

NMÍ 14-06  
6EM13087

Könnun á ólífrænum snefilefnum  
og aromatískum fjölhringa-  
samböndum (PAH) í kræklingi  
við álverið í Straumsvík.  
Sýnataka 2013

Guðjón Atli Auðunsson  
Október 2014



# KÖNNUN Á ÓLÍFRÆNUM SNEFILEFNUM OG ARÓMATÍSKUM FJÖLHRINGASAMBÖNDUM (PAH) Í KRÆKLINGI OG SKÚFPANGI VIÐ ÁLVERIÐ Í STRAUMSVÍK SÝNATAKA 2013.

## EFNISYFIRLIT

1. INNGANGUR.....	2
1.1 Sýnatökustöðvar, sýnataka og sýnameðferð .....	2
1.1.1. Búrkræklingur .....	2
1.1.2 Sýni úr fjöru .....	5
2. Efnþættir til rannsókna.....	8
2.1 PAH-efni .....	8
2.2 Önnur efni, sem til rannóknar eru.....	9
2. FRAMKVÆMDARAÐILAR .....	10
3. SÝNAUNDIRBÚNINGUR OG AÐFERÐAFRÆÐI MÆLINGA.....	10
3.1 Sýnameðferð .....	10
3.2 Efnamælingar.....	11
4 NIÐURSTÖÐUR UM LÍFFRÆÐILEGA ÞÆTTI.....	11
4.1 Líffræðilegir þættir .....	11
4.1.1 Vöxtur og holdarfar kræklingssýna.....	12
4.1.2 Samantekið um líffræðilega formþætti .....	19
5. NIÐURSTÖÐUR MÆLINGA Á ÓLÍFRÆNUM SNEFILEFNAÞÁTTUM.....	20
5.1 Ál .....	20
5.2 Flúor.....	23
5.3 Kvikasilfur.....	25
5.4 Króm .....	28
5.5 Kopar.....	30
5.6 Kadmín .....	33
5.7 Nikkel.....	36
5.8 Blý.....	39
5.9 Arsen .....	40
5.10 Vanadín .....	41
5.12 Kóbolt.....	44
5.13 Sink .....	46
5.14 Járn og mangan .....	49
5.15 Samanteknar niðurstöður fyrir ólífræn snefilefni .....	49
6. NIÐURSTÖÐUR MÆLINGA Á PAH-EFNUM.....	50
6.1 EPA16 .....	50
6.2 KPAH.....	54
6.4 PAH4.....	57
6.3 Benso(a)pyren.....	58
6.5 Samantekið um PAH-efni .....	61
7. HELSTU NIÐURSTÖÐUR, ÁGRIP .....	62
8. HEIMILDIR.....	64
9. VIÐAUKAR.....	68
VIÐAUKI I: Líffræðilegir þættir búrsýna .....	69
VIÐAUKI II: Líffræðilegir þættir fjörusýna.....	72
VIÐAUKI III: Meginefnþættir, mæliniðurstöður.....	75
VIÐAUKI IV: Ólífræn snefilefni, mæliniðurstöður.....	77
VIÐAUKI V: PAH-efni, mæliniðurstöður .....	79

# KÖNNUN Á ÓLÍFRÆNUM SNEFILEFNUM OG ARÓMATÍSKUM FJÖLHRINGASAMBÖNDUM (PAH) Í KRÆKLINGI VIÐ ÁLVERIÐ Í STRAUMSVÍK SÝNATAKA 2013.

## 1. INNGANGUR

Verkefni þetta var unnið fyrir Alcan á Íslandi hf í Straumsvík. Tengiliður frá Alcan var Fannar Jónsson. Verkefnisstjóri á Nýsköpunarmiðstöð Íslands var Guðjón Atli Auðunsson. Þetta verkefni er framhald verkefna sem unnið voru 1997 (1a) , 2003 (1b) og 2008 (1c). Eins og í fyrri rannsóknum var kannað hvort og þá í hversu miklu mæli PAH-efni og ólífræn snefilefni væru tekin upp í krækling við strönd álversins vegna þeirrar iðnaðarstarfsemi, sem þar fer fram.

### 1.1 Sýnatökustöðvar, 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 með því að endurtaka fyrri sýnatökur.

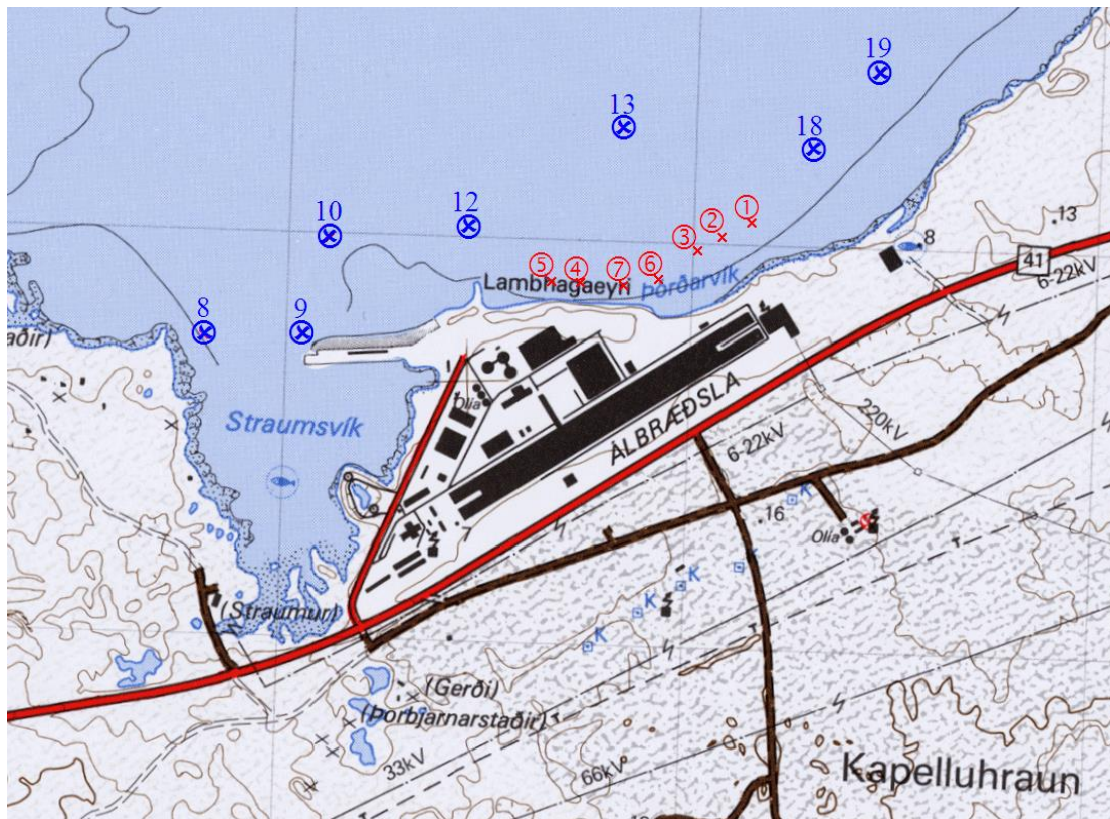
#### 1.1.1. Búrkræklingur

Kræklingabúr með einsleitum kræklingi (*Mytilus edulis*) var komið fyrir skammt frá landi á sjö stöðvum norðan verksmiðjussvæðisins á 1 m dýpi m.v. stórstraumsfjöru. Þessar sjö stöðvar hafa verið notaðar í öllum fjórum rannsóknunum, sjá mynd 1.



Mynd 1 Stöðvarnar sjö, sem hafa verið notaðar í öllum fjórum rannsóknunum fyrir búrkrækling.

Í rannsókninni 2003 var búrum einnig komið fyrir á þremur sniðum út frá verksmiðju, hvert snið með 5 búr, þ.e. beint norður af verksmiðju og síðan með ströndu vestur og norðaustur (1b), þ.e. samtals 15 búr umfram þau sjö, sem sýnd eru á mynd 1. Í ljós kom að áhrifa gætti ekki eða óverulega á ystu stöðvunum og því var ákveðið að nota sjö búr umfram þau sjö á mynd 1 í rannsókninni 2008 og mynda þannig ytri kruga fyrir verksmiðjusvæðið, sjá mynd 2 (númer stöðvanna frá 2003 voru látin halda sér). Í ljós kom að hækkun mátti sjá í Hg, Cr, Cu, Ni og Pb á stöðvum 18 og 19 árið 2008 (1c). Engu að síður var ákveðið að halda sig við upphaflegu stöðvarnar sjö (1-7) í þessari rannsókn 2013.



Mynd 2 Allar sýnatökustöðvar búrkræklings í rannsókninni 2008.

Búrkræklingsi á tiltölulega þröngu lengdarbili var fenginn úr kræklingarækt Bláskeljar ehf. við Kiðey, Stykkishólmi (Símon Sturluson tengiliður). 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 fyrri ár en þá var kræklingi safnað af stórstraumsfjöru í Hvalfirði eða af botni Hvalfjarðar. Fyrri ár þurfti því að hafa krækling í um mánaðartíma í banka til að ástand einstaklinganna yrði sem líkast innbyrðis, þ.e. safnið yrði sem einsleitast. Sýni voru flutt til Reykjavíkur 31/07/2013 og komið fyrir á lögnum við Straumsvík 01/08/2013 auk þess sem eitt sýni var sett í banka við Saurbæjarvík, Hvalfirði, sjá mynd 3. Sýnin voru á 1 m dýpi m.v. stórstraumsfjöru eins og í fyrri rannsóknum. Til mats á náttúrulegum breytingum með tíma, var tekið viðmiðunarsýni úr kræklingabanka á sama tíma og búr voru sett út. Hnit stöðvanna og banka koma fram í töflu 1. Þetta eru sömu hnit og 2008 fyrir utan stöð 5, sem var sett niður um 100 metra frá sömu stöð 2008, og stöð 3 færðist um 50 metra. Þetta kom til af því að leitast var við að hafa sama dýpi á öllum lögnum, 8 metra. Stöð bankans er sú sama og 2008 en hún er örlítið vestar en Skeljatangi, stöð bankans 2003. Bankinn 1997 var við Katanes sem nú er allnærri verksmiðjurekstri á Grundartanga og var því ákveðið að færa viðmiðunarstöðina 2003.

**Tafla 1 Hnit stöðva kræklingabúra og banka.**

Stöð	Baughnit, WGS84 Datum		UTM, WGS84 Datum		Dýpi, m
1	64°03.0087'	22°01.2266'	450179	7103001	8
2	64°02.9769'	22°01.3201'	450102	7102943	8
3	64°02.9403'	22°01.3888'	450045	7102876	8
4	64°02.9109'	22°01.7355'	449762	7102826	8
5	64°02.9234'	22°01.9510'	449587	7102852	8
6	64°02.9222'	22°01.5061'	449949	7102844	8
7	64°02.9129'	22°01.6114'	449863	7102828	8
<b>Banki</b>	64°23.8782'	21°37.6914'	469712	7141512	21

Búrin við strönd verksmiðjunnar voru úti í um tvo og hálfan mánuð, en 17/10/2013 voru kræklingabúr sótt, einnig bankasýnið. Þegar búr voru sótt reyndist búr 4 hafa tæmst, líklegast hafði fugl komist í það. Búrin voru því 77 daga á stöðvunum sem er sama tímalengd og í fyrri rannsóknum en nú fóru búr á stöðvarnar á sama tíma og 2008 eða rúmlega 20 dögum seinna en bæði 1997 og 2003. Þessi mismunur í sýnatökutíma 2008 og 2013 miðað við 1997 og 2003 hefur ekki áhrif við samanburð þessara þriggja rannsókna. Árferði hefði meiri áhrif í þá veru. Eftirfarandi tafla hefur að geyma sýnatökutímabil rannsókna fram til þessa.

Ár rannsóknar	Búr sett út við Straumsvík	Búr sótt í Straumsvík og banka	Dagar á baujum
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



Mynd 3 Staðsetning búrbanka í Hvalfirði.

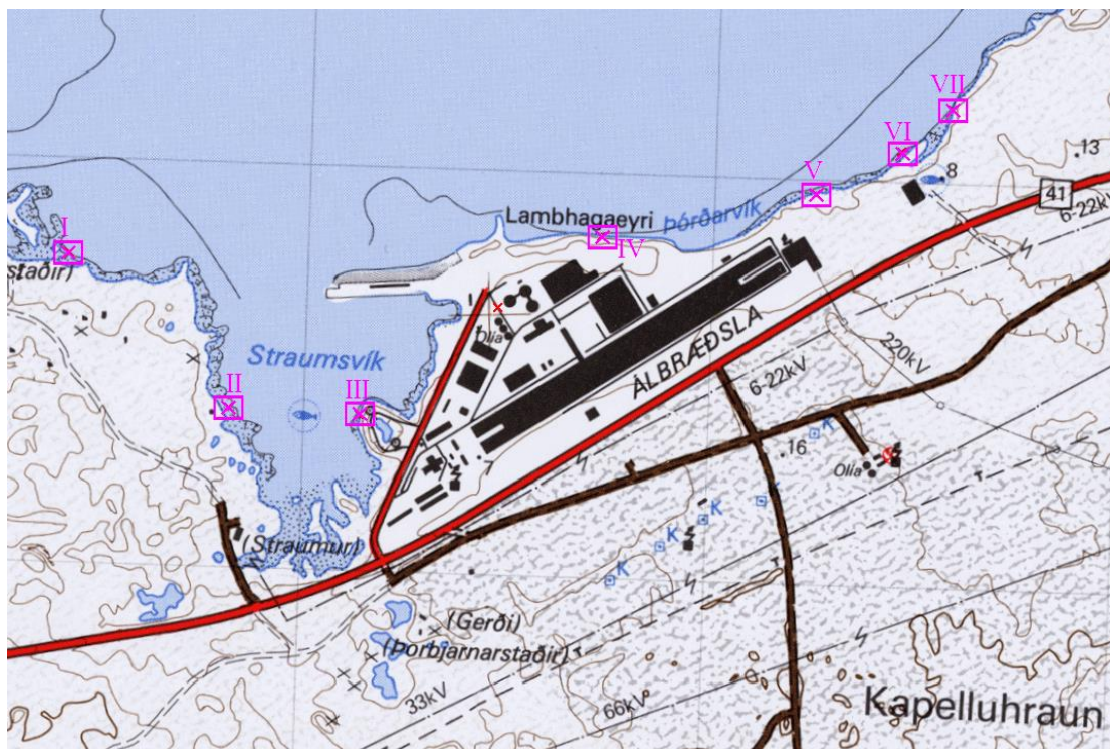
Við flokkun kræklingssins var miðað við að hann væri á lengdarbilinu 35-55 mm. Um 120 einstaklingum var komið fyrir í hverju búi. Þröngt lengdarbil er valið til að minnka líffræðilegan breytileika í samræmi við leiðbeiningar Alþjóðahafrannsóknaráðsins og leiðbeiningar ASTM (60) en þessi tiltekni fjöldi einstaklinga er einnig í samræmi við þessar leiðbeiningar en í lokasýni var ætlunin að ná 100 lifandi einstaklingum í hvert sýni.

Í öllum tilvikum var sýnum komið fyrir í frysti við  $-22^{\circ}\text{C}$  fram að undirbúningi þeirra og mælinga.

Öll kræklingssýni voru skilgreind með tilliti til heildarþyngdar, lengdar skelja, hæðar og þykktar, þyngdar mjúkvöðva og þyngdar skelja.

### 1.1.2 Sýni úr fjöru

Fram til þessa hafa sýni verið tekin af skúfþangi (*Fucus distichus*) úr fjöru en horfið var frá því að þessu sinni. Sýni af kræklingi úr fjöru voru sótt 24/10/2013, sjá mynd 4 af försusýnastöðvum. Ekki var safnað kræklingi af stöðvum I og VI að þessu sinni en fjörusýnastöðvum hafði verið fjölgað 2003 og þær láttnar halda sér 2008. Stöðvar I, II, VI og VII voru ekki í rannsókninni 1997. Sýni var sótt á viðmiðunarstöð fjörusýna sama dag í Botnsvogi, rétt austan Kattarhöfða í Hvalfirði, sjá mynd 5. Þessi viðmiðunarstöð er á sömu slóð og 2003 og 2008 en fjarri viðmiðunar-stöðinni 1997, sem þá var Hvaleyri, en eins og í tilviki búrviðmiðunarstöðvarinnar, þá var ákveðið að flytja þessa viðmiðun fjarri verksmiðjurekstrinum á Grundartanga. Fjörusýni voru sótt 25/10 árið 2003, 14/10 árið 1997, og 15 og 16/10 2008. Þessi mismunur í sýnatökutíma hefur ekki áhrif við samanburð þessara fjögurra rannsókna. Árferði er líklegar til að hafa meiri áhrif.



Mynd 4 Stöðvar fjörusýna (ekki var safnað á stöðvum I og VI að þessu sinni)

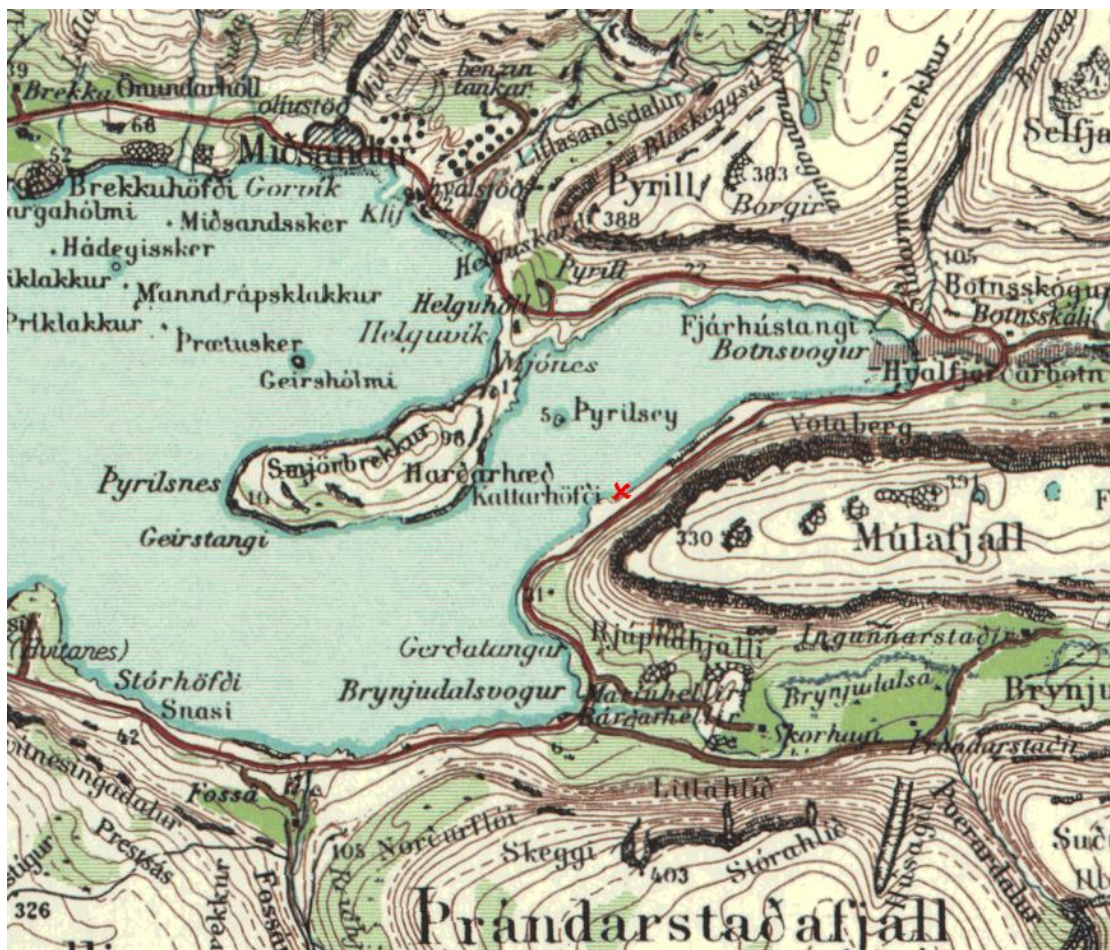
Fjörusýnin eru á sömu stöðvum og 2008 í öllum tilvikum. Mynd 6 sýnir allar sýnatökustöðvar, bæði búr- og fjörustöðvar. Nákvæm hnit fjörustöðvanna koma fram í töflu 2.

**Tafla 2 Hnit stöðva úr fjöru á lóð álverksmiðjunnar og vestan og austan hennar.**

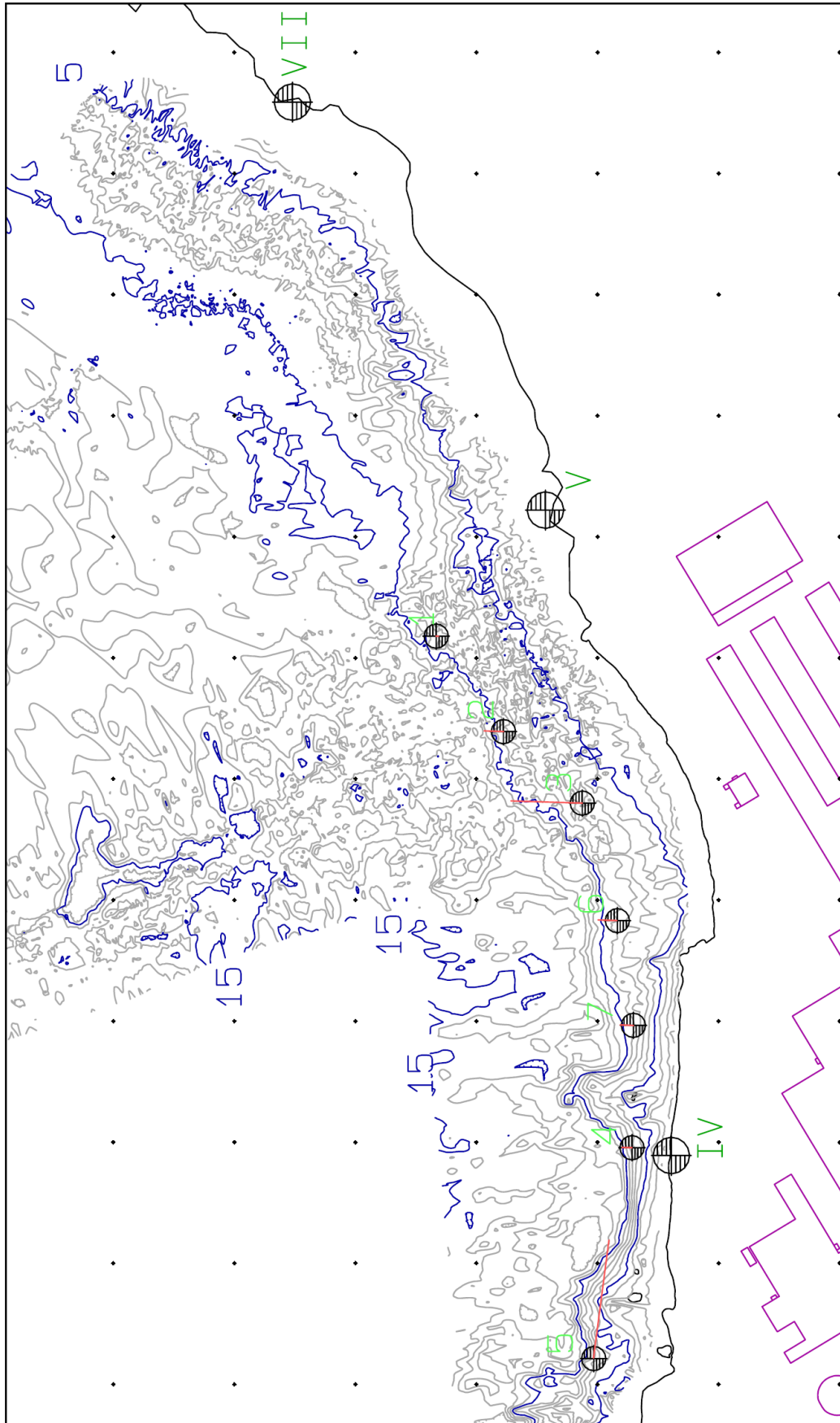
Stöð	Baughnit, WGS84 Datum	
II	64°02.643'	22°02.846'
III	64°02.642'	22°02.447'
IV	64°02.893'	22°01.740'
V	64°02.963'	22°01.093'
VII	64°03.084'	22°00.692'
<b>Banki</b>	64°22.427'	21°24.249'

Eins og 2003 og 2008 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.

Í öllum tilvikum var sýnum komið fyrir í frysti við -22°C fram að undirbúningi þeirra og mælinga.



*Mynd 5 Staðsetning viðmiðunarsýna úr fjöru í Hvalfirði.*



**Mynd 6** Allar sýnatökustöðvar rannsóknarinnar 2013. Kortið var unnið af Jarðfræðistofu Kjartans Thors.



## 2. Efnþættir til rannsókna

Í öllum sýnunum voru mæld PAH-efni og ólífræn snefilefni.

### 2.1 PAH-efni

Vísað er í ítarlega umfjöllun um þennan efnaflokk í skýrslu rannsóknarinnar 2003 (1b).

Í þessari rannsókn eru mæld 16 PAH-efni, svokölluð EPA16, en þau voru valin af Umhverfisstofnun Bandaríkjanna (EPA) á sínum tíma og þóttu henta vel til vöktunar þessa efnaflokks í frárennsli iðnaðar og íbúa (30) en hafa síðan verið notuð til mats á áhrifum almennt á umhverfið, t.d. mjög algengt að mæla þessi efni við mat á losun frá álverum og eru þau grundvöllur umhverfismarkna í t.d. Noregi (49). Þessi efni koma fram í töflu 3.

Tafla 3 PAH-efni mæld í kræklingi og skúfþangi

PAH-efni í EPA16*	Fjöldi arómatískra hringa í sameind
naftalen	2
acenaftýlen	3
acenaften	2
fluoren	3
fenantren	3
antracen	3
<b>fluoranten</b>	4
pyren	4
bens(a)antracen <sup>*:°</sup>	4
krysen <sup>*:°</sup>	4
<b>bens(b)fluoranten<sup>*:°</sup></b>	5
<b>bens(k)fluoranten*</b>	5
<b>bens(a)pyren<sup>*:°</sup></b>	5
dibens(ah)antracen*	5
<b>benso(ghi)perýlen*</b>	6
<b>indeno(123cd)pyren*</b>	6

\*Dökklettruðu efnin eru svokölluð Borneff 6. Stjórnumerktu efnin eru þau sem vísindanefnd ESB hefur nýlega valið til vöktunar á PAH-efnum í matvælum, PAH8 (öll genotoxísk og líklegast krabbameinsvaldandi). Benso(ghi)perýlen er krabbameinsvaldandi skv vísindanefnd ESB en hefur hingað til ekki verið flokkað meðal krabbameinsvalda eða svokallaðra CPAH (KPAH á norrænu) á Norðurlöndum, sem svo aftur er enn grundvöllur umhverfismarkna í t.d. Noregi (49).

°Efnin merkt með ° eru PAH4 en þau eru með hámarksgildi í matvælum (18).

Árið 2005 var gefin út reglugerð um mörk á PAH-efnum í matvælum innan ESB (19<sup>1</sup>), en þá var eingöngu miðað við B(a)P því gögn um önnur efni voru of rýr til að unnt væri að setja mörk á þau, þ.e. B(a)P er notað sem bendiefni á önnur PAH-efni. Framkvæmdastjórn ESB beindi jafnframt þeim tilmælum til aðildarlandanna að þau myndu vakta fleiri efni eða samtals 15 PAH-efni vegna líklegar krabbameinsvirkni þeirra (20). Áætlað er að í matvælum sé krabbameinsvirknin um tífold sú sem mælist sem B(a)P. Vísindanefnd Matvælaöryggisstofnunar Evrópu (EFSA) um aðskotaefni gerði áhættumat á PAH-efnum í matvælum og komst að þeirri niðurstöðu að aðeins 8 PAH-efni (PAH8) væru bendiefni á krabbameinsvirkni PAH-efna í matvælum (83) en öll þessi átta efni eru meðal EPA16 og stjórnumerkt í töflu 3. Vísindanefndin komst einnig að þeirri niðurstöðu að benzo(a)pyren eitt og sér væri ekki gott bendiefni á PAH-efni í matvælum og að best væri að skoða öll átta efnin þó svo fjögur þeirra (PAH4) myndu þó duga (merkt með ° í töflu 3). Árið 2011 var reglugerðin endurskoðuð í ljósi þessa áhættumats og inniheldur hún bæði mörk fyrir B(a)P

<sup>1</sup> Reglugerðin var endurútgefin 2006: COMMISSION REGULATION (EC) No 1881/2006

of 19 December 2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs.

eitt og sér og summu þessara fjögurra (PAH4: bens(a)antrasen, krysen, bens(b)fluoranten og bens(a)pyren) (18). Í kræklingi (ferskum, kældum eða frosnum) voru mörk ESB á B(a)P 10 ppb (votvigt) en í nýju reglugerðinni hafa þau lækkað um helming eða niður í 5,0 ppb (votvigt) auk þess sem hámarksgildið á PAH4 var sett 30,0 ppb (votvigt).

Efni, sem valin eru til rannsókna hverju sinni er háð því eftir hverju er leitað. Ef áhrif á heilsu manna er til athugunar þá eru ofangreind 8 efni valin en ef skoða á áhrif á umhverfið eru þau efni sem líklegast hafa hæstan styrk valin til mælinga. T.d. voru mörk sett á 6 efni í drykkjarvatni í Evrópu 1980 (svokölluð Borneff 6, sjá dökkeletruðu efnin í töflu 3) og kom þetta val ekki til af eiturefnafræðilegum ástæðum heldur af því að þessi efni voru tilgreind af Alþjóðaheilbrigðisstofnuninni 1971 og voru valin vegna þess að þau eru venjulegast í mælanlegum styrk (23).

Í rannsókninni 1997 voru eftirtalin 23 efni mæld: naftalen, **2-metýlnaftalen**, **1-metýlnaftalen**, **bífenýl**, **2,6-dímetýlnaftalen**, acenaftalen, acenaften, **2,3,5-trímetýlnaftalen**, flúoren, fenantren, antracen, **1-metýlfenantren**, flúoranten, pyren, benzo(a)antracen, chrysen+trífenýlen, benzo(b+j+k)fluoranten, **benzo(e)pyren**, benzo(a)pyren, **perylene**, indeno(1,2,3-cd)pyren, dibenzo(a, h)antracen, og benzo(ghi)perylene. Þau dökkeletruðu, átta talsins, eru þau sem ekki eru mæld í þeirri rannsókn sem hér er lýst. Af þessum átta eignum, sem eru ekki mæld nú, eru sjö með keðjum en þau eru gjarnan notuð til að meta hvort um áhrif losunar frá olíu eða kolum (lágur hiti við myndun) er að ræða (petrogenic). Áhrif olíu og kola má einnig sjá út frá hlutföllum ákveðinna efna en ef t.d. hlutfallið fenantren/antracener <10 samtímis því að hlutfallið fluoranten/pyren >1, þá eru líkur á að um háhitauppsprettu sé að ræða (t.d. 37 og 38). Ágalli við mælinguna 1997 var helstur sá að sumar niðurstaðnanna voru summa tveggja eða fleiri efna, þ.e. chrysene og trífenýlen voru ekki aðskilin en chrysene en ekki trífenýlen er krabbameinsvaldur. Þetta á einnig við um þrjá ísómera benzofluorantens, þ.e. benzo(b)fluoranten, benzo(j)fluoranten og benzo(k)fluoranten, en þeir voru ekki aðskildir með þeirri aðferð sem þá var notuð en aðeins benzo(j)fluoranten er krabbameinsvaldandi. Þriðja dæmið um óaðskilda þætti eru ísómerar dibenzanthracen, þ.e. dibenz(a,h)anthracene og dibenz(a,c)anthracene, sem einnig er bagalegt því dibenz(a,h)anthracene hefur krabbameinsvirkni en ekki sá síðarnefndi.

## 2.2 Önnur efni, sem til rannóknar eru

Flúor var mældur í mjúkvef kræklingans. Þekkt er að álver losa flúor í andrúmsloft þar sem krýólít,  $\text{Na}_2\text{AlF}_6$ , er notað við rafgreininguna eða 0,3-4,0 kg  $\text{AlF}_3$  á hvert framleitt tonn áls (7). Heildarlosun í andrúmsloft af flúor er áætluð að vera 0,3-4,0 kg/tonn af áli, bæði frá álverum með forbökuð skaut og Söderberg-ver (7), en losun álversins í Straumsvík er í lægri kanti þessarar losunar og var t.d. 0,65kg á hvert framleitt tonn áls 2001 (6). Regluleg vöktun fer fram á loftbornum flúor (57).

Í mjúkvöðva kræklingans 1997 voru mældir þungmálmarnir kvikasilfur, blý, kadmín, kopar, sink, króm og nikkell. Í skel kræklingans 1997 voru mæld flúor og málmarnir blý og kadmín. Í skúfþangi voru mæld snefilefni flúor, kvikasilfur, blý, kadmín, kopar, sink, króm og nikkell. Í þessari rannsókn var skúfþang og mjúkvefur kræklingans skilgreind m.t.t. þurrefnis, fitu og ösku og voru eftirfarandi ólífræn snefilefni mæld í bæði mjúkvef kræklingans og í skúfþanginu: ál, arsen, blý, flúor, kadmín, kopar, kóbolt, króm, járn, kvikasilfur, mangan, nikkell, vanadín og sink. Málminum vanadín var bætt við í rannsókninni 2003 en arsen, ál, kóbolt og mangan í þessari rannsókn. Takmarkaðar upplýsingar eru um losun málna frá álverum og koma þeir aðallega til af óhreinindum í hráefnum (súráli, krýólíti og rafskautum)

en almennt er losun á málum ekki talin vera vandamál frá álverum almennt (7). Áhrifin eru jafnframt háð þeim hráefnum sem notuð eru og staðhættum á hverjum stað. Rannsóknir á áhrifum álvera á sjávarvistkerfið erlendis beinist yfirleitt að PAH-efnum, sýrustigi vegna losunar brennisteinsdíoxíðs, sýaníði og flúor. Rannsóknir á álverum í Noregi hafa þó sýnt losun málma, t.d. í set frá verksmiðjunni í Árdal, sérstaklega kadmíns, og losun kadmíns og sinks, sem mældist í þangi frá kerbrotum við Sør-Norge Aluminim A/S (56) þar sem einnig voru mældir málmarir kvikasilfur, blý og kopar. Losun ólífrænna snefilefna frá álverum með lofti hefur verið rannsökuð, bæði erlendis (58) og frá álverinu í Straumsvík (59). Árið 1978 var ekki að sjá marktæka aukningu í málum í mosa frá álverinu í Straumsvík en þar var þó aðeins um þrjú sýni að ræða en enginn málmur virtist fylgja PAH-efnum í mosa en þau voru þó líklegast komin frá álverinu (5). Rannsóknir í nágrenni álvers í Slóvakíu, sem starfað hafði í 40 ár, hafa sýnt marktæka aukningu ýmissa málma í lífríki á landi í grennd við álframleiðsluna, efni sem falla á jörð með ryki s.s. blý, kadmín, járn, kopar og króm og sink á mosa, og t.d. ál, arsen, blý, kadmín, járn, sink, vanadín og sink á barnálar en hæstur styrkur á barri var í um 1,2km fjarlægð frá álverinu (58). Einnig mátti sjá hækkaðan styrk flúors, arsens, kadmíns og blýs í tönnum og hári rádyra. Rannsókn á málum í mosa frá álverinu í Straumsvík árið 2000 (59) leiddi í ljós að líklegast bærust snefilefni As, Ni og brennisteinn frá álverinu í Straumsvík en þó styrkur annarra efna væri þar hærrí (Cd, Cu, Pb og Zn) þá var ekki unnt að tengja þá við álverið sjálft heldur starfsemi SA af verksmiðjunni.

## **2. FRAMKVÆMDARADILAR**

Jarðfræðistofa Kjartans Thors ásamt Ómari Hafliðasyni, Köfunarþjónustunni ehf, sá um alla vinnu varðandi búrkraeklinginn (gerð búra og bauja, stofnun kraeklingabanka, útsetningu búra og söfnun búra). Til þessa verks var notaður vélbáturinn m/s Bláskel með staðsetningarútbúnaði en umsjónarmaður staðsetningarbúnaðar og skipstjóri var Kjartan Thors, Jarðfræðistofu Kjartans Thors. Söfnun kraeklings úr fjöru við Straumsvík og í Botnsvogi var framkvæmd af Ómari Hafliðasyni, Köfunarþjónustunni ehf. Vinna með hnit var í höndum Kjartan Thors s.s. að staðsetja búr á sömu staði og fyrri ár og varpa hnitum úr einu kerfi í önnur.

Rannsóknastöðin í Sandgerði í umsjón Halldórs Pálmars Halldórssonar sá að mestu um vinnslu kraeklingssýna fyrir mælingar. Ólífræn snefilefni utan flúors og þurrefni voru mæld hjá ALS Scandinavia AB, Luleå, Svíþjóð, en tengiliður þar var Anna Engberg. Arómatísk fjölhringasambönd og fita voru mæld hjá undirverktaka ALS Scandinavia AB, GBA, Pinneberg, Þýskalandi. Mælingar á flúor og meginefnaþáttum fóru fram á EGK.

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

## **3. SÝNAUNDIRBÚNINGUR OG AÐFERÐAFRÆÐI MÆLINGA**

### **3.1 Sýnameðferð**

Fyrir búrkraekling voru allir einstaklingar taldir og fjöldi dauðra kraeklinga metinn. Hver einstaklingur af kraeklingi var veginn, hold hans vegið og skel vegin auk þess sem lengd, hæð og breidd hvers einstaklings var mæld. Hold kraeklings var þeytt saman í einsleitann massa fyrir mælingar.

### 3.2 Efnamælingar.

Mælingar á ólífrænum snefilefnum utan flúors fóru fram á ALS Scandinavia AB, Luleå, Svíþjóð. Kræklingssýni voru sundruð með saltpétursýru og vetnisperoxíði í örbylgjuofni í lokuðum Teflonílátum. Magngreining fór fram með ICP-SFMS samkvæmt EPA-aðferð 200.8. Mælingarnar eru faggiltar af SWEDAC utan járn og vanadíns. Þurrefni var mælt með þurrkun við 105°C samkvæmt SS028113 (ekki faggilt aðferð á ALS Scandinavia AB).

Mælingar á PAH-efnum og fitu fóru fram hjá undirverktaka ALS Scandinavia AB, sem er GBA í Pinneberg, Þýskalandi. Mælingin á PAH-efnum fór fram með GC-MS og er aðferðin faggilt af DAR. Mæling á fitu fór fram með aðferð Weibull-Stoldt en hún er ekki faggilt hjá GBA (heildarfita fæst með því að sýni vatnsrofið með 25 % HCl, síað, þurrkað og fita dregin út með peteter 40-60°C).

Flúor var mældur eftir örsveimi með hjálp hexamethylenedisiloxane en þannig er komið í veg fyrir truflandi áhrif efnabátta í sýninu á flúormælinguna. Mæling fór fram með flúornæmu rafskauti (Orion) eftir að í lausnirnar hafði verið bætt TISAB-dúa. Samfara mælingum á sýnunum var mælt viðmiðunarefnið með góðum árangri.

## 4 NIÐURSTÖÐUR UM LÍFFRÆÐILEGA ÞÆTTI

### 4.1 Líffræðilegir þættir

Búrkræklingurinn var nokkuð stærri en fyrri ár (1997, 2003 og 2008) en 1997 var kræklingur í upphafi með miðgildislengdina 30 mm, sú sama og 2008, en 2003 var miðgildislengd safnaðs krækling 32 mm. 2013 er miðgildislengd krækling 32 mm. Hins vegar vex kræklingur hraðar á baujum eins og á við krækling þessarar rannsóknar 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 fyrri ár. Áhrif stærðar og vaxtar kann að vera nokkur á styrk mengunarefna sem hafa þarf í huga við mat á niðurstöðum.

Þegar búr voru sótt reyndist búr 4 hafa tæmst, líklegast hafði fugl komist í það. Ekki náðist alltaf í 100 einstaklinga úr hverju buri og er líklegt að fugl hafi verið þar að verki en þetta átti við um stöð 1 (76 einstaklingar), búr 3 (94 einstaklingar) og bankinn í Hvalfirði var verulega skertur (34 einstaklingar). Af þessum sökum er mat á dauðatíðni ekki möguleg að þessu sinni.

Erfitt reyndist að ná góðum sýnum af fjöru 2013 og náðist hvergi í 100 einstaklinga fyrir utan krækling á viðmiðunarstöðinni í Botnsvogi. Tafla 4 sýnir fjölda einstaklinga í fjörusýnunum og miðgildislengd.

**Tafla 4 Fjöldi einstaklinga af fjörukræklingi og miðgildislengd hans**

Stöð	Fjöldi í sýni	Miðgildislengd, mm
Botnsvogur	100	35,0
II	84	31,9
III	73	28,5
IV	35	19,7
V	20	18,8
VII	37	14,8

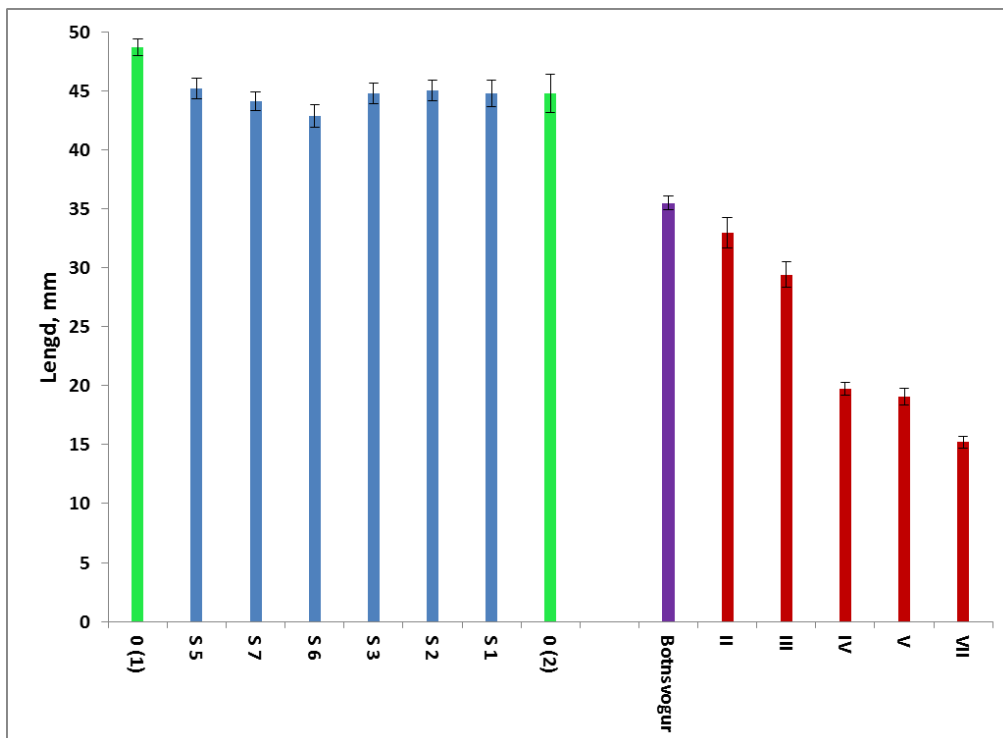
Eins og tafla 4 ber með sér voru sum sýnin rýr, sérstaklega stöðvar IV, V og VII, og kræklingurinn í þessum sýnum mjög smár. Ýmsar náttúrulegar ástæður kunna að liggja að baki breytileika á milli ára í viðkomu og vexti kræklinga, sérstaklega á stórstraumsfjöru. Af þessum sökum dugðu þessi þrjú sýni ekki til mælinga á PAH-efnum og ekki var unnt að mæla flúor nema í bankasýninu. Þetta þýðir einnig að mjög varlega verður að fara við túlkun á niðurstöðum fyrir fjörukræklinginn.

Í viðauka I eru teknar saman upplýsingar um kræklingssýnin úr búrum en í viðauka II eru sömu upplýsingar um kræklinginn úr fjöru.

#### 4.1.1 Vöxtur og holdarfar kræklingssýna

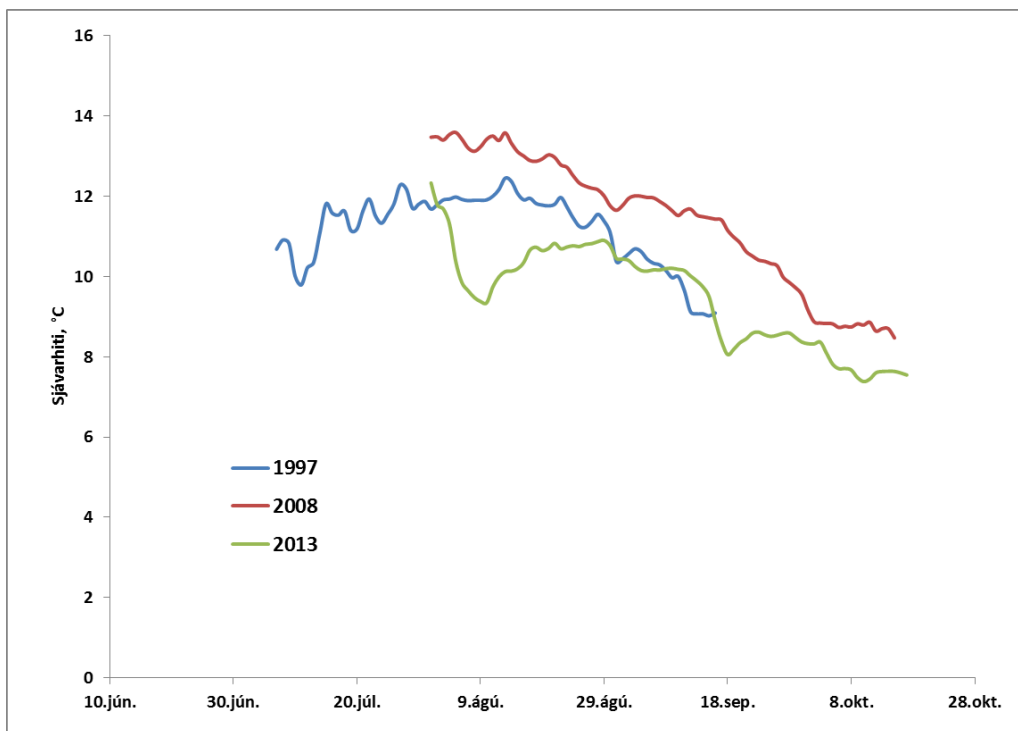
**Lengd** Mynd 7 sýnir meðallengd kræklinga í búrum. Í ljós kemur að kræklingur hefur ekki vaxið marktækt á tímabilinu, hvorki í Straumsvík né í bankanum, 0(2). Kræklingurinn í upphafssýninu, 0(1), er reyndar marktækt lengri en í öðrum sýnum og kræklingurinn á stöð 6 marktækt minni en í öðrum sýnum. Þannig virðist kræklingurinn hafa stytta lengd sína marktækt á tímabilinu, bæði í Straumsvík og í Hvalfirði, miðað við banka í upphafi. Þessi mismunur gæti komið til af því að í slembiúrtaki sýna við gerð búra hafi þannig valist í sýnin en það væri þó mikil tilviljun. 2003 og 2008 hafði kræklingur vaxið marktækt, 21 % meðalaukning 2003, bæði í búrum og banka, og 2008 var meðallengdaraukning 9 %. Um enn frekari breytileika á milli ára má sjá við skoðun á gögnum rannsóknarinnar 1997 en þá óx kræklingur ekki í bankanum í Hvalfirði (Katanes) en kræklingur næst ströndu við Straumsvík óx lítið eða aðeins um 3% á stöðvum 3, 4, 5 og 7 en um 10 % á stöð 1 (1a).

Mismunur í vaxtarhraða kann að koma til af ýmsum ástæðum en þættir eins og t.d. hitastig, fæðuframboð, fæðutegund, selta, ölduhreyfing og straumhraði geta haft áhrif á vaxtarhraða en einnig mengunarálag (85). Munur getur verið í öllum þessum breytum í þessum fjórum rannsóknum. Seltustig er lægra framan við verksmiðjувæðið en á þessu svæði kemur mikið ferskvatnsrennsli undan hrauninu (70) og getur verið mikill munur frá einu sumri til annars hvernig ferskvatnið leggur sig á því 1 m dýpi sem kræklingurinn er staðsettur. Vöxtur minnkar með minni seltu. Þessi ferskvatnsáhrif koma fram í ýmsum efnabáttum, sem ræddir verða hér að neðan.



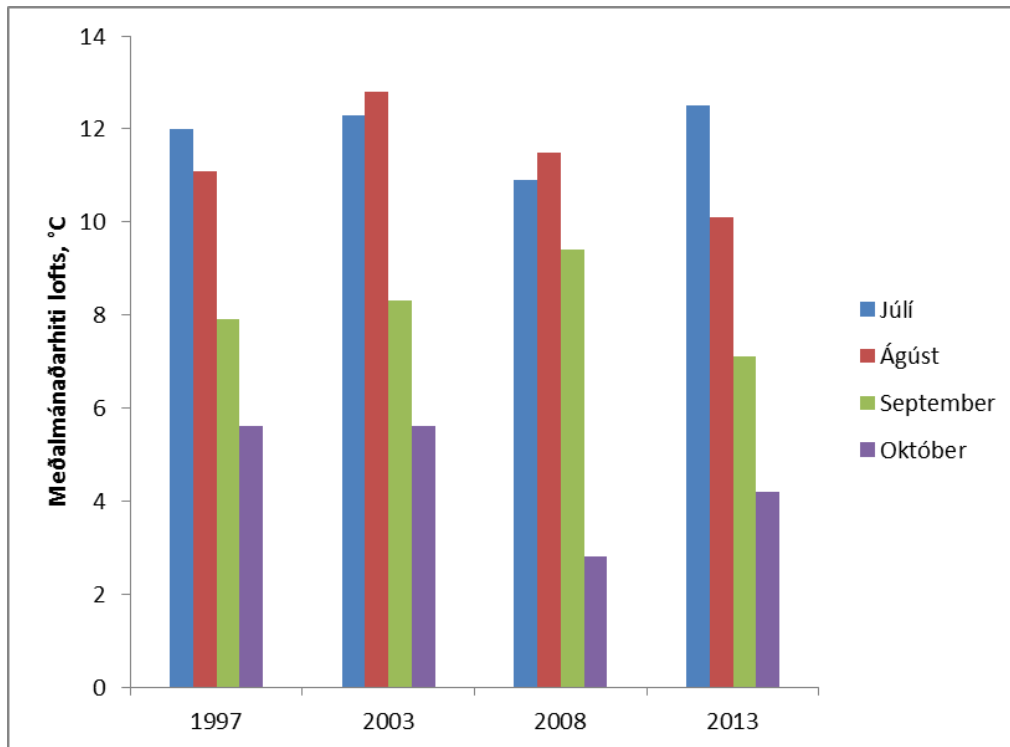
Mynd 7 Meðallengd kræklingssýna með 95% vikiörkum.

Að hluta til a.m.k. kann sjávarhiti að skýra hvers vegna kræklingurinn óx lítið 1997 og ekki 2013 því sjávarhiti í Reykjavík var marktækt lægri þessi ár en hann var 2008, sjá mynd 8. Ekki var marktækur munur í hitastigi tímabilanna 2013 og 1997 en bæði voru marktækt lægri en hitastig tímabilsins 2008. Ekki eru til gögn fyrir árið 2003 en góð fylgni er í meðalmánaðarsjávarhita og meðalmánaðarlofthita fyrir júlí-september árin 1997, 2008 og 2013 ( $r^2=0,85$ ) en meðalmánaðarlofthiti mánuðina júlí-september 2003 var hærri en öll hin þrjú árin, sjá mynd 9, sem bendir til að hitastig ráði mestu um vaxtarhraða kræklingsins í Straumsvík og Hvalfirði á ofangreindum tímabilum. Sjávarhiti gæti því verið skýring á mestum vexti 2003, því næst 2008 og lítinn vöxt 1997 og engan vöxt 2013.



**Mynd 8** Sjávarhiti í Reykjavíkurhöfn á rannsóknartímabilum kræklingrannsókna við Straumsvík 1997, 2008 og 2013. Gögn 1997 og 2008 voru fengin á vef Hafrannsóknastofnunar en hitastig 2013 af vef Faxaflóahafna.

Mynd 7 sýnir einnig lengdir fjörukræklinga. Mismunur milli sýna er þar talsverður og eru engin tvö sýni eins að undaskilinni lengd sýna í IV og V, sem voru ekki marktækt frábrugðin hvort öðru ( $p=0,11$  í tvíhliða prófun). 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 9 Lofthiti í Reykjavík á rannsóknartímabilum kræklingrannsókna við Straumsvík 1997, 2003, 2008 og 2013. Gögn fengin af vef Væðurstofu Íslands.

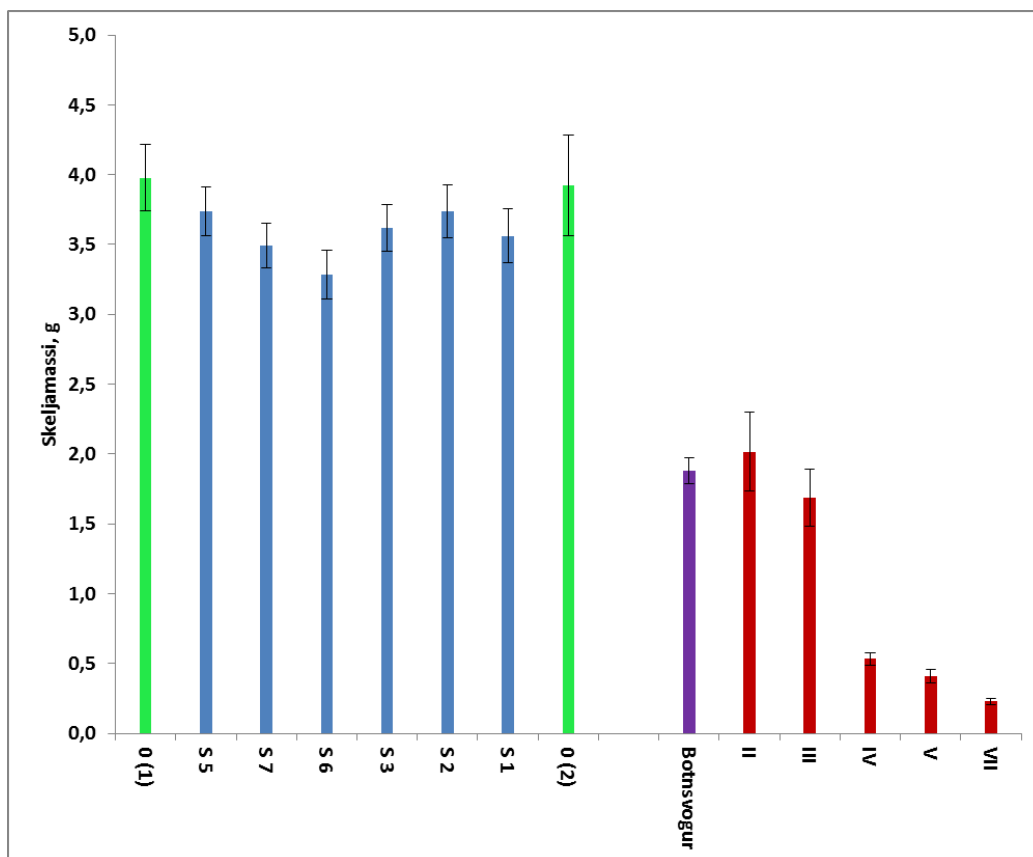
**Skeljamassi** kræklinga er sýndur á mynd 10. Er varðar búrsýnin kemur í ljós að bankinn helst óbreyttur á tímabilinu en sýnin undan álverinu minnka skeljamassa sinn marktækt um að meðaltali 11 %, þar sem stöð 6 er með minnstan skeljamassa (lækkar um 17 %). Þetta er óvanaleg hegðun en í rannsóknunum 1997, 2003 og 2008 óx þungi skelja eða 21 % að meðaltali 1997 (39% á stöð 1), 103 % að meðaltali 2003 og 48 % að meðaltali 2008.

2008 hafði þyngd skelja vaxið hlutfallslega meira en lengd þeirra en slíkt getur átt sér a.m.k. þrjár skýringar. Í fyrsta lagi má nefna að samlokur eins og ostra þykkja skel sína ef þær verða fyrir álagi vegna mengunar eins og t.d. lífrænna tinsambanda (85,86) en þykkt skelja er oft skoðuð þegar mengunarálag vegna t.d. málma (87) eða olíu er til athugunar (88). Í öðru lagi er þykking skeljar (ásamt sterkari samdráttarvöðva) álitin vera svar kræklinga við áreiti rándýra eins og t.d. krossfisks og krabba (89). Í þriðja lagi bregst kræklingur við aukinni ölduhreyfingu með því að auka þykkt skeljarinnar samfara lækkun í hlutfalli hæðar og breiddar (H/B) (90). Hlutföll hæðar og breiddar fyrir búrkræklinginn 2008 sýndi marktæka lækkun í kræklingnum utan við álverið miðað við banka í upphafi samfara marktækt aukinni skelþykkt (skelþunga/lengd), sem benti til meiri ölduhreyfingar í búrunum á stöðvunum utan við álverið 2008 en í Hvalfirði.

Nú bregður hins vegar svo við að skeljamassi minnkar/rýrnar við álverið og lengd gæti hafa orðið styttri á stöðvunum. Það gerist einnig nú að hlutfall hæðar og breiddar minnkar við álverið en mest í Hvalfirði, sjá mynd 11, en hlutfall massa skeljar og lengdar er sú sama á stöðvum við álverið en minnst í Hvalfirði í lokin, mynd 12. Mismunur milli aðstæðna milli ára kann að skýra þennan mun þó svo ástæðan sé ekki kunn. Ástæða fyrir þessum áhrifum kann að hafa verið til staðar fyrri ár en þar sem kræklingurinn óx fyrri ár hurfu áhrifin, þ.e. vöxtur var meiri en rýrnunin. Hins vegar eru dæmi um að skeljar rýrni og lengd styttest ef sýrustig sjávar lækkar, t.d. úr venjulegu sýrustigi sjávar (8-8,2 (úthaf við 35 % með 8,2)) í 7,4 með auknu CO<sub>2</sub> (102). Niðurstöður í þessari rannsókn eru þó aðeins vísbending og þyrfti málið frekari skoðunar við. Hins vegar hefur ferskvatnslagið framan við álverið minni

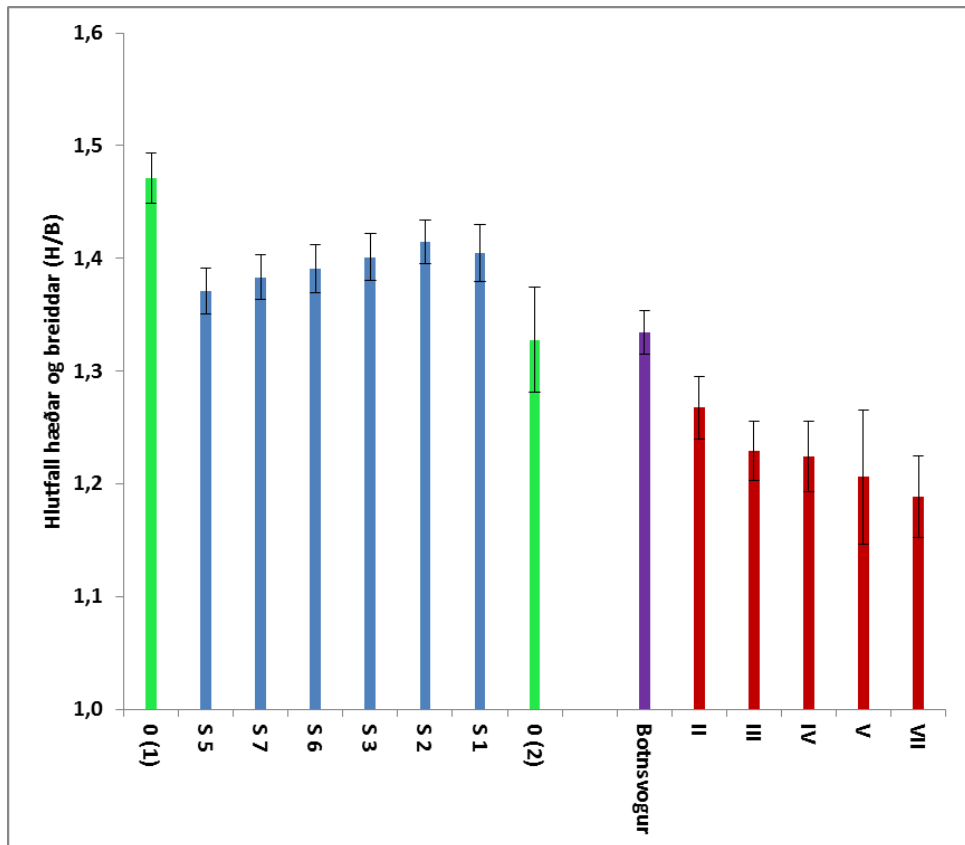
stuðpúðavirkni en sjór og gætu tiltölulega lítil ákoma sýru s.s. CO<sub>2</sub> og/eða SO<sub>2</sub> haft mikil áhrif á pH. Hærra hlutfall skeljamassa og lengdar samfara lægra hlutfalli breiddar og hær í bankanum í lokin í Hvalfirði bendir til meiri ölduhreyfingar í Hvalfirði en undan álverinu að þessu sinni.

Mynd 10 sýnir einnig skeljamassa kræklingssýna úr fjöru og má nú sjá talsvert mikinn náttúrulegan breytileika því örðugt var að velja krækling af einni ákveðinni stærð á þessum stöðvum. Myndir 11 og 12 sýna einnig hærra hlutfall skeljamassa og lengdar og minna hlutfalla breiddar og hæðar fjörukræklinga en í búkræklingi, sem bendir til meiri áhrifa öldu í fjöru en í búrum en hreyfingar öldu í fjöru eru þekktar fyrir að valda þykkari skel en skel kræklinga neðan stórstraumsfjöru (61).

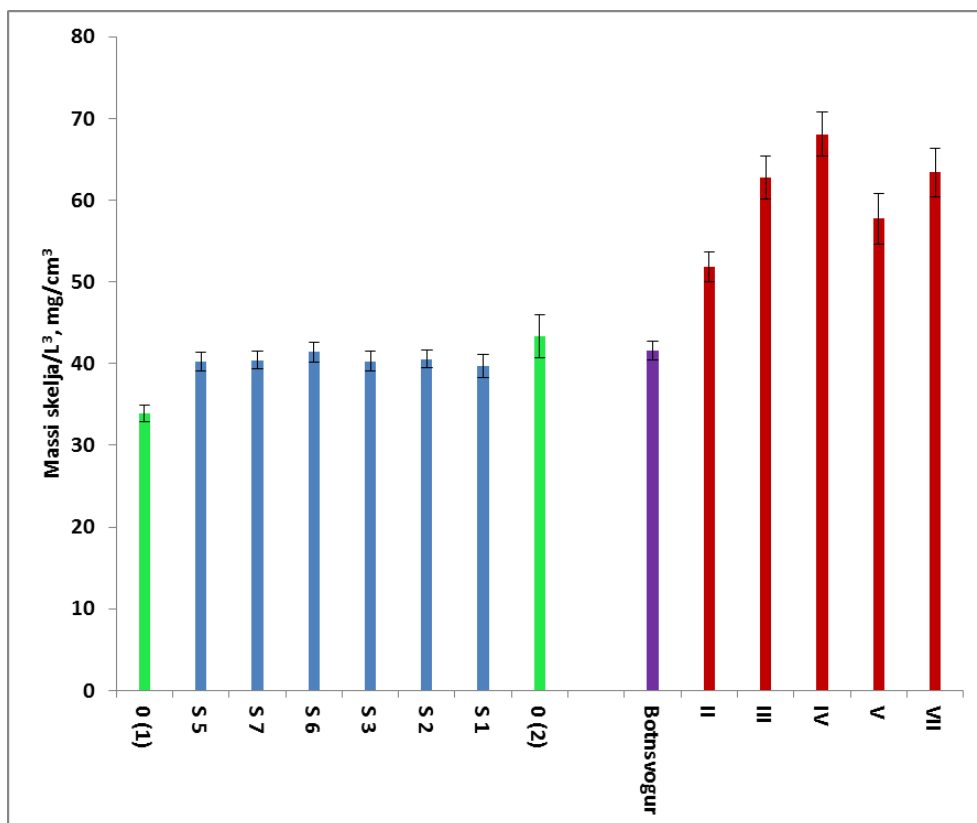


Mynd 10 Meðalskeljamassar kræklingssýna úr búrum með 95% vikmörkum.





Mynd 11 Hlutfall hæðar og breiddar í kræklingi með 95% vikiörkum.



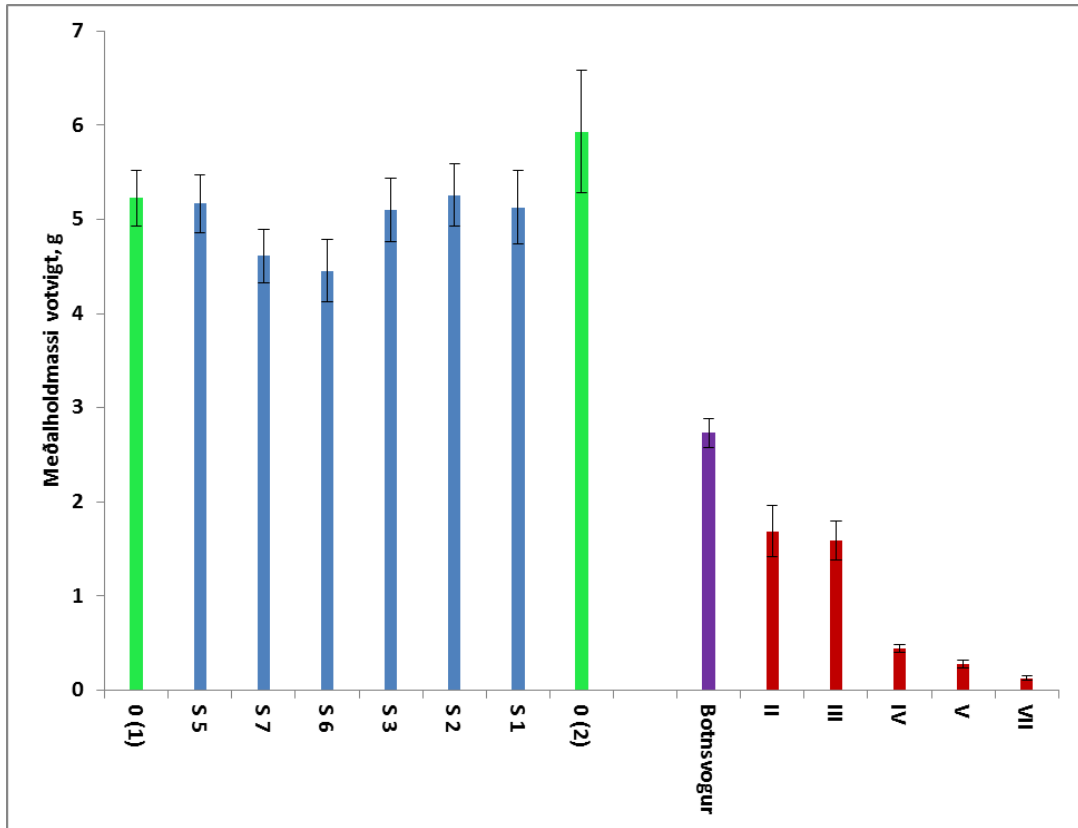
Mynd 12 Hlutfall skeljamassa og lengdar með 95% vikiörkum.

**Mjúkvefur** Þar sem allar mælingar fara fram á holdi kræklingssins er ástæða til að líta nánar á mjúkvefinn en aðallega þarf að huga að þurrþyngdinni því breytileiki getur verið í votþunga kræklingssins s.s. vegna mismikils magns af sjó við frystingu. Mynd 13 sýnir holdþunga kræklingssýna úr búrum og úr fjöru og heldur holdmassi sér á öllum búrstöðvum nema á stöðvum 6 og 7 en banki í Hvalfirði virðist vaxa í holdþunga. Í rannsókninni 2008 óx mjúkvefur um að meðaltali 41 % en í rannsókninni 2003 óx mjúkvefur kræklingssins undan álverinu um 82% að meðaltali en um 70 % í banka. Breytileiki í vexti var hins vegar umtalsvert meiri 2003 en 2008 eða frá 32 % í 115%. 1997 var vöxtur í mjúkvef einnig breytilegur en að meðaltali um 16 % (0-52%) en bankasýni óx ekki. Af þessum sökum getur verið erfitt að bera beint saman rannsóknir á milli ára og sýnir mikilvægi þess að hafa bankaviðmiðun í upphafi og lok hverrar rannsóknar.

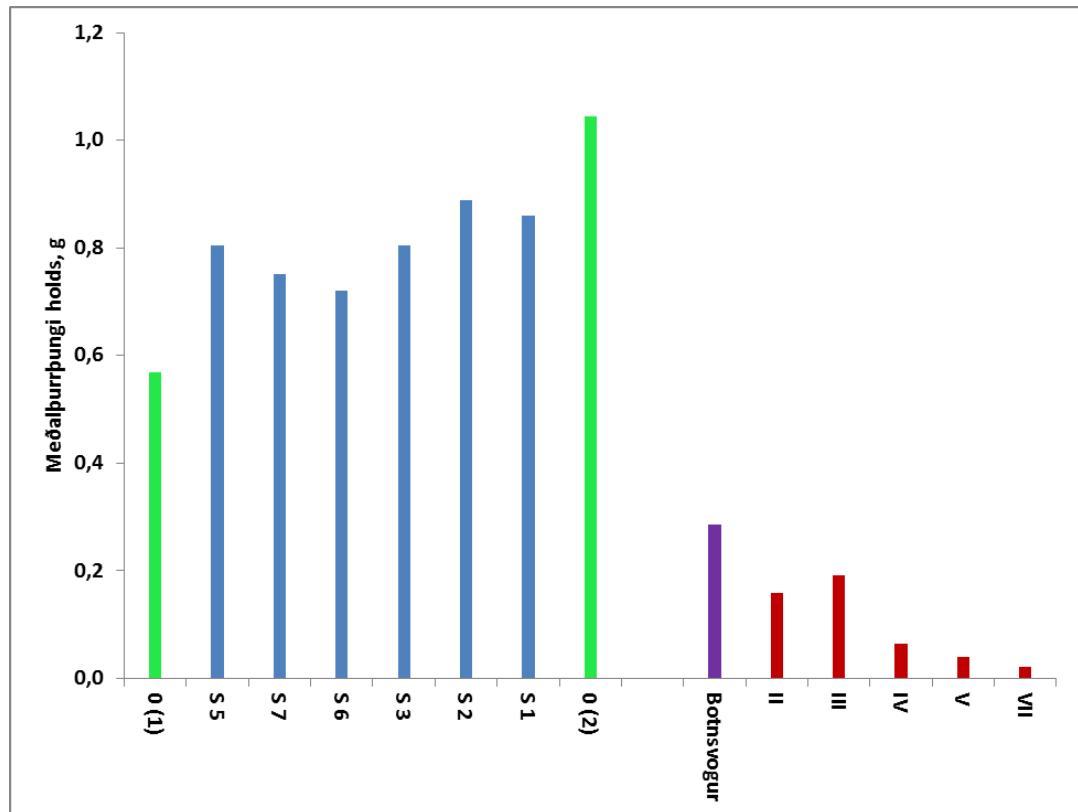
Mynd 13 sýnir einnig holdmassa kræklingssins úr fjöru og sýnir vel hve smár kræklingurinn var úr fjöru, sérstaklega á stöðvum IV, V og VII. Í ljósi þess að aðeins fáir einstaklingar náðust á þessum stöðvum (20-37), þá náðist ekki efniviður til að mæla alla efnabætti í þessum þremur sýnum. Holdvotþungi kræklingssins úr búrum er hlutfallslega meiri en kræklingssins úr fjöru eins og vænta mátti þar sem lífsskilyrði eru talsvert betri í búrum.

Mynd 14 sýnir þurrþyngd mjúkvefs kræklingssins úr búrum og úr fjöru. Miðað við banka í upphafi vex kræklingurinn í búrum um 12 % (-4 % í 33 %) en bankinn í Hvalfirði vex um 120 %. Miðað við banka í upphafi óx kræklingurinn um 26 % 2008 en árið 2003 var vöxturinn hins vegar umtalsvert meiri í búrunum undan álverinu eða 174% að meðaltali eða frá 80% í 260%. 1997 óx þurrþyngd búrkræklingssins ekki að meðaltali en -16 % til 30 % fyrir einstök búr.

Mynd 14 sýnir einnig þurrþyngd kræklingssins af fjöru og má sjá að þurrþyngd kræklingssins af fjöru er talsvert minni en úr búrunum í lok tilraunar. Kemur hér aðallega til minni möguleikar kræklingssins 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 við að bera saman styrk aðskotaefna beint á milli fjöru- og búrkræklingssins.



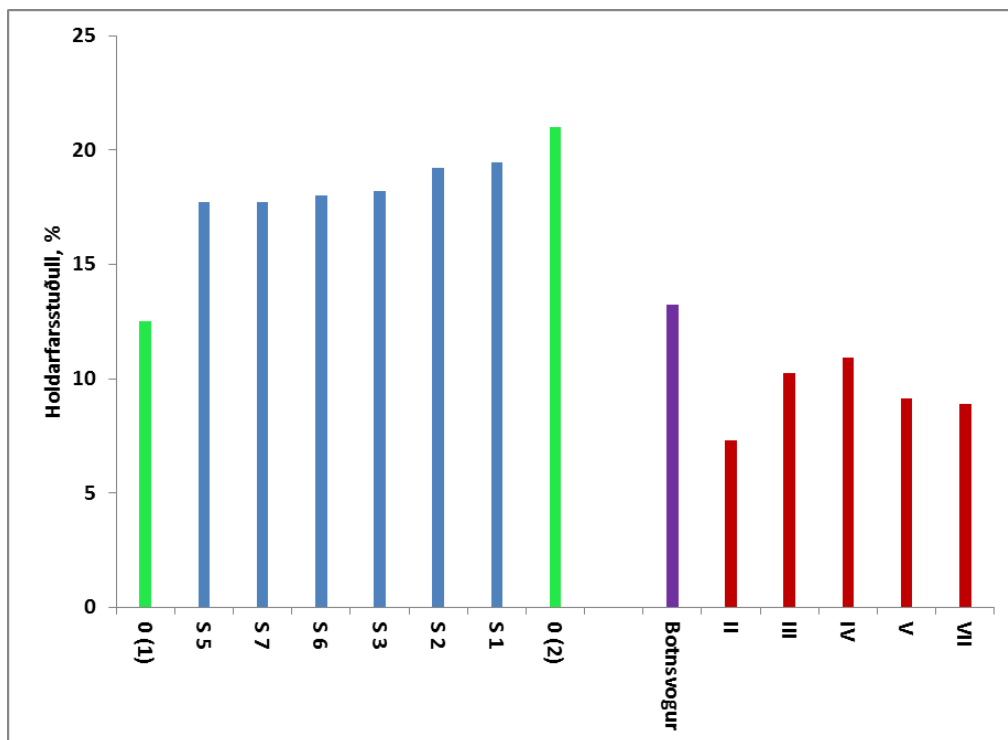
Mynd 13 Votþungi (meðaltal) holds í kræklingssýnum úr búrum með 95%-vikiörkum.



Mynd 14 Þurrþyngd holds í kræklingssýnum úr búrum þar sem reiknað var með meðalholdmassa.

**Holdarfarsstuðull** sem hlutfall þurrþyngdar mjúkvöðva og heildarþurrþyngdar er sýndur á mynd 15 og sést að fjörukræklingurinn er með um 55% af holdarfarsstuðli búkræklingsins. Holdarfarsstuðull búrsýnanna er 17,7-19,5 %. Sjá má vöxt í holdarfarsstuðli kræklingsins undan álverinu um 47 % að meðaltali en 68 % í bankanum.

Holdarfarsstuðull kræklings fyrir framan álverið var marktækt 13 % minna en í viðmiðun í byrjun árið 2008 og kom þar m.a. til hlutfallslega meiri skelþungi vegna ölduhreyfingar það ár (holdarfarsstuðull um 15%). Holdarfarsstuðull búkræklingsins 2003 var hins vegar umtalsvert betra en önnur ár eða á bilinu 20-25% fyrir búkrækling og viðmiðunarkrækling en það ár var vöxtur í holdarfari að meðaltali um 16 % næst ströndu (sambærilegar stöðvar og nú 2013) en 19 % í bankanum. Holdarfarsstuðull fjörukræklings var um 10 % 2003, sama og 2013, en var um 8 % 2008. Árið 1997 var ekki marktæk aukning í holdarfarsstuðli búkræklings, hvorki undan álverinu né í banka, en holdarfarsstuðullinn þá var mjög lágur eða um 10 % eða ekki óáþekkt fjörukræklingnum 2013 og 2003.



Mynd 15 Holdarfarsstuðull kræklingssýna (þurrþyngd mjúkvöðva sem hlutfall af heildarþurrþyngd).

**Meginefnaþættir** eru uppgefnir í töflu í viðauka III. Meginefnaþættir eru mældir sem stöðþættir við mat á niðurstöðum snefilefnamælinga.

#### 4.1.2 Samantekið um líffræðilega formþætti

Vöxtur er háður miklum fjölda breyta (62,63,85) og án þess að þekkja raunverulegar orsakir mismunar verður túlkun mjög örðug. Mikilvægt er hins vegar að þekkja vel þær breytur sem ræddar hafa verið að ofan og taka tillit til náttúrulegs breytileika sem lýst hefur verið við túlkun á gögnum um mengunarefni, bæði í þessari rannsókn og þeim sem síðar kunna að verða gerðar. Þekkt er að þessi breytileiki getur gert túlkun örðuga (64).

Helstu breytingar í fjórum forþáttum miðað við banka í upphafi eru teknar saman í töflu 5 til samanburðar við fyrri rannsóknir.

**Tafla 5 Meðaltalsbreytingar (%) í forþáttum búkræklings undan álverinu í Straumsvík miðað við búr í upphafi rannsóknar í Hvalfirði.**

Ár	Lengd	Skeljamassi	Þurrþungi holds	Holdarfarsstuðull
1997	3	21	0	0
2003	21	103	174	16
2008	9	48	26	-13
2013	0	-11 (-6 til -17)	12	47

Tafla 5 sýnir að mjög mikill munur er á milli ára í vaxtarskilyrðum kræklingsins. Er varðar lengd var ekki um vöxt að ræða 2013 og bendir fylgni vaxtar og sjávarhita til að sjávarhiti skýri mismun milli ára. Skeljamassa reyndist nokkuð óvænt vera minni í búrunum undan álverinu en ekki í bankanum í Hvalfirði. Vera kann að ástæða rýrnunar hafi verið til staðar í fyrri rannsóknum en vöxturinn ávallt vegið meira. Þetta er athyglisverð niðurstaða en krefst frekari rannsókna ef finna á óyggjandi skýringu á þessari óvanalegu hegðun. Mjúkvefur vex hins vegar í búkræklingnum sem bendir til að hann hafi haft nokkuð viðurværi og reynist holdarfarsstuðull hafa vaxið meira 2013 en í fyrri rannsóknum, þ.e. kræklingurinn hefur eytt orku í holdvöxt.

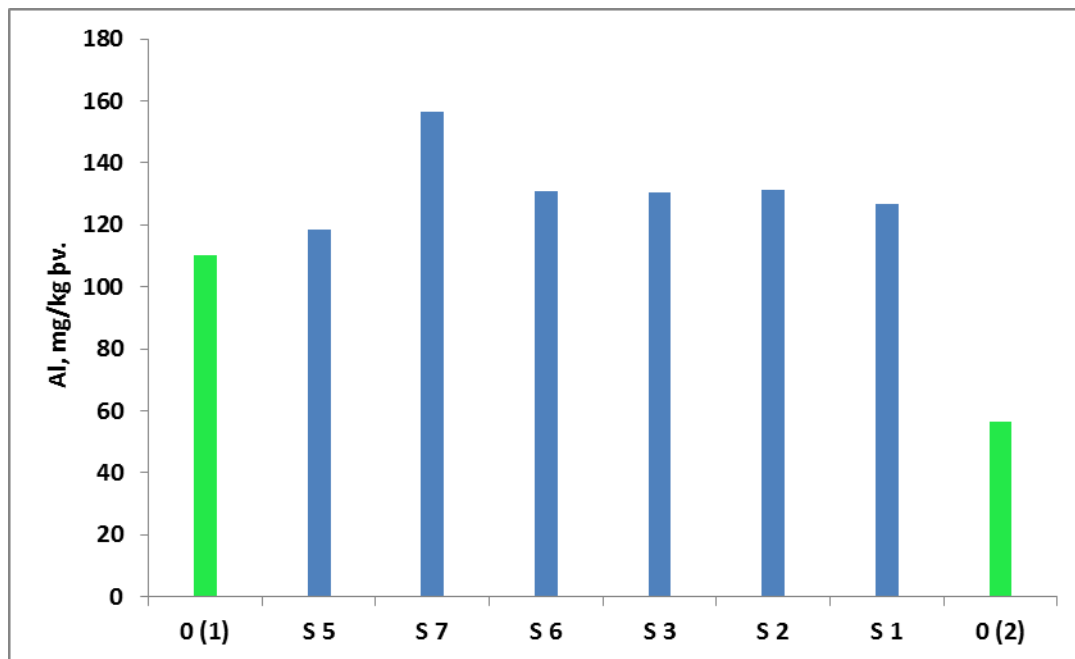
Í rannsókninni 2003 hafði kræklingur næst ströndu við álverið að meðaltali litlu en marktækt síðra holdarfar en kræklingurinn á ytri búrunum en það átti ekki við 2008. Við úrvinnslu gagnanna úr rannsókninni 2003 var sleginn sá varnagli að ekki væri unnt að draga þá ályktun að sýnin framan við verksmiðju væru undir áhrifum verksmiðjurekstrarins er varðar vaxtarmöguleika (1a) og sannreynði rannsóknin 2008 að kræklingurinn næst ströndu bjó við svipuð skilyrði að þessu leyti og kræklingurinn fjær verksmiðjusvæðinu.

## 5. NIÐURSTÖÐUR MÆLINGA Á ÓLÍFRÆNUM SNEFILEFNAPÁTTUM

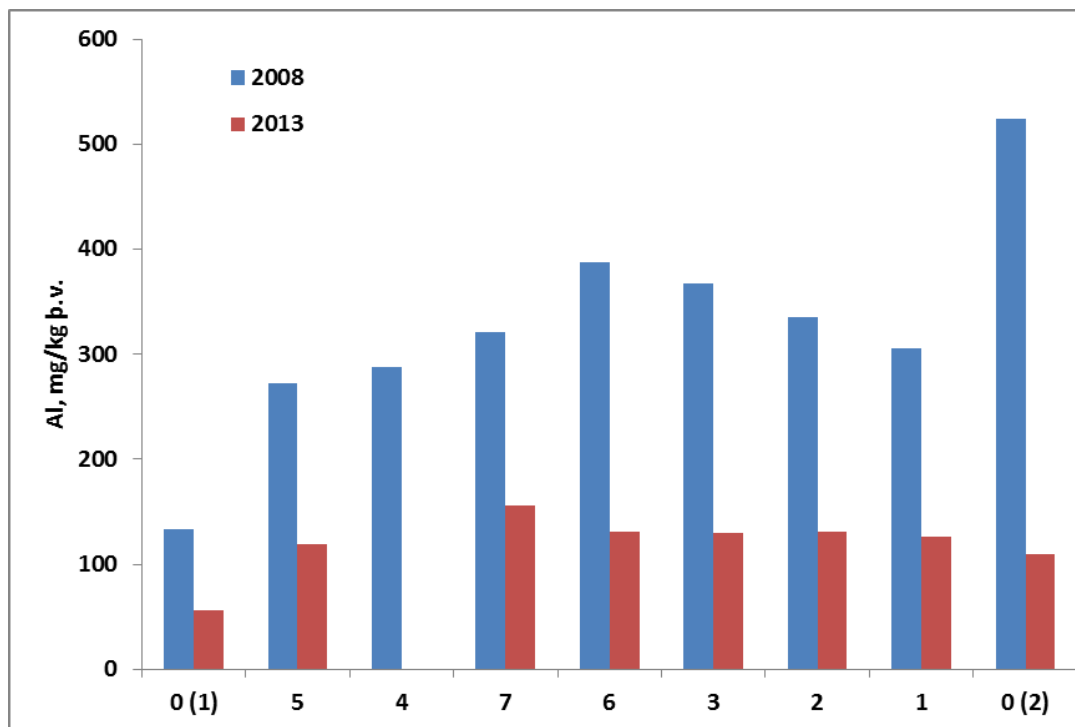
Allar niðurstöður mælinga á ólífrænum snefilefnum er að finna í viðauka IV.

### 5.1 Ál

Ál var fyrst mælt í kræklingi við Straumsvík 2008. Mynd 16 sýnir styrk áls í kræklingi í búrunum á þurrvigtagrunni. Styrkur áls virðist hækka um 20 % í búrunum meðan á eldi stóð við álverið en þessi hækkun er ekki marktækt. Hins vegar lækkar styrkur í bankanum um helming en magn í hverjum einstaklingi breytist þó ekki en það gerir magn í hverjum einstaklingi í búrunum eða um 75 %. Ekki eru til umhverfismörk fyrir ál í kræklingi né hámarksgildi fyrir ál í kræklingi eða öðrum matvælum. Agnir af botni geta innihaldið talsvert af áli, gjarnan bundið steindum og lífrænu efni, og því getur mikill munur verið á kræklingi af ströndu og af baujum, sérstaklega ef kræklingur úr fjöru er ekki látinn tæma sig í hreinum sjó fyrir mælingar. Auk þess benda rannsóknir til að ferskvatn hækki styrk áls í kræklingi (93) og þau áhrif ættu að verða því meiri sem vatnið er súrara. Fyrir utan hugsanlega mengun frá álverinu getur því ál verið bendiefni á áhrif af seti, sem rötast upp af botni, eins og um verður fjallað síðar fyrir t.d. króm, nikkell, kóbolt, járn og mangan, en einnig vegna ferskvatnsáhrifa sem geta verið umtalsverð í Hraunssvík undan álverinu (70) og liggur ferskvatnslag ofan á sjónum í um 1-2 m lagi (71) en þessi áhrif geta verið mjög breytileg á stöðvunum á milli ára.



Mynd 16 Styrkur áls í búrkraeklingi á þurrvigtargrunni.



Mynd 17 Styrkur áls í búrkraeklingi á þurrvigtargrunni 2008 og 2013.

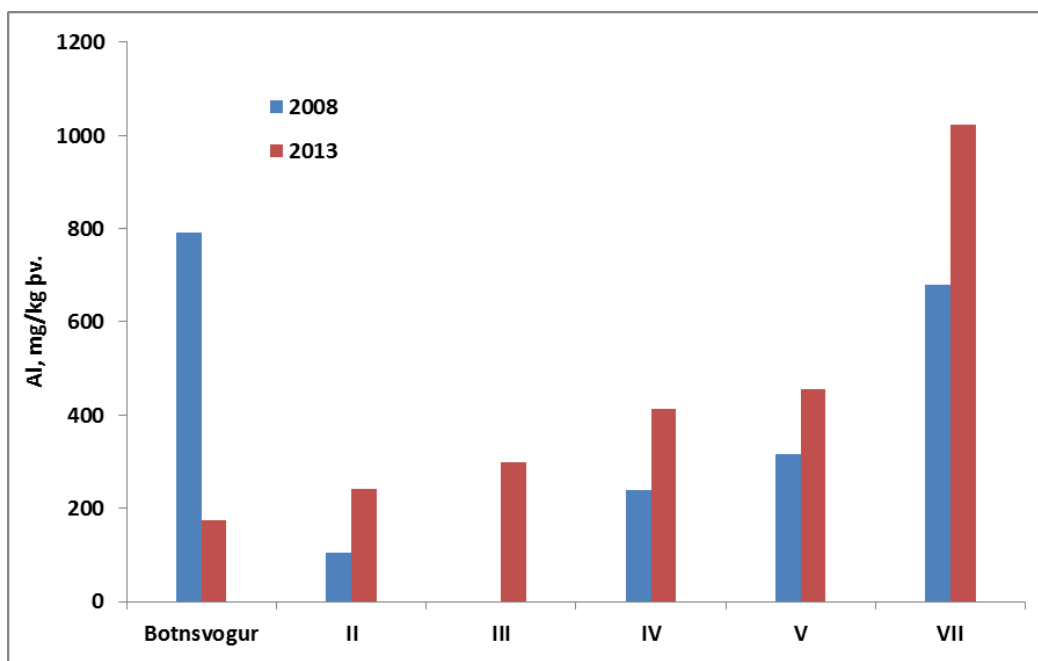
Ein heimild um ál í kræklingi til manneðis í Slóveníu gefur álstyrkinn  $330 \pm 5$  mg/kg þurrvigt (eitt safnsýni) (92) en það er sama gildi og meðaltal kræklinga í búrunum 2008 við álverið eða  $318 \pm 50$  mg/kg þurrvigt fyrir öll 14 sýnin en 2,5-falt hærra en mælist 2013:  $132 \pm 31$  mg/kg þurrvigt, þ.e. álstyrkurinn 2013 er umtalsvert lægri en hann var 2008, sjá mynd 17. Heimildir um ál í kræklingi (*Mytilus californianus*) við San Quintin Flóa við Mexíkó sýna mjög breytilegan styrk eftir árstíðum vegna ferskvatnsáhrifa eða frá 100 mg/kg þv (júní) í 550

mg/kg þv. (janúar) en þar jókst álstyrkur einnig með hitastigi sjávar (93) en frá sömu slóð hafa fengist niðurstöður frá 17 mg/kg þv. í 990 mg/kg þv. (106). Rannsókn á svipuðum slóðum, aðallega í Kaliforníuflóa, sýndi að ál breyttist ekki með stærð kræklinga, ólíkt því sem gerist í þessari og fyrri rannsókn 2008, og styrkur áls reynist yfirleitt á bilinu 200-400 mg/kg þv en í botni Kaliforníuflóa reyndist hann 600-1000 mg/kg þv (94). Kræklingur af botni, sem safnað var sumarið 1988 í Bellevue á Nýja Sjálandi, var látinn hreinsa sig í 3 sólarhringa áður en hann var unnin til mælinga, og hafði hann álstyrk á bilinu 4,2-93,3 mg/kg þv (n=69) (95).

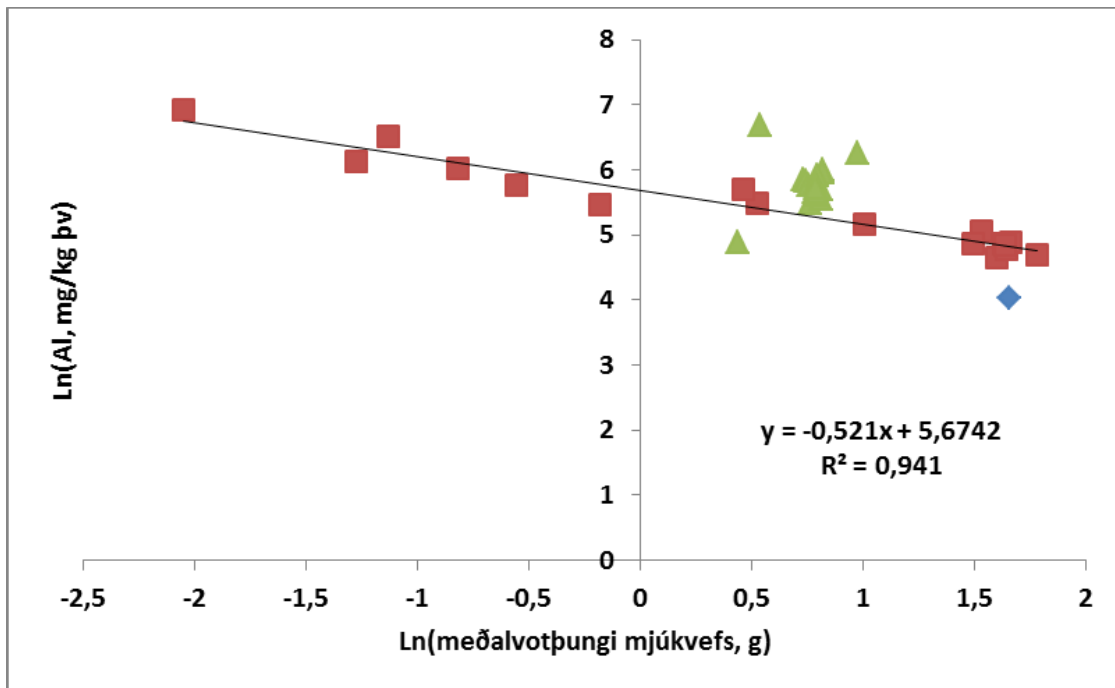
Mynd 18 sýnir styrk áls í kræklingi af ströndu og má sjá að styrkur áls vex frá vestri til norðausturs við Straumsvík eins og hann gerði 2008. Ólíkt búkræklingi er styrkurinn hærri 2013 en hann var 2008 (að Botnsvogi undanskildum). Í þriðja lagi er styrkur í kræklingi úr fjöru umtalsvert hærri en í búrsýnum bæði 2008 og 2013. Styrkur áls er mjög háður þyngd mjúkvefs kræklinga, sjá mynd 19. Styrkur áls lækkar með þyngd og að teknu tilliti til þyngdar mjúkvefs er enginn munur á styrk áls í öllum sýnum 2013 (bæði búr og fjara) að banka í lokin undanskildum (sem er lægri, mynd 16). Ekki er heldur marktækur munur milli búrsýna og fjörusýna. Að teknu tilliti til þyngdar er heldur ekki munur á fjörusýnum 2008 og 2013 en flest búr 2008 eru nokkuð hærri en önnur sýni, sjá mynd 19. Einnig var mjög góð jákvæð fylgni á milli álstyrks á fjörustöðvunum 2008 og ösku ( $r^2=0,98$ ), sem bendir sterklega til að ál sé að mestu kominn úr setögnum og verður hlutfallslega meira er kræklingurinn verður minni. M.ö.o. ástæða hækkunar er farið er frá vestri til norðausturs í fjörukræklingi kemur eingöngu til af minnkaðri stærð kræklinga frá vestri til norðausturs.

Fjörukræklingur við álverið reynist með styrk á bilinu 55-1025 mg/kg þurrvigt (2008 og 2013), þar sem breytileiki kemur aðallega til af stærð.

Í ljósi þessa og styrks í viðmiðun má draga þá ályktun að kræklingur í búrum og í fjöru við álverið er ekki undir áhrifum áls frá verksmiðjurekstri.



Mynd 18 Styrkur áls í fjörukræklingi á þurrvigtargrunni.



*Mynd 19 Samband álstyrks og þyngdar mjúkvöðva allra búr- og fjörukræklinga 2008 og 2013. Grænir punktar eru búr 2008 en blár punktur er búrviðmiðun í lokin í Hvalfirði 2013, 0(2).*

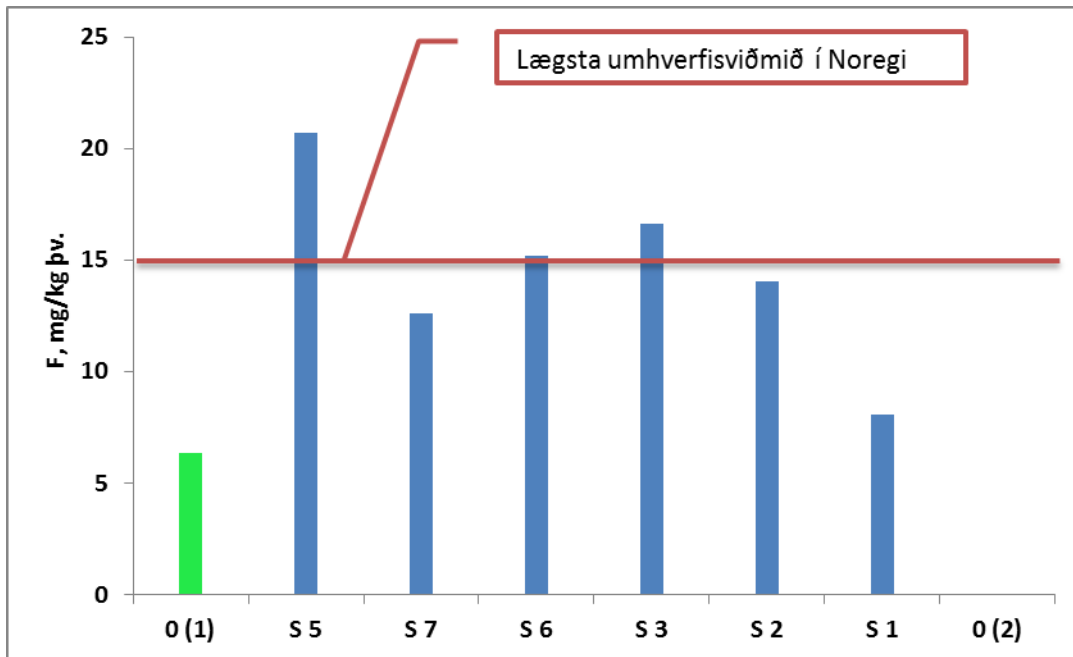
## 5.2 Flúor

Mynd 20 sýnir niðurstöður mælinga á flúor í búrkræklingi á þurrefnisgrunni (mæling á flúor í kræklingi af bankasýni í lokin náðist ekki vegna smæðar sýnisins). Í ljós kemur að kræklingurinn í búrunum er marktækt hærri en í viðmiðun í upphafi, 0 (1). Fjögur sýnanna er við eða hærri en lágsta umhverfisviðmiðun í Noregi kveður á um (49) en styrkur undir þeim mörkum er álitinn einkenna lítið eða ekki menguð svæði. Ef niðurstöður fyrir 2013 eru bornar saman við fyrri ár, mynd 20, kemur í ljós að 2003 var ekki marktækur munur á milli bankasýna og búrana undan álverinu en ekki er munur á styrk flúors 2008 og 2013 á stöðvunum en þessi ár er styrkurinn marktækt og 50 % hærri en 2003. Hærri styrkur flúors 2008 og 2013 gæti bent til uppleysingarinnar á skelinni en skelin getur af náttúrulegum ástæðum innihaldið talsverðan flúor (103), sjá nánar um vanadín í 5.10. Munurinn er tiltölulega lítill í ljósi breytileika niðurstaðna og er styrkurinn þessi þrjú ár ekki marktækur á votvigtargrunni. Að lokum má nefna að ferskvatnsáhrif geta einnig haft áhrif á styrk flúors í kræklingnum en á 1 m dýpi hans gætir ferskvatns í Hraunsvík (71) en sjór hlutleysir auðveldlega flúor með fellingu hans með t.d. Ca og Mg, þ.e. ef kræklingurinn væri ekki í sjó undir ferskvatnsáhrifum væri styrkur flúors líklegast lægri. Greina má tilhneigingu til lækkunar styrks er farið er frá vestri, stöð 5, til norðausturs, stöðvar 1, en stærð kræklinga hefur ekki áhrif á styrk flúors eins og í tilviki t.d. áls.

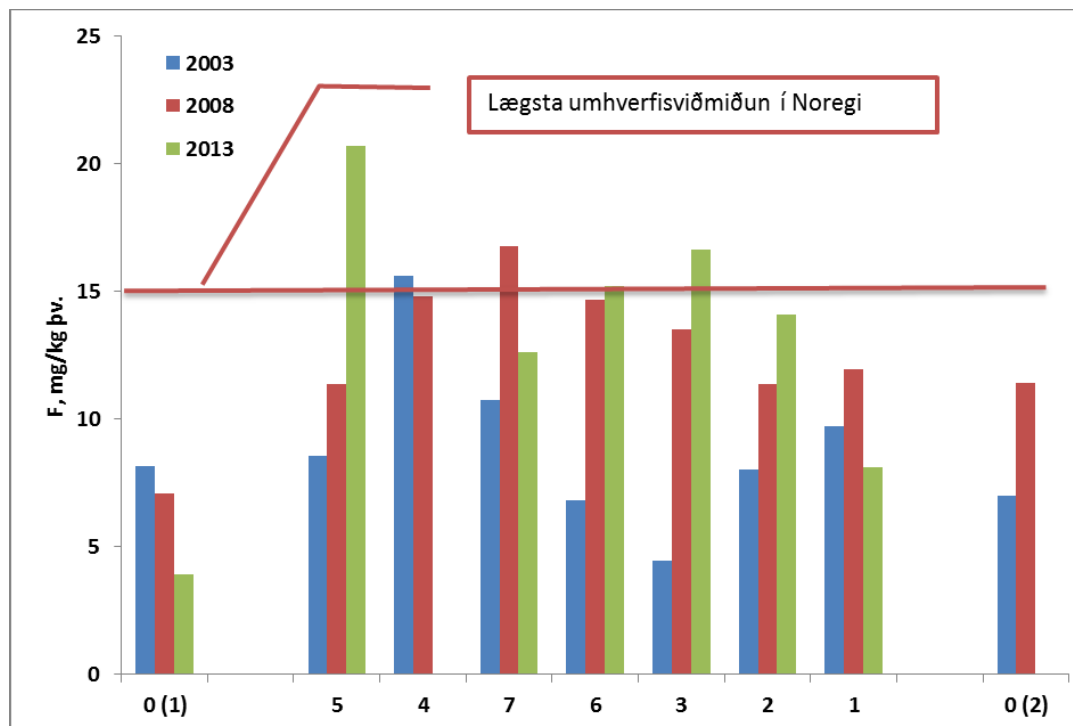
Í rannsókninni 1997 var flúor mældur í skelinni og því er ekki hægt að bera niðurstöður þess árs saman við niðurstöður 2003, 2008 og 2013.

Sýni úr fjöru voru það lítil að efnismagnið dugði ekki til mælinga á flúor.





*Mynd 20* Styrkur flúors í búrkræklingi á þurrvigtargrunni ásamt lægstu umhverfisviðmiðun fyrir flúor í kræklingi í Noregi en styrkur undir þeim mörkum eru talin einkenna lít eða ekki menguð svæði (49).



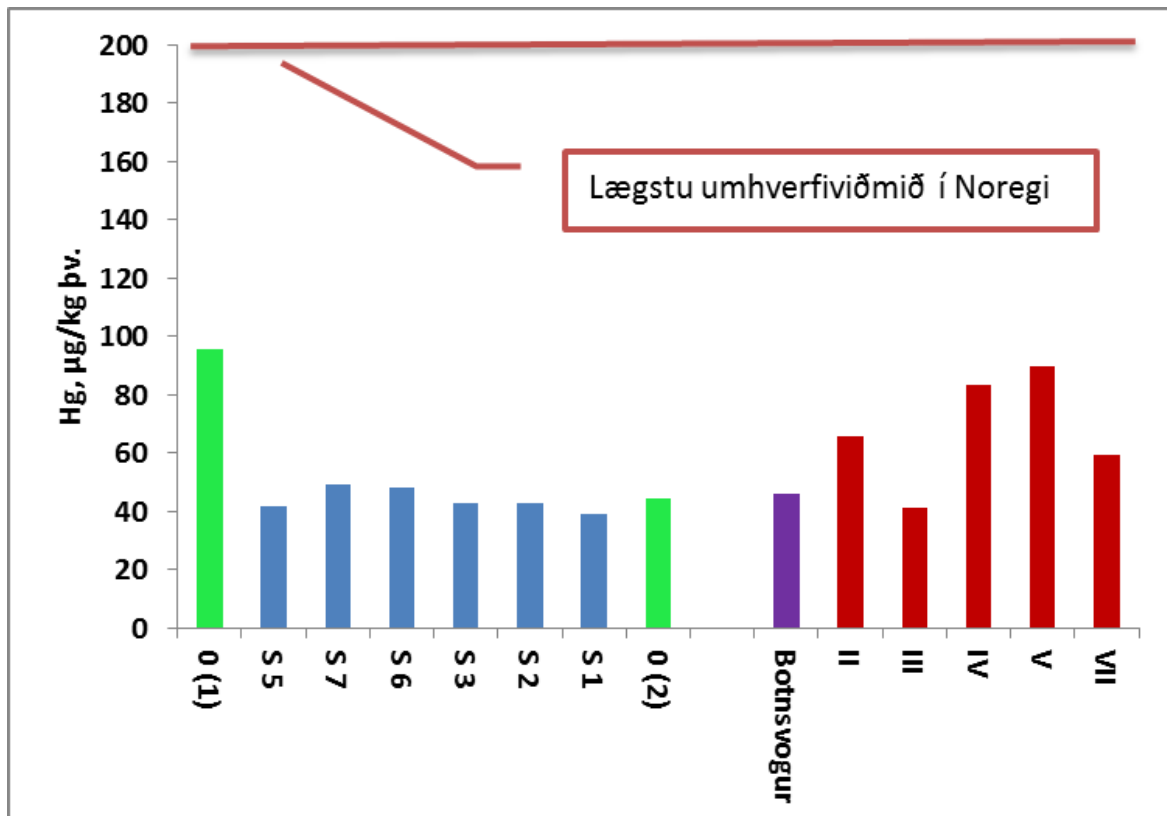
*Mynd 21* Styrkur flúors í búrkræklingi á þurrvigtargrunni 2003, 2008 og 2013 ásamt lægstu umhverfisviðmiðun fyrir flúor í kræklingi í Noregi (49).

Samantekið má því segja um flúor í sýnum 2013 að áhrif verksmiðjurekstrarins ná út að u.þ.b. 50 m frá landi og eru um þrefalt það sem mælist í viðmiðun við Kattarhöfða í Hvalfirði. Rannsóknirnar 2003 og 2008 sýndu að lengra út náðu áhrifin ekki enda fellir Ca og Mg sjávar auðveldlega út flúoríð.

### 5.3 Kvikasilfur

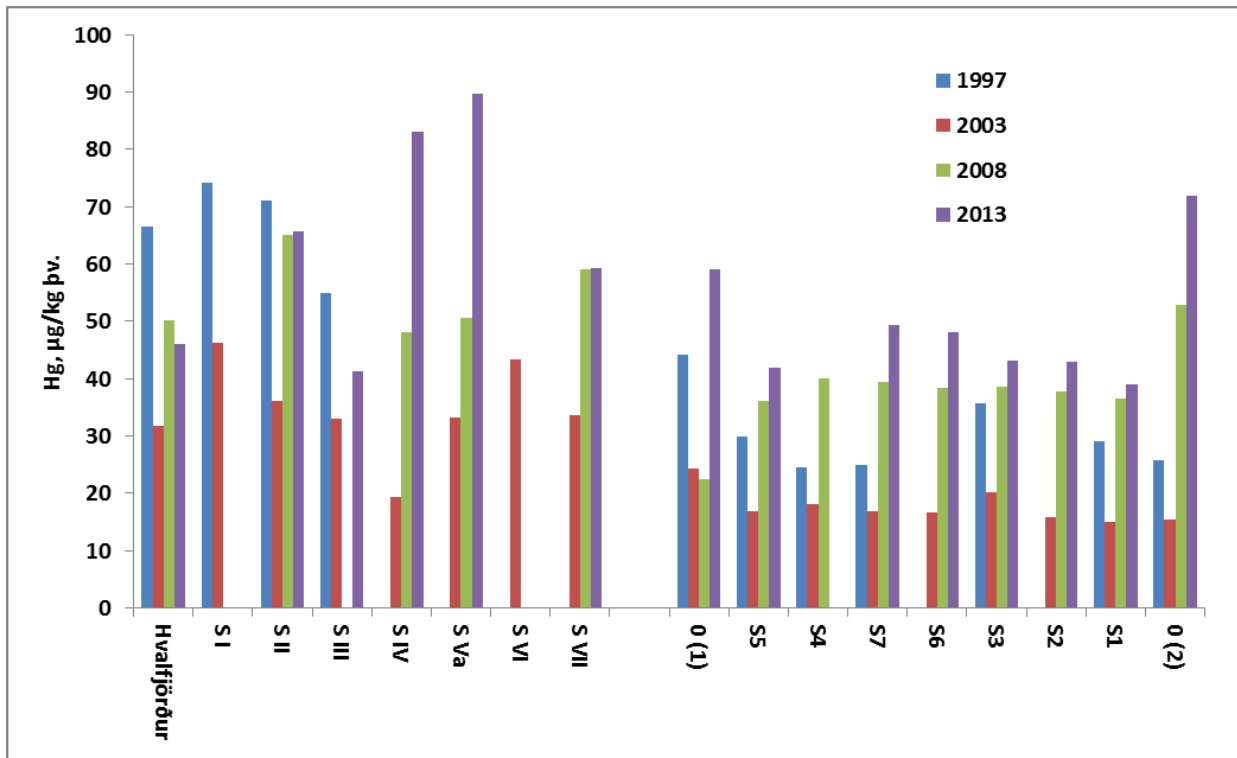
Mynd 22 sýnir styrk kvikasilfurs í kræklingi úr búrum á votvigtargrunni og má þar sjá að styrkur kvikasilfurs er um 40-falt lægri en lægstu umhverfisviðmiðunargildi í Noregi fyrir krækling (49). Hámarksgildi fyrir krækling (og fisk almennt) til manneldis er 500  $\mu\text{g}/\text{kg}$  votvigtar (97), sem er um 100-falt herra en sá styrkur sem mælist í búrkræklingnum.

Ekki er marktækur munur á styrk kvikasilfurs í kræklingnum í búrunum og banka í lokin en viðmiðunarbúr í Hvalfirði hefur helmingast í styrk. Magn í hverjum einstaklingi hefur ekki bresyt í Hvalfirði en magn í hverjum einstaklingi undan álverinu er hins vegar minna en í Hvaslfirði eða um 70 % af Hvalfjarðarkræklingnum. Þó svo nokkur sýni í fjörukræklingi séu hærri en vðmiðun í Botnsvogur, þá eru þau að meðaltali ekki marktækt hærri.



Mynd 22 Styrkur kvikasilfurs í búr- og fjöru kræklingi á votvigtargrunni ásamt lægsta umhverfisviðmiðunargildi í Noregi (49).

Mynd 24 sýnir styrk kvikasilurs í búr- og fjörukræklingi á þurrvigtargrunni fyrir árin 1997, 2003, 2008 og 2013. Mikill breytileiki er í gögnunum, sérstaklega á milli ára. Er varðar búrin undan álverinu er marktækur munur milli allra árunna en er varðar fjörukræklinginn eru árin 1997, 2008 og 2013 eins en 2003 sýnir marktækt lægri styrk, sjá myndir 25 og 26.

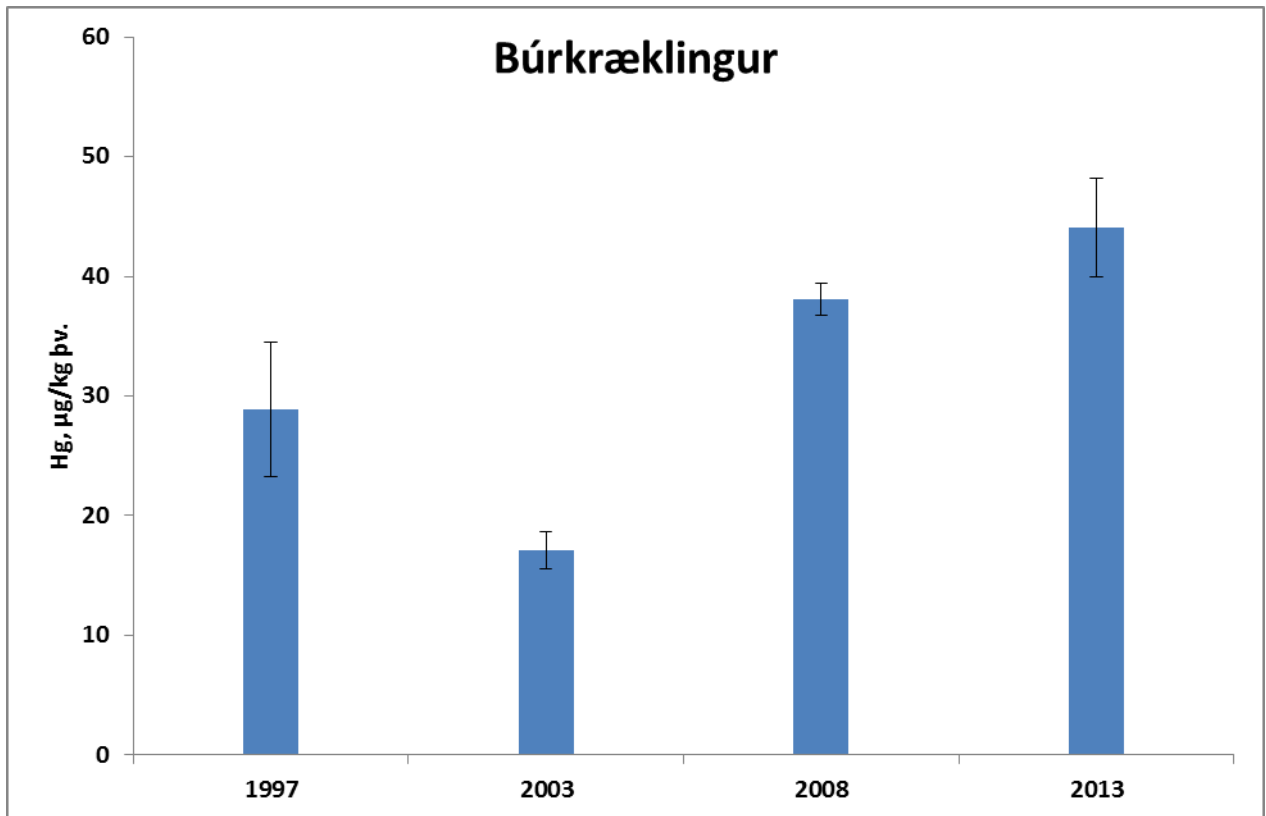


Mynd 24 Styrkur kvikasilfurs í búr- og fjörukræklingi á þurrvigtargrunni 1997, 2003, 2008 og 2013.

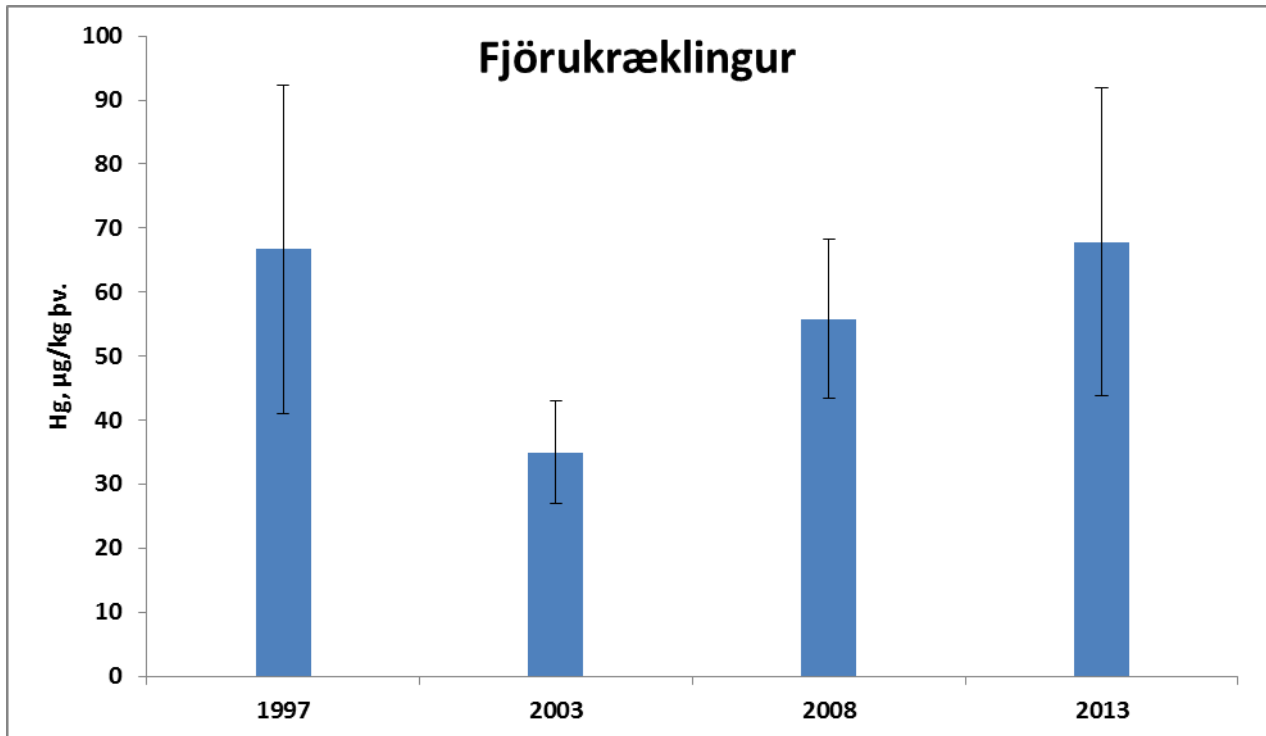
Ferskvatnsrennsli er umtalsvert í Straumsvíkina sjálfa og undan álverinu (70) og liggur ferskvatnslag ofan á sjónum í um 1-2m lagi (71). Þetta ferskvatn gerir túlkun gagnanna örðuga því það getur haft mikil áhrif í þá veru að hækka eða lækka styrk margra snefilefna í lífverum. Hækkun getur kимиð til af því að sérstaklega klóríð sjávarins bindur mörg snefilefnanna og hindrar þannig upptöku þeirra í lífverur og á þetta m.a. við um kvikasilfur. Einnig getur þetta minnkað metýleringu kvikasilfurs en metýlkvikasilfur er það form sem lífmagnast. Ekki verður útilokað að þetta kunni að vera ástæða breytileika í styrk kvikasilfurs í kræklingi milli ára. Hér kemur einnig til að niðurstöður vöktunar við álverið í Straumsvík og fjöldi rannsókna frá öðrum stöðum við Ísland sýnir að styrkur kvikasilfurs á þurrefnisgrunni hefur ríka tilhneigingu til að lækka með þyngd mjúkvöðva og þurrefnisinnihaldi kræklinga (98).

Til að einfalda samanburð á milli ára má skoða meðaltöl búrana undan álverinu annars vegar og fjörukræklinginn hins vegar, myndir 25 og 26. Sýna þær talsverða fylgni á milli þess sem mælist í fjörukræklingi og þess sem mælist í búrunum.

Stór gagnagrunnur, NS&T-gagnagrunnurinn (National Status and Trends Program), hefur verið útbúinn af NOAA fyrir bandarískan krækling af viðmiðunarstöðum, þ.e. ekki af menguðum svæðum (66) en slíkir gagnagrunnar eru einnig til fyrir franskir niðurstöður og heiminn allan (66) og byggst hefur upp íslenskur gagnagrunnur fyrir krækling af stórstraumfjöru (1b, 98). Samantekið má fullyrða að kræklingurinn við Straumsvík er mjög lágur í kvikasilfri samanborið við bæði innlenda og erlenda gagnagrunna og engin áhrif af iðnaðarrekstrinum greinanleg.



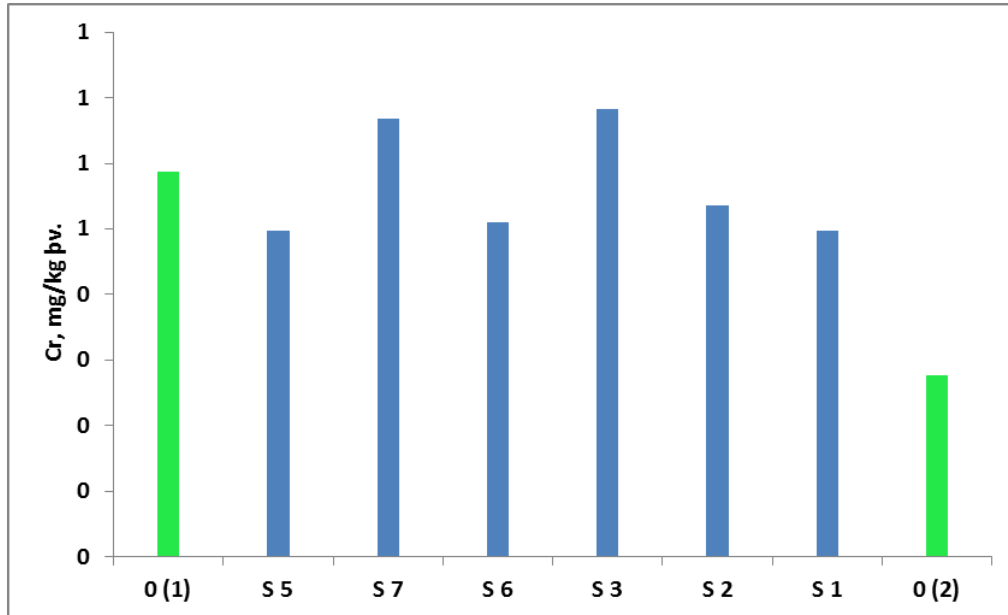
*Mynd 25* Styrkur kvikasilfurs í búrkræklingi á þurrvigtagrunni 1997, 2003, 2008 og 2013 með 95 % vikmörkum.



*Mynd 26* Styrkur kvikasilfurs í fjörukkræklingi á þurrvigtagrunni 1997, 2003, 2008 og 2013 með 95 % vikmörkum.

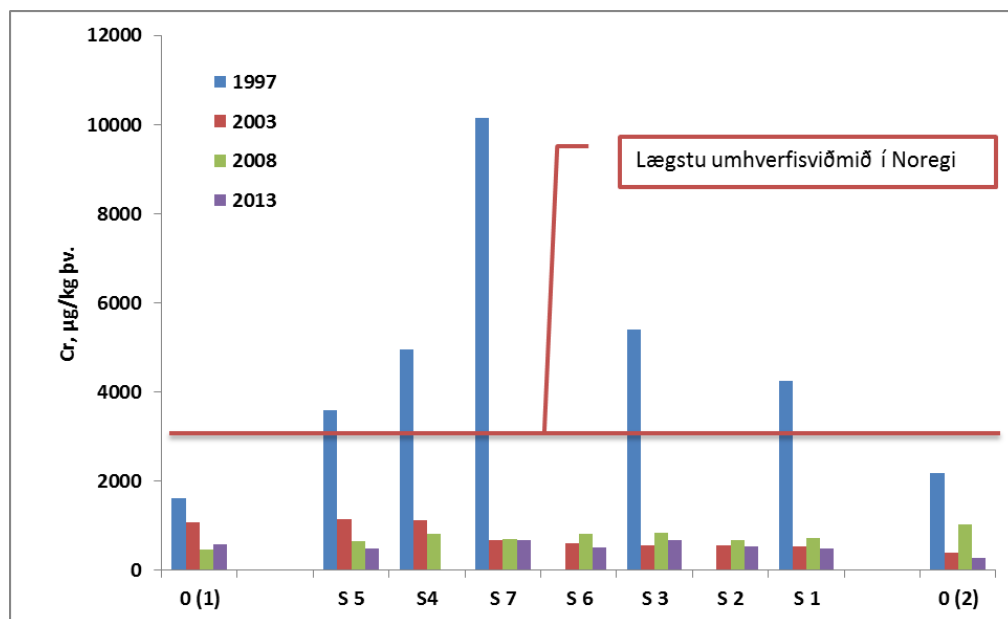
## 5.4 Króm

Mynd 27 sýnir styrk króms í búrkæklingi á þurrvigtagrunni. Ekki er marktækur munur á milli kræklingans í búrunum að meðaltali og kræklingi í búrbanka í upphafi en í Hvalfirði hefur styrkurinn helmingast á tímabilinu. Magn í hverjum einstaklingi hefur lítið breyst í Hvalfirði en magnið hefur aukist um 45 % undan álverinu. Hærri styrk má greina á stöðvum 7 og 3.



Mynd 27 Króm í búrkæklingi á þurrvigtagrunni.

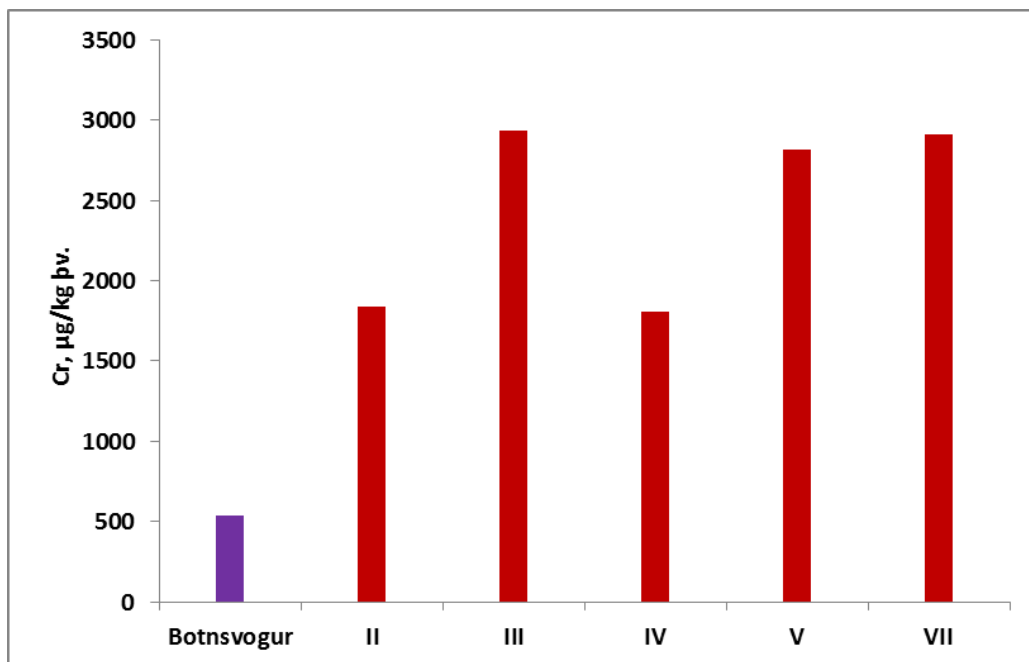
Mynd 28 sýnir styrk króms í búrkæklingi 1997, 2003, 2008 og 2013 þar sem sjá má að styrkurinn 1997 er mjög hár samanborið við seinni ár. Ekki er marktækur munur á styrk króms seinni árin þrjú. Ekki er kunn ástæða lækkunarinnar eftir 1997 en hún er raunveruleg eins og sjá má af bankasýnunum auk þess sem greina má frekari lækkun á stöðvum 5 og 4 eftir 1997.



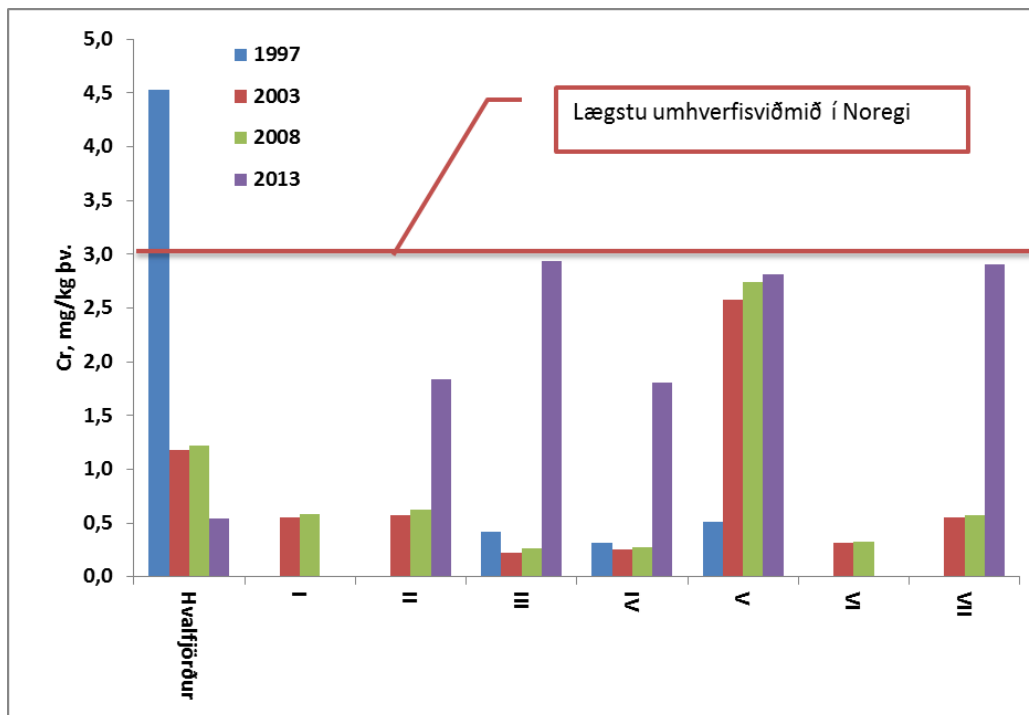
Mynd 28 Króm í búrkæklingi á þurrvigtagrunni 1997, 2003, 2008 og 2013 ásamt lægstu umhverfisviðmiðun í Noregi (49).

Gott línulegt samband er á milli króms annars vegar og áls og járns hins vegar og gildir það bæði fyrir búr- og fjörukraeklingnum en það bendir til þess að helsta uppspretta króms séu setagnir, en þær eru ríkar af járni, áli og króm. Fylgni er einnig á milli króms og kóbolt, nikkels og vanadíns.

Mynd 28 sýnir króm í fjörukraeklingi og má sjá að styrkurinn 2013 er umtalsvert meiri en í búrkraeklingi, sem m.a. kemur til af meiri nánd við krómrikt set. Mynd 28 sýnir einnig að allar stöðvarnar eru umtalsvert hærra en viðmiðunin í Botnsvogi, Hvalfirði.



Mynd 28 Króm í fjörukraeklingi á þurrvigargrunni.



Mynd 29 Króm í fjörukraeklingi á þurrvigargrunni 1997, 2003, 2008 og 2013 ásamt lögsta umhverfisviðmiði í Noregi (49)

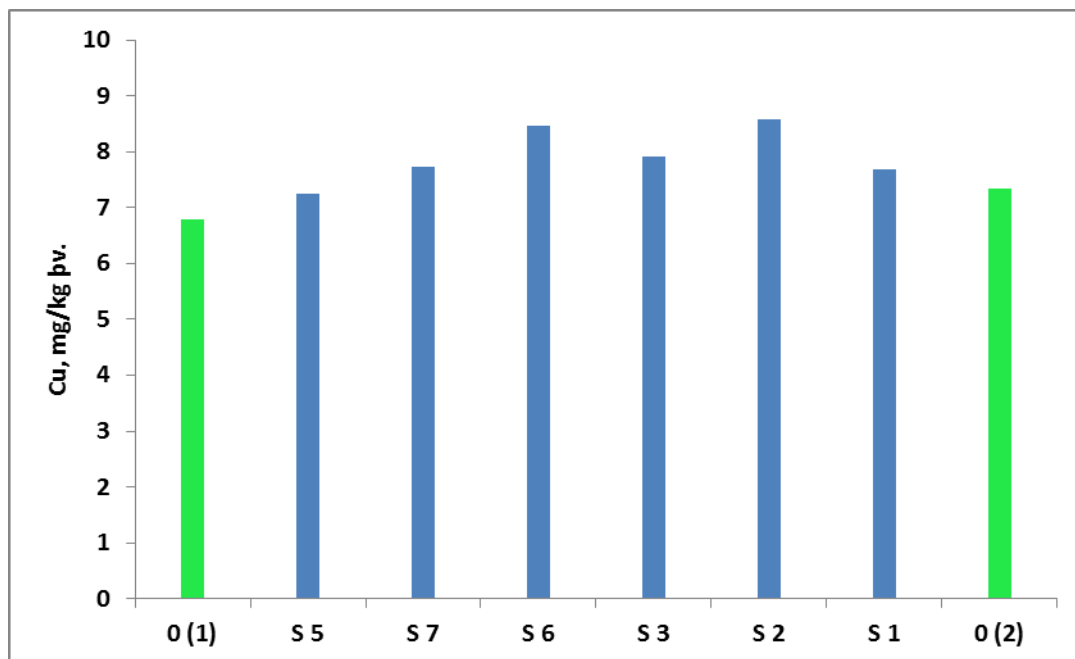
Við skoðun á fyrri árum, mynd 29, má sjá að styrkurinn 2013 er hærri en en fyrri ár að stö V undanskilinni, sem hefur verið há frá 2003. Samanburður við 1997 er varasamur því það ár var kræklingur látinn tæma sig í sólarhring áður en sýni voru unnin til mælinga. Hækkun á stöðvum II, III, IV og VII bendir til aukins álags þó svo það sé enn ekki jafnmikið og 1997 þegar það náði út í búkræklinginn sbr. mynd 27.

Samanborið við íslenska gagnagrunninn fyrir krækling af ströndu að sumarlagi víða í kringum landið (1b, 98) og erlenda gagnagrunna (66) má sjá að styrkur króms í kræklingi frá Íslandi virðist nokkuð hærri en víða annars staðar og að styrkurinn í sérstaklega búrum við álverið í Straumsvík er innan þess sem vænta má af ómengudum svæðum á Íslandi. Kann hér að koma til hlutfallslega hár styrkur króms í íslensku seti (99).

Samantekið má segja að styrkur króms hefur hækkað talsvert í fjörukræklingi 2013 miðað við 2003 og 2008 en er þó undir lágstu viðmiðunargildi fyrir króm í kræklingi í Noregi. Áhrifa gæti verið farið að gæa út í búkræklinginn (stöðvar 7 og 3) þó svo álagið þar sé hverfandi lítið miðað við stöðuna 1997.

## 5.5 Kopar

Mynd 30 sýnir styrk kopars í búkræklingssýnum á þurrvigtagrunni en ekki er marktækur munur á viðmiðunarstöðvunum í Hvalfirði og búkræklingnum að meðaltali.

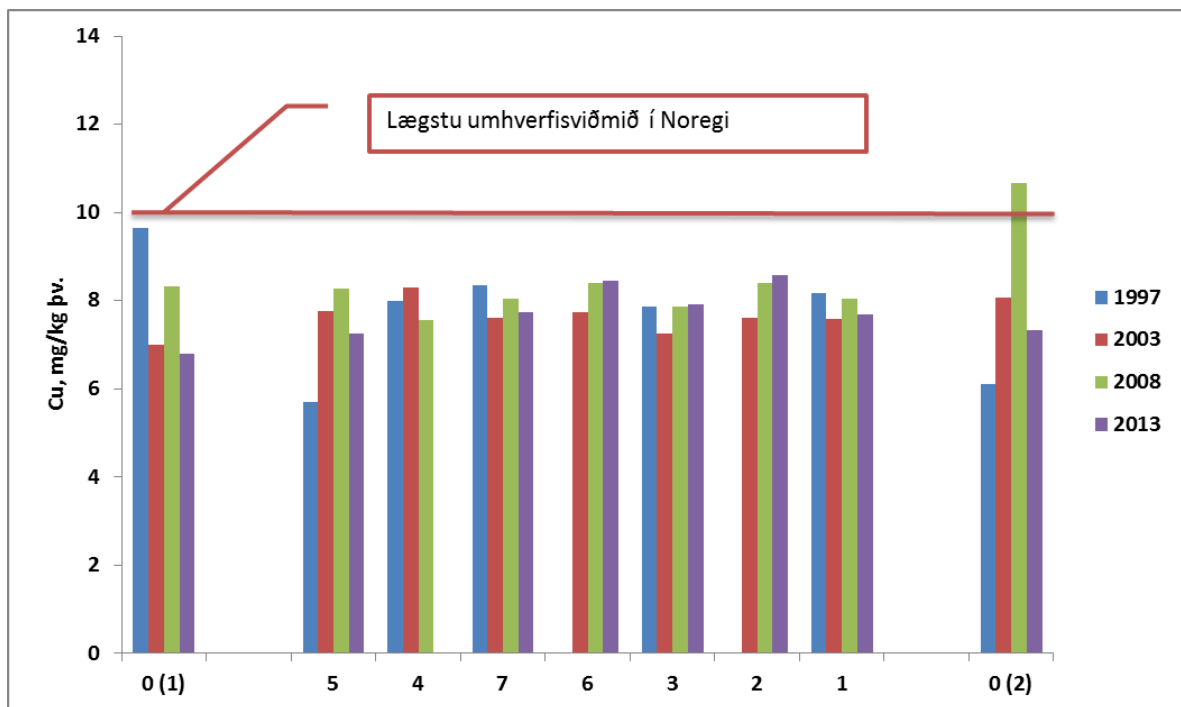


Mynd 30 Kopar í búkræklingi á þurrvigtagrunni.

Mynd 31 sýnir niðurstöður mælinganna 1997, 2003, 2008 og 2013 og má af henni ráða að styrkur kopars tekur litlum breytingum frá einu ári til annars og er ekki marktækur munur á milli árana fjögurra. Mynd 31 bendir til að kræklingur geti stjórnað vel styrk kopars í vefjum sínum. Sumir þeirra vísindamanna, sem voru fyrstir til að rannsaka upptöku kopars í krækling, ráðlögðu frá því að nota krækling til mats á kopar í sjó (72). Aðrir vísindamenn hafa hins vegar sýnt fram á að þó að kræklingur geti hindrað upptöku kopars í skamman tíma þá geti hann það ekki þegar til lengri tíma er litið (73) og enn aðrir sýnt fram á að einstök

líffæri kræklingsins henti betur og fullnægjandi til mats á kopar í umhverfinu en öll lífveran (74). Af þessum sökum er þang talið heppilegra til vöktunar á kopar, sjá t.d. heimild 49, og á það einnig við um sink. Ýmsar rannsóknir hafa þó sýnt fram á ágæti kræklings til vöktunar á kopar á strandsvæðum (sjá t.d. heimildir 75 og 76) og er kræklingur mikið notaður til mats á hugsanlegri koparmengun á strandsvæðum, t.d. í svæðisvöktunum á vegum Alþjóða-hafrannsóknaráðsins.

Öll sýnin eru undir lægstu umhverfismörkum í Noregi (49) en ekki hafa verið sett mörk á kopar á matvæli til mannelis.



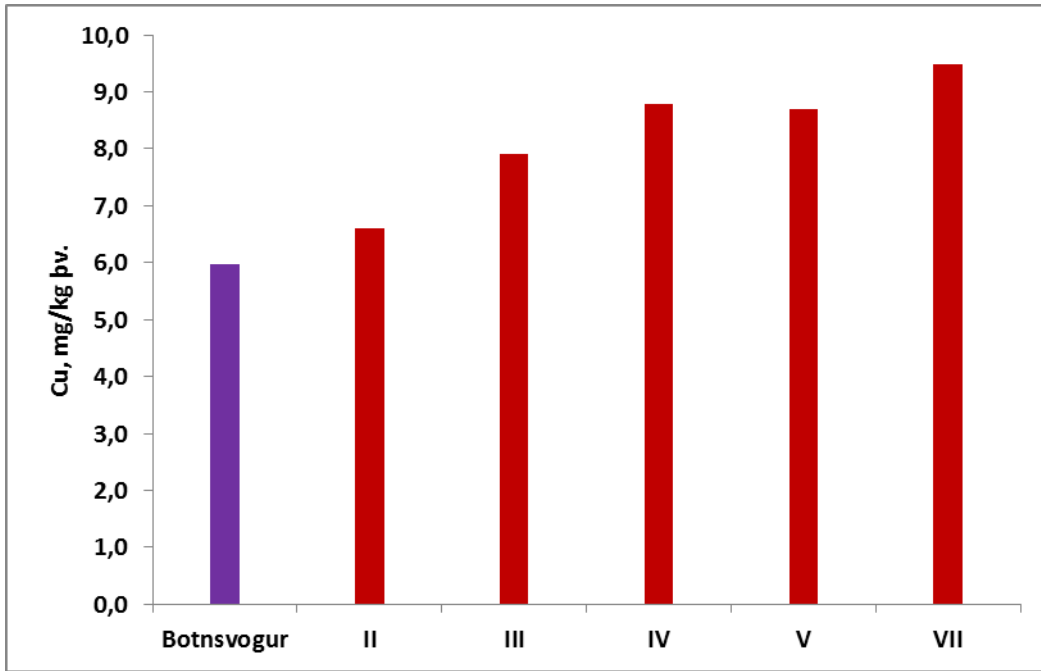
*Mynd 31* Kopar í búkræklingi á þurrvigtargrunni 1997, 2003, 2008 og 2013 ásamt lægstu umhverfismörkum Norðmanna, en styrkur undir þeim mörkum lýsa lítt eða ekki menguðum svæðum (49).

Mynd 32 sýnir kopar í fjörukræklingi og má þar sjá að styrkurinn er af svipaðri stærðargráðu og í búrunum og sýnir einnig svipaða hegðun og sást fyrir ál. Þetta var og raunin 2008. Meginástæða hækkunar frá vestri til norðausturs og mismunar Botnsvogs og Hraunsvíkurfjöru er stærðarmunur á kræklingi. Góð fylgni er á milli kopars og áls í fjörukræklingnum, Hvalfjarðarsýnið meðtalið, en 2008 mátti jafnframt sjá góða fylgni milli kopars og ösku, en hvort tveggja bendir sterklega til að koparinn sé að koma úr setögnum (eins og í tilviki áls) en set við Ísland er talsvert ríkara í kopar en víða annars staðar (99). Setagnirnar (og öskuhlutfall) verða hlutfallslega stærri þáttur er kræklingurinn verður minni.

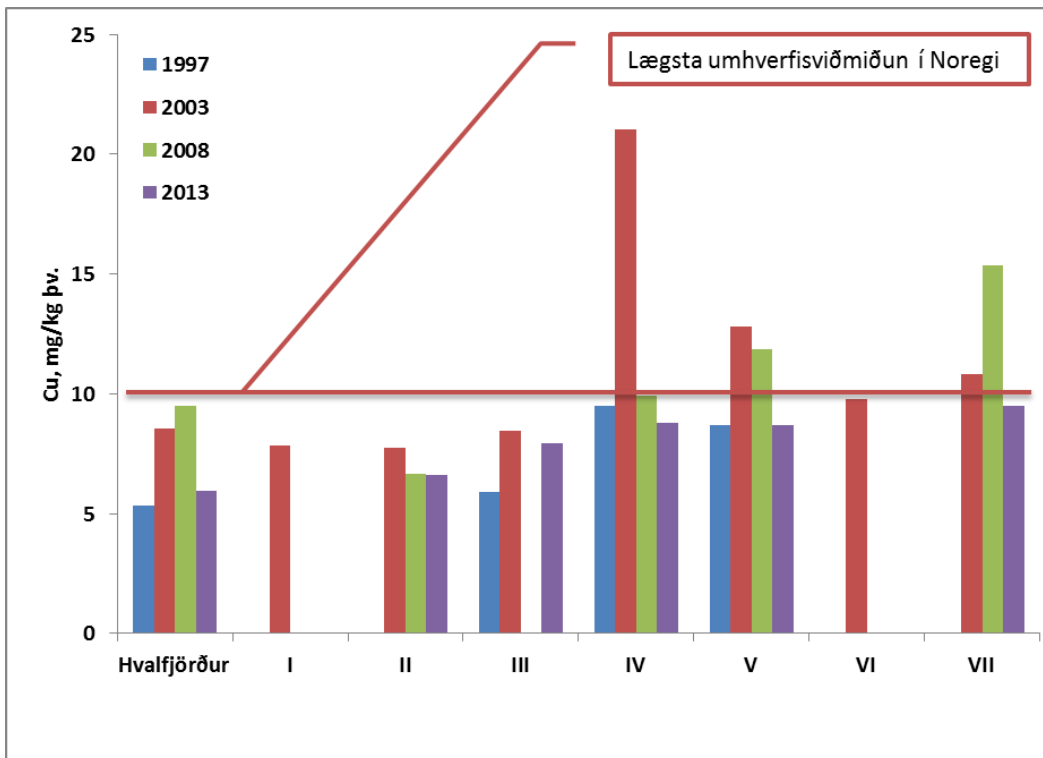
Mynd 33 sýnir niðurstöður fyrir fjörukrækling árána 1997, 2003, 2008 og 2013. Kemur þar fram talsvert meiri breytileiki milli ára en í búkræklingnum. Af framansögðu kunna setagnir og breytileiki í stærð kræklings að hafa hér mikil áhrif á en 1997 var kræklingur látinn hreinsa sig í hreinum sjó fyrir mælingar en ekki 2003, 2008 og 2013 og skýrir það líklegast lægri gildi 1997 en seinni árin þrjú. Hátt gildi á kopar á stöð IV árið 2003 kemur líklegast til af setögnum í meltingarvegi þar sem öskuhlutfall þess sýnis var hátt, talsvert hærra en í öðrum fjörusýnum.

Samantekið má því ætla að verksmiðjureksturinn hafi ekki áhrif á koparstyrk í fjörukræklingi 2013.





Mynd 32 Kopar í fjörukræklingi á þurrvigtargrunni.



Mynd 32 Kopar í fjörukræklingi á þurrvigtargrunni 1997, 2003, 2008 og 2013 ásamt lágsta umhverfisviðmiði í Noregi (49)..

Samantekð má segja um kopar að verksmiðjurekstur hefur ekki áhrif á styrk hans í kræklingi 2013. Hár styrkur kopars í fjörukræklingi af stöð IV árið 2003 má að nokkru leyti skýra með koparríkum setögnum.

## 5.6 Kadmín

Mynd 33 sýnir styrk kadmíns í búrkræklingssýnum á þurrvigtagrunni og má þar sjá að styrkurinn á stöðvunum hefur helmingast miðað við banka í upphafi en minnkað 2,5-falt í Hvalfjarðarbankanum. Styrkurinn í bankanum í lokin er marktækt lægri en í búrunum undan álverinu en ekki magn í hverjum einstaklingi. Mynd 34 sýnir styrk á þurrefnisgrunni fyrir 1997, 2003, 2008 og 2013 ásamt lægstu umhverfismörkum í Noregi (49) og má þar sjá að aðeins 2008 og 2013 er styrkur kadmíns á stöðvunum undir lægstu umhverfismörkum Norðmanna en augljóslega er mikill munur á milli ára og er munurinn alltaf marktækur. Athygli vekur þó að stöðvarnar undan álverinu eru ávallt innan ramma þess sem sést í viðmiðunarstöðinni í Hvalfirði í lok rannsókna þessi ár. Ástæða þessa munar á milli ára kemur til vegna ferskvatnsáhrifa á svæðinu sem geta verið umtalsverð í Straumsvíkina sjálfa og undan álverinu (70) og liggur ferskvatnslag ofan á sjónum í um 1-2 m lagi (71) en þessi áhrif geta verið mjög breytileg á stöðvunum á milli ára. Þekkt er að upptaka kadmíns í krækling vex með lækkaðri seltu. Þetta verður ljósara þegar borinn er saman styrkur á milli ára sem hlutfall af viðmiðunarsýni af svæðinu, t.d. stöð 5 sem hefur verið með öll árin, sjá mynd 35, en við það minnkar breytileiki verulega og sýnin falla innan marka þess sem sjá má í viðmiðunarstöðinni í Hvalfirði. Aðeins sýni á stöð 7 árið 1997 virðist víkja frá öðrum búrsýnum á stöðvunum.

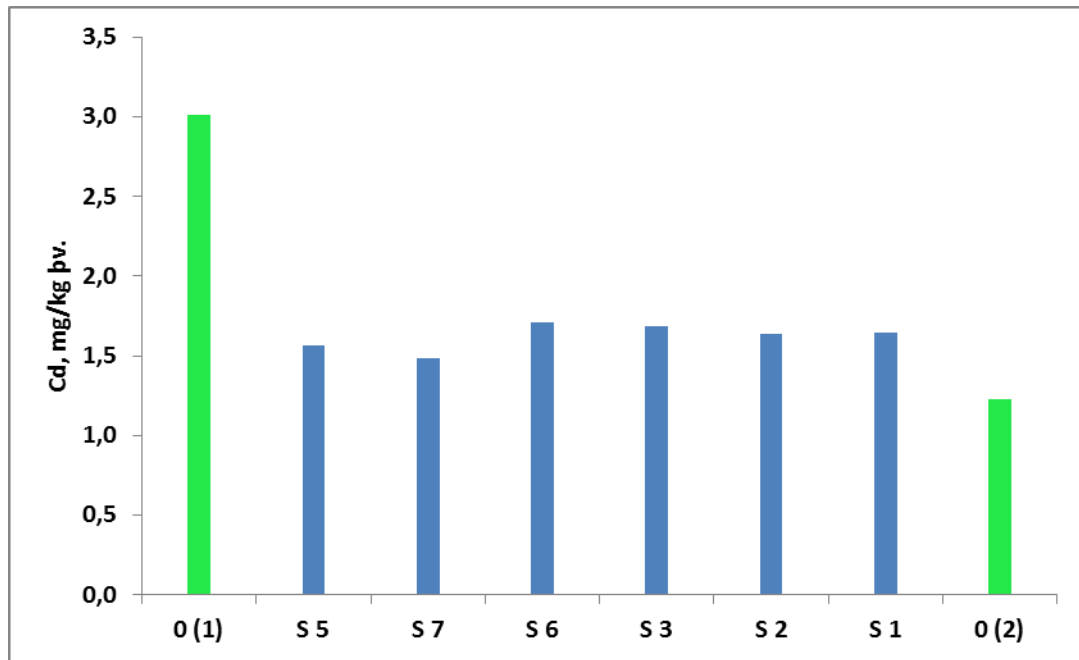
Almennt er kræklingur hlutfallslega hár í kadmíni í kringum Ísland af náttúrulegum ástæðum og er þetta ágætt dæmi um það að umhverfismörk á einum stað þurfa ekki að vera rétt viðmiðun á öðrum, sjá nánar hér að neðan.

Mynd 36 sýnir kadmín í fjörukræklingi á þurrvigtagrunni og sést að styrkur undan álverinu er um 2,5-falt hærri en í Botnsvogi og koma ugglaut áhrif ferskvatns fram með þessum hætti en styrkur kadmíns í fjörusýnum er um 60 % hærri en í búrsýnunum. Mynd 37 sýnir styrk 1997, 2003, 2008 og 2013 og má sjá að breytileiki er þar minni á milli ára en í búrkræklingi og ekki er marktækur munur á milli ára.

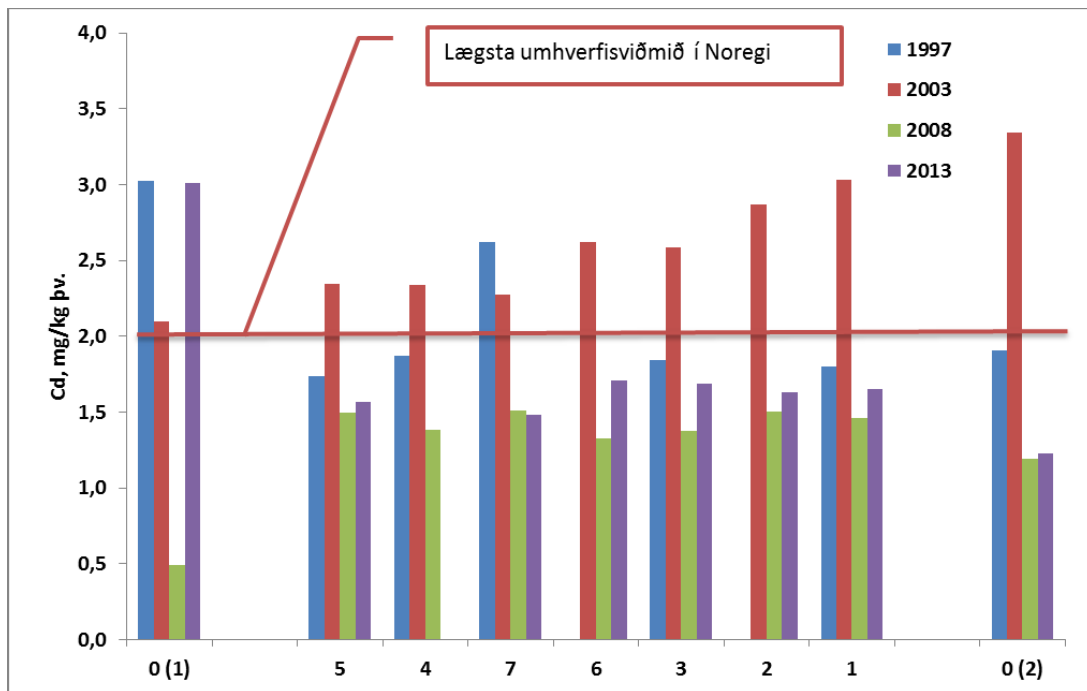
Sett hefur verið hámarksgildi á kadmín í samlokur þ.m.t. krækling til manneðis og er það 1,0 mg/kg votvigt (97) en bæði búrkræklingur og fjörukræklingur eru með styrk sem er um þriðjungur þessa gildis 2013 en 2008 var hann tæplega fimmtungur þessa hámarksgildis. Árið 2003 var styrkurinn hærri eða um 60 % (búr) og 25 % (fjara) af hámarksgildinu. 1997 var styrkurinn í búrkræklingi um 35 % af hámarksgildi en fjörukræklingur með um 15 % af hámarksgildinu. Þetta eru lág kadmíngildi miðað við krækling í ósnortinni íslenskri náttúru.

Að lokum má líta á samanburð við erlenda (66) og innlenda gagnabanka (98, 1b) sem gerir m.a. ljóst að styrkur kadmíns í kræklingi við Straumsvík, bæði í búrum og úr fjöru, er vel innan marka þess sem finna má á ómengudu íslenskum kræklingi. Einnig er samanburður við erlenda gagnabanka íslenskum kræklingi hagstæður.

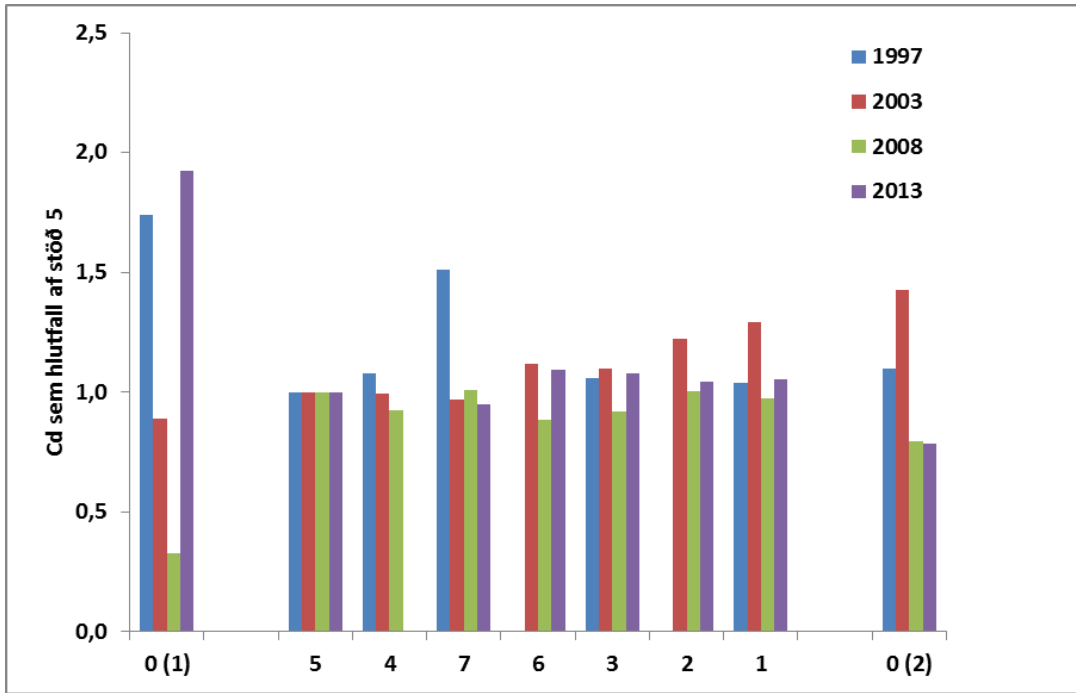
Af öllu niðurstöðunum má því draga þá ályktun að ekki er um aukinn styrk kadmíns að ræða í búrkræklingi og fjörukræklingi sem rekja má til verksmiðjurekstrarins. Fyrri rannsóknir sýndu að þetta á einnig við um skúfþang (1a, 1b, 1c).



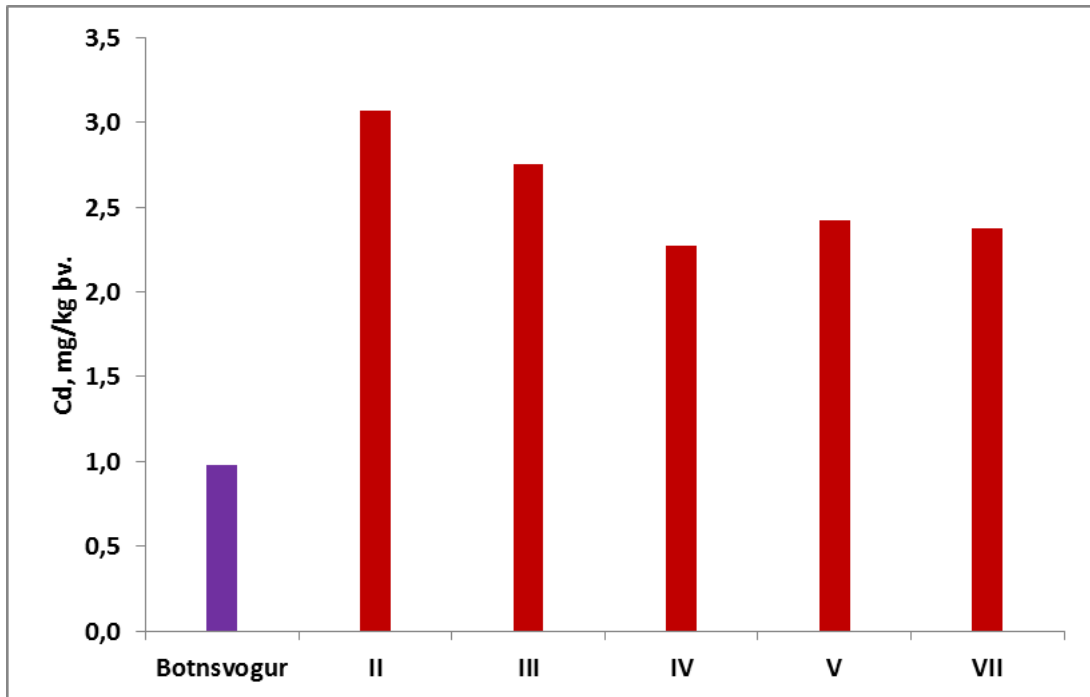
Mynd 33 Kadmín í búkræklingi á þurrvigtargrunni.



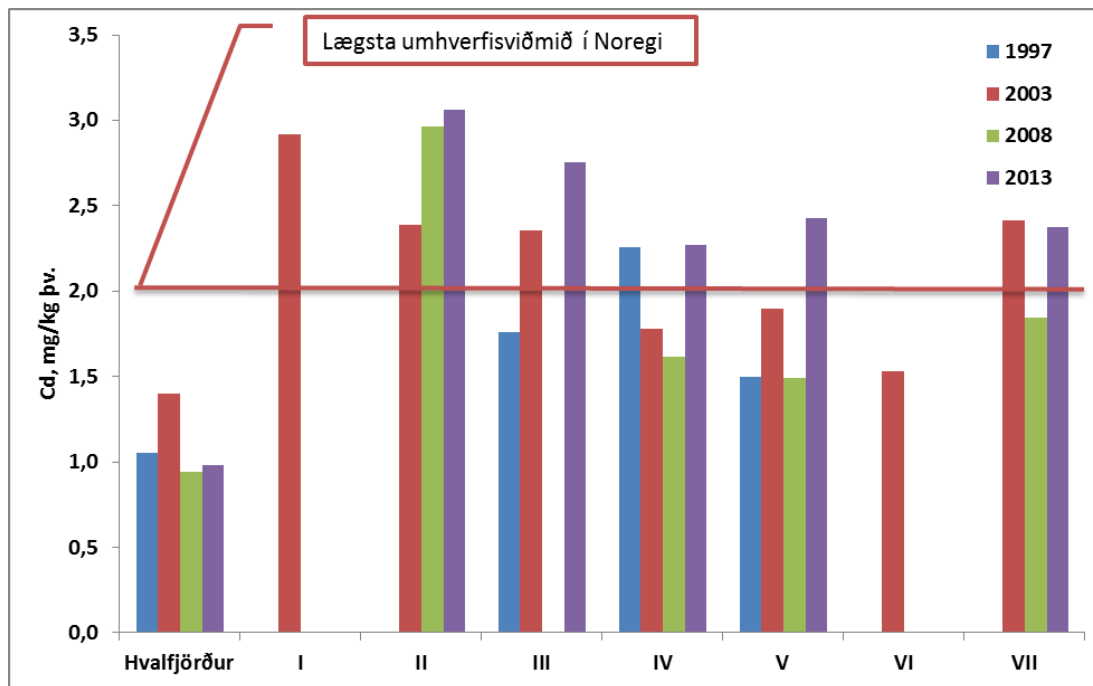
Mynd 34 Kadmín í búkræklingi á þurrvigtargrunni 1997, 2003, 2008 og 2013 ásamt lægstu umhverfismörkum Norðmanna, en styrkur undir þeim mörkum lýsa lítt eða ekki menguðum svæðum (49).



Mynd 35 Styrkur kadmíns í búrkraeklingi sem hlutfall af styrk á stöð 5(ávallt á þurrvigtagrunni) 1997, 2003, 2008 og 2013.



Mynd 36 Kadmín í fjörukraeklingi á þurrvigtagrunni.



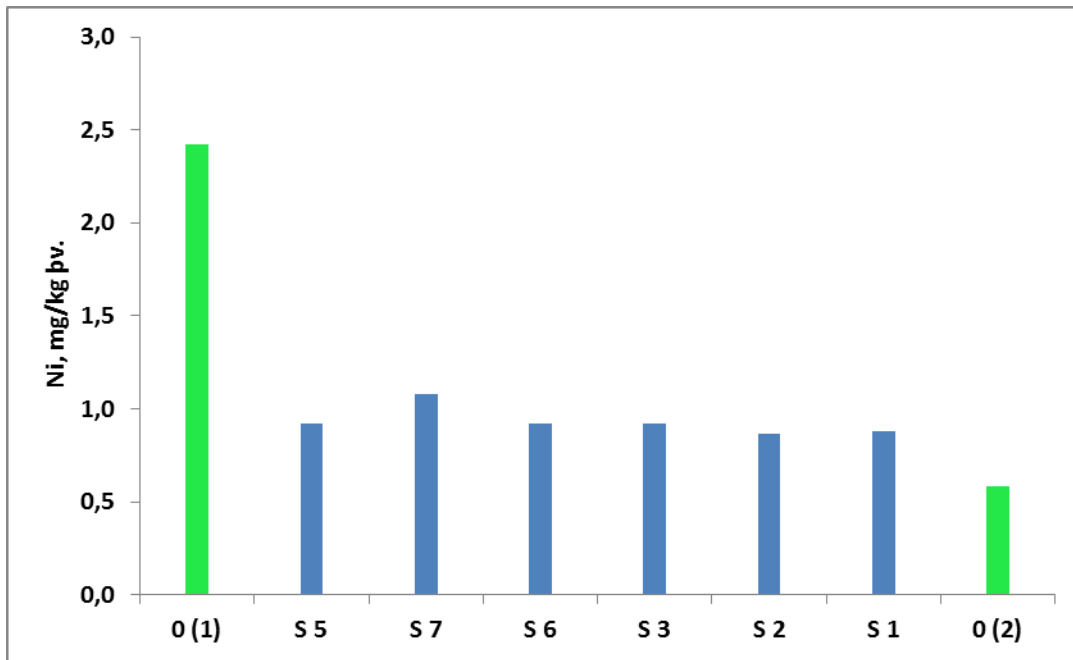
Mynd 37 Kadmín í fjörukræklingi á þurrvigtargrunni 1997, 2003, 2008 og 2013 ásamt lágstu umhverfismörkum Norðmanna fyrir krækling (49).

## 5.7 Nikkel

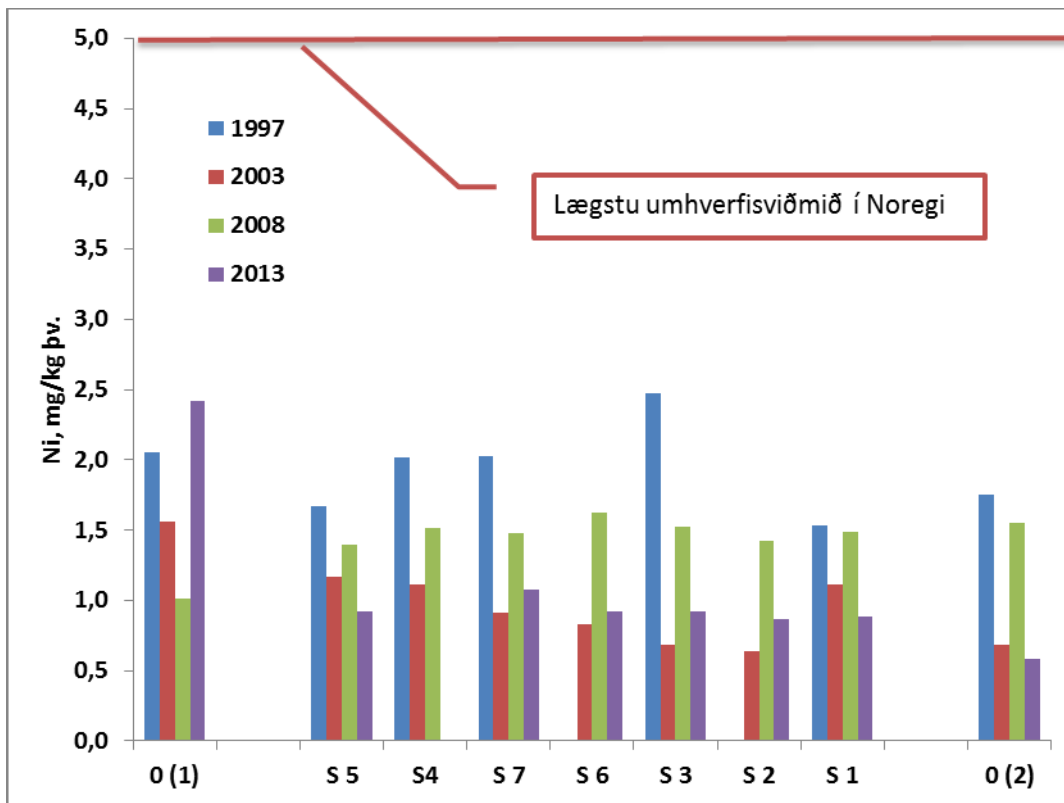
Mynd 38 sýnir niðurstöður fyrir nikkell í búkræklingi á þurrvigtargrunni og má sjá að styrkur nikkels hefur lækkað á stöðvunum um 2,6-falt og fjórfalt í bankanum á tímabilinu.

Mynd 39 sýnir að breytileiki er mikill milli ára og reynist styrkurinn 2003 vera lægstur en 1997 var hann hæstur. Allur búkræklingurinn er vel undir lágsta viðmiðunargildi í Noregi (49) og er búkræklingurinn innan þeirra marka sem markast af lágsta og hæsta styrk í banka í lokin. Styrkurinn í banka í lokinn er marktækt lægri en í búrunum undan álverinu að meðaltali.

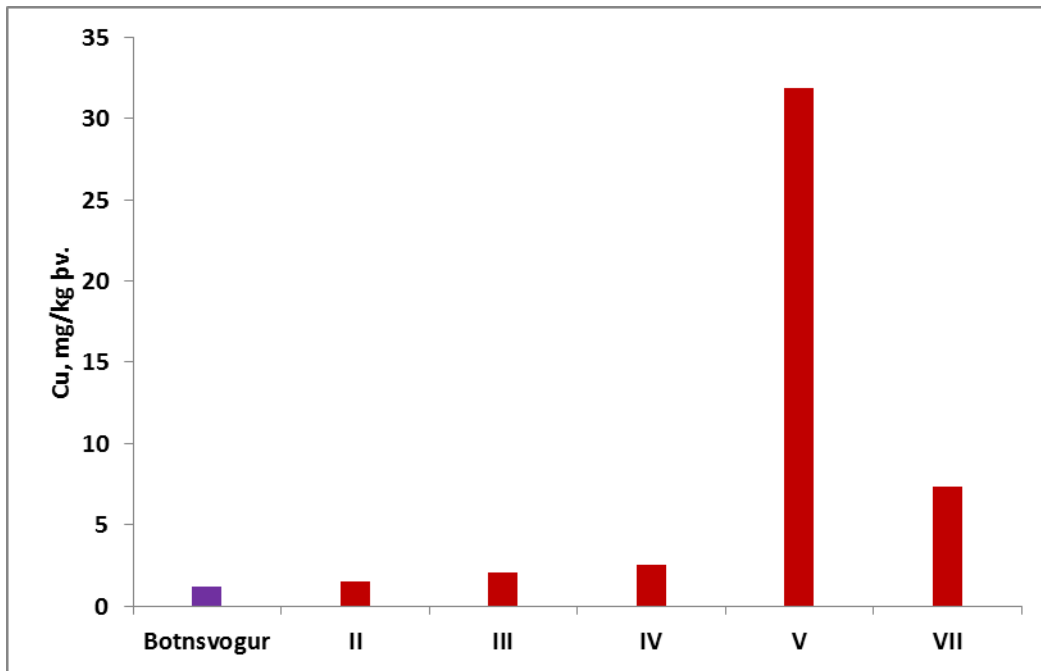
Mynd 40 sýnir niðurstöður fyrir nikkell í fjörukræklingi þar sem hann mælist mjög hár á stöð V en að öðru leyti vex styrkur nikkels er farið er frá vestri til norðausturs á sama hátt og sjá mátti fyrir ál og kopar og kemur þar til minnkandi stærð kræklinga. Þessa hegðun má einnig sjá fyrir Co, Fe og Mn enda fylgni mikil milli þessara sex málma 2008 og 2013 svo og milli þessara málma og öskuhlutfalls í kræklingnum 2008. Kemur hér því líklegast til snefilefnaríkar setagnir í meltingarvegi kræklinga því vitað er að Al, Cr, Cu, Fe, Mn, og Ni er að finna í ríku mæli í íslensku seti. Cr og Ni (auk Cu) er að finna í ríkara mæli í íslensku seti en víða annars staðar (99) og í ljósi mikils breytileika í þessum tveimur málum milli ára er fróðlegt að sjá að fylgni þessara málma er mikil öll þrjú árin ( $r^2=0,76$  fyrir log-umbreytt gögn;  $n=65$ ), bæði fyrir bú- og fjörukrækling og viðmiðanirnar tvær á hverju ári. Undanskilin eru sýni af stöðvum V og VII úr fjöru 2013 og búrbankasýni í upphafi 2013. Þetta bendir til að stöðvar V og VII séu undir mengunarlága af völdum Ni en stöð V hefur áður sýnt háan styrk eða 1997. Setagnir og upprót af botni virðast því hafa mikil áhrif almennt. Greina mátti nokkuð hærri nikkellstyrk almennt (sem fall af krómstyrk) fyrir 2008 miðað við fyrri ár og er munurinn marktækur (ANCOVA;  $r^2=0,9$ ;  $p<0,001$ ) á milli 2008 annars vegar og 1997, 2003 og 2013 hins vegar.



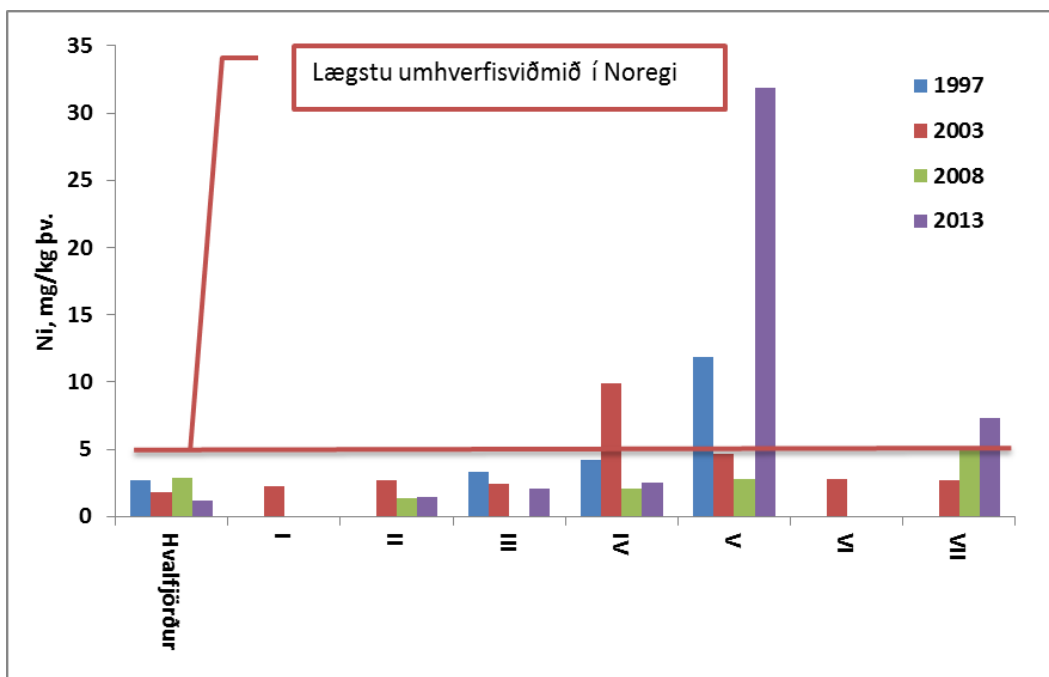
Mynd 38 Nikkel í búrkæklingi á þurrvigtargrunni.



Mynd 39 Nikkel í búrkæklingi á þurrvigtargrunni 1997, 2003, 2008 og 2013 ásamt lágstu umhverfismörkum Norðmanna, en styrkur undir þeim mörkum lýsa lítt eða ekki menguðum svæðum (49).



Mynd 40 Nikkel í fjörukræklingi á þurrvigtagrunni.



Mynd 41 Nikkel í fjörukræklingi á þurrvigtagrunni 1997, 2003, 2008 og 2013 ásamt lægstu umhverfismörkum Norðmanna, en styrkur undir þeim mörkum lýsa lítt eða ekki menguðum svæðum (49).

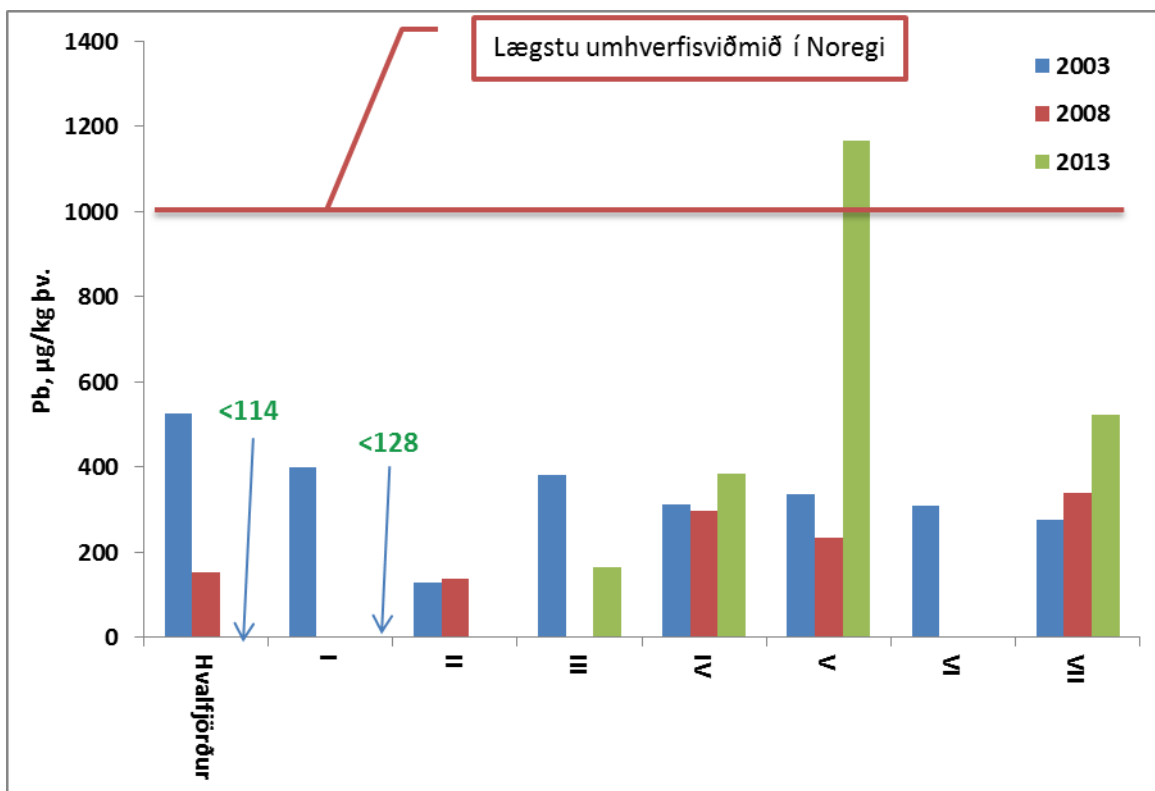
Mynd 41 sýnir stighækkandi styrk á stöð VII, norðaustasta stöðin, og nær hún að fara yfir lægstu umhverfisviðmiðun í Noregi 2013. Ástæða þessarar hækkunar á stöð VII er mjög lítil stærð kræklingins þar en samband styrks og stærðar bæði búrkrækling og fjörukrækling sýnir hins vegar að aðeins stöð V er undir mengunaráhrifum af völdum Ni, sem rekja má til verksmiðjurekstrarins. 2008 gætti einnig áhrifa af nikkeli í skúfþangi þó um lítil áhrif hafi verið að ræða og ekki óyggjandi. Styrkur nikkels í búrkræklingi er eins og hann gerist í ósnortinni íslenskri náttúru.

## 5.8 Blý

Styrkur blýs í búrkæklingi mældist aðeins tvisvar yfir greiningarmörkum aðferðarinnar eða 20 µg/kg votvigtar og voru það sýni af stöð 5 (102 µg/kg þv) og stöð 7 (152 µg/kg þv). Svvo lágur styrkur hefur ekki mælst áður í sýnum frá Straumsvík og aðeins 1,2 % sýna 2003 og 2008 mældust lægri en 102 µg/kg og 12 % sýna 203 og 2008 (bankasýni meðtalin) mældust undir 152 µg/kg þv. Um mjög lág gildi er að ræða en lægsta umhverfisviðmið í Noregi er 1000 µg/kg þv og búrsýnin því ≤ 15 % af lágmarksumhverfisviðmiðun í Noregi (49), lítt eða ekki mengað svæði. Hámarksgildi fyrir skelfisk til mannelis er 1500 ng/g votvigt (97) og hæsta gildið í búrum því innan við 2 % af því. Um mikla lækkun er því að ræða frá síðustu rannsókn 2008 en almennt hefur styrkur blýs lækkað í umhverfissýnum eftir að bannað var að nota blý í bensín.

Mynd 42 sýnir niðurstöður fyrir blý í fjöruræklingi 2003, 2008 og 2013. Styrkurinn í fjöruræklingi er hærri á þurrvigtargrunni en búrkæklingurinn og reynist stöð V hafa hækkað 2013 miðað við fyrri ár og er yfir lágmarksumhverfisviðmiði í Noregi. Stöð V er því undir mengunaráhrifum blýs (og nikkels og króms). Þessi styrkur á stöð V er þó aðeins um 11 % af hámarksgildi til neyslu (97). Fjöruræklingurinn er annars um fjórfalt lægri en lægstu umhverfismörk í Noregi. Ekki er marktækur munur á fjöruræklingi árána 2003 og 2008.

Samantekið má því segja um blý að um mjög lágan styrk er ávallt að ræða í búrum og hefur hann lækkað umtalsvert frá 2008 og að ekki er unnt að greina nein áhrif af völdum verksmiðjurekstrarins í Straumsvík á upptöku blýs nema í tilviki stöðvar V í fjöru.



Mynd 42 Blý í fjöruræklingi á þurrvigtargrunni 2003, 2008 og 2013 ásamt lægstu umhverfismörkum í Noregi (49).



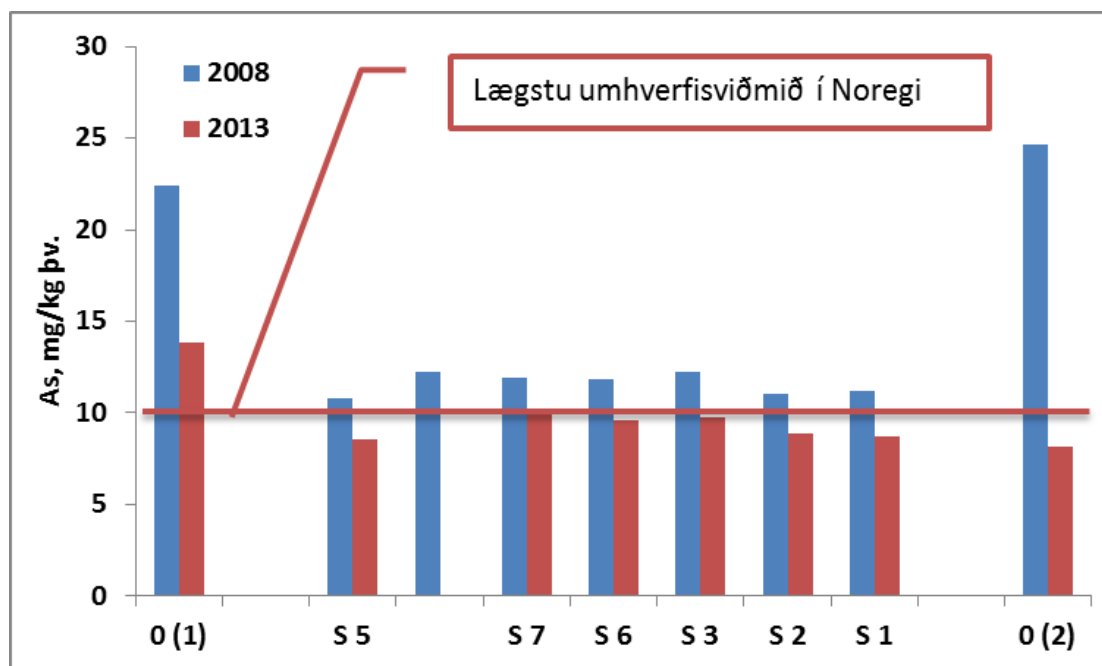
## 5.9 Arsen

Arsen var fyrst mælt 2008 en ekki rannsóknunum 1997 og 2003. Mynd 43 sýnir styrk heildararsens í búrkræklingi á þurrefnisgrunni ásamt lögstu umhverfismörkum í Noregi (49). Stöðvarnar eru ekki marktækt frábrugðnar lögsta umhverfisviðmiði í Noregi, 10 µg/g þv. hvorki 2008 né 2013. Athygli vekur að styrkur lækkar í kræklingnum framan við álverið meðan á eldi stóð 2008 og 2013 miðað við banka í upphafi en styrkur á viðmiðunarstöð, Saurbæjarvík, helst óbreyttur 2008 og er hann tvöfalt hærri en í búrunum framan við álverið. Ástæða þess að styrkur er lægri framan við álverið kemur líklegast til af ferskvatnsáharifum, en ferskvatnsáhrif á svæðinu geta verið umtalsverð í Straumsvíkinni sjálfri og undan álverinu (70) og liggur ferskvatnslag ofan á sjónum í um 1-2 m lagi (71). Þekkt er að styrkur arsens í kræklingi lækkar þegar selta lækkar (100,101). Hins vegar er styrkur arsens á stöðvunum 2013 ekki marktækt frábrugðin viðmiðunarstöð í lokin. Jafnframt er styrkur stöðvanna 2013 marktækt lægri en 2008. Mismunur milli ára kann að hafa með ferskvatnsáhrif að gera.

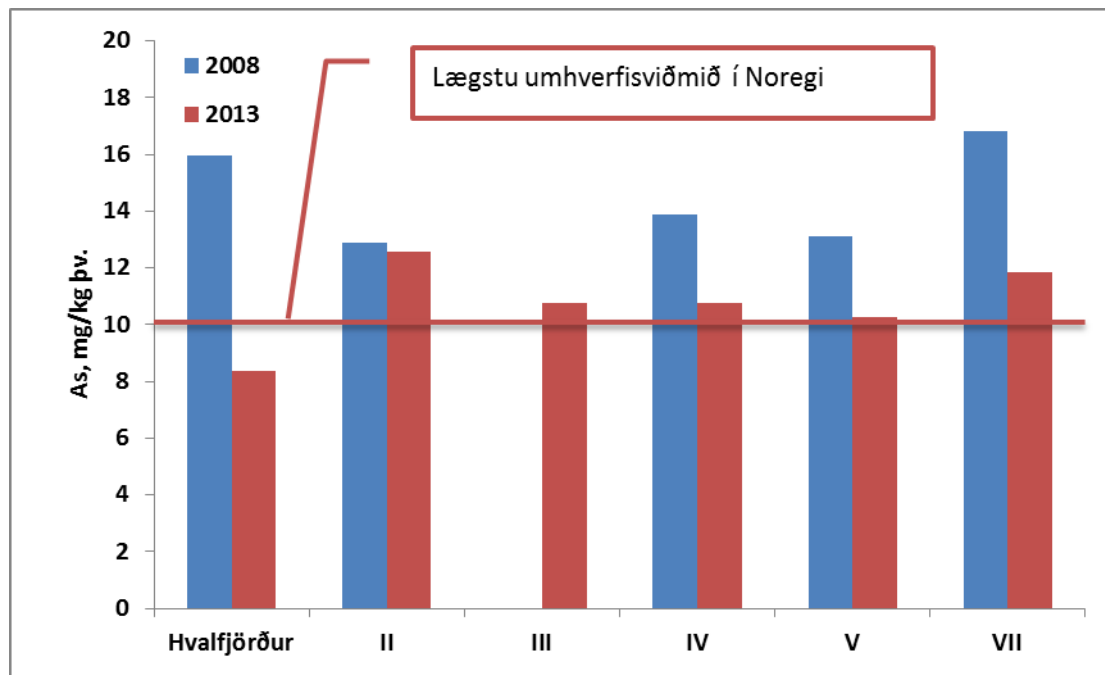
Mynd 44 sýnir arsen í fjörukræklingi á þurrvigtargrunni og má þar sjá marktækt hærri styrk á stöðvunum en í banka, Kattarhöfða í Botnsvogi, en einnig má sjá marktækt lægri styrk 2013 en 2008. Ekki er marktækur munur á milli stöðva og lögsta viðmiðunarstyrks í Noregi. Að lokum má sjá að styrkur á stöðvunum við álverið er á milli þess sem gerist lægst og hæst við Kattarhöfða, Hvalfirði.

Niðurstöður í þessari rannsókn sýna styrk í búrkræklingi og fjörukræklingi eins og við er að búast í ósnortinni íslenskri náttúru (98). Þar sem búrkræklingur, fjörukræklingur og viðmiðunarsýni við Kattarhöfða, Botnsvogi, er jafnhá eða hærri en lögsta umhverfisviðmið í Noregi, bendir það sterklega til að umhverfisviðmið í Noregi eigi ekki við um íslenskar aðstæður eins og á einnig við um kadmín.

Samantekið má því fullyrða að verksmiðjurekstur álversins í Straumsvík hefur ekki áhrif á styrk arsens í kræklingi 2008 og 2013 eða skúfþangi 2008.



Mynd 43 Arsen í búrkræklingi á þurrvigtargrunni ásamt lögstu umhverfismörkum í Noregi (49).



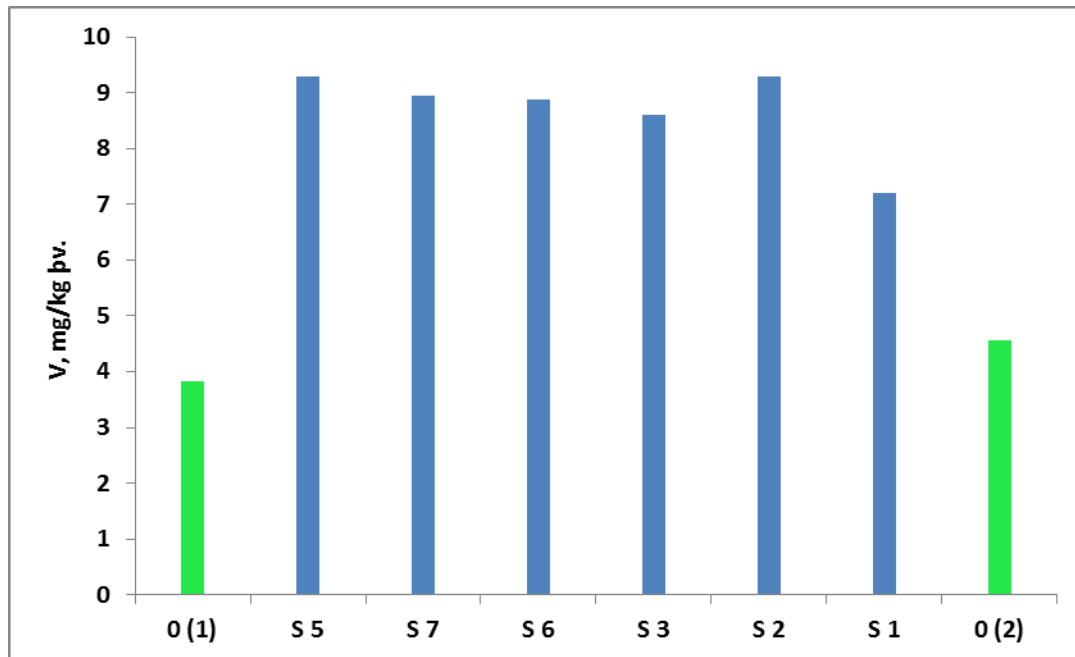
Mynd 44 Arsen í fjörukræklingi ásamt lægstu umhverfismörkum í Noregi (49).

## 5.10 Vanadín

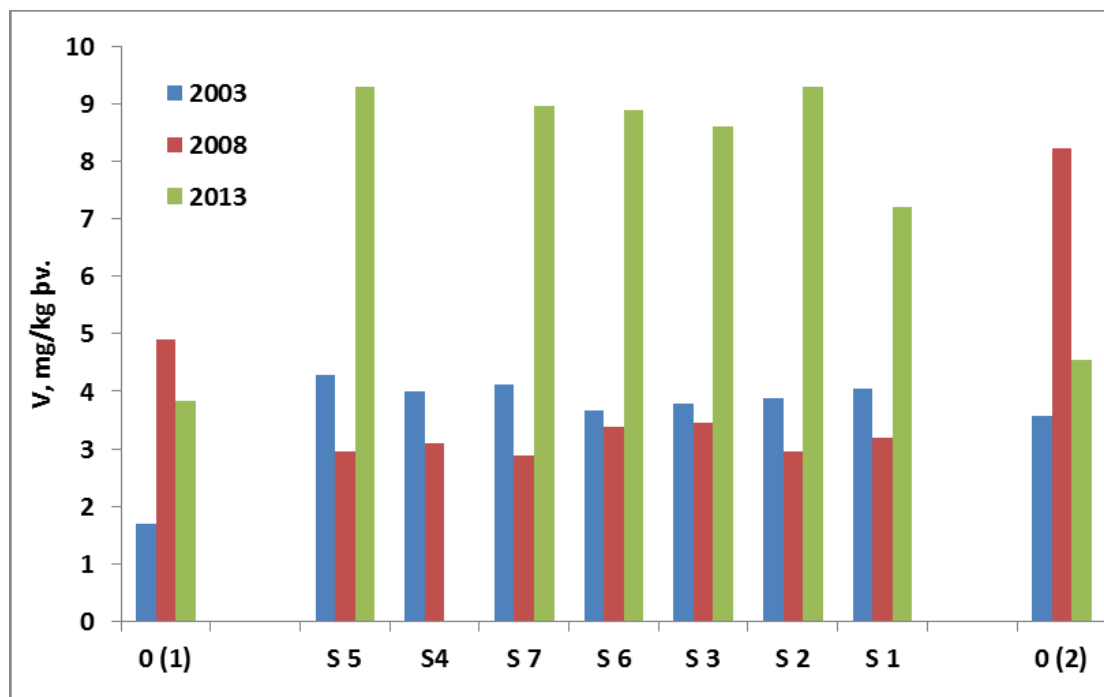
Mynd 45 sýnir vanadín í búkrækling á þurrvigtargrunni. Engin umhverfismörk eru kunn fyrir vanadín í kræklingi þannig að viðmið í Hvalfirði eru einu mörkin, sem styðjast má við. Ekki hafa verið sett hámarksgildi á vanadín í matvælum. Sjá má að búkræklingurinn undan álverinu hefur tvöfaldað styrk sinn af vanadíni meðan á eldi stóð en kræklingurinn í Hvalfirði er því sem næst óbreyttur. Athygli vekur einnig að styrkurinn er jafnhár í öllum sýnum utan stöðvar 1. Samanborið við fyrri ár er styrkurinn tvöfalt hærri en 2003 og 2008 en á svipuðum nótum og bankakræklingurinn í lok tilraunar 2008, mynd 46. 2008 lækkaði styrkur vanadíns á stöðvunum við álverið meðan á eldi stóð miðað við banka í upphafi en styrkur í banka hélt hins vegar áfram að vaxa á viðmiðunarstöð, mynd 46.

Ekki er kunn skýring á þessari hegðun en vensl vanadíns við aðra málma s.s. járns (1c) sýnir að vanadín í búkræklingnum 2013 er hærri en í öllum öðrum kræklingasýnum sem mæld hafa verið undan álverinu, fjörukræklingi meðtöldum. Vensl vanadíns og t.d. járns og mangans (áls, króms og nikkels) bendir sterklega til að styrkur í setögnum setögnum, róti af botni, stýri styrk þessara málma í kræklingnum við álverið en vanadín í búkræklingi 2013 víkur frá þessum venslum. Miðað við rannsóknir við Frakkland (Brittany, Biscay flóa) og norðurströnd Spánar er styrkur búkræklingins undan álverinu 2013 nokkuð hár en hann var 0,5-4 mg/kg þv. í Biscay flóa (107) og 1,7-7,1 mg/kg þv. á norðurströnd Spánar (öll nema eitt sýni undir 5,6) (108).

Vitað er að umhverfisþættir geta haft hér veruleg áhrif á styrk vanadíns í samlokum þar sem styrkur getur verið breytilegur eftir árstíðum eða allt að fjórfaldur munur milli vors, þegar hann er hæstur, og vetrar, þegar hann er lægstur (104). Ekki er vitað hvaða þáttur eða þættir eru hér að verki. Hins vegar er það þekkt að spunaþræðir kræklinga innihalda háan styrk vanadíns og þar næst skelin sjálf, tífoldan styrk miðað við mjúkvöðva, og þá einkum ytri húð skeljarinnar (periostracum sem gert er úr flóknum próteinum, conchiolin) (105). Það er því ekki útilokað að lækking í skeljamassa, uppleysing hans, sem rædd var í 4.1, geti gefið háan styrk í mjúkvöðva en talið er að uppleysing skelja geti haft mikil áhrif á jarðlífefnafræði vanadíns á strandsvæðum (105). Þessi hækkun í vanadín búkræklingins þyrfti því frekari rannsókna við.

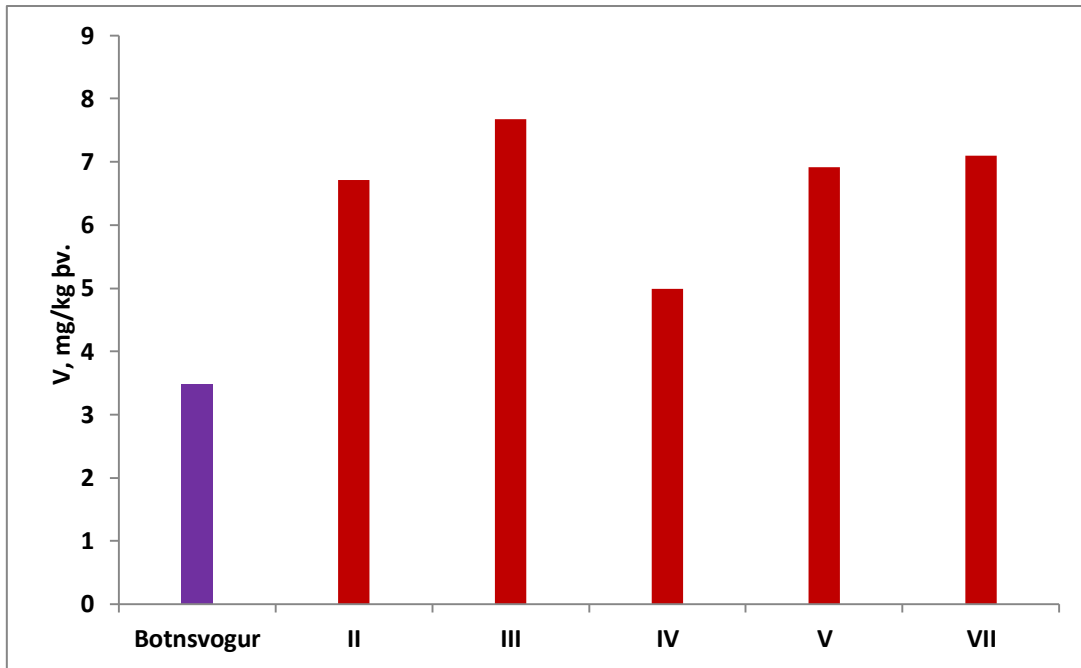


Mynd 45 Vanadín í búkræklingi á þurrvigtargrunni.

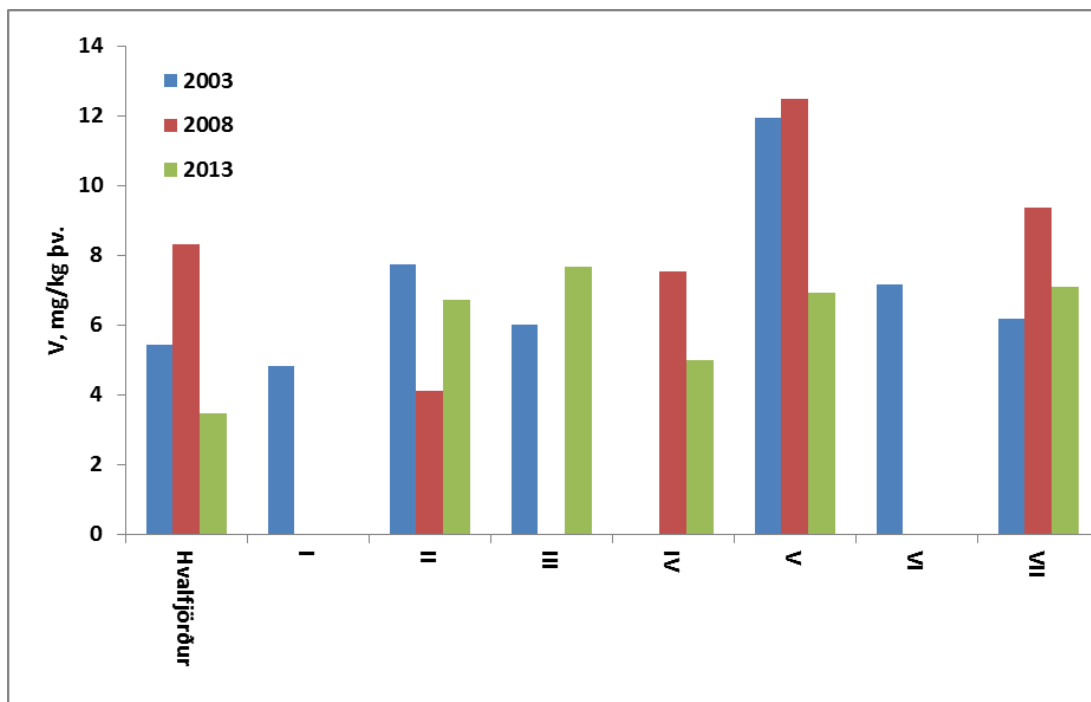


Mynd 46 Vanadín í búkræklingi á þurrvigtargrunni 2003, 2008 og 2013.

Mynd 47 sýnir vanadín í fjörukræklingi og kemur þar í ljós að fjörukræklingurinn er tvöfalt hærri en viðmiðunin við Kattarhöfða, Botnsvogi. Hins vegar er styrkurinn í fjörukræklingi á svipuðum nótum og 2003 og 2008, mynd 48, þar sem styrkurinn á stöð V við norðausturenda verksmiðjúsæðisins hefur þó helmingast og líkist nú styrk annarra stöðva er varðar vanadín (en stöðin er enn hærri m.t.t. Cr, Ni og Pb en önnur fjörusýni). Styrkurinn í fjörukræklingnum undan álverinu er þó hærri en við norðurströnd Spánar og Biscay flóa (107, 108).



Mynd 47 Vanadín í fjörukræklingi á þurrvigtagrunni.



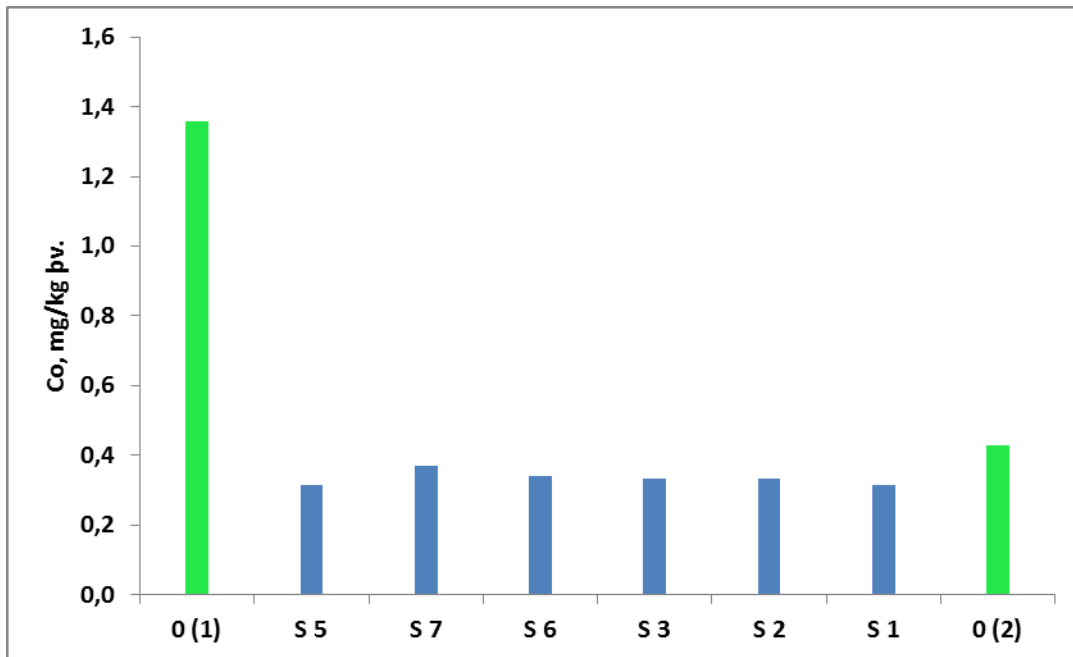
Mynd 48 Vanadín í fjörukræklingi á þurrvigtagrunni 2003, 2008 og 2013.

Samantekið má því segja um vanadín að styrkur þess er hár í búrsýnunum 2013 og svípar þannig til flúors 2013 en svo hefur ekki verið fyrri ár. Ekki er kunn skýring á þessari hegðun en náttúrulegar orsakir gætu vel verið að verki eins og sjá má í bankasýni 2008. Hugsanlega gæti orsök skelrýrnunar, sem átti sér stað í búrsýnum, legið að baki. Niðurstöður þessa verkefnis gefa ekki skýringu og þarfnast málið frekari rannsókna við. Hærri styrkur vanadíns á stöð V við norðausturenda verksmiðjussvæðisins hefur hins vegar helmingast miðað við rannsóknirnar 2003 og 2008 og stöðin nú jafnhá öðrum stöðvum.

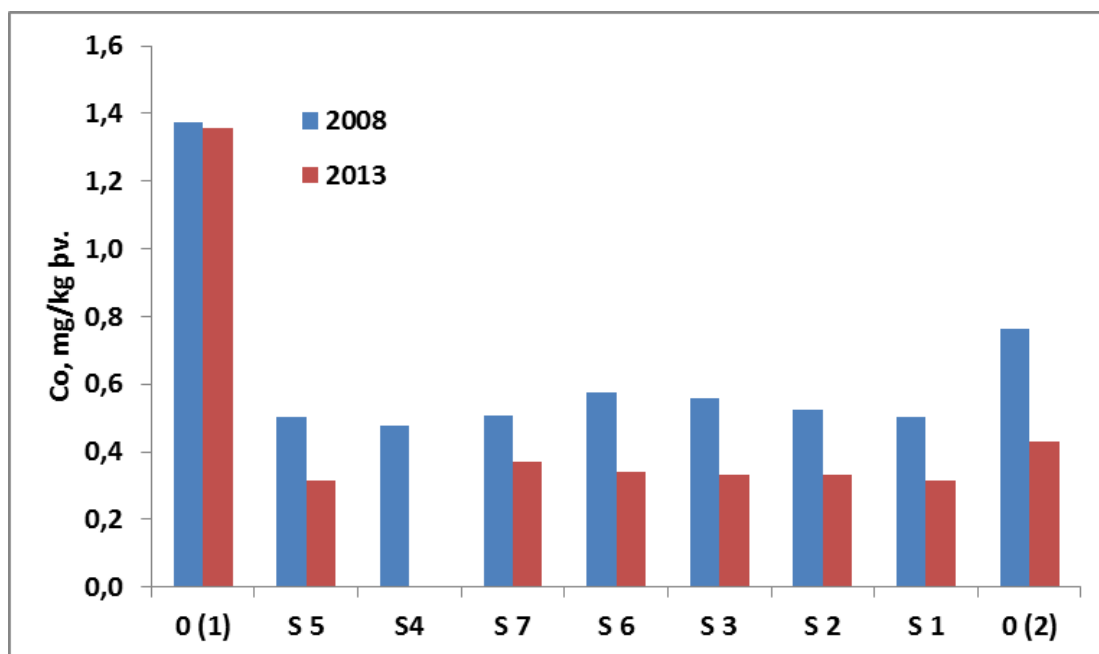
## 5.12 Kóbolt

Kóbolt var fyrst mælt í rannsókninni 2008. Engin umhverfismörk eru kunn fyrir kóbolt í kræklingi eða þangi þannig að viðmið í Hvalfirði eru einu mörkin, sem styðjast má við. Ekki hafa verið sett hámarksgildi á kóbalt í matvælum.

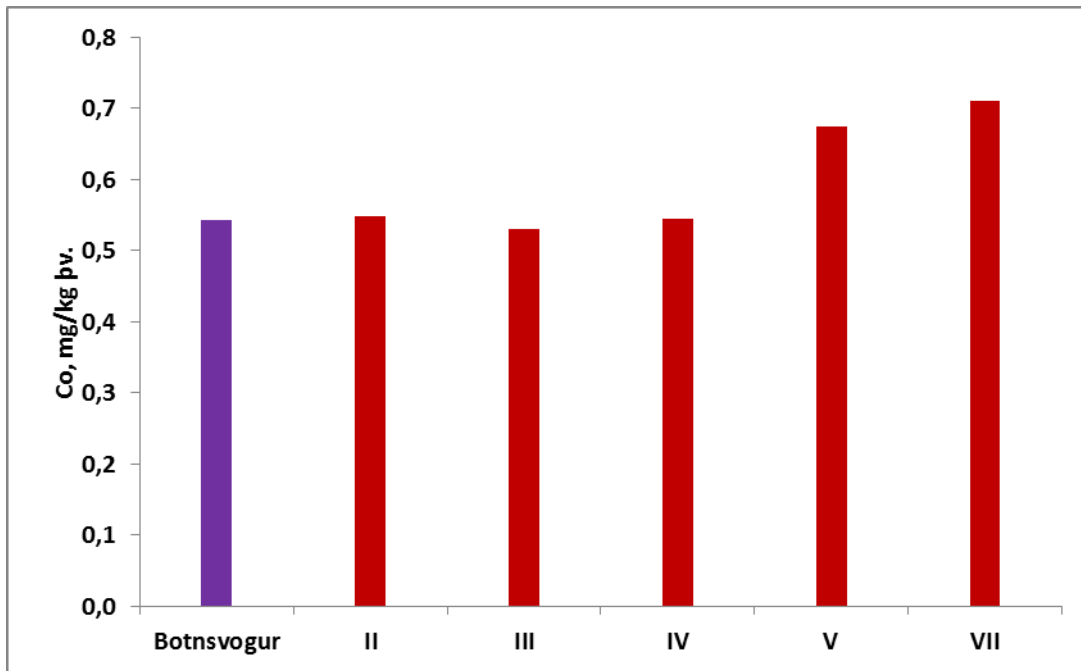
Mynd 49 sýnir kóbolt í búrkræklingi og kemur þá í ljós að styrkur á stöðvunum við álverið er fjórfalt lægri en banki í upphafi en banki í lokinn er þrefaldt lægri (en marktækt hærra en stöðvarnar undan álverinu). Samanborið við rannsóknina 2008, mynd 50, er styrkurinn 2013 marktækt lægri en 2008 en þá féll einnig kræklingurinn undan álverinu einnig verulega meðan á eldi stóð. Svipar þessi hegðun til arsens og kadmíns og þ.a.l. hugsanlegra ferskvatnsáhrifa.



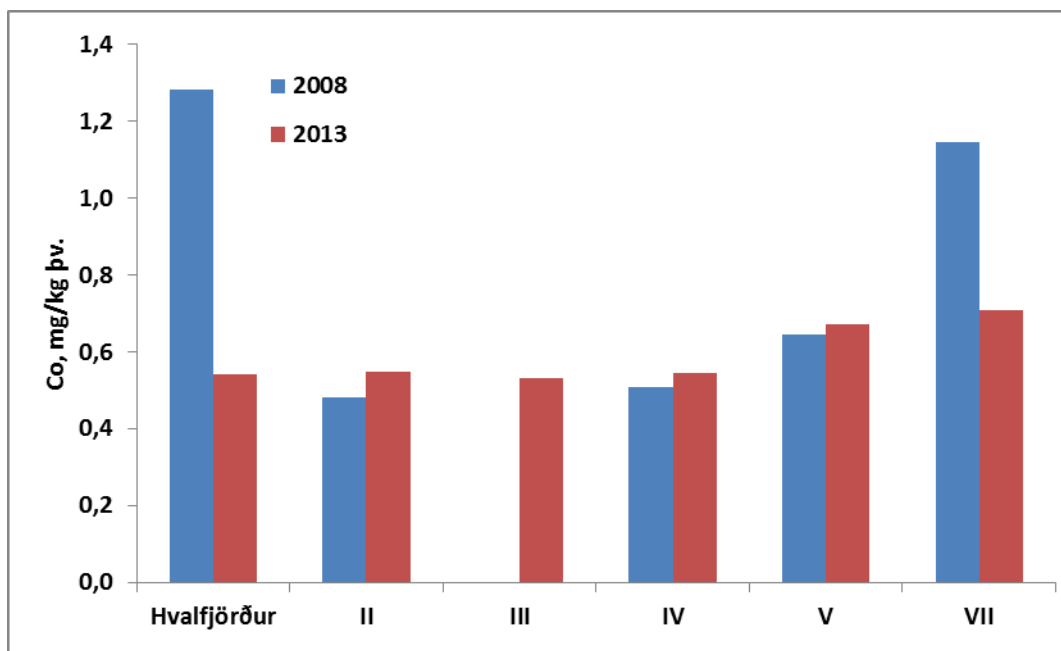
Mynd 49 Kóbolt í búrkræklingi á þurrvigtagrunni.



Mynd 50 Kóbolt í búrkræklingi á þurrvigtagrunni 2008 og 2013.



Mynd 51 Kóbolt í fjörukræklingi á þurrvigtargrunni.



Mynd 52 Kóbolt í fjörukræklingi á þurrvigtargrunni 2008 og 2013.

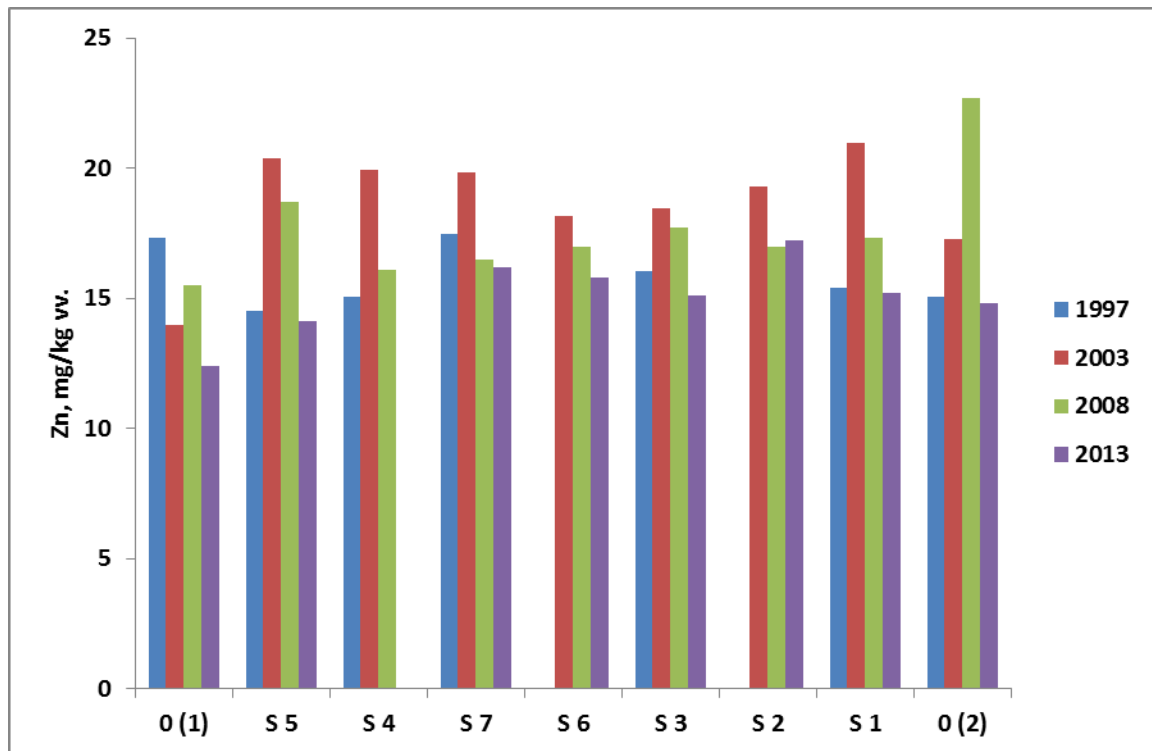
Mynd 51 sýnir styrk kóbólts í fjörukræklingi. Tilhneigingu má sjá til hækkunar er farið er frá vestri til norðausturs en þessa lækkun má rekja til minni kræklinga til norðausturs dregur fyrir bæði 2008 og 2013. Kóbolt sýnir sömu hegðun og Al, Cu, Fe, Mn, Ni og Cr en góð fylgni er milli þessara sjö málma í fjörukræklingi svo og milli þessara málma og öskuhlutfalls í kræklingnum. Þessi góða fylgni bendir til að kóbolt sé ásogað snefilefnaríkum setögnum í meltingarvegi kræklingans samanber umræðu að ofan þar sem sérstaklega ál, járn og mangan eru í ríku mæli í seti en íslenskt set er svo aftur ríkt í kopar, króm og nikkell.

Samantekið má því draga þá ályktun að verksmiðjurekstur álversins hefur ekki áhrif á styrk kóbólts í kræklingi við álverið 2008 og 2013.

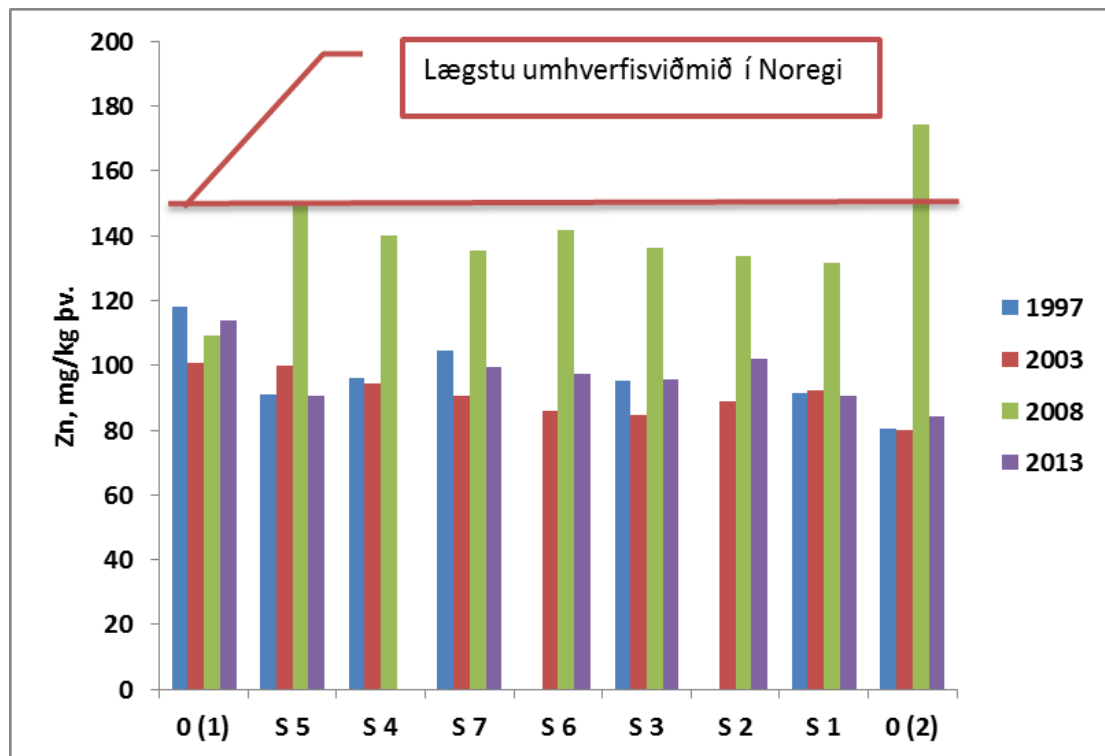
### 5.13 Sink

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. heimild 49. Af þessum sökum er styrkur sambærilegri á votvigtargrunni en þurrvigtargrunni. Mynd 53 sýnir styrk sinks í búrkræklingi á votvigtargrunni. Sjá má að nokkur breytileiki er á milli ára en styrkur í búrunum er þó innan þeirra marka sem bankasýni í upphafi og lokin sýna þegar öll ár eru skoðuð. Jafnframt er styrkurinn 2013 jafnhár eða lægri en hann hefur mælst í fyrri rannsóknum. Meiri breytileiki birtist þegar styrkurinn er skoðaður á þurrvigtargrunni, mynd 54, og sker þá árið 2008 sig úr með hærri styrk en önnur ár. Viðamiklar rannsóknir við Ísland sýna að styrkur sinks lækkar með þurrefnismagni (98) og er það minna þurrefni í kræklingnum 2008 sem veldur mismun milli rannsókna fjögurra.

Ekki er unnt að sjá áhrif af verksmiðjurekstri á sinkstyrk búrkræklingis og er hann ávallt vel undir lágstu viðmiðunarmörkum Norðmanna.



Mynd 53 Sink í búrkræklingi á votvigtargrunni 1997, 2003, 2008 og 2013.

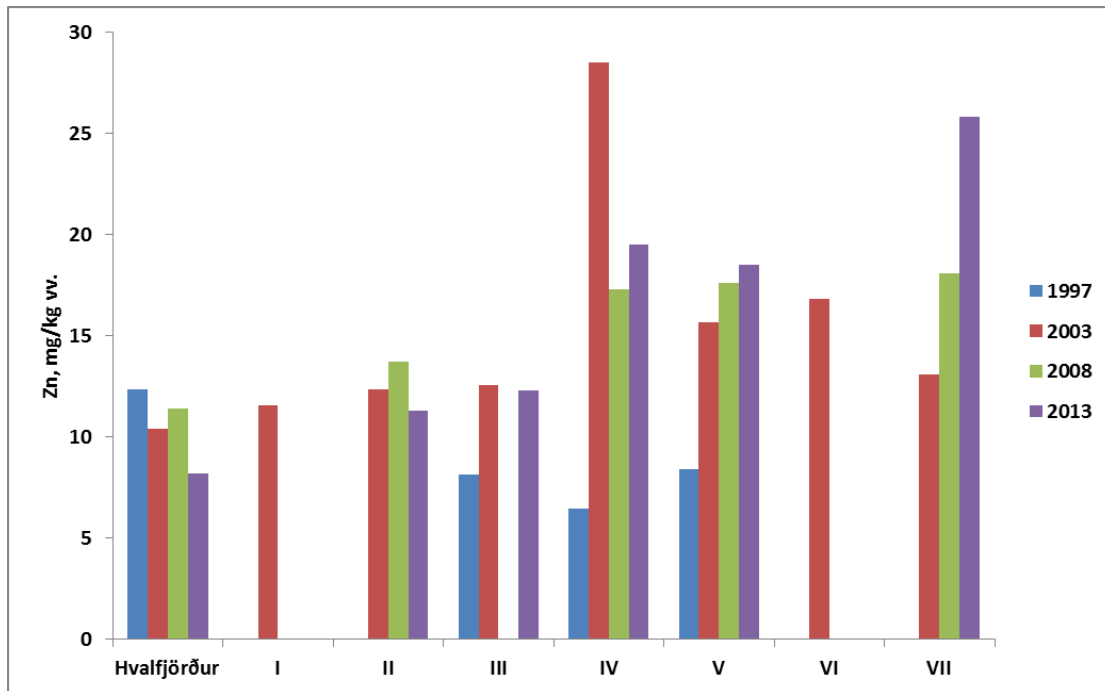


Mynd 54 Sink í búkræklingi á þurrvigtargrunni 1997, 2003, 2008 og 2013 ásamt lægstu umhverfismörkum í Noregi (49), sem talin eru lýsa lítt eða ekki menguðum svæðum.

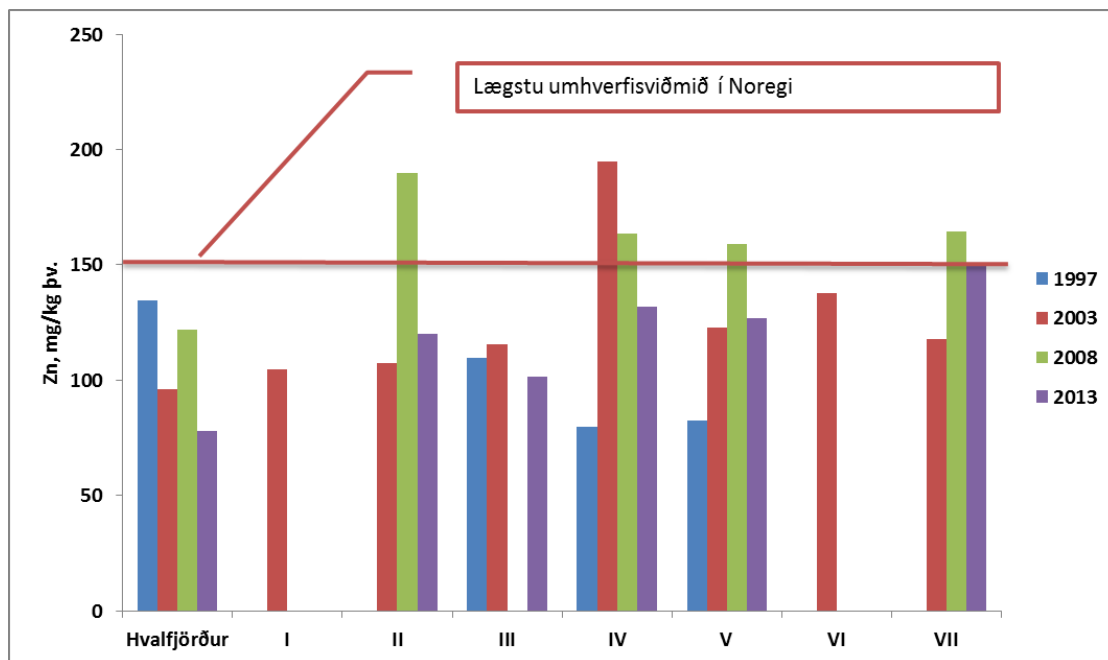
Mynd 55 sýnir styrk sinks í fjörukræklingi á votvigtargrunni og mynd 56 sýnir styrkinn á þurrvigtargrunni vegna samanburðar við umhverfisviðmið í Noregi, sem öll miðast við þurrefnisgrunn. Lítinn breytileika er að sjá í bankasýnunum milli ára en talsverðan í sýnunum á stöðvunum. Ólíkt búkræklingi er fjörukræklingur líklegur til að hafa snefilefnaríkar setagnir í meltingarvegi sínum. M.a. af þessum sökum er varasamt að bera saman fjörukrækling og búkrækling almennt.

Miðað við styrk á votvigtargrunni þá virðist sem um áhrif sé að ræða á sinkstyrk fjörukræklings á stöðvum IV, V og VII. Um litla breytingu er að ræða frá árinu 2008 utan hækkunar á stöð VII. Þessi hækkun má hins vegar að miklu leyti rekja til stærðarðerifingar kræklingsins. Áhrif verksmiðjurekstrarins á sink á þessum stöðvum mátti hins vegar sjá með niðurstöðum fyrir skúfþang 2008, mest á stöð IV. Þrátt fyrir að greina megi áhrif verksmiðjurekstrarins á sinkstyrk fjörukræklings, þá er sinkstyrkur 2013 jafnár eða lægri en lægstu umhverfismörk í Noregi en undir þessum mörkum eru svæði flokkuð sem lítt eða ekki menguð.





Mynd 55 Sinkstyrkur á votvigtargrunni í fjörkræklingi 1997, 2003, 2008 og 2013.



Mynd 56 Sink í fjörkræklingi á þurrvigtargrunni 1997, 2003, 2008 og 2013 ásamt lægstu umhverfismörkum í Noregi (49).

Samantekið má segja um sink að áhrifa virðist gæta í fjörkræklingi og að lítil breyting verði á sinkstyrk frá 2003 og 2008 til 2013. Áhrifin voru minnst árið 1997. Skúfþang hentar betur til að lýsa aðstæðum er varðar sink og mátti sjá hæstan styrk í því á stöð IV fyrir miðju álversins 2008 og lækka síðan bæði til vesturs og norðausturs. Áhrifin ná stutt frá landi og sjást ekki í búkræklingi í um 50 m fjarlægð frá ströndu. Einnig má draga þá ályktun að áhrifin séu lítil þar sem styrkurinn er ávallt jafnhár eða undir lægstu umhverfisviðmiðun í Noregi.

## 5.14 Járn og mangan

Þessir tveir málmar voru mældir til notkunar við túlkun á gögnunum fyrir krækling, sérstaklega til mats á áhrifum setagna á styrk. Með hjálp járns og mangans var unnt að skýra styrk áls en eins og mangan og járn, þá er set helsta uppspretta þess. Með hjálp þessara málma mátti skýra breytileika í króm, nikkell, kopar, kóbolt og vanadíns. Vensl þessara málma hafa verið rædd hér að ofan.

## 5.15 Samanteknar niðurstöður fyrir ólífræn snefilefni

Aðeins í tilviki flúors, króms, nikkels, blýs, vanadíns og sinks má greina áhrif af verksmiðjurekstrinum 2013. Engra áhrifa af verksmiðjurekstri gætir á eftirfarandi snefilefni í þessari rannsókn: ál, arsen, kadmín, kopar, kóbolt, járn, kvikasilfur og mangan.

Áhrifa af völdum **flúors** í sýnum 2013 ná út að u.þ.b. 50 m frá landi og eru um þrefalt það sem mælist í viðmiðun við Kattarhöfða í Hvalfirði. Rannsóknirnar 2003 og 2008 sýndu að lengra út náðu áhrifin ekki enda fellir Ca og Mg sjávar auðveldlega út flúoríð. Ekki er að sjá lækkun í flúor í kræklingi undan álverinu frá 2003 og 2008.

Styrkur **króms** hefur hækkað talsvert í fjörukræklingi 2013 miðað við 2003 og 2008. Áhrifa gæti verið farið að gæa út í búkræklinginn (stöðvar 7 og 3) þó svo álagið þar sé hverfandi lítið miðað við stöðuna 1997. Álagið má þó teljast lítið þar sem styrkurinn er ávallt undir lægstu umhverfisviðmiðunargildi í Noregi en undir þeim styrk eru svæði talin lítt eða ekki menguð.

Sjá má áhrif verksmiðjurekstrarins á styrk **nikkels** á fjöru á stöð V en styrkurinn er talsvert hærri en í undanförunum rannsóknnum og yfir lægsta umhverfisstyrk nikkels í kræklingi í Noregi. Styrkur nikkels í búkræklingi er hins vegar eins og hann gerist í ósnortinni íslenskri náttúru.

Styrkur **blýs** hefur aldrei mælst eins lágur í búkræklingi við álverið og er um mjög lágan styrk að ræða. Hins vegar mælist hækkun í blýi á stöð V í fjöru við norðausturhorn álversins, yfir lægsta umhverfisstyrk blýs í kræklingi í Noregi.

Styrkur **vanadín** er hár í búrsýnunum 2013 og svipar þannig til flúors en svo hefur ekki verið fyrri ár. Ekki er kunn skýring á þessari hegðun en náttúrulegar orsakir gætu vel verið að verki. Hugsanlega gæti orsök skelrýrnunar, sem átti sér stað í búrsýnum, legið að baki. Niðurstöður þessa verkefnis gefa ekki skýringu og þarfnast málið frekari rannsókna við. Hærri styrkur vanadíns á stöð V við norðausturenda verksmiðjusvæðisins hefur hins vegar helmingast miðað við rannsóknirnar 2003 og 2008 og stöðin nú jafnhá öðrum stöðvum í fjöru við álverið. Áhrifa virðist gæta á **sink**styrk í fjörukræklingi og lítil breyting verður á sinkstyrk frá 2003 og 2008 til 2013. Áhrifin voru minnst árið 1997. Hins vegar hentar þang betur til mats á mengun af völdum sinks, sem rannsóknirnar 2003 og 2008 leiddu í ljós. Áhrifin teljast þó lítil á krækling þar sem styrkurinn er ávallt jafnhár eða undir lægstu umhverfisviðmiðun í Noregi.

Í tilviki kvikasilfurs, kadmíns og blýs (og aðeins þessara ólífrænu snefilefna) hafa verið sett hámarksgildi fyrir fiskmeti til manneldis og stenst allur kræklingur í þessari rannsókn þau mörk með ágætum, jafnvel í tilviki kadmíns sem oft mælist hátt í kræklingi við Ísland. Kadmín er annars eitt dæmi um það að varlega verður að fara við notkun erlendra viðmiðunargilda við mat á styrk ólífrænna snefilefna í sjávarlífríki á Íslandi.

Varlega verður að fara við samanburð á ólífrænum snefilefnum í annars vegar fjörukræklingi og hins vegar búrukræklingi því fjörukræklingur er líklegur til að hafa snefilefnaríkar setagnir í meltingarvegi sínum auk þess sem stærð kræklingins getur haft veruleg áhrif á styrk snefilefna í honum. Fjörukræklingur var ekki látinn hreinsa sig í hreinum sjó áður en hann var tekinn til mælinga eins og oftast er gert. Ástæðan er m.a. sú að þannig gefur fjörukræklingurinn hærri svörun á bæði ólífrænum snefilefni og PAH-efni og niðurstöður fyrir fjörukrækling gefa því dekkstu sviðsmynd fyrir ástandið undan álverinu.

Það ferskvatn sem kemur undan hrauninu í Hraunsvík hefur mikil áhrif á mörg ólífræna efnanna og gerir túlkun gagnanna örðuga.

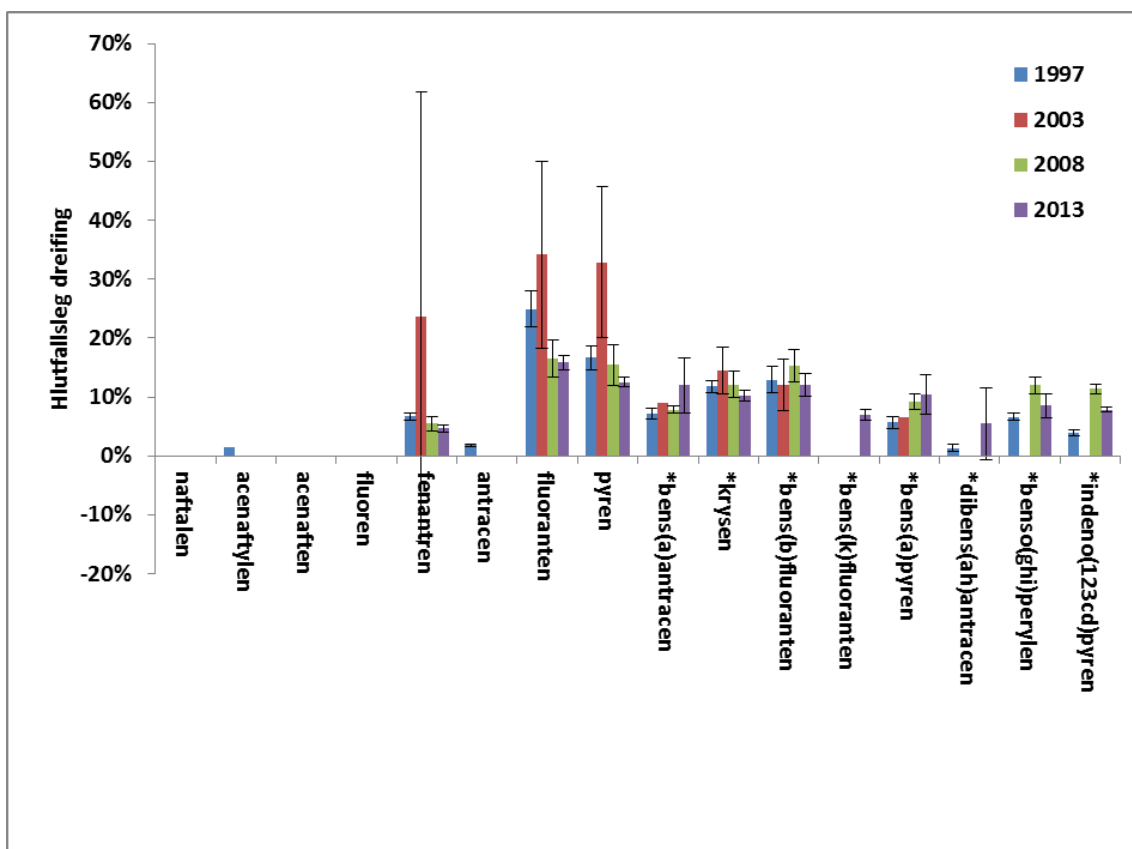
## 6. NIÐURSTÖÐUR MÆLINGA Á PAH-EFNUM

Niðurstöður allra mælinga er að finna í viðauka V.

### 6.1 EPA16

#### *Búrukræklingur*

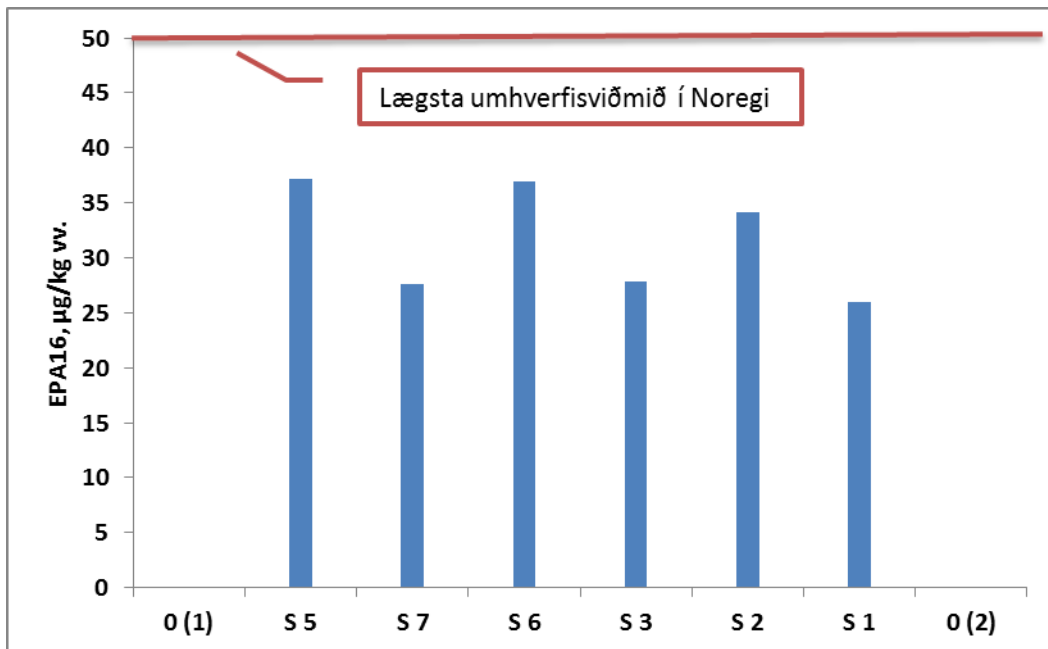
Mynd 57 sýnir hlutfallslega dreifingu efnanna sem mæld hafa verið. Myndin gerir ljóst að lítill munur er í samsetningu blöðunnar á tímabilinu 1997-2013 að undanskildu 2003 þegar þrjú efnanna (fenantren, fluoranten og pyren) eru í hlutfallslega háum styrk en stærri efnin dinens(ah)antracen, benso(ghi)perylene og indeno(123-cd)pyren voru þá í ómælanlegum styrk. Þetta þýddi að árið 2003 gaf minnsta krabbameinsvirkni blöðunnar. Árið 2003 gaf einnig mikinn breytileik í þessum þremur fyrstnefndu efnunum, sérstaklega fenantren.



Mynd 57 Hlutfallsleg dreifing PAH-efna sem mæld voru í búrukræklingi 1997, 2003, 2008 og 2013. Stjörnumerkt efni eru bendiefni á krabbameinsvirkni, PAH8 (83). Af þessum 8 eru hámarksgildi í matvælum fyrir B(a)P og summu 4 þeirra, PAH4: B(a)A, krysen, B(b)F og B(a)P. Á hverri súlu eru 95 % vikmörk fyrir búrin 7.

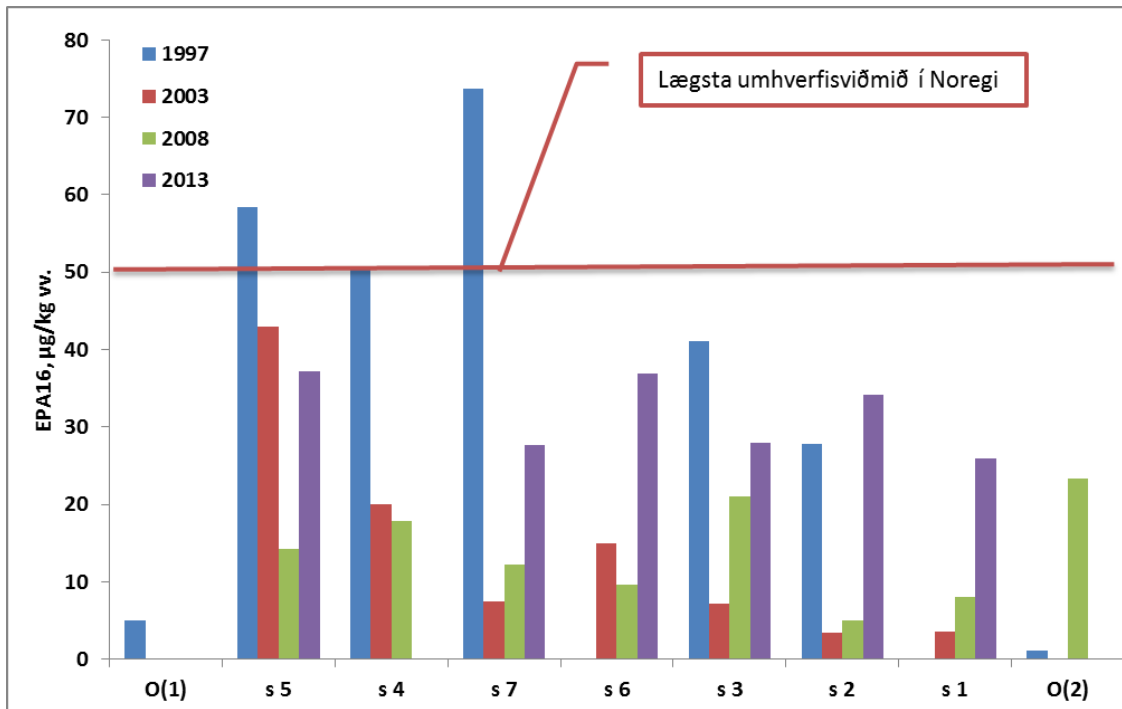
Einnig vekur athygli við skoðun á mynd 57 að minnstu efnin fjögur, naftalen, acenaftýlen, acenaften og fluoren (auk antracens) mælast nær aldrei yfir greiningarmörkum. Þetta eru þau efni sem hafa mesta vatnsleysni og hæstan gufuþrýsting. Um pyrogenic PAH-efni er að ræða, þ.e. efnis sem myndast við hitun lífræns efnis við háán hita, lífræn efni eins og olíu, kol, koltjöru og trjáviðar (en petrogenic PAH-efni er að finna í kolum og olíu (plöntuleifar eftir milljón ár) en biogenic/phytogenic eru efni sem eiga rætur að rekja til plantna (plöntuleifar eftir hudruði ára)). Snarlíka dreifingu PAH-efna mátti sjá í kræklingi við norskt álver (Høgevarde) en norska álverið gaf hins vegar ekki eins stóra hlutfeld af fenantren (109), sem gæti átt rætur að rekja til kolasalla eða koxryks (110).

Mynd 58 sýnir styrk mælanlegra EPA16 í búrkræklingi á votvigtargrunni og má sjá að styrkur allra sýnanna undan álverinu er áþekkur og undir lágstu umhverfisviðmiðun í Noregi, lítt eða óverulega mengað svæði (49).

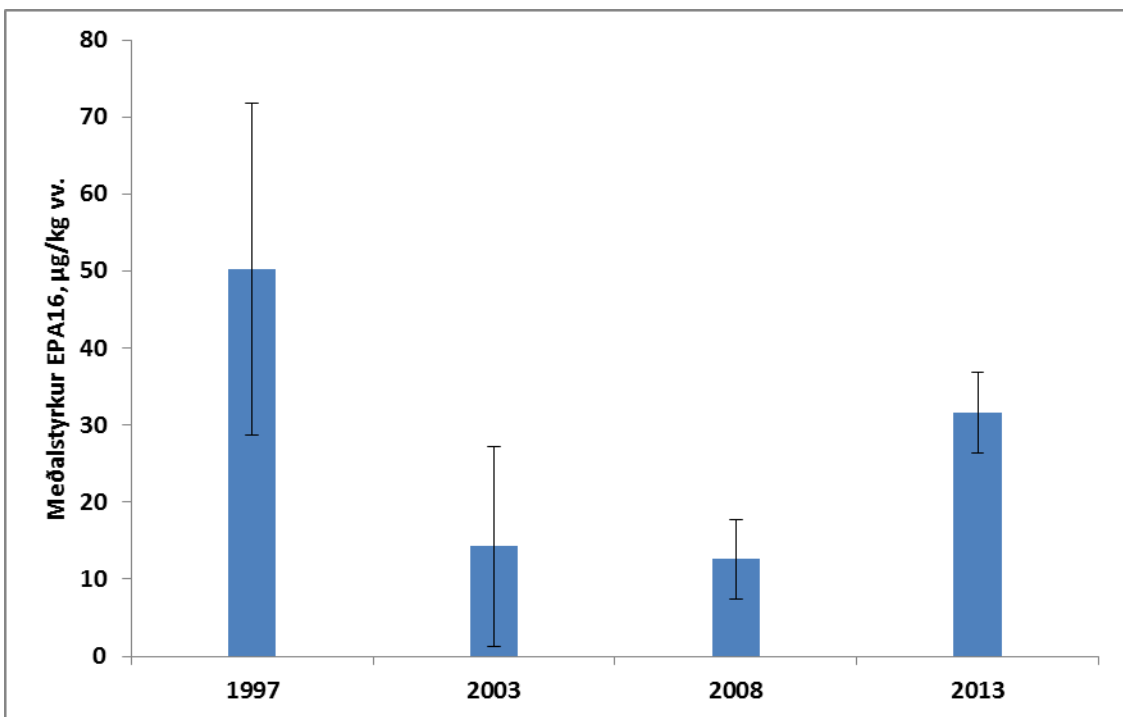


Mynd 58 EPA16 í búrkræklingi á votvigtargrunni ásamt lágstu umhverfisviðmiðun í Noregi (49). Styrkur í báðum bankasýnum var undir greiningarmörkum, 10 µg/kg ww.

Mynd 59 sýnir styrk EPA16 fyrir árin 1997, 2003, 2008 og 2013. Sjá má að banki í lokin 2008 gefur hæstan styrk EPA16 árið 2008 og kemur þar aðallega til niðurstaða fyrir antrasen, sem er um 64% af mældu gildi fyrir EPA16 fyrir bankann en í bankanum mældist einnig fenantren (18%), fluoranten (10%) og pyren (8%). Þetta háa gildi í banka í lokin 2008 gefur til kynna að styrkurinn í búrsýnunum sé tiltölulega lágur. Af mynd 59 má sjá að aðeins 1997 fór styrkur EPA16 yfir lágstu umhverfisviðmið í Noregi en þá voru sýni 150 % eða lægra hlutfall af lágsta umhverfisviðmiði í Noregi, en 2003 er styrkurinn 86 % eða lægri af lágsta viðmiði, 42 % árið 2008 en 74 % eða lægri af lágsta viðmiði 2013. Þessi breyting með tíma er sýnd á mynd 60 en ljóst er af myndum 59 og 60 að 2013 eru öll sýni hærri en 2008 en á milli 2003 og 2008 varð lítil breyting í styrk. Eins og rannsóknirnar 2003 og 2008 sýndu þá hverfa EPA16-efnin hins vegar mjög hratt er frá dregur verksmiðjussvæðinu (1b, 1c).



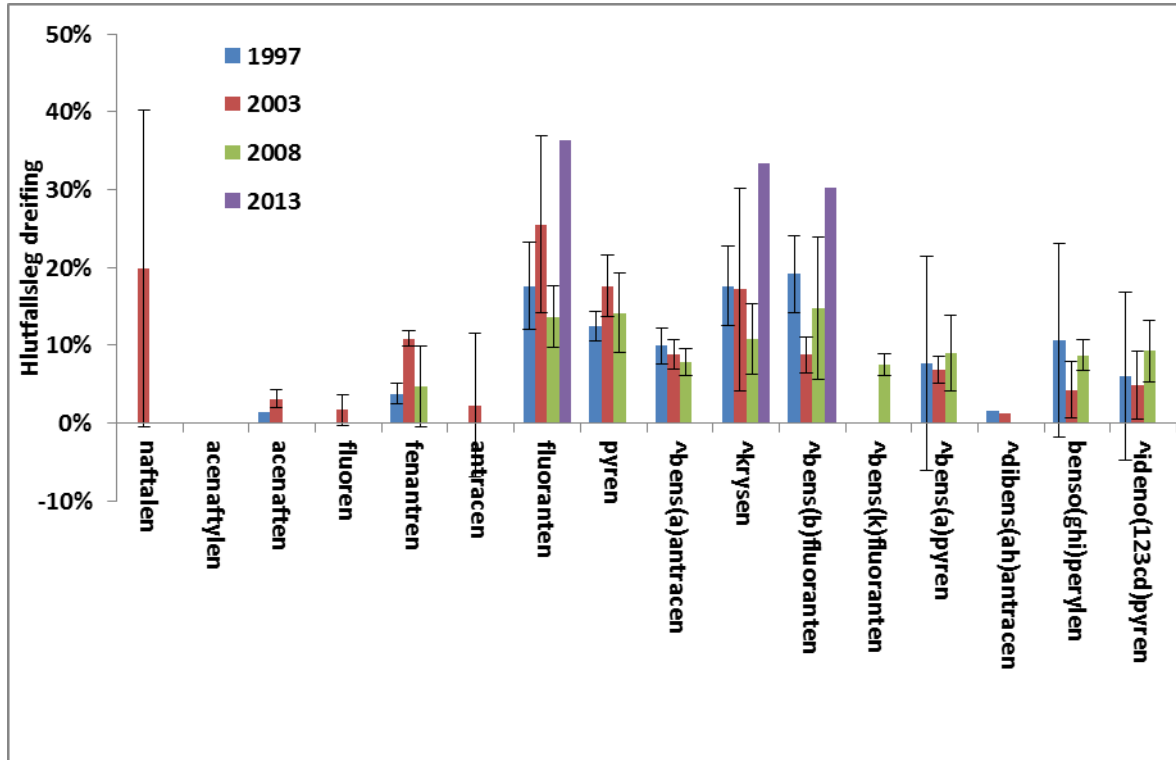
*Mynd 59 Mælanleg EPA16 í búkræklingi á votvigtargrunni ásamt lögstu umhverfismörkum Norðmanna. Þegar engin súla er sýnd, þá er niðurstaða lægri en greiningarmörk (10 µg/kg vv.) eða sýni ekki fyrir hendi (stöð 4 2013 og stöðvar 1 og 6 fyrir 1997).*



*Mynd 60 Meðalstyrkur EPA16 í búkræklingssýnum 1-7 árin 1997, 2003, 2008 og 2013 ásamt 95 % víkmörkum. Við útreikninga er notast við hálf greiningarmörkin þegar sýni eru undir greiningarmörkum mæliaðferðarinnar.*

## Fjörukræklingur

Aðeins náðist í sýni til mælinga af stöðvum II og III til mælinga á PAH-efnum vegna smáðar sýnanna. Mynd 61 sýnir hæutfallslega dreifingu PAH-efnanna í búrkræklingnum og má sjá að hún er svo gott sem hin sama og fyrir búrkræklinginn en breytileiki niðurstaðna er meiri fyrir hvert efni.



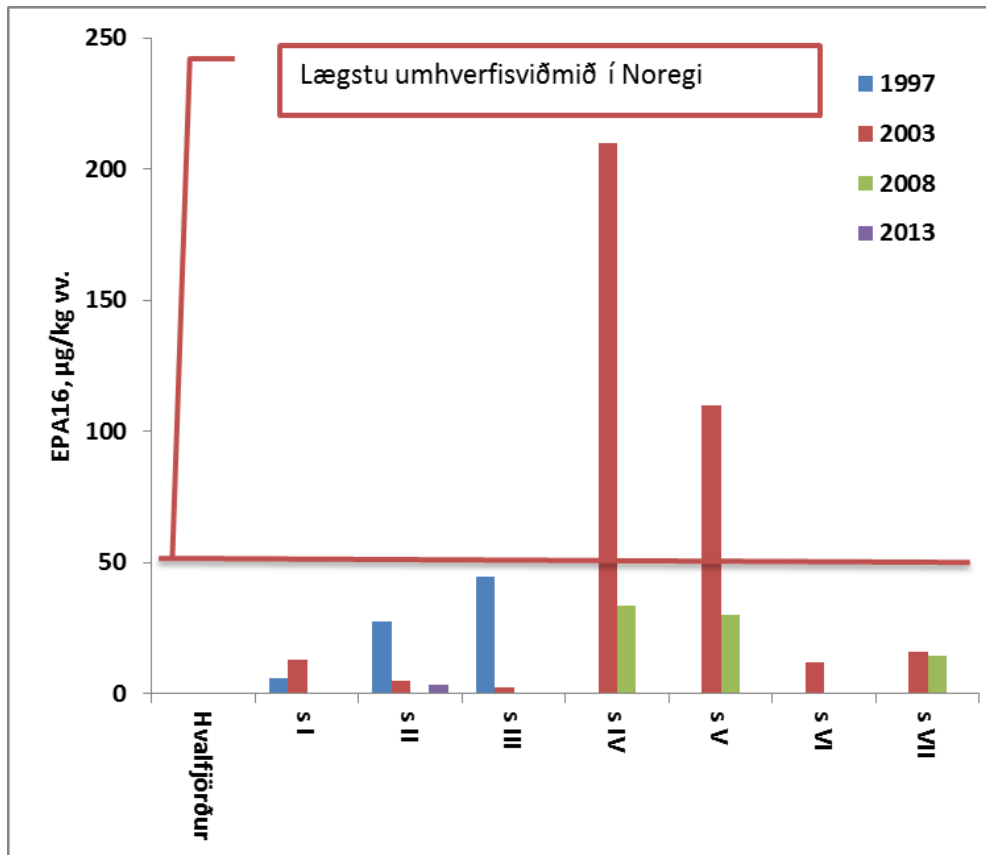
Mynd 61 Hlutfallsleg dreifing PAH-efna sem mæld voru í fjörukræklingi 1997, 2003, 2008 og 2013. Stjórnumerkt efni eru bendiefni á krabbameinsvirkni, PAH8 (83). Af þessum 8 eru hámarksgildi í matvælum fyrir B(a)P og summu 4 þeirra, PAH4: B(a)A, krysen, B(b)F og B(a)P. Á hverri síðu eru 95 % vikmörk fyrir búrin 7.

Mynd 62 sýnir mælanleg EPA16 í fjörukræklingi. Þar sem kræklingurinn úr fjöru frá 1997 var látinn hreinsa sig í hreinum sjó fyrir mælingar en ekki árin 2003 og 2008, þá er hann ekki sambærilegur við seinni niðurstöðurnar, þ.e. kræklingurinn 1997 mælist lægri en ella því PAH-efni úr meltingarvegi hreinsast út við þessa meðferð. Hafa ber þetta í huga við skoðun á mynd 62. Kræklingur úr búrum hefur hins vegar ávallt verið tekinn beint til mælinga og því eru niðurstöður allra ára fjögurra sambærilegar fyrir búrkræklinginn.

Sýni af fjöru eru almennt hærri en úr búrum en 2013 er annað sýnið undir greiningarmörkum, stöð II eins og 2008 (stöð II gav 5,1 µg/kg 2003), og stöð III mælist mjög lág eða 3,3 µg/kg vv. en var 2,1 µg/kg vv. 2003 (ekkert sýni af III 2008). Stöð II var undir greiningarmörkum 2008 en þess að geta að greiningarmörk fyrir stöð II árið 2008 eru hærri en niðurstaða mælinganna 2003 (greiningarmörk eru 10 µg/kg vv 2008 en mældist 5,1 µg/kg vv árið 2003). Greiningarmörk eru háð sýnum hverju sinni. Sýnafjöldi dugar því ekki til að gera grein fyrir breytingum 2013 miðað við fyrri ár því ekki náðist í sýni af stöðvum IV og V sem fram til þessa hafa gefið hæst gildin.

Mynd 62 sýnir að styrkur EPA16 hafði lækkað verulega frá 2003 til 2008. Í öðru lagi má sjá að talsvert minni munur er á fjörukræklingi og búrkræklingi (innri stöðvar) 2008 en 2003 en fjörukræklingur er hærri en úr búrum eins og búast mátti við, þ.e. lækkun í styrk er frá dregur verksmiðjusvæðinu. Í þriðja lagi reyndist fjörukræklingur 2008 fara undir lágstu

umhverfisviðmið í Noregi en þau lýsa lítt eða ómenguðum svæðum (49). Í fjórða lagi eru stöðvar I, II og III hærrí 1997 en seinni ár þrátt fyrir að kræklingurinn hafi verið látinn hreinsa sig það ár fyrir mælingar, þetta bendir til að styrkurinn 1997 hafi verið talsvert hár í þessum sýnum.

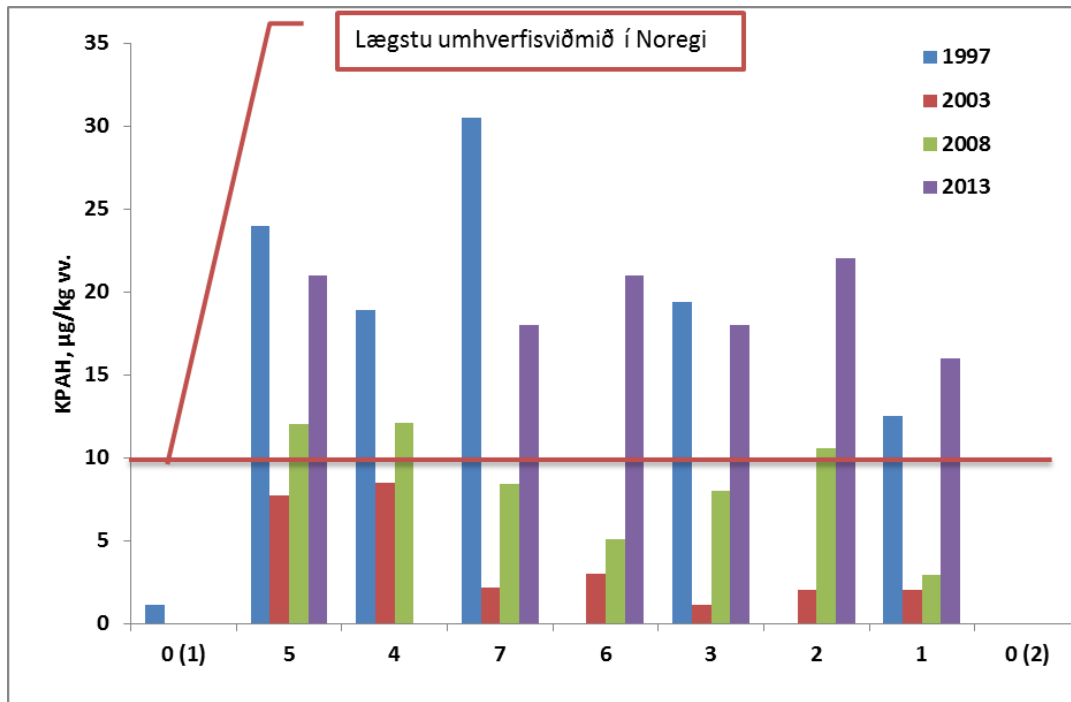


Mynd 62 Mælanleg EPA16 í fjörkræklingi á votvigtargrunni ásamt lögstu umhverfismörkum Norðmanna. Þegar engin súla er sýnd, þá er niðurstaða lægri en greiningarmörk (10 µg/kg ww.) (Hvaleyfjörðuröll árin og sýni af stöð II 2008 og 2013) eða sýni ekki fyrir hendi.

## 6.2 KPAH

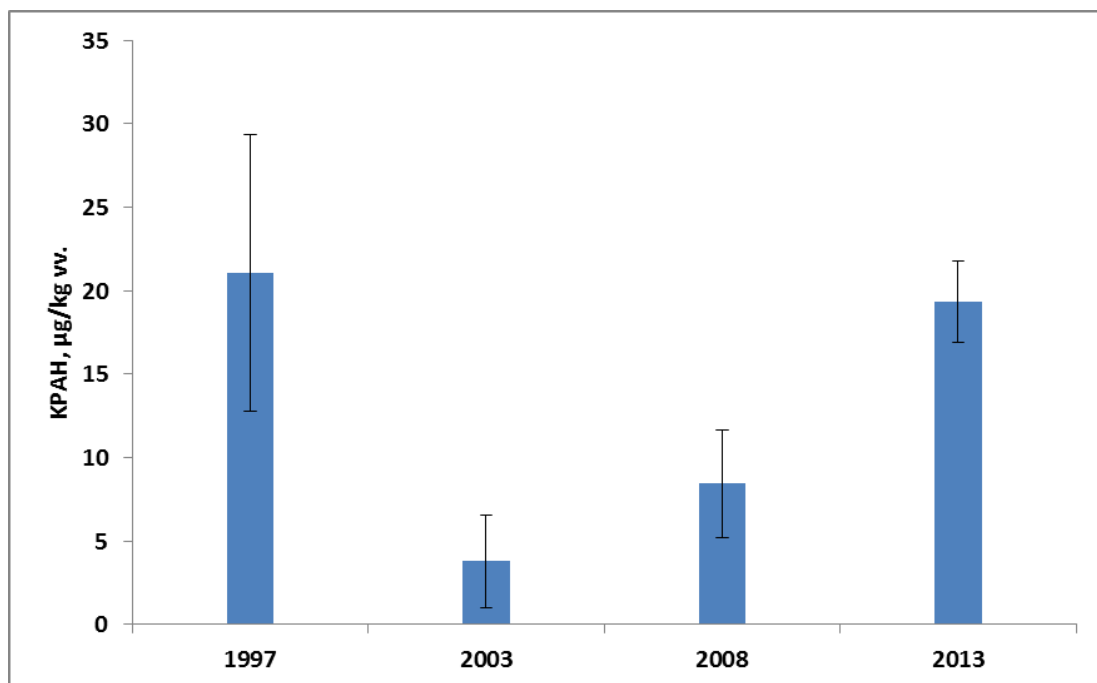
### Búrkræklingur

Mynd 63 sýnir mælanleg krabbameinsvaldandi PAH-efni (KPAH) í búrkræklingi en hér er átt við stjörnumerktu efnin í töflu 3 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 tilð umhverfisvöktunar og að Noregur hefur sett umhverfisviðmið fyrir þessi sjö PAH-efni (49).



**Mynd 63** Mælanleg KPAH-efni í búkræklingi á votvigtargrunni ásamt lögstu umhverfismörkum Norðmanna, en styrkur undir þeim mörkum lýsa lítt eða ekki menguðum svæðum (49). Þegar engin súla er sýnd, þá er niðurstaða lægri en greiningarmörk eða sýni ekki fyrir hendi (stöð 4 2013 og stöðvar 6 og 2 1997).

Mynd 63 sýnir að árið 1997 var styrkur KPAH-efna ávallt yfir lögstu umhverfismörkum í Noregi en ávallt undir þeim 2003. Árið 2008 er styrkur KPAH-efna áþekkur (stöðvar 5 og 4) eða hærri en hann var 2003. Styrkur KPAH-efna 2008 er þó lágur eða nálægt og undir lögstu umhverfismörkum í Noregi. Árið 2013 fara síðan öll sýnin yfir lögstu umhverfisviðmið í Noregi, þ.e. hækkar umtalsvert frá 2008 og 2003, og svæðið flokkast sem nokkuð mengað. Meðalstyrkur sem fall af tíma er sýndur á mynd 64, sem gerir ljóst að styrkur vex marktækt frá 2003 til 2013 en hæstur var hann 1997.



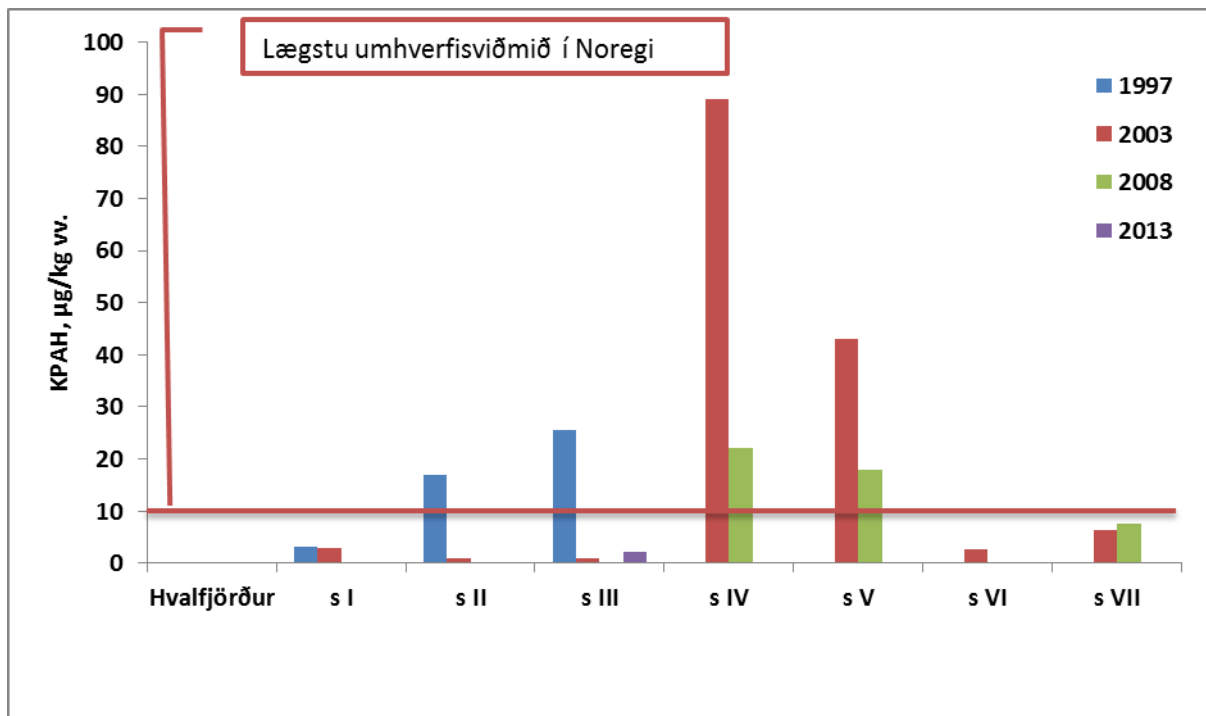
**Mynd 64** Meðalstyrkur KPAH í búkræklingssýnum 1-7 árin 1997, 2003, 2008 og 2013 ásamt 95 % vikmörkum. Við útreikninga er notast við hálf greiningarmörkin þegar sýni eru undir greiningarmörkum mæliaðferðarinnar.



Auk raunverulegrar hækkunar í styrk KPAH með tíma gæti mismunur milli ára komið til af breytileika niðurstaðna frá einum tíma til annars en t.d. árstíð og þ.a.l. umhverfsþættir, eru þekktir að hafa talsverð áhrif á styrk PAH-efna í kræklingi (sjá t.d. heimildir 33 og 55). Má hér t.d. nefna að kræklingurinn óx í lengd umtalsvert meira 2003 en 1997 og meira 2003 en 2008 og alls ekki 2013 en mismunandi vöxtur bendir til ólíkra skilyrða þessi fjögur ár, sjá 4.1.

### Fjörukræklingur

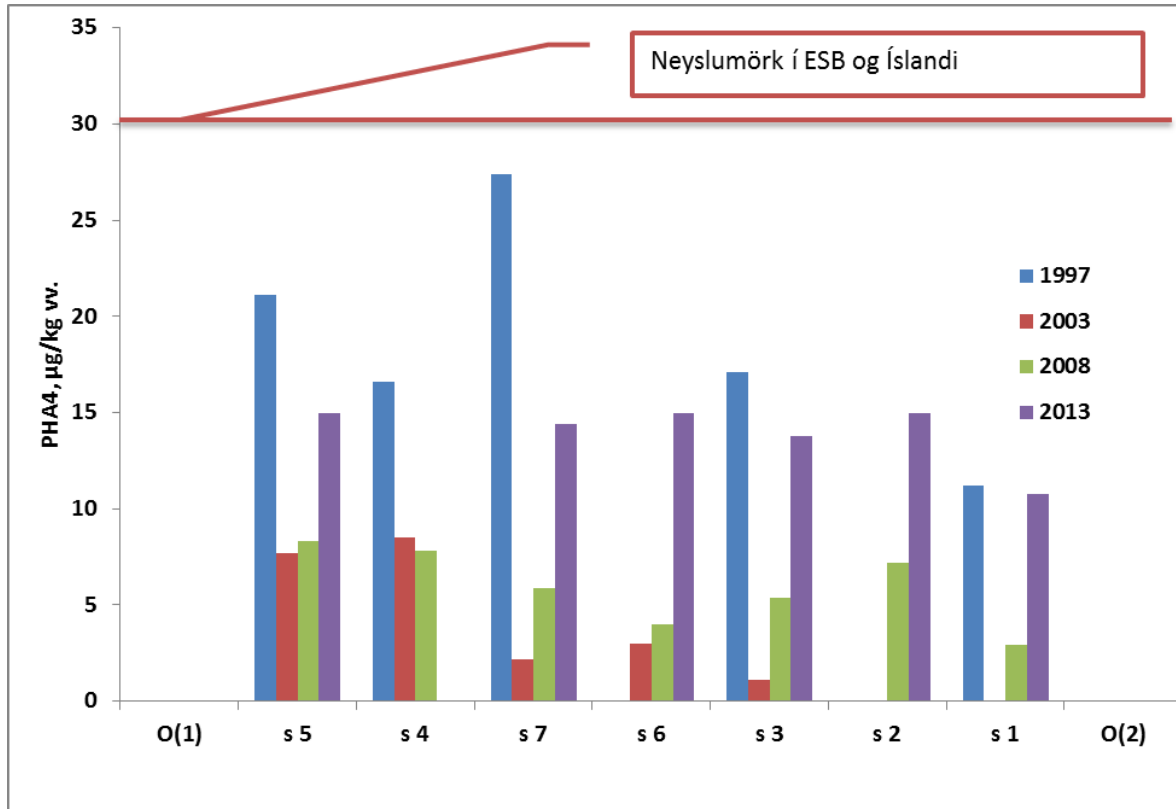
Mynd 65 sýnir KPAH-efni í fjörukræklingi en minnt er á að kræklingurinn frá 1997 er ekki samanburðarhæfur vegna þess að hann var látinn hreinsa sig. Eins og við var að búast, þá er styrkur hærri í fjörukræklingi en búrunum á nærsvæðinu (stöðvar 1-7) 1997-2008. Um hraða lækkun KPAH-efna er því að ræða frá fjöru og til ytri búra eins og í tilviki EPA16. Ólíkt búkræklingi, sem tekur litlum breytingum í KPAH frá 2003 til 2008, þá hefur styrkur KPAH-efna lækkað umtalsvert í fjörukræklingi frá 2003 til 2008. Stöðvarnar sem sýna hæstan styrk, stöðvar IV og V 2003 og 2008, eru þó yfir lægstu umhverfismörkum í Noregi. Eins og í tilviki EPA16 þá eru greiningarmörk fyrir stöð II hærri árið 2008 en niðurstaða mælingarinnar 2003 (greiningarmörk eru 4 µg/kg vv fyrir stöð II en mældist 1 µg/kg vv árið 2003). Sýnin 2013 voru mjög lág, undir greiningarmörkum á stöð II (5µg/kg) og 2,1 µg/kg á stöð III en var þó 1 µg/kg 2003 (ekkert sýni af stöð III 2008),-svo fá sýni duga ekki til samanburðar við fyrri ár.



Mynd 65 Mælanleg KPAH í fjörukræklingi á votvigtargrunni ásamt lægstu umhverfismörkum Norðmanna, en styrkur undir þeim mörkum lýsa lítt eða ekki menguðum svæðum (49). Þegar engin súla er sýnd þá er niðurstaða lægri en greiningarmörk (stöð I 2008 (<20µg/kg), stöð II bæði 2008 og 2013 og öll bankasýni) eða sýni ekki fyrirleggjandi.

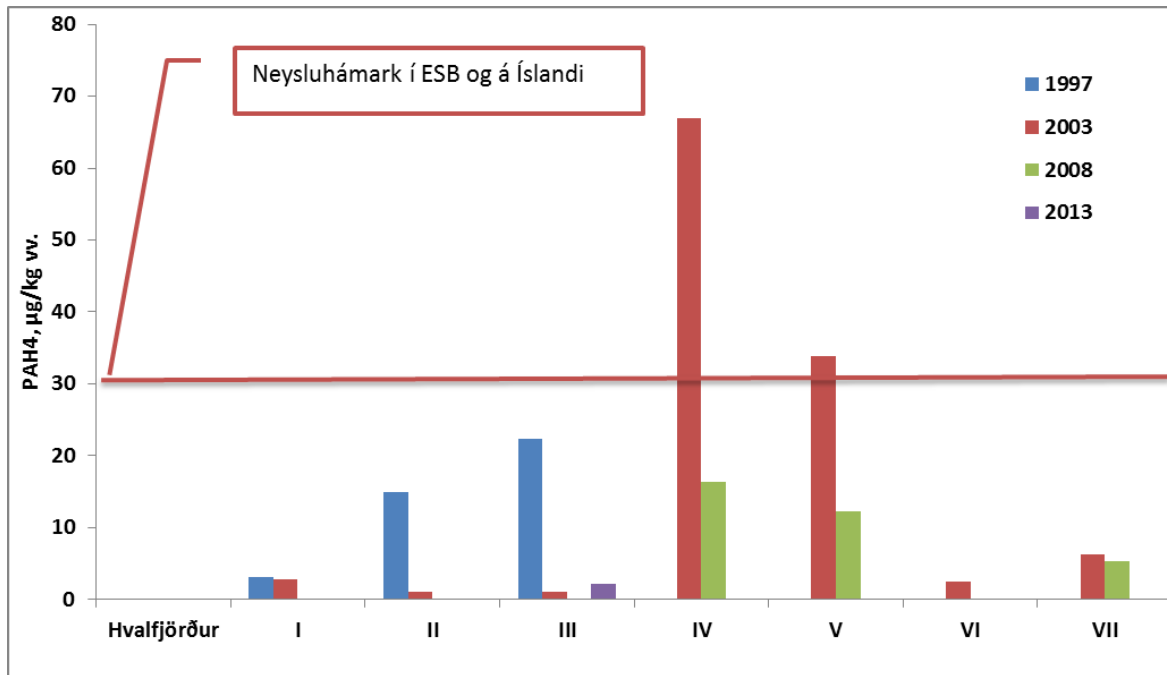
## 6.4 PAH4

Til samanburðar við neysluhámark PAH-efna í kræklingi sýnir mynd 66 PAH4 í búrkræklingnum og sjá má að hann stenst mörkin öll 4 árin. Annars sýnir PAH4 sömu hegðun og KPAH.



*Mynd 66 Mælanleg PAH4 í búrkræklingi á votvigtargrunni ásamt leyfilegu hámarksgildi fyrir PAH4 í kræklingi til manneldis. Þegar engin súla er sýnd, þá er niðurstaða lægri en greiningarmörk (3 µg/kg ww.) eða sýni ekki fyrir hendi (stöð 4 2013 og stöðvar 1 og 6 fyrir 1997).*

Mynd 67 sýnir samvarandi fyrir PAH4 í fjörukræklingi en niðurstöður 1997 eru ekki sambærilegar við seinni rannsóknir þar sem kræklingur var látinn hreinsa sig það ár og því eru niðurstöður 1997 líklegast lægri en ella. Hins vegar ætti kræklingur til manneldis að vera látinn hreinsa sig fyrir neyslu. Mynd 67 sýnir að kræklingurinn 2003 hefði ekki staðist mannelismörk en það hefði hann gert bæði 1997 og 2008. Hins vegar er ekkert hægt að fullyrða um kræklinginn 2013 vegna sýnafæðar.



Mynd 67 Mælanleg PAH4 í fjörukræklingi á votvigtargrunni ásamt neysluhámarki fyrir PAH4 í kræklingi til maneldis. Þegar engin súla er sýnd þá er niðurstaða lægri en greiningarmörk (stöð I 2008 (<10µg/kg), stöð II bæði 2008 og 2013 (<3µg/kg) og öll bankasýni) eða sýni ekki fyrirleggjandi.

## 6.3 Benso(a)pyren

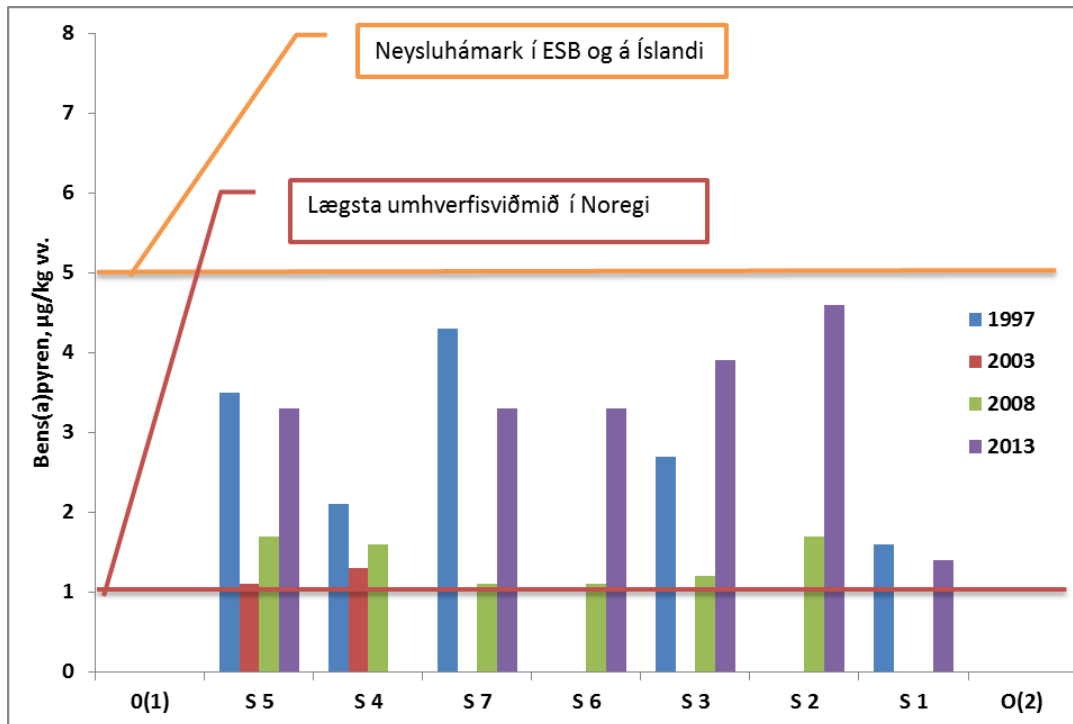
### Búkræklingur

Benso(a)pyren, B(a)P, er lýst sérstaklega því bæði eru fyrir hendi umhverfismörk í Noregi fyrir B(a)P (49) og hámarksgildi er á B(a)P í matvælum (18). Mynd 68 sýnir B(a)P í búkræklingi á votvigtargrunni og má enn sjá lækun frá 1997 til 2003. Styrkur B(a)P fyrir búkrækling 2008 er áþekkur styrk 2003 eða hærri (flestar sýni 2003 voru undir greiningarmörkum). Styrkur vex hins vegar umtalsvert 2013. Minnsti mælanlegi styrkur aðferðarinnar er jafn lægstu viðmiðunarmörkum í Noregi en við þennan styrk er óvissa í niðurstöðum umtalsverð.

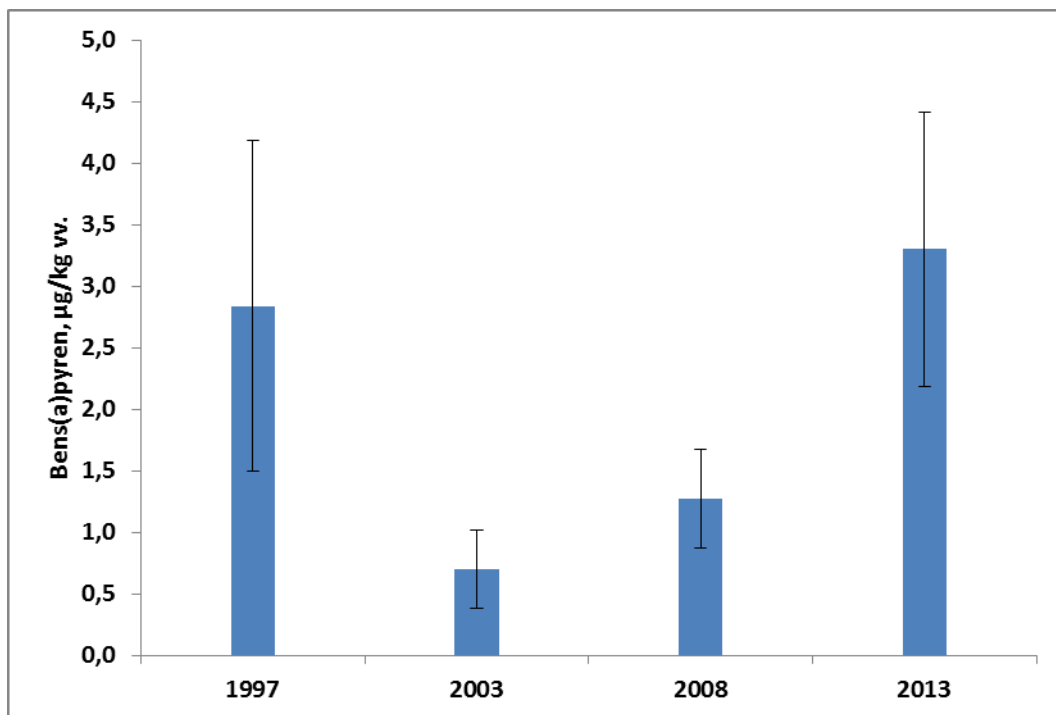
Niðurstöður fyrir bæði 2003 og 2008 eru undir eða u.þ.b. jöfn greiningarmörkunum en 2013 verður styrkurinn þreföld umhverfismörkin. Styrkur B(a)P 2003 og 2008 er um fimmtungur af hámarksgildi á B(a)P í kræklingi til maneldis í Evrópu og á Íslandi en 2013 reynist hann um 2/3 af hámarksgildinu.

Mynd 69 gerir grein fyrir að styrkur vex samfelld frá 2003 til 2013 og nær styrkurinn 2013 að verða jafnhár styrknum 1997, þ.e. vex álíka hratt og KPAH en hraðar en EPA16.

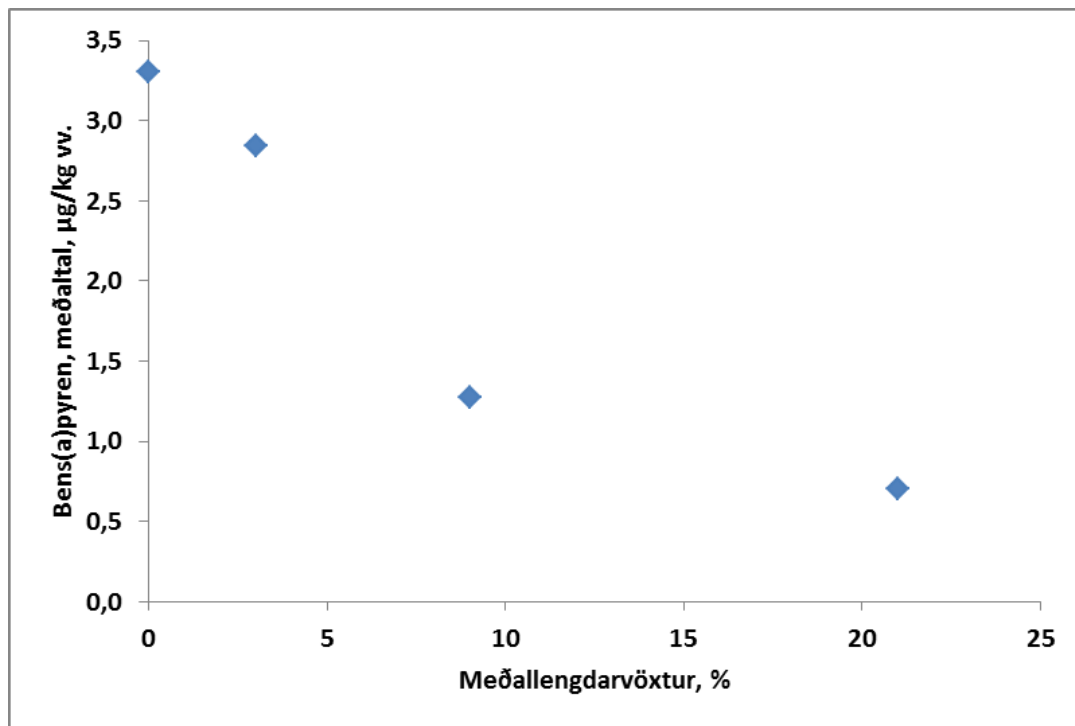
Eins og rætt var að ofan geta umhverfispættir haft áhrif á styrk PAH-efna í kræklingi og eftirtekt vekur fylgni styrks á bens(a)pyren og t.d. lengdarvexti hvert ár, mynd 70, þ.e. styrkur lækkar eftir því sem vaxtarhraði vex. Vaxtarskilyrði eru þekkt til að geta haft áhrif á styrk PAH-efna (33, 55) og bendir mynd 69 til að svo geti verið í kræklingnum undan álverinu þessi fjögur tímabil.



**Mynd 68** Mælanlet bens(a)pyren í búkræklungi á votvigtargrunni ásamt leyfilegu hámarksgildi fyrir B(a)P í kræklungi til mannelis og lægsta umhverfisviðmiðunargildi í Noregi. Þegar engin súla er sýnd, þá er niðurstaða lægri en greiningarmörk (1 µg/kg vv.) eða sýni ekki fyrir hendi (stöð 4 2013 og stöðvar 1 og 6 fyrir 1997).



**Mynd 69** Meðalstyrkur bens(a)pyren í búkræklingskýnum 1-7 árin 1997, 2003, 2008 og 2013 ásamt 95 % vikmörkum. Við útreikninga er notast við hálf greiningarmörkin þegar sýni eru undir greiningarmörkum mæliaðferðarinnar.



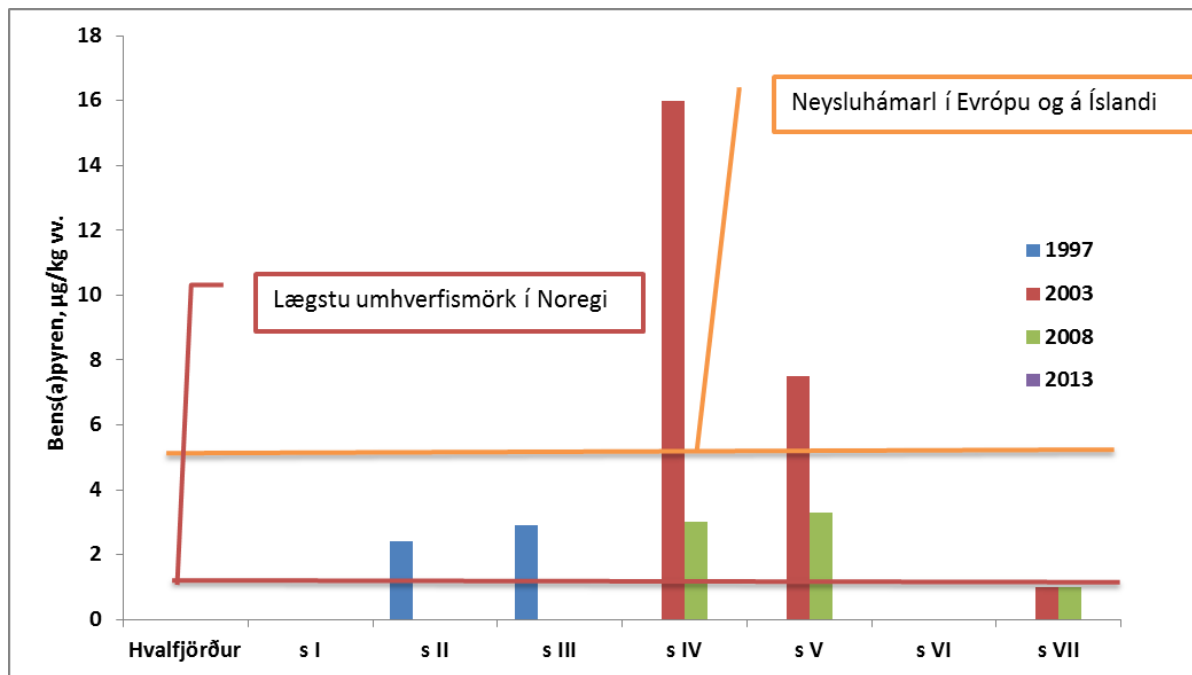
*Mynd 70 Meðalstyrkur bens(a)pyren í búkræklingssýnum 1-7 árin 1997, 2003, 2008 og 2013 sem fall af lengdarvexti hvers eldistímabils.*

### **Fjörukræklingur**

Mynd 71 sýnir styrk B(a)P í fjörukræklingi á votvigtargrunni. Styrkur mældist aldrei yfir greiningarmörkum 2013 en mörkin voru há eða 2,5 og 3 µg/kg á stöðvum II og III og því örðugta að bera saman 2013 við fyrri ár með lægri greiningarmörk eða 1 µg/kg, einnig vegna fæðar sýna. 2008 var B(a)P aðeins mælanlegt á stöðvum IV, V og VII eða yfir 1 µg/kg vv.

Styrkur lækkar fimmfalt á stöð IV frá 2003 til 2008, rúmlega tvöfalt á stöð V, en á stöð VII mælist sami styrkur 2003 og 2008.

Styrkur B(a)P er ávallt lægri en neysluhámark 1997 og 2008 en 2003 reyndust aðeins stöðvar IV og V vera yfir því 2003. Styrkurinn 1997 hefði mælst hærrí ef hreinsun hans hefði ekki átt sér stað sbr. ofangreint. Lægstu umhverfismörk í Noregi eru lægri en mældur styrkur á stöðvum IV og V 2003 og 2008 en þessi umhverfismörk eru jöfn greiningarmörkum mæliaðferðarinnar og fimmfalt lægri en neysluhámark fyrir krækling. Mældur styrkur B(a)P í fjörukræklingi 1997, 2003 og 2008 flokkar fjörusvæðið undan álverinu í flokk II samkvæmt norskum viðmiðunum (49) eða svæði undir nokkrum áhrifum.



*Mynd 97 Mælanlegt B(a)P í fjörukræklingi á votvigtargrunni ásamt lægstu umhverfismörkum Norðmanna, en styrkur undir þeim mörkum lýsa lítt eða ekki menguðum svæðum (49). Þegar engin súla er sýnd fyrir 2008, þá er niðurstaða lægri en greiningarmörk (stöðvar II og banki) eða sýni ekki fyrirbyggjandi (stöðvar I, III og VI). Engin súla 2003 þýðir að niðurstasða er undir greiningarmörkum (1 µg/kg vv).*

## 6.5 Samantekið um PAH-efni

Svipuð hlutfallsleg dreifing á PAH-efnum fannst í öllum kræklingasýnum 1997, 2003, 2008 og 2013 sem bendir til háhitameðhöndlunar á kolum, olú eða kolasalla.

Styrkur EPA16, KPAH, PAH4 og B(a)P hækkar talsvert í búrkræklingi eftir 1997 og í tilviki KPAH og B(a)P næst sami styrkur og 1997 þegar hann var hæstur en almennt mælist áþekkur styrkur í búrkræklingi 2003 og 2008. Vísendingar eru um að umhverfisþættir og vaxtarskilyrði kræklinga kunni að hafa áhrif á styrk PAH-efna í þá veru að hann hækkar ef með minnkandi vaxtarhraða.

Búrkræklingur er ávallt undir neysluhámarks-gildum fyrir krækling til manndis en svo reyndist vera fyrir fjörukrækling utan þess sem rannsaður var 2003. Ekki reyndist unnt að bera saman fjörukrækling frá 2013 við fyrri ár vegna fæðar sýna og hárra greininigarmarka fyrir B(a)P það ár. PAH-efnin setja bæði búrkrækling og fjörukrækling í flokk II samkvæmt norskum viðmiðunum (49) eða svæði undir nokkrum áhrifum

Ekki reyndist unnt að bera saman fjörukrækling frá 2013 við fyrri ár vegna fæðar sýna og hárra greininigarmarka fyrir B(a)P það ár. PAH-efnin setja bæði búrkrækling og fjörukrækling í flokk II samkvæmt norskum viðmiðunum (49) eða svæði undir nokkrum áhrifum.

Ítarlegur samanburður var gerður á gögnum í innlendum og erlendum gagnabönkum við gögn rannsóknanna við Straumsvík 1997 og 2003 (1b). Vísað er í þá samantekt en að öllu samanteknu er kræklingurinn í Straumsvík 2013, 2008 og 2003 lægri eða á svipuðum nótum og hann gerist til manndis við stendur Evrópu og USA og lægri en villtur kræklingur í Færeyjum. Mengunarstigið er því lágt í þessu ljósi þó augljóslega sé nærsvæðið undir áhrifum verksmiðjurekstrarins.

## 7. HELSTU NIÐURSTÖÐUR, ÁGRIP

### *Vöxtur og holdarfar*

Mjög mikill munur er á milli ára í vaxtarskilyrðum kræklingins. Er varðar lengd var ekki um vöxt að ræða 2013 og bendir fylgni vaxtar og sjávarhita þessarar og fyrri rannsókna (1997, 2003 og 2008) til að sjávarhiti skýri mismun milli ára. Skeljamassi reyndist nokkuð óvænt minnka í búrunum undan álverinu en ekki í viðmiðunarbakanum í Hvalfirði. Vera kann að ástæða rýrnunar hafi verið til staðar í fyrri rannsóknum en vöxturinn ávallt vegið meira. Þetta er athyglisverð niðurstaða en krefst frekari rannsókna ef finna á óyggjandi skýringu á þessari óvanalegu hegðun. Mjúkvefur vex hins vegar í búkræklingnum sem bendir til að hann hafi haft nokkuð viðurværi og reynist holdarfarsstuðull hafa vaxið meira 2013 en í fyrri rannsóknum, þ.e. kræklingurinn hefur eytt orku í holdvöxt.

### *Ólífræn snefilefni*

Aðeins í tilviki flúors, króms, nikkels, blýs, vanadíns og sinks má greina áhrif af verksmiðjurekstrinum 2013. Engra áhrifa af verksmiðjurekstri gætir á eftirfarandi snefilefni í þessari rannsókn: ál, arsen, kadmín, kopar, kóbolt, járn, kvikasilfur og mangan.

Áhrifa af völdum **flúors** í sýnum 2013 ná út að u.þ.b. 50 m frá landi og eru um þrefalt það sem mælist í viðmiðun í Hvalfirði. Rannsóknirnar 2003 og 2008 sýndu að lengra út náðu áhrifin ekki enda fellir Ca og Mg sjávar auðveldlega út flúoríð. Ekki er að sjá lækun í flúor í kræklingi undan álverinu frá 2003 og 2008.

Styrkur **króms** hefur hækkað talsvert í fjörukræklingi 2013 miðað við 2003 og 2008. Áhrifa gæti verið farið að gæa út í búkræklinginn (stöðvar 7 og 3) þó svo álagið þar sé hverfandi lítið miðað við stöðuna 1997. Álagið má þó almennt teljast lítið þar sem styrkurinn er ávallt undir lægstu umhverfisviðmiðunargildi í Noregi en undir þeim styrk eru svæði talin lítt eða ekki menguð.

Sjá má áhrif verksmiðjurekstrarins á styrk **nikkels** á fjöru á stöð V í fjöru en styrkurinn er talsvert hærri en í undanförunum rannsóknum og yfir lægsta umhverfisstyrk nikkels í kræklingi í Noregi. Styrkur nikkels í búkræklingi er hins vegar eins og hann gerist í ósnortinni íslenskri náttúru.

Styrkur **blýs** hefur aldrei mælst eins lágur í búkræklingi við álverið og er um mjög lágan styrk að ræða. Hins vegar mælist hækun í blýi á stöð V í fjöru við norðausturhorn álversins, yfir lægsta umhverfisstyrk blýs í kræklingi í Noregi.

Styrkur **vanadín** er hár í búrsýnunum 2013 og svipar þannig til flúors en svo hefur ekki verið fyrri ár. Ekki er kunn skýring á þessari hegðun en náttúrulegar orsakir gætu vel verið að verki. Hugsanlega gæti orsök skelrýrnunar, sem átti sér stað í búrsýnum, legið að baki. Niðurstöður þessa verkefnis gefa ekki skýringu og þarfnast málið frekari rannsókna við. Hærri styrkur vanadíns á stöð V við norðausturenda verksmiðjusvæðisins hefur hins vegar helmingast miðað við rannsóknirnar 2003 og 2008 og stöðin nú jafnhá öðrum stöðvum í fjöru við álverið. Áhrifa virðist gæta á **sink**styrk í fjörukræklingi og lítil breyting verður á sinkstyrk frá 2003 og 2008 til 2013. Áhrifin voru minnst árið 1997. Hins vegar hentar þang betur til mats á mengun af völdum sinks, sem rannsóknirnar 2003 og 2008 leiddu berlega í ljós. Áhrifin teljast þó lítil á krækling þar sem styrkurinn er ávallt jafnhár eða undir lægstu umhverfisviðmiðun í Noregi.

Í tilviki kvikasilfurs, kadmíns og blýs (og aðeins þessara ólífrænu snefilefna) hafa verið sett hámarksgildi fyrir fiskmeti til manneldis og stenst allur kræklingur í þessari rannsókn þau mörk með ágætum, jafnvel í tilviki kadmíns sem oft mælist hátt í kræklingi við Ísland.

Kadmín er annars eitt dæmi um það að varlega verður að fara við notkun erlendra viðmiðunargilda við mat á styrk ólífrænna snefilefna í sjávarlífríki á Íslandi.

Varlega verður að fara við samanburð á ólífrænum snefilefnum í annars vegar fjörukræklingi og hins vegar búkræklingi því fjörukræklingur er líklegur til að hafa snefilefnaríkar setagnir í meltingarvegi sínum auk þess sem stærð kræklingins getur haft veruleg áhrif á styrk snefilefna í honum. Fjörukræklingur var ekki látinn hreinsa sig í hreinum sjó áður en hann var tekinn til mælinga eins og oftast er gert. Ástæðan er m.a. sú að þannig gefur fjörukræklingurinn hærri svörun á bæði ólífrænum snefilefni og PAH-efni og niðurstöður fyrir fjörukrækling gefa því dekkstu sviðsmynd fyrir ástandið undan álverinu.

Það ferskvatn sem kemur undan hrauninu í Hraunsvík hefur mikil áhrif á mörg ólífræna efnanna og gerir túlkun gagnanna örðuga.

### ***PAH-efni***

Svipuð hlutfallsleg dreifing á PAH-efnum fannst í öllum kræklingasýnum 1997, 2003, 2008 og 2013 en þessi dreifing bendir til háhitameðhöndlunar á kolum, olíu, kolasalla eða öðru lífrænu efni.

Styrkur EPA16, KPAH, PAH4 og B(a)P hækkar talsvert í búkræklingi eftir 1997 og í tilviki KPAH og B(a)P næst sami styrkur 2013 og 1997 þegar hann var hæstur en almennt mælist áþekkur styrkur í búkræklingi 2003 og 2008. Vísbendingar eru um að umhverfisþættir og vaxtarskilyrði kræklinga kunni að hafa áhrif á styrk PAH-efna í þá veru að hann hækkar með minnkandi vaxtarhraða, þ.e. ekki er víst að sú hækkun, sem sést hefur undanfarin ár í styrk PAH-efnana, sé vegna raunverulega meira mengunarálags.

Búkræklingur er ávallt undir nýlega settum neysluhámarksgildum fyrir PAH-efni í kræklingi til manneðis í Evrópu en svo reyndist einnig vera fyrir fjörukrækling utan þess sem rannsakaður var 2003.

Ekki reyndist unnt að bera saman fjörukrækling frá 2013 við fyrri ár vegna smæðar sýna og hárra greiningarmarkanna fyrir B(a)P. PAH-efnin setja bæði búkrækling og fjörukrækling í flokk II samkvæmt norskum viðmiðunum eða svæði undir nokkrum áhrifum

Samanburður niðurstaðna fyrir PAH-efni í þessari rannsókn við innlenda og erlenda gagnabanka um PAH-efni leiðir í ljós að styrkur PAH-efna er lægri eða á svipuðum nótum og hann gerist til manneðis við strendur Evrópu og USA og lægri en villtur kræklingur í Færeyjum. Mengunarstigið er því lágt í þessu ljósi þó augljóslega sé nærsvæðið undir áhrifum verksmiðjurekstrarins.



## 8. HEIMILDIR

- 1a Guðjón Atli Auðunsson, Elín Árnadóttir, Helga Halldórsdóttir, Þuríður Ragnarsdóttir, Øyvind Glømme. Könnun á ólífrænum snefilefnum og PAH-efnum í lífríki sjávar við álverið í Straumsvík 1997. Skýrsla Rf 1-1998. Janúar 1998.
- 1b Guðjón Atli Auðunsson, Elín Árnadóttir og Helga Halldórsdóttir. Könnun á ólífrænum snefilefnum og arómatískum fjölhringasamböndum (PAH) í kræklingi og skúfþangi við álverið í Straumsvík. Sýnataka 2003. Verkefnaskýrsla Rf 07-05. 80 síður + viðaukar. Maí 2005.
- 1c Guðjón Atli Auðunsson. Könnun á ólífrænum snefilefnum og arómatískum fjölhringasamböndum (PAH) í kræklingi og skúfþangi við álverið í Straumsvík. Sýnataka 2008. Skýrsla NMÍ 12-01. 101 síða. Janúar 2012.
- 5 E.Schunke und W.Thomas 1983. Untersuchungen uber atmospharenburtige Scadstoffi in der Ökosphare Islands. Berichte aus der Forschungsstelle Neðri Ás, Hveragerði Nr. 39.
- 6 Íslenska Álfélagið hf og Hönnun hf 2002. Stækkun ISAL í Straumsvík. 1. áfangi: stækkun í allt að 330.000 t á ári. 2. áfangi: Stækkun í allt að 460.000 t á ári. Mat á umhverfisáhrifum. Maí 2002.
- 7 EUROPEAN COMMISSION. DIRECTORATE-GENERAL JRC JOINT RESEARCH CENTRE. Institute for Prospective Technological Studies (Seville). Technologies for Sustainable Development. European IPPC Bureau. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on **Best Available Techniques** in the Non Ferrous Metals Industries. May 2000.
- 18 Commission Regulation (EC) No 835/2011 of 19 August 2011 amending Regulation (EC) No 1881/2006 as regards maximum levels for polycyclic aromatic hydrocarbons in foodstuffs.
- 19 COMMISSION REGULATION (EC) No 208/2005 of 4 February 2005 amending Regulation (EC) No 466/2001 as regards polycyclic aromatic hydrocarbons.
- 20 COMMISSION RECOMMENDATION of 4 February 2005 on the further investigation into the levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in certain foods.
- 23 IPCS, 1988. Selected Non-heterocyclic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. Environmental Health Criteria 202. International Programme on Chemical Safety, World Health Organization, Geneva.
- 30 US Environmental Protection Agency (1986) (I) Method 3510 'Separatory funnel liquid-liquid extraction'; (II) Method 3520 'Continuous liquid-liquid extraction'; (III) Method 3630 'Silica gel cleanup'; (IV) Method 8100 'Polynuclear aromatic hydrocarbons'; (V) Method 8270 'Gas chromatography/mass spectrometry for semivolatile organics: Capillary column technique'; (VI) Method 8310 'Polynuclear aromatic hydrocarbons'. In: Test methods for evaluating solid waste, 3rd Ed, Volume IB. Washington DC, 50 pp (EPA-SW-846).
- 33 K.Kveseth og B.Sortland 1982. Polycyclic aromatic hydrocarbons in sewage, mussels and tap water. Chemosphere, 11: 623-639.
- 37 J.-P. Villeneuve, F.P.Carvalho, S.W.Fowler and C.Cattini 1999. Levels and trends of PCBs, chlorinated pesticides and petroleum hydrocarbons in mussels from the NW Mediterranean coast: comparison of concentrations in 1973/1974 and 1988/1989. Sci.Tot.Envir., 237/238: 57-65.
- 38 J. Hellou, S. Steller, V. Zitko, J. Leonard, T. King, T.G. Milligan and P. Yeats 2002. Distribution of PACs in surficial sediments and bioavailability to mussels, *Mytilus edulis* of Halifax Harbour. Marine Environmental Research, 53: 357-379.
- 49 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.
- 55 Hoydal, K., & Dam, M. 2004. Føroya Umhvørvi í Tølum 2003. Heilsufrøðliga Starfstovan, rapport nr. 2004: 2, pp 139.

- 56 Rygg, B., & Green, N. 1981. Resipientundersøgelse ved afvfallstipp fra aluminiumproduksjon, Husnes i Kvinneherad. NIVA-rapport nr 80042.
- 57 Þór Tómasson og Hörður Þormar 1998. Loftborin mengun frá álverinu í Straumsvík. Náttúrufræðingurinn, 67: 233-240.
- 58 Mankovska, B., & Steinnes, E. 1995. Effects of pollutants from an aluminium reduction plant on forest ecosystem. Sci.Tot.Envir., 163: 11-23.
- 59 Sigurður H. Magnússon 2002. Þungmálmar í mosa í nágrenni álversins í Straumsvík. Unnið fyrir Íslenska álfélagið hf. Náttúrufræðistofnun Íslands. NÍ-02010.
- 60 ASTM 2002. E2122-02 Standard Guide for Conducting In-situ Field Bioassays With Caged Bivalves. American Society for Testing and Materials.
- 61 H.Guderley *et al.* 1994. Acclimatization of blue-mussel (*Mytilus edulis*, Linnaeus, 1758) to intertidal conditions-effects on mortality and gaping during air exposure. J.Shellfish Res., 13: 379-385.
- 62 R.Seed 1976. Ecology í *Marine mussels: their ecology and physiology* (B.L.Bayne, ritstjóri). Cambridge University Press 1976. Bls. 13-66.
- 63 Guðjón Atli Auðunsson 1994. Kræklingrannsóknir vegna væntanlegrar losunar frárennslis frá Reykjavík. Unnið fyrir Gatnamálastjórnann í Reykjavík. Skýrsla Rf 51. Júní 1994.
- 64 A.J.Gunther, J.A.Davis, D.D.Hardin, J.Gold, D.Bell, J.R.Crick, G.M.Scelfo, J.Sericano, and M.Stephenson 1999. Long-term Bioaccumulation Monitoring with Transplanted Bivalves in the San Francisco Estuary. Mar.Poll.Bull., 38: 170-181.
- 66 A.Y.Cantillo 1998. Comparison of Results of Mussel Watch Programs of the United States and France with Worldwide Mussel Watch Studies. Mar.Poll.Bull., 36: 712-717.
- 70 Freysteinn Sigurðsson 1998. Grunnvatnið í Straumsvík. Náttúrufræðingurinn, 67: 179-188.
- 71 Jón Ólafsson 1996. Útskolun uppleytra efna úr flæðigryfjum við álverið í Straumsvík. Greinargerð til Íslenska Álfélagsins 24.09.1996.
- 72 J.D.H. Phillips, Mar.Biol., 38(1976)59.
- 73 C.L.Chou and J.F.Uthe, Bull.Environt.Toxicol., 46(1991)473.
- 74 D.Martincic *et al.*, Sci.Tot.Envir., 60(1987)121.
- 75 J.D.Popham og J.M. D'Auria 1983. Combined effect of body size, season, and location on trace element levels in mussels (*Mytilus edulis*). Arch.Environt.Toxicol., 12()1.
- 76 J.A.Grout og C.D.Levings 2001. Effects of acid mine drainage from an abandoned copper mine, Britannia Mines, Howe Sound, British Columbia, Canada, on transplanted blue mussels (*Mytilus edulis*). Mar.Environt.Res., 51: 265-288.
- 83 Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain on a request from the European Commission on Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Food. *The EFSA Journal* (2008) 724, 1-114.
- 84 Gosling, E., 2007. Bivalve Molluscs. Biology, Ecology and Culture. Fishing News Books, a division of Blackwell Science Ltd.
- 85 Lee, R.F.1991. Metabolism of tributyltin by marine animals and possible linkages to effects. Mar.Environt.Res., 32: 29-35

- 86 Ritsema, R., Laane, R.W.P.M., and Donard, O.F.X. 1991. Butyltins in marine waters of the Netherlands in 1988 and 1989-concentrations and effects. *Mar. Environ. Res.*, 32: 243-260.
- 87 Roberts, D.F., Elliot, M., and Read, P.A. Cadmium contamination, accumulation and some effects of this metal in mussels from a polluted marine environment. 1986. *Mar. Environ. Res.*, 18: 165-183.
- 88 Cajaraville, M.P., Marigómez, J.A., and Angulo, E. 1992. Comparative effects of the water accommodated fraction of three oils on mussels—1. Survival, growth and gonad development. *Comp. Biochem. Physiol., Part C*, 102: 103-112.
- 89 Freeman, A.S. 2007. Specificity of induced defences in *Mytilus edulis* and asymmetrical predator deterrence. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 334: 145-153.
- 90 Akester, R.J., and Martel, A.L. 2000. Shell shape, dysodont tooth morphology, and hinge-ligament thickness in the bay mussel *Mytilus trossulus* correlate with wave exposure. *Can. J. Zool.*, 78:240-253.
- 92 Scancar, J., Stibilj, V., and Milacic, R. 2004. Determination of aluminium in Slovenian foodstuffs and its leachability from aluminium-cookware. *Food Chemistry*, 85: 151-157.
- 93 Lucille Lares, M., Flores-Munoz, G., and Lara-Lara, R. 2002. Temporal variability of bioavailable Cd, Hg, Zn, Mn and Al in an upwelling regime. *Environ. Poll.*, 120: 595-608.
- 94 Gutiérrez-Galindo, E.A., Villaesuss-Celaya, J.A., and Arreola-Chimal, A., 1999. Bioaccumulation of metals in mussels from four sites of the coastal region of Baja California. *Ciencias Marinas*, 25: 557-578.
95. Lobel, P.B., Bajdik, C.D., Belkhole, S.P., Jackson, S.E., and Longerich, H.P. 1991. Improved protocol for collecting mussel watch specimens taking into account sex, size, condition, shell shape, and chronological age. *Arc. Env. Cont. Tox.*, 21: 409-414.
96. Varma, R., Turner, A., and Brown, M.T. 2011. Bioaccumulation of metals by *Fucus caranoides* in estuaries of South West England. *Mar. Poll. Bull.*, 62: 2557-2562.
97. 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.
98. Guðjón Atli Auðunsson 2005. Kræklingssrannsóknir: Ánanaust 2000. Unnið fyrir Orkuveitu Reykjavíkur. Skýrsla ITÍ0605/EGK02 (6ÞV05186).
99. Guðjón Atli Auðunsson 2005. Setgildrurannsóknir út af Ánnaustum '00-'01: hafræn meðferð skolps. Unnið fyrir Orkuveitu Reykjavíkur. Skýrsla ITÍ0605/EGK01 (6ÞV05186).
100. 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.
101. 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
102. M. Bressan, A. Chinellato, M. Munari, V. Matozzo, A. Mancini, T. Mar\_ceta, L. Finos, I. Moro, P. Pastore, D. Badocco, M.G. Marin, 2014. Does seawater acidification affect survival, growth and shell integrity in bivalve juveniles?. *Mar. Env. Res.*, 99: 136-148.
103. Ohde, S., and Kitano, Y. 1980. Incorporation of fluoride into Ca-Mg carbonate. *Geochem. J.*, 14: 321-324.

104. Seo, D. *et al.* 2013. Vanadium determination in *Perna perna* mussels (Linnaeus, 1758: Mollusca, Bivalvia) by instrumental neutron activation analysis using the passive biomonitoring in the Santos coast, Brazil. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 296: 459–463
105. P. Miramand, J. C. Guary and S. W. Fowler 1980. Vanadium Transfer in the Mussel *Mytilus galloprovincialis*. *Mar.Biol.*, 56: 281-293.
106. Munoz-Barbosa, Gutiérrez-Galindo, E.A., and Flores-Munpoz, G. 2000. *Mytilus californianus* as an indicator of heavy metals on the northwest coast of Baja California, Mexico. *Mar.Env.Res.*, 49: 123-144.
107. Jean-François Chiffolleau, Laurent Chauvaud, David Amouroux, Aurélie Barats, Aurélie Dufour, Christophe Pécheyran and Nathalie Roux 2004. Nickel and vanadium contamination of benthic invertebrates following the “Erika” wreck. *Aquat.Living Resour.*, 17: 273-280.
108. L. Bartolome, P. Navarro , J. C. Raposo , G. Arana, O. Zuloaga, N. Etxebarria and M. Soto 2010. Occurrence and Distribution of Metals in Mussels from the Cantabrian Coast. *Arch.Env.Cont.Toxicol.*, 59: 235-243.
109. Nadia Aarab, Brit F. Godal, and Renée K. Bechmann 2011. Seasonal variation of histopathological and histochemical markers of PAH exposure in blue mussel (*Mytilus edulis* L.). *Mar.Env.Res.*, 71: 213-217.
110. H. Frouin , J. Pellerin, M. Fournier, E. Pelletier, P. Richard, N. Pichaud, C. Rouleau, F. Garnerot 2007. Physiological effects of polycyclic aromatic hydrocarbons on soft-shell clam *Mya arenaria*. *Aquat.Toxicol.*, 82: 120-134.

## **9. VIDAUKAR**

## **VIÐAUKI I: Líffræðilegir þættir búrsýna**

<b>Banki. 17.10.2013: O(1)</b>						
	Þyngd [g]	Þyngd holds [g]	Þyngd skeljar [g]	Lengd [mm]	Hæð [mm]	Breidd [mm]
Meðaltal	9,90	5,93	3,92	44,79	23,77	18,01
Miðgildi	9,78	5,67	3,84	44,77	23,91	18,06
Staðalfrávik	2,79	1,85	1,04	4,64	2,32	1,95
Min	5,07	3,19	1,82	35,24	18,42	14,29
Max	15,64	9,71	5,94	53,66	28,26	21,77
Fjöldi	34					

<b>Stöð 0. 31.07.2013: O(2)</b>						
	Þyngd [g]	Þyngd holds [g]	Þyngd skeljar [g]	Lengd [mm]	Hæð [mm]	Breidd [mm]
Meðaltal	9,25	5,23	3,98	48,65	26,36	18,01
Miðgildi	8,81	5,04	3,63	48,11	26,20	17,64
Staðalfrávik	2,51	1,48	1,21	3,57	1,91	1,77
Min	5,09	2,52	2,16	41,73	22,28	14,62
Max	21,69	13,16	8,50	62,21	32,19	23,98
Fjöldi	100					

<b>Stöð 1. 17.10.2013</b>						
	Þyngd [g]	Þyngd holds [g]	Þyngd skeljar [g]	Lengd [mm]	Hæð [mm]	Breidd [mm]
Meðaltal	8,73	5,12	3,56	44,79	23,80	17,04
Miðgildi	8,62	4,93	3,53	44,93	23,76	17,06
Staðalfrávik	2,45	1,71	0,83	4,83	2,16	2,01
Min	4,27	2,08	1,82	33,88	18,70	13,14
Max	14,28	9,78	5,68	55,30	28,12	21,56
Fjöldi	76					

<b>Stöð 2. 17.10.2013</b>						
	Þyngd [g]	Þyngd holds [g]	Þyngd skeljar [g]	Lengd [mm]	Hæð [mm]	Breidd [mm]
Meðaltal	9,05	5,26	3,74	45,01	24,44	17,34
Miðgildi	9,03	5,20	3,75	45,31	24,58	17,43
Staðalfrávik	2,51	1,67	0,95	4,34	2,24	1,80
Min	3,48	1,84	1,56	34,96	18,56	13,35
Max	17,35	11,41	6,40	57,97	29,55	22,59
Fjöldi	100					

<b>Stöð 3. 17.10.2013</b>						
	Þyngd [g]	Þyngd holds [g]	Þyngd skeljar [g]	Lengd [mm]	Hæð [mm]	Breidd [mm]
Meðaltal	8,76	5,10	3,62	44,75	24,21	17,34
Miðgildi	8,37	4,84	3,72	44,68	24,56	17,36
Staðalfrávik	2,38	1,63	0,82	4,19	2,34	1,84
Min	4,35	2,21	2,06	34,92	18,86	12,78
Max	14,95	9,57	5,43	52,62	29,29	21,68
Fjöldi	94					

<b>Stöð 5. 17.10.2013</b>						
	Þyngd [g]	Þyngd holds [g]	Þyngd skeljar [g]	Lengd [mm]	Hæð [mm]	Breidd [mm]
Meðaltal	8,96	5,16	3,74	45,21	24,17	17,70
Miðgildi	9,00	5,32	3,75	46,24	24,42	17,77
Staðalfrávik	2,36	1,57	0,89	4,34	2,24	1,84
Min	3,56	1,91	1,55	33,84	18,34	12,75
Max	15,89	9,79	6,05	57,77	29,84	22,45
Fjöldi	100					

<b>Stöð 6. 17.10.2013</b>						
	Þyngd [g]	Þyngd holds [g]	Þyngd skeljar [g]	Lengd [mm]	Hæð [mm]	Breidd [mm]
Meðaltal	7,79	4,45	3,29	42,86	23,02	16,62
Miðgildi	7,67	4,43	3,27	43,48	23,33	16,80
Staðalfrávik	2,47	1,67	0,87	4,78	2,42	1,97
Min	3,39	1,70	1,53	31,84	17,10	11,87
Max	15,33	10,20	5,11	55,12	28,34	20,83
Fjöldi	100					

<b>Stöð 7. 17.10.2013</b>						
	Þyngd [g]	Þyngd holds [g]	Þyngd skeljar [g]	Lengd [mm]	Hæð [mm]	Breidd [mm]
Meðaltal	8,17	4,61	3,49	44,13	23,67	17,17
Miðgildi	7,94	4,47	3,42	43,96	23,68	16,98
Staðalfrávik	2,12	1,43	0,81	3,98	2,09	1,69
Min	3,64	2,00	1,62	32,18	18,54	13,04
Max	14,41	9,73	5,87	53,78	28,36	21,25
Fjöldi	100					



## **VIÐAUKI II: Líffræðilegir þættir fjörusýna**

<b>Botnsvogur. 24.10.2013</b>						
	Þyngd [g]	Þyngd holds [g]	Þyngd skeljar [g]	Lengd [mm]	Hæð [mm]	Breidd [mm]
Meðaltal	4,65	2,73	1,88	35,49	18,77	14,14
Miðgildi	4,31	2,58	1,79	35,02	18,61	14,08
Staðalfrávik	1,20	0,76	0,48	3,05	1,54	1,50
Min	1,97	1,10	0,85	27,16	14,50	10,36
Max	8,12	5,02	3,08	44,11	23,70	18,12
Fjöldi	100					

<b>Stöð II. 24.10 2013</b>						
	Þyngd [g]	Þyngd holds [g]	Þyngd skeljar [g]	Lengd [mm]	Hæð [mm]	Breidd [mm]
Meðaltal	3,77	1,69	2,02	32,98	16,97	13,60
Miðgildi	2,87	1,33	1,59	31,88	16,76	12,76
Staðalfrávik	2,55	1,27	1,29	5,88	2,16	2,74
Min	1,45	0,65	0,79	24,99	13,28	9,24
Max	16,73	7,77	8,84	59,12	23,55	25,21
Fjöldi	84					

<b>Stöð III. 24.10 2013</b>						
	Þyngd [g]	Þyngd holds [g]	Þyngd skeljar [g]	Lengd [mm]	Hæð [mm]	Breidd [mm]
Meðaltal	3,32	1,59	1,69	29,40	15,80	12,95
Miðgildi	2,67	1,32	1,34	28,53	15,14	12,40
Staðalfrávik	1,73	0,87	0,87	4,53	2,35	2,26
Min	1,13	0,41	0,67	22,25	11,59	9,33
Max	9,44	4,76	4,76	43,16	22,18	20,29
Fjöldi	73					

<b>Stöð IV. 24.10.2013</b>						
	Þyngd [g]	Þyngd holds [g]	Þyngd skeljar [g]	Lengd [mm]	Hæð [mm]	Breidd [mm]
Meðaltal	1,01	0,44	0,53	19,76	10,67	8,74
Miðgildi	0,97	0,43	0,51	19,66	10,51	8,60
Staðalfrávik	0,25	0,13	0,13	1,61	0,90	0,75
Min	0,65	0,24	0,34	16,87	8,97	7,47
Max	1,62	0,78	0,82	23,70	12,82	9,97
Fjöldi	35					

**Stöð V. 24.10.2013**

	Þyngd [g]	Þyngd holds [g]	Þyngd skeljar [g]	Lengd [mm]	Hæð [mm]	Breidd [mm]
Meðaltal	0,77	0,28	0,41	19,05	9,92	8,29
Miðgildi	0,76	0,27	0,40	18,77	9,79	8,28
Staðalfrávik	0,19	0,09	0,10	1,49	0,96	0,94
Min	0,38	0,11	0,21	16,09	8,22	6,32
Max	1,23	0,48	0,67	21,75	11,69	10,24
Fjöldi	20					

**Stöð VII. 24.10 2013**

	Þyngd [g]	Þyngd holds [g]	Þyngd skeljar [g]	Lengd [mm]	Hæð [mm]	Breidd [mm]
Meðaltal	0,41	0,13	0,23	15,22	8,05	6,81
Miðgildi	0,36	0,11	0,21	14,77	7,91	6,64
Staðalfrávik	0,15	0,08	0,07	1,53	0,89	0,91
Min	0,25	0,05	0,14	12,89	6,89	5,47
Max	0,95	0,47	0,46	19,77	10,44	9,53
Fjöldi	37					

### **VIÐAUKI III: Meginefnaþættir, mæliniðurstöður**

Sýni	Þurrefni, %	Fita, %
<b>Banki. 17.10.2013: O(2)</b>	17,6	1,5
<b>Banki. 31.07.2013: O(1)</b>	10,9	0,59
<b>S 1</b>	16,8	1,2
<b>S 2</b>	16,9	1,4
<b>S 3</b>	15,8	1,1
<b>S 5</b>	15,6	1,2
<b>S 6</b>	16,2	1,3
<b>S 7</b>	16,3	0,89
<b>Botnsvogur</b>	10,5	0,38
<b>II</b>	9,4	0,45
<b>III</b>	12,1	0,61
<b>IV</b>	14,8	E.M.
<b>V</b>	14,6	E.M.
<b>VII</b>	17,2	E.M.

## **VIÐAUKI IV: Ólífræn snefilefni, mæliniðurstöður**

# Ólífræn snefilefni

## Styrkur á votvigtargrunni

Sýni	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	V	Zn	F
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
<b>Banki. 17.10.2013: O(2)</b>	9,95	1,43	0,216	0,0756	0,0488	1,29	23,1	0,00783	2,14	0,103	<0.02	0,801	14,8	E.M.
<b>Banki. 31.07.2013: O(1)</b>	12	1,51	0,328	0,148	0,0641	0,741	27,8	0,0104	1,09	0,264	<0.03	0,417	12,4	0,69
<b>S 1</b>	21,3	1,46	0,277	0,0532	0,0834	1,29	34,2	0,00655	1,12	0,148	<0.02	1,21	15,2	1,36
<b>S 2</b>	22,2	1,5	0,276	0,0565	0,0906	1,45	34,2	0,00726	1,14	0,146	<0.02	1,57	17,2	2,38
<b>S 3</b>	20,6	1,54	0,266	0,0524	0,108	1,25	32	0,0068	1,15	0,145	<0.02	1,36	15,1	2,63
<b>S 5</b>	18,5	1,34	0,244	0,0492	0,0775	1,13	28,2	0,00654	1,08	0,144	0,016	1,45	14,1	3,23
<b>S 6</b>	21,2	1,56	0,277	0,055	0,0827	1,37	33,9	0,0078	1,07	0,149	<0.02	1,44	15,8	2,46
<b>S 7</b>	25,5	1,62	0,242	0,0605	0,109	1,26	49,1	0,00805	1,33	0,176	0,0248	1,46	16,2	2,06
<b>Botnsvogur</b>	18,2	0,879	0,103	0,057	0,0566	0,627	30,3	0,00484	1,06	0,128	<0.009	0,365	8,2	0,91
<b>II</b>	22,6	1,18	0,288	0,0516	0,173	0,621	37,5	0,00617	0,819	0,14	<0.02	0,631	11,3	E.M.
<b>III</b>	36,1	1,3	0,333	0,0642	0,355	0,958	56,3	0,00499	1,17	0,248	0,02	0,929	12,3	E.M.
<b>IV</b>	61	1,59	0,336	0,0807	0,268	1,3	90,6	0,0123	1,69	0,38	0,0566	0,738	19,5	E.M.
<b>V</b>	66,7	1,5	0,354	0,0983	0,411	1,27	112	0,0131	1,67	4,65	0,17	1,01	18,5	E.M.
<b>VII</b>	176	2,04	0,409	0,122	0,5	1,63	140	0,0102	2,37	1,26	0,0898	1,22	25,8	E.M.

## **VIÐAUKI V: PAH-efni, mæliniðurstöður**



## PAH-efni

### Styrkur á votvigtargrunni

#### Búrkræklingur

Efnasamband	Ein.	O(2)*	O(1)**	S 1	S 2	S 3	S 5	S 6	S 7
naftalen	mg/kg	<0.0050	<0.0050	<0.0050	<0.0050	<0.0050	<0.0050	<0.0050	<0.0050
acenaftylen	mg/kg	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010
acenaften	mg/kg	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010
fluoren	mg/kg	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010
fenantren	mg/kg	<0.0010	<0.0010	0,001	0,0014	0,0014	0,0019	0,002	0,0012
antracen	mg/kg	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010
fluoranten	mg/kg	<0.0010	<0.0010	0,004	0,0047	0,0047	0,006	0,0061	0,0045
pyren	mg/kg	<0.0010	<0.0010	0,0031	0,0038	0,0037	0,0048	0,0048	0,0036
bens(a)antracen	mg/kg	<0.0010	<0.0010	0,0047	0,003	0,0027	0,0031	0,0034	0,0049
krysen	mg/kg	<0.0010	<0.0010	0,0023	0,0031	0,003	0,0039	0,004	0,0031
bens(b)fluoranten	mg/kg	<0.0010	<0.0010	0,0024	0,0043	0,0042	0,0047	0,0043	0,0031
bens(k)fluoranten	mg/kg	<0.0010	<0.0010	0,0015	0,0027	0,0022	0,0027	0,0027	0,0016
bens(a)pyren	mg/kg	<0.0010	<0.0010	0,0014	0,0046	0,0039	0,0033	0,0033	0,0033
dibenso(ah)antracen	mg/kg	<0.0010	<0.0010	0,0018	0,0014	<0.0020	<0.0020	<0.0020	<0.0020
benso(ghi)perylene	mg/kg	<0.0010	<0.0010	0,0018	0,0027	<0.0060	0,0038	0,0033	<0.015
indeno(123cd)pyren	mg/kg	<0.0010	<0.0010	0,002	0,0025	0,0021	0,003	0,003	0,0023
summa 16 EPA-PAH	mg/kg	<0.01	<0.01	0,026	0,0342	0,0279	0,0372	0,0369	0,0276
PAH cancerogena	mg/kg	<0.004	<0.004	0,016	0,022	0,018	0,021	0,021	0,018
PAH, summa övriga	mg/kg	<0.007	<0.007	0,0099	0,013	0,0098	0,017	0,016	0,0093
PAH4	mg/kg	<0.003	<0.003	0,0108	0,015	0,0138	0,015	0,015	0,0144
<b>*Banki. 17.10.2013: O(2)</b>									
<b>**Stöð 0. 31.07.2013: O(1)</b>									

#### Fjörukræklingur

Efnasamband	Ein.	Botnsvogur	II	III
naftalen	mg/kg	<0.0050	<0.0050	<0.0050
acenaftylen	mg/kg	<0.0010	<0.0010	<0.0010
acenaften	mg/kg	<0.0010	<0.0010	<0.0010
fluoren	mg/kg	<0.0010	<0.0010	<0.0010
fenantren	mg/kg	<0.0010	<0.0010	<0.0010
antracen	mg/kg	<0.0010	<0.0010	<0.0010
fluoranten	mg/kg	<0.0010	<0.0010	0,0012
pyren	mg/kg	<0.0010	<0.0010	<0.0010
bens(a)antracen	mg/kg	<0.0010	<0.0010	<0.0010
krysen	mg/kg	<0.0010	<0.0010	0,0011
bens(b)fluoranten	mg/kg	<0.0010	<0.0010	0,001
bens(k)fluoranten	mg/kg	<0.0010	<0.0010	<0.0010
bens(a)pyren	mg/kg	<0.0035	<0.0025	<0.0030
dibenso(ah)antracen	mg/kg	<0.0020	<0.0020	<0.0020
benso(ghi)perylene	mg/kg	<0.0040	<0.0030	<0.0050
indeno(123cd)pyren	mg/kg	<0.0010	<0.0010	<0.0015
summa 16 EPA-PAH	mg/kg	<0.01	<0.01	0,0033
PAH cancerogena	mg/kg	<0.005	<0.005	0,0021
PAH, summa övriga	mg/kg	<0.008	<0.008	0,0012
PAH4	mg/kg	<0.003	<0.003	0,0021