

Könnun á ólífrænum snefilefnum og
aromatískum fjölhringjasamböndum (PAH)
í kræklingi og skúfþangi við álverið í
Straumsvík, sýnataka 2008



**KÖNNUN Á ÓLÍFRÆNUM SNEFILEFNUM OG
ARÓMATÍSKUM FJÖLHRINGASAMBÖNDUM (PAH) Í
KRÆKLINGI OG SKÚFÞANGI VIÐ ÁLVERIÐ Í STRAUMSVÍK
SÝNATAKA 2008.**

EFNISYFIRLIT

1. INNGANGUR	2
1.1 Sýnatökustöðvar, sýnataka og sýnameðferð	2
1.1.1. Búkræklingur.....	2
1.1.2 Sýni úr fjöru.....	6
2. Efnþættir til rannsókna	8
2.1 PAH-efni	8
2.2 Önnur efni, sem til rannóknar eru.....	9
2. FRAMKVÆMDARADILAR	10
3. SÝNAUNDIRBÚNINGUR OG AÐFERÐAFRÆÐI MÆLINGA	11
3.1 Sýnameðferð.....	11
3.2 Efnamælingar.	11
4 NIÐURSTÖÐUR UM LÍFFRÆÐILEGA ÞÆTTI	12
4.1 Líffræðilegir þættir	12
4.1.1 Dauðatíðni	12
4.1.2 Vöxtur og holdarfar kræklingssýna	13
5. NIÐURSTÖÐUR MÆLINGA Á ÓLÍFRÆNUM SNEFILEFNAÞÁTTUM .	25
5.1 Ál	25
5.2 Flúor.....	28
5.3 Kvikasilfur.....	32
5.4 Króm	36
5.5 Kopar.....	41
5.6 Kadmín.....	46
5.7 Nikkel.....	50
5.8 Blý.....	54
5.9 Arsen.....	56
5.10 Vanadín	58
5.12 Kóbolt.....	61
5.13 Sink	64
5.14 Járn og mangan.....	68
5.15 Samanteknar miðurstöður fyrir ólífræn snefilefni	69
6. NIÐURSTÖÐUR MÆLINGA Á PAH-EFNUM	71
6.1 EPA16.....	71
6.2 KPAH.....	74
6.3 Benso(a)pyren	76
7. HELSTU NIÐURSTÖÐUR, ÁGRIP	78
8. HEIMILDIR	80

KÖNNUN Á ÓLÍFRÆNUM SNEFILEFNUM OG ARÓMATÍSKUM FJÖLHRINGASAMBÖNDUM (PAH) Í KRÆKLINGI OG SKÚFPANGI VIÐ ÁLVERIÐ Í STRAUMSVÍK SÝNATAKA 2008.

1. INNGANGUR

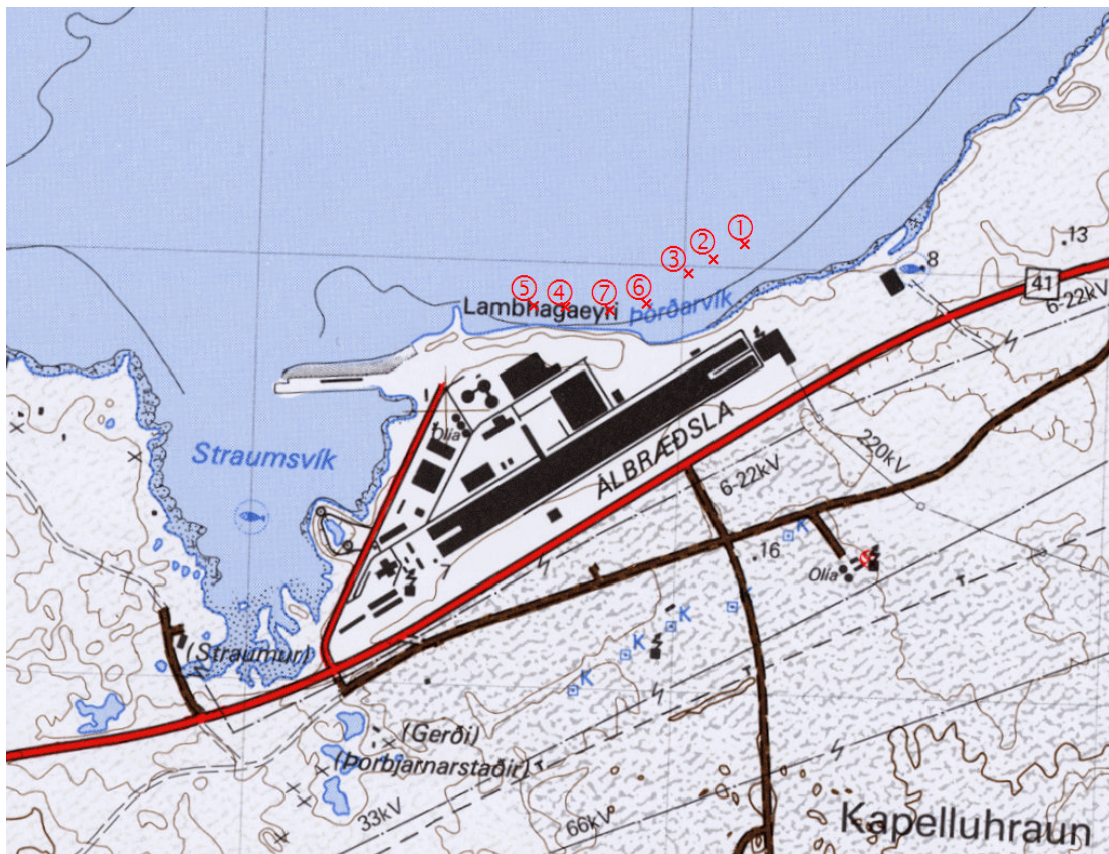
Verkefni þetta var unnið fyrir Alcan á Íslandi hf í Straumsvík. Tengiliður frá Alcan var Fannar Jónsson. Verkefnisstjóri á Nýsköpunarmiðstöð Íslands var Guðjón Atli Auðunsson. Þetta verkefni er framhald verkefna sem unnið voru annars vegar 1997 (1a) og hins vegar 2003 (1b). Eins og í fyrri rannsóknum var kannað hvort og þá í hversu miklu mæli PAH-efni og ólífræn snefilefni væru tekin upp í sjávarlífríki 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.

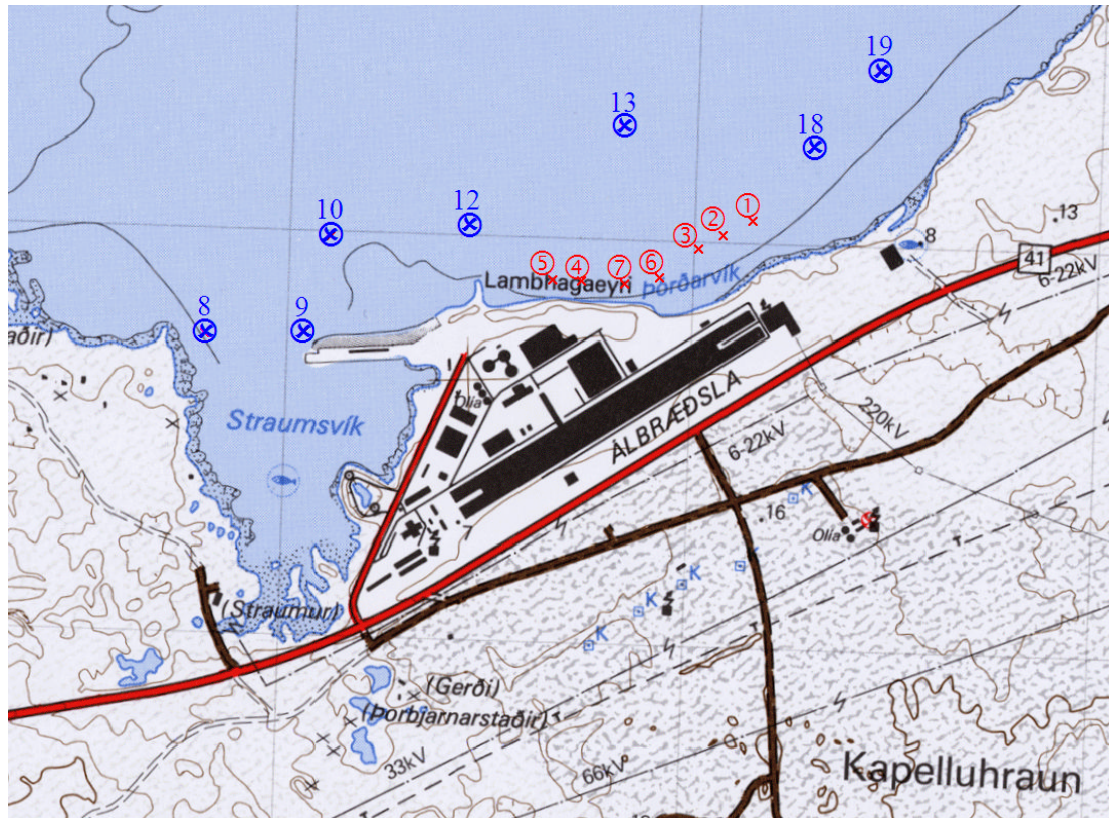
1.1.1. Búrkræklingur

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



Mynd 1 Stöðvarnar sjö, sem hafa verið notaðar í öllum þremur 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 og mynda þessi viðbótarbúr ytri kruga fyrir verksmiðjusvæðið, sjá mynd 2. Númer stöðvanna frá 2003 voru látin halda sér.



Mynd 2 Allar sýnatökustöðvar búrkræklings í rannsókninni.

Mynd 3 sýnir loftmynd af verksmiðjusvæðinu sumarið 2009 (Google Earth).

Búrkræklingi á tiltölulega þröngu lengdarbili var safnað í Hvalfirði í byrjun júlí 2008 og hafður í kræklingabanka þar í tæplega mánuð til að ástand einstaklinganna yrði sem líkast innbyrðis, þ.e. safnið yrði sem einsleitast, er þeim yrði komið út við Straumsvík. Kræklingabanki var stofnaður 08/07/2008 og kræklingi komið fyrir á stöðvunum við verksmiðjuna 01/08/2008. Banki var staðsettur við Saurbæjarvík, Hvalfirði, sjá mynd 3. Hnit stöðvanna og banka koma fram í töflu 1. Þessi stöð 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.

Búrin við strönd verksmiðjunnar voru úti í um tvo og hálfan mánuð, en 15/10/2008 voru kræklingabúr sótt. Eitt búanna eða búr 19 var fyrir mistök sótt síðar eða 30/11/2008. Viðmiðunarsýni í banka var sótt 22/02/2009 eða 4,3 mánuðum eftir að sýni voru sótt við álverið og hentar því ekki til mats á vexti og formfræðilegum þáttum kræklingsins við álverið. Í ljósi sjávarstrauma, sem koma úr vestri, hentar stöð 8 hins vegar sem viðmiðunarstöð fyrir líffræðilega þætti en vegna áhrifa af völdum ferskvatns á svæðinu er æskilegt að viðmiðunarstöðin sé nálægt rannsóknarsvæðinu en án þess að vera undir hugsanlegu mengunarálagi. Við skoðun

á öllum gögnunum (líffræðilegum sem og er varðar aðskotaefni) svo og útbreiðslu hugsanlegrar mengunar 2003 má sjá að stöð 8 fullnægir skilyrðum viðmiðunar mjög vel. Hliðsjón verður þó ávallt höfð af annars vegar viðmiðuninni í Hvalfirði svo og fjölda búra sem voru í notkun norðvestan við rannsóknarsvæðið á tímabilinu 02/10/2008-30/11/2008. Þegar búr voru sótt reyndist búr 10 hafa flust til og var því sem næst við stöð 12. Ekki er vitað hvernig eða hvenær þetta átti sér stað. Til mats á náttúrulegum breytingum með tíma, var tekið viðmiðunarsýni úr kræklingabanka á sama tíma og búr voru sett út. Búrin voru því 75 daga á stöðvunum sem er sama tímalengd og í fyrri rannsóknum en nú fóru búr á stöðvarnar rúmlega 20 dögum seinna en bæði 1997 og 2003. Þessi mismunur í sýnatökutíma 2008 miðað við 1997 og 2003 hefur ekki áhrif við samanburð þessara þriggja rannsókna. Árferði hefði meiri áhrif í þá veru.



Mynd 3 Loftmynd af vereksmiðjussvæðinu 10/07/2009 (Google Earth)

Söfnun kræklinga í banka fór fram dagana fyrir stofnun hans 08/07/2008 en við flokkun kræklinga var miðað við að hann væri á lengdarbilinu 20-40 mm. Um 120 einstaklingum var komið fyrir í hverju buri. Þetta er áþekk stærðardreifing og bæði 1997 og 2003 en 1997 var kræklingur í upphafi með miðgildislengdina 30 mm, sú sama og 2008, en 2003 var miðgildislengd safnaðs kræklinga 32mm. Ástæða þess að frekar smáum kræklingi var safnað er sú að þannig má tryggja að hlutfallslegur vöxtur yrði sem mestur og þar með uppsöfnun í vöðva.

Þröngt lengdarbil er valið til að minnka líffræðilegan breytileika í samræmi við leiðbeiningar Alþjóðahafannsóknaráðsins og leiðbeiningar ASTM (60) en þessi

tiltekni fjöldi einstaklinga er einnig í samræmi við þessar leiðbeiningar en í lokasýni var meiningin að ná 100 einstaklingum. Smár/ungur kræklingur er einnig viðkvæmari fyrir áhrifum mengunarálags almennt.

Í öllum tilvikum var sýnum komið fyrir í frysti við -24°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.



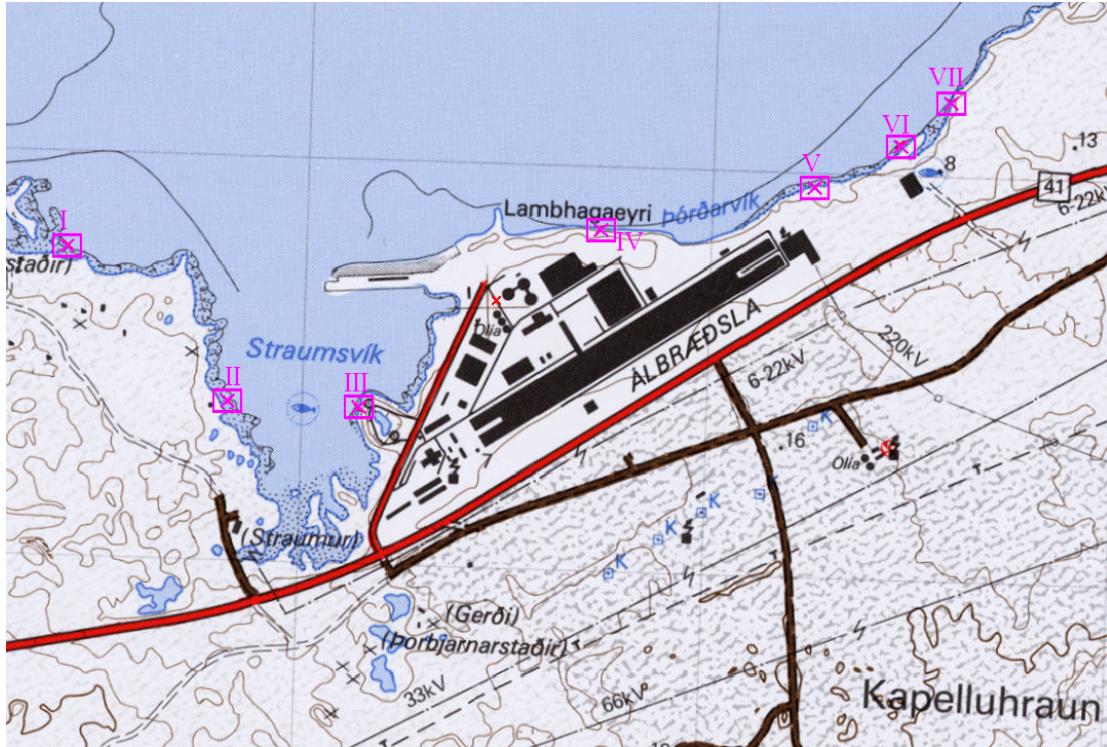
Mynd 3 Staðsetning búrbanka í Hvalfirði.

Tafla 1 Hnit stöðva kræklingabúra og banka.

Stöð	Baughnit, WGS84 Datum		UTM, WGS84 Datum		Dýpi, m
1	64°03.0077'	22°01.2266'	450179	7102999	8
2	64°02.9855'	22°01.3204'	450102	7102959	8
3	64°02.9721'	22°01.3899'	450045	7102935	8
4	64°02.9152'	22°01.7356'	449762	7102834	8
5	64°02.9194'	22°01.8304'	449685	7102843	8
6	64°02.9308'	22°01.5064'	449949	7102860	8
7	64°02.9188'	22°01.6116'	449863	7102839	8
8	64°02.8290'	22°02.8764'	448836	7102689	8
9	64°02.8355'	22°02.5757'	449076	7102697	8
10	64°02.9636'	22°02.5092'	449134	7102934	8
12	64°02.9876'	22°02.0886'	449477	7102973	8
13	64°03.1292'	22°01.6354'	449850	7103230	11
18	64°03.1117'	22°01.0534'	450323	7103190	8
19	64°03.2181'	22°00.8605'	450483	7103385	8
Banki	64°23.8782'	21°37.6914'	469712	7141512	21

1.1.2 Sýni úr fjöru

Sýni af kræklingi og skúfþangi (*Fucus distichus*) úr fjöru voru tekin 15/10/2008, sama dag og búrkræklingur var sóttur á stöðvar sínar við álverið, sjá mynd 4. Sýni var sótt á viðmiðunarstöð fjörusýna 16/10/2008 í Botnsvogi, rétt austan Kattarhöfða í Hvalfirði, sjá mynd 5. Þessi viðmiðunarstöð er á sömu slóð og 2003 en fjarri viðmiðunarstöðinni 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 en 14/10 árið 1997. Þessi mismunur í sýnatökutíma 2003 hefur ekki áhrif við samanburð þessara þriggja rannsókna. Árferði er líklegar til að hafa meiri áhrif.



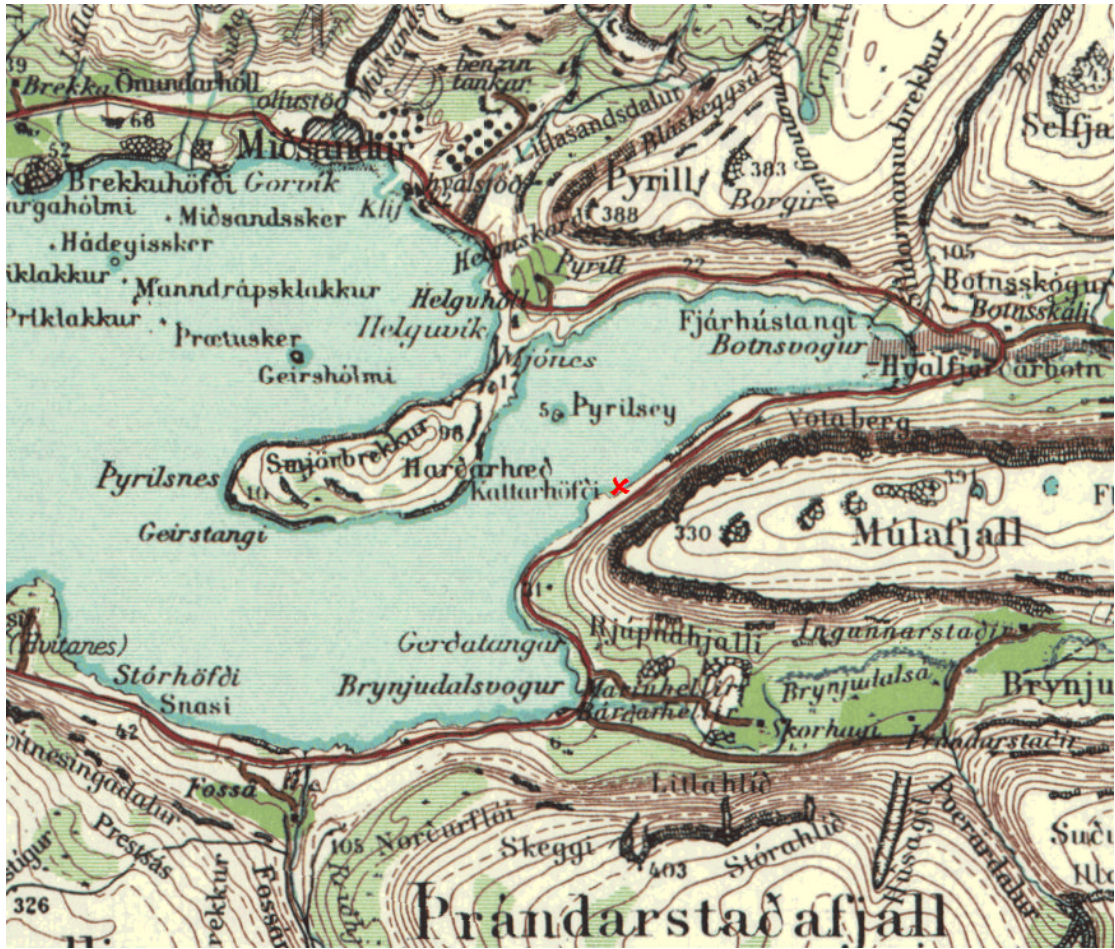
Mynd 4 Stöðvar fjörusýna

Fjörusýnin eru á sömu stöðvum og 2003 í öllum tilvikum nema fyrir stöð V, sem er um 40 m vestar nú en stöð Va var á 2003, og stöð VII, sem nú er um 40 m austar en 2003. Ástæða þessa mismunar var sú að ekki náðist í krækling á nákvæmlega sömu stöðvum og 2003. Stöðvar I, II, VI og VII voru ekki í rannsókninni 1997. Mynd 6 sýnir allar sýnatökustöðvar, bæði búr- og fjörustöðvar.

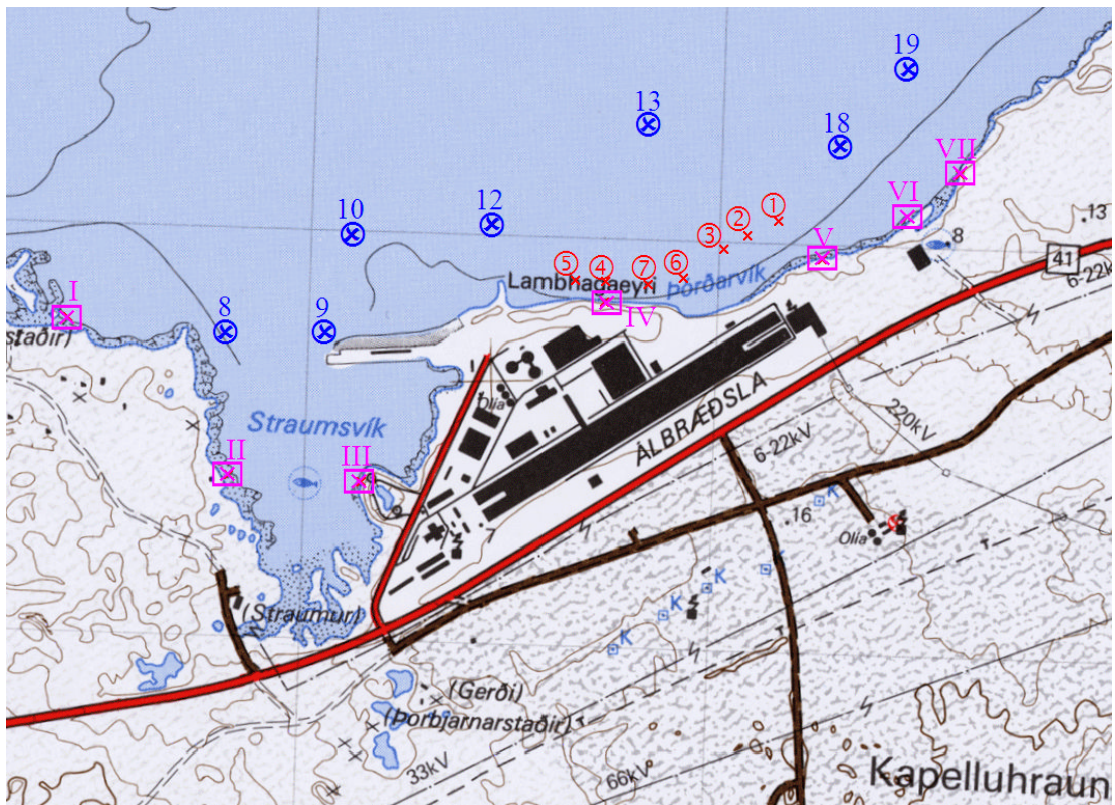
Þang náðist á öllum stöðvunum en kræklingur af 4 stöðvum, þ.e. stöðvum II, IV, V og VII. Ekki er kunn ástæða þess að krækling var ekki að finna á stöðvum I, III og VI eins og 2003.

Eins og 2003 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 -24°C fram að undirbúningi þeirra og mælinga.



Mynd 5 Staðsetning viðmiðunarsýna úr fjöru í Hvalfirði.



Mynd 6 Allar sýnatökustöðvar rannsóknarinnar 2008.

Nákvæm hnit fjörustöðvanna koma fram í töflu 2.

Tafla 2 Hnit stöðva úr fjöru (kræklingur og skúfþang) á lóð álverksmiðjunnar og vestan og austan hennar.

Stöð	Baughnit, WGS84 Datum		Sýni
I	64°02.840'	22°03.352'	Þang
II	64°02.643'	22°02.846'	Þang og kræklingur
III	64°02.642'	22°02.447'	Þang
IV	64°02.893'	22°01.740'	Þang og kræklingur
V	64°02.963'	22°01.093'	Þang og kræklingur
VI	64°03.024'	22°00.843'	Þang
VII	64°03.084'	22°00.692'	Þang og kræklingur
Banki	64°22.427'	21°24.249'	Þang og kræklingur

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
fluoranten	4
pyren	4
*bens(a)antracen	4
*krysen	4
*bens(b)fluoranten	5
*bens(k)fluoranten	5
*bens(a)pyren	5
*dibens(ah)antracen	5
*benso(ghi)perýlen	6
*indeno(123cd)pyren	6

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

Árið 2005 var gefin út reglugerð um mörk á PAH-efnum í matvælum innan ESB (19¹), en þar er 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. Áætlað er að í matvælum sé krabbameinsvirknin um tífold sú sem mælist sem B(a)P. Í kræklingi eru mörk ESB á B(a)P 10ppb (votvigt). Framkvæmdastjórn ESB beindi jafnframt þeim tilmælum til aðildarlandanna að þau myndu vakta fleiri efni eða samtals 15 PAH-efni vegna líklegar krabbameinsvirkni þeirra (20). Vísindanefnd Matvælaöryggisstofnunar Evrópu (EFSA) um aðskotaefni gerði nýlega áhættumat á PAH-efnum í matvælum komst að þeirri niðurstöðu að aðeins 8 PAH-efni (PAH8) væru bendiefni á krabbameinsvirkni PAH-efna í matvælum (84) 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 efni.

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 dökkletruðu 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 mælanleg (23).

Í rannsókninni 1997 voru eftirtalin 23 efni mæld: naftalen, **2-metýlnaftalen**, **1-metýlnaftalen**, **bifenýl**, **2,6-dimetýlnaftalen**, acenaftýlen, acenaften, **2,3,5-trimetýlnaftalen**, flúóren, fenantren, antracen, **1-metýlfenantren**, flúóranten, pyren, benzo(a)antracen, chrysen+trifenýlen, benzo(b+j+k)fluoranten, **benzo(e)pyren**, benzo(a)pyren, **perýlen**, indeno(1,2,3-cd)pyren, dibenzo(a, h)antracen, og benzo(ghi)perýlen. Þau dökkletruðu, átta talsins, eru þau sem ekki eru mæld í þeirri rannsókn sem hér er lýst. Af þessum átta efnum, 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 trifenylen voru ekki aðskilin en chrysene en ekki trifenylen 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 mjúkvaf kræklinga og í skúfþanginu. Þekkt er að álver losa flúor í andrúmsloft þar sem krýólít, Na₂AlF₆, er notað við rafgreininguna eða 0,3-4,0

¹ Reglugerðin var endurútfegin 2006: COMMISSION REGULATION (EC) No 1881/2006 of 19 December 2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs.

kg AlF_3 á hvert framleitt tonn áls (7). Heildarlosun í andrúmsloft af flúor er áætluð að vera 0,3-4,0kg/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 kræklingsins 1997 voru mældir þungmálmarnir kvikasilfur, blý, kadmín, kopar, sink, króm og nikkell. Í skel kræklingsins 1997 voru mæld flúor og málmarnir blý og kadmín. Í skúfþangi voru mæld snefilefnin flúor, kvikasilfur, blý, kadmín, kopar, sink, króm og nikkell. Í þessari rannsókn var skúfþang og mjúkvefur kræklings skilgreind m.t.t. þurrefnis, fitu og ösku og voru eftirfarandi ólífræn snefilefni mæld í bæði mjúkvef kræklingsins 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 máлма frá álverum og koma þeir aðallega til af óhreinindum í hráefnum (súráli, krýólíti og rafskautum) en almennt er losun á málmum ekki talin vera vandamál frá álverum almennt (7). Áhrifin eru jafnframt háð þeim hráefnum sem notuð eru og staðháttum 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 máлма, 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 málmarnir 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 málmum 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 máлма 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 málmum í mosa frá álverinu í Straumsvík árið 2000 (59) leiddi í ljós að líklegast bærust snefilefnin 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 Jóhannesi Briem, starfsmanni Hafrannsóknastofnunarinnar á eftirlaunum, sá um alla vinnu varðandi búrkræklinginn (söfnun kræklinga, gerð búra og bauja, stofnun kræklingabanka, 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 kræklinga og þanga úr fjöru við Straumsvík og í Botnsvogi var framkvæmd af Jóhannesi Briem. Vinna með hnit var í höndum Kjartan Thors s.s. að staðsetja búr á sömu staði og 1997 og 2003 og varpa hnitum úr einu kerfi í önnur.

Rannsóknastöðin í Sandgerði í umsjón Guðmundar Víðis Helgasonar og Halldórs Pálmars Halldórssonar sá að mestu um vinnslu kræklingssýna fyrir mælingar.

Ólífræn snefilefni utan flúors og meginefnaþátta voru mæld hjá ALS Scandinavia AB, Luleå, Svíþjóð, undir umsjón Ilia Rodioushkine, efnafræðings. Arómatísk fjölhringa-sambönd voru mæld hjá undirverktaka ALS Scandinavia AB, GBA, Pinneberg, Þýskalandi. Ábyrgðarmaður PAH-mælinganna hjá ALS Scandinavia var Johan Nilsson, efnafræðingur. 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

Er súfþangi var safnað var meir en 100 g tekið af hverjum stað. Skúfþangssýnin voru skoluð með háhreinu vatni til að hreinsa þau af ögnum og óhreinindum, sem sætu á því, og síðan þurrkuð við 55°C þar til massabreyting varð óveruleg (um 3 sólarhringar) en þá er rakainnihald yfirleitt um 10%. Eftir þurrkun voru þangssýni möluð í fínan salla.

Fyrir búrkrækling voru allir einstaklingar taldir og fjöldi dauðra kræklinga metinn. Hver einstaklingur af kræklingi var veginn, hold hans vegið og skel vegin auk þess sem lengd, hæð og breidd hvers einstaklings var mæld. Hold kræklinga var þeytt saman í einsleitan 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 Teflonlátum. Magngreining fór fram með ICP-SFMS samkvæmt EPA-aðferð 200.8. Mælingarnar eru faggiltar af SWEDAC utan áls, járns og vanadíns í kræklingi og áls, járns, kvikasilfurs, blýs og vanadíns í þangi. Þangssýni voru mæld á sama hátt og gildin uppgefin á þurrefnisgrunni miðað við þurrkun við 105°C samkvæmt SS028113.

Samfara mælingum á ólífrænum snefilefnum var mælt viðmiðunarefnið NIST 1547, Peach leaves. Árangur mælinganna er að finna í töflu 4.

Tafla 4 Árangur mælinga á viðmiðunarefninu Peach Leaves NIST1547

Styrkur er uppgefinn sem µg/g með 95% öryggismörkum fyrir vottuðu gildin en tvöfalt staðalfrávik í tilviki mældu gildanna.

Frumeftni	Mælt gildi	Vottað gildi
Al	165±12	249±8
As	0,065±0,020	0,060±0,018
Cd	0,029±0,001	0,026±0,003
Cu	3,3±0,1	3,7±0,4
Fe	192±3	218±14
Hg	0,033±0,002	0,031±0,007
Mn	93±5	98±3
Ni	0,44±0,02	0,69±0,09
Pb	0,74±0,02	0,87±0,03
V	0,29±0,01	0,37±0,03
Zn	18,1±0,8	17,9±0,4

NIST 1547 er ekki með vottuð gildi fyrir kóbolt og króm en hins vegar eru uppgefin námundagildi (indicative value), þ.e. 0,07 µg/g fyrir kóbolt (mæling gaf 0,06) og 1 µg/g fyrir króm (mæling gaf 0,52). Uppgefin eru óvissumörk þeirra niðurstaðna, sem eru fengnar með faggiltum aðferðum, má sjá 95%-vikmörkin í töflu 5.

Tafla 5 95% vikmörk mælióvissu, % af mældum gildum

Frumefni	95% vikmörk mælióvissu, % af mældu gildi
As	29
Cd	19
Co	23
Cr	27
Cu	19
Hg*	120
Mn	18
Ni	27
Pb	19
Zn	20

*Mæld gildi á bilinu 3-7 ng/g w.w.

Mælingar á PAH-efnum fóru fram hjá undirverktaka ALS Scandinavia AB, sem er í Pinneberg, Þýskalandi. Mælingin fór fram með GC-MS og er aðferðin faggilt af DAR.

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 Poplar leaves en það er með vottaðan styrk 22 ± 4 mg/kg flúors. Tvímæling gaf í bæði skiptin flúorstyrkinn 22 mg/kg.

Ákvörðun á vatni fór fram við þurrkun að föstum massa við 105°C og á ösku eftir hitun í glæðiofni við 550°C í tvo tíma. Ákvörðun á heildarköfnunarefni og heildrakolefni fór fram á NMÍ með frumefnagreini.

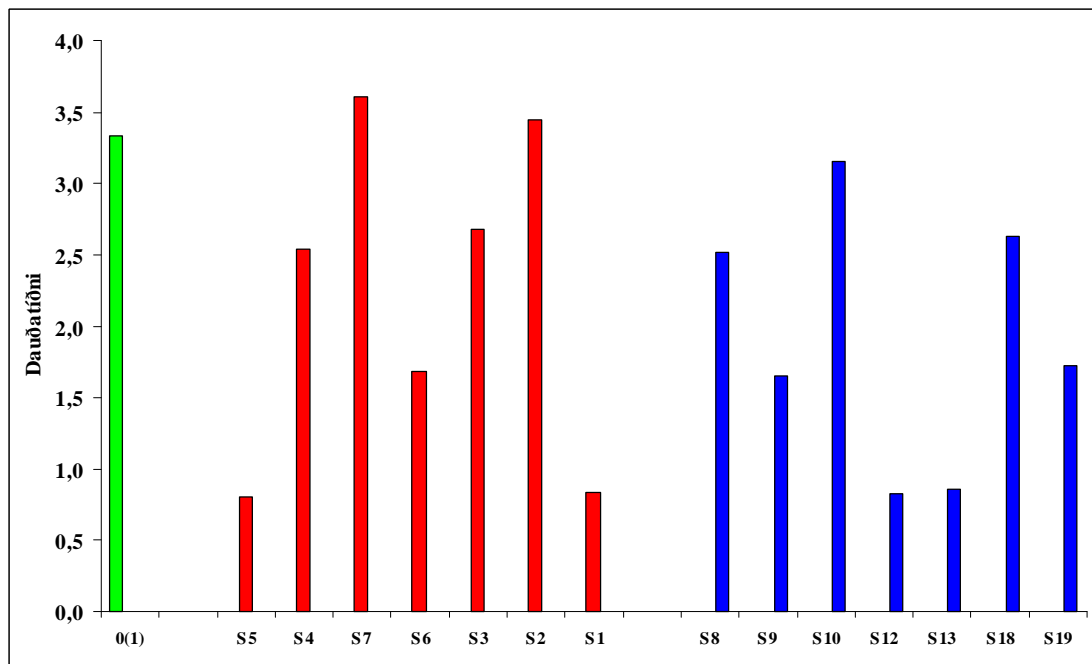
4 NIÐURSTÖÐUR UM LÍFFRÆÐILEGA ÞÆTTI

4.1 Líffræðilegir þættir

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 Dauðatíðni

Mynd 7 sýnir hlutfallslega dánartíðni kræklingssýna úr búrum.

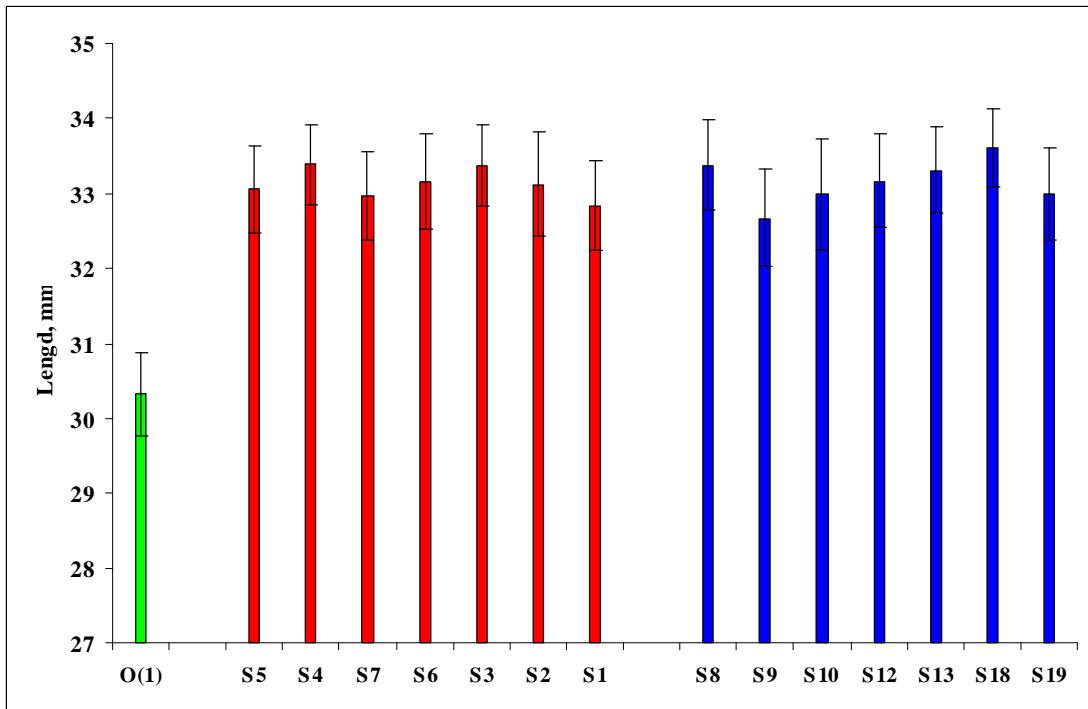


Mynd 7 Hlutfallseg dánartíðni kræklinga í búrum. Staðsetningu sýna má sjá á myndum 1-3 en O(1) er -sýni úr banka fyrir tilraun.

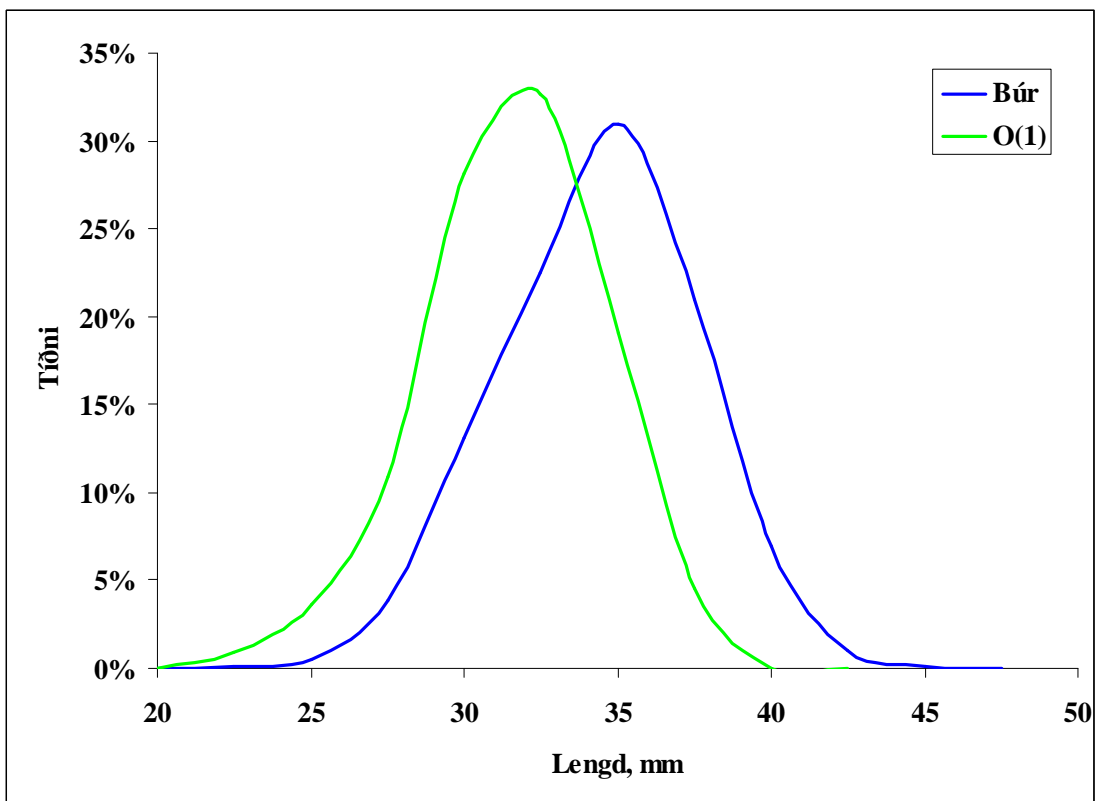
Dauðatíðni er tiltölulega lág eða ávallt undir 5% og vel innan þeirra marka sem sjá má í viðlíka rannsóknum. Enginn marktækur munur er í dauðatíðni milli hópanna tveggja, þ.e. nær ströndu og fjær ströndu ($p=0,63$).

4.1.2 Vöxtur og holdarfar kræklingssýna

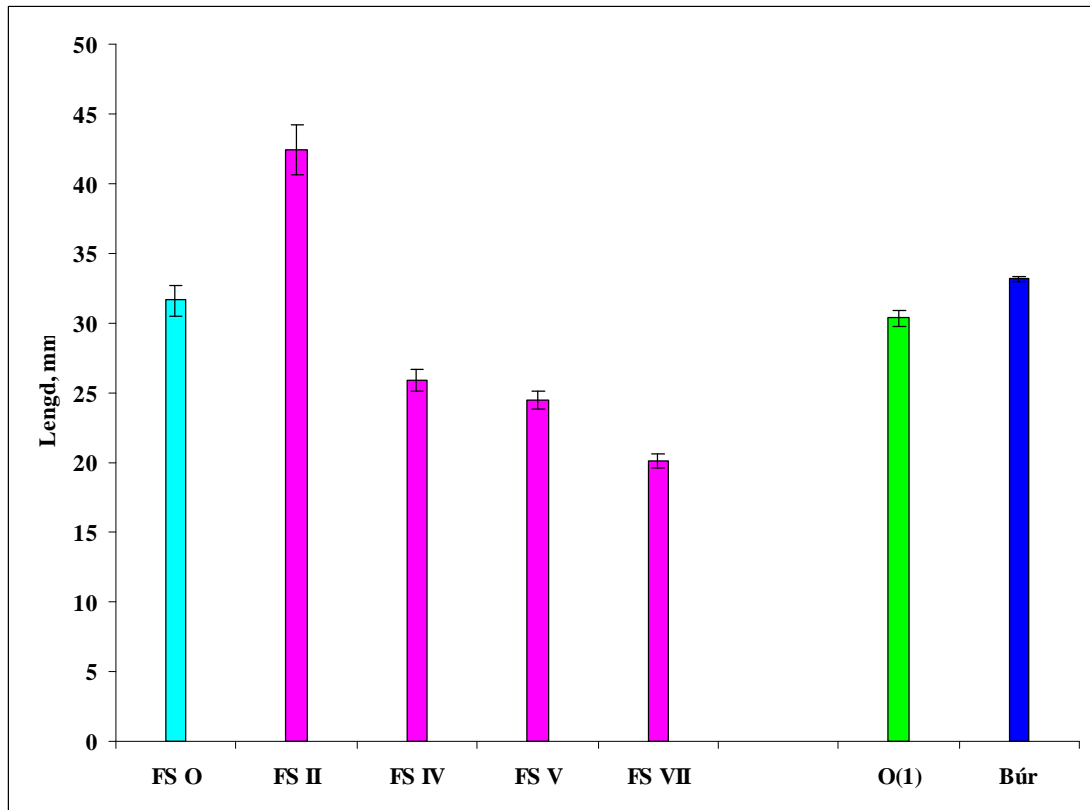
Lengd Mynd 8 sýnir meðallengd kræklinga í búrum. Mynd 9 sýnir dreifingu lengda í banka og í búrum og má sjá að um normaldreifingu er að ræða. Ekki er marktækur munur milli sýna í búrunum fjórtan utan við verksmiðjussvæðið. Sjá má að sýnið af stöð 19, sem hafði verið 1,5 mánuðum lengur í sjó en önnur búr, hefur ekki vaxið á þessum viðbótartíma. Lengdaraukningin í búrunum er marktæk og að meðaltali um 9%. Í rannsókninni 2003 var meðallengdaraukning meiri eða 21% í bæði búrum og banka. Minni vöxtur í búrum 2008 en 2003 kann að koma til af ýmsum ástæðum en þættir eins og t.d. fæðuframboð, fæðutegud, hitastig, selta, ölduhreyfing og straumhraði geta haft áhrif á vaxtarhraða en einnig mengunarálag (85). Munur getur verið í öllum þessum breytum á milli 2003 og 2008. Af þessum sökum hentar stöð 8 sem raunhæft viðmiðunarsvæði. Seltustig er lægra framan við verksmiðjussvæðið 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 því minni sem seltan er. Þessi ferskvatnsáhrif koma fram í ýmsum efnabáttum, sem ræddir verða hér að neðan. Um breytileik milli ára má t.d. sjá við skoðun á gögnum rannsóknarinnar 1997 en þá óx kræklingur ekki í bankanum en kræklingur næst ströndu við Straumsvík óx lítið eða um 4,5% (1).



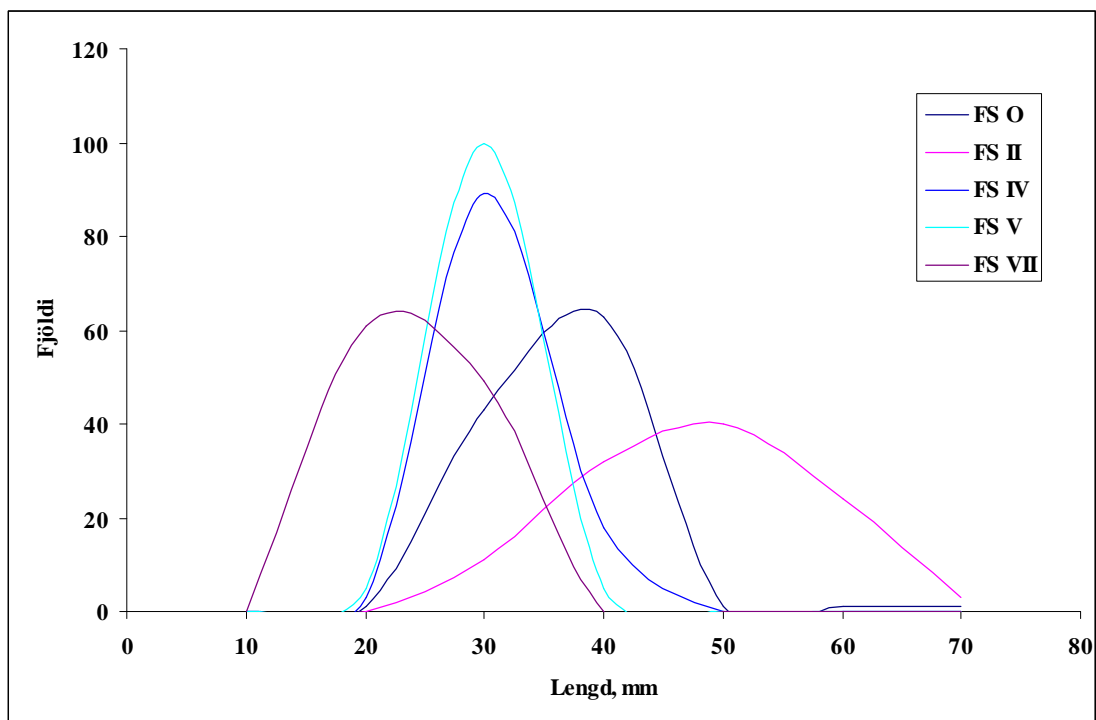
Mynd 8 Meðallengd kræklingssýna úr búrum með 95%.vikmörkum.



Mynd 9 Dreifing lengda í búrum framman við verksmiðjusvæðið og í banka í upphafi rannsóknar, (O(1)).



Mynd 10 Meðallengd kræklingskýna úr fjöru með 95%-vikmörkum en einnig eru lengdir bankasýnis og búra sýndar til samanburðar.



Mynd 11 Dreifing í lengd fjöruskýna. Fjöldi einstaklinga í sýni var ávallt 110.

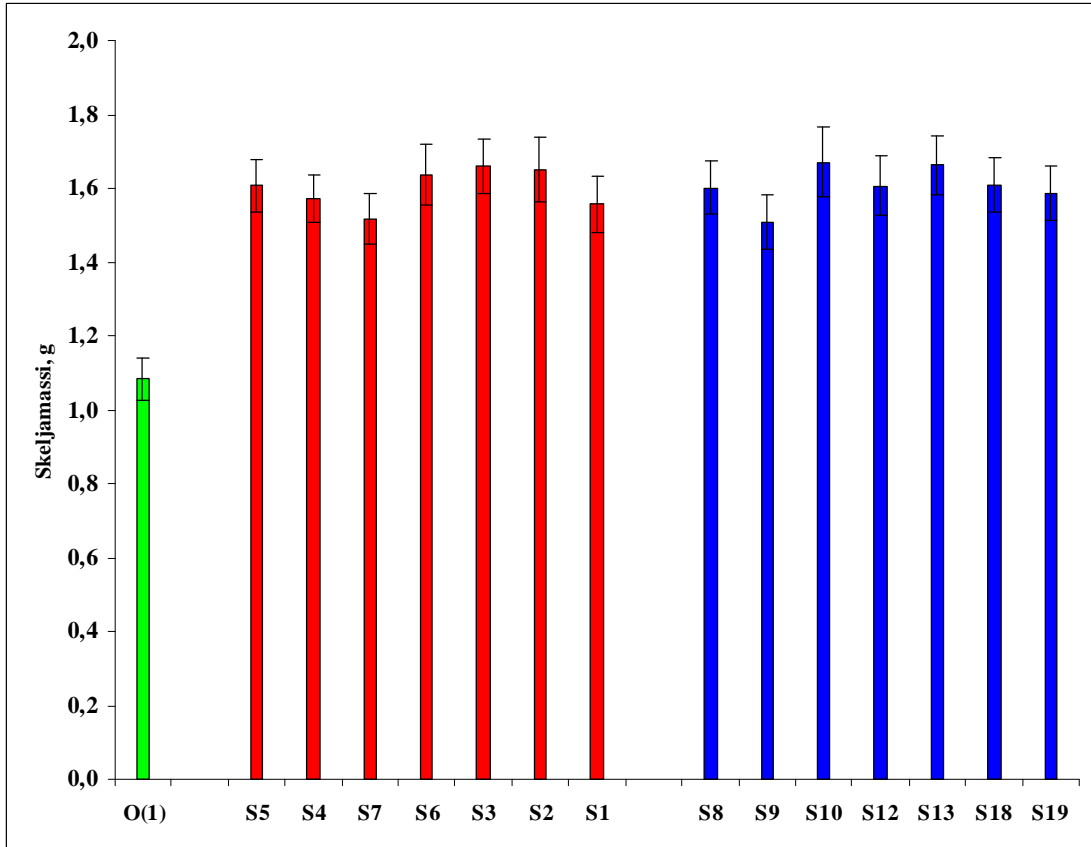
Mynd 10 sýnir lengdir fjörukræklings. Mismunur milli sýna er þar talsverður, sjá mynd 11, og eru engin tvö sýni eins að lengd þó svo sýni II og IV séu mjög lík (en marktækt frábrugðin þó (t-próf; 95% CI)). Náttúrulegur breytileiki kemur jafnan í veg fyrir að unnt sé að ná sýnum af sömu stærð úr fjöru á öllum þeim stöðvum sem sóst er eftir sýnum frá. Gerir þetta túlkun á gögnum vandasamari en ella.

Skeljamassi búrkræklings er sýndur á mynd 12 og dreifing á mynd 13. Óverulegur munur er í búrsýnunum fjórtán við strönd álversns (ANOVA; $p=0,044$) en ekki er marktækur munur milli stöðvanna nær landi (S1-S7) og fjær landi (S8-S19) (ANOVA; 95% CI). Kræklingur stöðvanna 14 hefur aukið skeljamassa sinn að meðaltali um 48%. Árið 2003 var aukningin í skeljamassa (búra og banka) tvöfalt meiri eða 103% og voru búrsýnin með sömu aukningu en breytileiki talsverður milli sýna. Árið 1997 óx kræklingur í banka ekki marktækt (t-próf; 95% CI) en kræklingur í búrum næst ströndu óx að meðaltali um 21%.

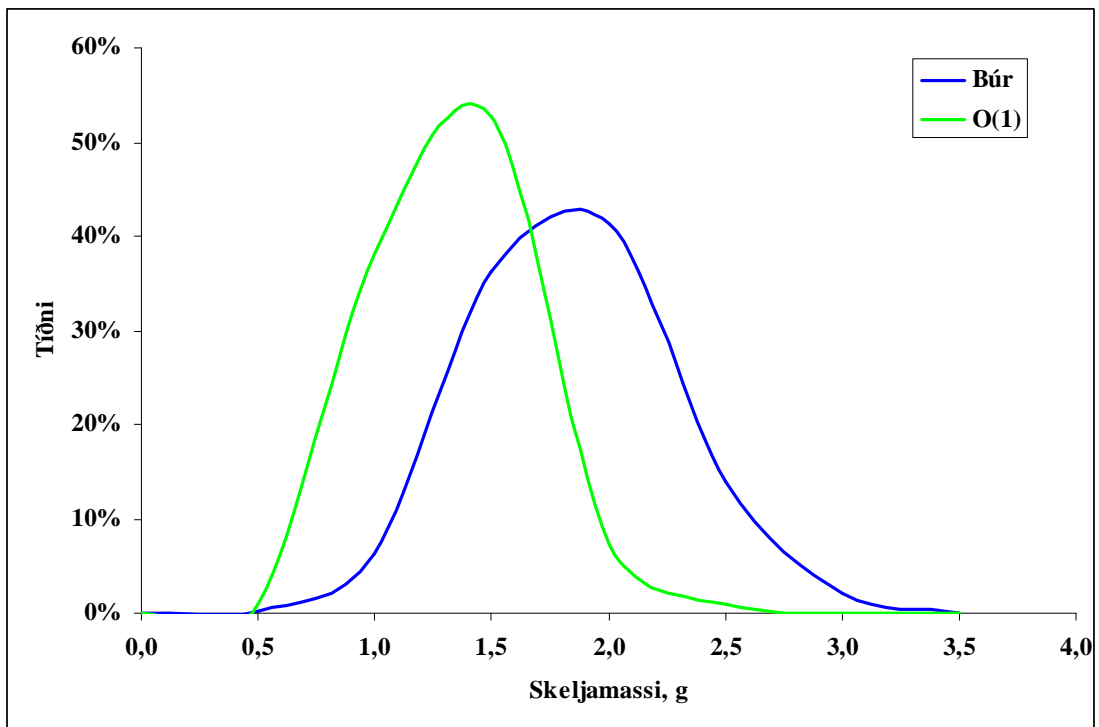
Myndir 8 og 12 benda til að þyngd skelja hafi vaxið hlutfallslega meira en lengd þeirra. Hlutfall skeljamassa og lengdar er sýnt á mynd 14 en marktækur munur er á milli stöðvanna 14 við álverið. Hér geta komið til a.m.k. þrjár skýringar. Í fyrsta lagi má nefna að samlokur eins og ostra þykkja skel sína ef þær verða fyrir álagi vegna mengunar eins og t.d. lífrænna tinsambanda (86,87) en þykkt skelja er oft skoðuð þegar mengunarálag vegna t.d. málma (88) eða olíu er til athugunar (89). Í öðru lagi er þykking skeljar (ásamt sterkari samdráttarvöðva) álitin vera svar kræklings við áreiti rándýra eins og t.d. krossfisks og krabba (90). Í þriðja lagi bregst kræklingur við aukinni ölduhreyfingu með því að auka þykkt skeljarinnar samfara hækkun í hlutfalli hæðar og breiddar (91). Hlutföll hæðar og breiddar fyrir búrkræklinginn eru sýnd á mynd 14 og sýnir hún marktæka hækkun í hlutfalli í kræklingnum utan við álverið. Munur er einnig marktækur á milli búrsýna við álverið. Aukin skelþykkt, mynd 13, samfara hækkun í hlutfalli hæðar og breiddar, mynd 14, kann því að skýrast með meiri ölduhreyfingu í búrunum á stöðvunum utan við álverið 2008 en á botni í Hvalfirði þaðan sem kræklingur var upphaflega sóttur. Ekki er þó hægt að útiloka aðra orsakavalda.

Mynd 15 sýnir 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.

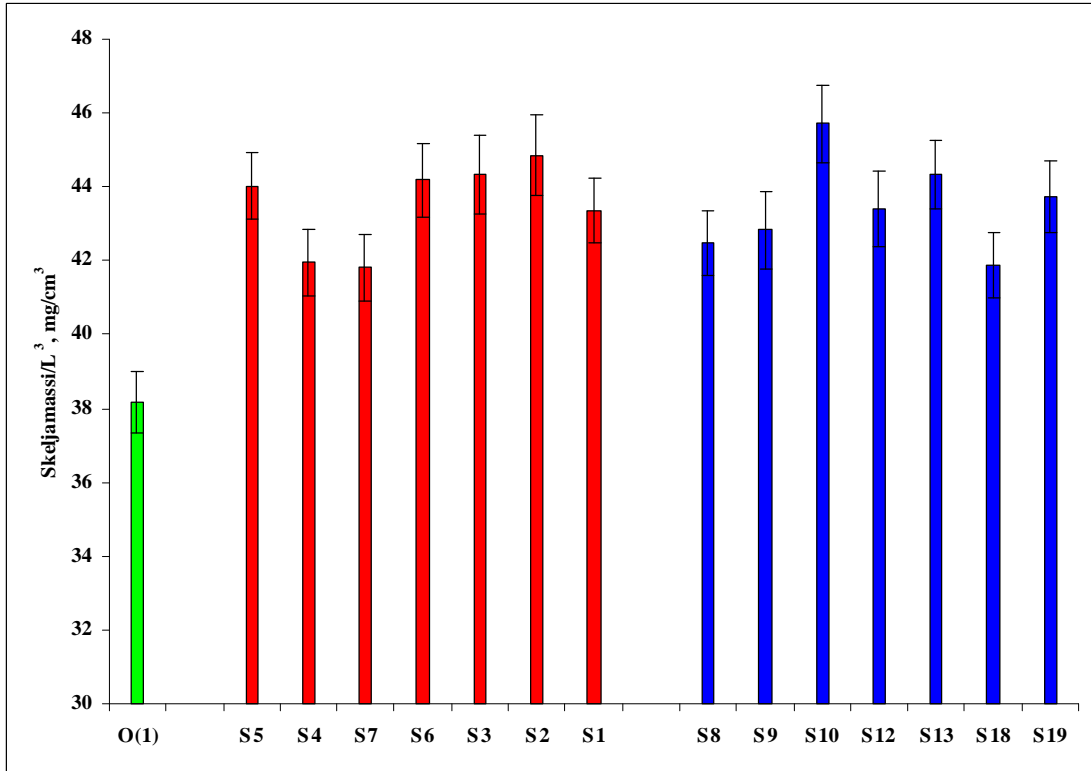
Mynd 16 sýnir samband skeljamassa og lengdar fyrir bæði búrkrækling og fjörukrækling. Má þar sjá að kræklingur í búrbanka í upphafi er með léttari skel en önnur sýni en hann hafði verið sóttur af botni Hvalfjarðar, þar sem ölduhreyfingar gætir minna en í fjöru og í búrum. Fjörukræklingurinn 2003 hafði marktækt þyngri skel fyrir sambærilega lengd en búrkræklingurinn en nú bregður svo við að munurinn er minni, sem svo aftur bendir til meiri ölduhreyfingar í búrum 2008 en 2003. Hreyfingar öldu í fjöru eru þekktar fyrir að valda þykkari skel en skel kræklings neðan stórstraumsfjöru (61). Athygli vekur einnig mun meiri einsleitni kræklings (lengd, skeljamassi) undan álverinu en í fyrri rannsóknum. Slík einsleitni gerir samanburð efnabátta í kræklingi öruggari en ella.



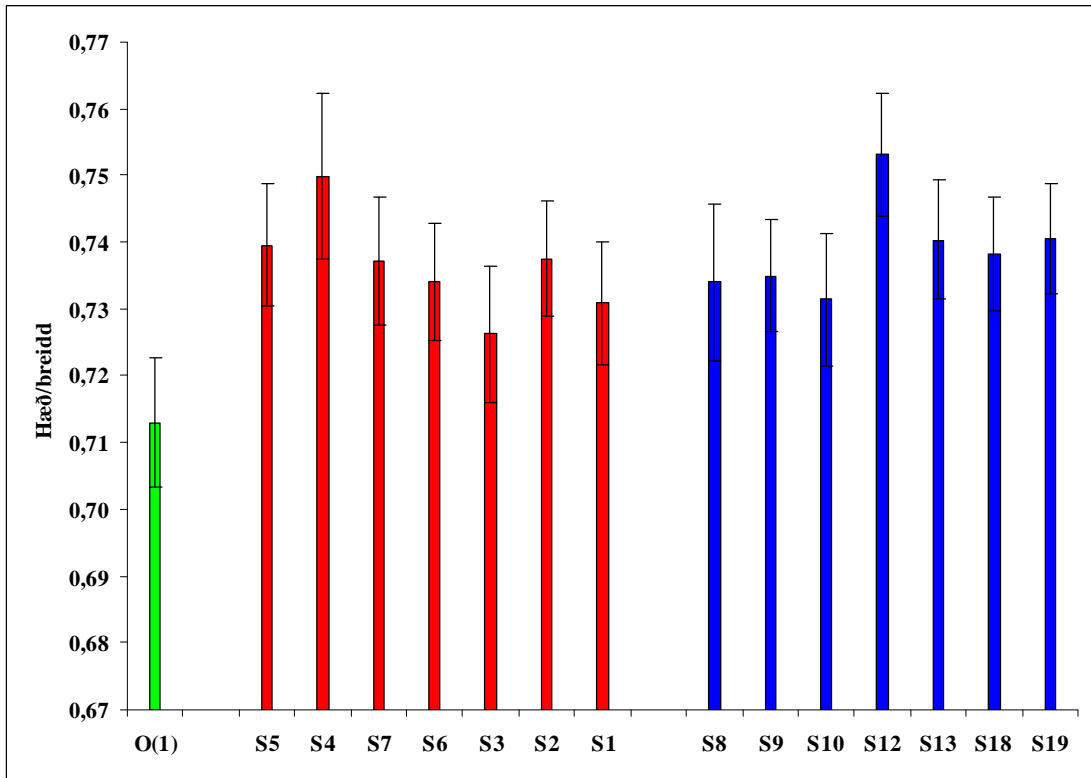
Mynd 12 Meðalskeljamassar kræklingssýna úr búrum með 95% vikiörkum.



Mynd 13 Dreifing skeljamassa í búrum framán við verksmiðjusvæðið og í banka í upphafi rannsóknar, O(1).



Mynd 13 Hlutfall skeljamassa og lengdar með 95% vikiörkum.



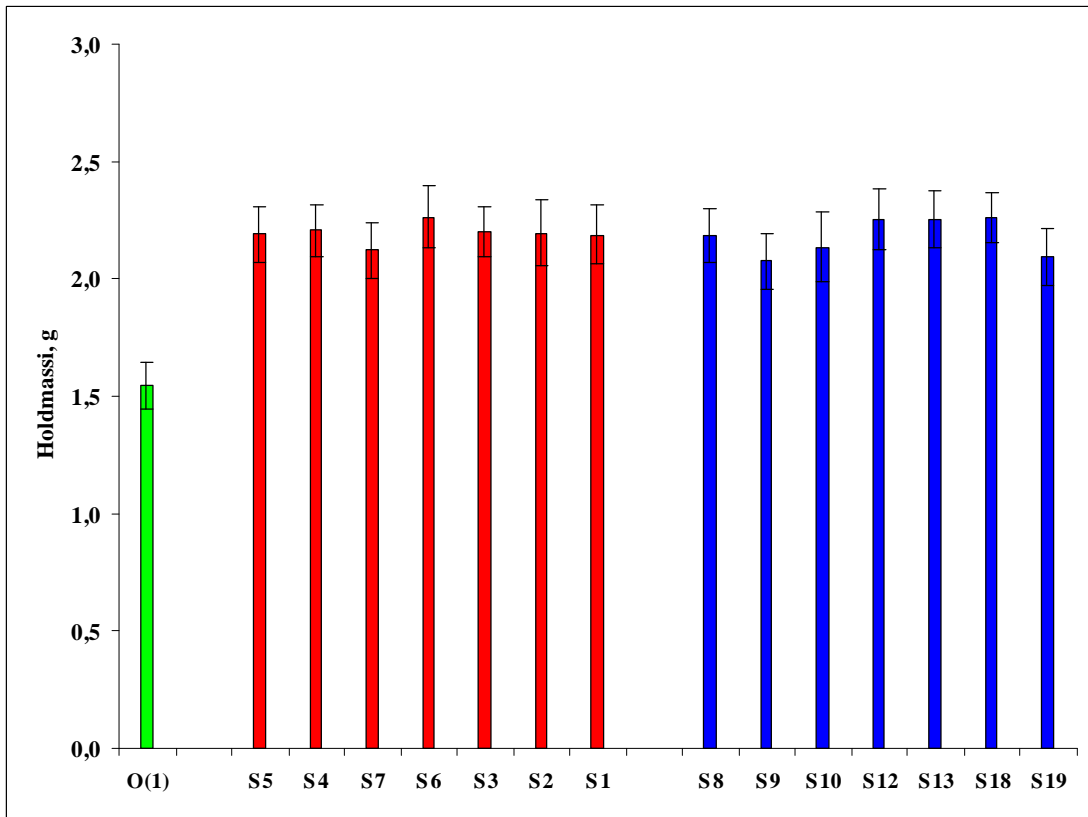
Mynd 14 Hlutfall hæðar og breiddar í búrkærlingi með 95% vikiörkum.

Mjúkvefur Þar sem allar mælingar fara fram á holdi kræklings er ástæða til að líta nánar á mjúkvefinn en aðallega þarf að huga að þurrþyngdinni því breytileiki getur verið í votþunga kræklingssýna vegna þess að hann getur innihaldið mismikið af sjó við frystingu. Mynd 17 sýnir holdþunga kræklingssýna úr búrum en mynd 18 sýnir dreifingu holdþunga. Ekki er um marktækan mun að ræða á milli búrsýnanna fyrir framan álverið (ANOVA; $p=0,48$) en marktækur vöxtur hafði átt sér stað á tímabilinu eða um 41% að meðaltali. Í rannsókninni 2003 óx mjúkvefur kræklingssýna 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 óx hins vegar mjúkvefur kræklingssýna ekki, hvorki í banka né framan við álverið.

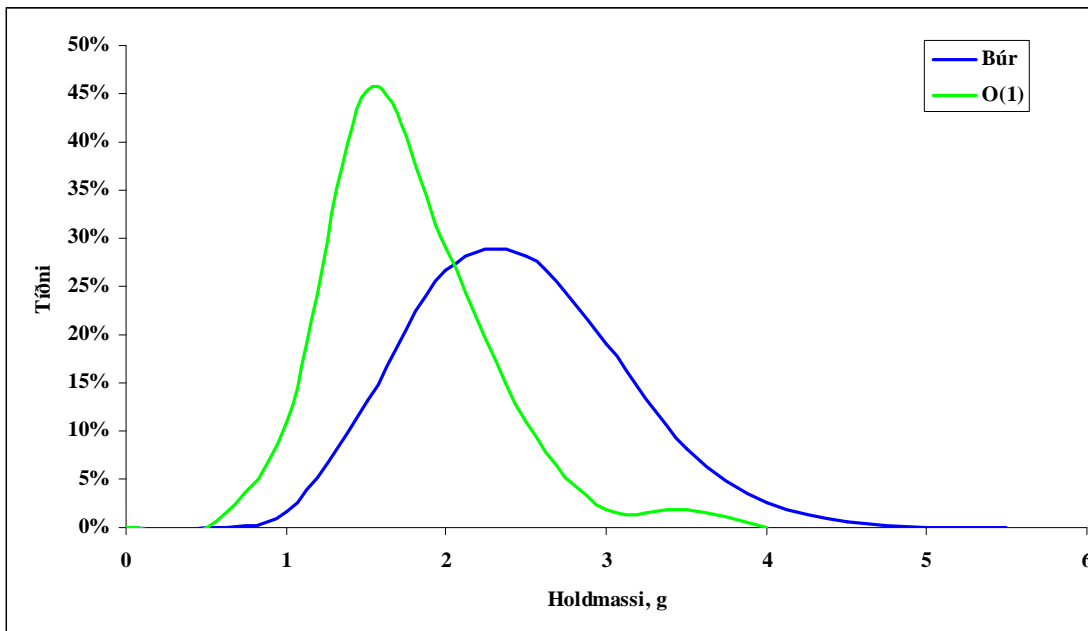
Mynd 19 sýnir holdmass kræklingssýna úr fjöru. Við samanburð á myndum 17 og 19 má sjá að holdvotþungi kræklingssýna úr búrum er hlutfallslega meiri en kræklingssýna úr fjöru. Þetta kemur betur fram á mynd 20 og má þar sjá að búrbankasýnið í lokin sýnir sömu hlutföll og fjörukræklingur en annar kræklingur sýnir hlutfallslega meiri holdþunga.

Mynd 21 sýnir þurrþyngd mjúkvefs kræklingssýna úr búrum. Miðað við banka í upphafi er um 26% vöxt að ræða í kræklingnum undan strönd álversins en ekki er marktækur munur á innri og ytri búrum ($p=0,44$). Árið 2003 var vöxturinn hins vegar umtalsvert meiri í búrunum undan álverinu eða 174% að meðaltali eða frá 80% í 260%.

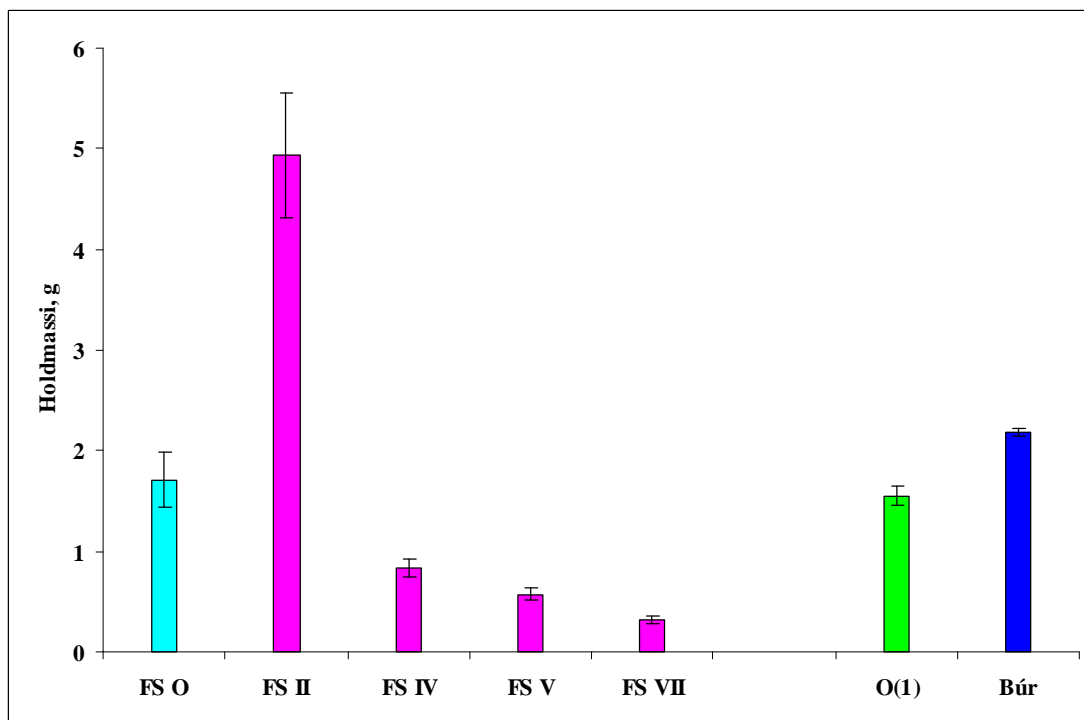
Mynd 22 sýnir þurrþyngd kræklingssýna af fjöru og má sjá að þurrþyngd kræklingssýna af fjöru er talsvert minni en úr búrunum í lok tilraunar þrátt fyrir að ekki hafi verið um slíkan mun að ræða í hvorki lengd né skeljamassa. Kemur hér aðallega til minni möguleikar kræklingssýna til viðgangs í fjöru en 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 búrkræklingssýna.



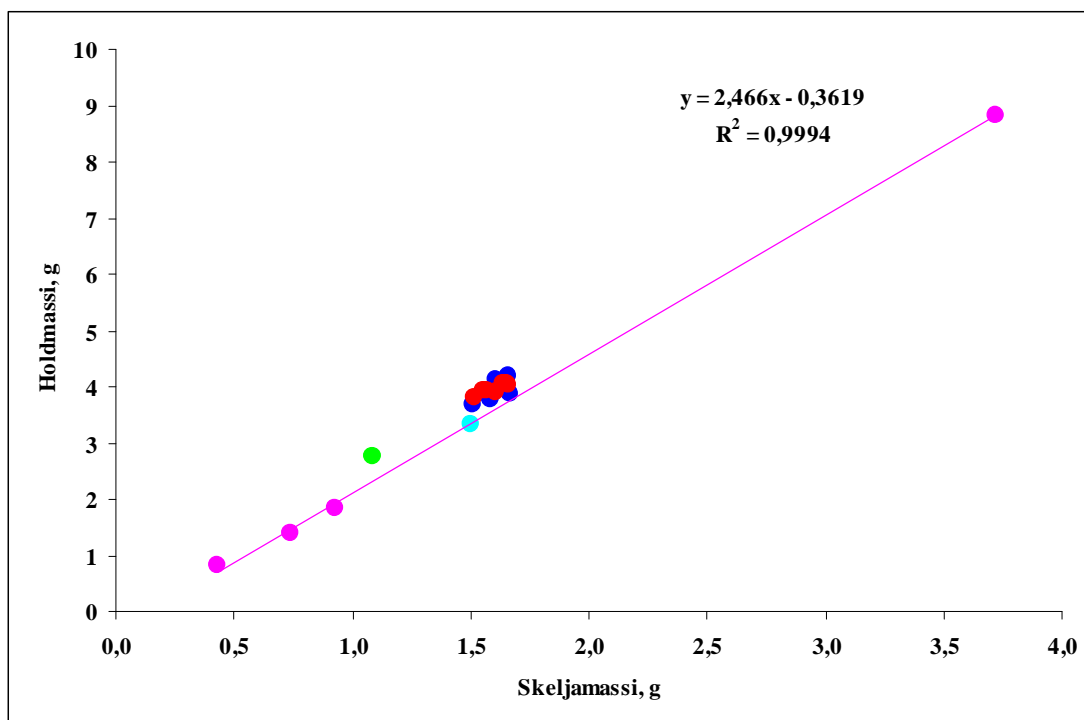
Mynd 17 Votþungi (meðaltal) holds í kræklingssýnum úr búrum með 95%-vikmörkum.



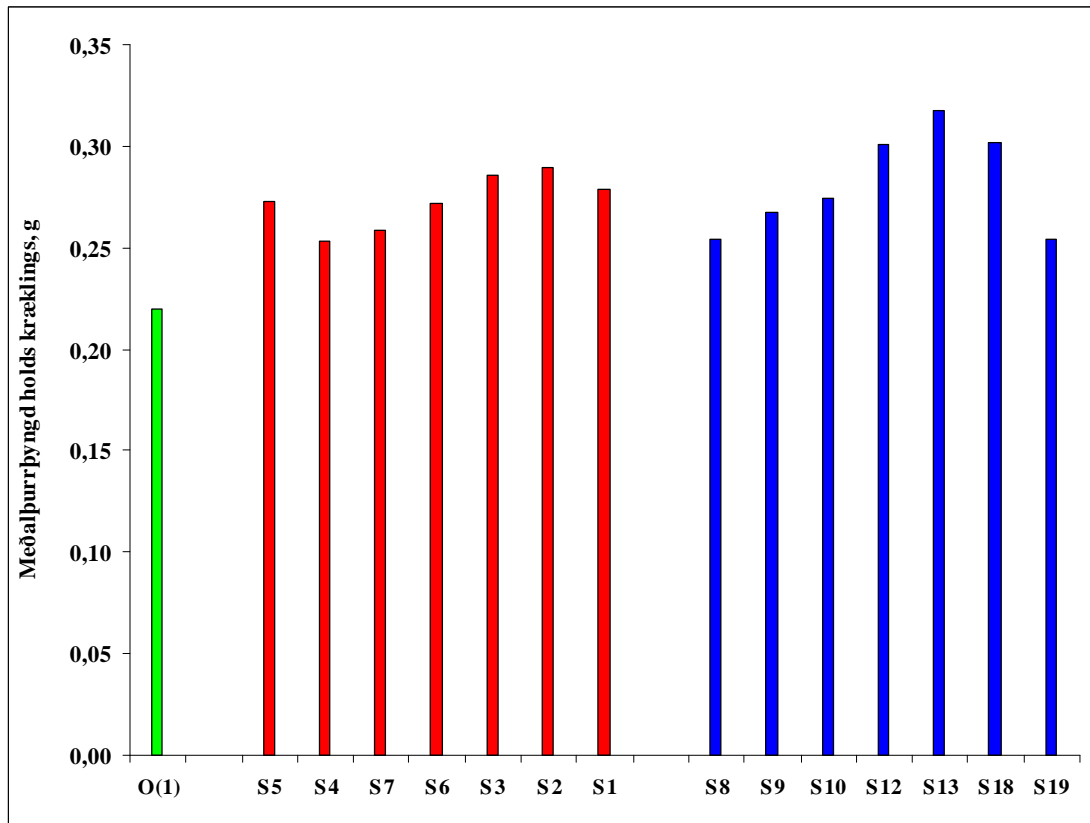
Mynd 18 Holdmassi (votþungi) kræklingssýna í búrum.



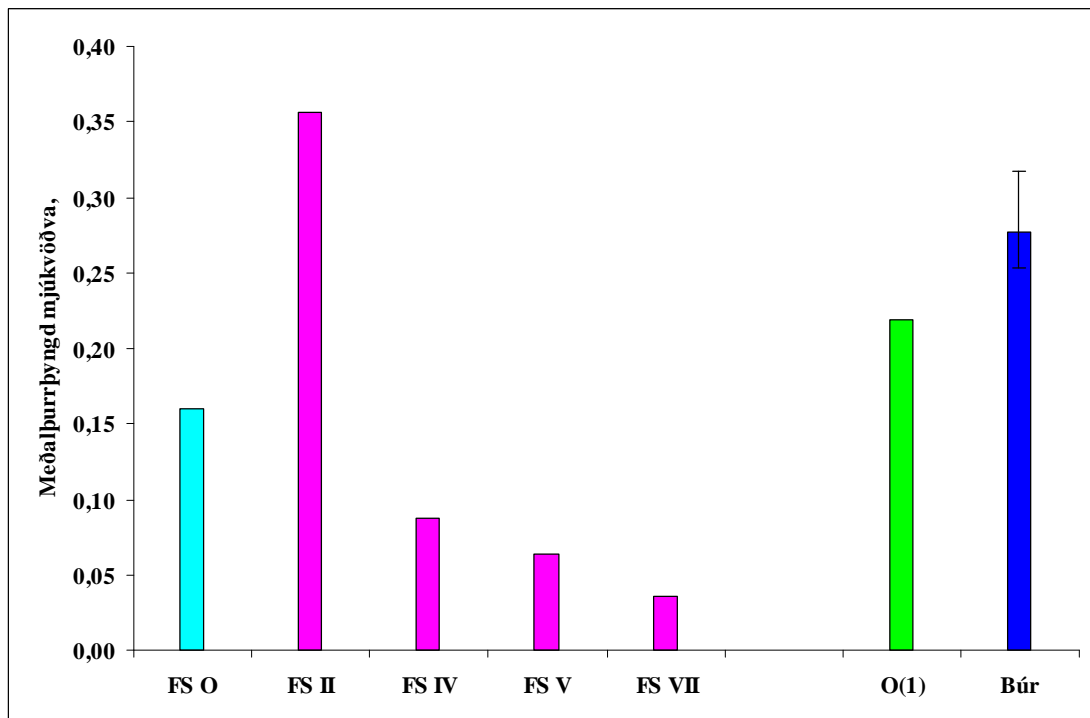
Mynd 19 Meðalholdmassasr kræklingssýna úr fjöru með 95%-vikmörkum. Búkræklingur sýndur til hliðsjónar.



Mynd 20 Samband holdmassa og skeljamassa í kræklingssýnum. Bleikir punktar: fjörukræklingur. Ljósblár punktur: viðmiðunarsýni úr fjöru. Grænn punktur: búrvíðmið í upphafi. Rauðir og dökkbláir punktar sýna innri og ytri búkrækling undan álverinu.

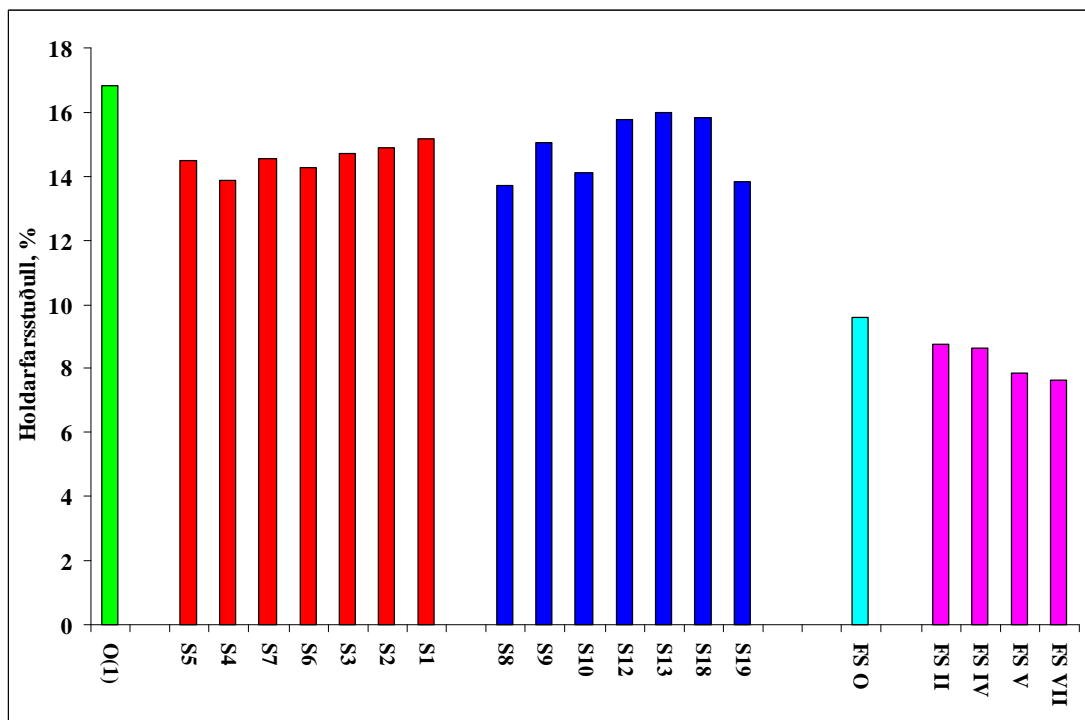


Mynd 21 Þurrþyngd holds í krækingsssýnum úr búrum þar sem reiknað var með meðalholdmassa.



Mynd 22 Þurrþyngd holds í krækingsssýnum úr fjöru þar sem reiknað var með meðalholdmassa. Bankabúrsýni og Búrsýni sýnd til samanburða (með lágmarki og hámarki).

Holdarfarsstuðull sem hlutfall þurrþyngdar mjúkvöðva og heildarþurrþyngdar er sýndur á mynd 23 og sést að fjörukræklingurinn er með um 60% af holdarfarsstuðli búkræklingsins. Þetta er í samræmi við fjölda rannsókna á kræklingi í kringum Ísland. Hins vegar er ekki um marktækan mun á holdarfari að ræða fyrir innri og ytri kræklingabúr framan við verksmiðjusvæðið. Holdarfar kræklings fyrir framan álverið er almennt minna en í viðmiðun í byrjun og kemur hér til hlutfallslega meiri skelþungi vegna ölduhreyfingar. Holdarfar búkræklingsins 2003 var hins vegar umtalsvert betra eða á bilinu 20-25% fyrir búkrækling og viðmiðunarkrækling. Holdarfar fjörukræklings var einnig hærri 2003 eða um 10 % en er um 8 % 2008.



Mynd 23 Holdarfarsstuðull kræklingssýna (þurrþyngd mjúkvöðva sem hlutfall af heildarþurrþyngd).

Meginefnaþættir eru uppgæfnir í töflu í viðauka III. Meginefnaþættir eru mældir sem stoðþættir við mat á niðurstöðum snefilefnaþættir.

4.1.3 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).

Vöxtur kræklings í búrum var talsverður á öllum stöðvunum og virðist kræklingur almennt hafa þrífist vel, síður en í rannsókninni 2003 en betur en í rannsókninni 1997. Í rannsókninni 2003 hafði kræklingur næst ströndu við álverið að meðaltali litlu en marktækt síðra holdarfar en kræklingurinn á ytri búrunum en það á ekki við 2008.

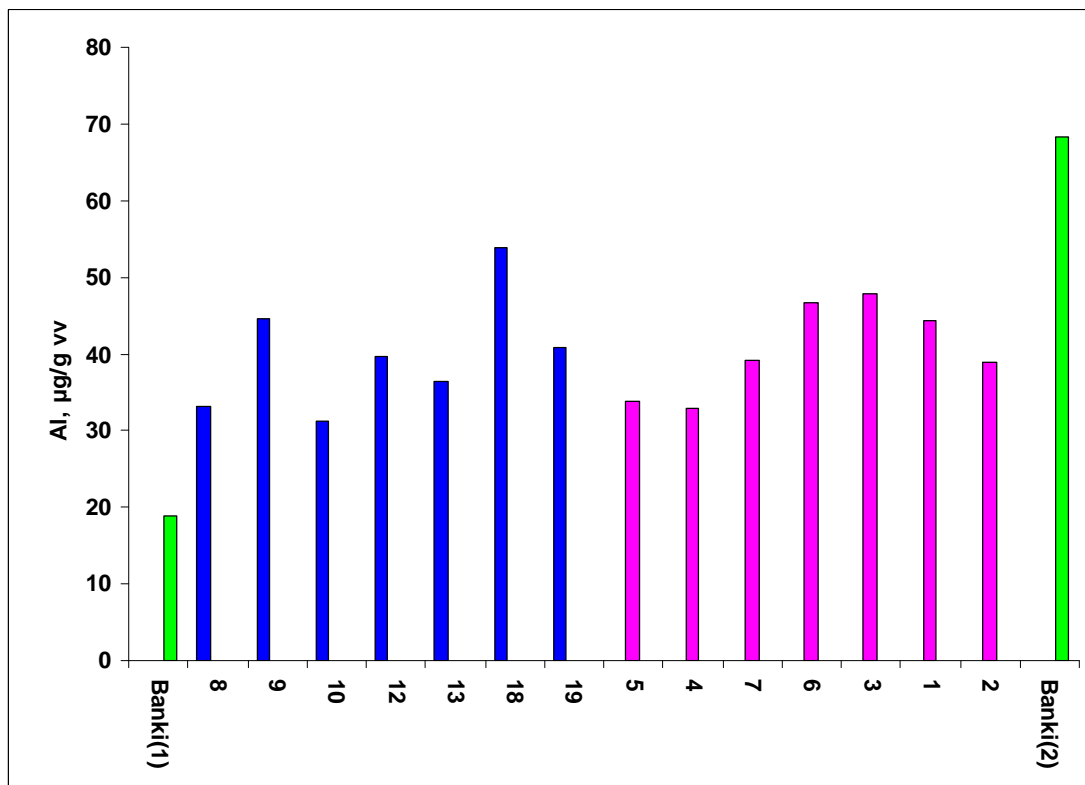
Við úrvinnslu gagnanna úr rannsókninni 2003 var sleginn sá varnagli að ekki væri unnt að draga þá ályktun að sýnin framan við verksmiðju væru undir áhrifum verksmiðjurekstrarins er varðar vaxtarmöguleika (1a) og sannreynir þessi rannsókn að kræklingurinn næst ströndu býr við svipuð skilyrði að þessu 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

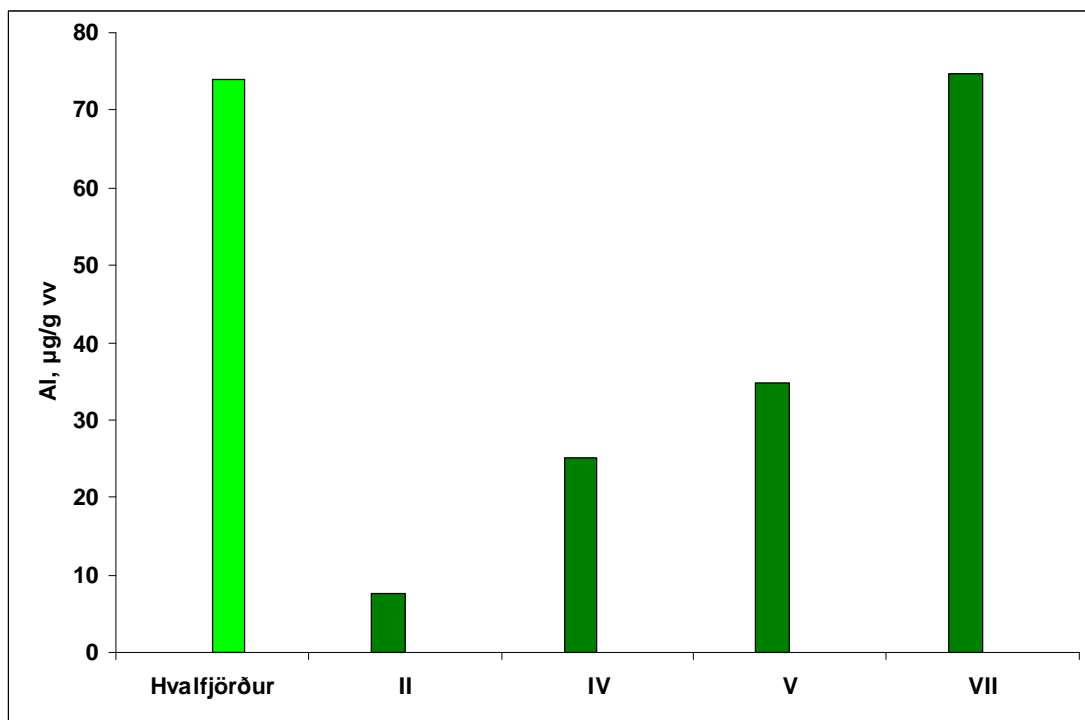
Ál hefur ekki áður verið mælt í kræklingi við álverið í Straumsvík. Mynd 24 sýnir styrk áls í kræklingi í búrunum á votvigtargrunni. Ekki er marktækur munur á kræklingi nær verksmiðjusvæðinu (1-7) og kræklingi fjær (8-19) (t-próf; $p=0,88$). Styrkur áls í kræklingi vex marktækt meðan á eldi stóð við álverið (t-próf; $p=0,03$) eða tvöfaldast en ál vex einnig í kræklingi í bankanum sjálfum. Hækkun álstyrks í búrkræklingi er því ekki vegna áhrifa frá álverinu. Ekki eru til umhverfismörk fyrir ál í kræklingi né hámarksgildi fyrir ál í kræklingi eða öðrum matvælum. Lítið er til af upplýsingum um ál í kræklingi í vísindaritum, sérstaklega ekki af baujum. Agnir af botni geta innihaldið talsvert af áli, gjarnan bundið steindum, og því getur mikill munur verið á kræklingi af ströndu og af baujum, sérstaklega ef kræklingur er ekki látinn tæma sig í hreinum sjó fyrir mælingar. Fyrir utan hugsanlega mengun frá álverinu getur því ál verið bendiefni á áhrif af seti eins og um verður fjallað síðar fyrir t.d. járn, króm, nikkell.



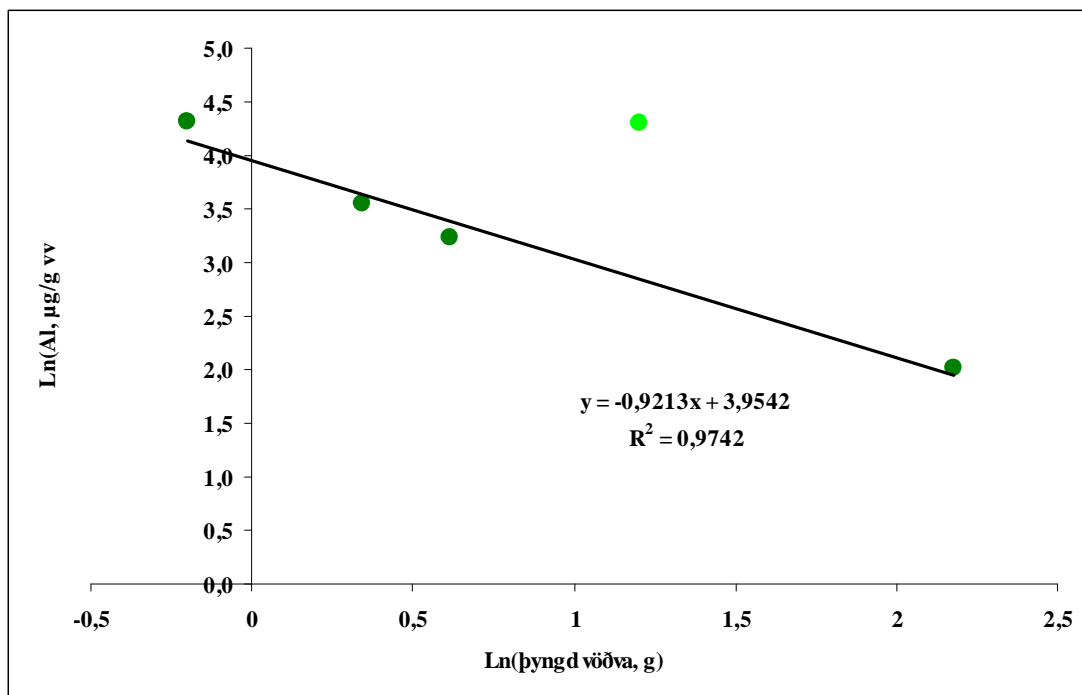
Mynd 24 Styrkur áls í búrkræklingi á votvigtargrunni.

Ein heimild um ál í kræklingi til manneðis í Slóveníu gefur álstyrkinn $330 \pm 5 \mu\text{g/g}$ þurrvigt (eitt safnsýni) (92) en það er sama gildi og meðaltal kræklinga í búrunum við álverið eða $318 \pm 50 \mu\text{g/g}$ þurrvigt fyrir öll 14 sýnin.

Mynd 25 sýnir styrk ál í kræklingi af ströndu og má sjá að hæsti styrkur ál er þar jafn styrknum í banka. Hins vegar er styrkur ál mjög háður stærð kræklinga eins og mynd 26 sýnir, þ.e. styrkur lækkar með þyngd, og má þá sjá að kræklingurinn í Hvalfirði er hærri í álstyrk en kræklingurinn við álverið. Kemur hér ugglaust til að kræklingurinn í Hvalfirði er í nánari snertingu við álrikar agnir en kræklingurinn undan álverinu. Einnig er mjög góð jákvæð fylgni á milli álstyrks á fjörustöðvunum 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. Ekki er víða að finna upplýsingar um ál í kræklingi af ströndu en rannsókn sem fram fór á lítt snortnum svæðum í San Quintin Flóa, Kyrrahafi, þá er styrkur ál breytilegur í kræklingi (*Mytilus californianus*) eftir árstíðum, lægstur í júní en hæstur miðvetrar (93) eða frá 50 í 550 $\mu\text{g/g}$ þurrvigt. Rannsókn á svipuðum slóðum, aðallega í Kaliforníuflóa, sýndi að ál breyttist ekki með stærð kræklinga, ólíkt því sem gerist í þessari rannsókn, og styrkur ál reynist yfirleitt á bilinu 200-400 $\mu\text{g/g}$ þv en í botni Kaliforníuflóa reyndist hann 600-1000 $\mu\text{g/g}$ 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 gaf álstyrk á bilinu 4,2-93,3 $\mu\text{g/g}$ þv ($n=69$) (95). Fjörukuræklingur við álverið reynist með styrk á bilinu 100-680 $\mu\text{g/g}$ þurrvigt, þar sem breytileiki kemur aðallega til af stærð. Í ljósi þessa og styrks í viðmiðun má draga þá ályktun að kræklingur í fjöru er ekki undir áhrifum ál frá verksmiðjurestri.

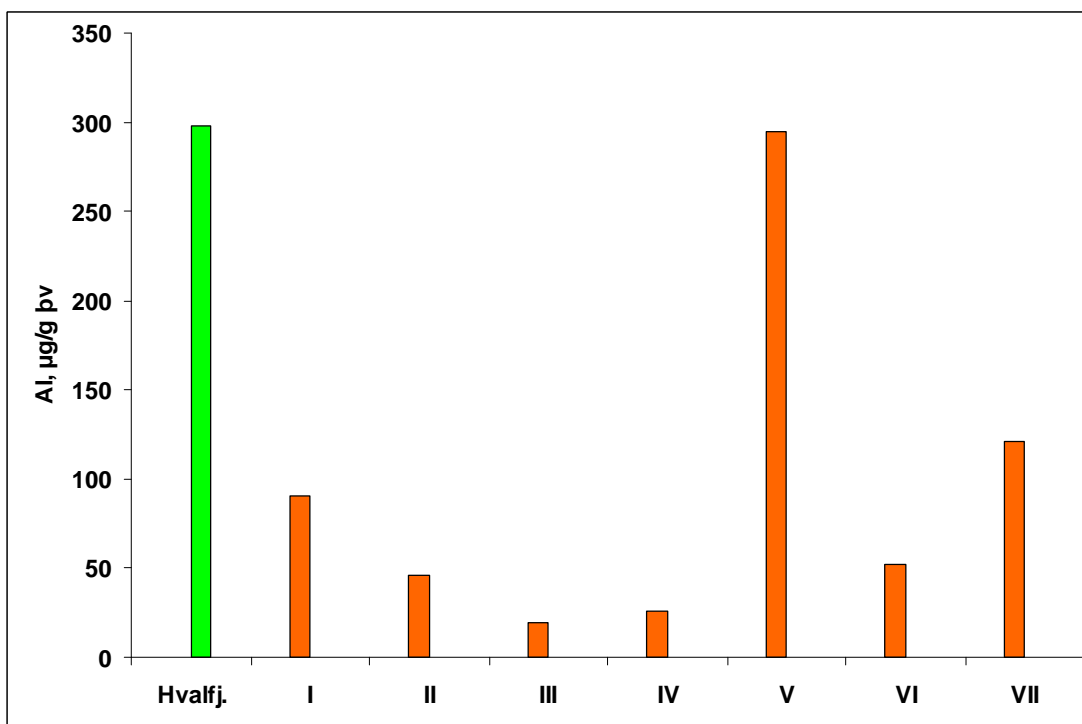


Mynd 25 Styrkur ál í fjörukuræklingi á votvigtargrunni.

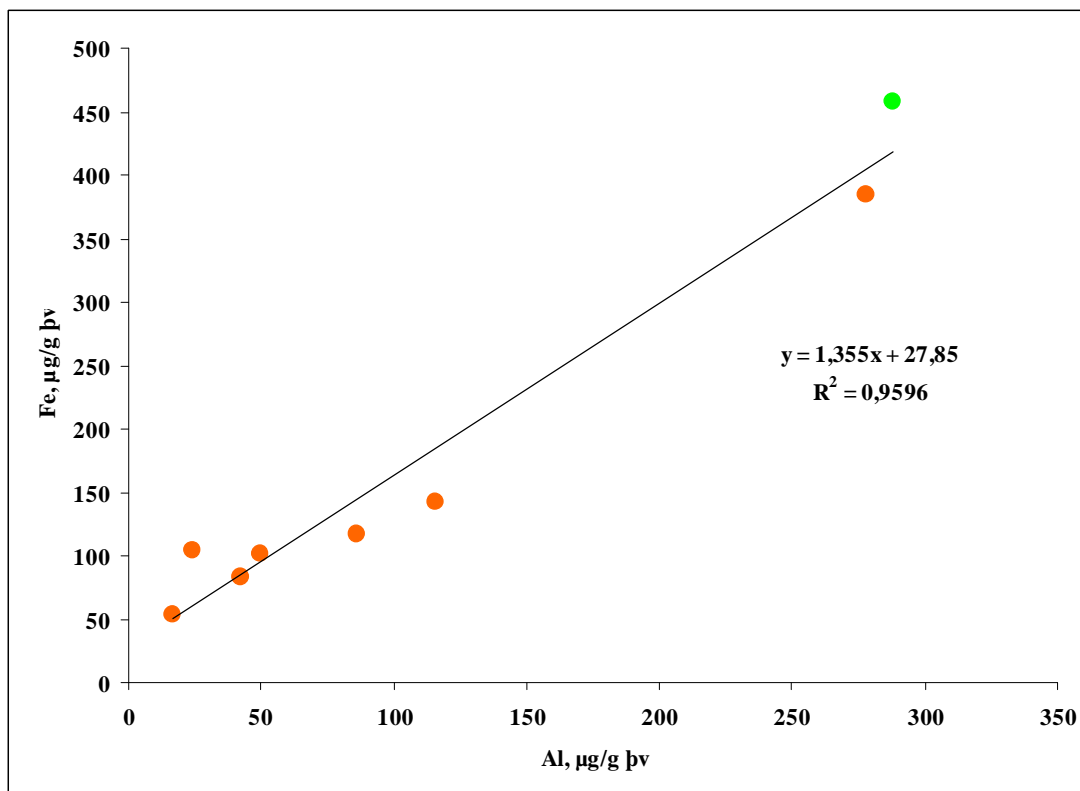


Mynd 26 Samband álstyrks og þyngd mjúkvöðva fjörukraeklings. Ljósgrænn punktur er viðmiðun í Halfirði.

Mynd 27 sýnr styrk áls í skúfþangi þar sem sjá má breytilegan en lágan styrk miðað við viðmiðun að stöð V undanskilinni, sem hefur jafnháan styrk og viðmiðun. Einnig í tilviki þangs er lítið um niðurstöður um ál í þangi almennt og skúfþangi sérstaklega í vísindaritum. Í skyldri tegund, ósapangi (*Fucus ceranoides*), mældist styrkur áls á bilinu 39-278 µg/g þv á ósasvæðum í SV-Englandi (96) eða á sama bili og í þessari rannsókn.



Mynd 27 Styrkur áls í skúfþangi á þurrvigtagrunni.



Mynd 28 Samband styrks áls og járns í skúfþangi..

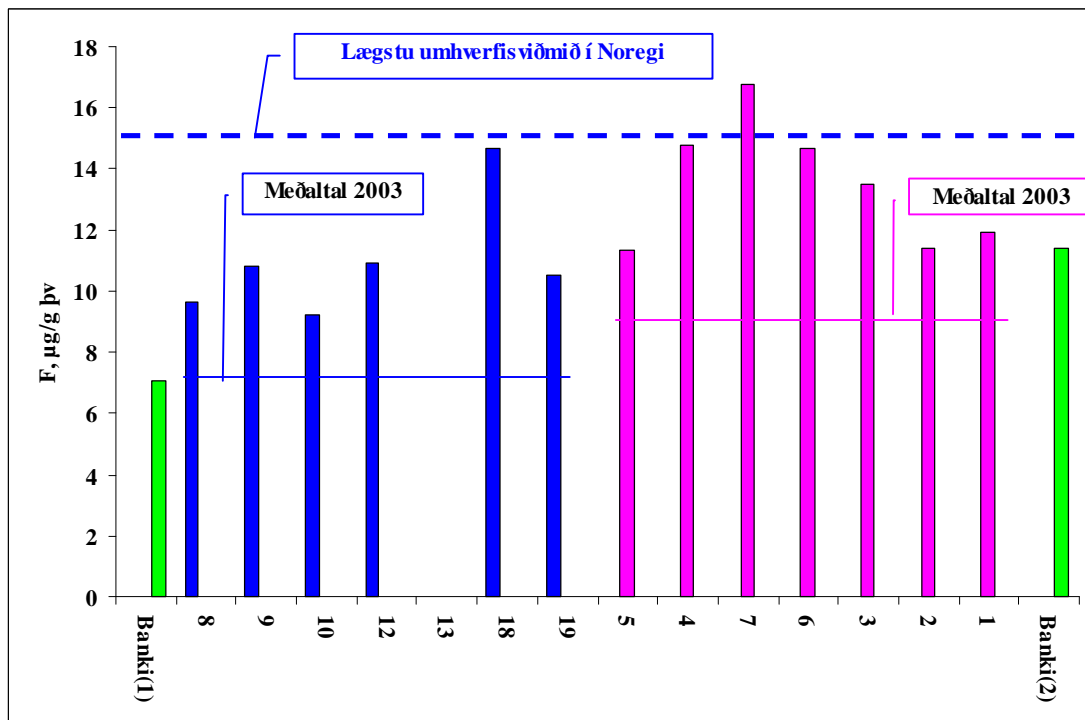
Góð fylgni áls við járn í skúfþanginu, sjá mynd 28, bendir til að hár styrkur í viðmiðun og á stöð V sé kominn til vegna setagna sem ekki hefur náðst að hreinsa viðhlítandi við sýnameðhöndlunina (þvottur með háhreinu vatni). Styrkur áls í þangskýnunum verður því ekki skýrður með losun úr verksmiðjurekstrinum.

5.2 Flúor

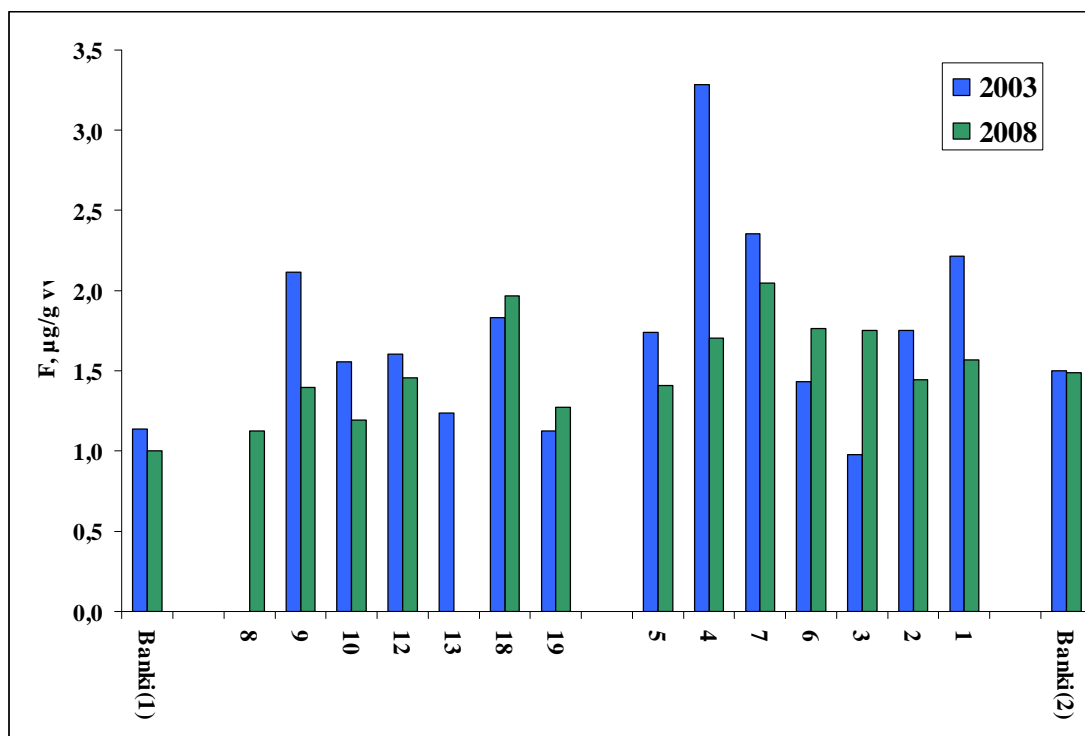
Mynd 29 sýnir niðurstöður mælinga á flúor í búrkræklingi á þurrefnisgrunni (mæling á flúor í kræklingi af stöð 13 misfórst). Í ljós kemur að kræklingurinn næst ströndu (50-150 m; bleikar súlur) er marktækt hærri en kræklingurinn fjær ströndu (100-600 m; bláar súlur) á þurrefnisgrunni (ANOVA; $p=0,046$). Munurinn er lítill og ekki marktækur á votvigtargrunni (ANOVA; $p>0,05$). Mynd 29 sýnir einnig meðaltöl flúorstyrks í rannsókninni 2003. Meðaltölin 2003 eru lægri en gildin fyrir 2008 og kemur hér til að þurrefni kræklinga 2003 var hærri en 2008 og því er hentugra að bera saman ár á grundvelli votvigtar (eða sem hlutfall af banka í lok eða byrjun), sjá mynd 30.

Stöðvar 4, 7 og 6 eru hærri en viðmiðun í lokin 2008 en ekki er um marktækan mun að ræða (ANOVA; $p>0,05$). Stöðvar 6 og 7 sýndu einnig hækkun í flúor 2003, mynd 30, og má því ætla að um raunveruleg áhrif sé að ræða þó lítill séu. Hækkunin á stöð 4 árið 2003 er meiri miðað við banka en 2008, mynd 30. Þessar þrjár stöðvar eru jafnframt áþekkar lægstu umhverfisviðmiðun í Noregi fyrir flúor í kræklingi (49) en styrkur undir þeim er talinn einkennandi fyrir svæði undir litlum eða engum áhrifum.

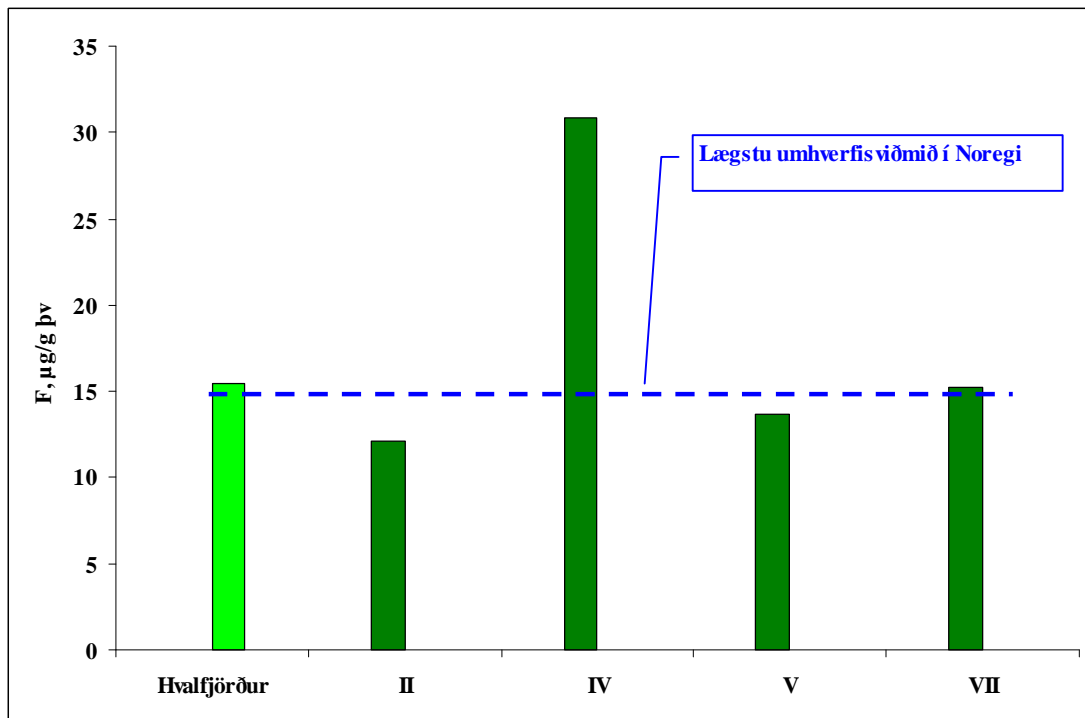
Í rannsókninni 1997 var flúor mældur í skelinni og því er ekki hægt að bera niðurstöður þess árs saman við niðurstöður 2003 og 2008.



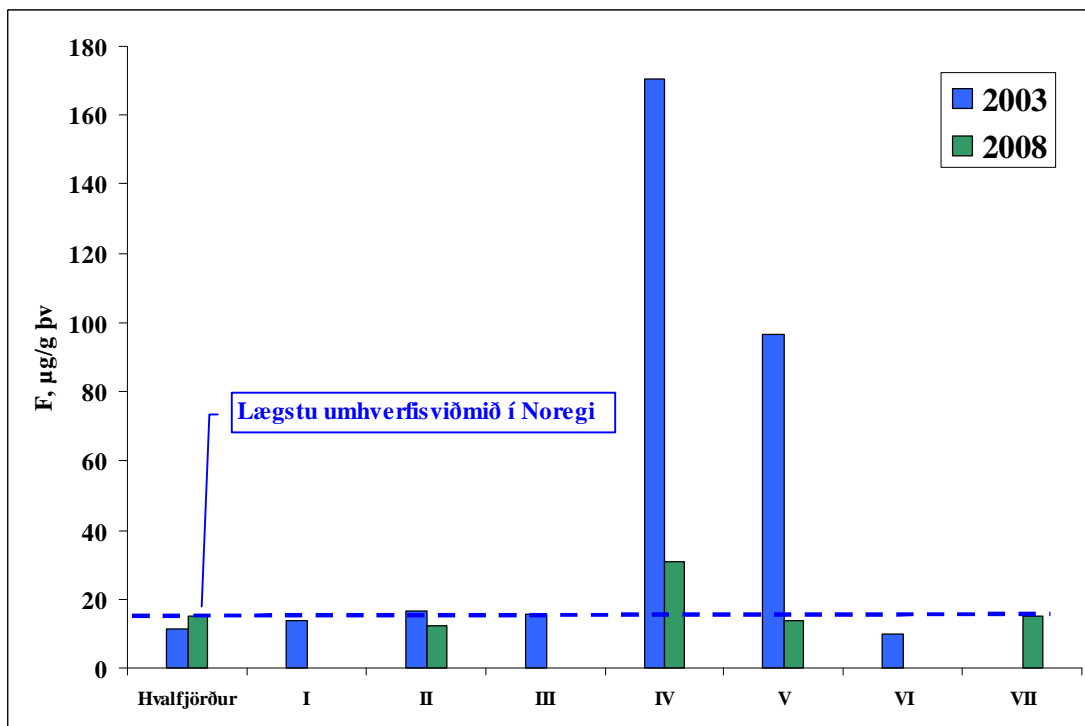
Mynd 29 Styrkur flúors í búrkræklingi á þurrvigtargrunni ásamt meðaltölum frá 2003 og lægstu umhverfisviðmiðun fyrir flúor í kræklingi í Noregi en styrkur undir þeim mörkum eru talin einkenna lítt eða ekki menguð svæði (49).



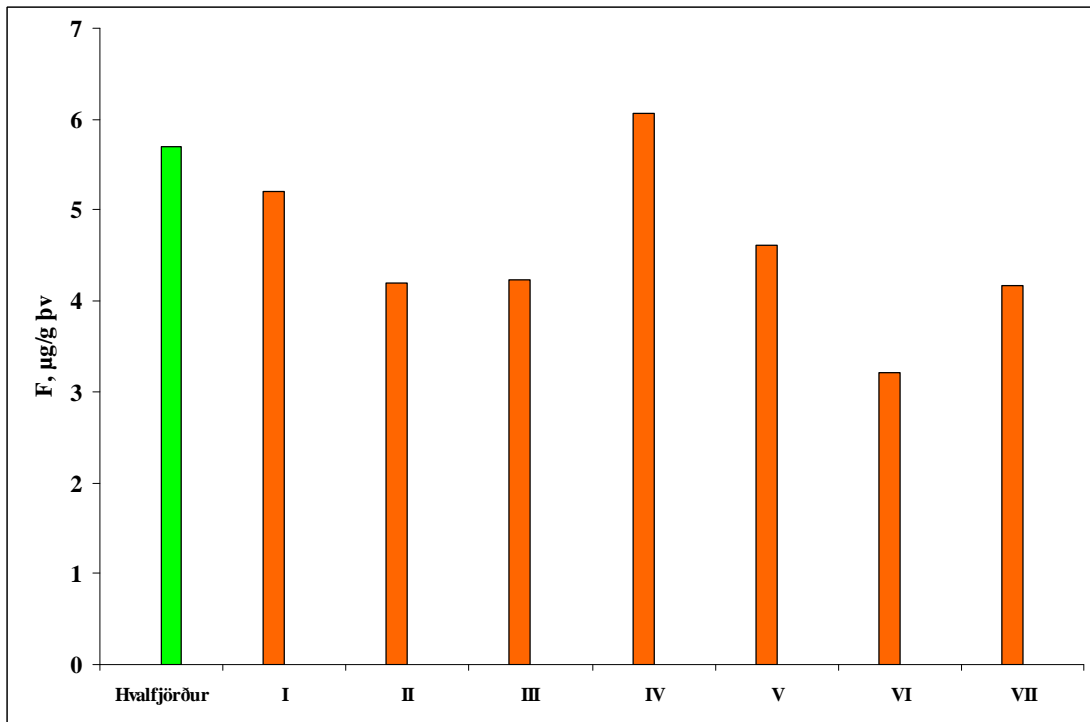
Mynd 30 Styrkur flúors í búrkræklingi á votvigtargrunni 2003 og 2008.



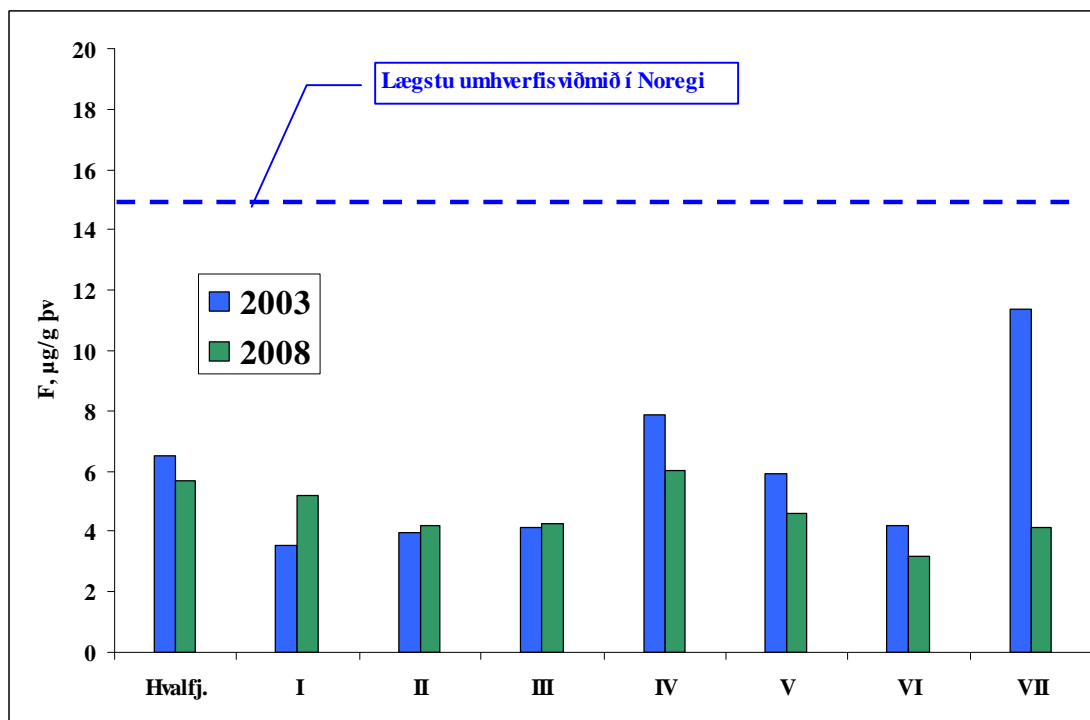
Mynd 31 Styrkur flúors í fjörkræklingi á þurrvigtargrunni ásamt lögstu umhverfisviðmiðun fyrir flúor í kræklingi í Noregi en styrkur undir þeim mörkum eru talin einkenna lítt eða ekki menguð svæði (49).



Mynd 32 Styrkur flúors í fjörkræklingi á þurrvigtargrunni 2003 og 2008 ásamt lögstu umhverfisviðmiðun fyrir flúor í kræklingi í Noregi.



Mynd 33 Styrkur flúors í skúfþangi á þurrvigtagrunni.



Mynd 34 Styrkur flúors í skúfþangi á þurrvigtagrunni 2003 og 2008 ásamt lægsta viðmiðunargildi fyrir flúor í þangi (bólþang og klóþang) í Noregi.

Mynd 31 sýnir styrk flúors í kræklingi af ströndu og má þar sjá að stöð IV, sem er næst stöðvum 4, 7 og 6 næst ströndu, sýnir hækkaðan styrk flúors. Árið 2003 sýndi sama stöð háan styrk flúors svo og stöð Va, sem er nokkru vestar en stöð V í þessari rannsókn. Styrkur flúors á þessum stöðvum var verulega hærri 2003 en 2008 eins og mynd 32 sýnir og árið 2003 flokkaðist svæðið við IV og V sem talsvert mengað

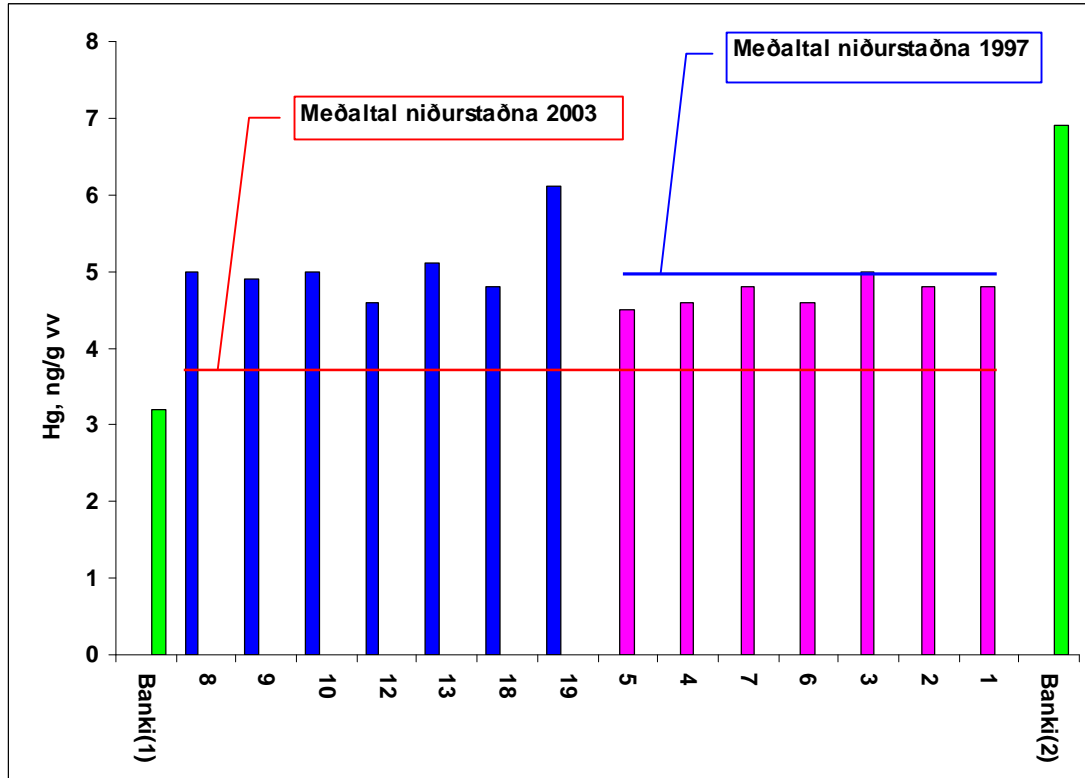
("markert forurenset", þriðji flokkur af 5) skv. norskum umhverfismörkum (49) en 2008 flokkast stöð IV og aðeins sú stöð sem nokkuð mengað svæði ("moderat forurenset").

Að lokum má sjá flúor í skúfþangi á mynd 33 og eins og í tilviki fjörukræklings má merkja örtilta hækkun á stöð IV miðað við aðrar fjörustöðvar við álverið. Þessi hækkun er hins vegar óveruleg því stöðin er ómarktækt frábrugðin viðmiðun í Hvalfirði að teknu tilliti til óvissu í mælingum. Almennt er um sömu flúorgildi að ræða í þangi bæði 2003 og 2008, sjá mynd 34, að stöð VII undanskilinni, sem er marktækt hærri 2003 en 2008.

Samantekið má því segja um flúor að áhrifa gætir á stöð IV á verksmiðjulóðinni og merkja má þessi áhrif út að u.þ.b. 50 m frá landi þó í litlu mæli sé. Áhrifin eru hins vegar tiltölulega lítil og afmörkuð við lítið svæði og eru minni 2008 en 2003, umtalsvert minni í tilviki fjörukræklings.

5.3 Kvikasilfur

Mynd 35 sýnir styrk kvikasilfurs í kræklingi úr búrum á votvigtargrunni ásamt meðaltölum rannsókna 1997 og 2003. Ekki er marktækur munur á styrk kvikasilfurs í kræklingnum næst ströndu (50-150 m; bleikar súlur) og fjær ströndu (100-600 m; bláar súlur) (ANOVA; $p > 0,05$).

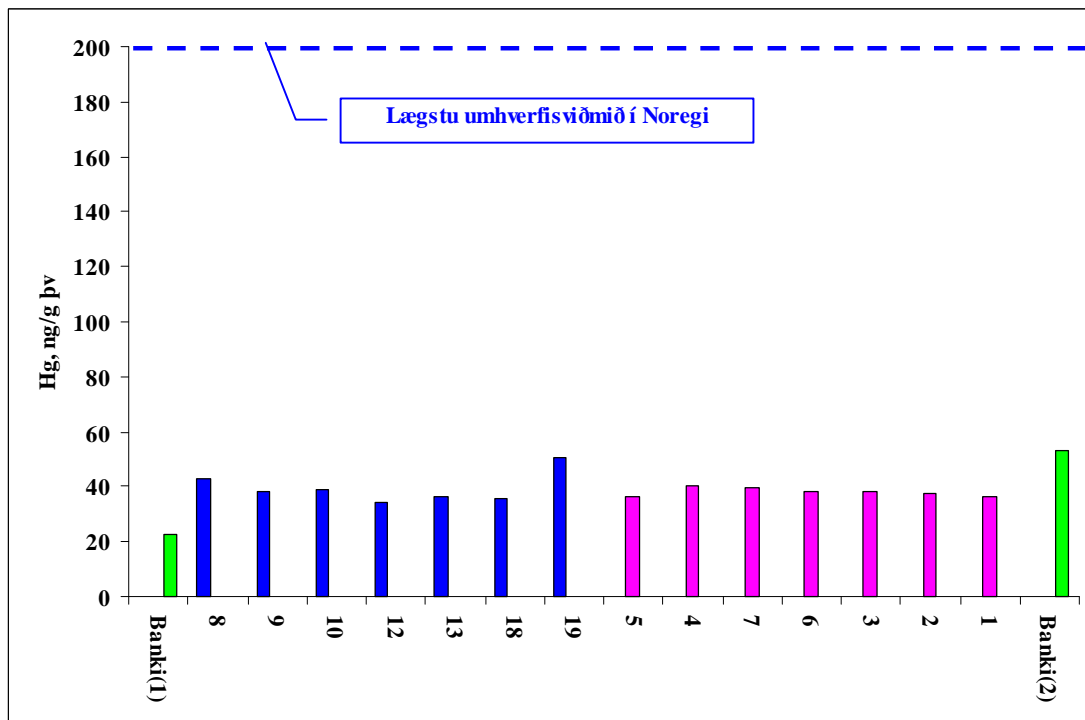


Mynd 35 Styrkur kvikasilfurs í búrkræklingi á votvigtargrunni ásamt meðaltölum frá 1997 og 2003.

Mynd 35 sýnir að kvikasilfur vex meðan á tilraun stöð og er það ástæða fyrir hærri styrk á stöð 19 en kræklingurinn þar var 1,5 mánuði lengur en á öðrum stöðvum. Þetta á einnig við um banka í lokin, sem var um 4 mánuðum lengur í sjó en kræklingur á stöðvunum. Engra áhrifa gætir á styrk kvikasilfurs á stöðvunum.

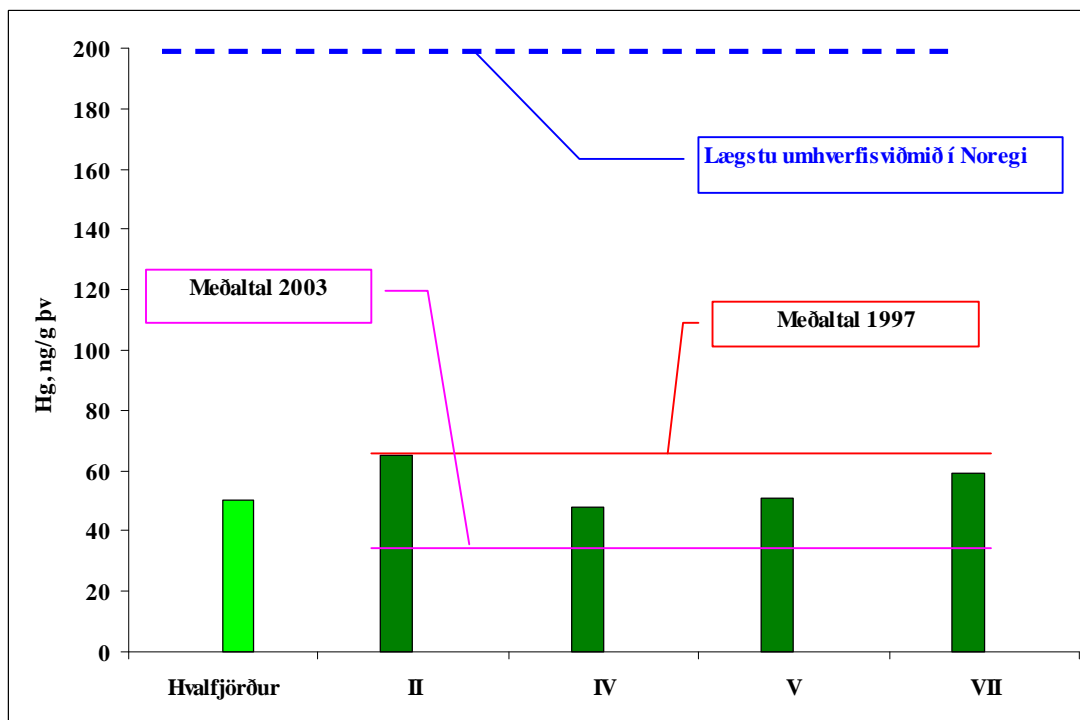
Á mynd 35 má sjá að styrkur kvikasilfurs er nokkuð breytilegur á milli ára og kemur hér til mismunur í umhverfisþáttum frá einu ári til annars en ávallt er um að ræða mjög lágan styrk. Styrkurinn 2008 er marktækt hærri en styrkurinn 2003 (ANOVA; $p < 0,05$) en ekki er hins vegar marktækur munur í kvikasilfurstyrk 1997 og 2008 (ANOVA; $p > 0,05$). Umhverfisþættir hafa áhrif á vaxtarskilyrði kræklinga og þ.a.l. upptöku málna en kræklingurinn 2003 hafði t.d. talsvert herra þurrefni en kræklingurinn 2008 eða um 70 % herra.

Mynd 36 sýnir styrk kvikasilfurs í búrkræklingnum á þurrefnisgrunni 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 ng/g votvigtar (97), sem er 100-falt herra en sá styrkur sem mælist í búrkræklingnum.



Mynd 36 Styrkur kvikasilfurs í búrkræklingi á þurrvigtargrunni ásamt lægsta umhverfisviðmiðunargildi í Noregi.

Mynd 37 sýnir styrk kvikasilfurs í fjörukræklingi á þurrvigtargrunni ásamt meðaltölum úr rannsóknunum 1997 og 2003 og lægstu viðmiðunarmörkum í Noregi. Ekki er marktækur munur á bankasýni og sýnunum fjórum á stöðvunum (ANOVA; $p > 0,05$) og gætir því engra áhrifa á styrk kvikasilfurs í fjörukræklingi. Mynd 37 sýnir einig að breytileki er nokkur á milli ára eins og í tilviki búrkræklinga en sýnin 1997 er ómarktækt frábrugðin sýnunum 2008 (ANOVA; $p > 0,05$) en sýnin 2003 eru marktækt lægri en sýnin frá 1997 og 2008 (ANOVA; $p < 0,05$). Fjörukræklingurinn er 3,5-sinnnum lægri en lægsta umhverfisviðmið í Noregi og níufalt lægri en hámarksgildi á fiskmeti til manneldis.



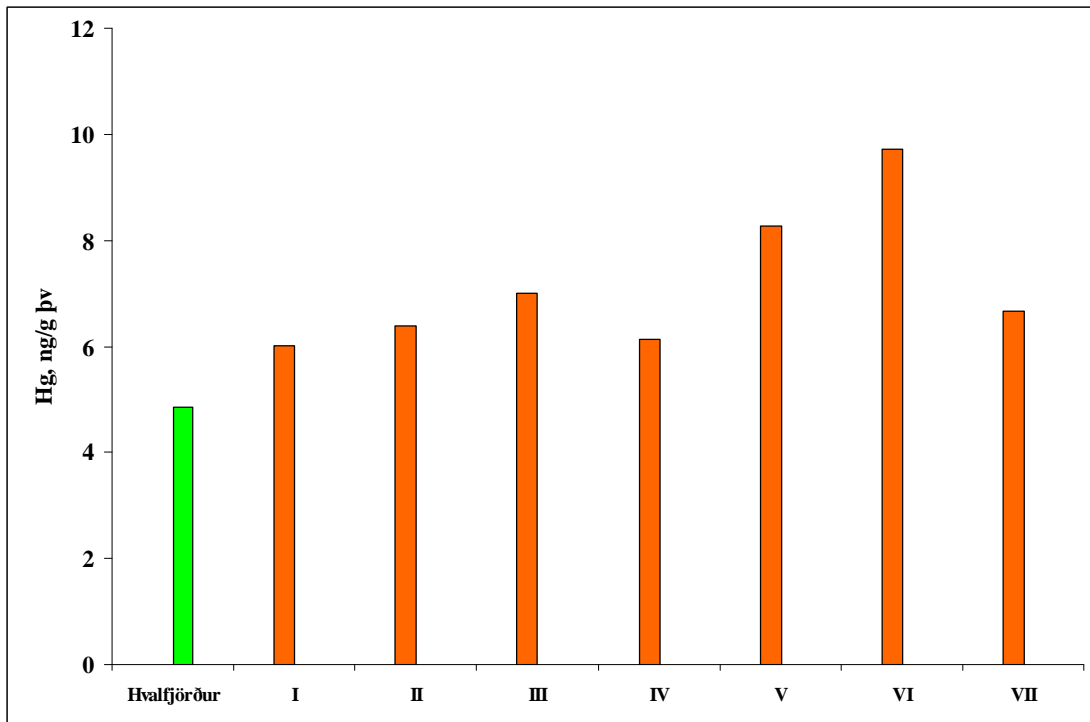
Mynd 37 Styrkur kvikasilfurs í fjörukræklingi á þurrvigtargrunni ásamt lægsta umhverfisviðmiðunargildi í Noregi og meðaltölum fyrir fjörukrækling 1997 og 2003.

Mynd 38 sýnir kvikasilfur í skúfþangi og virðist mega greina hækkun á stöðvum V og VI en ekki er um marktækan mun að ræða þegar tekið er tillit til óvissu eða ef þessi tvö sýni eru borin saman við banka. Mynd 39 sýnir skúfþangssýnin með lægstu umhverfisviðmiðun í Noregi.

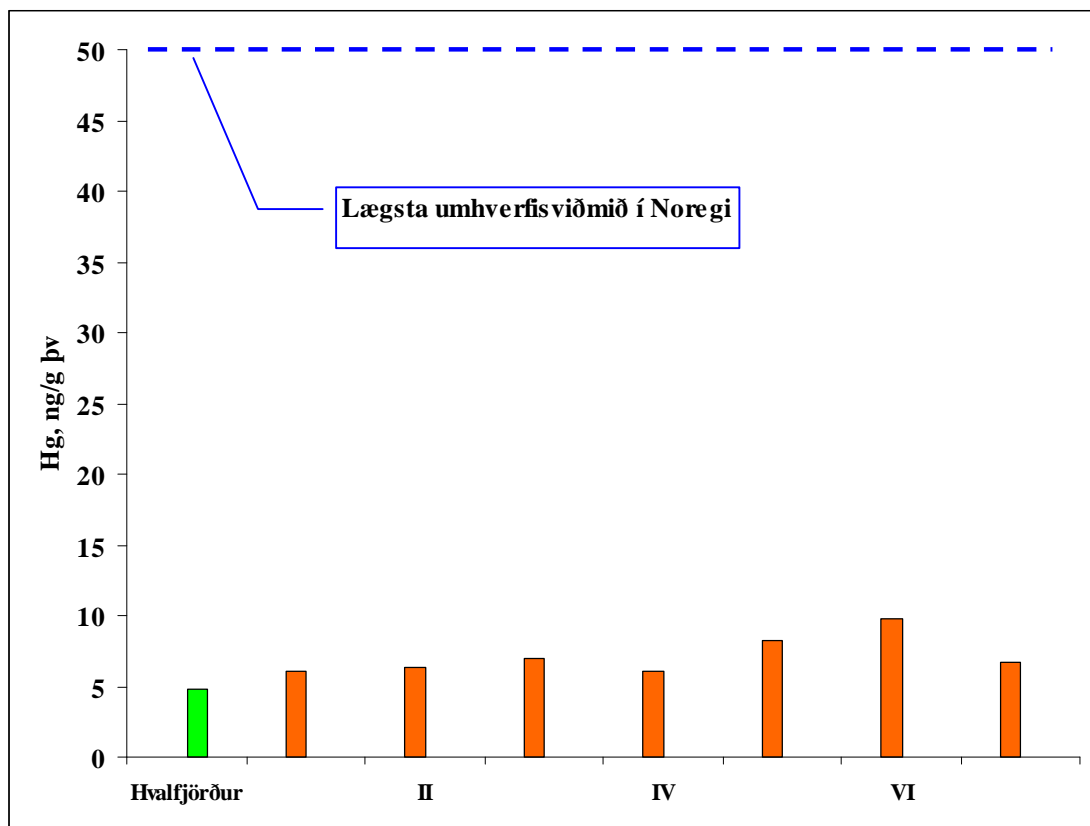
Árið 1997 mældist styrkur kvikasilfurs ávallt undir greiningarmörkum eða 20 ng/g þurrvigt en öll sýnin 2008 eru einnig undir þessum mörkum. Árið 2003 mældist hins vegar styrkur kvikasilfurs um tæplega fjórfalt hærri en 2008.

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 styrk snefilefna í lífverum. Þetta kemur 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. Ekki verður útilokað að þetta kunni að vera ástæða breytileika í styrk kvikasilfurs í þangi og kræklingi milli ára.

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 franskar niðurstöður og heiminn allan (66) og byggst hefur upp íslenskur gagnagrunnur fyrir krækling af stórstraumsfjöru (1b, 98). Samantekið má fullyrða að kræklingurinn við Straumsvík er mjög lágur í kvikasilfri samanborið við bæði innlenda og erlenda gagnagrunna.



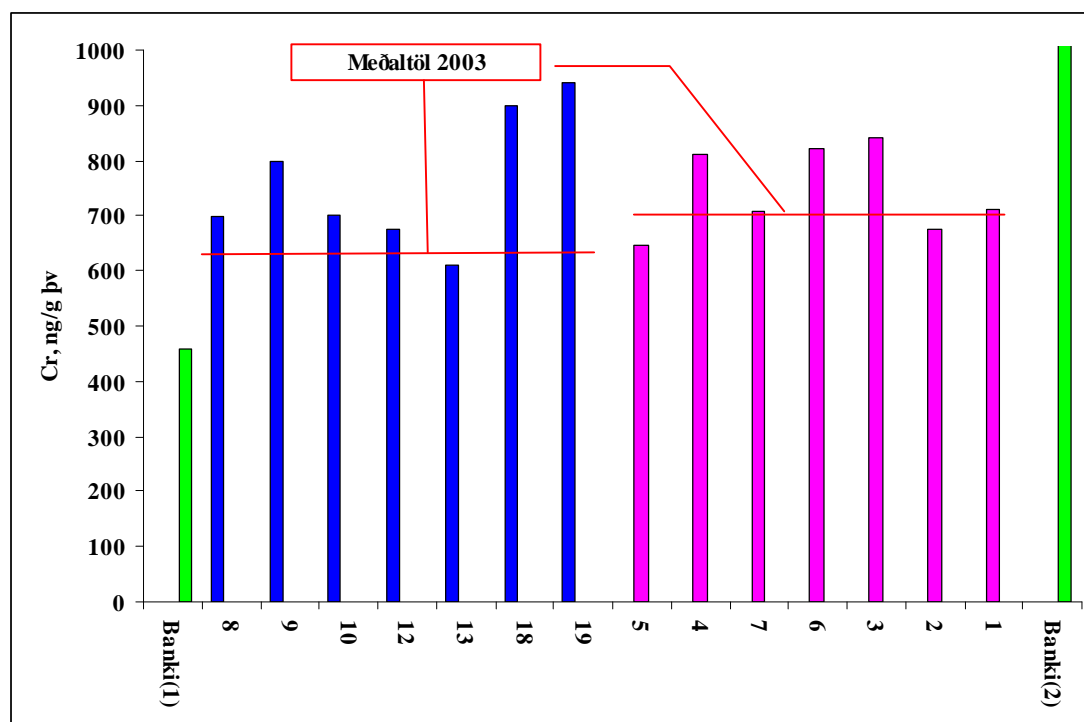
Mynd 38 Kvikasilfur skúfþangi á þurrvigtargrunni.



Mynd 39 Kvikasilfur skúfþangi á þurrvigtargrunni ásamt lögstu umhverfismörkum Norðmanna fyrir þang (bólþang og klóþang), en styrkur undir þeim mörkum lýsa lítt eða ekki menguðum svæðum (49).

5.4 Króm

Mynd 40 sýnir styrk króms í fjörukræklingi á þurrvigtagrunni ásamt meðaltalsgildum fyrir 2003. Ekki er marktækur munur á milli kræklingans nær (bleikar súlur) og kræklingans fjær ströndu (bláar súlur) (ANOVA; $p > 0,05$). Ekki er marktækur munur á styrk króms á þurrvigtagrunni í kræklingi 2003 og 2008 á stöðvunum, hvorki fjær ströndu né nær ströndu (parað t-próf; $p > 0,05$).



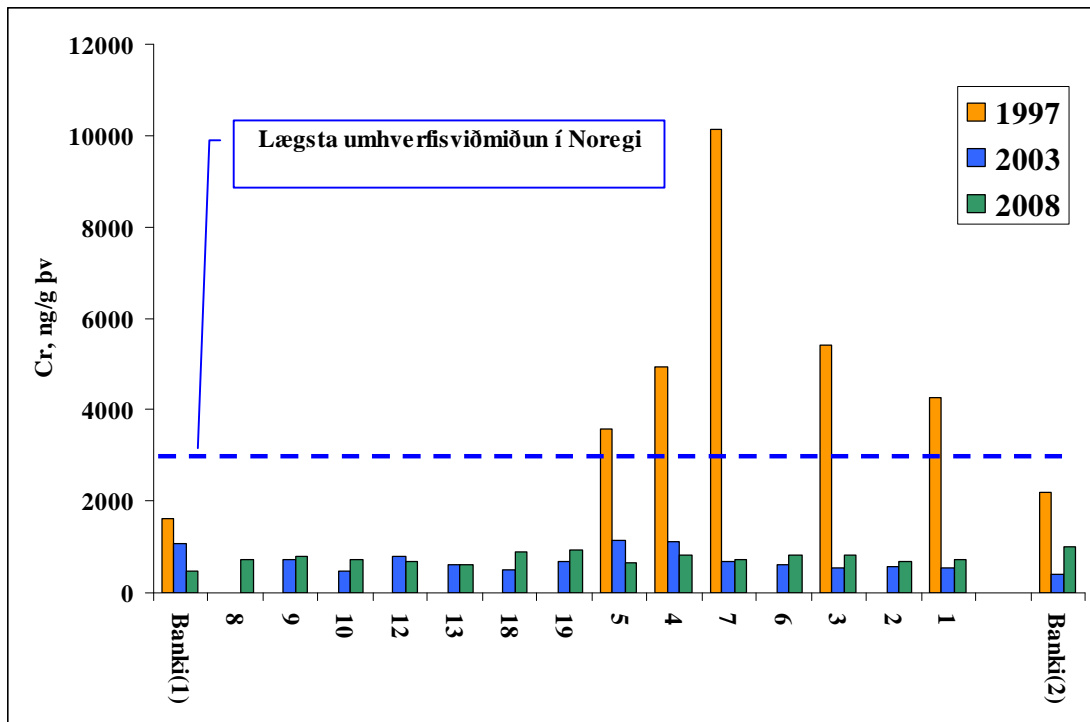
Mynd 40 Króm í búrkræklingi á þurrvigtagrunni ásamt meðaltalsgildum sömu stöðva 2003.

Mynd 41 sýnir hins vegar að styrkurinn 1997 var umtalsvert hærri en 2003 og 2008 en sjá má af bankasýnum að um raunverulega lækkun er að ræða eftir 1997.

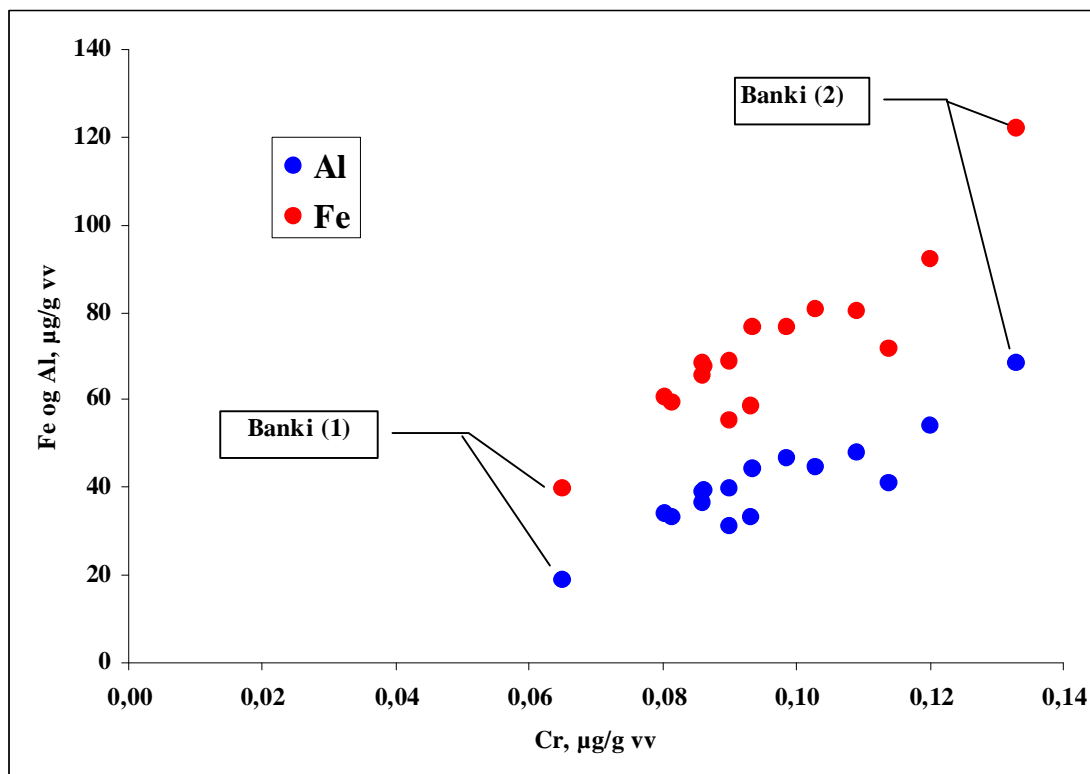
Mynd 42 sýnir að gott samband er á milli króms annars vegar og áls og járns hins vegar í búrkræklingnum en það bendir til þess að helsta uppspretta króms séu setagnir, en þær eru ríkar af járn og áli auk króms.

Mynd 43 sýnir króm í fjörukræklingi og má sjá að norðaustasta stöðin, stöð VII, hefur hæstan styrk og er því ólíklega um áhrif frá verksmiðjurekstrinum að ræða. Samband áls og króms í fjörukræklingi sýnir góða fylgni eins og fyrir búrkrækling (önnur hallatala) á mynd 42, sem bendir til að óhreinindi vegna setagna skýri herra gildi króms á stöð VII. Þetta sést einnig á jákvæðri fylgni króms og öskuhlutfalls í fjörukræklingi en kræklingurinn af stöð VII hefur hæst öskuhlutfall.

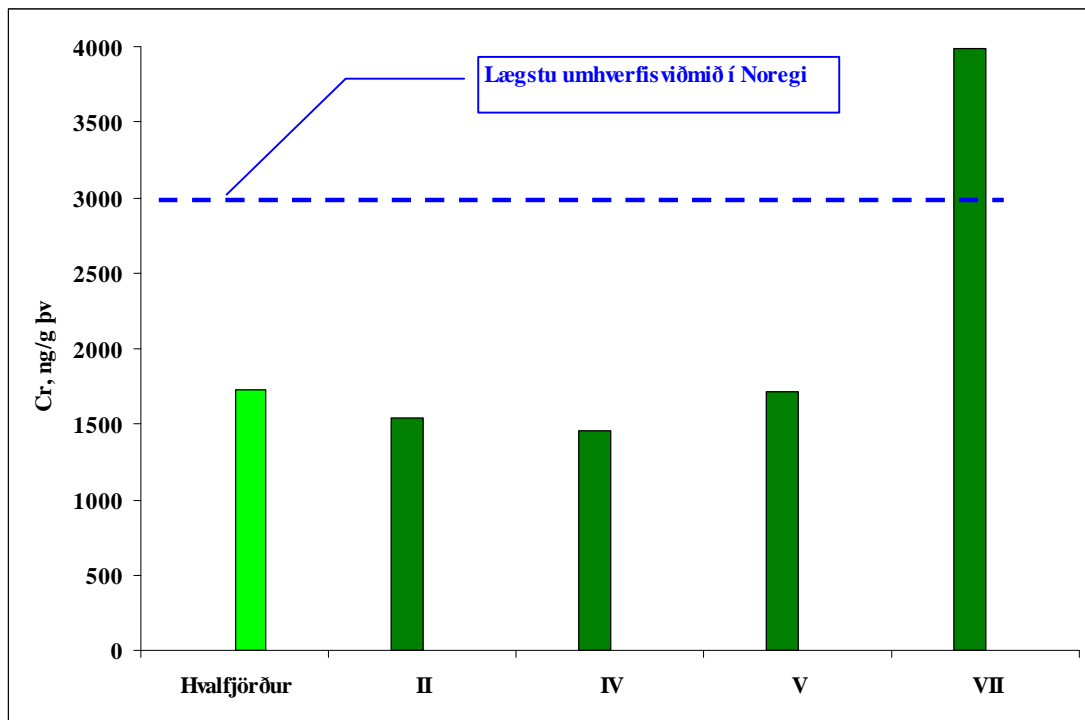
Mynd 44 sýnir að áhrifa af krómi gætti á lóðinni 1997 og 2003 en þessara áhrifa gætir ekki 2008. 2003 mátti sjá nokkra hækkun króms út á stöðvar 5 og 4 (u.þ.b. 50 m frá landi) en 1997 voru þessi áhrif mun meiri, mynd 41.



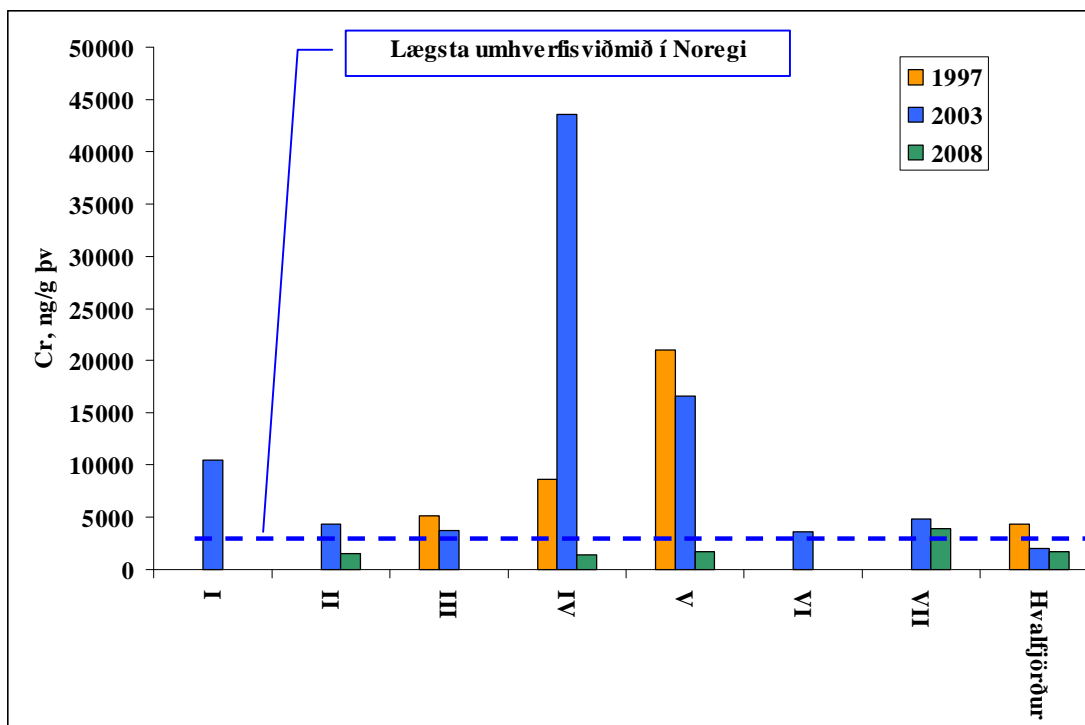
Mynd 41 Króm í búrkraeklingi á þurrvigtargrunni 1997, 2003 og 2008 ásamt lægstu umhverfismörkum Norðmanna, en styrkur undir þeim mörkum lýsa lítt eða ekki menguðum svæðum (49).



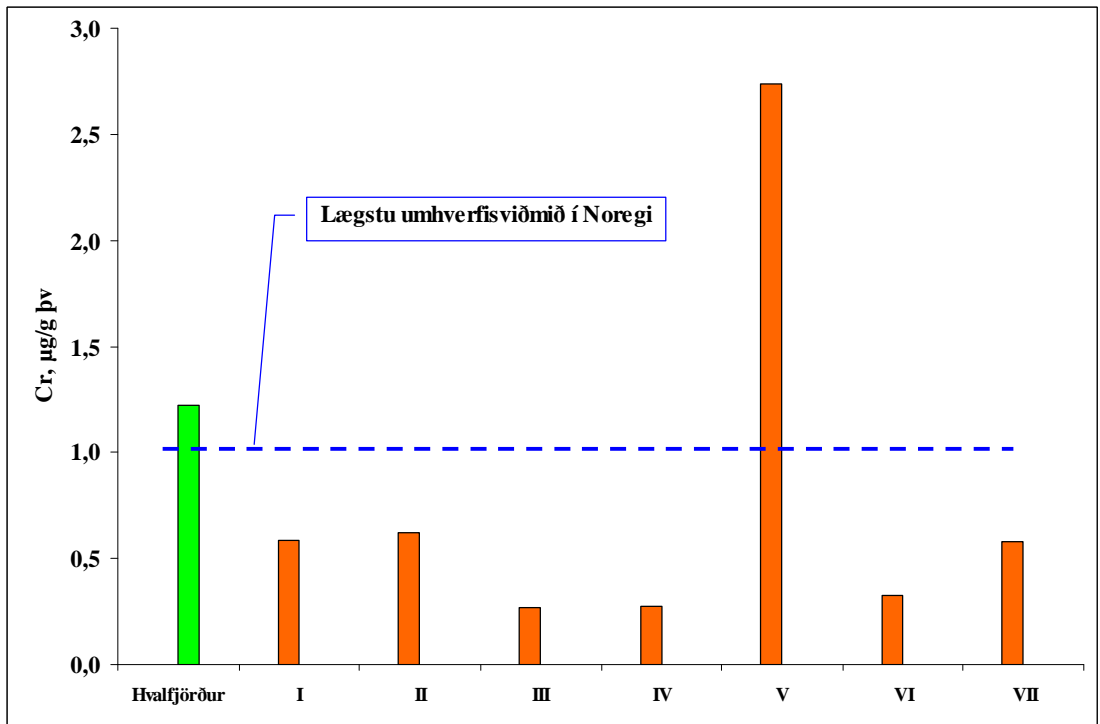
Mynd 42 Fylgni króms við ál og járn í búrkraeklingi (gildi á votvigtargrunni).



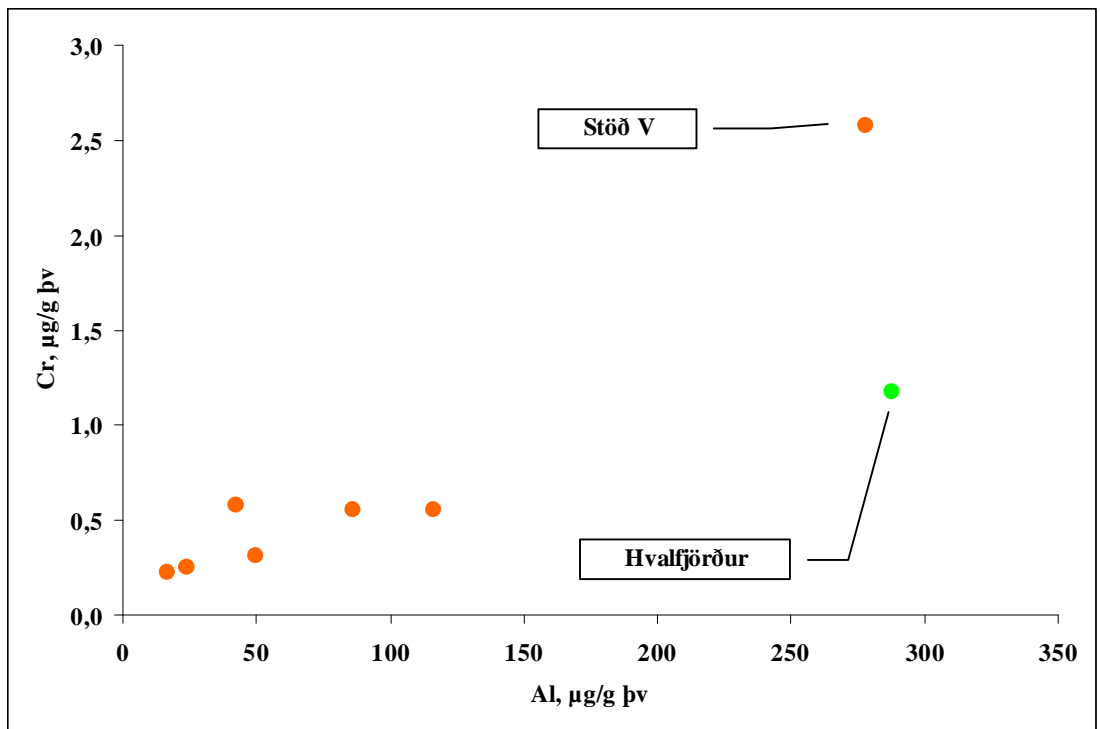
Mynd 43 Króm í fjörukræklingi á þurrvigtargrunni ásamt lægstu umhverfismörkum Norðmanna, en styrkur undir þeim mörkum lýsa lítt eða ekki menguðum svæðum (49).



Mynd 44 Króm í fjörukræklingi á þurrvigtargrunni 1997, 2003 og 2008 ásamt lægstu umhverfismörkum Norðmanna, en styrkur undir þeim mörkum lýsa lítt eða ekki menguðum svæðum (49).



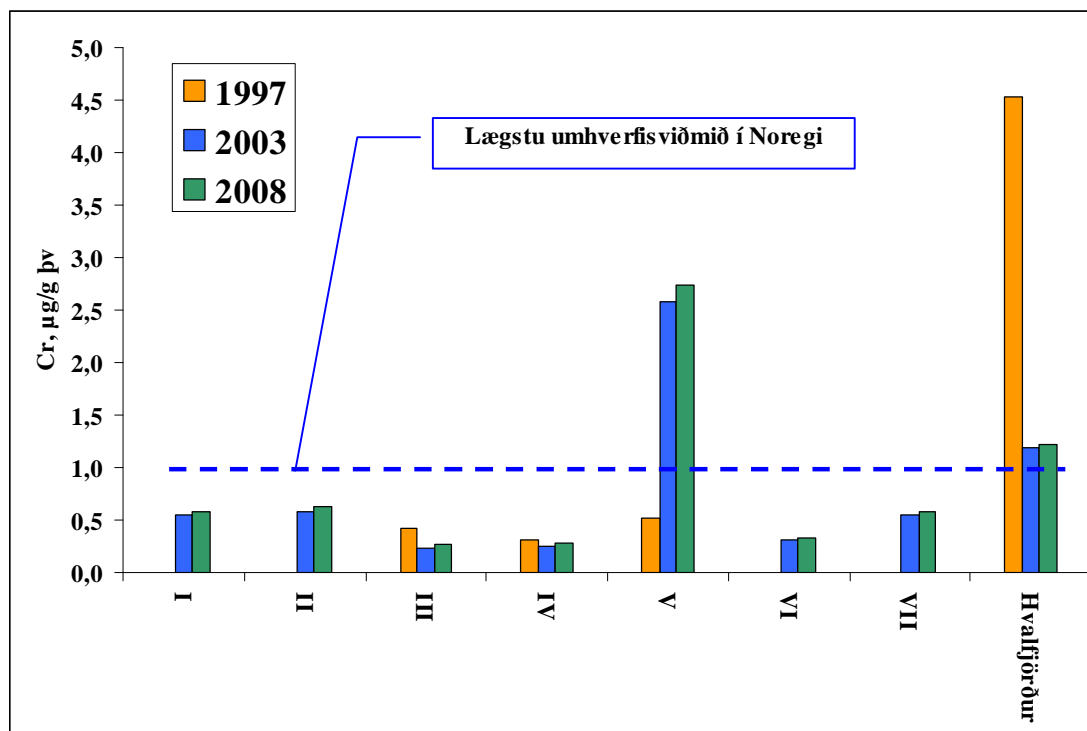
Mynd 45 Króm í skúfþangi á þurvigtargrunni ásamt lægstu umhverfismörkum Norðmanna fyrir þang (bólþang og klóþang), en styrkur undir þeim mörkum lýsa lítt eða ekki menguðum svæðum (49).



Mynd 46 Samband króms og áls í skúfþangi 2008.

Mynd 45 sýnir króm í skúfþangi og má sjá að aðeins stöð V sýnir hækkaðan styrk króms umfram banka. Viðmiðunarsýni í Hvalfirði hefur hins vegar tilhneigingu til að vera hár, hærri en öll sýni umfram það á stöð V. Mynd 46 sýnir samband áls og króms í þangsynunum, sem bendir til að hluti þessa háa gildis á stöð V séu vegna óhreininda af setögnum en þessi hugsanlegu óhreinindi skýra þó ekki alla hækkunina. Setagnir virðast hins vegar skýra hátt gildi króms í skúfþangi á Kattarhöfða í Hvalfirði.

Mynd 47 sýnir samanburð þangsyna árána 1997, 2003 og 2008 og gerir grein fyrir því að stöð V hefur áþekkan styrk 2003 og 2008 og því má draga þá ályktun að sú stöð sé enn undir áhrifum þó svo þeirra gæti ekki lengur í kræklingi. Þessi áhrif á stöð V 2008 koma að hluta til a.m.k. vegna setagna eins og áður sagði og kann svo að hafa verið 2003 en ekki liggja fyrir mælingar á áli 2003 sem bendiefni á setagnir.



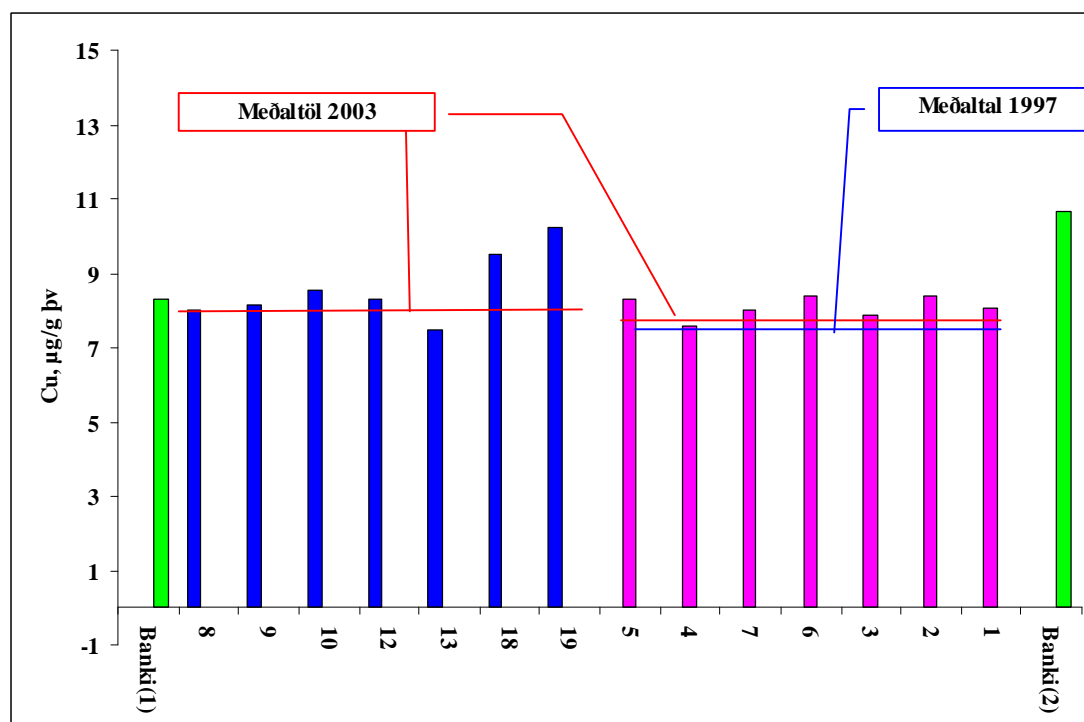
Mynd 47 Króm í skúfþangi á þurrvigtargrunni 1997, 2003 og 2008 ásamt lægstu umhverfismörkum Norðmanna fyrir þang (bólþang og klóþang).

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 úr fjöru við álverið í Straumsvík er innan þess sem vænta má af ómengduðum svæðum á Íslandi. Kann hér að koma til hlutfallslega hár styrkur króms í íslensku seti (99).

Samantekið má því draga þá ályktun að styrkur króms hefur lækkað umtalsvert í búr- og fjörukræklingi frá því vöktun hófst 1997, mest milli 1997 og 2003. Áhrifa sem gætti í búrkræklingi 2003, lítil hækkun á stöðvum 5 og 4, sjást ekki 2008. Áhrif á fjörukrækling, sem sáust 1997 og 2003 á stöðvum IV og V, eru einnig horfin 2008. Enn gætir áhrifa í skúfþangi en 2008 nær það aðeins til stöðvar V við norðausturenda álversins, sami styrkur 2003 og 2008, en a.m.k. 2008 má tengja þessa hækkun við setagnir, sem í íslenskri náttúru eru snefilefnaríkar þ.á.m. í króm.

5.5 Kopar

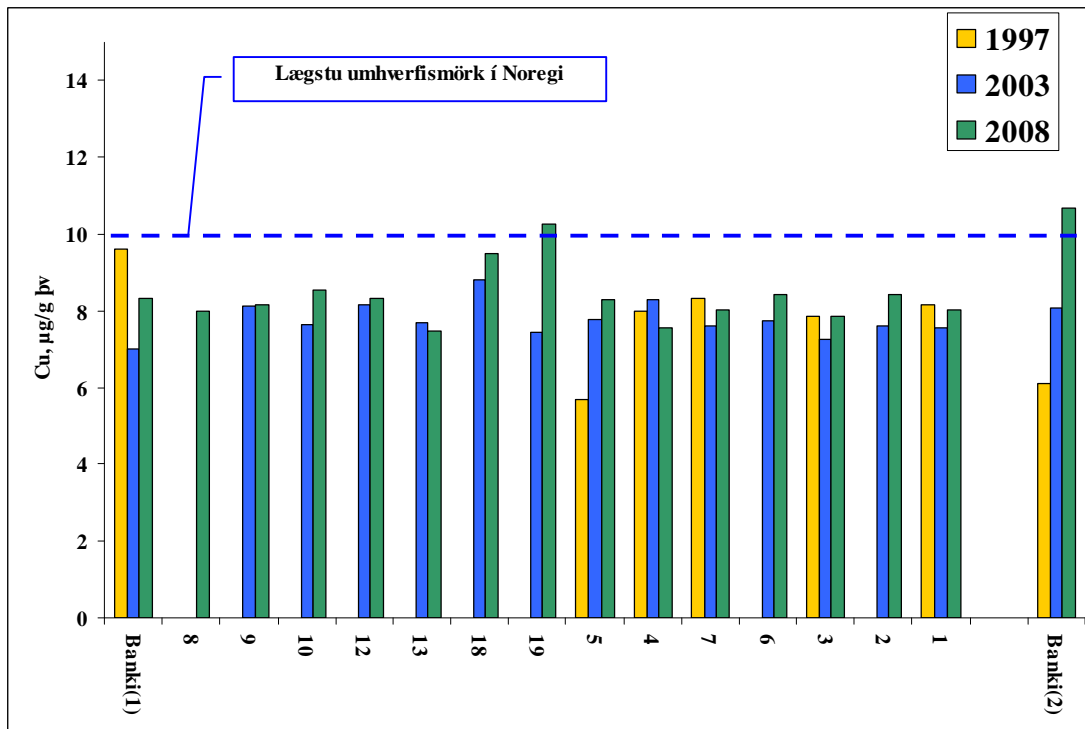
Mynd 48 sýnir styrk kopars í búkræklingssýnum á þurrvigargrunni og má þar sjá að styrkurinn á stöðvunum er áþekkur styrk í banka í upphafi ef frá eru skildar stöðvar 18 og 19 eins og í tilviki króms. Stöðvar 18 og 19 eru marktækt hærri en aðrar stöðvar eins og var í tilviki króms (ANOVA; $p < 0,05$) en þær eru þó ekki frábrugðnar öðrum stöðvum á ytra sniðinu eða öllum öðrum stöðvum þegar tillit er tekið til mælióvissu, sem er 19% í tilviki kopars (95% CI). Ekki er marktækur munur á innri og ytri stöðvunum (ANOVA; $p > 0,05$) og ekki er marktækur munur á styrk samanborið við 1997 og 2003 (þöruð t-próf; $p > 0,05$).



Mynd 48 Kopar í búkræklingi á þurrvigargrunni ásamt meðaltölum rannsókna 1997 og 2003.

Mynd 49 sýnir niðurstöður mælinganna 1997, 2003 og 2008 og má af henni ráða að styrkur kopars tekur litlum breytingum frá einu ári til annars. Mynd 49 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 kræklingins 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. Ýmsar rannsóknir hafa þó sýnt fram á ágæti krækling 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.

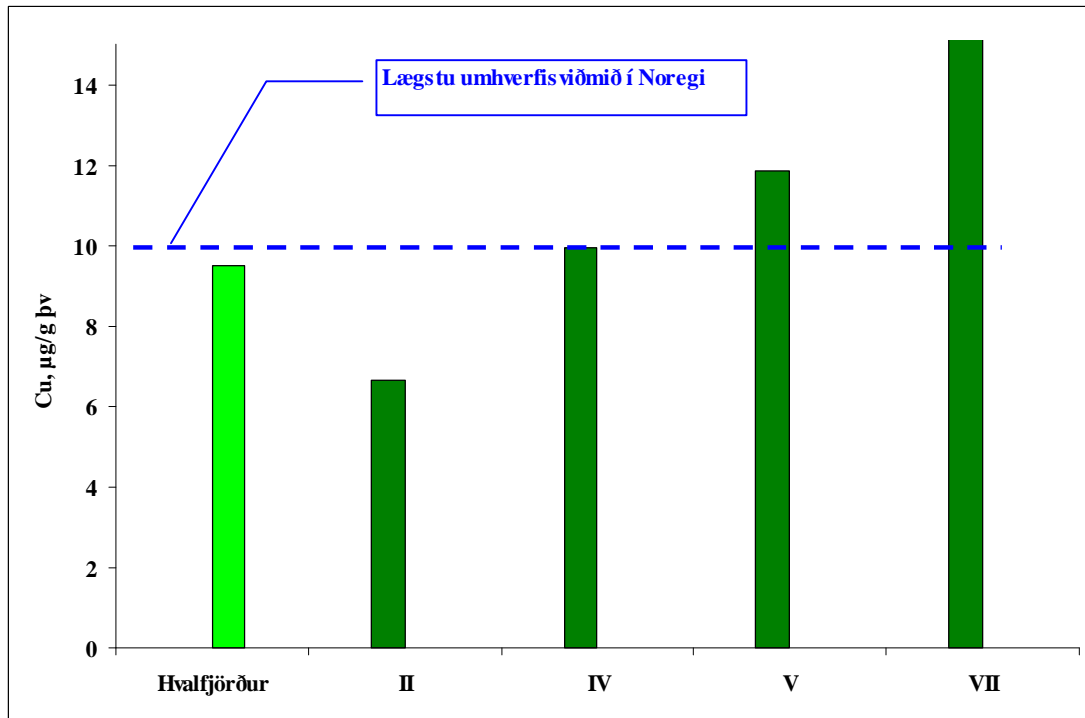
Öll sýnin eru undir eða jöfn lægstu umhverfismörkum í Noregi (49) en ekki hafa verið sett mörk á kopar á matvæli til manndis.



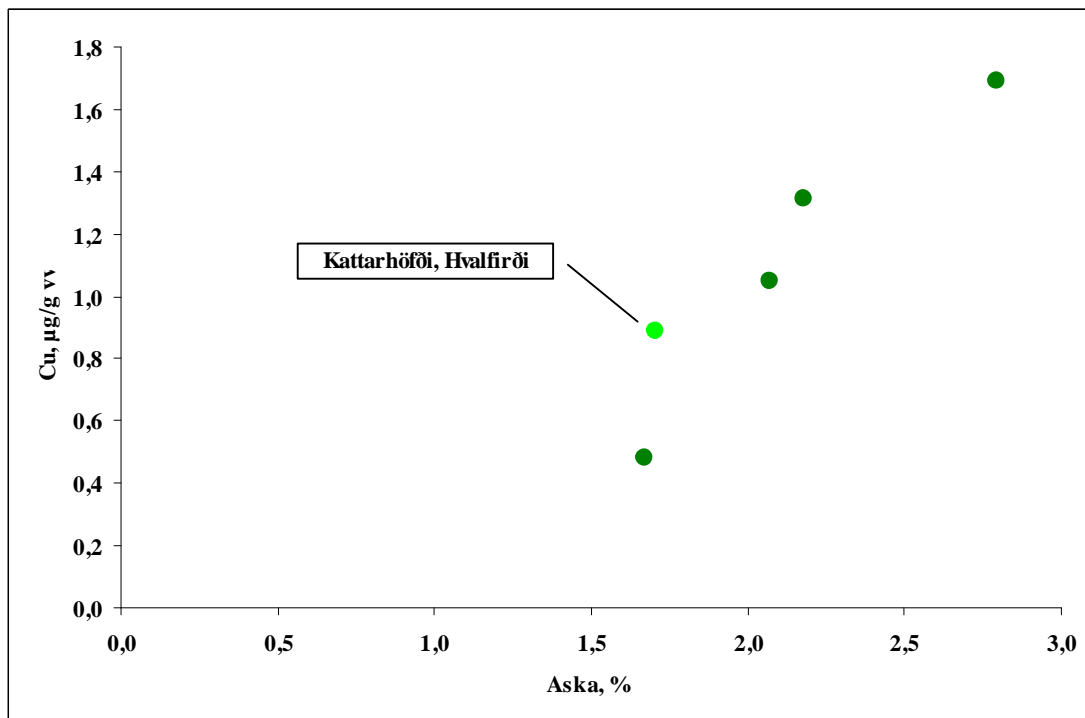
Mynd 49 Kopar í búkræklingi á þurrvigtagrunni 1997, 2003 og 2008 ásamt lægstu umhverfismörkum Norðmanna, en styrkur undir þeim mörkum lýsa lítt eða ekki menguðum svæðum (49).

Mynd 50 sýnir kopar í fjörukræklingi og má þar sjá snarlíka hegðun og sást fyrir ál. Góð fylgni er á milli kopars og áls ef Hvalfjarðarsýnið er undanskilið og einnig er mjög góð fylgni milli kopars og ösku, sjá mynd 51, sem bendir sterklega til að koparinn er 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, sjá samband kopars og holdþunga á mynd 52.

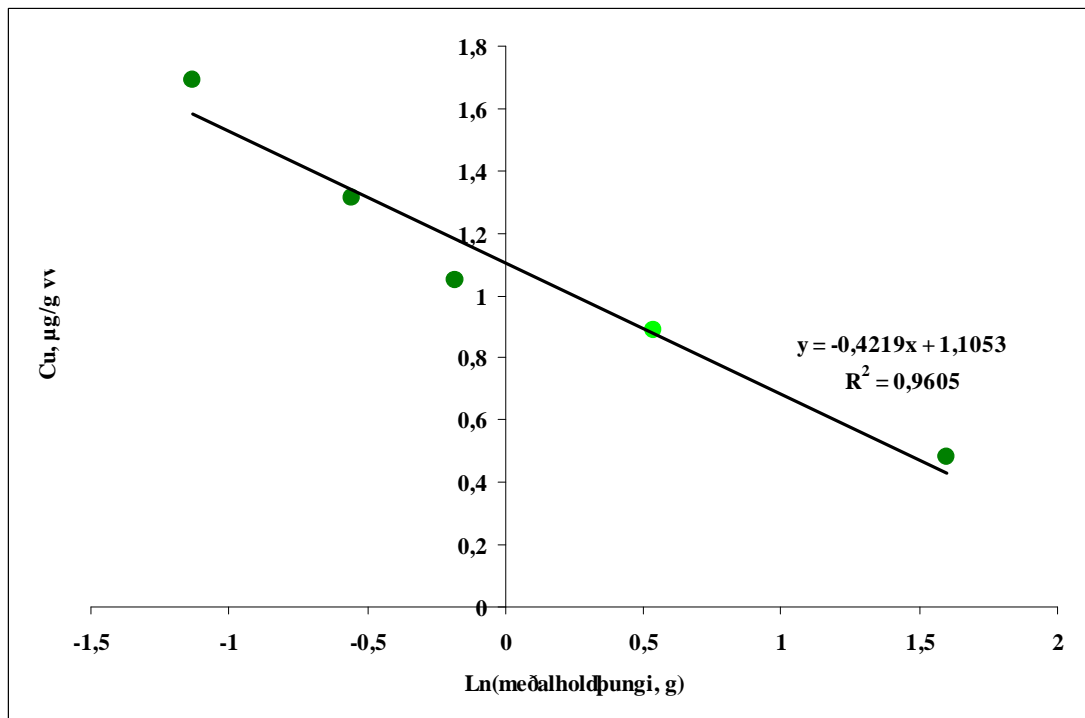
Mynd 53 sýnir niðurstöður fyrir fjörukrækling árána 1997, 2003 og 2007. Kemur þar fram talsvert meiri breytileiki milli ára en í búkræklingnum. Af framansögðu kunna setagnir og breytileiki í stærð kræklinga að hafa hér mikil áhrif á en 1997 var kræklingur látinn hreinsa sig í hreinum sjó fyrir mælingar en ekki 2003 og 2007 og skýrir það líklegast lægri gildi 1997 en seinni árin tvö. 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 2008.



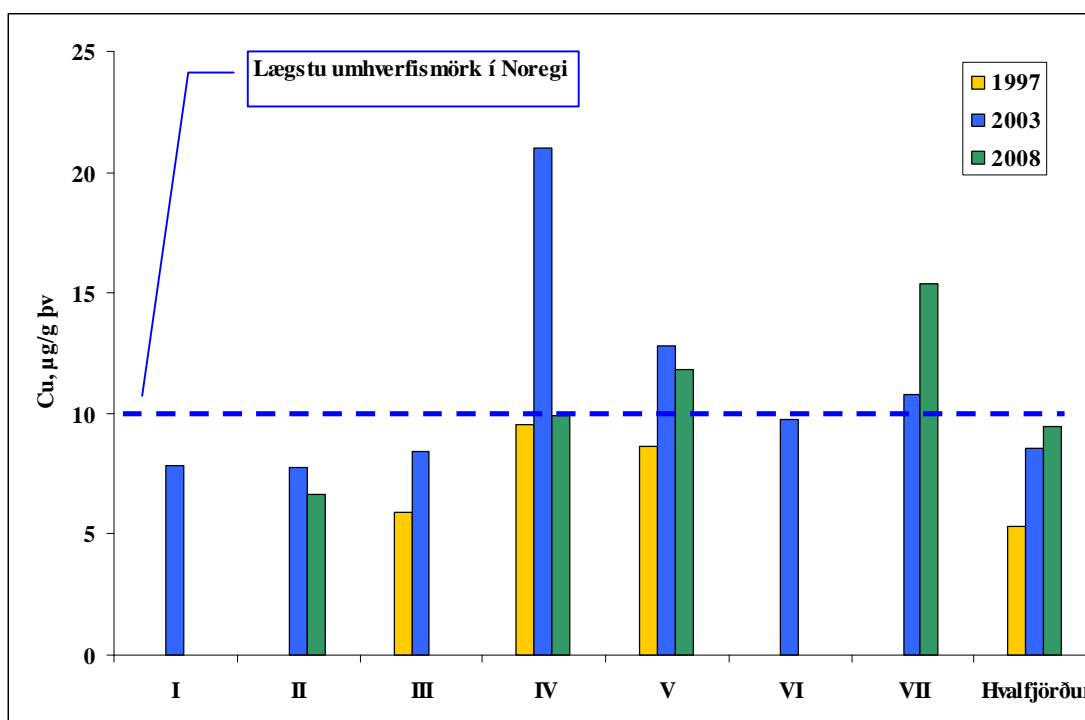
Mynd 50 Kopar í fjörukraeklingi á þurrvigtagrunni ásamt lægstu umhverfismörkum Norðmanna, en styrkur undir þeim mörkum lýsa lítt eða ekki menguðum svæðum (49).



Mynd 51 Samband kopars og ösku í fjörukraeklingi.

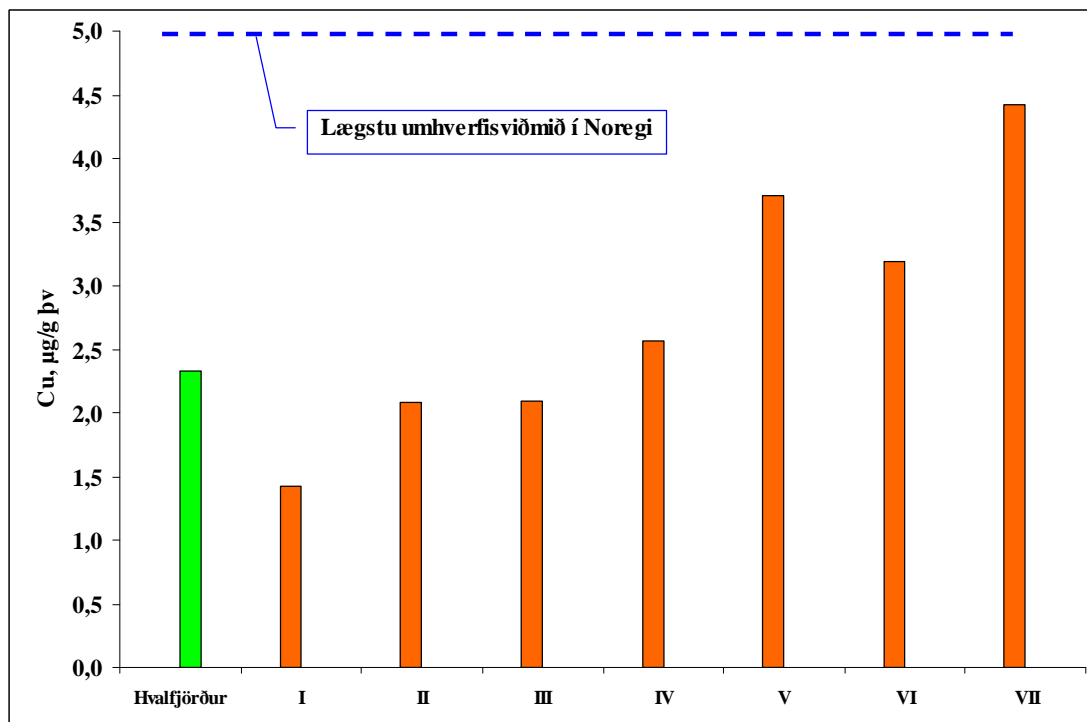


Mynd 52 Samband kopars og meðalholdþunga í fjörukræklingi.

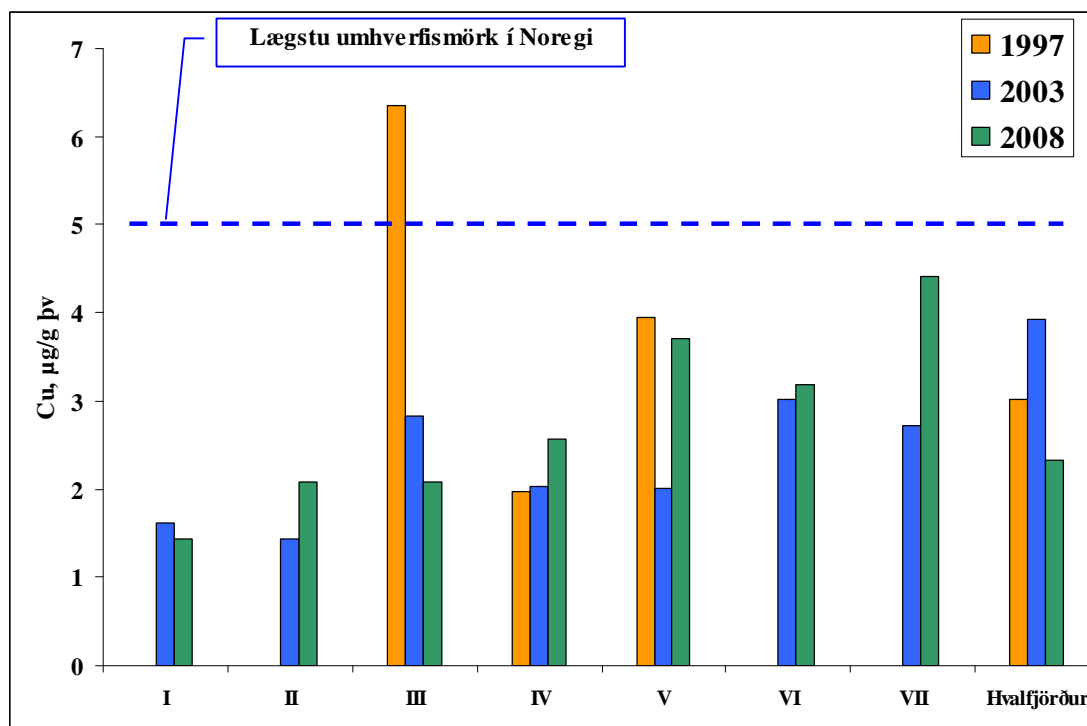


Mynd 53 Kopar í fjörukræklingi á þurrvigtargrunni 1997, 2003 og 2008 ásamt lægstu umhverfismörkum Norðmanna, en styrkur undir þeim mörkum lýsa lítt eða ekki menguðum svæðum (49).

Mynd 54 sýnir kopar í skúfþanginu og má greina aukningu þegar farið er úr vestri til naorðausturs. Áþekka hegðun mátti sjá 2003, sjá mynd 55, og er ekki marktækur munur á milli kopars í skúfþangi fyrir 2003 og 2008 (parað t-próf; $p > 0,05$). Þessi hegðun verður ekki skýrð með viðloðandi og koparríkum setögnum (engin fylgni við t.d. ál og járn).



Mynd 54 Kopar í skúfþangi á þurrvigartargrunni ásamt lægstu umhverfismörkum Norðmanna fyrir þang (bólþang og klóþang), en styrkur undir þeim mörkum lýsa lítt eða ekki menguðum svæðum (49).



Mynd 55 Kopar í skúfþangi á þurrvigartargrunni 1997, 2003 og 2008 ásamt lægstu umhverfismörkum Norðmanna fyrir þang (bólþang og klóþang).

Öll þangskýni 2003 og 2008 eru lægri en lægsta umhverfisviðmiðun í Noregi, sem lýsir lítt eða ómengduðum svæðum. Mynd 55 sýnir að kopar í skúfþangi á stöð III hefur lækkað eftir 1997 og er það eina marktæka breytingin með tíma. Í ljósi þess að styrkur kopars hækkar er frá dregur álverinu, en kopar í skúfþangi á stöðvum V-VII er hærri en á Kattarhöfða í Hvalfirði, þá er erfitt að tengja þessa hækkun austan við álverið við starfsemi þess.

Samantekð má segja um kopar að verksmiðjurekstur hefur ekki áhrif á styrk hans í kræklingi og skúfþangi 2008. Lækkun var hins vegar í styrk kopars í skúfþangi eftir 1997 á stöð III og í fjörukræklingi af stöð IV eftir 2003. Hár styrkur kopars í fjörukræklingi af stöð IV árið 2003 má að nokkru leyti skýra með koparríkum setögnnum. Hækkun í styrk kopars í þangi og fjörukræklingi, sem sjá má norðaustur af verksmiðjunni, verður ekki auðveldlega tengd við rekstur verksmiðjunnar.

5.6 Kadmín

Mynd 56 sýnir styrk kadmíns í búrkræklingssýnum á þurrvigargrunni og má þar sjá að styrkurinn á stöðvunum hefur þrefaldast á stöðvunum miðað við banka í upphafi. Ekki er marktækur munur á innri og ytri stöðvunum (ANOVA; $p > 0,05$) en athygli vekur mikill munur frá einu ári til annars, hæstur styrkur 2003, nokkru lægri 1997 en lægstur 2008). 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. Mynd 57 sýnir allar niðurstöður mælinganna 1997, 2003 og 2008 ásamt lægstu umhverfismörkum í Noregi (49) og má þar sjá að aðeins 2008 er styrkur kadmíns á stöðvunum undir lægstu umhverfismörkum Norðmanna. Marktækur munur er á milli ára (þöruð t-próf; $p < 0,05$). 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. Fróðlegt er að bera saman styrk milli ára sem hlutfall af viðmiðunarsýni, t.d. stöð 1 sem hefur verið með öll árin, sjá mynd 57. Þá kemur í ljós að ekki er um marktækan munur að ræða á milli ára (þöruð t-próf; $p > 0,05$) og aðeins sýni á stöð 7 árið 1997 virðist víkja frá öðrum sýnum. Þegar skoðað er heildarmagn kadmíns í hverjum einstakling kemur í ljós að magnið er það sama í búrunum (bæði ytri og innri) og í bankanum í lokin (ANOVA; $p > 0,05$).

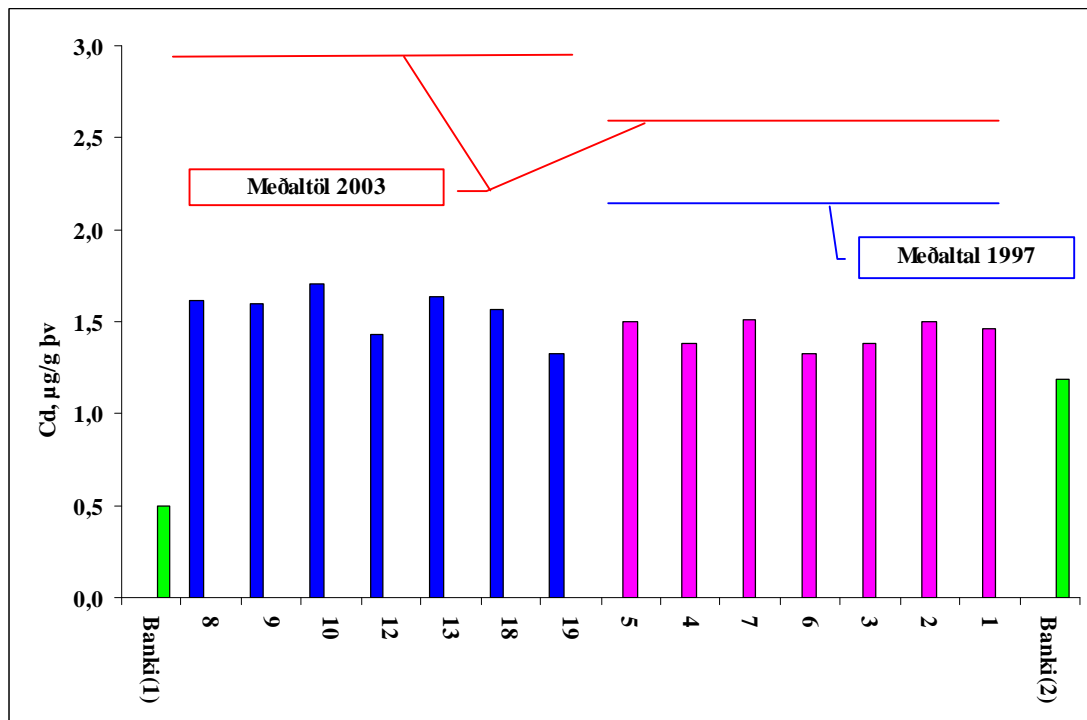
Mynd 58 sýnir kadmín í fjörukræklingi 1997, 2003 og 2008 og má sjá að breytileiki er þar minni á milli ára en í búrkræklingi og ekki er marktækur munur á milli ára (þöruð t-próf; $p > 0,05$).

Sett hefur verið hámarksgildi á kadmín í samlokur þ.m.t. krækling til manneðis og er það 1,0 mg/kg votvigt en bæði búrkræklingur og fjörukræklingur eru með styrk sem er 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.

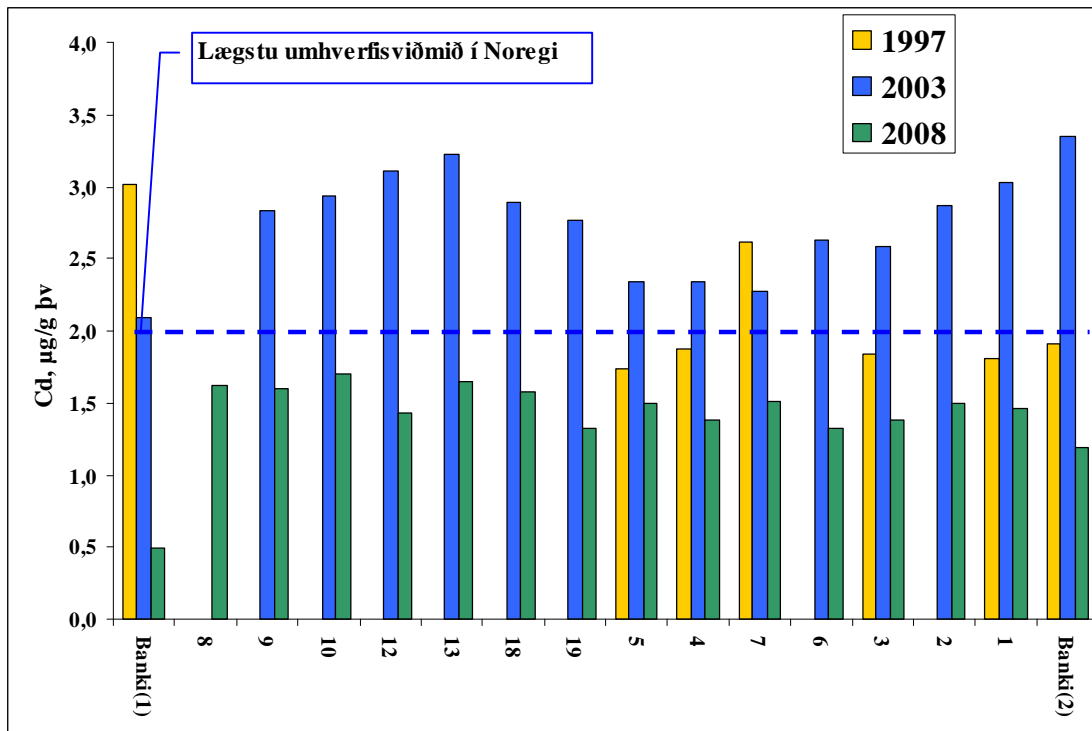
Mynd 59 sýnir kadmín í skúfþangi 1997, 2003 og 2008 og kemur í ljós að ekki er um marktækan mun að ræða á milli ára (þöruð t-próf; $p > 0,05$). Sjá má tilhneigingu til lækkunar á styrk er farið er úr vestri til norðausturs í þanginu, sérstaklega 2003 og 2008. Við nánari skoðun má sjá þessa tilhneigingu í fjörukræklingi einnig eins og fylgni í kadmíni þangs og kræklinga sýnir ($r^2 = 0,48$; $p < 0,001$), mynd 60. Af þessu virðist mega draga þá ályktun að ferskvatnsáhrif minnka er norðaustar dregur en lækkun í seltu veldur einnig hækkun kadmíns í þangi.

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 ómenguðum íslenskum kræklingi. Einnig er samanburður við erlenda gagnabanka íslenskum kræklingi hagstæður.

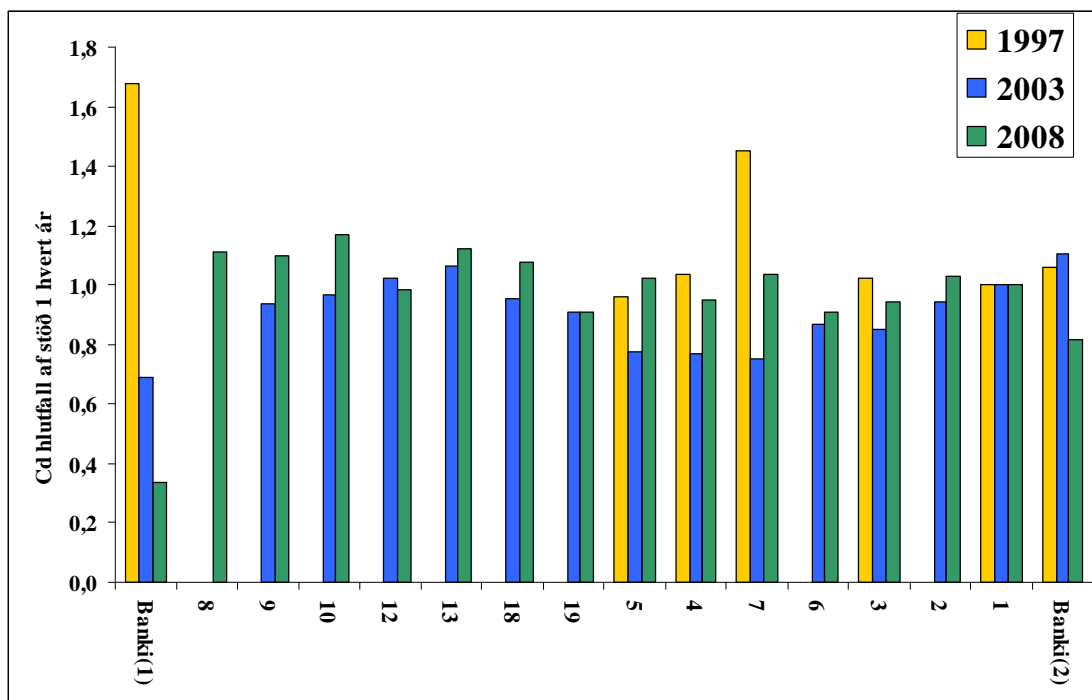
Af öllu niðurstöðunum má því draga þá ályktun að ekki er um aukinn styrk kadmíns að ræða í búrkræklingi, fjörukræklingi eða skúfþangi sem rekja má til verksmiðjurekstrarins.



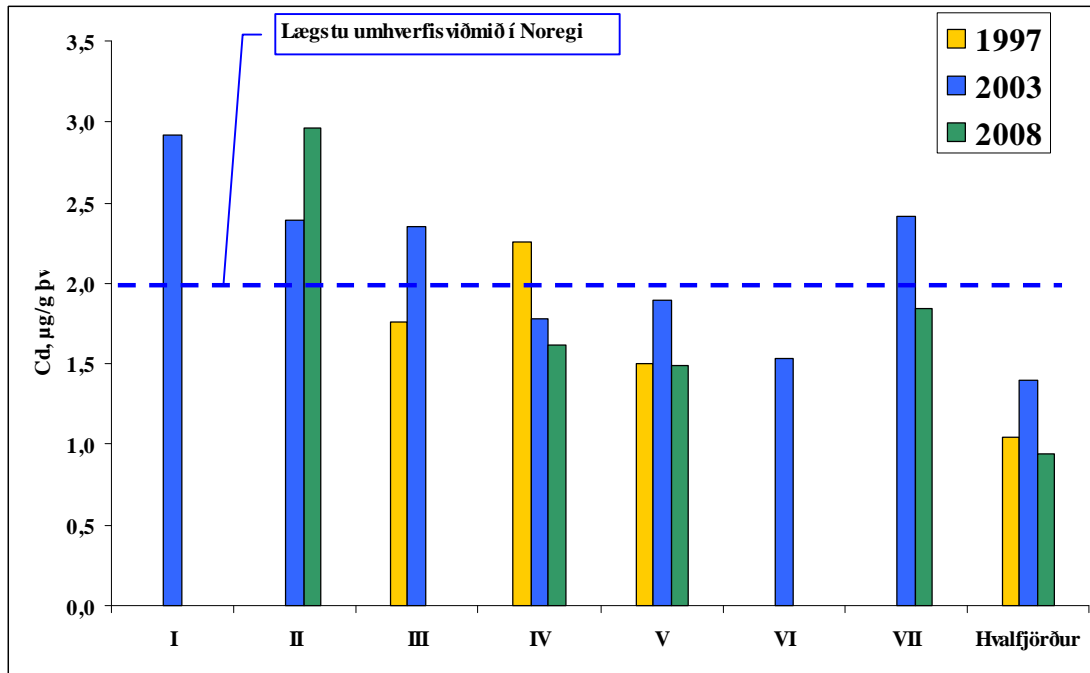
Mynd 55 Kadmín í búrkræklingi á þurrvigtagrunni ásamt meðaltölum rannsóknanna 1997 og 2003.



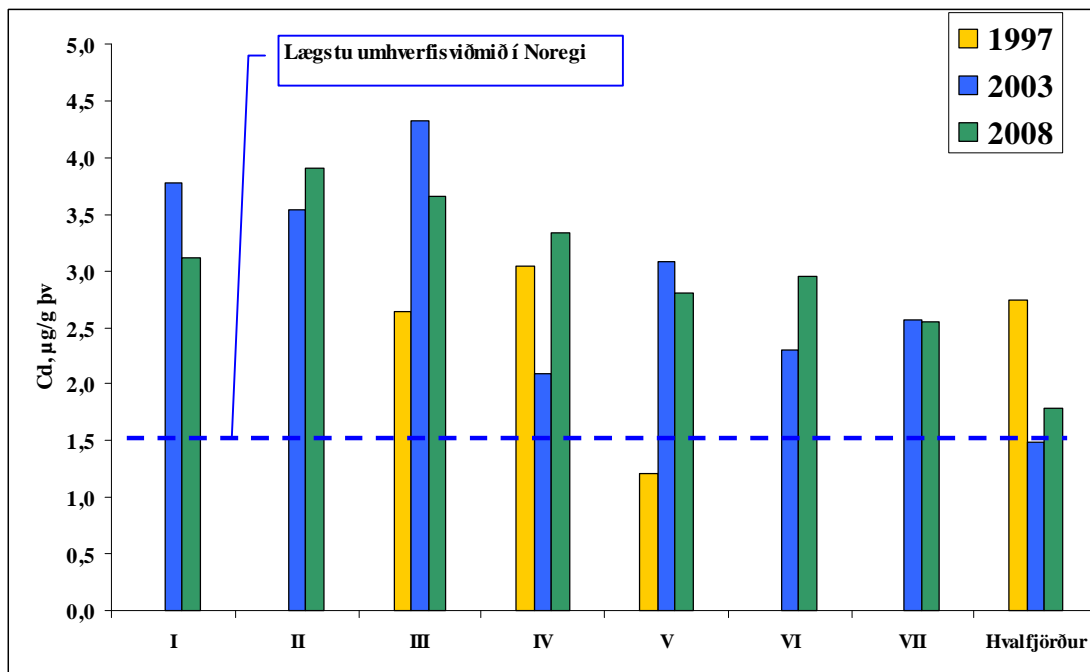
Mynd 56 Kadmín í búrkræklingi á þurrvigtargrunni 1997, 2003 og 2008 ásamt lögstu umhverfismörkum Norðmanna, en styrkur undir þeim mörkum lýsa lítt eða ekki menguðum svæðum (49).



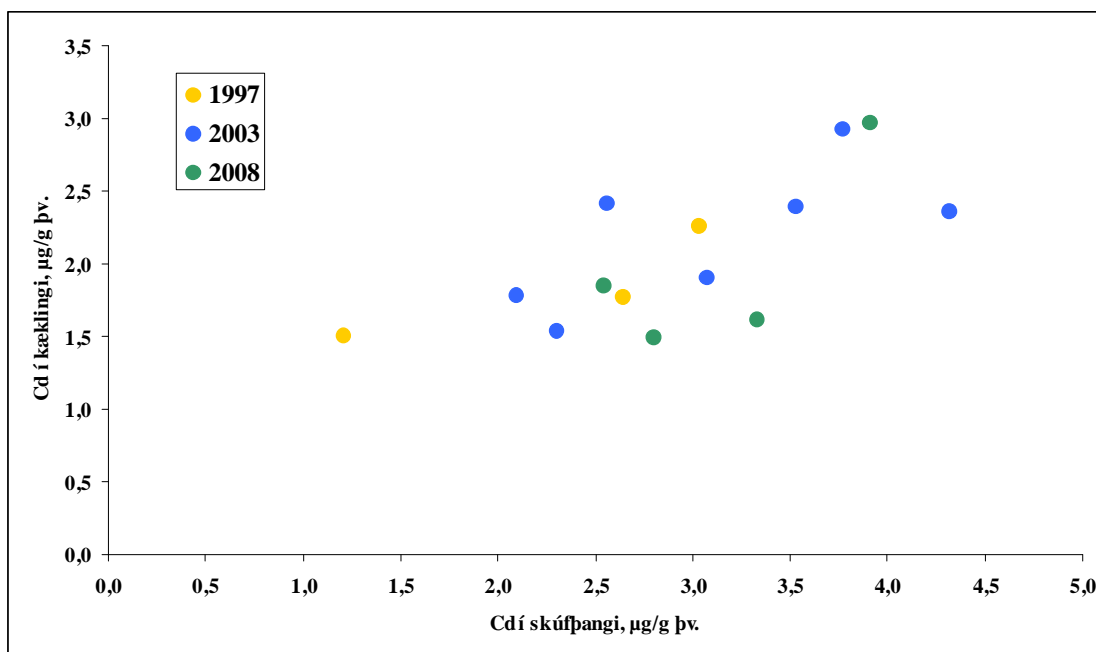
Mynd 57 Styrkur kadmíns í búrkræklingi sem hlutfall af styrk á stöð 1 (ávallt á þurrvigtargrunni) 1997, 2003 og 2008.



Mynd 58 Kadmín í fjörukræklingi á þurrvigtargrunni 1997, 2003 og 2008 ásamt lægstu umhverfismörkum Norðmanna, en styrkur undir þeim mörkum lýsa lítt eða ekki menguðum svæðum (49).



Mynd 59 Kadmín í skúffangi á þurrvigtargrunni 1997, 2003 og 2008 ásamt lægstu umhverfismörkum Norðmanna fyrir þang (bólþang og klóþang).

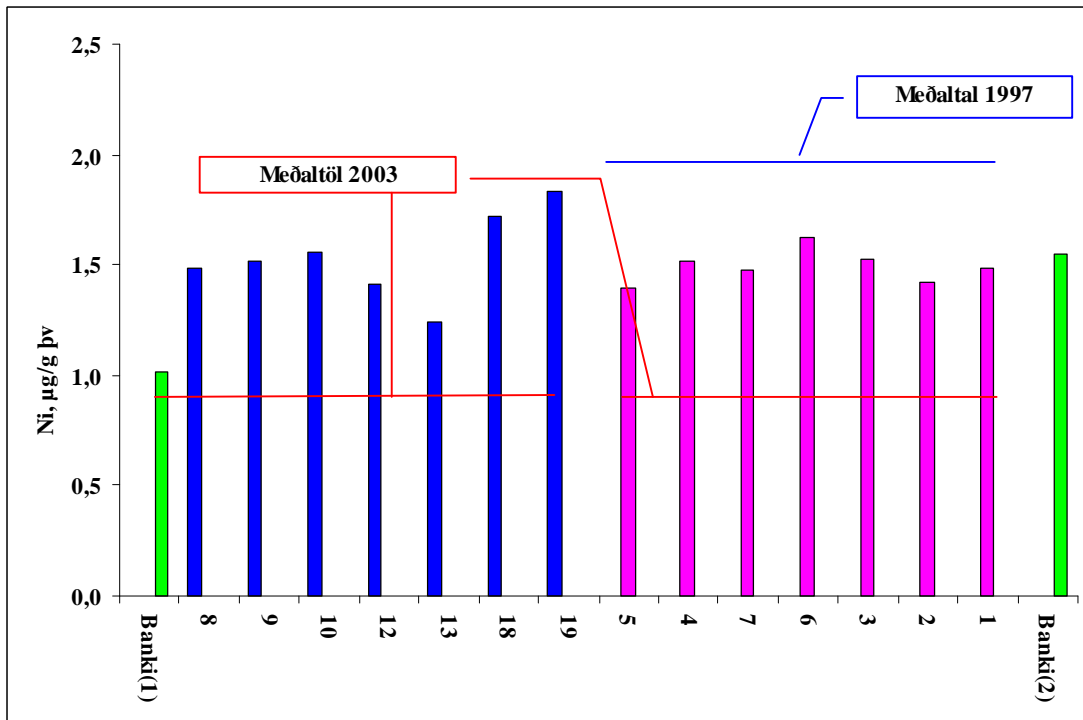


Mynd 60 Fylgni kadmíns í fjörukæklingi og skúfþangi á stöðvum við álverið.

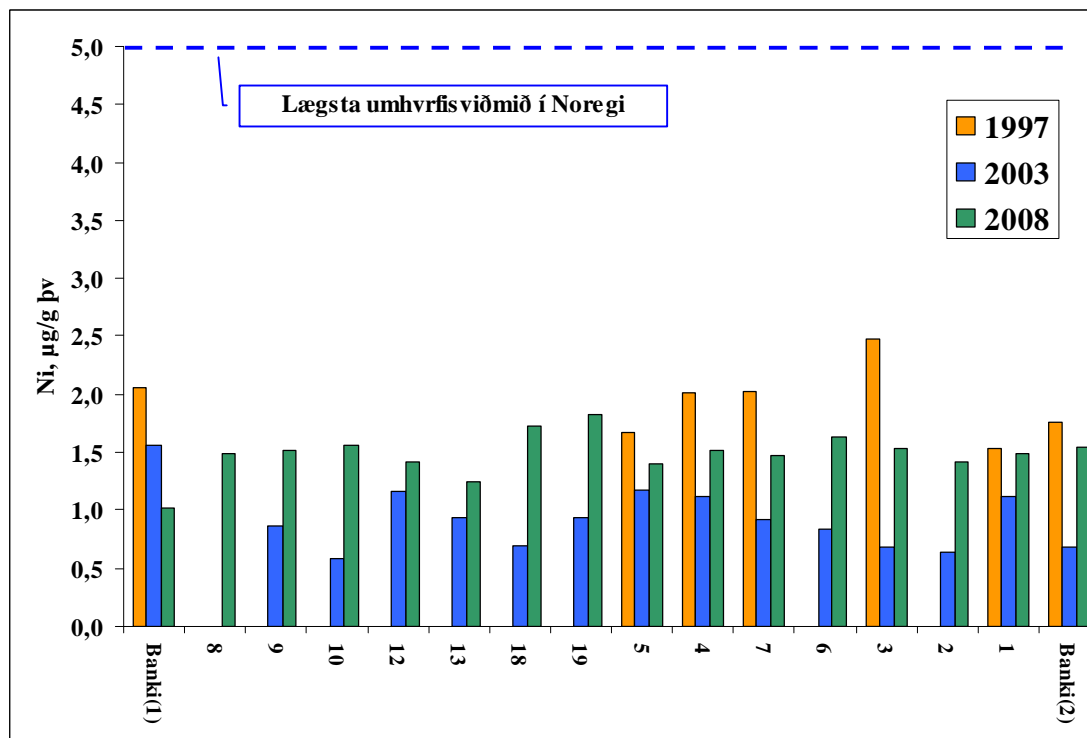
5.7 Nikkel

Mynd 61 sýnir niðurstöður fyrir nikkels í búrkæklingi á þurrvigtagrunni og má sjá að styrkur nikkels hefur hækkað á stöðvunum og í bankanum á tímabilinu. Athygli vekur nokkuð hærri styrkur á stöðvum 18 og 19 eins og í tilviki kopars og króms (og blýs, sjá 5.8 að neðan). Stöðvar 18 og 19 eru marktækt hærri en aðrar stöðvar eins og var í tilviki króms (ANOVA; $p < 0,05$) en þær eru þó ekki frábrugðnar öðrum stöðvum á ytra sniðinu eða öllum öðrum stöðvum þegar tillit er tekið til mælióvissu, sem er 27 % í tilviki nikkels (95% CI). Ekki er marktækur munur á innri og ytri stöðvunum (ANOVA; $p > 0,05$) og ekki er marktækur munur á styrk stöðvanna samanborið við styrk í banka í lokin. Mynd 61 sýnir að breytileiki er mikill milli ára og reynist styrkurinn 2003 vera lægstur en 1997 var hann hæstur. Þetta sést nánar á mynd 62 þar sem allar niðurstöður áranna 1997, 2003 og 2008 eru teknar saman ásamt lægstu viðmiðunarmörkum fyrir Ni í kæklingi í Noregi (49). Allur búrkæklingurinn er vel undir lægsta viðmiðunargildi í Noregi.

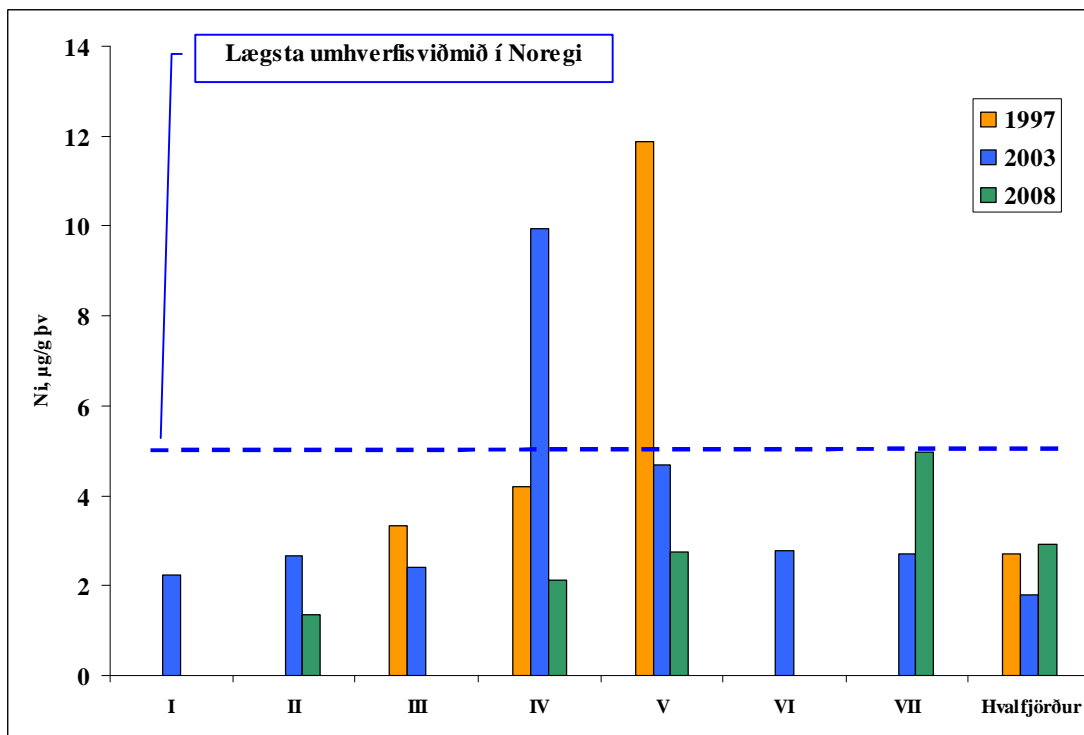
Mynd 63 sýnir niðurstöður fyrir nikkels í fjörukæklingi. Sjá má að styrkur nikkels hækkar er farið er frá vestri til norðausturs á sama hátt og sjá mátti fyrir ál og kopar. Þessa hegðun má einnig sjá fyrir Co, Fe og Mn enda fylgni mikil milli þessara sex málma 2008 svo og milli þessara málma og öskuhlutfalls í kæklingnum. Kemur hér því líklegast til snefilefnaríkar setagnir í meltingarvegi kæklingins því vitað er að Al, Cu, Fe, Mn, og Ni er að finna í ríku mæli í 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 og í sama hlutfalli öll þrjú árin ($r^2 = 0,74$ fyrir log-umbreytt gögn; $n = 55$), bæði fyrir búr- og fjörukækling og viðmiðanirnar tvær á hverju ári, sjá mynd 64. Setagnir og upprót af botni virðast því hafa mikil áhrif. Greina má nokkuð hærri nikkelsstyrk (sem fall af krómstyrk) 2008 miðað við fyrri ár og er munurinn marktækur (ANCOVA; $r^2 = 0,9$; $p < 0,001$) á milli 2008 annars vegar og 1997 og 2003 hins vegar.



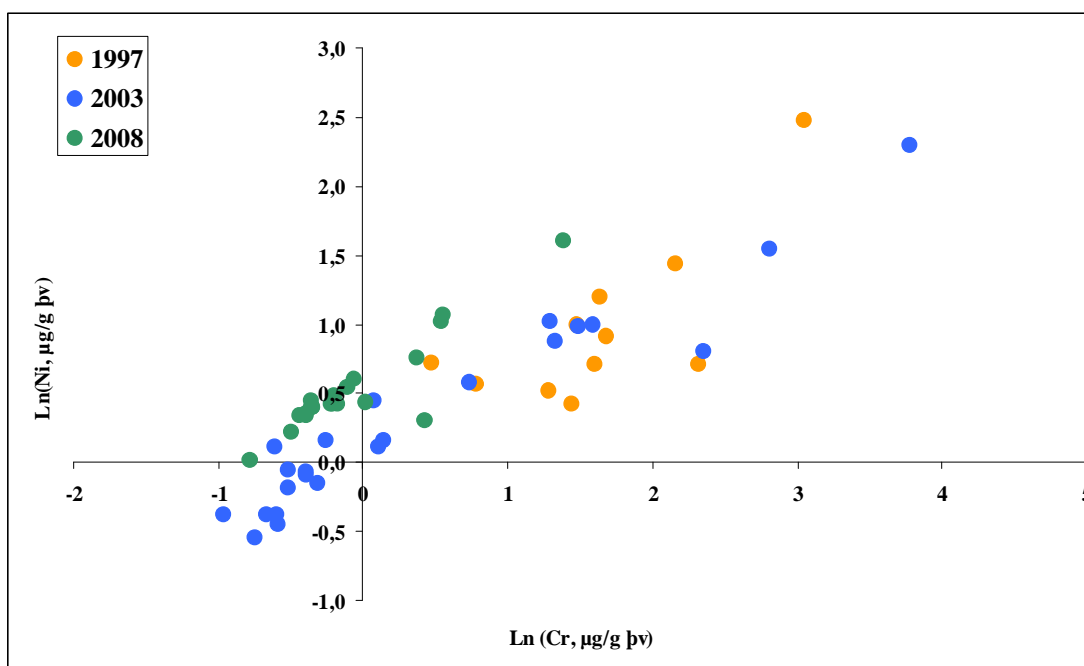
Mynd 61 Nikkel í búkræklingi á þurrvigtagrunni ásamt meðaltölum rannsóknanna 1997 og 2003.



Mynd 62 Nikkel í búkræklingi á þurrvigtagrunni 1997, 2003 og 2008 ásamt lægstu umhverfismörkum Norðmanna, en styrkur undir þeim mörkum lýsa lítt eða ekki menguðum svæðum (49).

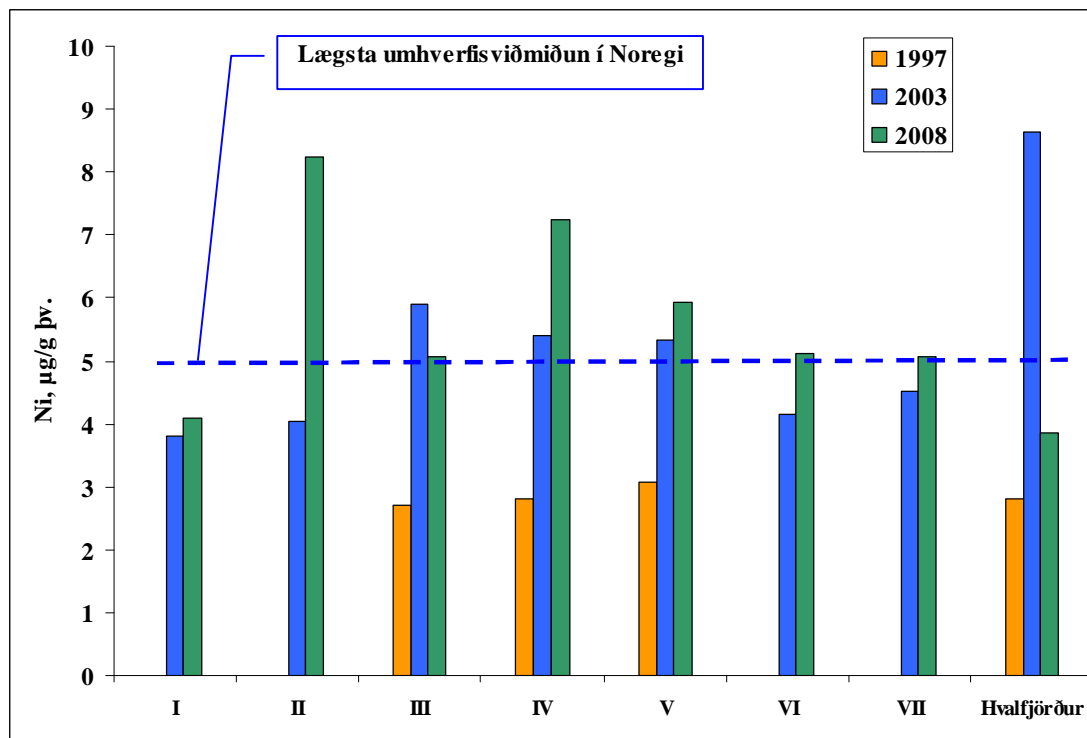


Mynd 63 Nikkel í fjörukræklingi á þurrvigtagrunni 1997, 2003 og 2008 ásamt lægstu umhverfismörkum Norðmanna, en styrkur undir þeim mörkum lýsa lítt eða ekki menguðum svæðum (49).



Mynd 64 Fylgni nikkels og króms í fjöru- og búrkræklingi á þurrvigtagrunni 1997, 2003 og 2008, viðmiðunarstöðvar meðtaldar.

Mynd 63 sýnir að hæstan styrk 2008 hefur norðaustasta stöðin (eins og í tilviki Al, Co, Cu, Fe og Mn) og nær hún að verða jöfn lægstu umhverfismiðun í Noregi. Þessi stöð er fjærst verksmiðju og er því þessi hækkun ólíklega tengd verksmiðjurekstrinum. Hins vegar má sjá lækkun á stöð V eftir 1997 og stöð IV eftir 2003, þ.e. þeim stöðvum sem líklegastar eru til að sýna áhrif af völdum verksmiðjurekstrarins.



Mynd 65 Nikkel í skúfþangi á þurrvigtagrunni 1997, 2003 og 2008 ásamt lágstu umhverfismörkum Norðmanna fyrir þang (bólþang og klóþang).

Mynd 65 sýnir styrk nikkels í skúfþangi og má þar einnig sjá mikinn breytileik milli ára, lægst 1997 en almennt hærri 2008 en 2003. Stöðvar II og IV 2008 eru marktækt hærri en lágsta viðmiðunarmark í Noregi að teknu tilliti til mælióvissu, sem þó er nokkuð há 2008 eða 27% (Tafla 5). Ekki er marktækur munur milli 2003 og 2008 fyrir allt safnið (parað t-próf; $p > 0,05$) en á stöð II er styrkurinn marktækt hærri 2008 en 2003 að teknu tilliti til óvissu í mælingunum. Stöð II er þó ekki hærri en svo að sýnið úr banka 2003 reynist jafnhátt.

Ólíkt fjörukræklingi, sem óx í nikkelsstyrk frá vestri til norðausturs 2008, þá virðist mega greina lækkun í styrk nikkels í skúfþangi frá stöð II í vestri til norðausturs. Bendir þetta til þess að það nikkell, sem safnast upp í fjörukræklingi og skúfþangi séu á mismunandi formi. Þessi lækkun líkist hins vegar þeirri lækkun sem sjá mátti í kadmíni í skúfþangi sem bendir til áhrifa af seltu, þ.e. að aukin selta minnki upptöku nikkels í skúfþang eins og tilviki kadmíns. Fylgni kadmíns og nikkels í skúfþangi er hins vegar ekki marktæk ($r^2 = 0,31$; $p > 0,05$). Áhrifa af verksmiðjurekstri virðist gæta í þangi 2008 en vitað er að loftborið nikkell berst frá álverinu (59). Þessi áhrif eru hins vegar lítil.

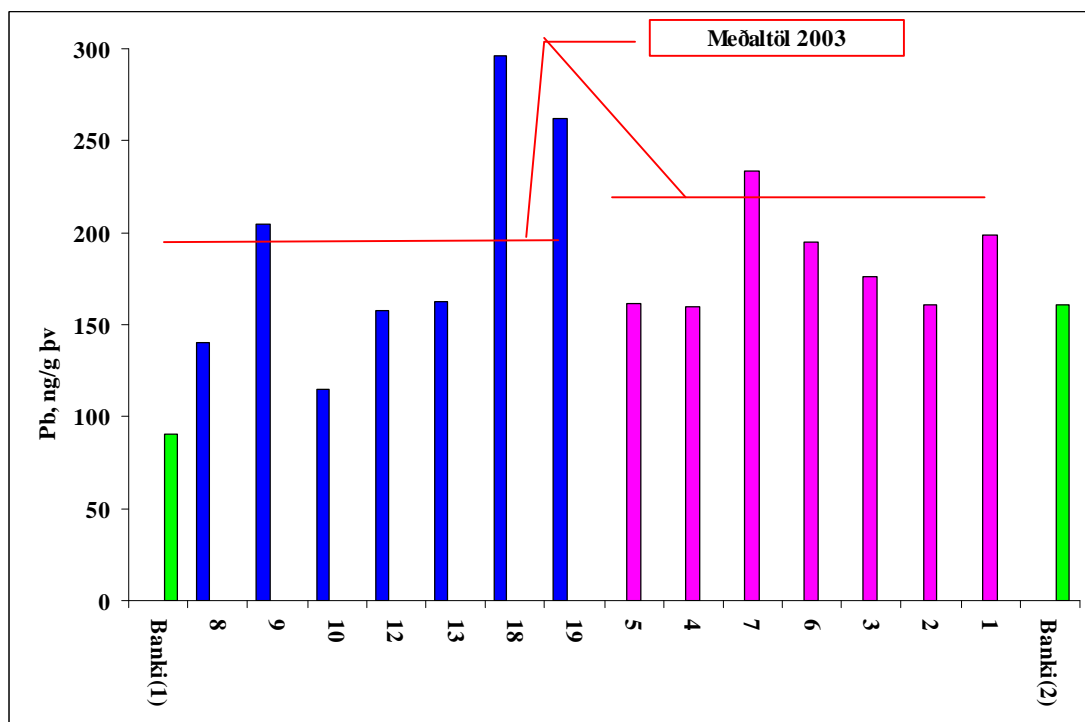
Samantekið má segja um nikkell að áhrifa virðist gæta í skúfþangi en um lítil áhrif er að ræða og ekki óyggjandi. Styrkur nikkels í fjörukræklingi hefur hins vegar lækkað verulega á stöðvum IV og V en þessar stöðvar sýndu áður hæstan styrk nikkels og eru jafnframt líklegastar til að vera undir áhrifum verksmiðjurekstrarins. Árið 2008 eru báðar þessar stöðvar undir lágstu viðmiðunarmörkum í Noregi sem lýsa lítt eða ómenguðum svæðum. Styrkur nikkels í búkræklingi er eins og hann gerist í ósnortinni íslenskri náttúru.

5.8 Blý

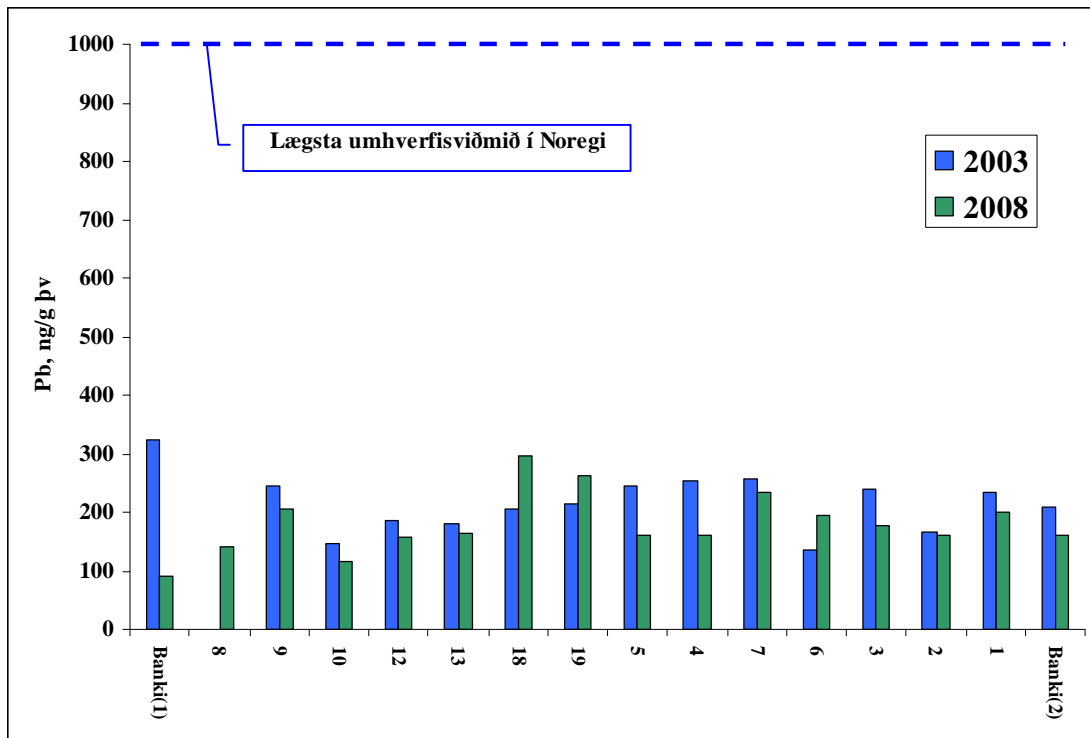
Mynd 66 sýnir styrk blýs í búkræklingi á þurrvigtagrunni. Styrkurinn er mjög lágur eða um fimmfalt lægri en lægsta umhverfisviðmiðun í Noregi, sem er 1000 ng/g þv. (49), sjá mynd 67, og 60-falt lægri en hámarksgildi fyrir skelfisk til mannelis en það er 1500 ng/g votvigt (97). Ekki er marktækur munur á ytri og innri stöðvum (ANOVA; $p > 0,05$) en stöðvar 18 og 19 eru marktækt hærri en aðrar stöðvar (ANOVA; $p > 0,05$) og sýnir blý í þessu tilliti sömu hegðun og kopar og nikkell. Eins og áður sagði (fyrir kopar og nikkell), þá eru þetta stöðvarnar fjarst álverinu til norðausturs og því ólíklega um að um áhrif frá verksmiðjurekstri sé að ræða. Búkræklingurinn á stöðvunum er ekki marktækt frábrugðinn banka í lokin (ANOVA; $p > 0,05$) og ekki er marktækur munur á niðurstöðunum 2003 og 2008 (parað t-próf; $p > 0,05$).

Mynd 68 sýnir niðurstöður fyrir blý í fjörukræklingi 2003 og 2008. Styrkurinn í fjörukræklingi er hærri á þurrvigtagrunni en búkræklingurinn en ekki á votvigtargrunni. Fjörukræklingurinn er um fjórfalt lægri en lægstu umhverfismörk í Noregi og um 60-falt lægri en hámarksgildi fyrir blý í kræklingi til mannelis. Ekki er marktækur munur á fjörukræklingi árunna 2003 og 2008 (parað t-próf; $p > 0,05$).

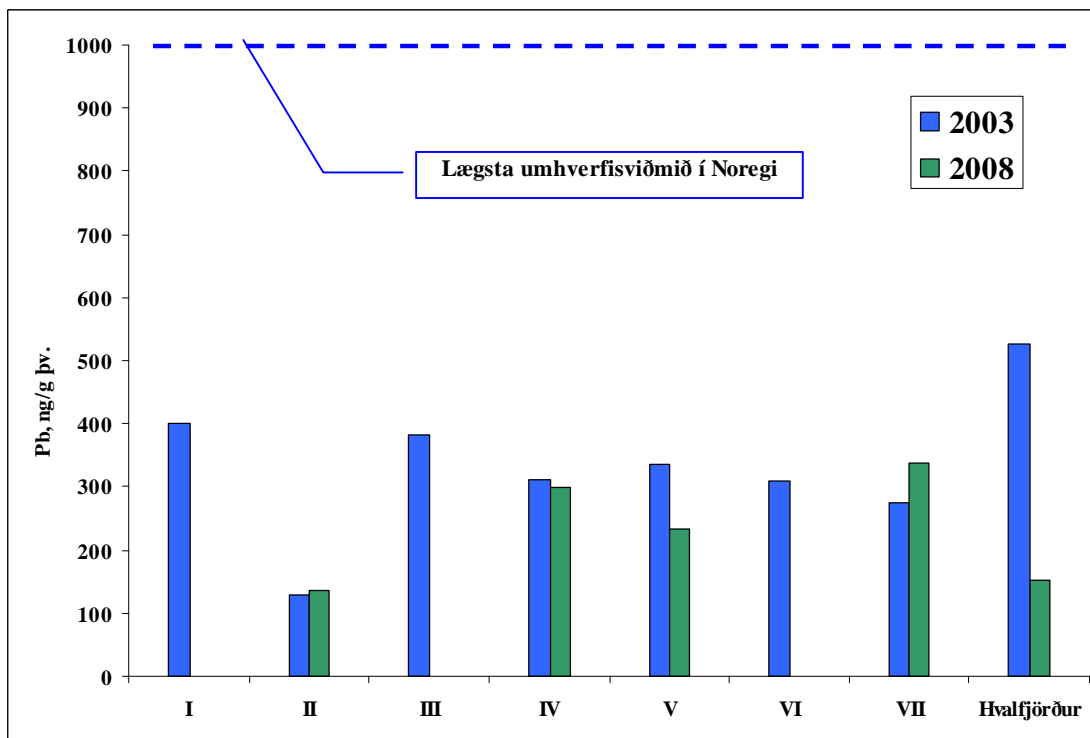
Mynd 69 sýnir blý í skúfþangi. Um mjög lágan styrk er að ræða og er meðalstyrkurinn um 45-falt lægri en lægsta umhverfisviðmið í Noregi (fyrir bólupang og klóþang) (49). Stöð I sýnir hæstan styrk, sem þó er ekki marktækt hærri en viðmiðun í Kattarhöfða, þegar tillit hefur verið tekið til mælióvissu.



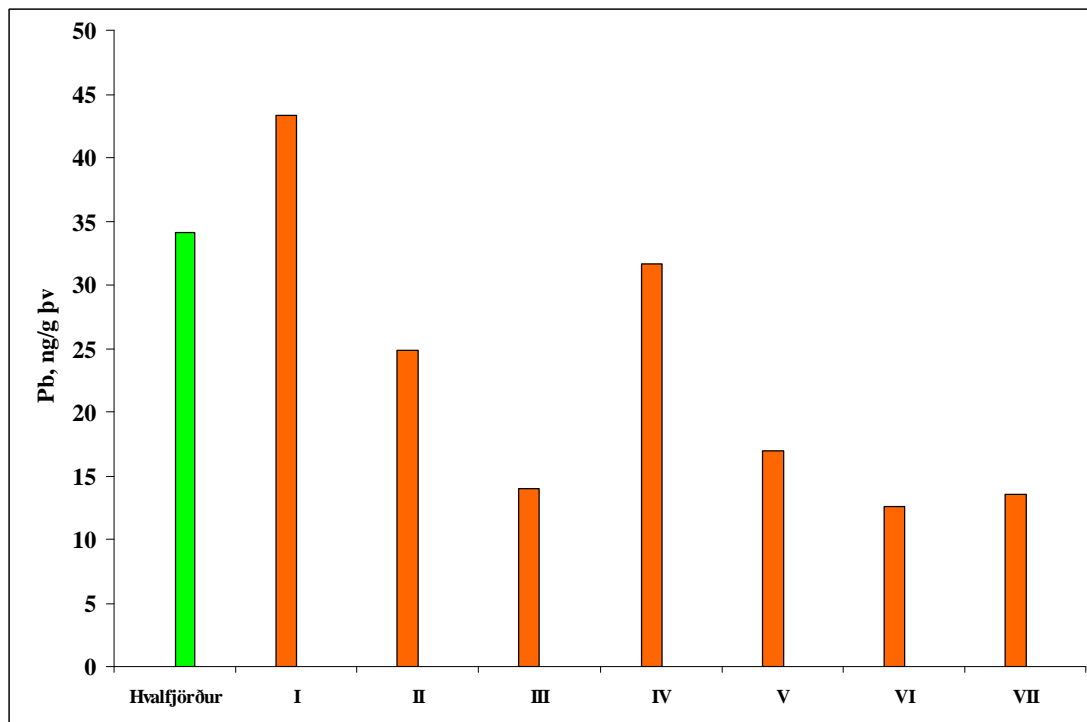
Mynd 66 Blý í búkræklingi á þurrvigtagrunni ásamt meðaltali rannsóknarinnar 2003. Árið 1997 var styrkur ávallt undir greiningarmörkum mælingarinnar á þeim tíma.



Mynd 67 Blý í búrkræklingi á þurrvigtargrunni 2003 og 2008 ásamt lægstu umhverfismörkum í Noregi (49).



Mynd 68 Blý í fjörkræklingi á þurrvigtargrunni 2003 og 2008 ásamt lægstu umhverfismörkum í Noregi (49).



Mynd 69 Blý í skúfþangi á þurrvigtagrunni.

Samantekið má því segja um blý að um mjög lágan styrk er ávallt að ræða og að ekki er unnt að greina nein áhrif af völdum verksmiðjurekstrarins í Straumsvík á upptöku blýs í lífverur sjávar.

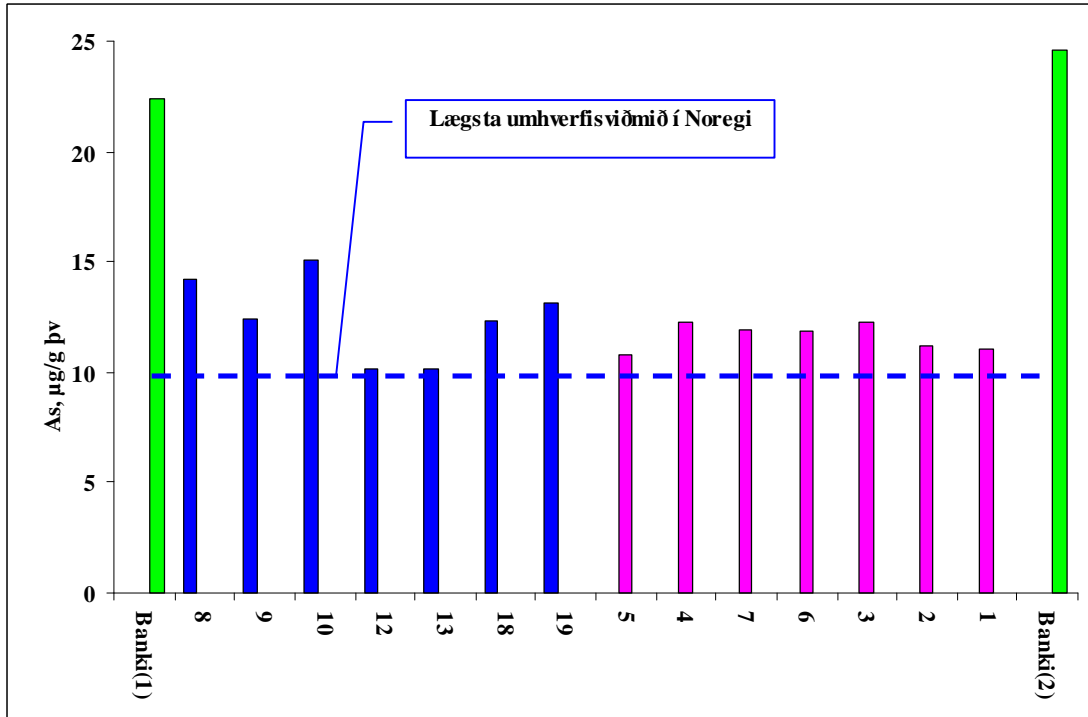
5.9 Arsen

Arsen var ekki mælt í fyrri rannsóknum. Mynd 70 sýnir styrk heildararsens í búrkræklingi á þurrefnisgrunni ásamt lögstu umhverfismörkum í Noregi (49). Ekki er marktækur munur á innri og ytri stöðvum (ANOVA; $p > 0,05$). Stöðvarnar eru ekki marktækt frábrugðnar lögsta umhverfisviðmiði í Noregi, sem er 10 $\mu\text{g/g}$ þv. (ANOVA; $p > 0,05$). Athygli vekur að styrkur hefur lækkað í kræklingnum framan við álverið meðan á eldi stóð en styrkur á viðmiðunarstöð, Kattarhöfða, helst óbreyttur 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).

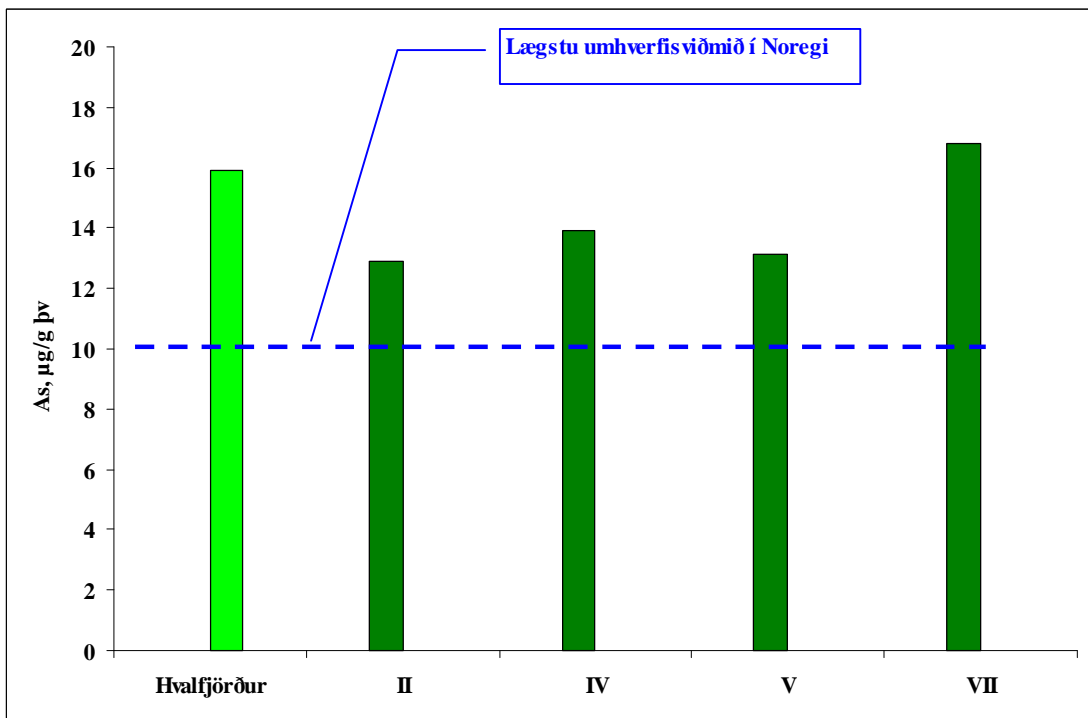
Mynd 71 sýnir arsen í fjörukræklingi á þurrvigtagrunni og má þar sjá lítinn og ómarktækan munur milli stöðva og milli stöðva og viðmiðunarsýnis á Kattarhöfða (ANOVA; $p > 0,05$). Ekki er marktækur munur á milli stöðva og lögsta viðmiðunarstyrks í Noregi.

Mynd 72 sýnir heildarstyrk arsens í skúfþangi ásamt lögstu umhverfismörkum í Noregi. Stöðvarnar við álverið eru ekki marktækt frábrugðnar styrk arsens í viðmiðunarsýninu frá Kattarhöfða, Hvalfirði, og þær eru ekki marktækt frábrugðnar lögsta umhverfisviðmiði í Noregi (ANOVA; $p > 0,05$).

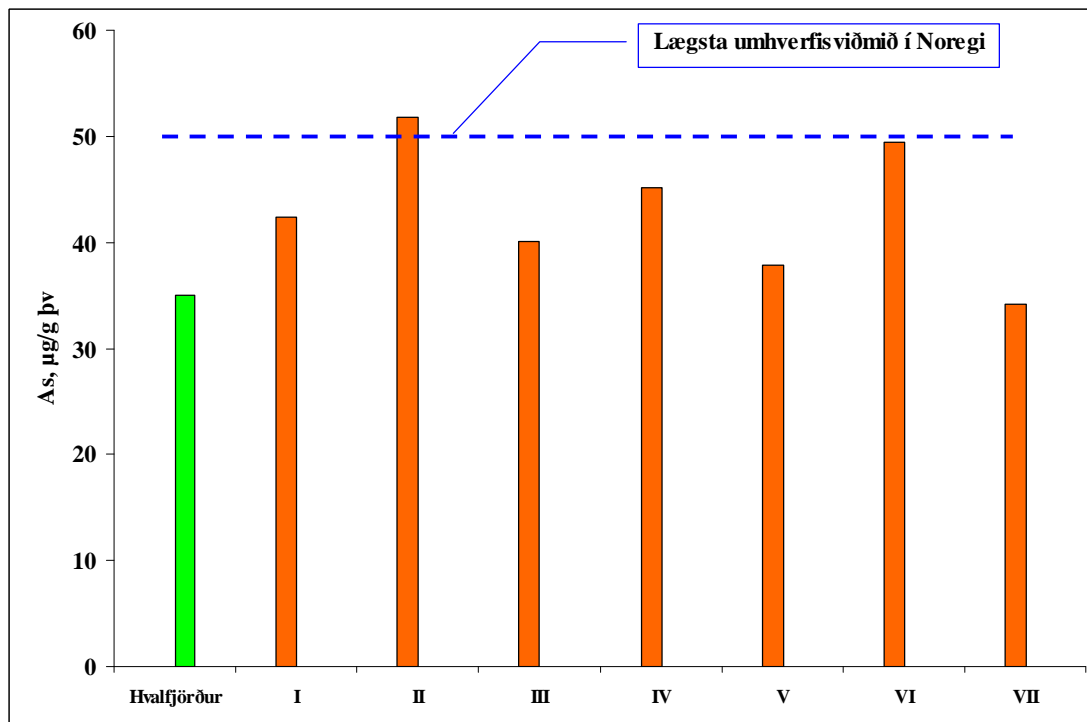
Samantekið má því fullyrða að verksmiðjurekstur álversins í Straumsvík hefur ekki áhrif á styrk arsens í kræklingi eða skúfþangi.



Mynd 70 Arsen í búrkraeklingi á þurrvigtargrunni ásamt lægstu umhverfismörkum í Noregi (49).



Mynd 71 Arsen í fjörurkraeklingi ásamt lægstu umhverfismörkum í Noregi (49).

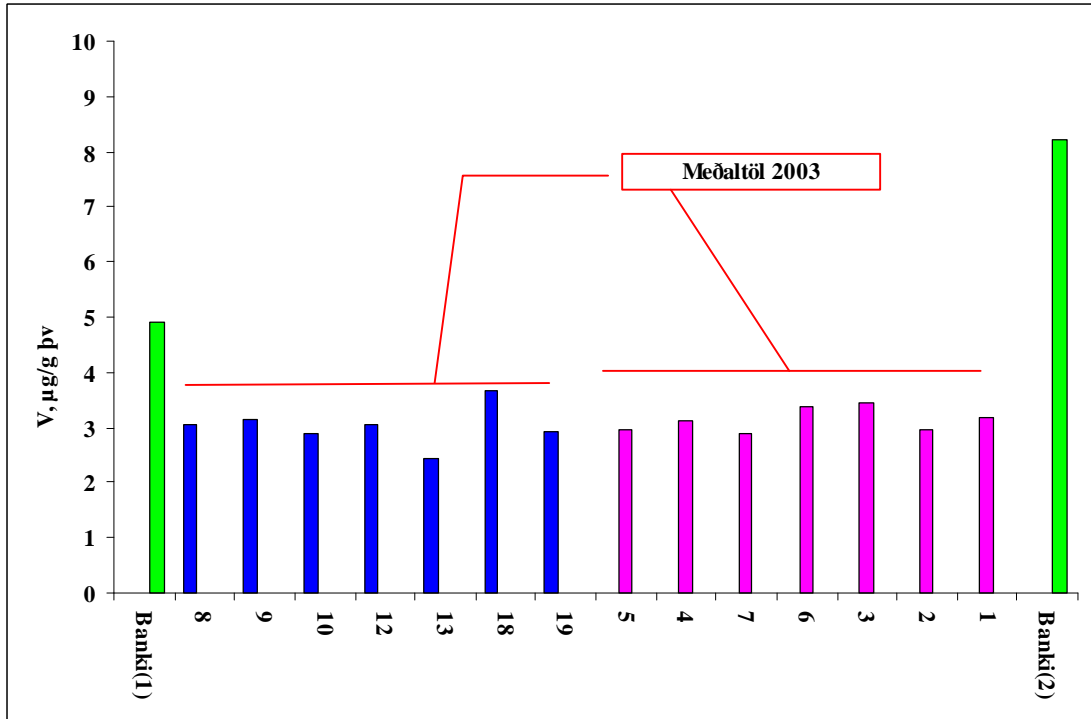


Mynd 72 Arsen í skúfþangi á þurrvigtagrunni ásamt lægsta umhverfisviðmiðunargildi í Noregi (49).

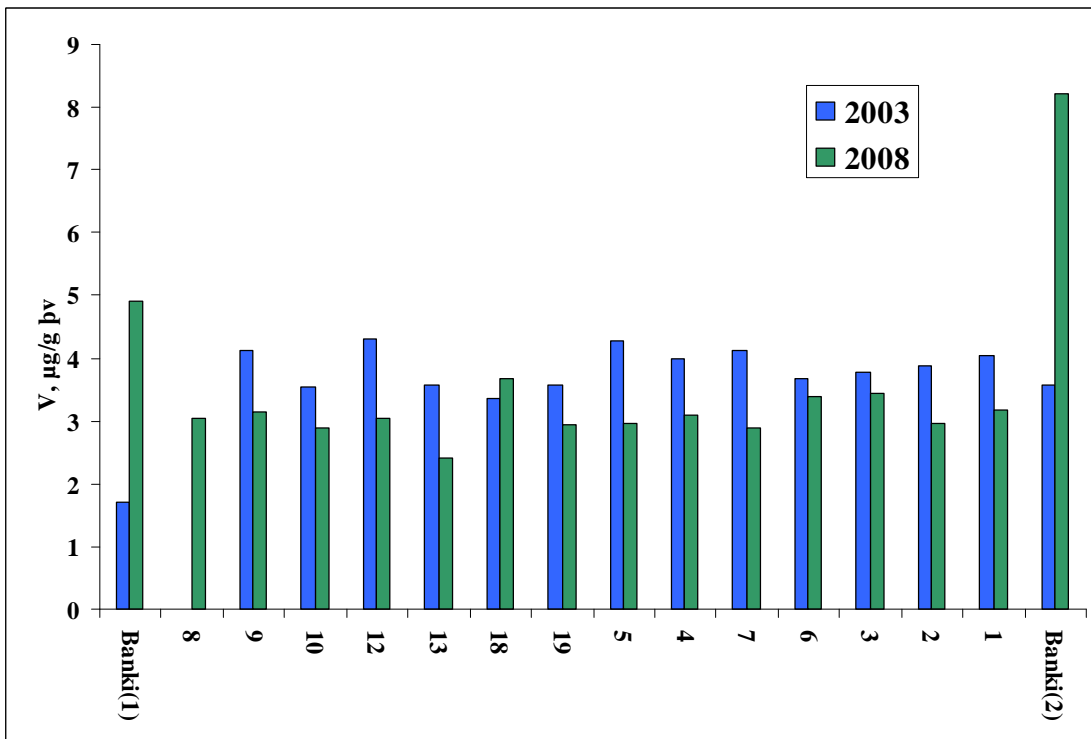
5.10 Vanadín

Mynd 73 sýnir vanadín í búrkraekling á þurrvigtagrunni. Engin umhverfismörk eru kunn fyrir vanadín í kraeklingi eða þangi þannig að viðmið í Hvalfirði eru einu mörkin, sem styðjast má við. Ekki hafa verið sett hámarksgildi á vanadín í matvælum.

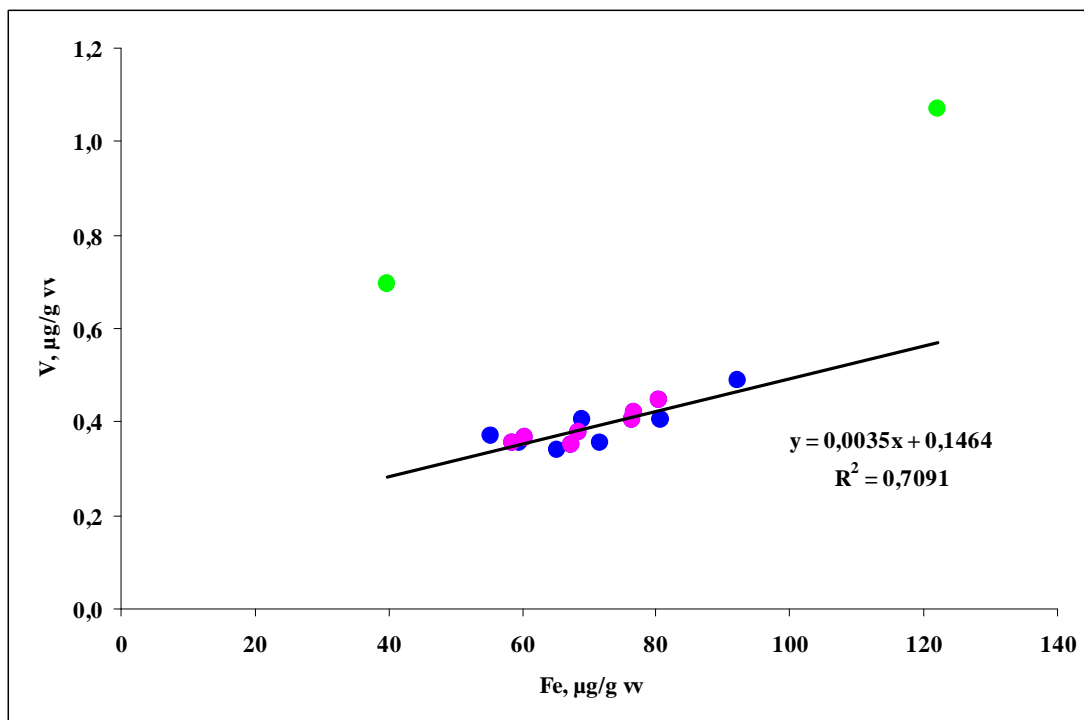
Ekki er marktækur munur á ytri búrum og innri búrum (ANOVA; $p > 0,05$). Athygli vekur að styrkur hefur lækkað á stöðvunum við álverið meðan á eldi stóð miðað við banka og að styrkur í banka hefur haldið áfram að vaxa á viðmiðunarstöð. Þennan hærri styrk í bankasýnum var ekki að sjá í rannsókninni 2003, sjá mynd 74. Styrkurinn á stöðvunum 2008 er jafnframt marktækt lægri en hann var á sömu stöðvum 2003 (parað t-próf; $p < 0,05$). Þessi hegðun vanadíns er mjög lík hegðun arsens, sjá kafla 5.9, og bendir til að ferskvatnsáhrif séu hér að verki, þ.e. að upptaka vanadíns í kraekling sé minni með lækkaðri seltu. Í ljós kemur einnig að í búrunum við álverið er mjög góð fylgni milli vanadíns annars vegar og áls, járns og mangans hins vegar. Einnig er góð fylgni milli vanadíns annars vegar og króms og nikkels hins vegar þegar stöð 19 er undanskilin en hún sýnir hlutfallslega háan styrk nikkels og króms miðað við vanadín en þessi stöð var tekin síðar en aðrar stöðvar (eða 30/11/2008 í stað 15/10/2008). Dæmi um um þessa fylgni er sýnd á mynd 75 fyrir vanadín og járn. Þessi fylgni bendir sterklega til að styrkur þessara sex málma í setögnum stýri styrk þessara málma í kraeklingnum við álverið.



Mynd 73 Vanadín í búrkræklingi á þurrvigtagrunni ásamt meðaltali rannsóknarinnar 2003. Vanadín var ekki mælt í kræklingi 1997.

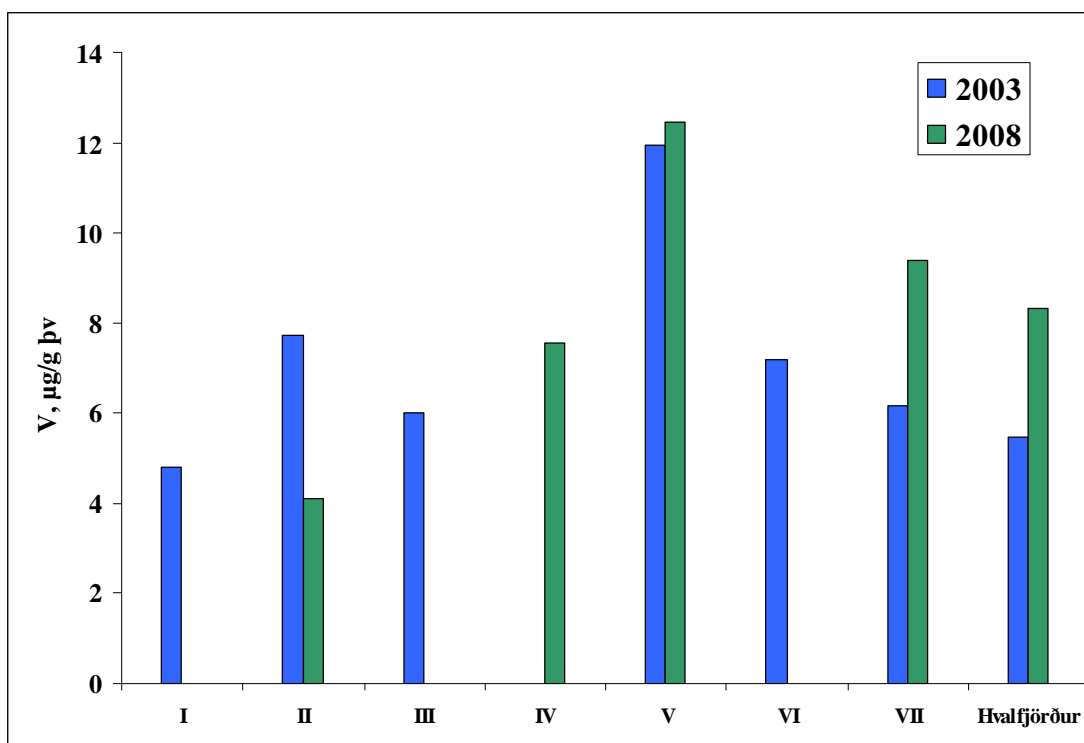


Mynd 74 Vanadín í búrkræklingi á þurrvigtagrunni 2003 og 2008.



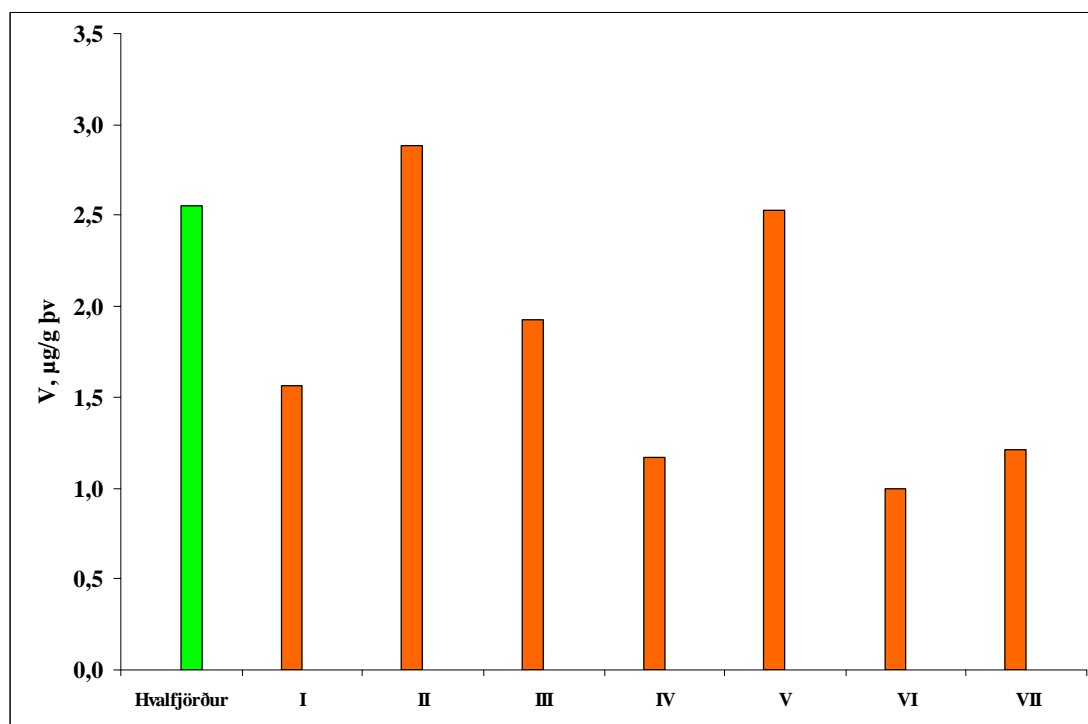
Mynd 75 Vensl vanadíns og járns í búrkræklingi votrvigtargrunni. Áþekk vensl fást einnig fyrir mangan og ál auk króms og nikkels að stöð 19 undanskilinni.

Mynd 76 sýnir styrk vanadíns í fjörukræklingi. Ekki er marktækur munur á milli 2003 og 2008 (parað-t-próf; $p > 0,05$) en stöð V sýnir hærri styrk en aðrar stöðvar, banki meðtalinn (ANOVA; $p < 0,05$), sem bendir til áhrifa við norðausturenda verksmiðjувæðisins.



Mynd 76 Vanadín í fjörukræklingi á þurrvigtargrunni 2003 og 2008.

Mynd 77 sýnir styrk vanadíns í skúfþangi. Árið 2003 mældist styrkur aldrei yfir þáverandi greiningarmörkum, 1 µg/g þv. Ekkert sýnanna á stöðvunum við álverið sýnir styrk hærri en þann sem finna mátti á viðmiðunarstöðinni við Kattarhöfða, Hvalfirði. Innbyrðis samanburður á stöðvunum við álverið bendir til örlítið hærri styrks vanadíns á stöðvum II og V og eru þær marktækt hærri en aðrar stöðvar (ANOVA; $p < 0,05$).



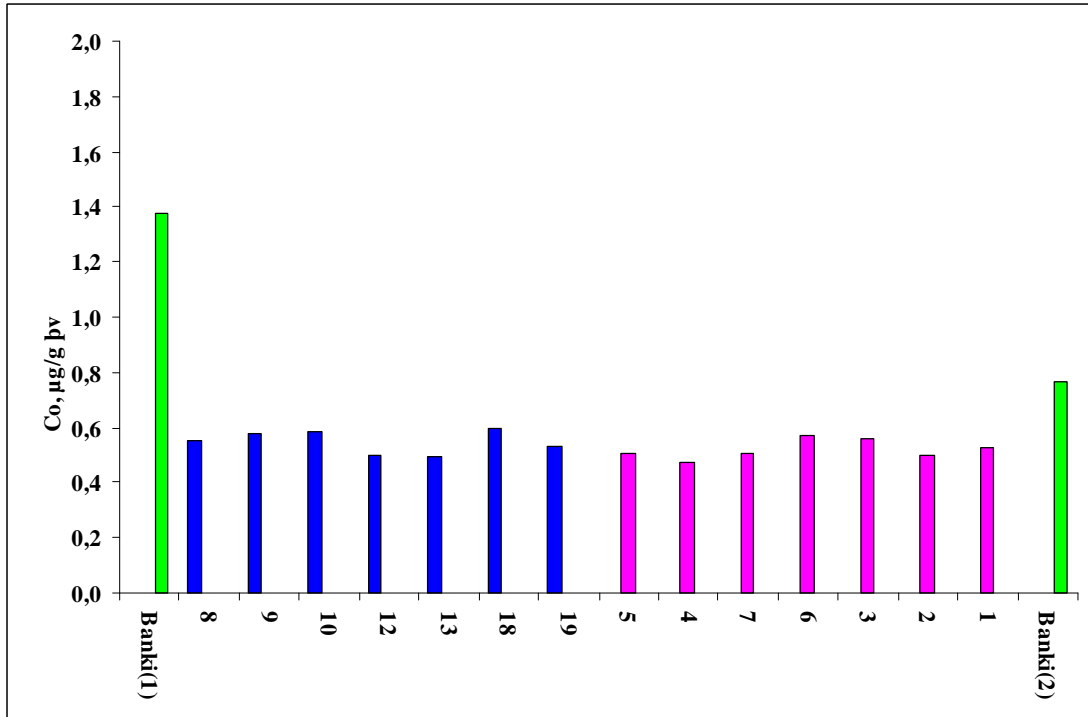
Mynd 77 Vanadín í skúfþangi á þurrvigtagrunni en 2003 voru öll sýni undir greiningarmörkum, sem þá voru um 1 µg/g þv.

Samantekið má því segja um vanadín að engra áhrifa þess gætir í búrkræklingi eða í 50 m fjarlægð frá ströndu. Greina má áhrif á fjörukrækling á stöð V og er um sama styrk að ræða bæði 2003 og 2008. Niðurstöður fyrir skúfþang 2008 staðfesta áhrif á stöð V auk þess sem líkleg áhrif eru á stöð II. Þessi áhrif eru hins vegar mjög lítil að teknu tilliti til styrks á viðmiðunarstöð við Kattarhöfða í Hvalfirði.

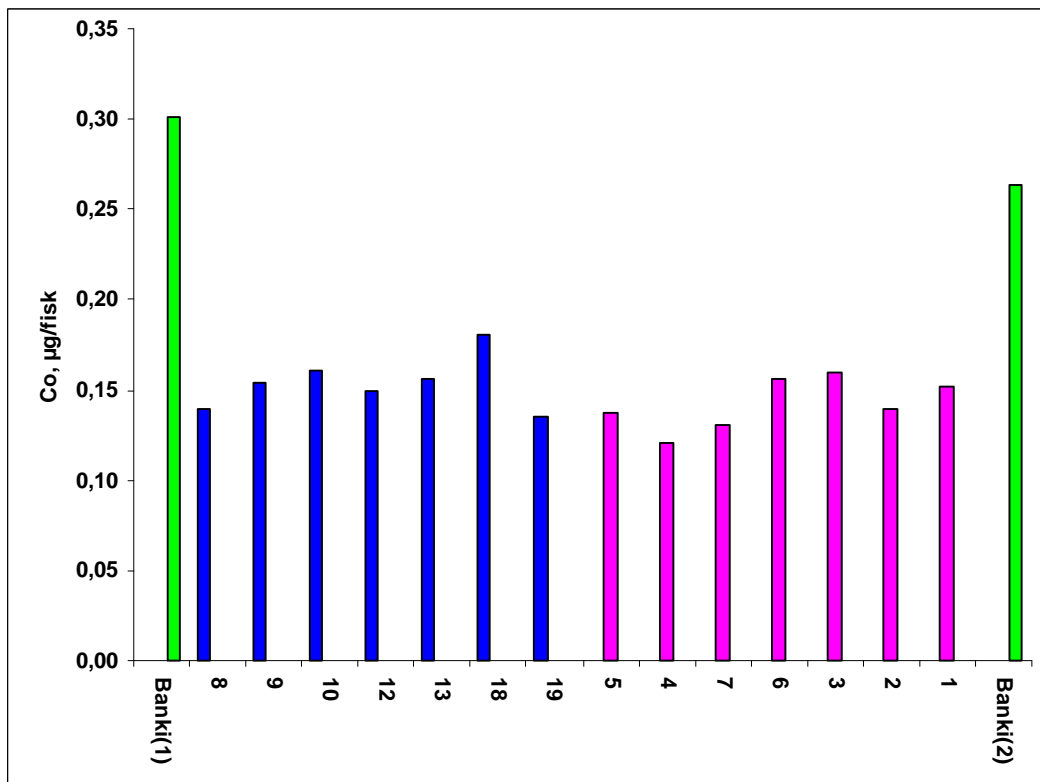
5.12 Kóbolt

Kóbolt var ekki mælt í fyrri rannsóknum. 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 kóbolt í matvælum.

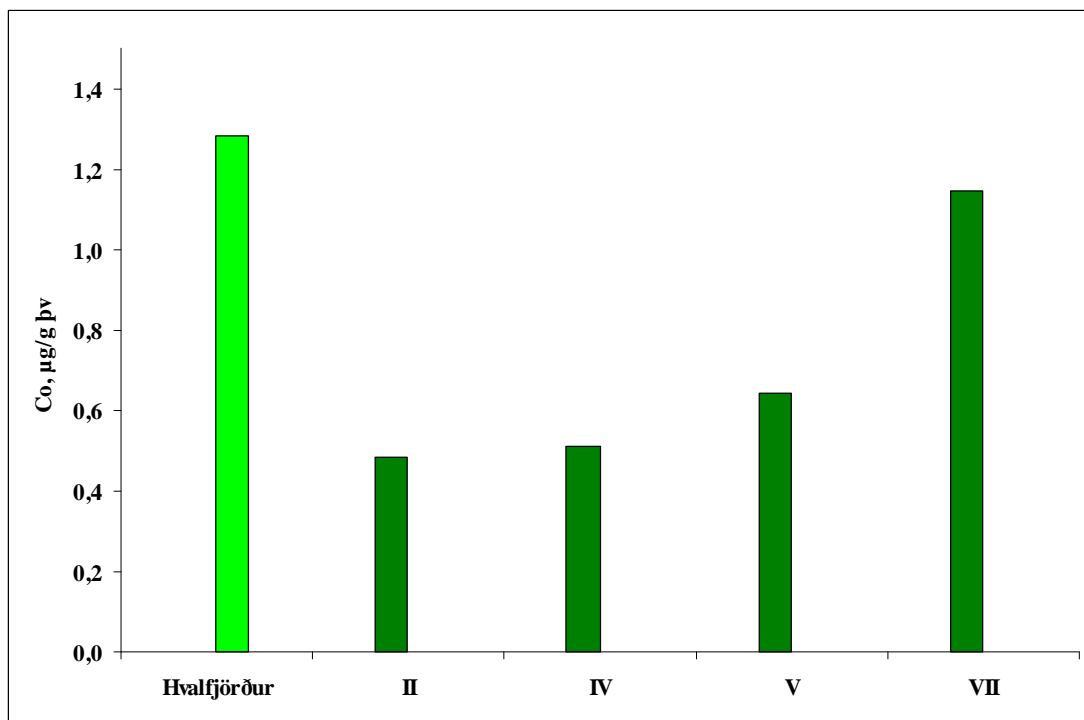
Mynd 78 sýnir kóbolt í búrkræklingi og kemur þá í ljós mjög lík hegðun og í tilviki arsens og vanadíns sem bendir til að ferskvatn hafi áhrif í þá veru að styrkur kóbólts er lægri í kræklingi þegar selta er minni. Ólíkt arseni og vanadín reynist magn kóbólts í hverjum einstaklingi ekki breytast marktækt á viðmiðunarstöð, sjá mynd 79. Ekki er marktækur munur á innri og ytri stöðvum (ANOVA; $p > 0,05$) en hins vegar er styrkur kóbólts marktækt lægri í Straumsvík og Hraunsvík en á viðmiðunarstöðinni í Saurbæjarvík, Hvalfirði ($p < 0,05$).



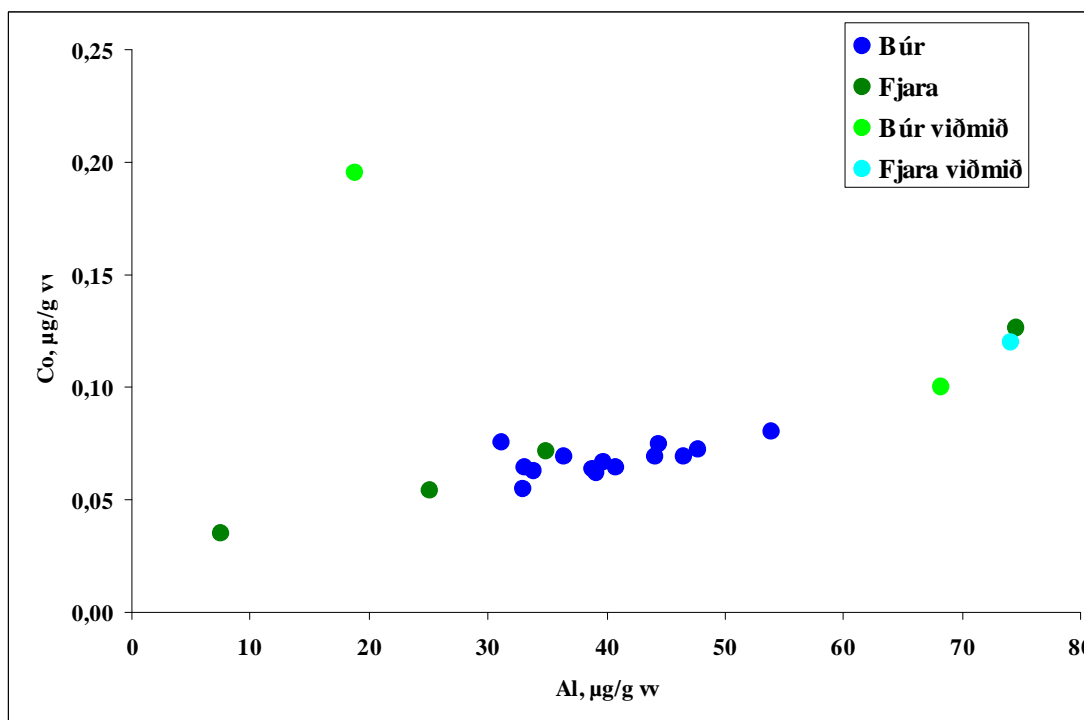
Mynd 78 Kóbolt í búrkraeklingi á þurrvigtagrunni.



Mynd 79 Magn kóbols í hverjum meðaleinstaklingi búrkraeklings.



Mynd 80 Kóbolt í fjörukræklingi á þurrvigtagrunni.

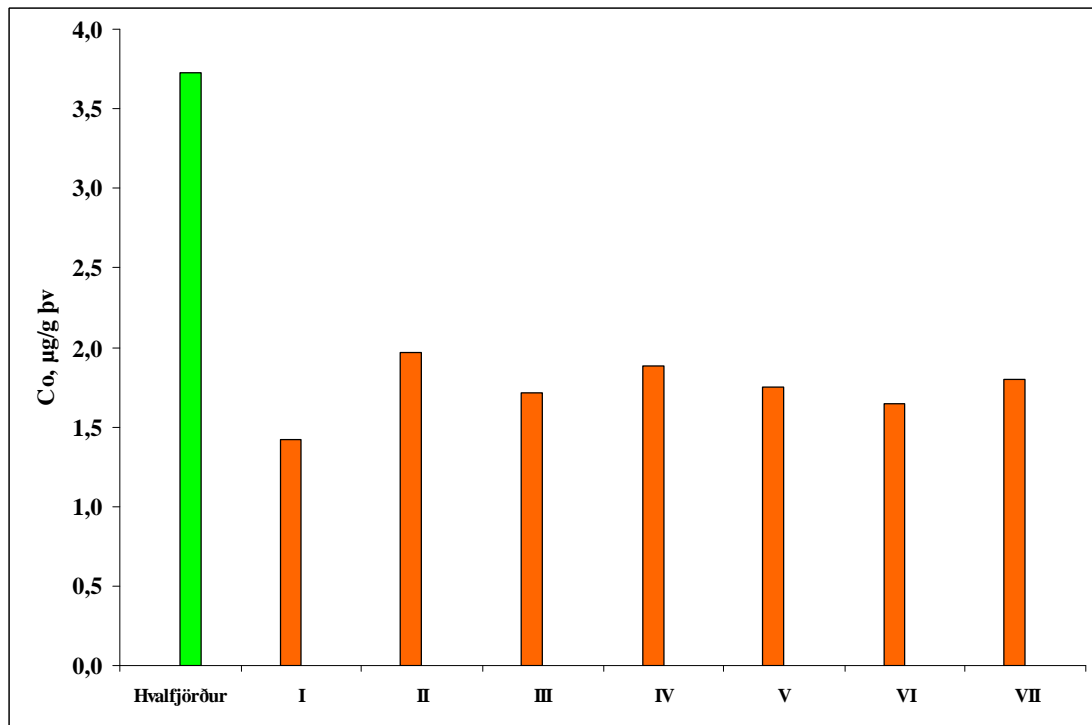


Mynd 81 Vensl kóbólts og áls í búr- og fjörukræklingi.

Mynd 80 sýnir styrk kóbólts í fjörukræklingi. Ekkert fjörusýnanna er hærra í kóbolt en viðmiðun í Kattarhöfða, Hvalfirði. Kóbolt sýnir sömu hegðun og Al, Cu, Fe, Mn, Ni og Cr eða hækkun í styrk er farið er úr vestri til norðausturs og er góð fylgni milli þessara sjö málma í fjörukræklingi svo og milli þessara málma og öskuhlutfalls í kræklingnum. Þessi góða fylgni bendir til að kóbolt sé ásogað snefilefnaríköm

setögnum í meltingarvegi kræklingins 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. Fylgnin gerir einnig grein fyrir því að styrkur kóbólts og þessara sex málma í kræklingi ræðst af styrk þeirra í seti. Dæmi um þessa fylgni er sýnd á mynd 81 og sýnir að bæði búr- og fjörukræklingur hegða sér eins í þessu tilliti.

Mynd 82 sýnir kóbolt í skúfþangi og má þar sjá sömu hegðun og fyrir kræklinginn, stöðvarnar í Straumsvík og Hraunsvík eru með lægri styrk en á viðmiðunarsvæðinu í Hvalfirði, Kattarhöfða.

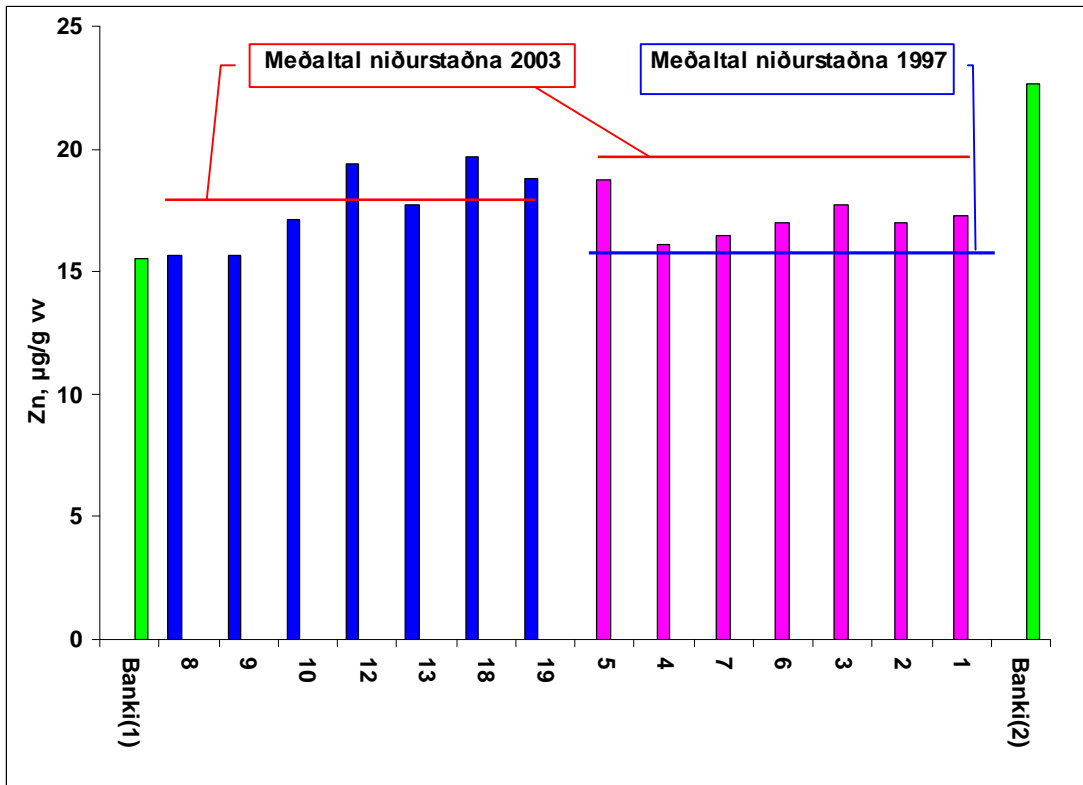


Mynd 82 Kóbolt í skúfþangi á þurrvigtagrunni.

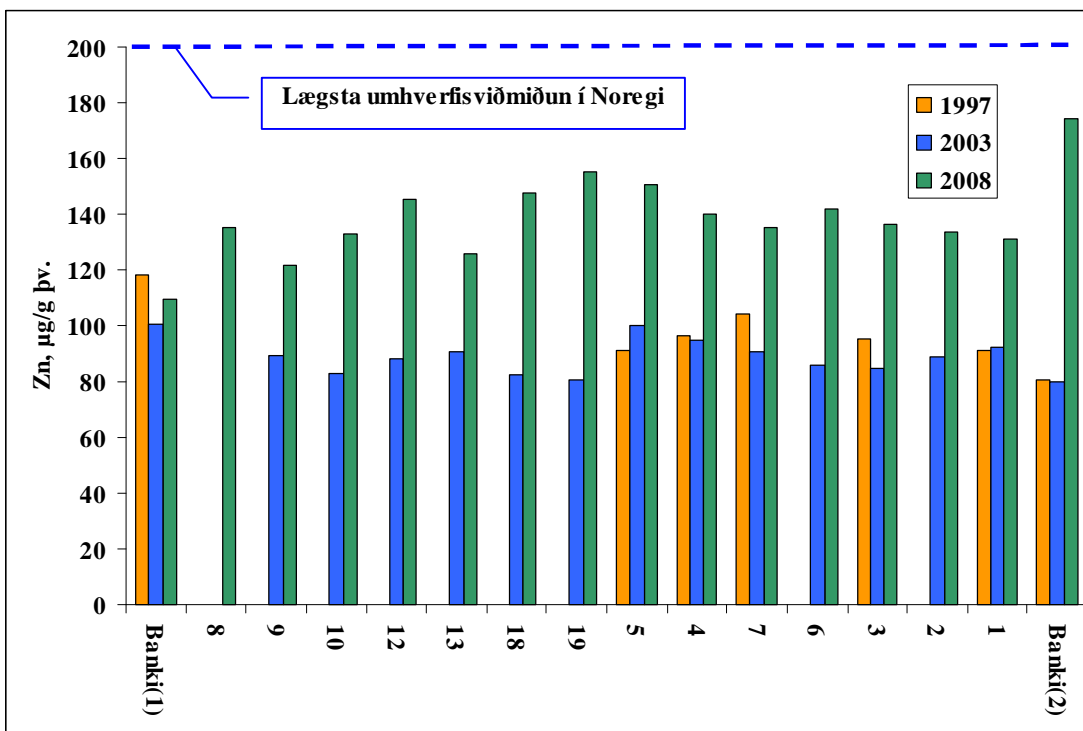
Samantekið má því draga þá ályktun að verksmiðjurekstur álversins hefur ekki áhrif á styrk kóbólts í kræklingi og skúfþangi við álverið.

5.13 Sink

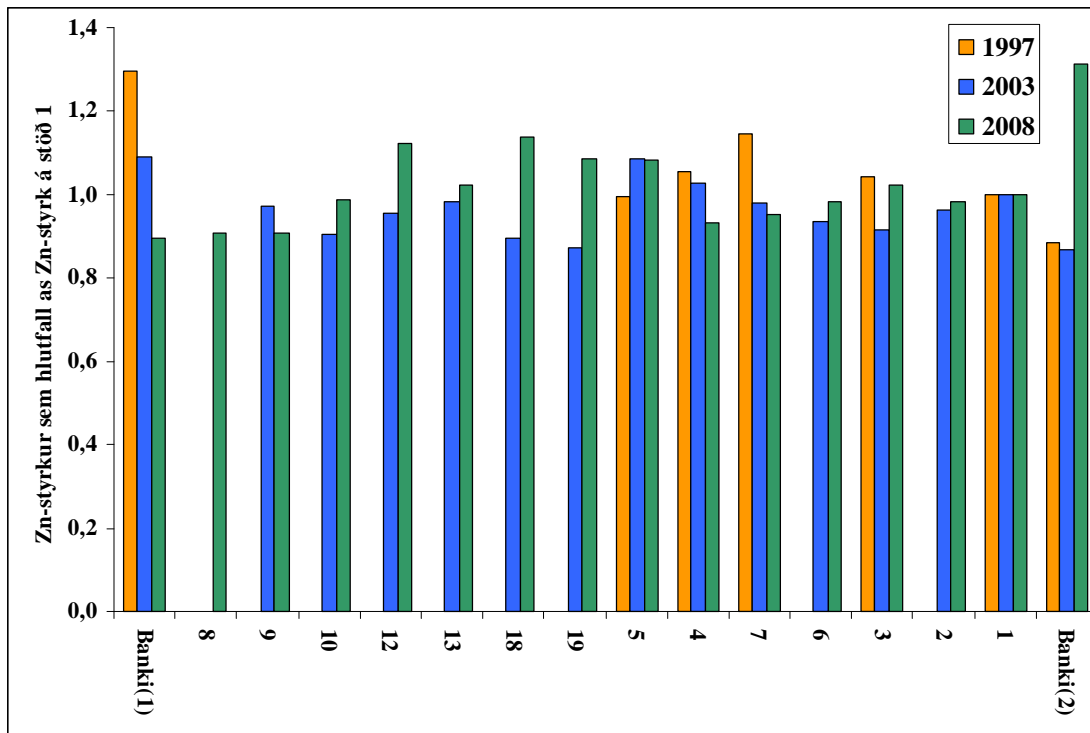
Mynd 83 sýnir styrk sinks í kræklingi á votvigtagrunni. Ekki er marktækur munur á milli innri og ytri stöðvanna (ANOVA, $p > 0,05$). Ekki er marktækur munur á milli banka í upphafi og innri eða ytri stöðva (ANOVA; $p > 0,05$). Sjá má nokkurn breytileika milli ára og verður hann mikill á þurrvigtagrunni á milli annars vegar rannsóknarinnar 2008 og hins vegar rannsónanna 1997 og 2003, sjá mynd 84. 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 votvigtagrunni en þurrvigtagrunni. 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 þriggja. Eins og í tilviki kadmíns má gera má grein fyrir þessu með því að nota stöð 1 sem viðmiðun, þ.e. sýna styrk hvers árs sem hlutfall af styrk á stöð 1, sjá mynd 85. Þegar þetta er gert er ekki marktækur munur á milli ára (parað t-próf; $p > 0,05$). Ekki er unnt að sjá áhrif af verksmiðjurekstri á sinkstyrk búrkrækling og er hann vantt vel undir lægstu viðmiðunarmörkum Norðmanna.



Mynd 83 Sink í búrkræklingi á votvígargrunni.

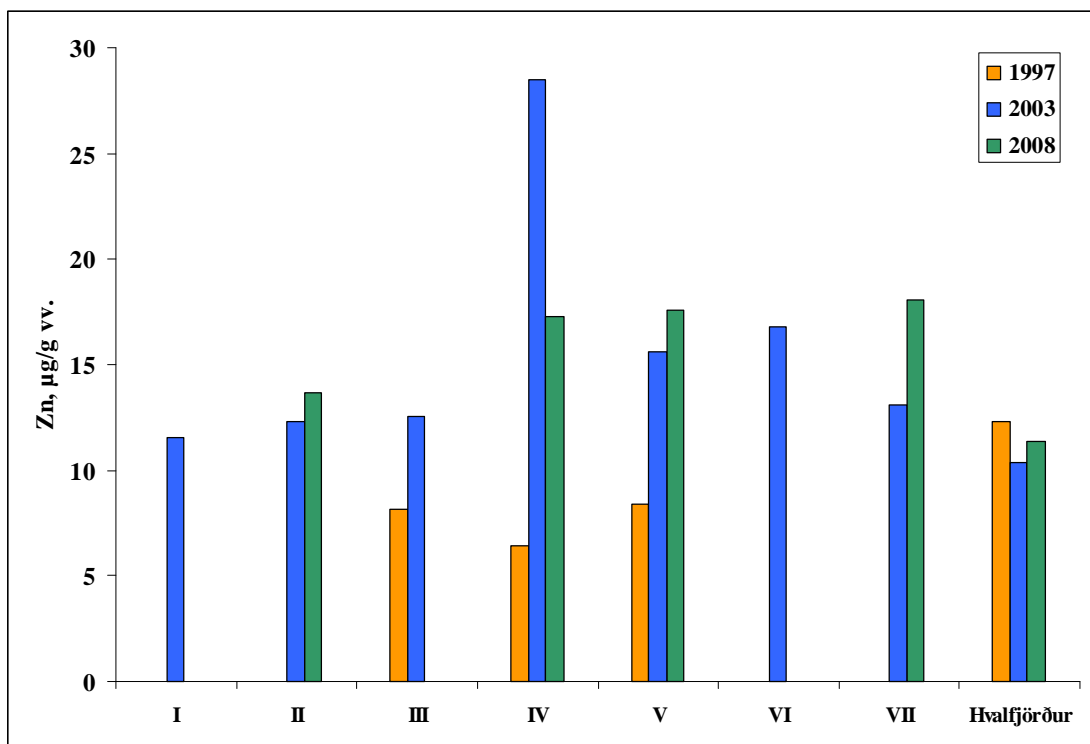


Mynd 84 Sink í búrkræklingi á þurvígargrunni ásamt lágstu umhverfismörkum í Noregi (49).

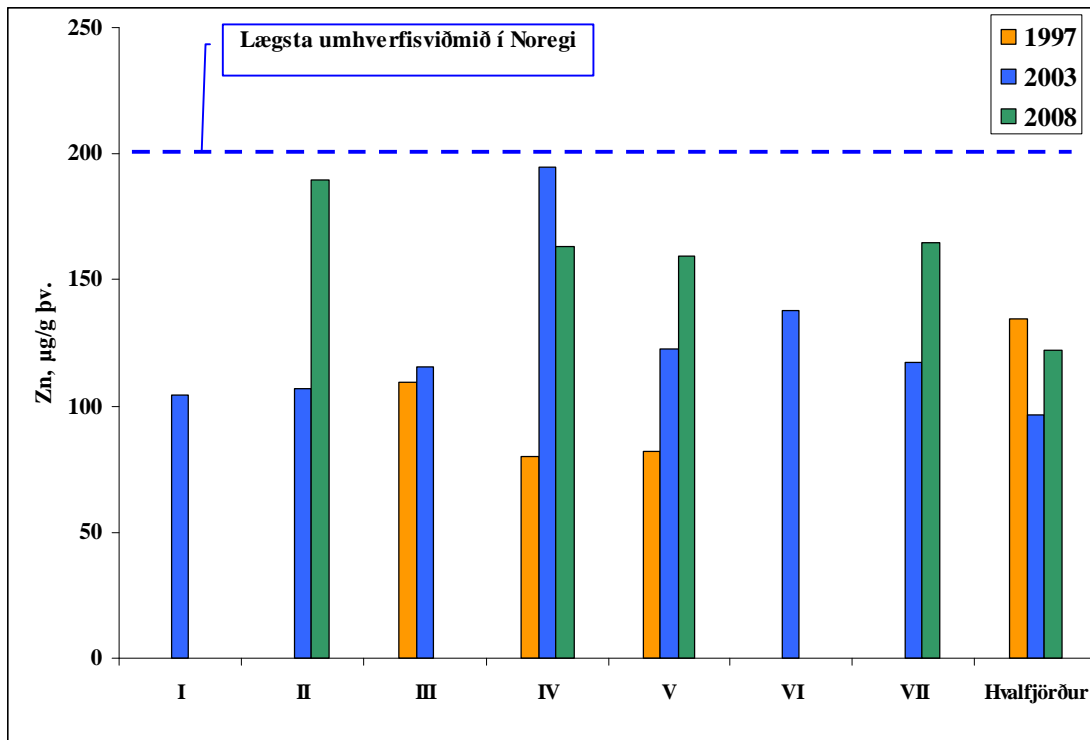


Mynd 85 Sinkstyrkur á þurrvigtargrunni í búrkræklingi sem hlutfall af sinkstyrk á stöð 1 hvert ár.

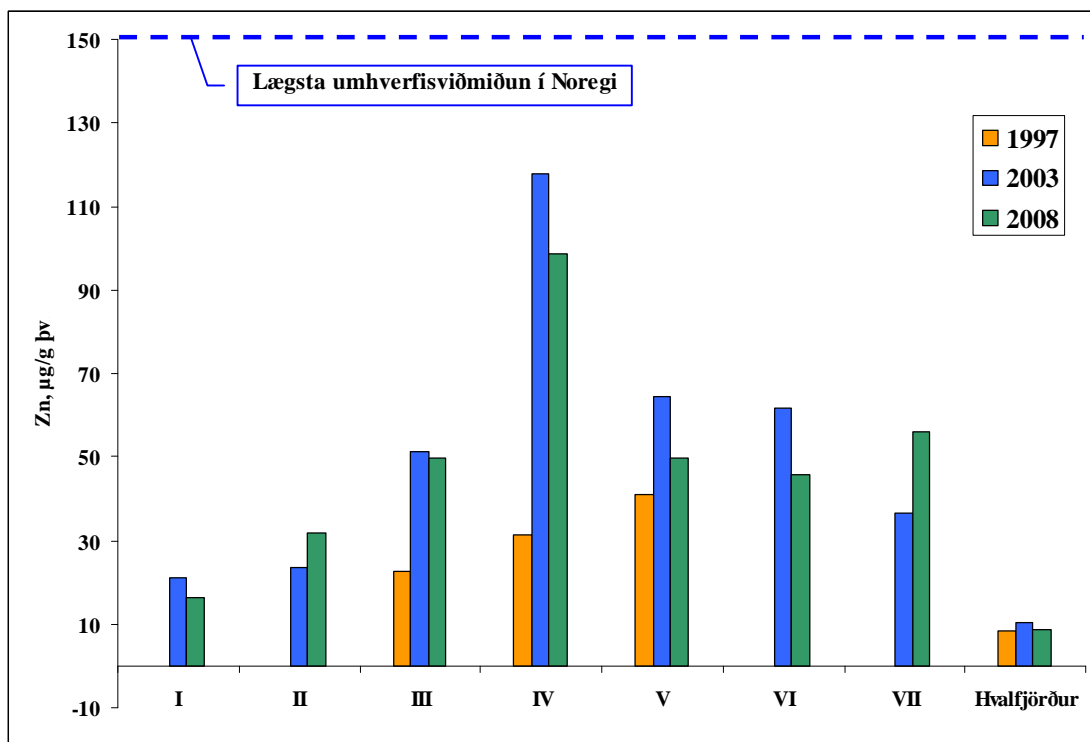
Mynd 86 sýnir styrk sinks í fjörukræklingi á votvigtargrunni og mynd 87 sýnir styrkinn á þurrvigtargrunni vegna samanburðar við umhverfisviðmið í Noregi, sem öll miðast við þurrefnisgrunn. Lítinn breytileika er að sjá í bankasýnunum milli ára en talsverðan í sýnunum á stöðvunum. Ólíkt búrkræklingi er fjörukræklingur líklegur til að hafa snefilefnaríkar setagnir í meltingarvegi sínum. M.a. af þessum sökum er varasamt að bera saman fjörukrækling og búrkrækling almennt.



Mynd 86 Sinkstyrkur á votvigtargrunni í fjörukræklingi.

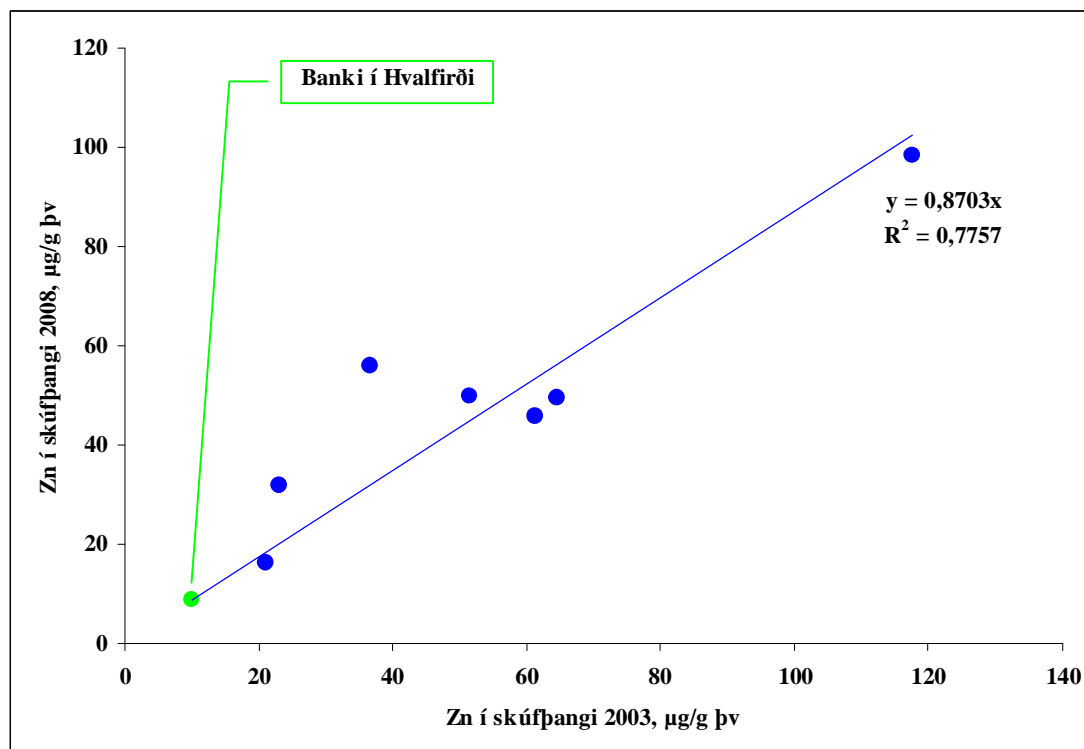


Mynd 87 Sink í fjörkræklingi á þurrvigtargrunni 1997, 2003 og 2008 ásamt lægstu umhverfismörkum í Noregi (49).



Mynd 88 Sink í skúfþangi á þurrvigtargrunn ásamt lægstu viðmiðunarmörkum í Noregi fyrir sink í þangi (bólþang og klóþang) (49).

Miðað við styrk á votvigtagrunni þá virðist sem um áhrifa sé að ræða á sinkstyrk fjörukræklings á stöðvum IV, V og VII. Um litla breytingu er að ræða frá árinu 2003 en lækking er þó marktæk á stöð IV. Þessi áhrif verksmiðjurekstrarins eru staðfest með niðurstöðum fyrir skúfþangið, sjá mynd 88. Allar stöðvarnar eru hærri en viðmiðunin við Kattarhöfða, Hvalfirði, og hæstan styrk er að finna á stöð IV. Athygli vekur fylgni sinkstyrks í skúfþangi árin 2003 og 2008, sjá mynd 89, en ekki er marktækur munur á milli 2003 og 2008 (parað t-próf; $p > 0,05$). Þrátt fyrir að greina megi áhrif verksmiðjurekstrarins á sinkstyrk bæði fjörukræklings og í skúfþangi, þá er sinkstyrkur í báðum tilvikum lægri en lægstu umhverfismörk í Noregi en undir þessum mörkum eru svæði flokkuð sem lítt eða ekki menguð.



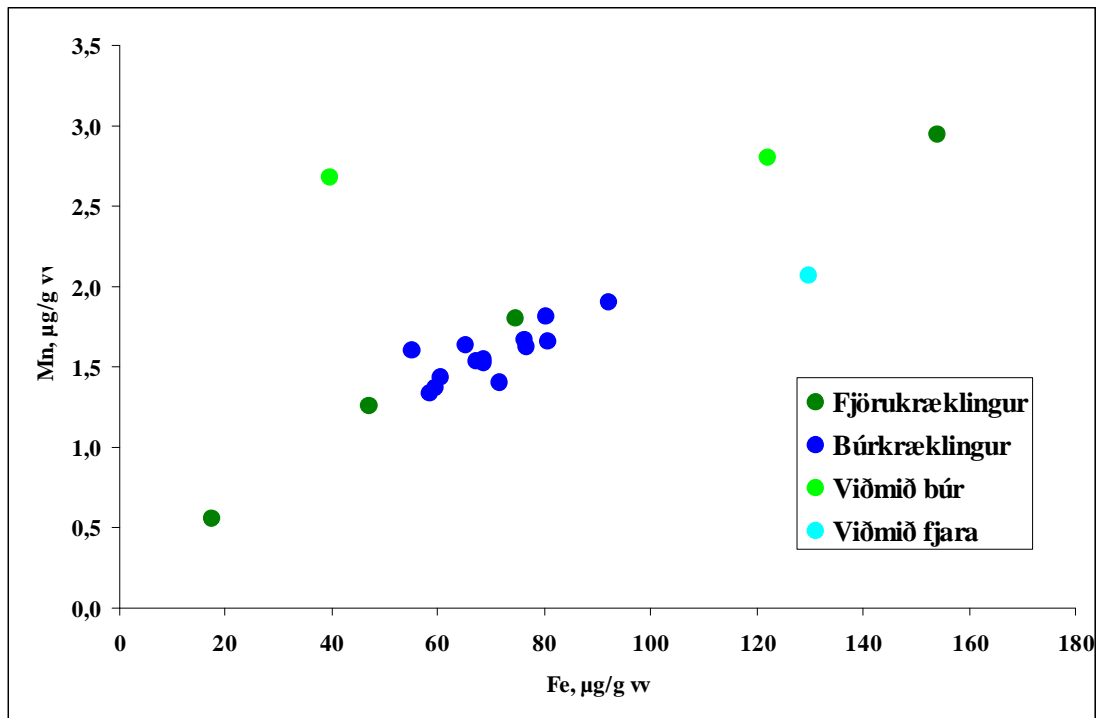
Mynd 89 Fylgni í styrk sinks í skúfþangi fyrir 2003 og 2008.

Samantekið má segja um sink að áhrifa gætir á skúfþang og fjörukrækling og að lítil breyting verði á sinkstyrk frá 2003 til 2008. Áhrifin eru minnst árið 1997. Skúfþang hentar betur til að lýsa aðstæðum er varðar sink og má þar sjá hæstan styrk á stöð IV fyrir miðju álversins og lækka síðan bæði til vesturs og norðausturs. Áhrifin lækka hægar til norðausturs en vesturs og er það í samræmi við stefnu hafstrauma á svæðinu. 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 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 en mynd 90 sýnir samband járns og mangans í fjöru- og búrkræklingi.



Mynd 90 Vensl járns og mangans í kræklingi 2008..

5.15 Samanteknar miðurstöður fyrir ólífræn snefilefni

Aðeins í tilviki flúors, króms, nikkels, vanadíns og sinks má greina áhrif af verksmiðjurekstrinum 2008. Er varðar kopar þá mátti sjá lækkun í styrk kopars í skúfþangi eftir 1997 á stöð III og í fjörukræklingi af stöð IV eftir 2003. Hár styrkur kopars í fjörukræklingi af stöð IV árið 2003 má að nokkru leyti skýra með koparríkum setögnum.

Áhrifa af völdum **flúors** gætir á stöð IV á verksmiðjulóðinni (kræklingur og skúfþang) og merkja má þessi áhrif út að u.þ.b. 50 m frá landi þó í litlu mæli sé. Árið 2003 flokkaðist svæðið við IV og V sem talsvert mengað ("markert forurenset", þriðji flokkur af 5) skv. norskum umhverfismörkum (49) en 2008 flokkast stöð IV og aðeins sú stöð sem nokkuð mengað svæði ("moderat forurenset"). M.ö.o. þá eru áhrifin tiltölulega lítil og afmörkuð við lítið svæði og eru minni 2008 en 2003, umtalsvert minni í tilviki fjörukræklingis.

Styrkur **króms** hefur lækkað umtalsvert í búr- og fjörukræklingi frá því vöktun hófst 1997, mest milli 1997 og 2003. Áhrifa sem gætti í búrkræklingi 2003, lítil hækkun á stöðvum 5 og 4, sjást ekki 2008. Áhrif á fjörukrækling, sem sáust 1997 og 2003 á stöðvum IV og V, eru einnig horfin 2008. Áhrifa gætir í skúfþangi 2008 og nær það aðeins til stöðvar V við norðausturenda álversins, sami styrkur 2003 og 2008, en a.m.k. 2008 má tengja þessa hækkun við setagnir, sem í íslenskri náttúru eru snefilefnaríkar þ.á.m. í króm. Hækkun í styrk króms í fjörukræklingi á stöðinni fjærst í norðaustur frá verksmiðjunni er ólíklega kominn til vegna starfsemi í álverinu en þessa hækkun mátti einnig sjá 2003.

Áhrifa virðist gæta á styrk **nikkels** í skúfþangi en um lítil áhrif er að ræða og ekki óyggjandi, þ.e. jafnhá viðmiðunarþangi 2003. Þessi áhrif ná ekki til búkræklinga í 50 m fjarlægð frá ströndu. Styrkur nikkels í fjörukræklingi hefur hins vegar lækkað verulega á stöðvum IV og V en þessar stöðvar sýndu áður hæstan styrk nikkels og eru jafnframt líklegastar til að vera undir áhrifum verksmiðjurekstrarins. Árið 2008 eru báðar þessar stöðvar undir lægstu viðmiðunarmörkum í Noregi sem lýsa lítt eða ómenguðum svæðum. Hækkun í styrk nikkels í fjörukræklingi á stöðinni fjærst í norðaustur frá verksmiðjunni er ólíklega kominn til vegna starfsemi í álverinu.

Engra áhrifa gætir á styrk **vanadíns** í búkræklingi eða í 50 m fjarlægð frá ströndu. Greina má áhrif á fjörukrækling á stöð V og er um sama styrk að ræða bæði 2003 og 2008. Niðurstöður fyrir skúfþang 2008 staðfesta áhrif á stöð V auk þess sem líkleg áhrif eru á stöð II. Þessi áhrif eru hins vegar mjög lítil að teknu tilliti til styrks á viðmiðunarstöð við Kattarhöfða í Hvalfirði.

Um **sink** má segja að áhrifa gætir á skúfþang og fjörukrækling og að lítil breyting verði á sinkstyrk frá 2003 til 2008. Áhrifin eru minnst árið 1997. Skúfþang hentar betur til að lýsa aðstæðum er varðar sink og má þar sjá hæstan styrk á stöð IV fyrir miðju álversins og lækka síðan bæði til vesturs og norðausturs. Áhrifin lækka hægar til norðausturs en vesturs og er það í samræmi við stefnu hafstrauma á svæðinu. 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 undir lægstu umhverfisviðmiðun í Noregi.

Í tilviki nikkels, króms, kopars og blýs má greina hækkun í búkræklingi á stöðvum 18 og 19 eða norðaustustu stöðvunum. Um litla hækkun er að ræða en hún verður vart rakin til starfsemi verksmiðjunnar í Straumsvík.

Engra áhrifa af verksmiðjurekstri gætir á eftirfarandi snefilefni í þessari rannsókn: ál, arsen, blý, kadmín, kopar, kóbolt, járn, kvikasilfur og mangan. Almenn má einnig segja er varðar þau snefilefni, sem verksmiðjurekstur hefur haft áhrif á og miðað er við rannsóknirnar 1997 og 2003, þá sé um óbreyttan styrk að ræða (vanadín og sink) eða lækkun í styrk (flúor, króm og nikkell).

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 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. 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 ólífrænu efnanna og gerir túlkun gagnanna örðuga. Af þeim sökum er lagt til að fundinn verði nýr viðmiðunarstaður nokkuð vestan við stöð I við vöktun svæðisins í framtíðinni með kræklingi og þangi.

6. NIÐURSTÖÐUR MÆLINGA Á PAH-EFNUM

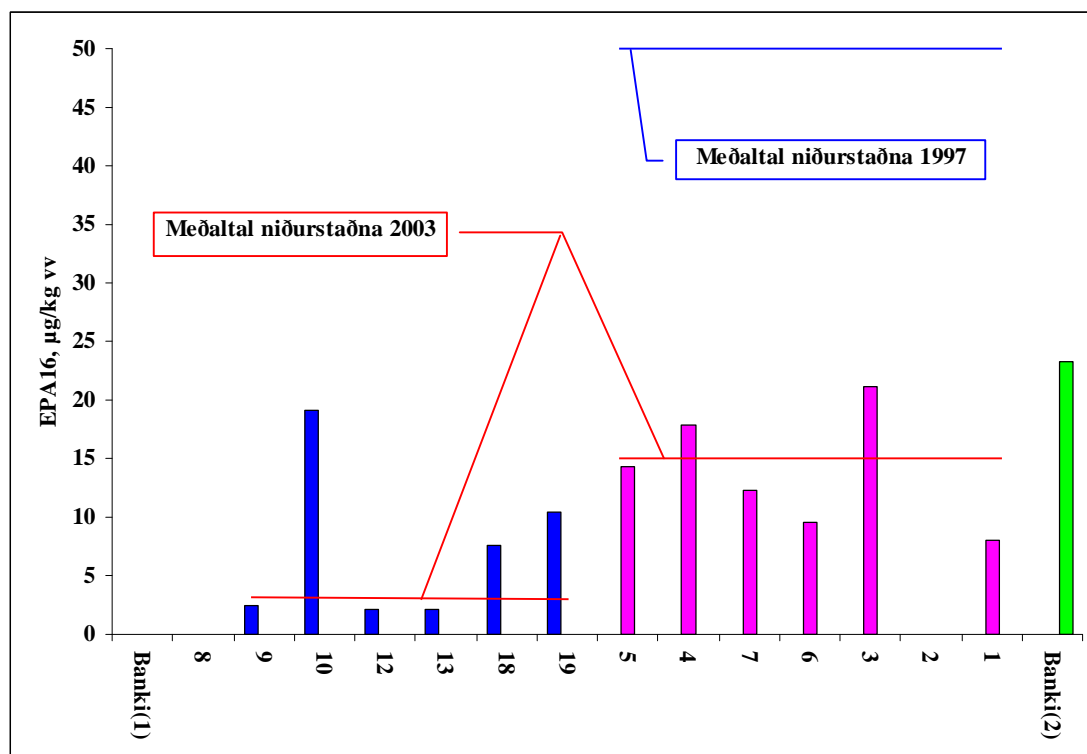
Niðurstöður allra mælinga er að finna í viðauka V.

6.1 EPA16

Búrkræklingur

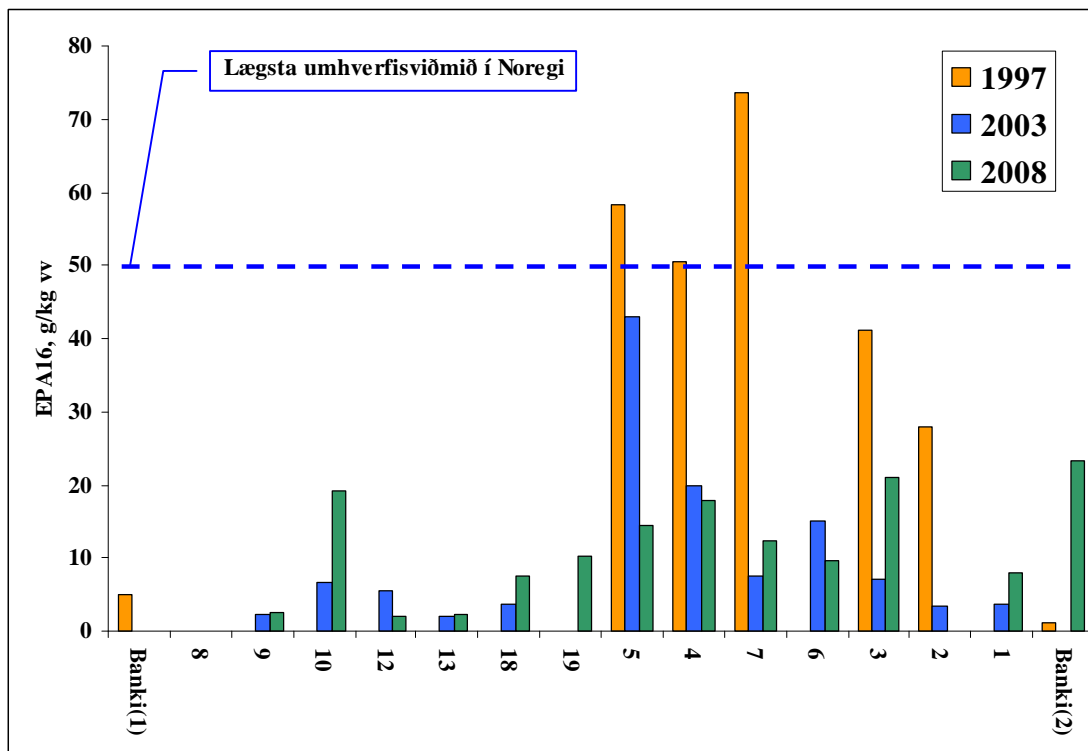
Mynd 91 sýnir styrk mælanlegra EPA16 í búrkræklingi á votvigtargrunni ásamt meðaltölum fyrir rannsóknirnar bæði 1997 og 2003. Sjá má að banki í lokinn gefur hæstan styrk EPA16 árið 2008 og kemur þar aðallega til niðurstaða fyrir antrasen, sem er um 64% af mældu gildi fyrir EPA16 fyrir banann en í bankanum mældist einnig fenantren (18%), fluoranten (10%) og pyren (8%). Ekkert efnanna mældist yfir greiningarmörkum í bankanum í upphafi. Þetta háa gildi í banka í lokin gefur til kynna að styrkurinn í búrsýnunum sé tiltölulega lágur. Ekki er marktækur munur á ytri búrunum og innri búrunum (ANOVA; $p > 0,05$) og kemur þar til hátt gildi á stöð 10 því ef þeirri stöð er sleppt reynist styrkurinn í innri búrunum verra marktækt hærri ($p < 0,05$). Eins og fram kom að ofan (kafla 1.1.1), þá hafði búr 10 flust til og því sem næst verið á stöð 12 er búr voru sótt. Mismunur í gildum á stöðvum 10 og 12 bendir til að búr 10 hafi flust til skömmu áður en búr voru sótt. Á stöð 10 mælast 10 PAH-efni af 16 yfir greiningarmörkum og öll í áþekktum styrk (fenantren, fluoranten, pyren, bens(a)antrasen, krysen, benx(b)fluoranten, bens(k)fluoranten, bens(a)pyren, benso(ghi)perylene og indeno(123c)pyren). Ekki er mikinn munur að sjá í hlutfallslegri dreifingu PAH-efnanna milli 2003 og 2008.

Mynd 91 gefur til kynna að styrkur EPA16 2008 hafi verið áþekktur og hann var 2003 en að styrkurinn 1997 hafi verið umtalsvert hærri.



Mynd 91 Mælanleg EPA16 í kræklingi á votvigtargrunni ásamt meðaltölum áranna 1997 og 2003. Þegar engin súla er sýnd, þá er niðurstaða lægri en greiningarmörk.

Mynd 92 sýnir allar niðurstöður árána 1997, 2003 og 2008 og má þar sjá að aðeins 1997 fór styrkur EPA16 yfir lágstu umhverfisviðmið í Noregi. Árið 2008 er styrkur meir en helmingi lægri en lágstu umhverfisviðmið í Noregi en þessi lágstu viðmið er talin endurspeglar lítt eða ómenguð svæði. Mynd 92 sýnir einnig að eftir 1997 hafi styrkur lækkað en er áþekkur 2003 og 2008 að stöð 5 undanskilinni en þar má sjá verulega lækkingu á styrk EPA16 frá 2003 til 2008. Hins vegar er styrkur á stöð 3 meir en tvöfalt hærri á stöð 3 árið 2008 samanborið við 2003 en hann er þó vel undir lágstu umhverfismörkum í Noregi. Eins og mynd 92 sýnir glögglega þá hverfa EPA16-efnin hratt er frá dregur verksmiðjussvæðinu.



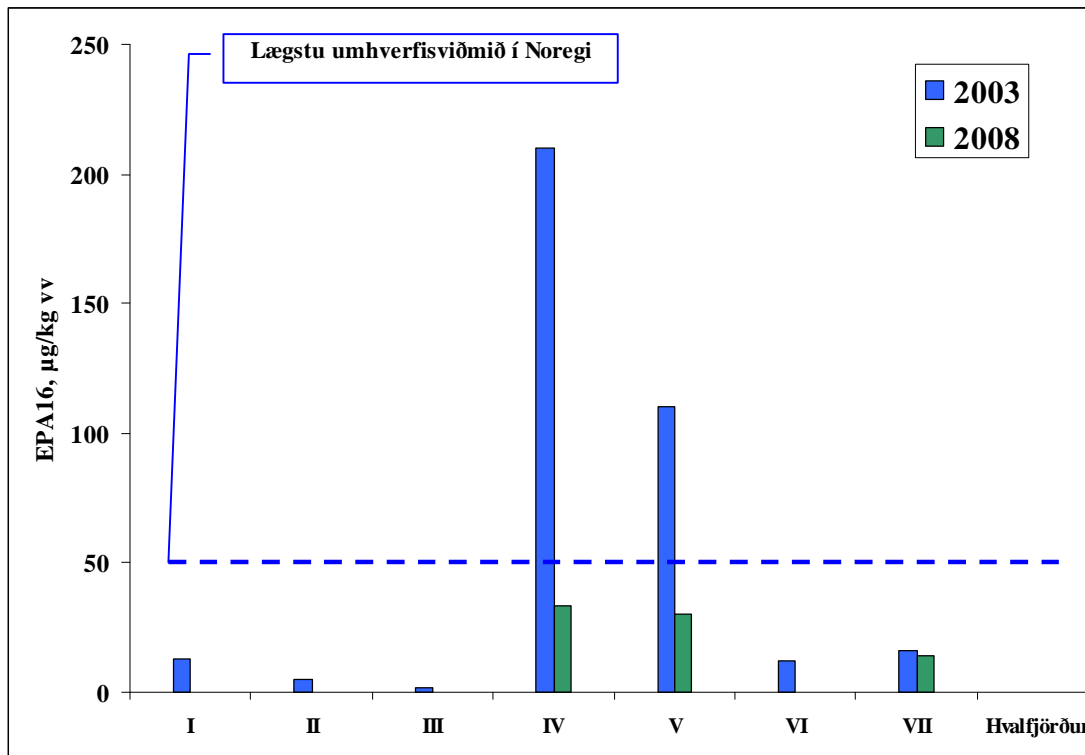
Mynd 92 Mælanleg EPA16 í búkræklingi á votvigtargrunni ásamt lágstu umhverfismörkum Norðmanna, en styrkur undir þeim mörkum lýsa lítt eða ekki menguðum svæðum (49). Þegar engin súla er sýnd fyrir 2008, þá er niðurstöðu lægri en greiningarmörk.

Fjörukræklingur

Mynd 93 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. Af þessum sökum eru niðurstöður frá 1997 ekki sýndar á mynd 93. Kræklingur úr búrum hefur hins vegar ávallt verið tekinn beint til mælinga og því eru niðurstöður allra þriggja árána sambærilegar fyrir búkræklinginn.

Mynd 93 sýnir að styrkur EPA16 hefur lækkað verulega frá 2003 til 2008. Á stöð IV, sem mælast hæst, hefur styrkurinn lækkað u.þ.b. sexfalt. Hins vegar er ekki mikinn munur að sjá í hlutfallslegri dreifingu PAH-efnanna milli 2003 og 2008. Í öðru lagi má sjá að talsvert minni munur er á fjörukræklingi og búkræklingi (innri stöðvar)

2008 en 2003 en fjörukræklingur er hærri en úr búrum eins og búast mátti við, þ.e. lækunin í styrk er frá dregur verksmiðjusvæðinu. Í þriðja lagi reynist fjörukræklingur 2008 fara undir lágstu umhverfisviðmið í Noregi en þau lýsa lítt eða ómengduðum svæðum (49). Þess er að geta að greiningarmörk fyrir stöð II árið 2008 er 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.



Mynd 93 Mælanleg EPA16 í fjörukræklingi á votvigtargrunni ásamt lágstu 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).

Skúfþang

Er varðar þang reynast öll sýni 2008 vera undir greiningarmörkum en þau eru hlutfallslega há, sjá töflu 6. Þessi háu greiningarmörk 2008 gera samanburð við fyrri ár ógerlegan. Engin umhverfismörk hafa verið sett fyrir PAH-efni í þangi í Noregi (49).

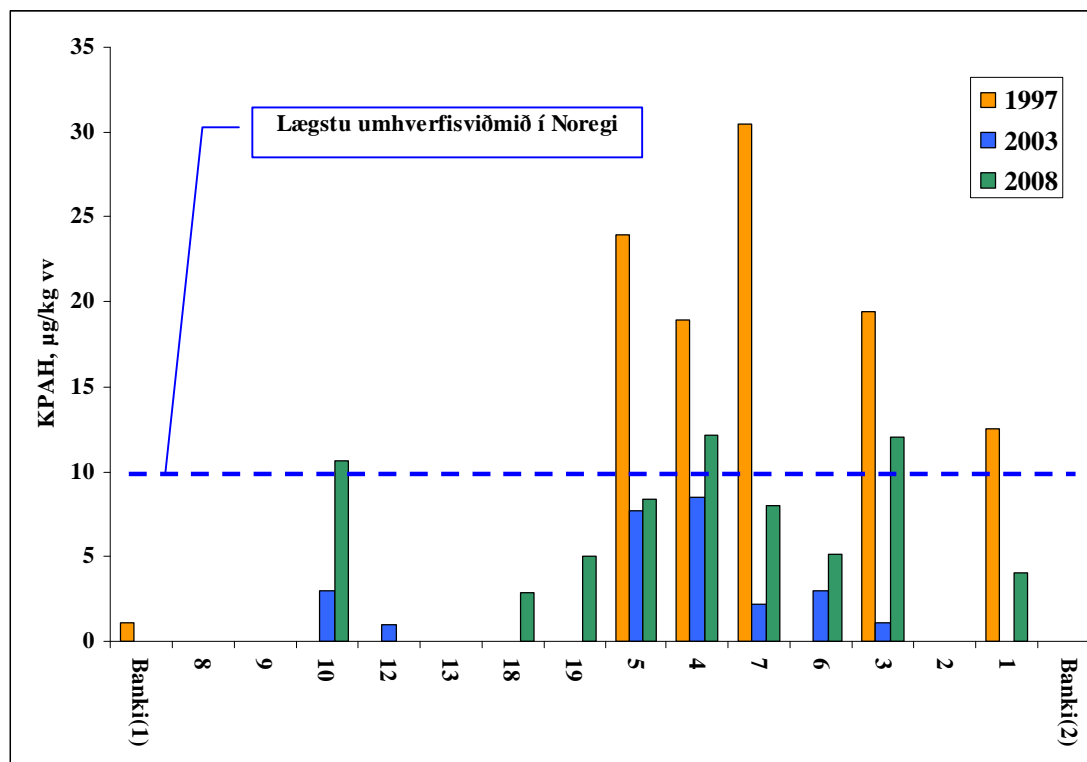
Tafla 6 EPA15 í skúfþangi

Stöð	EPA16, µg/kg þv		
	1997	2003	2008
Hvalfjörður	0,6	1,5	<50
II	-	3,6	<50
III	27	3,3	<50
IV	22	21	<50
V	6,7	31	<50
VI	-	6,7	<50
VII	-	4	<50

6.2 KPAH

Búrkræklingur

Mynd 94 sýnir mælanleg krabbameinsvaldandi PAH-efni (KPAH) í búrkræklingi en hér er átt við stjörnumerktu efnin í töflu 3 að benso(ghi)perylene undanskildu. 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).



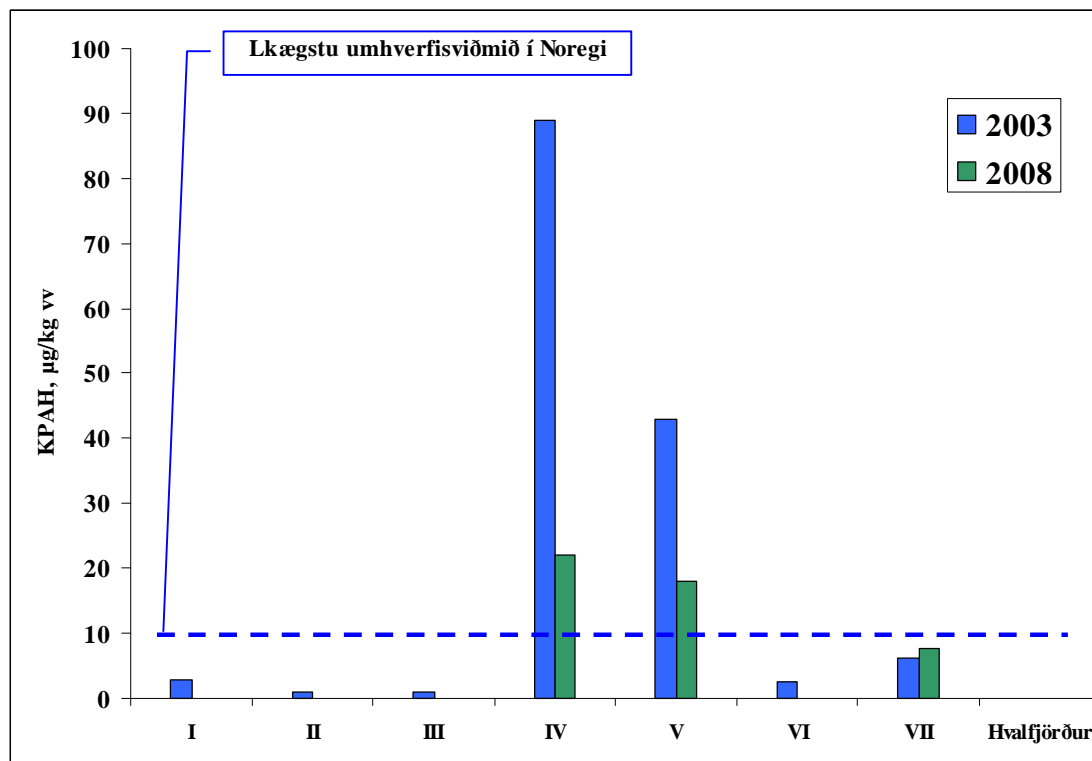
Mynd 94 Mælanleg KPAH-efni í búrkræklingi á votvigtargrunni ásamt lögstu umhverfismörkum Norðmanna, en styrkur undir þeim mörkum lýsa lítt eða ekki menguðum svæðum (49). Þegar engin súla er sýnd fyrir 2008, þá er niðurstaða lægri en greiningarmörk.

Mynd 94 sýnir að árið 1997 var styrkur KPAH-efna ávallt yfir lögstu umhverfismörkum í Noregi 1en 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. Lækkun frá vestri frá stöð 5 til norðausturs, sem sjá mátti á nærstöðvunum 2003, er ekki eins skýr 2008. Ástæða mismunar milli ára gæti komið til af breytileika niðurstaðna frá einum tíma til annars en t.d. árstíð og þ.a.l. umhverfispættir, 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 umtalsvert meira 2003 en 1997 og meira 2003 en 2008 en mismunandi vöxtur bendir til ólíkra skilyrða þessi þr og jú ár.

Athygli vekur að stöðvar 18 og 19 sýna mælanlegan styrk KPAH-efna 2008, þ.e. stöðvarnar norðaustast á svæðinu, en ekki 1997 og 2003. Þessi hegðun svipar því til hegðunar Ni, Cr, Cu og Pb en þessir málmar sýndu hækkun á þessum tveimur stöðvum.

Fjörukræklingur

Mynd 95 sýnir KPAH-efni í fjörukræklingi en af sömu ástæðu og fyrir EPA16 er kræklingurinn frá 1997 ekki hafður með í þessum samanburði. Eins og við var að búast, þá er styrkur hærri í fjörukræklingi en búrunum á nærsvæðinu (stöðvar 1-7). 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, 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).



Mynd 95 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 fyrir 2008, þá er niðurstaða lægri en greiningarmörk (stöðvar II og banki) eða sýni ekki fyrirbyggjandi (stöðvar I, III og VI).

Skúfþang

Er varðar þang reynast öll sýni 2008 vera undir greiningarmörkum en þau eru hlutfallslega há, sjá töflu 7. Eins og í tilviki EPA16, þá gera þessi háu greiningarmörk 2008 samanburð við fyrri ár örðugan. Engin umhverfismörk hafa verið sett fyrir KPAH-efni í þangi í Noregi (49).

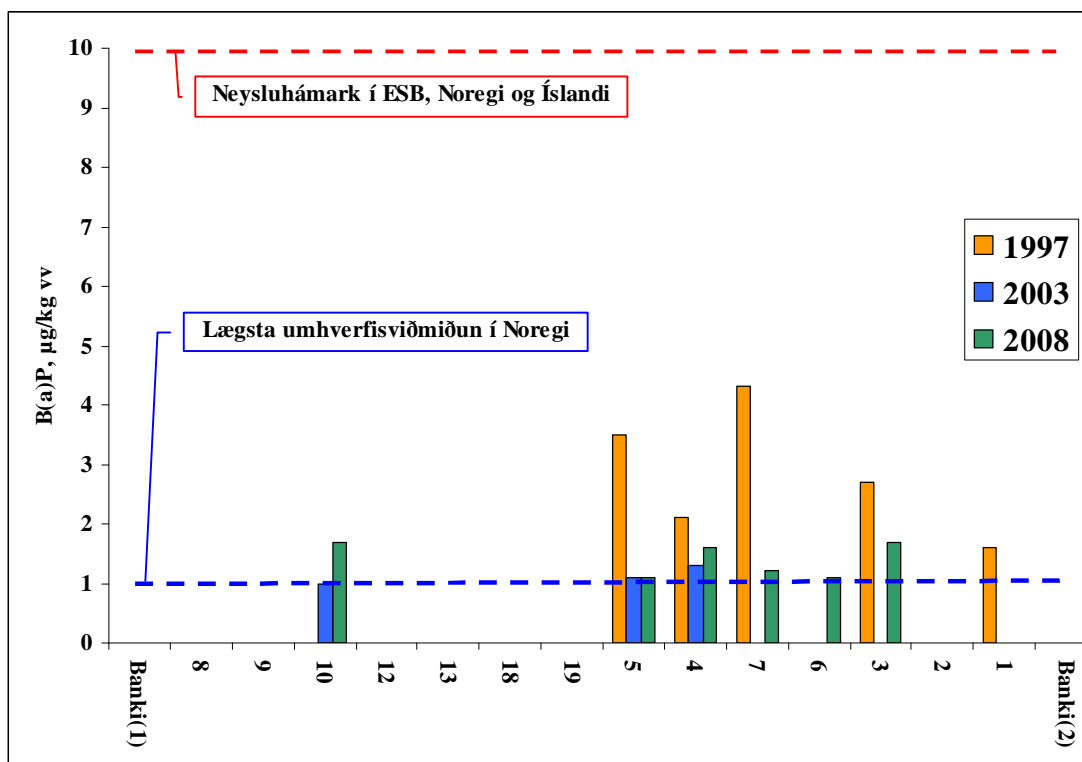
Tafla 7 KPAH í skúfþangi

Stöð	KPAH, $\mu\text{g}/\text{kg}$ þv		
	1997	2003	2008
I	-	<4	<20
II	-	<4	<20
III	7,6	<4	<20
IV	3,4	11	<20
V	<4	12	<20
VI	-	<4	<20
VII	-	<4	<20
Hvalfjörður	5,5	<4	<20

6.3 Benso(a)pyren

Búrkræklingur

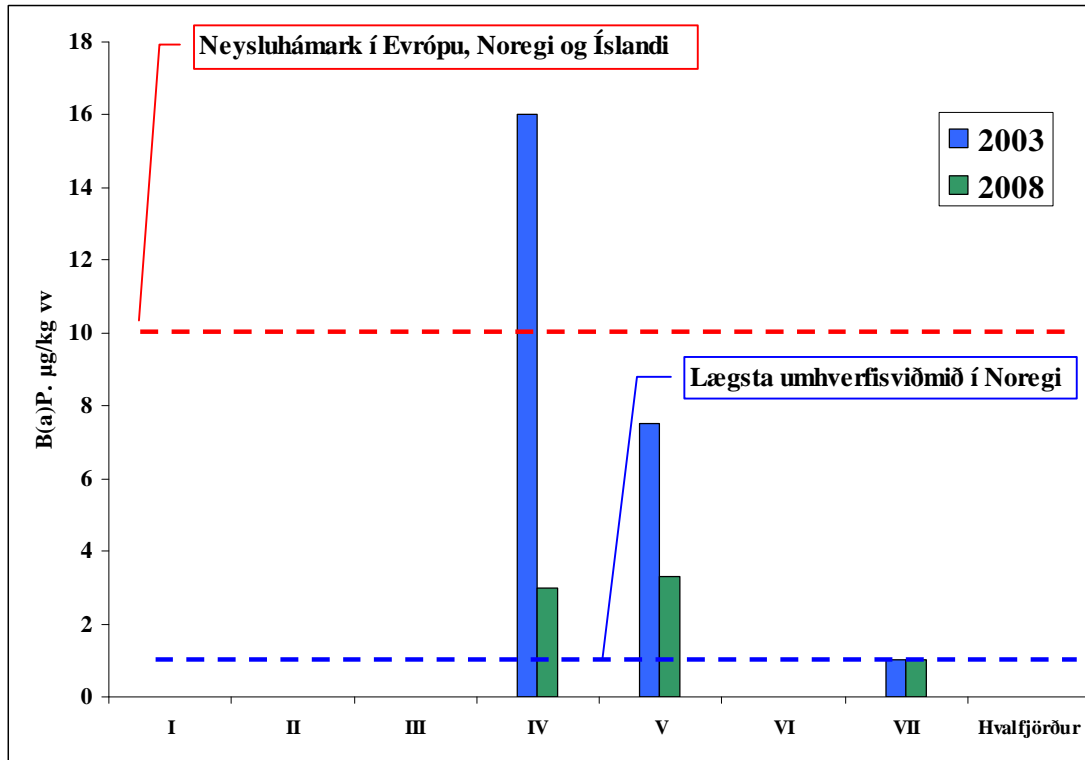
Benso(a)pyren, B(a)P, er lýst sérstaklega því bæði eru fyrir hendi umhverfismörk í Noregi fyrir B(a)P (49) og hámarksgildi er á B(a)P í matvælum (97). Mynd 96 sýnir B(a)P í búrkræklingi á votvigtargrunni og má enn sjá lækkun frá 1997 til 2003. Styrkur B(a)P fyrir búrkrækling 2008 er áþekkur styrk 2003. Minnsti mælanlegi styrkur aðferðarinnar bæði árin 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. Styrkur B(a)P 2003 og 2008 er minni en 20 % af hámarksgildi á B(a)P í kræklingi til mannelis í Evrópu.



Mynd 96 Mælanlegt B(a)P í búrkræklingi á votvigtargrunni ásamt lægstu umhverfismörkum Norðmanna og neyslukahámarki fyrir krækling í Evrópu. Þegar engin súla er sýnd, þá er niðurstaða lægri en greiningarmörk ($0,5\mu\text{g}/\text{kg}$ 1997 en $1\mu\text{g}/\text{kg}$ 2003 og 2008).

Fjörukræklingur

Mynd 97 sýnir styrk B(a)P í fjörukræklingi á votvigtargrunni. Aðeins á stöðvum IV, V og VII er styrkur B(a)P mælanlegur. 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 2008 en 2003 reyndist aðeins stöð IV yfir því. Lægstu umhverfismörk í Noregi eru lægri en mældur styrkur á stöðvum IV og V en þessi umhverfismörk eru jöfn greiningarmörkum mæliaðferðarinnar og tífalt lægri en neysluhámark fyrir krækling. Mældur styrkur B(a)P í fjörukræklingi 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 fyrirleggjandt (stöðvar I, III og VI). Engin súla 2003 þýðir að niðurstaða er undir greiningarmörkum (1µg/kg vv).

Skúfþang

Öll sýni af skúfþangi 2008 reyndust vera undir greiningarmörkum aðferðarinnar en þau eru hlutfallslega há, sjá töflu 8. Eins og í tilviki EPA16 og KPAH, þá gera þessi háu greiningarmörk 2008 samanburð við fyrri ár örðugan. Miðað við að þurrefnisinnihald þangs sé um 10-20%, þá væri styrkur í þangi á votvigt 0,5-1 µg/kg vv en 1µg/kg er jafnframt lægstu mörk á B(a)P í matvælum í Evrópu. Af þessu leiðir að skúfþangið í fjörum við og nálægt verksmiðjusvæðinu stæðist ströngustu mörk fyrir matvæli í Evrópu. Engin umhverfismörk hafa verið sett fyrir B(a)P í þangi í Noregi (49).

Tafla 8 B(a)P í skúfþangi

Stöð	B(a)P, µg/kg þv		
	1997	2003	2008
I	-	<1	<5
II	-	<1	<5
III	1,9	<1	<5
IV	0,6	2,2	<5
V	<0.5	2,4	<5
VI	-	<1	<5
VII	-	<1	<5
Hvalfjörður	1,5	<1	<5

6.4 Samantekið um PAH-efni

Meginuppspretta PAH-efna virðist vera á móts við búkrækling á stöð 5 eða nokkru vestan við það svæði. Öll PAH-efnin, sem mæld voru, sýna hraða lækkun er frá dregur verksmiðjussvæðinu.

Styrkur EPA16, KPAH og B(a)P lækkar talsvert í búkræklingi eftir 1997 en almennt mælist áþekkur styrkur í búkræklingi 2003 og 2008. Hins vegar reynist styrkur EPA16, KPAH og B(a)P lækka umtalsvert í fjörukæklingi frá 2003 til 2008. 2008 reynist allur kræklingur vera vel undir hámarksgildi á B(a)P fyrir krækling til mannelis, hæsti kræklingur í fjöru meðtalinn.

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 2008 (og 2003) lægri eða á svipuðum nótum og hann gerist til mannelis 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

Almennt þreifst kræklingurinn mjög vel við og í næsta nágrenni við álverið og breytileiki í líffræðilegum þáttum í þessari rannsókn átti sér líklegast náttúrulegar orsakir.

Er varðar ólífrænu snefilefnin má skipta þeim í þrjá hópa eftir hegðun sinni í þessari rannsókn. Engra áhrifa af verksmiðjurekstri gætir á eftirfarandi snefilefni í þessari rannsókn: ál, arsen, blý, kadmín, kopar, kóbolt, járn, kvikasilfur og mangan. Almennt má einnig segja er varðar þau snefilefni, sem verksmiðjurekstur hefur haft áhrif á og miðað er við rannsóknirnar 1997 og 2003, þá sé um óbreyttan styrk að ræða (vanadín og sink) eða lækkun í styrk (flúor, króm og nikkell).

Í tilviki kvikasilfurs, kadmíns og blýs (og aðeins þessara ólífrænu snefilefna) hafa verið sett hámarksgildi fyrir fiskmeti til mannelis 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 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 búrkræklingi því fjörukræklingur er líklegur til að hafa snefilefnaríkar setagnir í meltingarvegi sínum. 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 ólífrænu efnanna og gerir túlkun gagnanna örðuga. Af þeim sökum er lagt til að fundinn verði nýr viðmiðunarstaður nokkuð vestan við stöð I við vöktun svæðisins í framtíðinni með kræklingi og þangi.

Meginuppspretta PAH-efna virðist vera á móts við búrkrækling á stöð 5 eða nokkru vestan við það svæði. Öll PAH-efnin, sem mæld voru, sýna hraða lækun er frá dregur verksmiðjusvæðinu.

Styrkur EPA16, KPAH og B(a)P lækka talsvert í búrkræklingi eftir 1997 en almennt mælist áþekkur styrkur í búrkræklingi 2003 og 2008. Hins vegar reynist styrkur EPA16, KPAH og B(a)P lækka umtalsvert í fjörukræklingi frá 2003 til 2008. 2008 reynist allur kræklingur vera vel undir hámarksgildi á B(a)P fyrir krækling til mannelis, hæsti kræklingur í fjöru meðtalinn.

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 mannelis 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 Glømmi. 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.
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.
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 semivolatiles 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).
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.Environ.*, 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.
56. Rygg, B., & Green, N. 1981. Resipientundersøgelse ved avfallstipp 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.Environ.*, 163: 11-23.
59. Sigurður H. Magnússon 2002. Pungmálmar 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. *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 upplestytra efna úr flæðigrýfjum 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.EnvIRON.Cont.Toxicol.*, 46(1991)473.
- 74 D.Martincic *et al.*, *Sci.Tot.EnvIRON.*, 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.EnvIRON.Contam.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.EnvIRON.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.EnvIRON.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. Lares, M.L., 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.
98. Guðjón Atli Auðunsson 2005. Kræklingrannsóknir: 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.

VIÐAUKI I

LÍFFRÆÐILEGIR ÞÆTTIR SÝNA ÚR BÚRUM

VIÐAUKI I

Líffræðilegir þættir búkræklings

Síða 1 af 4

0, 1						
Fjöldi í búri	120					
Fjöldi dauð	4					
Fjöldi í sýni	110					
	Þyngd	Þyngd holdyngd	skelji	Lengd	Hæð	Breidd
	g	g	g	mm	mm	mm
Miðgildi	2,71	1,43	1,06	30,3	11,2	16,0
Meðaltal	2,77	1,55	1,08	30,3	11,3	15,9
Staðalfrávil	0,83	0,52	0,30	3,0	1,2	1,6
Min	1,00	0,55	0,42	21,9	7,9	11,7
Max	5,59	3,39	2,01	37,3	14,8	19,0

0, 2						
Fjöldi í búri	356					
Fjöldi dauð	2					
Fjöldi í sýni	110					
	Þyngd	Þyngd holdyngd	skelji	Lengd	Hæð	Breidd
	g	g	g	mm	mm	mm
Miðgildi	5,14	2,53	2,20	35,9	15,4	19,2
Meðaltal	5,11	2,64	2,19	36,0	15,3	19,2
Staðalfrávil	1,46	0,99	0,52	3,8	1,8	1,8
Min	1,95	0,68	0,99	26,1	11,2	14,4
Max	9,16	5,38	3,34	46,3	19,6	23,6

S, 10						
Fjöldi í búri	127					
Fjöldi dauð	4					
Fjöldi í sýni	110					
	Þyngd	Þyngd holdyngd	skelji	Lengd	Hæð	Breidd
	g	g	g	mm	mm	mm
Miðgildi	3,73	2,09	1,67	33,2	12,7	17,6
Meðaltal	3,87	2,13	1,67	32,4	12,8	17,6
Staðalfrávil	1,35	0,79	0,50	5,8	1,6	2,0
Min	1,00	0,67	0,67	1,0	9,5	12,1
Max	7,64	4,14	3,25	41,2	19,2	22,0

S, 12						
Fjöldi í búri	121					
Fjöldi dauð	1					
Fjöldi í sýni	110					
	Þyngd	Þyngd holdyngd	skelji	Lengd	Hæð	Breidd
	g	g	g	mm	mm	mm
Miðgildi	3,95	2,25	1,62	33,3	13,3	17,8
Meðaltal	3,94	2,25	1,61	32,6	13,2	17,6
Staðalfrávil	1,13	0,68	0,43	5,3	1,5	1,6
Min	1,65	0,98	0,64	2,0	10,0	13,4
Max	6,43	3,74	2,59	38,6	17,6	20,8

VIÐAUKI I

Líffræðilegir þættir búkræklings

Síða 2 af 4

S, 5						
Fjöldi í búri	124					
Fjöldi dauð	1					
Fjöldi í sýni	110					
	Þyngd	Þyngd holdyngd	skelji	Lengd	Hæð	Breidd
	g	g	g	mm	mm	mm
Miðgildi	3,86	2,17	1,57	33,2	13,0	17,5
Meðaltal	3,89	2,19	1,61	32,5	13,0	17,7
Staðalfrávil	1,01	0,63	0,38	5,0	1,3	1,7
Min	1,72	0,75	0,75	3,0	9,7	14,1
Max	6,65	3,88	2,70	39,5	15,9	22,2

S, 4						
Fjöldi í búri	118					
Fjöldi dauð	3					
Fjöldi í sýni	110					
	Þyngd	Þyngd holdyngd	skelji	Lengd	Hæð	Breidd
	g	g	g	mm	mm	mm
Miðgildi	3,92	2,20	1,57	33,5	13,2	17,6
Meðaltal	3,93	2,21	1,57	32,9	13,1	17,5
Staðalfrávil	0,94	0,60	0,34	4,8	1,4	1,5
Min	1,90	0,94	0,85	4,0	9,5	13,9
Max	6,48	3,96	2,44	40,7	19,7	21,2

S, 7						
Fjöldi í búri	111					
Fjöldi dauð	3,5					
Fjöldi í sýni	107					
	Þyngd	Þyngd holdyngd	skelji	Lengd	Hæð	Breidd
	g	g	g	mm	mm	mm
Miðgildi	3,79	2,14	1,48	33,2	12,8	17,5
Meðaltal	3,80	2,12	1,52	32,5	12,8	17,4
Staðalfrávil	1,00	0,62	0,37	4,8	1,3	1,7
Min	1,60	0,90	0,70	5,0	9,4	12,4
Max	6,10	3,74	2,28	39,7	16,0	20,5

S, 9						
Fjöldi í búri	121					
Fjöldi dauð	2					
Fjöldi í sýni	110					
	Þyngd	Þyngd holdyngd	skelji	Lengd	Hæð	Breidd
	g	g	g	mm	mm	mm
Miðgildi	3,76	2,07	1,52	32,9	12,8	17,5
Meðaltal	3,68	2,08	1,51	32,7	12,6	17,2
Staðalfrávil	1,02	0,63	0,39	3,4	1,3	1,8
Min	1,78	0,98	0,75	25,7	9,9	12,7
Max	5,96	3,54	2,37	39,2	15,4	20,8

VIÐAUKI I

Líffræðilegir þættir búkræklings

Síða 3 af 4

S, 6						
Fjöldi í búri	119					
Fjöldi dauð	2					
Fjöldi í sýni	110					
	Þyngd	Þyngd holdyngd	skelji	Lengd	Hæð	Breidd
	g	g	g	mm	mm	mm
Miðgildi	3,94	2,19	1,58	33,1	12,9	17,6
Meðaltal	4,08	2,26	1,64	32,7	13,0	17,7
Staðalfrávil	1,20	0,71	0,44	4,9	1,6	1,8
Min	1,07	0,61	0,44	6,0	8,4	12,4
Max	7,44	4,49	2,74	40,2	18,3	22,3

S, 3						
Fjöldi í búri	112					
Fjöldi dauð	3					
Fjöldi í sýni	110					
	Þyngd	Þyngd holdyngd	skelji	Lengd	Hæð	Breidd
	g	g	g	mm	mm	mm
Miðgildi	4,06	2,19	1,65	33,4	12,8	17,8
Meðaltal	4,03	2,20	1,66	32,9	12,9	17,8
Staðalfrávil	1,02	0,56	0,38	4,5	1,5	1,4
Min	1,22	0,59	0,61	7,0	8,9	14,0
Max	7,00	3,77	2,59	40,0	19,3	21,0

S, 8						
Fjöldi í búri	119					
Fjöldi dauð	3					
Fjöldi í sýni	110					
	Þyngd	Þyngd holdyngd	skelji	Lengd	Hæð	Breidd
	g	g	g	mm	mm	mm
Miðgildi	3,89	2,15	1,61	33,6	12,7	17,8
Meðaltal	3,97	2,19	1,60	32,9	12,9	17,6
Staðalfrávil	1,11	0,60	0,38	4,6	1,5	1,6
Min	0,81	0,40	0,36	8,0	7,9	11,1
Max	8,00	3,97	2,42	40,4	18,8	21,0

S, 2						
Fjöldi í búri	116					
Fjöldi dauð	4					
Fjöldi í sýni	110					
	Þyngd	Þyngd holdyngd	skelji	Lengd	Hæð	Breidd
	g	g	g	mm	mm	mm
Miðgildi	3,90	2,14	1,61	33,4	12,9	17,8
Meðaltal	4,05	2,19	1,65	32,7	13,0	17,6
Staðalfrávil	1,45	0,74	0,46	4,7	1,6	1,8
Min	1,79	0,93	0,80	10,0	9,9	13,5
Max	10,00	4,13	2,87	41,4	17,7	22,3

VIÐAUKI I

Líffræðilegir þættir búkræklings

Síða 4 af 4

S, 1						
Fjöldi í búi	120					
Fjöldi dauð	1					
Fjöldi í sýni	110					
	Þyngd	Þyngd holdyngd	skelji	Lengd	Hæð	Breidd
	g	g	g	mm	mm	mm
Miðgildi	3,83	2,19	1,56	32,6	12,9	17,5
Meðaltal	3,94	2,19	1,56	32,4	12,8	17,5
Staðalfrávil	1,43	0,66	0,40	4,3	1,6	1,6
Min	1,61	0,89	0,65	11,0	9,8	12,9
Max	11,00	4,32	2,90	43,1	17,1	22,2

S, 19						
Fjöldi í búi	116					
Fjöldi dauð	2					
Fjöldi í sýni	110					
	Þyngd	Þyngd holdyngd	skelji	Lengd	Hæð	Breidd
	g	g	g	mm	mm	mm
Miðgildi	3,67	2,03	1,54	33,4	12,8	17,3
Meðaltal	3,78	2,10	1,59	33,0	12,8	17,3
Staðalfrávil	1,03	0,64	0,39	3,2	1,4	1,8
Min	1,87	0,96	0,84	24,6	10,0	13,6
Max	6,55	3,96	2,64	40,5	17,7	21,7

S, 18						
Fjöldi í búi	114					
Fjöldi dauð	3					
Fjöldi í sýni	109					
	Þyngd	Þyngd holdyngd	skelji	Lengd	Hæð	Breidd
	g	g	g	mm	mm	mm
Miðgildi	3,79	2,15	1,58	33,4	13,1	17,6
Meðaltal	4,12	2,26	1,61	33,2	13,1	17,8
Staðalfrávil	1,41	0,56	0,38	4,0	1,2	1,5
Min	2,13	1,07	0,88	12,0	9,4	14,7
Max	12,00	3,62	2,55	39,1	15,9	21,8

S, 13						
Fjöldi í búi	117					
Fjöldi dauð	1					
Fjöldi í sýni	110					
	Þyngd	Þyngd holdyngd	skelji	Lengd	Hæð	Breidd
	g	g	g	mm	mm	mm
Miðgildi	4,01	2,22	1,66	33,4	13,0	17,5
Meðaltal	4,18	2,25	1,66	32,9	13,0	17,6
Staðalfrávil	1,60	0,65	0,43	4,1	1,4	1,5
Min	1,96	1,06	0,81	13,0	9,8	14,3
Max	13,00	4,69	2,78	41,5	16,1	21,5

VIÐAUKI II

LÍFFRÆÐILEGIR ÞÆTTIR SÝNA ÚR
STÓRSTRAUMSFJÖRU

VIÐAUKI II

Líffræðilegir þættir fjörukraeklings

Síða 1 af 2

Viðmið í Hvalfirði						
Fjöldi í sýn	110					
	Þyngd	Þyngd holdyngd	skelj;	Lengd	Hæð	Breidd
	g	g	g	mm	mm	mm
Miðgildi	2,89	1,45	1,29	31,1	11,6	15,8
Meðaltal	3,32	1,71	1,50	31,6	11,8	15,9
Staðalfrávi	2,65	1,44	1,18	5,6	2,4	2,7
Min	0,49	0,18	0,27	16,6	6,6	8,8
Max	24,15	13,43	10,24	62,9	24,4	29,9

II						
Fjöldi í sýn	110					
	Þyngd	Þyngd holdyngd	skelj;	Lengd	Hæð	Breidd
	g	g	g	mm	mm	mm
Miðgildi	7,91	4,41	3,43	42,6	16,3	21,3
Meðaltal	8,83	4,93	3,72	42,4	16,5	21,0
Staðalfrávi	5,49	3,26	2,20	9,4	4,2	4,0
Min	1,26	0,60	0,55	22,8	9,2	10,6
Max	29,77	18,10	11,25	67,0	26,5	28,7

IV						
Fjöldi í sýn	110					
	Þyngd	Þyngd holdyngd	skelj;	Lengd	Hæð	Breidd
	g	g	g	mm	mm	mm
Miðgildi	1,51	0,67	0,79	25,4	10,0	12,6
Meðaltal	1,85	0,83	0,93	25,9	10,3	12,9
Staðalfrávi	0,92	0,47	0,46	4,1	1,7	1,8
Min	0,60	0,22	0,30	18,7	6,0	9,0
Max	4,30	2,32	2,43	38,5	16,1	18,9

V						
Fjöldi í sýn	110					
	Þyngd	Þyngd holdyngd	skelj;	Lengd	Hæð	Breidd
	g	g	g	mm	mm	mm
Miðgildi	1,28	0,49	0,66	24,0	10,3	11,9
Meðaltal	1,41	0,57	0,74	24,5	10,3	12,1
Staðalfrávi	0,59	0,32	0,29	3,1	1,3	1,5
Min	0,64	0,11	0,26	18,6	7,5	9,3
Max	3,83	2,05	1,67	37,6	14,7	16,2

VIÐAUKI II

Líffræðilegir þættir fjörukraeklings

Síða 1 af 2

VII						
Fjöldi í sýn	110					
	Þyngd	Þyngd holdyngd	skelj:	Lengd	Hæð	Breidd
	g	g	g	mm	mm	mm
Miðgildi	0,75	0,29	0,40	19,6	8,4	9,6
Meðaltal	0,82	0,32	0,43	20,1	8,5	9,8
Staðalfrávi	0,33	0,19	0,16	2,6	1,2	1,1
Min	0,30	0,05	0,19	14,7	6,1	7,3
Max	2,05	1,00	0,96	28,3	12,3	12,9

VIÐAUKI III

MEGINEFNAÐÆTTIR KRÆKLINGSSÝNA OG SKÚFÞANGSÝNA

VIÐAUKI III
Meginefnaþættir sýna

Búræklingur

Sýni	Þurrefni (%)	Aska (%)	N %
Banki(1)	14,2	2,6	1,32
8	11,6	2,1	1,10
9	12,9	2,0	1,24
10	12,9	2,2	1,27
12	13,3	2,1	1,25
13	14,1	2,1	1,31
18	13,4	2,2	1,26
19	12,1	1,9	1,22
5	12,4	2,1	1,20
4	11,5	2,2	1,10
7	12,2	2,2	1,15
6	12,0	2,2	1,13
3	13,0	2,0	1,19
1	13,2	2,0	1,25
2	12,7	2,3	1,19
Banki(2)	13,0	1,5	1,33

Fjöruræklingur

Sýni	Þurrefni (%)	aska (%)	N %
Hvalfjörður	9,3	1,7	0,89
II	7,2	1,7	0,59
IV	10,6	2,1	1,04
V	11,1	2,2	1,16
VII	11,0	2,8	1,16

Skúfþang

Eftir lághitaþurrkun

Sýni	Þurrefni (%)	aska (%)	N %
Hvalfjörður	96,7	22,5	1,2
I	94,7	30,6	1,2
II	92,5	25,1	1,6
III	85,6	21,2	1,6
IV	91,6	23,6	1,5
V	94,3	27,1	1,7
VI	95,7	23,8	1,6
VII	96,1	22,4	1,6

VIÐAUKI IV

NIÐURSTÖÐUR MÆLINGA Á ÓLÍFRÆNUM SNEFILEFNUM Í VÖÐVA KRÆKLINGS OG SKÚFÞANGI

VIÐAUKI IVa
Ólífræn snefilefni í kræklingi
Búrkræklingur

Sýni	F	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Fe	Mn	Ni	Pb	V	Zn
	mg/kg vv	mg/kg vv	mg/kg vv	mg/kg vv	mg/kg vv	mg/kg vv	mg/kg vv	mg/kg vv	mg/kg vv	mg/kg vv	mg/kg vv	mg/kg vv	mg/kg vv	mg/kg vv
Banki(1)	1,00	18,9	3,18	0,070	0,195	0,0651	1,18	0,0032	39,8	2,68	0,144	0,0128	0,695	15,5
8	1,12	33,1	1,65	0,188	0,0641	0,0813	0,93	0,005	59,5	1,37	0,173	0,0163	0,354	15,7
9	1,39	44,5	1,6	0,206	0,0743	0,103	1,05	0,0049	80,7	1,66	0,195	0,0263	0,404	15,7
10	1,19	31,2	1,94	0,219	0,0753	0,09	1,1	0,005	55,3	1,6	0,2	0,0148	0,37	17,1
12	1,46	39,7	1,35	0,191	0,0663	0,0899	1,11	0,0046	68,8	1,52	0,188	0,021	0,406	19,4
13	EM	36,4	1,43	0,231	0,0693	0,0861	1,05	0,0051	65,3	1,63	0,175	0,0229	0,341	17,7
18	1,96	53,9	1,65	0,210	0,08	0,12	1,27	0,0048	92,2	1,9	0,23	0,0395	0,49	19,7
19	1,28	40,8	1,59	0,161	0,0644	0,114	1,24	0,0061	71,7	1,4	0,222	0,0317	0,355	18,8
5	1,41	33,9	1,34	0,186	0,0626	0,0804	1,03	0,0045	60,5	1,43	0,174	0,0201	0,368	18,7
4	1,70	33	1,41	0,159	0,0547	0,0933	0,868	0,0046	58,4	1,33	0,174	0,0183	0,357	16,1
7	2,04	39,1	1,45	0,184	0,0616	0,0863	0,978	0,0048	67,4	1,53	0,18	0,0285	0,351	16,5
6	1,76	46,6	1,42	0,159	0,069	0,0987	1,01	0,0046	76,4	1,67	0,195	0,0234	0,406	17
3	1,75	47,7	1,59	0,179	0,0724	0,109	1,02	0,005	80,3	1,81	0,198	0,0229	0,447	17,7
1	1,57	44,2	1,45	0,192	0,0693	0,0935	1,06	0,0048	76,7	1,62	0,196	0,0262	0,419	17,3
2	1,45	38,9	1,43	0,191	0,0638	0,086	1,07	0,0048	68,5	1,55	0,181	0,0205	0,377	17
Banki(2)	1,49	68,3	3,21	0,155	0,0997	0,133	1,39	0,0069	122	2,8	0,202	0,0209	1,07	22,7

VIÐAUKI IVb
Ólífræn snefilefni í kræklingi
Fjörukraeklingur

Sýni	F	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Fe	Mn	Ni	Pb	V	Zn
	mg/kg vv	mg/kg vv	mg/kg vv	mg/kg vv	mg/kg vv	mg/kg vv	mg/kg vv	mg/kg vv	mg/kg vv	mg/kg vv	mg/kg vv	mg/kg vv	mg/kg vv	mg/kg vv
Hvalfjörð	1,44	74,1	1,49	0,0883	0,12	0,162	0,887	0,0047	130	2,07	0,272	0,0141	0,777	11,4
II	0,88	7,56	0,93	0,214	0,0349	0,111	0,48	0,0047	17,5	0,552	0,0973	0,0098	0,296	13,7
IV	3,27	25,2	1,47	0,171	0,0538	0,154	1,05	0,0051	47,1	1,26	0,225	0,0315	0,799	17,3
V	1,51	34,9	1,45	0,165	0,0713	0,19	1,31	0,0056	74,6	1,8	0,305	0,0258	1,38	17,6
VII	1,68	74,6	1,85	0,203	0,126	0,438	1,69	0,0065	154	2,94	0,546	0,0371	1,03	18,1

VIÐAUKI IVC
Ólífræn snefilefni í skúfþangi

Sýni	F	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Fe	Mn	Ni	Pb	V	Zn
	µg/g þv	µg/g þv	µg/g þv	µg/g þv	µg/g þv	µg/g þv	µg/g þv	µg/g þv	µg/g þv	µg/g þv	µg/g þv	µg/g þv	µg/g þv	µg/g þv
vaifjörðu	5,51	288	33,9	1,73	3,6	1,18	2,25	0,0047	458	90,7	3,73	0,033	2,47	8,51
I	4,92	86,1	40,1	2,95	1,35	0,553	1,35	0,0057	117	29,5	3,88	0,041	1,48	15,5
II	3,88	42,5	48	3,62	1,82	0,576	1,93	0,0059	82,8	47,6	7,63	0,023	2,67	29,5
III	3,63	16,8	34,3	3,13	1,47	0,227	1,79	0,006	53,3	27,4	4,33	0,012	1,65	42,6
IV	5,56	24	41,4	3,05	1,72	0,254	2,35	0,0056	104	35,7	6,64	0,029	1,07	90,2
V	4,35	278	35,6	2,64	1,65	2,58	3,49	0,0078	385	26,9	5,58	0,016	2,38	46,7
VI	3,08	49,9	47,3	2,82	1,58	0,314	3,05	0,0093	102	33,9	4,89	0,012	0,95	43,8
VII	4,01	116	32,9	2,45	1,73	0,554	4,25	0,0064	142	30,9	4,86	0,013	1,16	53,9

VIÐAUKI V

PAH-EFNI Í SKÚFÞANGI, KRÆKLINGI AF
SÓRSTRAUMSFJÖRU OG KRÆJKLINGI ÚR
BÚRUM

VIÐAUKI Va
PAH-efni í kræklingi
Búrkraeklingur
Eining µg/g votvigt

Sýni	Banki (1)	8	9	10	12	13	18	19	5	4	7	6	3	2	1	Banki(2)
naftalen	<0.0040	<0.0050	<0.010	<0.0040	<0.0040	<0.0040	<0.0040	<0.0040	<0.0040	<0.0060	<0.0040	<0.010	<0.0050	<0.0050	<0.0040	<0.0080
acenaflyfen	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010
acenafthen	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010
fluoren	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010
fenantren	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	0,0011	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	0,0011	<0.0010	0,0042
antracen	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	0,015
fluorantren	<0.0010	<0.0010	0,0013	<0.0010	0,0015	0,0011	0,001	0,0029	0,0029	0,0025	0,0023	0,0017	0,002	0,0027	0,0018	0,0023
pyren	<0.0010	<0.0010	0,0012	<0.0010	0,0012	0,0011	0,0011	0,0025	0,0028	0,0022	0,0021	0,0015	0,0018	0,0026	0,0018	0,0018
^bens(a)anth	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	0,0012	0,0015	0,0015	0,0011	<0.0010	0,001	0,0015	<0.0010	<0.0010
^krysen	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	0,0012	<0.0010	<0.0010	0,0017	0,0022	0,002	0,0016	0,0013	0,0014	0,0019	0,0013	<0.0010
^bens(b)flud	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	0,0017	<0.0010	<0.0010	0,0021	0,0029	0,0027	0,0021	0,0016	0,0018	0,0021	0,0016	<0.0010
^bens(k)flud	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	0,0014	0,0013	0,001	<0.0010	<0.0010	0,0013	<0.0010	<0.0010
^bens(a)pyr	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	0,0017	0,0016	0,0011	0,0011	0,0012	0,0017	<0.0010	<0.0010
^dibens(ah)	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010
benso(ghi)pp	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	0,0013	<0.0010	<0.0010	<0.0010	0,0023	0,002	0,0015	0,0013	0,0015	0,0021	0,0011	<0.0010
^deno(123cd	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	0,0011	<0.0010	<0.0010	<0.0010	0,0023	0,002	0,0015	0,0011	0,0016	0,0021	<0.0010	<0.0010
summa 16	<0.01	<0.010	0,0025	<0.010	0,008	0,0022	0,0021	0,0104	0,0211	0,0178	0,0143	0,0096	0,0123	0,0191	0,0076	0,0233
^PAH cancel	<0.004	<0.003	<0.004	<0.004	0,004	<0.004	<0.004	0,005	0,012	0,0121	0,0084	0,0051	0,008	0,0106	0,0029	<0.004
PAH, summt	<0.006	<0.007	0,0025	<0.006	0,004	0,0022	0,0021	0,0054	0,0091	0,0057	0,0059	0,0045	0,0053	0,0085	0,0047	0,023

VIÐAUKI Vb
PAH-efni í kræklingi
Fjörkræklingur
Eining µg/g votvigt

Sýni	Hvafjörður	II	IV	V	VII
naftalen	<0.0065	<0.0040	<0.0090	<0.0060	<0.0080
acenaftýlen	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010
acenaftæn	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010
fluoren	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010
fenantren	<0.0010	<0.0010	0,001	0,0012	0,001
antracen	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010
fluoranten	<0.0010	<0.0010	0,0041	0,004	0,0022
pyren	<0.0010	<0.0010	0,004	0,0043	0,0023
^bens(a)anti	<0.0010	<0.0010	0,0027	0,0025	0,001
^krysen	<0.0010	<0.0010	0,0043	0,0029	0,0014
^bens(b)fluo	<0.0010	<0.0010	0,0063	0,0036	0,0019
^bens(k)fluo	<0.0010	<0.0010	0,0027	0,0022	0,001
^bens(a)pyr	<0.0010	<0.0010	0,003	0,0033	0,001
^dibens(ah)	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010
benso(ghi)pe	<0.0010	<0.0010	0,0027	0,0029	0,0012
^deno(123cd	<0.0010	<0.0010	0,0026	0,0033	0,0013
summa 16	<0.011	<0.010	0,0334	0,0302	0,0143
^PAH cancel	<0.004	<0.004	0,022	0,018	0,0076
PAH, summi	<0.007	<0.006	0,012	0,012	0,0067

