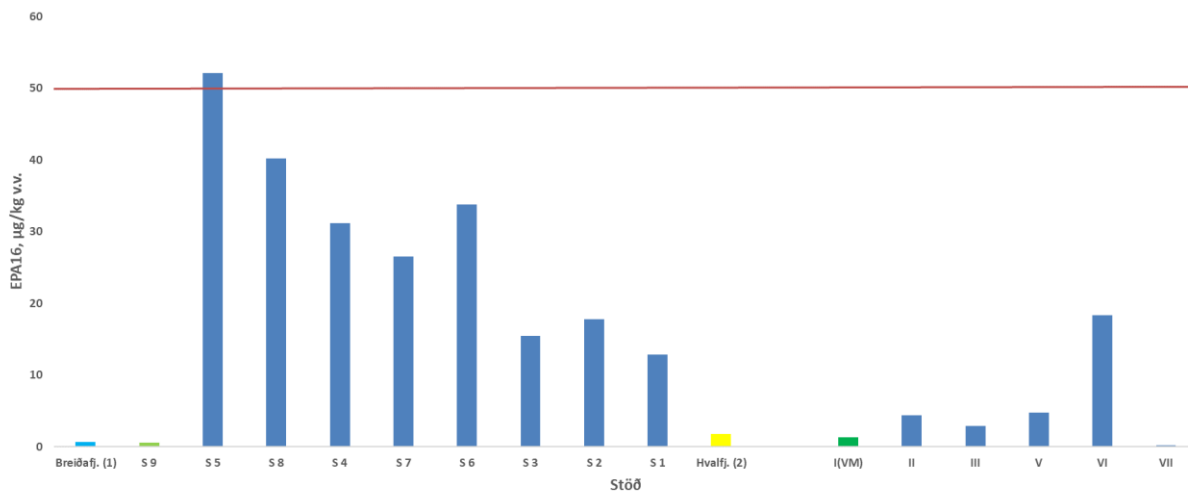
Hlutfallsleg dreifing PAH-efnanna er áþekk og fyrri ár, mynd 42, og bendir til að efnin hafi myndast við háan hita, þ.e. eru pyrogenic, þar sem fluoranten og pyren eru áberandi hæst almennt, og eigi aðeins litlu leyti uppruna sinn í olíum eða óunnum kolum (petrogenic). Árið 2003 sker sig þó úr með sérstaklega háum hlutfallslegum gildum á fenantren, fluoranten og pyren. Hlutdeild þessara þriggja efna sýnir þó leitni til lækkunar með tíma.

Á mynd 43 má sjá PAH16 eða EPA16 ásamt lægsta umhverfisviðmiði í Noregi, 50 $\mu\text{g}/\text{kg}$ v.v. (rauð lína) en undir henni er um lítið eða óverulega mengað svæði (flokkur I) (Molvær *et al.* 1997). Sjá má að allur kræklingurinn undan álverinu er u.þ.b. jafn eða lægri en þessi bakgrunnsstyrkur í Noregi. Miðað við viðmiðunarsýni (Hvalfjörður og Lónakot), þá má glögglega sjá að svæðið er undir áhrifum verksmiðjurekstrarins. Þar sem straumar eru frá vestri til austurs (Svend-Aage Malmberg 1989) þá má ætla að meginuppspretta EPA16 sé við eða vestan við stöð 5 eða yngstu kerbrotagryfjuna. Þessi hegðun eða lækkun frá vestri til austurs frá stöð 5 hefur mátt sjá í öllum fyrri rannsóknum á svæðinu (Guðjón Atli Auðunsson 2014). Mynd 44a sýnir niðurstöður fyrri ára fyrir búrkrækling og má sjá allnokkurn breytileika á milli ára, sjá nánar að neðan fyrir bens(a)pyren hvernig vöxtur kræklinga hefur áhrif á styrk PAH-efna. Fjörukræklingur er hins vegar alfarið í flokki I, sjá mynd 44b, og greina má lækkun styrks í fjörukræklingi með tíma. Engin vensl er að sjá á milli styrks búrkræklingi annars vegar og fjörukræklingi hins vegar undangengin ár. Miðað við viðmiðunarstöð fjörukræklinga við Lónakot (stöð I), er þó svæðið undir áhrifum verksmiðjurekstrarins. Aftur er það stöð VI, útlaginn á mynd 44b, sem sýnir hæstan styrk eins og í tilviki ólífrænu snefilefnanna Co, Ni, Cu, As, Cr, Hg, F, Al og Fe. Árið 2003 var það aðallega stöð IV fyrir miðju álveri, útlaginn á mynd 44b, sem sýndi háan styrk en ekki var unnt að safna þar 2018, og svo stöð V, einnig austan við álverið. Fjörusýnin gefa til kynna áhrif verksmiðjurekstrarins vestan og austan við álverið (I og II vestan við; V, VI og VII austan við) en er þó horfin á stöð VII austast á svæðinu.



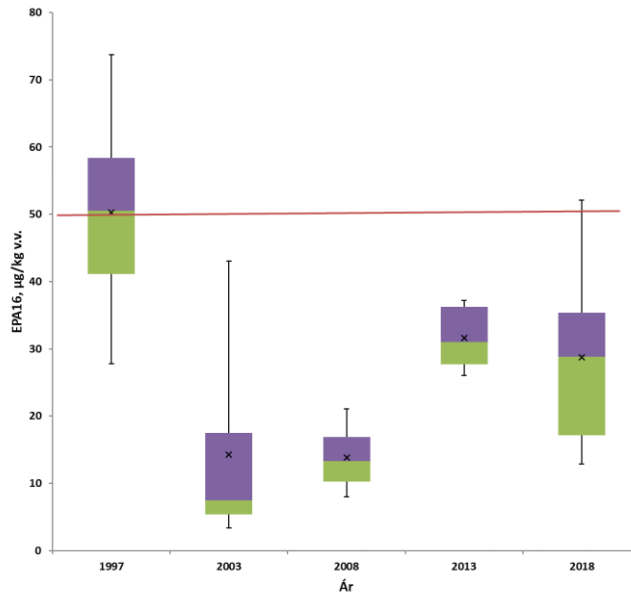
Mynd 42 Hlutfallsleg dreifing PAH-efna í búkræklingi, meðaltöl fyrir hvert ár.

Figure 42 Relative distribution of PAHs in caged mussels, averages for each year.



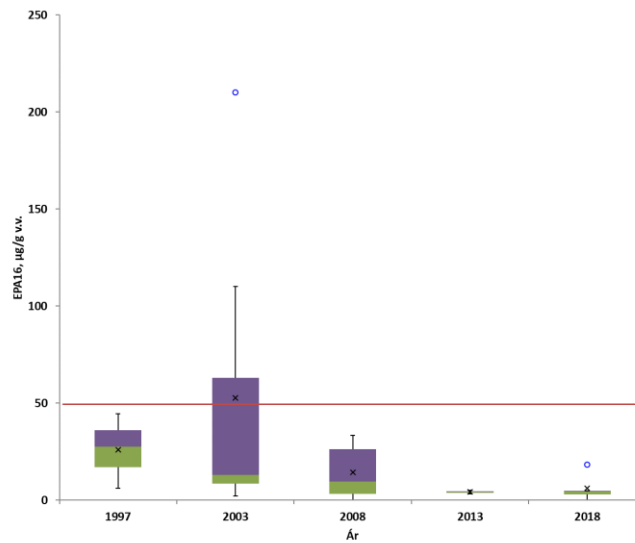
Mynd 43 EPA16 í búr- og fjörukæklingi. Undir rauðri línu er flokkur I í Noregi lítt eða óverulega mengað svæði.

Figure 43 EPA16 in caged and beach mussels. Below the red line is class I in Norway, not or only slightly polluted area.



Mynd 44a EPA16 í búkræklingi. Undir rauðri línu er flokkur I í Noregi.

Figure 44a EPA16 in caged mussels. Below the red line is class I in Norway.



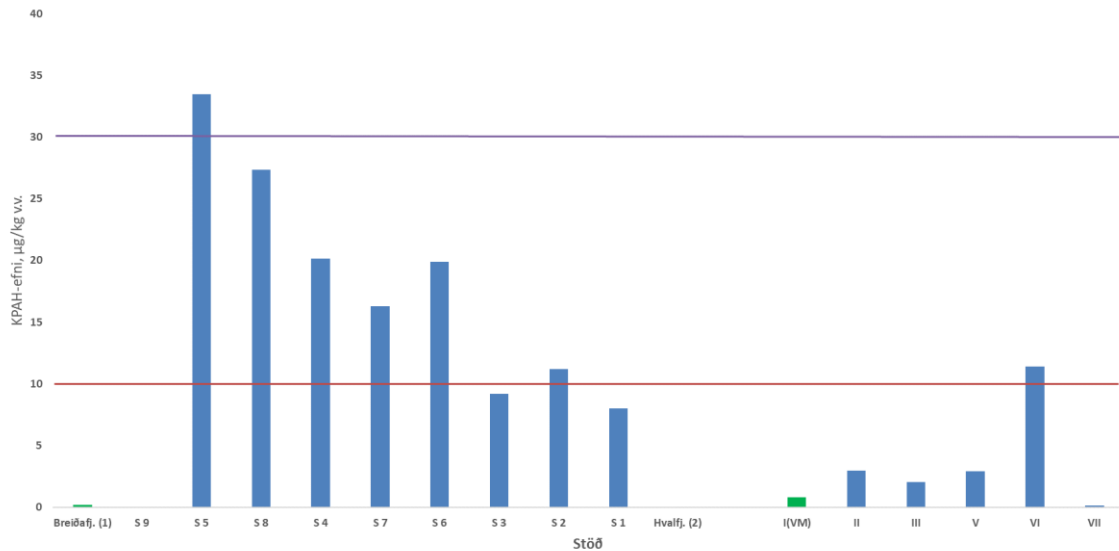
Mynd 44b EPA16 í fjörukræklingi. Undir rauðri línu er flokkur I í Noregi.

Figure 44b EPA16 in beach mussels. Below the red line is class I in Norway.

Af mynd 44b má sjá að fjörukræklingurinn 2018 er ekki á ósvipuðum slóðum og hann var 2013 en eins og sjá mátti af mynd 43 þá er það enn og aftur stöð VI austan við álverið sem er há.

KPAH

Mynd 45 sýnir mælanleg krabbameinsvaldandi PAH-efni (KPAH) í búr- og fjörukræklingi en hér er átt við neðstu 8 efnin í töflu 12 að benso(ghi)perylene undanskildu, þ.e. 7 efni. Ástæða þess að benso(ghi)perylene er sleppt er sú að hefð er fyrir því að velja þessi sjö efni til umhverfisvöktunar og að Noregur hefur sett umhverfisviðmið fyrir þessi sjö PAH-efni (Molvær *et al.* 1997). Í reynd eru öll 8 efnin talin krabbameinsvaldandi.



Mynd 45 KPAH-efni í búr- og fjörukræklingi, sjá flokka í texta. Þegar styrkur er undir greiningarmörkum er súla ekki sýnd.

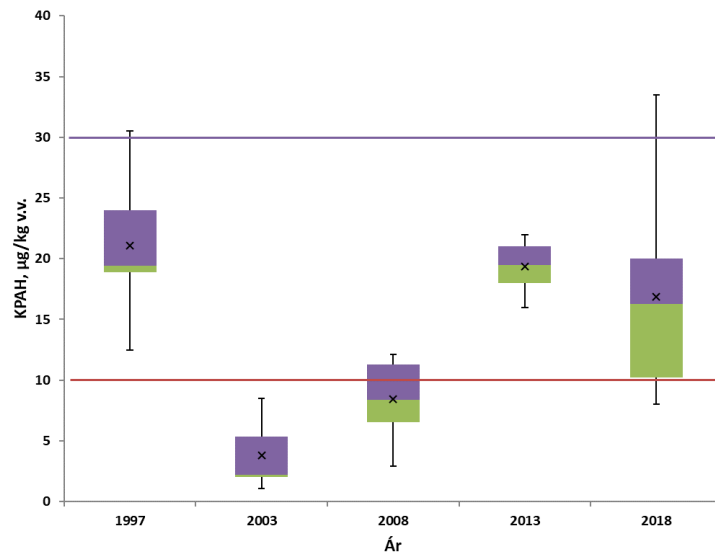
Figure 45 CPAHs in caged and beach mussels, see class boundaries in text. In cases where level is below detection limit, the column is not shown.

Eins og var fyrir EPA16, þá er svæði undir rauðri línu (10 µg/kg v.v.) lítið eða óverulega mengað, flokkur I (ubetydligt-lite). Milli rauðrar línu og purpuralitaðrar línu (30 µg/kg v.v.) er nokkuð (moderat) mengað svæði, flokkur II, en yfir purpuralituðu línunni er um verulega (markert) mengað svæði að ræða, flokkur III. Flokkur III nær upp í 100 µg/kg v.v. en næsti flokkur eða flokkur IV, 100-300 µg/kg v.v., er mikið mengað svæði (sterkt forurenset). Efsti flokkur, flokkur V með >300 µg/kg v.v. er illa mengað svæði (meget sterkt forurenset). KPAH-efnin setja því búrkræklinginn nær allan í flokk II, nokkuð mengað svæði og hæsta gildið á stöð 5 fer með svæðið í verulega mengað svæði, flokk III. Fjörukræklingurinn er hins vegar aðallega í flokki I, lítið eða óverulega mengað svæði, en stöð VI tekur hann þó í flokk II, nokkuð mengað svæði.

Mynd 46a sýnir breytingar á styrk KPAH-efna í búrkræklingi með tíma og fæst snarlík mynd og fyrir EPA16, mynd 44a, enda vega KPAH-efnin 7 mikið í EPA16 eða 59-68 %, sjá mynd 42.

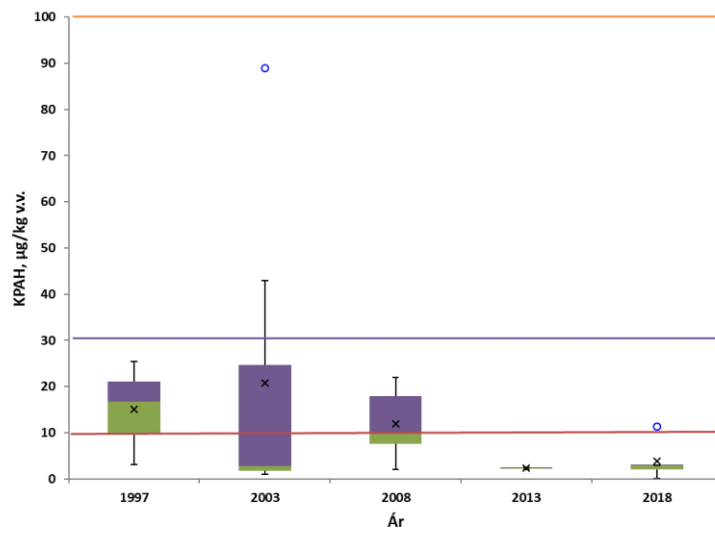
Mynd 46b sýnir breytingar á styrk KPAH-efna með tíma í fjörukræklingi. Aftur er um snarlíka hegðun með tíma að ræða og sást fyrir EPA16 enda KPAH-efni mjög stór hluti í EPA16 í þessum sýnum eða 60-100 % (100 % á stöð VII; bara bens(b)fluoranten mælist á stöð VII). Greina má lækkun með tíma.

Ástæða þess að KPAH-efnin (og bens(a)pyren, sjá að neðan) gefa aðra og strangari flokkun svæðanna en EPA16 er þessi mikla hlutdeild KPAH af EPA16 (og bens(a)pyren af KPAH) en léttu PAH-efnin vega hlutfallslega lítið í EPA16, sjá mynd 42, þ.e. léttu efnin draga úr vægi EPA16. Það eru því þessir tveir þættir, KPAH og bens(a)pyren, sem ákvarða flokkun svæðanna hér.



Mynd 46a KPAH-efni í búrkræklingi. Sjá skilgreiningu flokka í texta.

Figure 46a CPAHs in caged mussels. See text for definition of class boundaries.

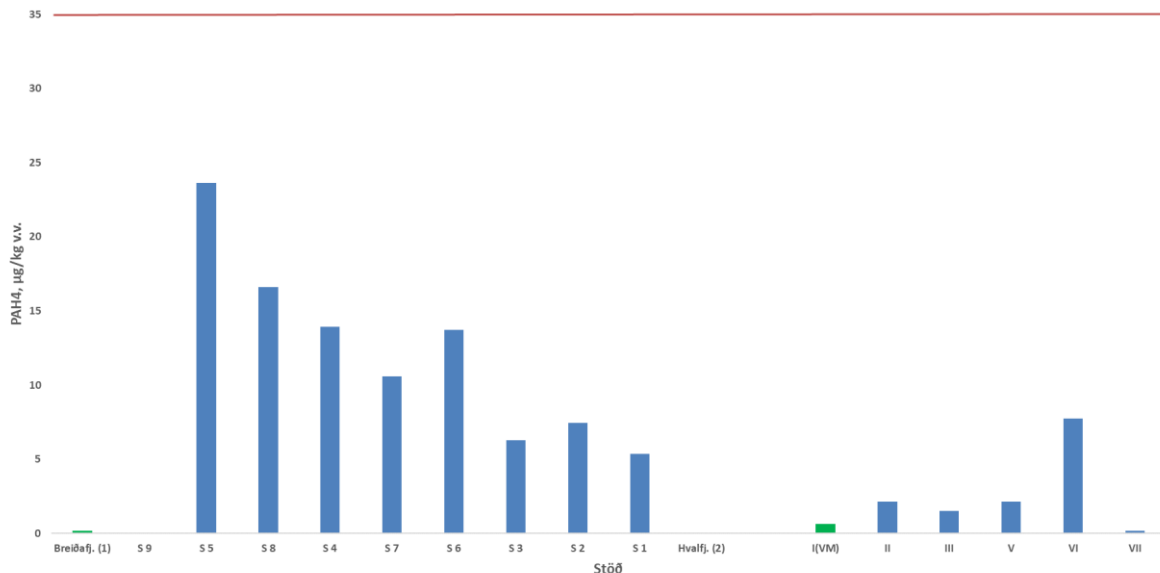


Mynd 46b KPAH-efni í fjörukræklingi. Sjá skilgreiningu flokka í texta.

Figure 46b CPAHs in beach mussels. See text for definition of class boundaries.

PAH4

Í Evrópusambandinu er hámarksgildi á PAH4 (summa bens(a)pyren, bens(a)antracen, benzo(b)fluoranten og krysen) í samlokum ætluðum til neyslu eða 35 µg/kg v.v.⁶. Mynd 47 sýnir styrk PAH4 í búr- og fjörukræklingi og má þar sjá að allar stöðvar standast vel þessi neyslumörk.



Mynd 47 PAH4 í búr- og fjörukræklingi. Þegar styrkur er undir greiningarmörkum er súla ekki sýnd.

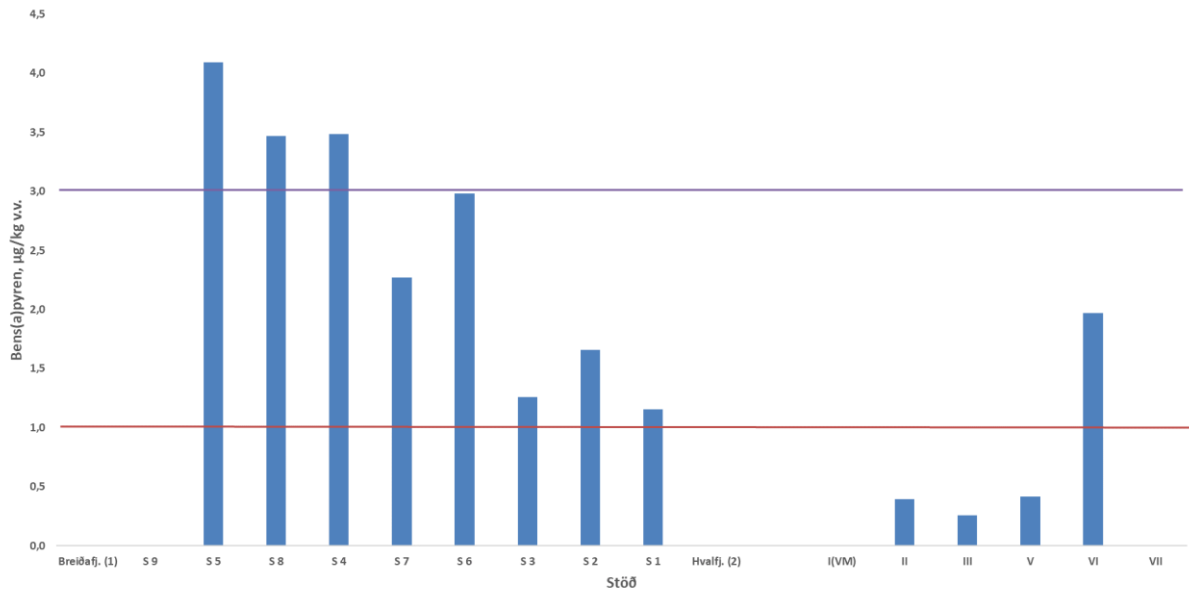
Figure 47 PAH4 in caged and beach mussels. In cases where level is below detection limit, the column is not shown.

Bens(a)pyren

Bens(a)pyren er lýst sérstaklega því bæði eru fyrir hendi umhverfismörk í Noregi fyrir bens(a)pyren (Molvær *et al.* 1997) og fyrir hendi er hámarksgildi á bens(a)pyren í matvælum⁴. Mynd 48 sýnir bens(a)pyren í búr- og fjörukræklingi á votvigtargrunni og flokkast búrkræklingurinn sem nokkuð mengað svæði, flokkur II (stöðvar 1, 2, 3, 6 og 7), eða neðarlega í floknum verulega mengað svæði, flokkur III (stöðvar 5, 8 og 4). Efri mörk flokks III er 10 µg/kg v.v. og því ekki sýnd á mynd 48. Fjörukræklingurinn er hins vegar að mestu í flokki I, lítið eða óverulega mengað svæði, fyrir utan stöð VI, sem lendir í flokk II, nokkuð mengað svæði. Eins og í tilviki EPA16, KPAH og PAH4, þá gefa fjörusýnin til kynna áhrif verkmiðjurekstrarins á bens(a)pyren vestan og austan við álverið (I og II vestan við; V, VI og VII austan við) en er þó horfin á stöð VII austast á svæðinu.

Hámarksgildi á bens(a)pyren í samlokum til manneldis, kræklingur þar á meðal, er 6 µg/kg v.v. og stenst bæði búr- og fjörukræklingurinn þau mörk vel.

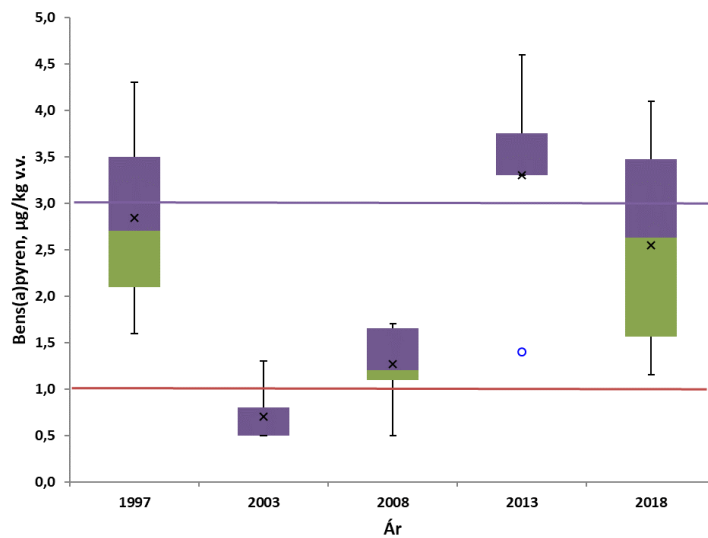
⁶ COMMISSION REGULATION (EU) No 835/2011 of 19 August 2011 amending Regulation (EC) No 1881/2006 as regards maximum levels for polycyclic aromatic hydrocarbons in foodstuffs



Mynd 48 Bens(a)pyren í búr- og fjörukraeklingi. Þegar styrkur er undir greiningarmörkum er súla ekki sýnd. Sjá skilgreiningu flokka í texta.

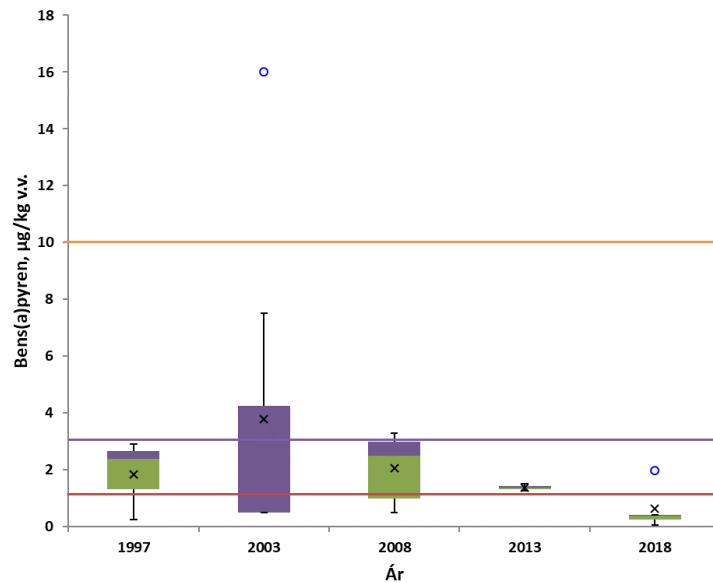
Figure 48 Benzo(a)pyrene in caged and beach mussels. In cases where level is below detection limit, the column is not shown. See text for definition of class boundaries.

Mynd 49a sýnir niðurstöður fyrri ára og sést mjög lík hegðun og sást fyrir bæði EPA16 og KPAH en bens(a)pyren er 12-17 % af KPAH í búr- og fjörukraeklingi. Hér við bætist að fylgni milli einstakra PAH-efna (yfir greiningarmörkum) er mjög mikil í þessum sýnaefnivið, fjöru- og búrkraeklingur tekinn saman, og helgast það af sameiginlegri uppsprettu efnanna í öllum kraeklingasýnunum. Mynd 49b sýnir á samsvarandi hátt niðurstöður fyrir bens(a)pyren í fjörukraeklingi þar sem reiknað er með hálfum greiningarmörkum þegar niðurstaða var undir greiningarmörkum. Greiningarmörkin voru hlutfallslega há 2013 (2,5 og 3 µg/kg v.v.) og var ekkert sýni yfir greiningarmörkum það ár. Greina má lækkun í styrk bens(a)pyren með tíma í fjörukraeklingnum.



Mynd 49a Bens(a)pyren í búrkraeklingi. Sjá skilgreiningu flokka í texta.

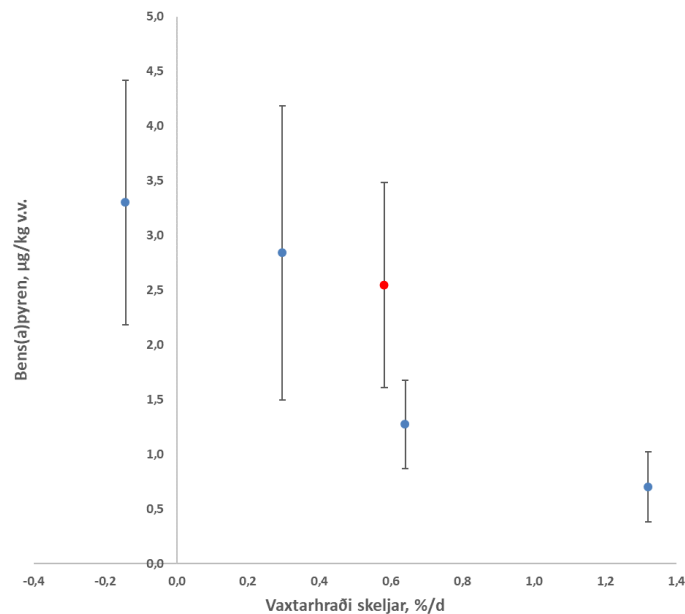
Figure 49a Benzo(a)pyrene in caged mussels. See text for definition of class boundaries.



Mynd 49b Bens(a)pyren í fjörkræklingi. Sjá skilgreiningu flokka í texta.

Figure 49b Benzo(a)pyrene in beach mussels. See text for definition of class boundaries.

Svo virðist að vöxtur kræklinga í búrum hafi áhrif á styrk PAH-efna og sýnir mynd 50 bens(a)pyren sem fall af vaxtarhraða kræklinga á tímabilum rannsóknanna á undangengnum árum. Þegar styrkur var undir greiningarmörkum var unnið með hálf greiningarmörkin, - þetta átti sérstaklega við um árið 2003 þegar vaxtarhraði var mestur. Línuleg aðfallsgreining í gegnum meðaltöl þessara fimm ára sýnir að 84 % af breytileika í meðalstyrk bens(a)pyren þessara fimm ára skýrist af mismun í vaxtarhraða. Af þessu má ráða að ekki er um lækkingu eða hækkun í styrk bens(a)pyrens að ræða í búrkræklingi frá 1997 fram til 2018.



Mynd 50 Meðaltal bens(a)pyren í búrkræklingi sem fall af vaxtarhraða skelja. Rauður punktur er fyrir 2018. Sínd eru 95 % öryggismörk fyrir hvert ár (lóðrétt strik).

Figure 50 Average of benzo(a)pyrene in caged mussels as a function of shell growth rate. Red dot is for 2018. Each average is shown with 95 % confidence limits (vertical bars).

Heimildir

ASTM 2002. E2122-02 Standard Guide for Conducting In-situ Field Bioassays With Caged Bivalves. American Society for Testing and Materials.

Clowes, L.A., and Francesconi, K.A. 2004. Uptake and elimination of arsenobetaine by the mussel *Mytilus edulis* is related to salinity. *Comp.Biochem.Physiol., C*, 137: 35-42

Fattorini, D., Notti, A., Di Mento, R., Cicero, A.M., Gabellini, M., Russo, A., and Regoli, F. 2008. Seasonal, spatial and inter-annual variations of trace metals in mussels from the Adriatic Sea: A regional gradient for arsenic and implications for monitoring the impact of off-shore activities. *Chemosphere*, 72: 1524-1533.

Gosling, E. 2003. Bivalve molluscs. Biology, Ecology and culture. Fishing News Books.

Guðjón Atli Auðunsson, Elín Árnadóttir, Helga Halldórsdóttir, Þuríður Ragnarsdóttir og Øyvind Glømmi 1998. Könnun á ólífrænum snefilefnum og PAH-efnum í lífríki sjávar við álverið í Straumsvík 1997. Skýrsla Rf 1-1998. Janúar 1998.

Guðjón Atli Auðunsson, Elín Árnadóttir og Helga Halldórsdóttir 2005. Könnun á ólífrænum snefilefnum og arómatískum fjölhringasamböndum (PAH) í kræklingi og skúfþangi við álverið í Straumsvík. Sýnataka 2003. Verkefnaskýrsla Rf 07-05. Maí 2005.

Guðjón Atli Auðunsson 2012. Könnun á ólífrænum snefilefnum og arómatískum fjölhringasamböndum (PAH) í kræklingi og skúfþangi við álverið í Straumsvík. Sýnataka 2008. Skýrsla NMÍ 12-01. Janúar 2012.

Guðjón Atli Auðunsson 2014. Könnun á ólífrænum snefilefnum og arómatískum fjölhringasamböndum (PAH) í kræklingi við álverið í Straumsvík. Sýnataka 2013. Skýrsla NMI 14-06. Október 2014.

Guðjón Atli Auðunsson, Baldur Jón Vigfússon, Halldór Pálmar Halldórsson, Hermann Dreki Guls og Arnar Sveinbjörnsson 2020. Könnun á efnabáttum í sjó við Straumsvík sumarið og haustið 2018. NMÍ-skýrsla 6EM18058:2. Mars 2020.

Guðjón Atli Auðunsson, Adrianna Milewska, Joe Jephson, Halldór Pálmar Halldórsson, Hermann Dreki Guls, Baldur Jón Vigfússon og Ester Inga Eyjólfsdóttir 2020a. Könnun á efnabáttum í seti við Straumsvík sumarið 2018. NMÍ-skýrsla 6EM18058:1. Febrúar 2020.

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 (6ÞV05186).

Guðjón Atli Auðunsson, 2015. Viðtakarannsóknir 2011: Setgildirur. Skýrsla NMÍ 15-02 unnin fyrir OR.

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.

Robinson C.D., Webster, L., Martínez-Gomez, C., Burgeot, T., Gubbins, M.J., Thain, J.E., Vethaak, A.D., McIntosh, A.D., and Hylland, K. 2017. Assessment of contaminant concentrations in sediments, fish and mussels sampled from the North Atlantic and European regional seas within the ICON project. *Mar. Env. Res.* 124 2017 21-31.

Svend-Aage Malmberg 1989. Hita, seltu og straummælingar á Hafnarfirði sumarið 1988. Skýrsla til Bæjarstjórnar Hafnafjarðar í júní 1989. Viðauki: Tafla um næringarefna mælingar frá Jón Ólafssyni. Skýrsla frá Hafrannsóknastofnuninni.