

Nýsköpun & neytendur
Innovation & Consumers

Vinnsla, virðisaukning & eldi
Value Chain, Processing
& Aquaculture

Mælingar & miðlun
Analysis & Consulting

Líftækni & lífefni
Biotechnology & Biomolecules

Öryggi, umhverfi & erfðir
Food Safety, Environment
& Genetics



Könnun á ólífrænum snefilefnum og arómatískum fjölhringjum (PAH) í kræklingi og seti við Grundartanga, Hvalfirði, 2013

Hrönn Ólína Jörundsdóttir
Natasa Desnica
Þuríður Ragnarsdóttir
Helga Gunnlaugsdóttir

Öryggi, umhverfi og erfðir

Skýrsla Matís 06-14
Febrúar 2014

ISSN 1670-7192

Report summary

ISSN: 1670-7192

<i>Titill / Title</i>	Könnun á ólífrænum snefilefnum og arómatískum fjölhringjum (PAH) í kræklingi og seti við Grundartanga, Hvalfirði, 2013 / Evaluation of inorganic trace elements and aromatic hydrocarbons (PAHs) in blue mussel (<i>Mytilus edulis</i>) and sediment at Grundartangi, Hvalfjörður, 2013		
<i>Höfundar / Authors</i>	Hrönn Ólína Jörundsdóttir, Natasa Desnica, Þuríður Ragnarsdóttir, Helga Gunnlaugsdóttir		
<i>Skýrsla / Report no.</i>	06-14	<i>Útgáfudagur / Date:</i>	Febrúar 2014
<i>Verknr. / project no.</i>	1896	Skýrsla lokuð til 10.04.2014	
<i>Styrktaraðilar / funding:</i>	Norðurál hf., Elkem hf		

<p>Ágríp á íslensku:</p>	<p>Markmið rannsóknarinnar er að meta hugsanleg mengunaráhrif iðjuvera á Grundartanga á lífríki sjávar í Hvalfirði. Umhverfisvöktun hófst árið 2000 og var endurtekin árin 2004, 2007 og 2011 ásamt því að framkvæmd vöktunar var endurskoðuð, m.a. bætt við sýnatökustöðum og mælipáttum fjölgað. Í þessari skýrslu er greint frá niðurstöðum vöktunarmælinga á sýnum frá 2013.</p> <p>Viltum kræklingi (<i>Mytilus edulis</i>) var komið fyrir í búrum á sjó mismunandi stöðvum við ströndina við Grundartanga, norðanmegin í Hvalfirði, þar með talið einum viðmiðunarstað við Saurbæjarvík. Kræklingabúrin voru síðan tekin upp og rannsökuð tveimur mánuðum síðar. Til að meta náttúrulegar sveiflur í styrk efna og stærð kræklinga, þá var eitt viðmiðunarsýni tekið og fryst um leið og kræklingurinn var lagður út til ræktunar</p> <p>Dánartíðni og vöxtur kræklinga ásamt meginefnaþáttum (vatni, fitu, ösku og salti) við lok rannsóknarinnar voru mæld. Einnig voru eftirfarandi ólífræn snefilefni og lífræn efnasambönd mæld í mjúkvef kræklinga; arsen, kadmín, kopar, sink, króm, nikkell, kvikasílfur, selen, blý, vanadín, ál, járn, flúor og 18 fjölhringja kolvatnsefni (PAH efni). PAH efni voru einnig mæld í setsýnum sem tekin voru á sömu stöðum og kræklingasýnin. Ekki var um mikinn mun að ræða á milli stöðva hvorki hvað varðar líffræðilega þætti né meginefnaþættina í kræklingi. Dánartíðni var lág og almennt virtist kræklingurinn þrífast ágætlega. Ólífræn snefilefni voru í svipuðum styrk eða lægri borið saman við fyrri rannsóknir og mældust í svipuðum styrk og í kræklingi frá ómenguðum stöðum umhverfis landið og alltaf í lægri styrk en viðmiðunarmörk Norðmanna fyrir menguð svæði. Kadmín (Cd) mældist þó yfir lægstu viðmiðunarmörkunum Norðmanna, en styrkur þess í kræklingnum lækkaði hins vegar meðan á eldinu við verksmiðjussvæðin stóð. Því er ekki talið að hár kadmín styrkur tengist iðjuverunum á Grundartanga, heldur tengist náttúrulega háum bakgrunnstyrk í íslenskri umhverfi. Í þeim tilvikum þar sem til eru hámarksgildi fyrir ólífræn snefilefni í matvælum (Cd, Hg, Pb) var styrkur þeirra í kræklingi eftir tvo mánuði í sjó nálægt iðjuverunum ávallt langt undir hámarksgildunum fyrir matvæli. Aðeins greindust 4 PAH efni yfir magngreiningarmörkum í kræklingi sem eru fleiri en árið 2011. Perylene og pyrene voru ávallt í hæsta styrk af þeim 4 PAH efnum sem greindust en phenanthrene og fluoranthena í lægri styrk. Styrkur PAH efna í kræklingi var þó ávallt undir norskum viðmiðunarmörkum fyrir menguð svæðihvað krækling varðar. PAH greindist í öllum setsýnum nema einu og líklegt að þessi PAH efni í setinu tengist iðnaðarstarfssemi og skipaumferð á svæðinu. Ef borið er saman við norsk viðmiðunargildi flokkast allir mældir sýnatökustaðir fyrir set, fyrir utan viðmiðunarstað, sem mild áhrifasvæði þar sem mæld er hækkun á PAH styrk miðað við skilgreiningu á bakgrunnssvæði. Þetta er í fyrsta sinn sem mælingar eru framkvæmdar á PAH efnum í setsýnum í þessari umhverfisvöktun fyrir iðjuverin á Grundartanga og því ekki hægt að bera saman niðurstöður við fyrri mælingar. Áhrif iðjuveranna á krækling í kringum Grundartanga virðast takmörkuð ef tekið er tillit til þeirra efna sem mæld voru í þessari rannsókn. Áhrif á lífríki setsins gætu verið einhver en þó lítil, miðað við norsk og kanadísk mörk. Því er nauðsynlegt að fylgjast vel með og vakta umhverfið og lífríkið áfram til að greina breytingar á mengunarálagi á þessu svæði. Mælt er með að bæta við öðrum viðmiðunarstað utarlega í Hvalfirði.</p>
<p>Lykilorð á íslensku:</p>	<p><i>Iðjuver, álframleiðsla, járnblendi, mengun, vöktun, umhverfisgæði</i></p>

<p><i>Summary in English:</i></p>	<p>The aim of this study is to estimate potential impacts of organic and inorganic pollutants on the costal marine ecosystem in proximity to the industrial activities at Grundartangi. The monitoring started in the year 2000 and has since then been revised in terms of additional sample sites and measured elements and repeated in 2004, 2007 and 2011. This report summarises the results obtained in the study performed in 2013.</p> <p>Caged mussels (<i>Mytilus edulis</i>) from a homogenous population were positioned at seven different locations along the coast close to Grundartangi industries including a reference cage at Saurbæjarvík. The mussel cages were then taken up after a two month monitoring period. In order to enable assessment of natural changes in compound concentration and mussel size over time, a reference sample was taken from the mussel pool when the cages were initially deployed at their monitoring sites.</p> <p>Death rate and growth of mussels as well as their main constituents (water, fat, ash and salt) were evaluated at the end of the monitoring period. Similarly, were the following trace elements and organic compounds analysed in the soft mussel tissue: As, Cd, Cu, Zn, Cr, Ni, Hg, Se, Pb, V, Al, Fe, F and 18 PAHs. PAHs were also analysed in sediment samples taken from the same sites. Little variation was observed in main constituents and biological factors between the different sample sites. Death rate was low and the mussels thrived well. In general, inorganic trace elements were similar or in lower concentration compared to previous years and always below the Norwegian environmental standards, except in the case of cadmium (Cd) that exceeded the lowest Norwegian environmental limit. The Cd concentration decreased in the mussels during the monitoring period which indicates that the Cd concentration is not related to the industrial activity at Grundartangi, but rather to a natural high Cd background concentration in the Icelandic environment. However, Cd as well as Hg and Pb meet the EU maximum limits for food consumption. Only 4 PAH congeners were detected above limits of quantification in the mussel samples. Perylene and pyrene were always in highest concentration of the 4 PAH congeners detected while phenanthrene and fluoranthrene were in lower concentration. The PAH concentration never exceeded the Norwegian standards for total PAH concentration for mussels. All or most PAHs were detected in all sediment samples except that no PAHs were detected at one sample site (S6). All sites except for the reference site fall into the category slight or moderate impact sites due increase in PAH concentration when compared to Norwegian reference values and below occasional effect levels compared to Canadian criteria. This is the first time that PAHs are analysed in sediment samples to monitor the impact of the industrial activities at Grundartangi and thus it is not possible to compare these results with previous monitoring results. In conclusion, the effects of the industries at Grundartangi appear to be limited for the chemical compounds analysed in the mussels. The impact on sediment biota seems to be low to moderate. Therefore, it is important to maintain frequent monitoring studies of the marine ecosystem near the Grundartanga industrial activities in order to be able to detect changes in pollution burden. An additional reference site in the outer parts of Hvalfjörður is recommended.</p>
<p><i>English keywords:</i></p>	<p><i>Industrial activity, aluminum production, alloy production, pollution, monitoring, environmental quality</i></p>

Efnisyfirlit

Efnisyfirlit.....	0
1. Inngangur	1
1.1. Fyrri rannsóknir	1
2. Markmið	1
3. Aðferðir.....	1
3.1. Undirbúningur búra, meðhöndlun og ræktun kræklinga í búrum.....	1
3.1.1 Sýnatökur af botnseti utan við Grundartanga í Hvalfirði	3
3.2. Sýnaundirbúningur, aðferðafræði snefilefnamælinga og gæðæftirlit	3
3.2.1. Meðferð kræklingssýna fyrir mælingu	4
3.2.2. Ólífræn snefilefni og meginþættir	4
3.2.3. Mælingar á PAH.....	4
4. Niðurstöður og umræða.....	5
4.1. Líffræðilegir þættir	5
4.2. Dánartíðni.....	5
4.3. Vöxtur og holdafar.....	5
4.4. Ólífræn snefilefni	7
4.5. PAH efni	16
5. Samantekt og lokaorð	20
6. Heimildaskrá.....	21

1. Inngangur

Kræklingur (*Mytilus edulis*) er hentugur til vöktunar á ástandi sjávar með tilliti til mengunarefna og aðgengi efnanna að lífverum í sjó (bioavailability/lífaðgengi). Hann er öflugur síari sem dælir í gegnum sig sjó til að taka upp lífrænar fæðuagnir, s.s. svif, bakteríur og lífrænar leifar. Þannig tekur hann einnig upp þau mengunarefni sem aðgengileg eru lífverum í sjó og safnar þeim í vefi og skel. Rannsóknir hafa m.a. sýnt að fjölrhringja kolvatnsefni (*polycyclic aromatic hydrocarbons*, PAHs) og ólífræn snefilefni geta safnast fyrir í mjúkvef kræklinga [1-4]. Efnagreiningar á mjúkvef kræklinga geta þannig endurspeglad nánasta umhverfi kræklinga með tilliti til mengandi efna [5-7]. Mengunar í sjávarlífríki getur bæði orðið vart vegna losunar með lofti sem fellur svo í sjóinn og vegna beinnar losunar í sjó, t.d. vegna skolunar úr kerbrotagryfjum sem tengjast iðnaðarstarfsseminni á Grundartanga.

Verkefninu sem hér er lýst er hluti af þeirrar umhverfsvöktun sem fram fer vegna iðnaðarstarfseminnar á Grundartanga og var unnið fyrir Norðurál hf. og Elkem Ísland ehf. Árið 2013 fóru fram rannsóknir á ástandi sjávar við Grundartanga og Katanes í Hvalfirði með tilliti til ýmissa ólífrænna og lífrænna efnasambanda. Kræklingur var tekin frá hreinu svæði og lagður út í búrum á grunnsævi meðfram strandlengjunni svo og á viðmiðunarstað austan við Katanes til að meta magn PAH sambanda og ólífrænna snefilefna á svæðunum. Með þessari aðferð er hægt að meta áhrif iðjuvera á nærliggjandi umhverfi.

1.1. Fyrri rannsóknir

Árin 2000 [8], 2004 [9], 2007 [10] og 2011 [11] hafa farið fram mælingar á styrk PAH sambanda og ólífrænna snefilefna í mjúkvef kræklinga sem hafður var í búrum á grunnsævi utan við Grundartanga. Niðurstöðurnar gáfu til kynna að iðjuverin á Grundartanga hafa lítil áhrif á að mengandi efni safnist upp í sjávarlífverum í nágrenninu [10, 11].

2. Markmið

Markmið þessa verkefnis var að endurtaka fyrri rannsóknir á styrk PAH sambanda og ólífrænna snefilefna (arsen, ál, blý, flúor, járn, kadmín, kopar, króm, kvikasilfur, nikkell, selen, sink, og vanadín) til að meta hvort og þá í hversu miklum mæli lífræn og ólífræn mengandi efni væru tekin upp í sjávarlífríki við strönd vegna þeirrar iðnaðarstarfsemi, sem fram fer á Grundartanga og til að athuga hvort hugsanlegar breytingar hafi átt sér stað frá fyrrum árum.

3. Aðferðir

3.1. Undirbúningur búra, meðhöndlun og ræktun kræklinga í búrum

Halldór Pálmar Halldórsson, forstöðumaður Rannsóknaseturs Háskóla Íslands á Suðurnesjum, sá um skipulagningu og bar ábyrgð á framkvæmd þess hluta rannsókna sem snéri að undirbúningi búra og ræktun kræklinga í þeim. Hann sá jafnframt um að útvega krækling að beiðni Magnúsar Freys Ólafssonar, verkefnastjóra fyrir umhverfsvöktun iðjuveranna á Grundartanga. Skipulagning

rannsóknanna var einnig í höndum Magnúsar sem tók þátt í öllum sjóferðum og hafði umsjón með endurnýjun slitinna búra og annars útbúnaðar. Óskar Sindri Gíslason, starfsmaður Rannsóknaseturs Háskóla Íslands á Suðurnesjum vann einnig að öllum þáttum verkefnisins.

Þann 3. júlí 2013 var farið með krækling sem fenginn var af ræktunarlínunum Vogaskeljar, Vogum á Vatnsleysuströnd, á Rannsóknasetur HÍ á Suðurnesjum í Sandgerði. Miðað við útsetningu ræktunarlínanna sem kræklingnum var safnað af var hann 2 ára, og því ágætlega staðlaður í aldri og stærð. Í Sandgerði voru 20 kræklingar á stærðarbílinu 40-55 mm settir í hvert hólfi búranna og var reynt að velja eingöngu einstaklinga í góðu ástandi. Heildarfjöldi kræklinga á hvoru dýpi á hverri stöð var því 120 sem deildist niður í þrjú búr. Kræklingurinn var hafður í búrunum yfir nótt í hreinum borholusjó í Sandgerði (sírennsli, 9,5°C, selta 32) en þá kemur hann sér fyrir og festir sig í búrunum. Nákvæm lýsing á undirbúningi búra, meðhöndlun og ræktun kræklinga í búrunum er að finna í skýrslu um þennan verkþátt [12].

Þann 4. júlí var kræklingnum komið fyrir á viðmiðunarstað í Saurbæjarvík. Um nýjan viðmiðunarstað er að ræða en hann er innar í firðinum og fjær iðjuverunum miðað við viðmiðunarstað fyrri ára, sem var um 1 km austur af Katanesi. Stöðin var færð þar sem styrkur ólífrænna efna í kræklingi hafði mælst í hærri kantinum miðað við sýnatökustöðvarnar [8-11]. Átta lagnir með búrum, voru útbúnar um borð í bátnum. Krani í bátnum var notaður til að setja niður og taka upp lagnir. Kræklingurinn var hafður í þrjár vikur á viðmiðunarstaðnum til aðlögunar.

Þann 25. júlí voru lagnir færðar á stöðvarnar utan við Grundartanga og Katanes og kræklingurinn hafður þar næstu tvo mánuði. Lagnirnar voru teknar um borð í bátinn og fluttar í heilu lagi á hverja stöð. Passað var vel upp á að kræklingarnir löskuðust ekki við flutninginn og var þeim haldið vel rökum um borð í bátnum. Kræklingur úr einni lögn var settur strax í frysti sem viðmiðunarsýni 1 (B1- banki 1 í upphaf tímabils), en ein lögn var höfð áfram á viðmiðunarstaðnum næstu tvo mánuðina sem viðmiðunarsýni 2 (B2 - banki 2 í lok tímabils). Kort af sýnatökustöðvum er í viðauka I.

Ákveðið var að fara í eftirlitsferð þann 28. ágúst, eftir mitt ræktunartímabilið, þegar hrygningartíma kræklinga ætti að mestu að vera lokið til að kanna ástand lagna, búra og kræklinga. Lagnirnar voru dregnar upp með hjálp krana, búrin burstuð að utan og ásætur fjarlægðar. Miðað við fyrri ár var óvenju lítið af ásætum á búrunum sem skýrist að líkindum af tíðarfari og ástandi sjávar þá um vorið og sumarið.

Þann 23. september voru allar lagnirnar teknar upp, kræklingurinn losaður úr búrunum og settur í poka. Þegar í land var komið var kræklingurinn frystur (-25°C).

Í rannsóknunum var mikið lagt upp úr því að skapa sem bestar aðstæður fyrir krækling í búrunum. Búrin voru því útbúnar og kræklingurinn meðhöndlaður í samræmi við staðlaðar

aðferðir við kræklingavöktun, m.a. ASTM staðlinum frá árinu 2001 þar sem áhersla er lögð á að kræklingurinn hafi gott rými til vaxtar og geti síð sjó óhindrað allan ræktunartímann [13]. Einnig var allri framkvæmd rannsókna háttáð þannig að sem minnst hættu væri á að kræklingurinn laskaðist við flutning og meðhöndlun.

Stöðvarnar voru þær sömu og í rannsóknunum árið 2011, að undanskildum viðmiðunarstaðnum. Nýjar GPS staðsetningar voru teknar á stöðvunum þar sem lagnir voru færðar til (fáeinir metrar) og voru þær allar hafðar á svipuðu og nógu miklu dýpi til að hugsanlegra áhrifa af botni gætti ekki. Líkt og árið 2011 var stöð 2 nær landi en hinar stöðvarnar. Það var gert til að minnka hættuna á að tapa lögninni vegna skipaumferðar. Kort af sýnastöðvum og viðmiðunarstaðar og GPS staðsetningar hnit með lýsingu á staðsetningum má finna í viðauka I.

3.1.1 Sýnatökur af botnseti utan við Grundartanga í Hvalfirði

Halldór Pálmar Halldórsson, forstöðumaður Rannsóknaseturs Háskóla Íslands á Suðurnesjum, sá um skipulagningu rannsókna og bar ábyrgð á framkvæmd þess hluta sem snéri að sýnatöku á seti með botngreip. Magnús Freyr Ólafsson, verkefnastjóri fyrir umhverfisvöktun iðjuveranna á Grundartanga, hafði milligöngu um að útvega botngreip og ílát undir sýni, auk þess sem hann tók þátt í sjóferðinni ásamt Óskari Sindra Gíslasyni, starfsmanni Rannsóknaseturs Háskóla Íslands á Suðurnesjum.

Botngreipasýnin voru tekin þann 8. nóvember 2013 og var rannsóknabátur Háskóla Íslands, Sæmundur fróði RE, notaður við sýnatökurnar. Sýnin voru tekin með botngreip af gerðinni Petit Ponar. Þessi botngreip er um 11 kg, getur tekið um 2,4 lítra af seti og hefur lokur að ofan sem hindra að sjór blandist við setið þegar greipin er dregin upp af botni. Botngreipin lokast jafnt frá báðum hliðum og hvolfir því ekki setinu í skúffunni þegar hún lokast. Úr hverju botngreiparsýni voru tekin um 150 g af seti til efnagreininga og var reynt að taka hlutsýni frá yfirborði sets niður á ca 5 cm dýpi í setsýninu. Sýnin voru sett í hreinar glerkrukkur og geymd í frysti (-25°C) fram að efnagreiningu. Sýnin af botnseti voru tekin á sömu sýnatökustöðum og vöktunarstöðvar fyrir kræklinginn og nánari upplýsingar um númer stöðva, dýpi og lýsing á stöðvum og setsýnum er að finna í töflu í viðauka VI. Nákvæm lýsing á sýnatöku af botnseti utan við Grundartanga í Hvalfirði er að finna í sérstakri skýrslu um þennan verkþátt [34].

3.2. Sýnaundirbúningur, aðferðafræði snefilefnaþátta og gæðaeftirlit

Mælingar á líffræðilegum þáttum kræklinganna ásamt myndun safnsýnis fór fram á Rannsóknarstöðinni í Sandgerði, tengiliður er Halldór Pálmar Halldórsson. Mælingar á ólífrænum snefilefnum og meginefnaþáttum (þurrefni, aska, salt og fita) voru framkvæmdar hjá Matís ohf., tengiliður er Helga Gunnlaugsdóttir. Mælingar á PAH efnum voru framkvæmdar hjá Rannsóknarstofu í lyfja- og eiturefnafræði (RLE), Háskóla Íslands, tengiliður er Kristín Ólafsdóttir. Mælingar á flúor var framkvæmd hjá undirverktaka, GBA (Gesellschaft für Bioanalytik mbH) Þýskaland fyrir tilstuðlan Matís ohf.

3.2.1. Meðferð kræklingssýna fyrir mælingu

Á Rannsóknasetri HÍ í Sandgerði var dánartíðni kræklingssins metin. Í hvert sýni voru notaðir 50 einstaklingar af hvoru dýpi frá hverri stöð til mælinga á vexti og holdafari. Hver einstaklingur var þyngdar- og lengdarmældur (hæð, breidd og þykkt skelja). Einnig voru skráð heildarþyngd kræklingss, þyngd holds og þyngd skelja. Þessar mælingar voru í umsjón Halldórs Pálmarssonar. Að lokum var öllum mjúkvæf þessara 50 einstaklinga safnað saman í sýrupvegna glerkrukku og sett í frysti. Þessar glerkrukkur voru síðan fluttar frosnar til Matís, þar sem sýnin voru afþídd, gerð einsleit og frostþurrkuð.

3.2.2. Ólífræn snefilefni og meginþættir

Magn ólífrænu snefilefnanna (arsen, ál, blý, járn, kadmín, kopar, króm, kvikasilfur, nikkell, selen, sink, og vanadín) í kræklingasýnunum var mælt samkvæmt faggiltum aðferðum í gæðahandbók Matís [14, 15]. Sýnameðferð felur í sér niðurbrot sýna með saltsýru og vetnisperoxíði og magngreiningu snefilefna er framkvæmt með ICP-MS. Hvert sýni er greint í þrem hlutasýnum.

Gæðaeftirlit snefilefnamælinga á snefilefnastofu Matís fer fram með ýmsum hætti. Með hverjum sýnahópi af ákveðinni gerð voru mæld vottuð viðmiðunarefni (certified reference material) af svipaðri gerð og tegund sýnanna hverju sinni. Heimtuathuganir fara reglulega fram sem hluti af gæða tryggingu vegna faggildingar snefilefnagreininga og ávallt þegar um nýjar tegundir sýna er að ræða. Einnig hefur Matís þátt í fjölþjóðlegum samanburðarprófunum fyrir mælingar á ólífrænu snefilefnum og tekur nú þátt í QUASIMEME, (Quality Assurance of Information for Marine Environmental Monitoring in Europe), NJF (North European Proficiency Testing) og FAPAS, stærsta og umfangsmesta samanburðarprófi sem hefur meira en 2.000 þátttakendur í yfir 100 löndum. Árangur Matís hefur verið viðunandi í þessum prófunum.

Ákvarðanir á meginefnaþáttum voru gerðar samkvæmt faggildum aðferðum Matís; vatn [16], aska [17], fita [18] og salt [19].

Flúor var mældur hjá undirverktaka sem framkvæmir faggiltar flúormælingar með aðstoð ICP-MS.

3.2.3. Mælingar á PAH

Átján arómatísk fjölhringa sambönd (PAH) voru mæld í mjúkvæf af 16 kræklingasýnunum og 7 sýnum af seti sem safnað var í Hvalfirði haustið 2013. Mæliaðferð fyrir PAH efni í seti var framkvæmd eins og lýst er í Karstensen ofl. 1998 [20]. Gæðaeftirlit fyrir þessar efnagreiningar fólst í mælingum á sýnum af kræklingi og seti frá QUASIMEME með þekktu magni allra 18 PAH efnanna var greint með sýnunum og nýtist þannig sem viðmiðunarsýni fyrir þessar mælingar.

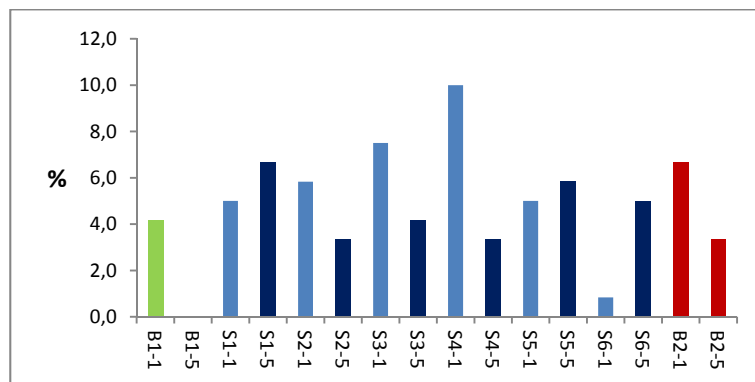
4. Niðurstöður og umræða

4.1. Líffræðilegir þættir

Í viðauka II eru teknar saman niðurstöður rannsókna á líffræðilegum þáttum kræklingasýnanna. Eins og áður kom fram þá var undirbúningur búra, meðhöndlun og ræktun kræklinga í höndum starfsmanna Rannsóknarstöðvarinnar í Sandgerði og hafa þeir tekið saman ítarlega skýrslu um þann verkþátt [12].

4.2. Dánartíðni

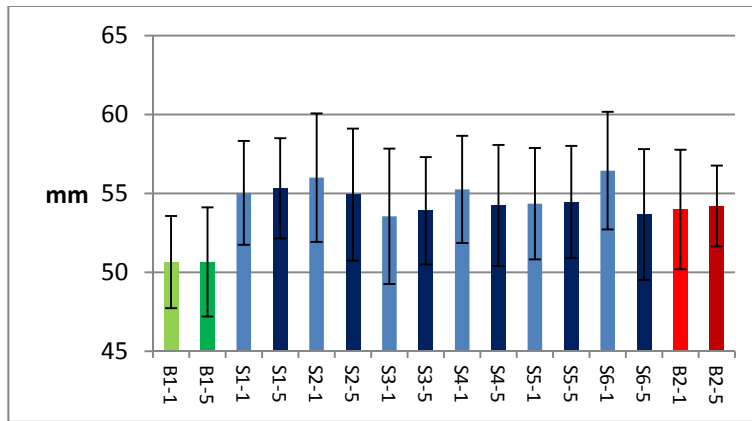
Í hverju búi var talinn heildarfjöldi og fjöldi dauðra einstaklinga og er niðurstöður þessa að finna í Mynd 1 og í töflu í viðauka II. Dánartíðni kræklinga á stöðvum og í viðmiðunarsýnum var lág eða að meðaltali 4,8% (á bilinu 0–10%, staðalfrávik: 2,47). Að meðaltali voru 5,8 kræklingar dauðir af 120 einstaklingum á stöðvunum (á bilinu 0–12, staðalfrávik: 2,93). Í heildina er um fáa dauða einstaklinga að ræða og lítill munur á dánartíðni milli stöðva. Að líkindum eru þetta því eðlileg afföll. Nánari upplýsingar um dánartíðni má finna í skýrslunni frá Rannsóknarstöðinni í Sandgerði [12].



Mynd 1. Hlutfall dauðra einstaklinga eftir stöðvum

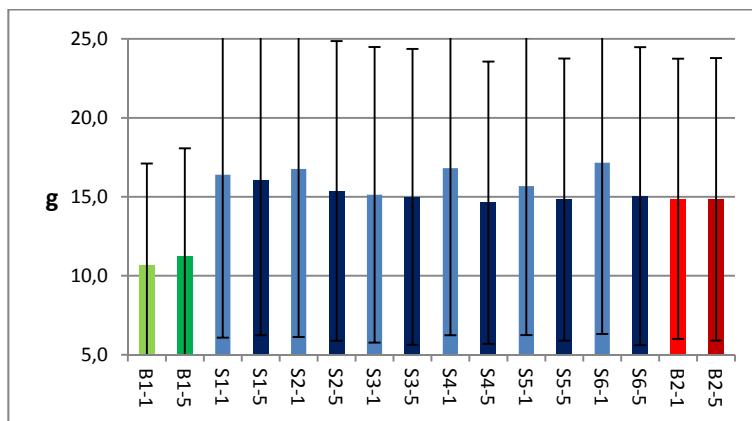
4.3. Vöxtur og holdafar

Lengd. Meðallengd kræklingssýnanna er sýnd á **Mynd 2**. Eitthvað er um breytilegan vöxt milli stöðva. Kræklingur á 1 m dýpi á stöð 3 virðist ekki hafa vaxið eftir að hann var settur út. Ekki var neitt um dauðan krækling á þessari stöð sem skýrir lélegan vöxt (**Mynd 1**). Vöxtur hefur verið góður í eldri rannsóknum og en hins vegar var byrjað með stærri krækling í núverandi rannsókn miðað við árið 2007, en upphafleg stærð var hins vegar svipuð nú og árið 2011. Vöxtur kræklinganna var að meðaltali 4,0 mm, 4,3 mm á 1 m dýpi og 3,7 mm á 5 m dýpi.



Mynd 2. Meðallengd kræklings með staðalfrávik

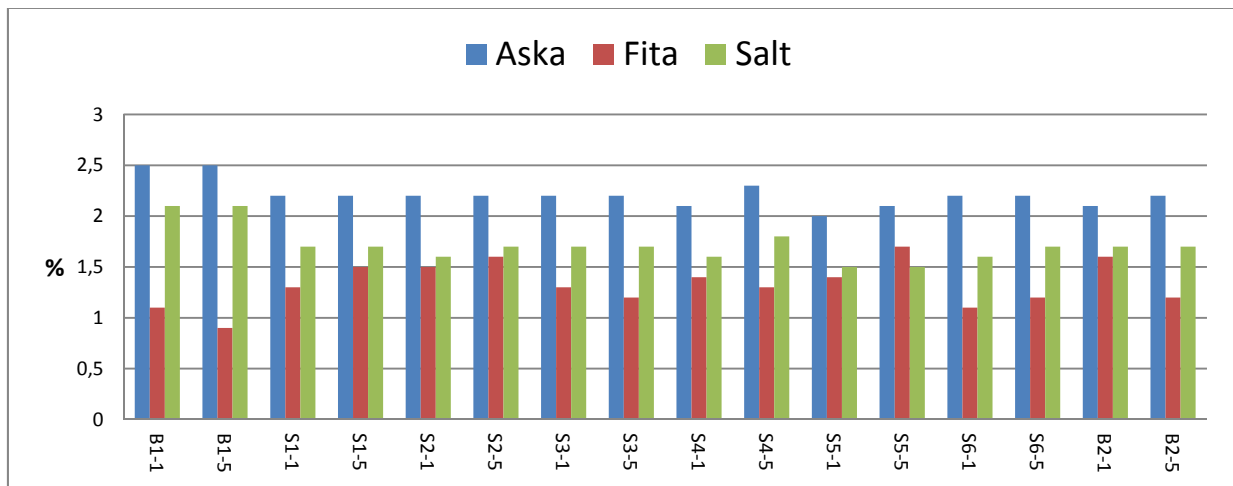
Skeljamassi kræklings er sýndur á **Mynd 3**. Í öllum tilfellum verður aukning í þyngd skelja miðað við banka í byrjun (að meðaltali 31%).



Mynd 3. Meðalþyngd kræklingaskelja með staðalfrávik

Ástandsstuðull er notaður til að meta næringarástand kræklings og er reiknaður sem hlutfall breiddar og hæðar. Þetta hlutfall getur hækkað með auknum styrk þungmálma [21, 22]. Meðaltal ástandsstuðuls fyrir banka og sýni er 1,2 og staðalfrávik er 0,1. Ástandsstuðullinn er lægstur í banka 2 á 1 m dýpi (1,18) en hæstur í sýni S3 á 1m dýpi. Ekki reyndist vera tölfræðilegur munur á ástandsstuðli milli beggja banka annars vegar og sýna hins vegar, sem bendir til þess að þungmálmar hafa ekki áhrif á vöxt kræklinga sem notaðir voru í rannsókninni.

Meginefnabættir eru sýndir í viðauka II og á **Mynd 4**. Lítil munur er á sýnunum varðandi alla þrjá mælipættina sem rannsakaðir voru þ.e.a.s. aska, fita og salt, sem er í samræmi við þann litla mun sem er að finna í líffræðilegum þáttum.



Mynd 4. Niðurstöður mælinga á ösku, fitu og salti í kræklingum frá öllum stöðvum rannsóknarinnar

Kræklingurinn sem var notaður í rannsókninni 2013 var í góðu ástandi í upphafi rannsóknar. Eins var gætt að því að vaxtarrými og aðgengi að sjó var tryggt allan ræktunartímann en notast var við staðlaðar aðferðir.

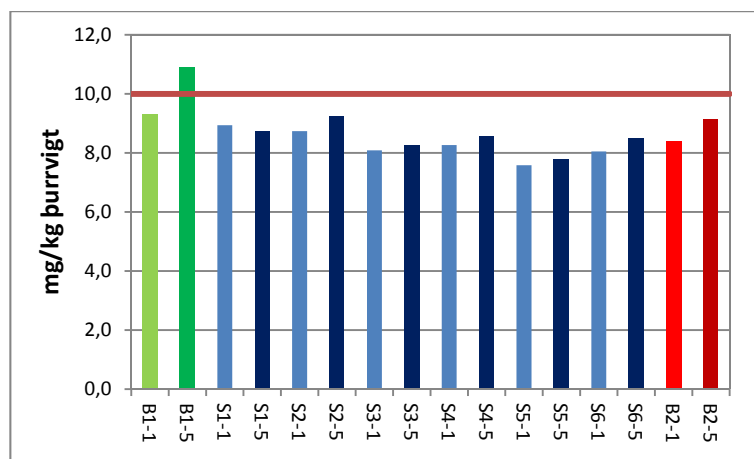
4.4. Ólífræn snefilefni

Allar mælingar fara fram á mjúkvef kræklinga, en breytileiki getur verið í votþunga kræklinga vegna þess að hann getur innihaldið mismikið af sjó við frystingu, því ætti samanburður niðurstaðna á þurrvigtagrunni að gefa réttari mynd. Engu að síður er mikilvægt að hafa í huga að leyfileg hámarksgildi, t.d. til manneldis, miða yfirleitt við votvigt. Norðmenn hafa flokkað mengunarástand sjávar í flokka I-V út frá efnainnihaldi lífvera (þ.m.t. kræklinga). Svæði í flokki I teljast lítt eða ekki menguð en svæði í flokki V telst vera mjög mikið mengað [23]. Þessi flokkun er höfð til hliðsjónar við túlkun niðurstaðna.

Niðurstöður mælinga á ólífrænum snefilefnum á votvigtagrunni er að finna í viðauka IV, en allar niðurstöður hér fyrir neðan eru reiknaðar á þurrvigtagrunni og rauða línun í gröfin tákna lægsta viðmið Norðmanna á þurrvigtagrunni [23]. Óvissa faggiltra snefilefna mælinga hjá Matís hefur verið reiknuð og er 20%. Mælingar snefilefna sem ekki eru faggiltar falla undir sömu aðferðarfræði, gæðaeftirlit og útreikninga og því er óvissa þeirra metin vera ~20%. Í töflu í viðauka IV má sjá hvaða snefilefna mælingar hafa verið faggildar. Gæðaeftirlit s.s. árangur í mælingu viðmiðunarefna og heimtuathuganir er að finna í viðauka IV.

Arsen. Á **Mynd 5** er styrkur arsens sýndur á þurrvigtagrunni. Líkt og í fyrrum rannsóknum lækkaði styrkur arsens á stöðvunum sex og í banka meðan á eldinu stóð 2013, og eins var bankaviðmið í upphafi örlítið yfir lægstu norsku viðmiðunarmörkunum [23]. En annars eru sýni og banki í lokin 2013, undir lægsta viðmiðunargildi Norðmanna, 10 mg/kg, og flokkast svæðið því í fyrsta flokk af fimm. Rannsóknir sýna að þættir eins og selta og fita getur haft veruleg áhrif á mæld heildarstyrk arsens því arsensambönd geta verið fituleyst eða fitutengd og þar að auki er stærsti hluti arsens í kræklingi á formi óeitrað arsenobetaine sem kræklingurinn notar við stjórnum á osmótískum þrýstingi [10]. Styrkur arsens sem og annarra ólífræna snefilefna í

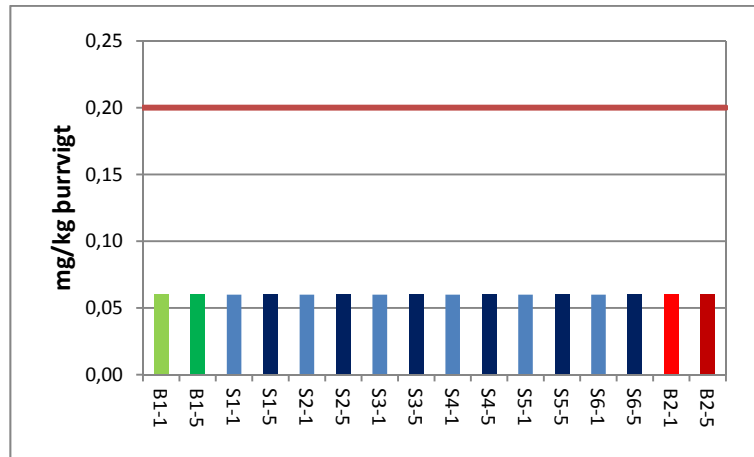
kræklingi getur líka verið mismunandi milli ára [10] og þó svo lægstu viðmiðunarmörk í Noregi séu nálægt styrk í þessari rannsókn (og yfir þeim árið 2000) þá er þessi styrkur arsens algengur í innlendum sem erlendum gagnagrunnum fyrir krækling af ómengduðum svæðum. Vöktun á mengunarefnum í lífríki sjávar við Ísland hefur verið framkvæmd árlega frá 1989 og eru niðurstöður hvers árs teknar saman í skýrslu, niðurstöður fyrir í ólífræn snefilefni í kræklingi sem safnað var á 11 stöðum kringum landið vöktunarárið 2011 sýna til dæmis að arsenstyrkur í kræklingi á 10 stöðum var að meðaltali 10,1 mg/kg á þurrvigt, einn vöktunarstaður þ.e.a.s. Úlfsá var ekki tekinn með í ársmeðaltalið þar sem styrkur arsens er marktækt hærri þar en á öðrum vöktunarstöðum[24]. Önnur rannsókn sem byggir á samantekt og tölfræðiúrvinnslu á yfirgripsmiklun gögnum úr mengunarvöktun í lífríki sjávarvið Ísland sem safnað hefur verið árlega á sömu sýnatökustöðum og sama árstíma yfir 20 ára tímabil sýnir að meðal arsenstyrkur í Hvalfirði er 10 mg/kg (þurrvigt) og er þessi styrkur sambærilegur við niðurstöður fyrir arseni í kræklingi frá ómengduðum svæðum s.s. Hvassahrauni og Dalatanga (Mjóafirði) [25]. Því er styrkur arsens í mjúkvöðva kræklingi við Grundartanga 2013 í svipuðum styrk og í kræklingi frá ómengduðum stöðum umhverfis landið.



Mynd 5. Arsen í mjúkvöðva kræklingi, 2013

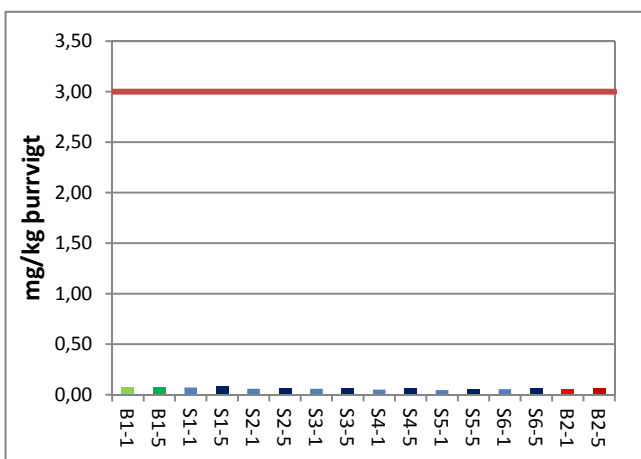
Kvikasilfur. Niðurstöður í **Mynd 6** sýna greiningarmörk kvikasilfurs í mjúkvöðva kræklingi (þurrvigt) ásamt lægstu viðmiðunargildum Norðmanna [23]. Styrkur kvikasilfurs er í öllum tilfellum lægri en greiningarmörk, þ.e. <0,06 mg/kg (þurrvigt), sem er langt undir lægsta viðmiðunargildi Norðmanna, 0,2 mg/kg (þurrvigt), sem er talið einkenna lítt eða ómengduð svæði [23] og er jafnframt langt undir neyslumörkum Evrópusambandsins [26]. Þessar niðurstöður fyrir kvikasilfur eru í samræmi við niðurtöður 2011, en kvikasilfur var ekki mælt í rannsókninni 2000 og nokkur breytileiki í styrk greindist milli árana 2004 og 2007 en engu að síður var hann innan leyfilegs breytileikabils [27] og langt undir lægstu viðmiðunarmörkum Norðmanna. Til samanburðar má einnig nefna að styrkur í kræklingi sem safnað hefur verið árlega á sömu sýnatökustöðum í Hvalfirði yfir 20 ára tímabil var á bilinu 0,041 – 0,049 mg/kg (þurrvigt) og er þessi styrkur sambærilegur við niðurstöður fyrir kvikasilfur í kræklingi frá ómengduðu svæði s.s.

Hvassahrauni [25]. Styrkur kvikasilfurs í mjúkvöðva kræklingi við Grundartanga 2013 er því sambærilegur við styrk kvikasilfurs í kræklingi frá ómenguðum stöðum umhverfis landið.

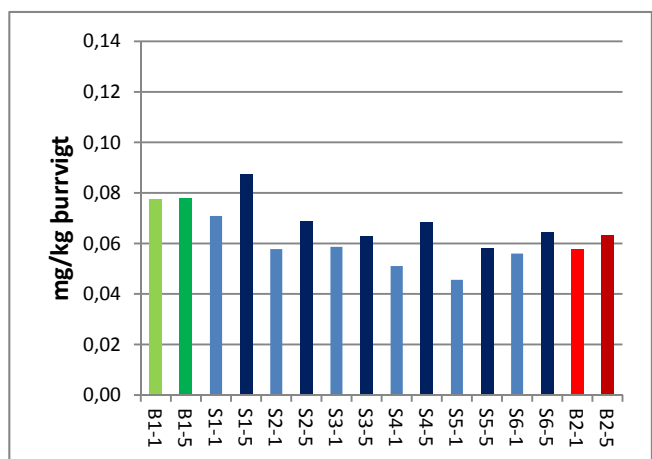


Mynd 6. Kvikasilfur í mjúkvöðva kræklingi

Blý. Niðurstöður í **Mynd 7** og **8** sýna styrk blýs á þurrvigtargrunni, þar sem niðurstöðurnar eru sýndar með tilliti til lægsta viðmiðunargildis Norðmanna á **Mynd 7**. Greina má örlitla hækkun í styrk á 5 km dýpi í stöð 1miðað við banka í byrjun, en styrkurinn er langt undir lægsta umhverfisviðmiði Norðmanna sem er 3 mg/kg í öllum sýnum [23]. Til samanburðar má nefna að hámarksviðmiðunargildi Evrópusambandsins fyrir samlokur til neyslu er 1,5 mg/kg votvigtar fyrir blý [26] en sá styrkur sem hér mælist er langt undir þessum mörkum. Blý var ekki mælt í rannsókninni 2000, en árin 2004, 2007 og 2011 var styrkur blýs líka langt undir lægsta viðmiði í Noregi. Niðurstöður vöktunar á ólífrænum snefilefnum í kræklingi sem safnað var á 11 stöðum kringum landið vöktunarárið 2011 sýna að blýstyrkurvar á bilinu 0,03 til 0,42 mg/kg, en að meðaltali 0,15 mg/kg (þurrvigt) (einn vöktunarstaður þ.e.a.s. Grímsey var ekki tekinn með í ársmeðaltalið þar sem styrkur blýs er marktækt hærri þar en á öðrum vöktunarstöðum[24].



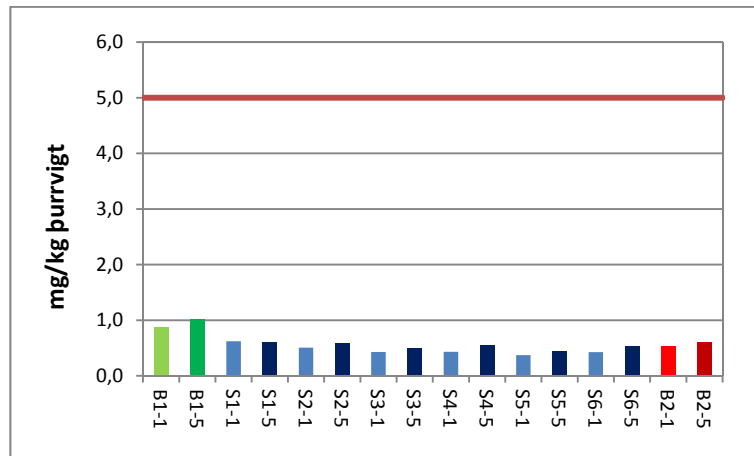
Mynd 7. Blý í mjúkvöðva kræklingi með tilliti til lægsta viðmiðunargildi Norðmanna



Mynd 8. Blý í mjúkvöðva kræklingi án viðmiðunargilda Norðmanna

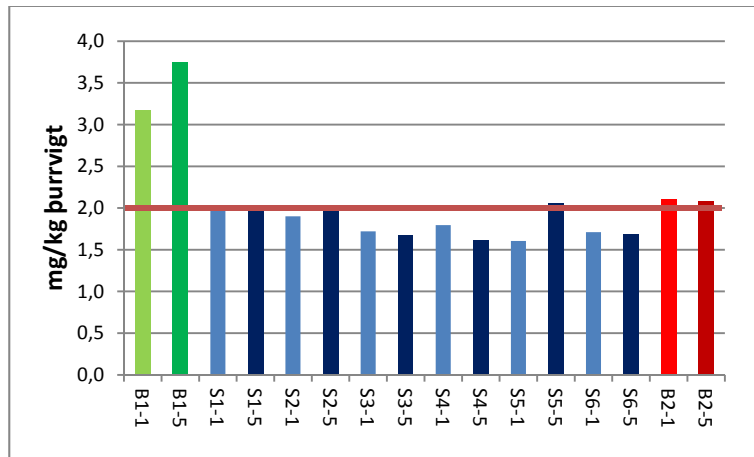
Nikkel styrkur 2013 er sýndur á **Mynd 9**. Styrkur nikkels er áþekkur á öllum stöðvum og langt undir lægsta viðmiði Norðmanna (5 mg/kg) [23]. Ef borið er saman við eldri rannsóknir er styrkur

nikkels breytilegur milli ára, en nikkel er í marktækt hærri styrk árin 2007 og 2000 miðað við árið 2004. Nikkelstyrkurinn í sýnum teknum 2013 er svipaður og árið 2011 og lægri en hann var 2000, 2004 og 2007, sömuleiðis er styrkur nikkels jafnframt lægri en lægstu viðmið í Noregi segja til um, þ.e. lítt eða óverulega mengað svæði. Ástæða fyrir því að styrkur nikkels mældist hærri í vöktunarránsóknum 2000, kann að liggja í því að á þeim tíma voru kræklingasýnin meðhöndluð í olíu [8].



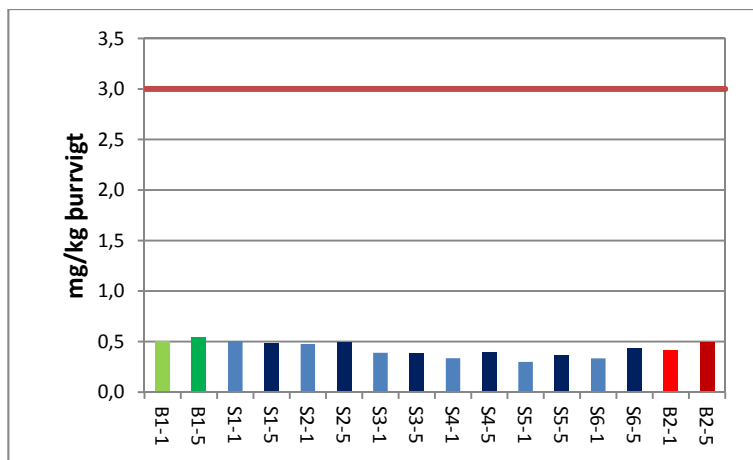
Mynd 9. Nikkel í mjúkvöðva kræklinga

Kadmín. Styrkur kadmíns er sýndur á **Mynd 10** og er svipaður á öllum stöðvum yfir tímabilið, en styrkur kadmíns í sýnunum, banka 2 meðtöldum, hefur lækkað meðan á eldinu við verksmiðjusvæðin stóð. Þetta er sama mynstur og sást 2000 [8] 2007 [10], og 2011 [11] en ekki 2004 [9]. Flest gildin eru nálægt lægsta viðmiðunargildi Norðamanna (2 mg/kg) [23] og lendir því svæðið í öðrum flokk sem nokkuð mengað svæði (moderat forurennet). Það er þó þekkt að kræklingur úr ómengaðri náttúru Íslands inniheldur hlutfallslega háan kadmínstyrk af náttúrulegum orsökum. Sem dæmi má nefna að niðurstöður árlegrar vöktunar á ólífrænum snefilefnum í kræklingi sem safnað var á 11 stöðum kringum landið sýna að kadmínstyrkur í kræklingi var að meðaltali 1,9 mg/kg á þurrvigt árið 2011[24] og á bilinu 1,3 – 1,7 mg/kg (þurrvigt) í kræklingasýnum sem safnað hefur verið árlega á sömu sýnatökustöðum í Hvalfirði yfir 20 ára tímabil og er sá styrkur sambærilegur við niðurstöður fyrir kadmín í kræklingi frá ómengduðum svæði s.s. Hvassahraun [25]. Styrkur kadmíns á votvigt í þessari rannsókn (0,29-0,56 mg/kg) er einnig ávallt undir neyslumörkum Evrópusambandsins fyrir samlokur (1 mg/kg votvigt) [28]. Styrkur kadmín í mjúkvöðva kræklinga við Grundartanga 2013 er því sambærilegur við styrk kadmín í kræklingi frá ómengduðum stöðum umhverfis landið.



Mynd 10. Kadmín í mjúkvöðva kræklinga 2013

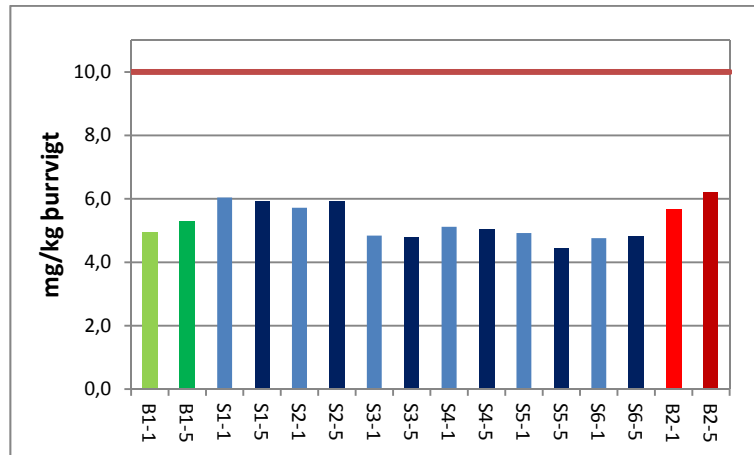
Króm. Á Mynd 11 er sýndur styrkur króms í mjúkvæf kræklinga. Lítil breyting verður í banka yfir tímabilið og styrkur á öllum stöðvum er á mót og í öllum tilfellum er styrkur króms langt undir lágsta viðmiði Norðmanna. Krómstyrkur virðist geta verið nokkuð breytilegur milli ára, t.d mældist krómstyrkur 2007 á sumum stöðvum yfir lágstu viðmiðunargildi Norðmanna sem er frábrugðið niðurstöðum bæði frá 2000, 2004 og 2011. Uptaka króms er háð vexti kræklinga, nálægð kræklinga við botnset og einnig er samband milli hækkaða krómstyrks og hækkaðrar ösku [10].



Mynd 11. Króm í mjúkvöðva kræklinga

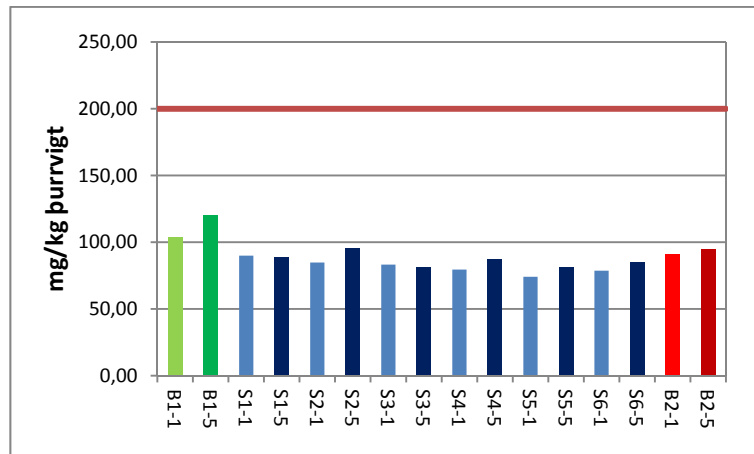
Koparstyrkur er sýndur á Mynd 12. Ekki er hægt að sjá kerfisbundinn mun á kræklingi á 1 og 5 m dýpi og á engri af stöðvunum mældist styrkur hærra en í banka í lokin (B2). Miðað við banka í upphafi verður örlítill hækun í koparstyrk í kræklingnum við eldið á stöðvum 1 og 2 við verksmiðjusæðið og á viðmiðunarstöðinni, sem er í samræmi við niðurstöður frá 2004, 2007 og 2011 en hækka einnig í banka frá upphafi til loka tímabils. Þrátt fyrir það eru öll gildi fyrir árið 2013 undir lágsta viðmiði Norðmanna, 10 mg/kg [23] og mælist lægri koparstyrkur nú en árin 2000, 2004 og 2007 en svipaður og 2011. Reyndar var talið að kopar mengun hafi orðið við undirbúning sýna árið 2000 og því hugsanlega óreiðanlegt að nota þær niðurstöður til samanburðar. Síðustu 20 ár var meðalstyrkur kopars 6,6 mg/kg (burrvigt) í kræklingi frá

vöktunarsvæðum umhverfis landið, en niðurstöður sýna að styrkur kopars er ekki hærri á vöktunarstöðum sem eru skilgreindir sem iðnaðarsvæði [25].



Mynd 12. Kopar í mjúkvöðva kræklings

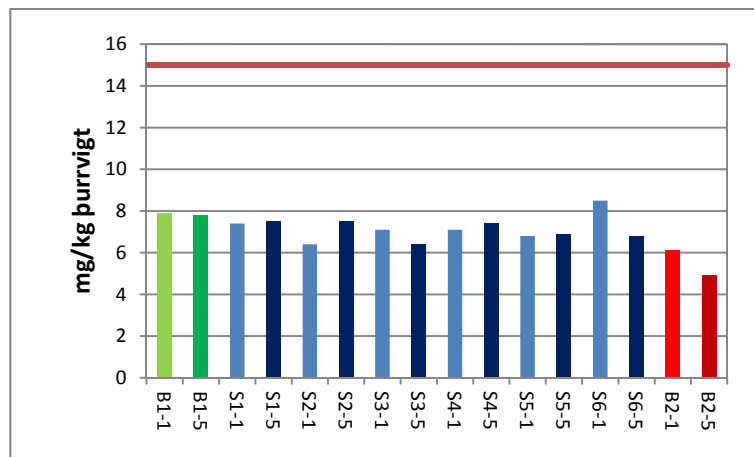
Sinkstyrkur í mjúkvöðva kræklings á þurrvigargrunni er sýndur á **Mynd 13**. Styrkur sinks hefur lækkað í öllum sýnum miðað við Banka 1. Öll sýni mælast langt undir lágsta viðmiði Norðmanna (200 mg/kg, þurrvig) [23] og meðalstyrkurinn (um 89 mg/kg, þurrvig) er lægri en mælst hefur í fyrri rannsóknum fyrir utan árið 2011 [11]. Síðustu 20 ár var meðalstyrkur sinks í kræklingi frá ómenguðum svæðum umhverfis Ísland s.s. Botn í Mjóafirði 120 mg/kg (þurrvig) [25].



Mynd 13. Sínk í mjúkvöðva kræklings

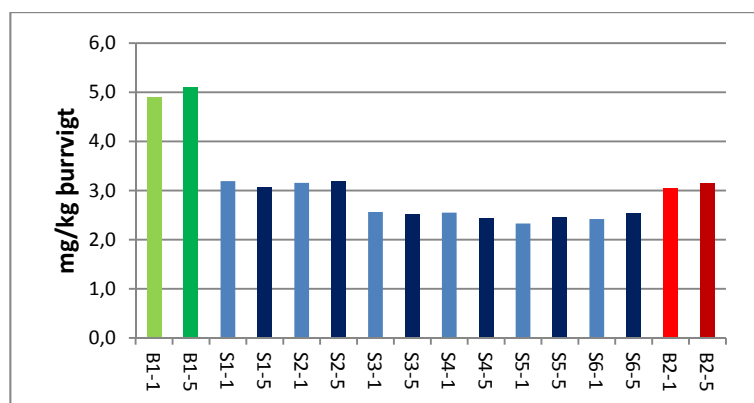
Flúorstyrkur í mjúkvöðva kræklings á þurrvigargrunni er sýndur á **Mynd 14**. Myndin sýnir einnig lægstu viðmiðunarmörk Norðmanna fyrir flúor í kræklingi [23] en undir þessum styrk er sjórinn álitinn óverulega mengaður (ubetydlig lite forurennet) og svæðið flokkast því í fyrsta flokk af fimm. Töluvert hærri flúorstyrkur mælist árið 2013 borið saman við fyrri rannsóknir en vert er að geta að grunnildið (B1) er einnig hærri árið 2013. Ekki er kerfisbundinn munur í styrk flúors eftir dýpi (1 og 5 m) á stöðvunum sex, en greina má hækkaðan flúorstyrk miðað við banka í lok tímabils, þ.e. kræklingur á stöðvum 1-6 hafa viðhaldið flúorstyrknum meðan kræklingur í banka

hefur náð að hreinsa sig. Fyrir rannsóknina 2013 var bankinn var færður þar sem hann var talinn vera of nálægt áhrifasvæði iðnaðarsvæðisins í fyrri rannsóknum. Mesta hækkun greinist á stöð 6, en þessi stöð er næst kerbrotagryfju.



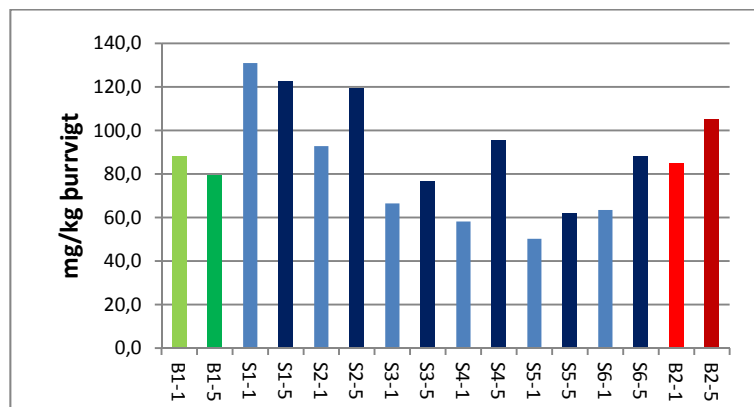
Mynd 14. Flúor í mjúkvöðva kræklinga

Selen. Styrkur selen í kræklingi er sýndur á **Mynd 15** og sést þar að styrkur selens hefur lækkað meðan á eldinu stóð í öllum stöðvunum og viðmiðunarbanka í lokin, en styrkur í banka í lokin er í flestum tilvikum hærri en styrkur stöðvanna, þó mjög sambærilegur og kræklingur frá stöðvum 1 og 2. Ekki sést kerfisbundinn munur á sýnum á annars vegar 1 m dýpi og 5 m dýpi hins vegar og ef miðað er við banka í upphaf tímabils hefur orðið lækking í styrk meðan á eldi stóð, sem einnig mátti sjá í tilviki arsens og kadmíns. Niðurstöður árlegrar vöktunar á ólífrænum snefilefnum í kræklingi sem safnað var á 11 stöðum kringum landið sýna að selenstyrkur í kræklingi var að meðaltali 2,3 mg/kg á þurrvigt árið 2011 [24] og langtímarannsókn sýnir að styrkurinn sveiflast á bilinu 2,1 – 3,5 á síðastliðnum 20 árum [25] sem er svipaður styrkur og mælist í þessari rannsókn og er svæðið samkvæmt þessu ekki undir álagi selens. Ekki hafa verið sett viðmiðunarmörk fyrir selen í kræklingi eða öðrum lífverum sjávar né eru til hámarksgildi fyrir styrk selens í matvælum enda um lífsnauðsynlegt snefilefni að ræða.



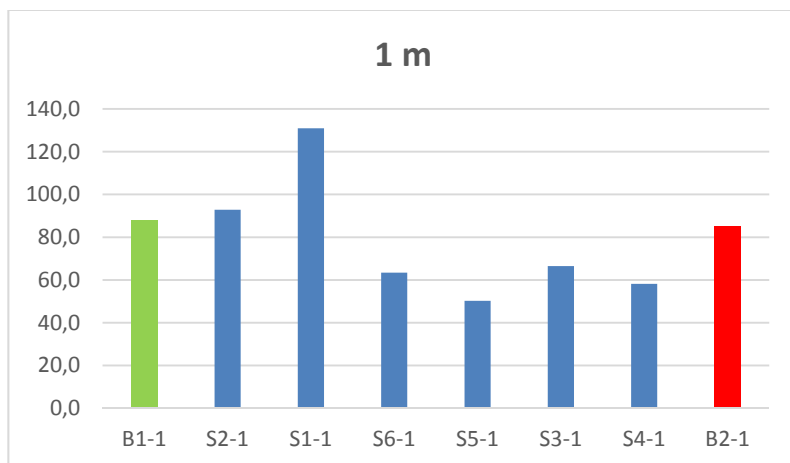
Mynd 15. Selen í mjúkvöðva kræklinga

Álstyrkur í mjúkvef kræklings á þurrvgargrunni er sýndur á **Mynd 16**. Lítið eru til um sambærilegar rannsóknir á áli og t.d eru ekki til viðmiðunarmörk fyrir ál í kræklingi eða öðrum lífverum sjávar né hafa verið sett hámarksgildi á styrk áls í matvælum. Niðurstöðurnar sýna nokkra hækkun í álstyrk við eldið á öllum stöðvum (nema í stöð 3 og 5, takmarkað í stöð 4) og í viðmiðunarbanka á 5 m dýpi. Hæstur styrkur mælist í kræklingi frá stöð 1 og svo stöð 2 sem báðar eru næstar iðnaðarsvæðinu. Hækkunin í kræklingnum frá stöðvum 1 og 2 nemur um 52% og 9% á 1m dýpi og 47% og 43% á 5m dýpi. Ekki er um marktæka hækkun í kræklingi frá öðrum stöðvum.. Samkvæmt erlendum rannsóknum [29] tengist ál styrkur úrkomu og getur því verið mikill breytileiki eftir árstíðum. Líkt og í fyrri rannsóknum er álstyrkurinn yfirleitt hærri í neðri búrunum, sem er hugsanlega vegna meira nálægðar við setið, en ál hefur sterka viðloðun gagnvart föstum efnum, einkum lífrænum efnum og er almennt talið að ál í kræklingi sé tilkomið vegna mengunar í seti [29].

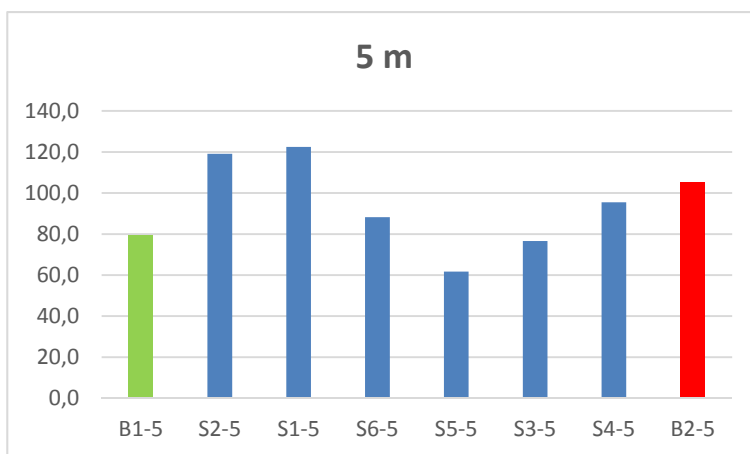


Mynd 16. Ál í mjúkvöðva kræklings

Mynd 17 og **Mynd 18** sýna styrk áls í kræklingunum fyrir sitt hvort ræktunardýpið, 1 og 5 m. Stöðvunum hefur verið raðað upp eftir nálægð við iðjuverin, þ.e. S2 og S1 eru næstar, S6, S5 og S3 lengra frá og að lokum er S4 í mestri fjarlægð. Nánari umræðu má finna í kafla um járn hér fyrir neðan.

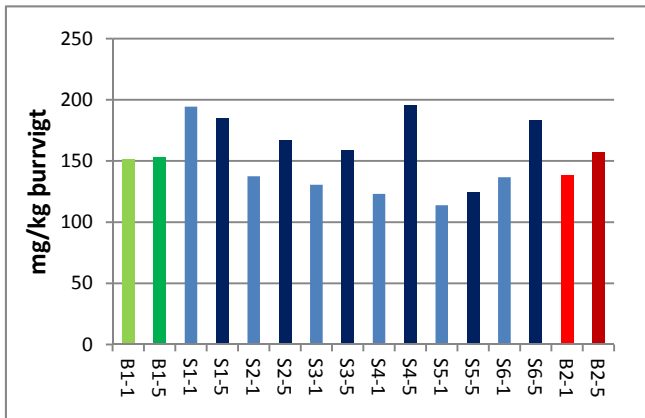


Mynd 17. Styrkur áls í kræklingum ræktuðum á 1 m dýpi, stöðvum raðað upp eftir fjarlægð frá iðjuverunum þ.e. S2 og S1 eru næstar, S6, S5 og S3 lengra frá og að lokum er S4 í mestri fjarlægð.

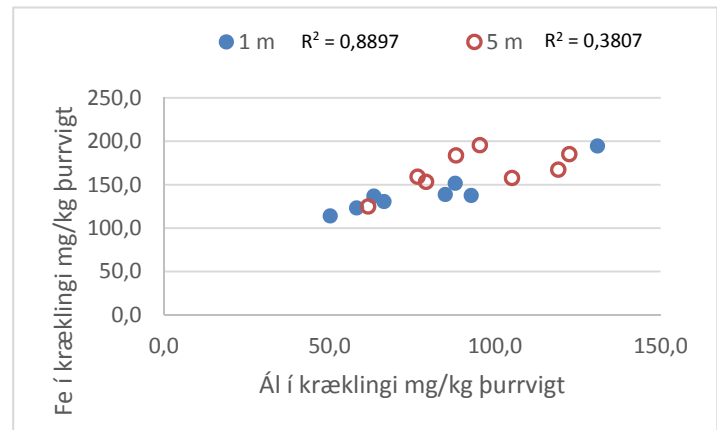


Mynd 18. Styrkur áls í kræklingum ræktuðum á 5 m dýpi, stöðvum raðað upp eftir fjarlægð frá iðjuverunum þ.e. S2 og S1 eru næstar, S6, S5 og S3 lengra frá og að lokum er S4 í mestri fjarlægð.

Járn. Á **Mynd 19** má sjá styrk járns í kræklingi á þurrvigtagrunni. Á fimm stöðvum af sex er járnstyrkurinn hærri á 5 m dýpi en á 1 m dýpi, sem er áþekkt hegðun eins og fyrir ál, og mikil fylgni fannst sömuleiðis milli áls og járns. Þessa fylgni má einnig sjá í niðurstöðunum fyrir rannsóknanna (2004, $R^2=0,87$; 2004 og 2007 saman, $R^2=0,94$). Þetta samband er talið komið til vegna náttúrulegs landræns framburðar og sets, þar sem að ál og járn er lausbundið í íslenskum jarðvegi og ár eru að skila miklu af þessum efnum á haf út. Vensl járns og áls í kræklingi 2013 er sett fram í **Mynd 20**, og þó svo að ekki sé hægt að sjá jafn sterka fylgni í þessari rannsókn er styrkurinn engu að síður að jafnaði hærri við botn þar sem setið hefur meiri áhrif á sýnin. Af þessum sökum sýna niðurstöður rannsókna að styrkur járns lækki í eldiskræklingi er frá dregur ströndu [27]. Því bendir allt til að járn og ál styrkur séu hér af náttúrulegum toga en tengist ekki verksmiðjurekstrinum. Ekki eru til viðmiðunarmörk fyrir járn í kræklingi eða öðrum lífverum sjávar né hafa verið sett hámarksgildi á styrk járns í matvælum enda um nauðsynlegt snefilefni að ræða.

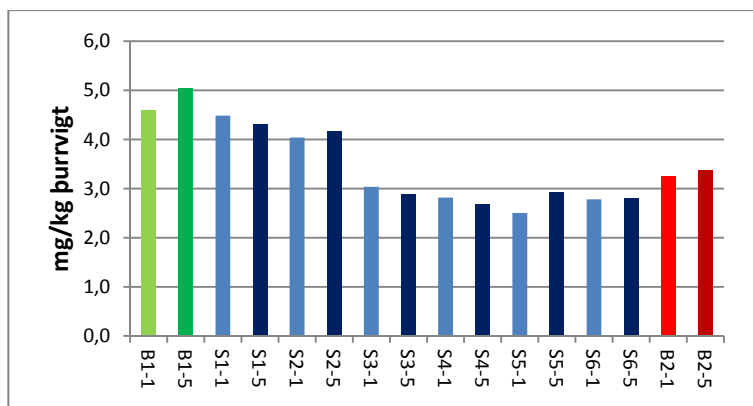


Mynd 19. Járn í mjúkvöðva kræklings



Mynd 20. Vensl járn og áls í kræklingi 2013

Vanadín. Niðurstöður fyrir styrk vanadíns í mjúkvef kræklings á þurrvigtargrunni eru sýndar á **Mynd 21.** Vanadín var ekki mælt í rannsókninni 2000 en eins og í rannsóknunum árin 2004 og 2007 má sjá ókerfisbundin breytileika í niðurstöðum milli stöðva. Umhverfismörk fyrir vanadín í kræklingi eru ekki kunn, þannig að hér er einungis hægt að styðjast við fyrri niðurstöður úr rannsóknum vegna áhrifa iðjuveranna í Grundartanga. Árið 2004 var vanadín styrkur mældur á votvigtargrunni, en í samanburði við niðurstöður frá 2007 mælist vanadín styrkurinn svipaður nú og árið 2007 en um helmingi hærri en 2011.

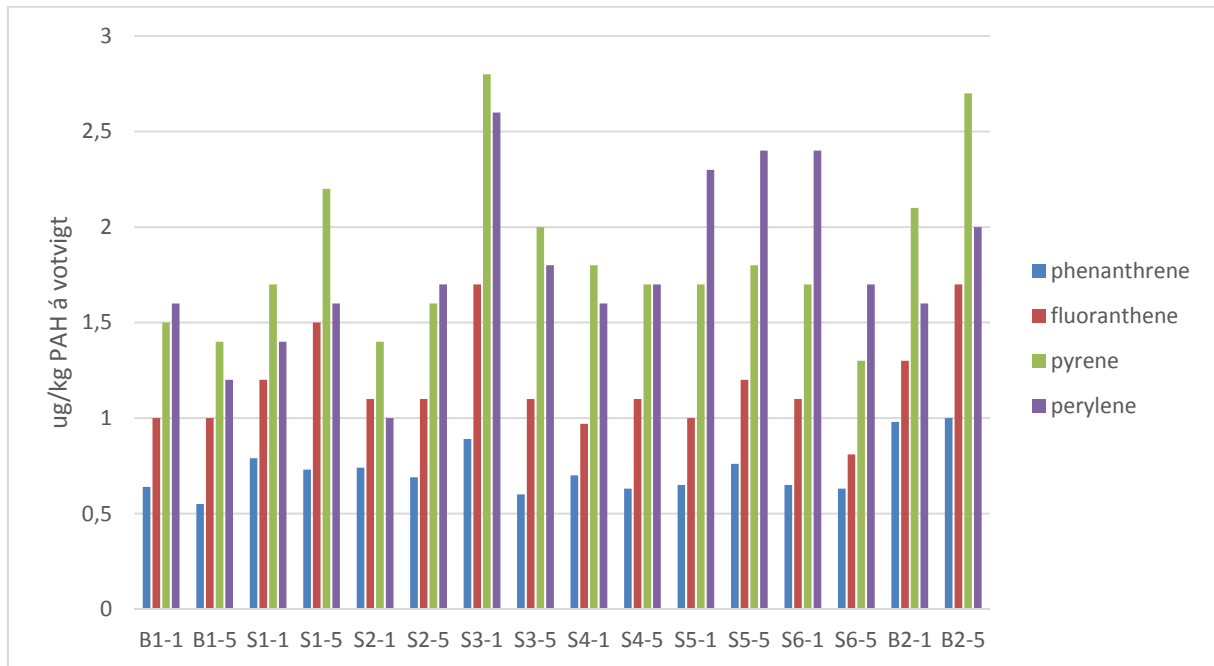


Mynd 21. Vanadín í mjúkvöðva kræklings

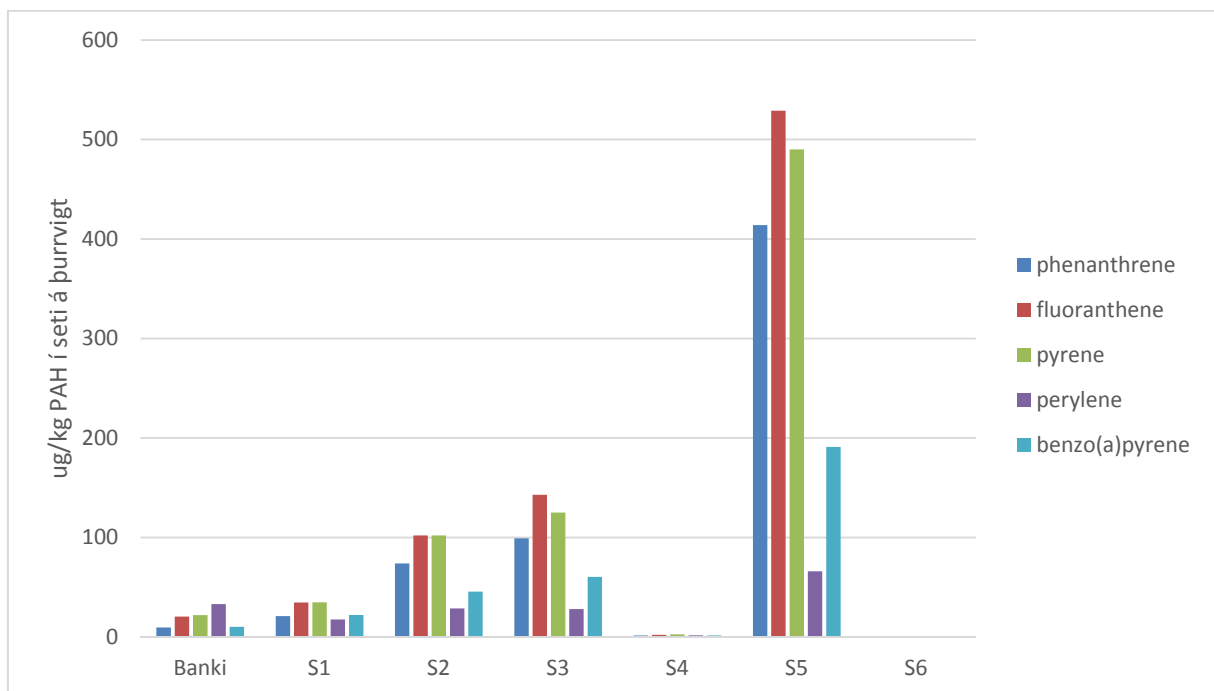
4.5. PAH efni

Tafla í viðauki V sýnir niðurstöður gæðaeftirlits RLE á PAH mælingunum. Mæld voru 18 PAH-efni og meðal þeirra eru þau 16 efni sem Umhverfisstofnun Bandaríkjanna (US-EPA) hafa ákvarðað að séu þau sem mest þarf að rannsaka vegna áhrifa og styrks í umhverfinu. Mjög lítið af PAH efnum greindust í sýnunum, en niðurstöður á styrk mælanlegra PAH-efna í mjúkvef kræklings má sjá í töflu í viðauka V. Efnið perylene, sem ekki er eitt af EPA16 efnunum, greindist þó í öllum sýnum og phenanthrene greindist yfir greiningamörkum í þremur sýnum. Greiningamörk naftalens voru hærri en fyrir önnur efni, þar sem mikill breytileiki var á magni naftalens í blanksýnum. Þá voru greiningamörk indeno(1,2,3-cd)pyrene nokkuð hærri en hinna efnanna, vegna truflunar frá óþekktu efni í sýnunum. **Mynd 22** sýnir styrk þeirra PAH efna sem mældust

yfir greiningarmörkum í kræklingi og Mynd 23 sýnir styrk sömu PAH efni ásamt benzo[a]pyrene í seti þó flest PAH efni sem voru mæld í setinu hafi verið yfir greiningarmörkum þ.e.a.s öll sýni nema sýni S6 sem þar sem engin PAH efni mældust.



Mynd 22: Styrkur PAH efna í kræklingi í ug/kg votvigt.



Mynd 23: Styrkur PAH efna í seti í ug/kg þurrvigt.

Norðmenn hafa sett umhverfismörk fyrir þau 16 PAH efni sem US-EPA mæla með, m.a. eru mörkin fyrir benzo[a]pyrene 1 µg/kg á votvigt kræklinga fyrir minnst mengaða flokkinn. Flest PAH efni sem rannsökuð voru hér mældast undir greiningarmörkum í kræklingi og falla því öll

svæðin undir ómenguð svæði samkvæmt norsku stöðlunum fyrir PAH efni í kræklingi [23]. Ef borið er saman við niðurstöður annarra [30, 31] virðist ekki vera um mengun PAH efna að ræða í umræddum sýnum frá Hvalfirði 2013. Á ómenguðu svæði í Skotlandi [31] var heildarmagn PAH efna í kræklingi um 9 µg/kg votvigt um sumar og 22 µg/kg votvigt um vetur, en á Grænlandi [30] var styrkurinn um 500 µg/kg þurrvigt sem ætti að samsvara um 100 µg/kg votvigtar ef gert er ráð fyrir u.þ.b. 20 % þurrvigt kræklingis.

Ef niðurstöður í seti eru skoðaðar þá sést að PAH efnin mynda ákveðið mynstur og það mynstur er eins eða mjög svipað fyrir alla staði. Óvænt niðurstaða var að ekkert mælist í seti frá S6. Öll sýni voru þó endurmæld og sama niðurstaða fékkst aftur. Líklegt er að ástæðan sé að sýni af botnseti frá stöð S6 samanstöð af sandi en ekki seti sbr. töflu í viðauka VI. Því er sýni S6 ekki samanburðarhæft við önnur botnsetsýni, þar sem sandur er að mestu ólífrænt efni sem bindur ekki lífræn efni eins og PAH. Ef frá er talinn staður S6 þá er lægstur PAH styrkur í seti frá stað S4 sem er lengst frá áhrifasvæði iðnaðarsvæðisins og svo í banka. Hæstur styrkur er í seti frá S5.

Ekki er mikið um viðmiðunargildi fyrir PAH efni í seti. Þó er hægt að miða við Norsk gildi frá 2007 sem eru sýnd í Töflu 1 [35].

Tafla 1: Norsk viðmiðunargildi fyrir PAH mengun í seti

	I	II	III	IV	V
	Bakgrunn	God	Moderat	Dårlig	Svært dårlig
	Bakgrunnur	Lítill eituráhrif	Síðkomin áhrif eftir langa viðkomu (exposure)	Bráð eituráhrif eftir stutta viðkomu (exposure)	Mikil og útbreidd bráð áhrif
PAH					
Naftalen (µg/kg)	<2	2- 290	290 - 1000	1000 - 2000	>2000
Acenaftýlen (µg/kg)	<1.6	1.6 - 33	33 - 85	85 - 850	>850
Acenaften (µg/kg)	<4.8	2.4 - 160	160 - 360	360 - 3600	>3600
Fluoren (µg/kg)	<6.8	6.8 - 260	260 - 510	510 - 5100	>5100
Fenantren (µg/kg)	<6.8	6.8 - 500	500 - 1200	1200 - 2300	>2300
Antracen (µg/kg)	<1.2	1.2 - 31	31 - 100	100 - 1000	>1000
Fluoranthén (µg/kg)	<8	8 - 170	170 - 1300	1300 - 2600	>2600
Pyren (µg/kg)	<5.2	5.2 - 280	280 - 2800	2800 - 5600	>5600
Benzo[a]antracen (µg/kg)	<3.6	3.6 - 60	60 - 90	90 - 900	>900
Chrysen (µg/kg)	<4.4	4.4 - 280	280 - 280	280 - 560	>560
Benzo[b]fluoranten (µg/kg)	<46	46 - 240	240 - 490	490 - 4900	>4900
Benzo[k]fluoranten (µg/kg)		<210	210 - 480	480 - 4800	>4800
Benzo(a)pyren (µg/kg)	<6	6 - 420	420 - 830	830 - 4200	>4200
Indeno[123cd]pyren (µg/kg)	<20	20 - 47	47 - 70	70 - 700	>700
Dibenzo[ah]antracen (µg/kg)	<12	12 - 590	590 - 1200	1200 - 12000	>12000
Benzo[ghi]perylene (µg/kg)	<18	18 - 21	21 - 31	31 - 310	>310
PAH16 1) (µg/kg)	<300	300 - 2000	2000 - 6000	6000 - 20000	> 20000

Til samanburðar þá er summa US-EPA 16 PAH efna og ásamt styrk benzo[a]pyrens, sem er eitraðasta efnið í efnaflokknum, í botnsetisýnum utan við Grundartanga í Hvalfirði sýnd í Töflu 2.

Tafla 2: Styrkur summu 16 PAH efna í botnseti við Grundartanga í Hvalfirði 2013 í $\mu\text{g}/\text{kg}$ þ.v.

Efni	Banki	S1	S2	S3	S4	S5	S6
$\Sigma 16$ PAH	161	265	728,	909	34,3	3085	
Benzo[a]pyrene	10,2	22,1	45,6	60,4	1,5	191	<1

Sýni af botnseti við Grundartanga flokkast því í flokk I,II eða III ef summa 16 PAH efna er skoðuð, en ef benzo[a]pyrene er skoðað sérstaklega þá falla öll sýni, fyrir utan S4 (viðmiðunarstaður) í flokk II, bankinn er þó aðeins rétt yfir mörkum til að flokkast í flokk I. Ef skoðuð er nýleg grein eftir He og meðhöfunda (2014) þá er sett þröskuldsgildi og áhrifagildi fyrir einstök efni byggt á viðmiðunargildum frá Kanada (36, 37). Tafla 3 sýnir viðmiðunargildi tekin úr grein He og meðhöfunda (36).

Tafla 3: Þröskuldsgildi og áhrifagildi fyrir einstök PAH efni í seti í ng/g . Tekið úr He ofl. 2014

PAH	REL	TEL	OEL	PEL	FEL
Benzo[a]pyrene	34	89	230	760	1700

REL: Rare effect level; TEL: Threshold effect level; OEL: Occasional effect level; PEL: Probable effect level; FEL: Frequent effect level

Ef borin eru saman gildin í Töflum 2 og 3, þá falla sýnatökustaðirnir Banki, S1 og S4 í REL, það er að ólíklegt er að sjá áhrif vegna þess benzo[a]pyrens sem þar finnst. Sýnatökustaðirnir S2 og S3 eru undir þröskuldsgildi áhrifa (TEL). Sýnatökustaður S5 fellur í OEL flokk, þar sem búist er við að einstaka tilfelli komi upp í lífríkinu vegna þess styrks af benzo[a]pyrens sem þar er að finna. Gildin REL og TEL eru sett fram sem viðmiðunargildi til varnar setmengun.

Það kemur ekki á óvart að PAH mælist í seti við iðnaðarsvæði þar sem PAH er fylgifiskur iðnaðar og umferðar og getur komið frá t.d. skipaumferð. Þetta er í fyrsta sinn sem mælingar eru framkvæmdar á PAH efnum í seti í umhverfisvöktun fyrir iðjuverin á Grundartanga og því ekki hægt að bera saman niðurstöður við fyrri mælingar. Ekki eru til nein opinber vöktunargögn á Íslandi fyrir PAH gildi í seti og því ekki hægt að bera þessar niðurstöður saman við viðamikil vöktunargögn. Einungis eru til gögn um PAH efni í seti frá Reyðarfirði frá árinu 2000 þegar umhverfismat var framkvæmt vegna fyrirhugaðs álvers þar (38). Í þeirri rannsókn var styrkur summu 23 PAH efna á bilinu 23-100 $\mu\text{g}/\text{kg}$ þ.v. (þurrviggt) og meðaltalið var 57 $\mu\text{g}/\text{kg}$ þ.v. og eru því líklega einu bakgrunnsgildi fyrir PAH efni í seti sem til eru frá Íslandi. Allir mælistaðir í vöktun í Hvalfirði 2013 mælast með hærri summu PAH efna að S4 (viðmiðunarstað) undanskildum, þó að einungis 18 PAH efni séu mæld miðað við 23 PAH efni í sýnum frá Reyðarfirði. Nauðsynlegt er að halda áfram vöktun á seti til að meta þróun til lengri tíma.

5. Samantekt og lokaorð

Helstu niðurstöður mælinga á mengandi efnum í kræklingum í Hvalfirði benda til þess að iðjuverin hafi lítil eða nokkur áhrif á umhverfið í sjónum í kring. Rannsóknin tók tillit til þeirra þátta sem helst eru taldir sjást í umhverfi nálægt iðjuverum af þeirri tegund sem eru starfrækt á Grundartanga. Til að mynda mældist mun minni mengun í þessari rannsókn í kræklingi borið saman við sambærilegar rannsóknir í Noregi [32, 33]. Styrkur ólífrænna efna er sambærilegur við þann styrk sem má finna í kræklingi frá öðrum stöðum kringum landið. Hins vegar geta ýmsir þættir í umhverfinu haft áhrif á styrk ólífrænna efna og hegðun þeirra. Eins er styrkur PAH efna lágur jafnvel í kræklingunum sem voru ræktaðir næst iðjuverunum en greinilegt er að styrkur PAH er hærri nálægt iðjuverunum en það kemur ekki á óvart. Styrkur í botnseti nálægt iðjuverunum í Grundartanga var nokkuð hærri en í viðmiðunarsýni og eitt sýnanna (S5) féll í flokk III skv. norskum rannsóknnum sem er mengun sem gæti haft langtímaáhrif á lífverur eftir langa viðkomu (exposure) (35). Styrkur eitraðasta PAH efnisins, benzo(a)pyrenes, fellur þó í flokk II á öllum svæðum, þar sem reiknað er með litlum eituráhrifum. Samkvæmt kanadískum rannsóknnum falla flest setsýnin neðan við þröskuldsgildi áhrifa (TEL), nema S5, sem flokkast í mörk einhverra áhrif (OEL) (36). Nauðsynlegt er að fylgjast áfram með styrk PAH efna í seti og lífríki til að meta hugsanlegar langtímabreytingar á svæðinu.

Niðurstöðurnar sem eru birtar í þessari skýrslu eru í samræmi við eldri niðurstöður sambærilegra rannsókna. Staðsetning viðmiðunarstaðs er mun hentugri í þessari rannsókn borið saman við fyrri rannsóknir og er ólíklegt að iðjuverin hafi áhrif á núverandi viðmiðunarstað. Hins vegar mælum við með því að bæta öðrum viðmiðunarstað við, yst í Hvalfjörð og að sá staður verði ekki nálægt ströndinni til að útiloka þau áhrif sem ströndin hefur á kræklinginn.

Til að draga saman:

- Ekki mælast mikil áhrif iðjuvera á umhverfið í sjónum í kringum Grundartangaiðnaðarsvæðið
- Mælt er með því að bæta við viðmiðunarstað utarlega í Hvalfirði

6. Heimildaskrá

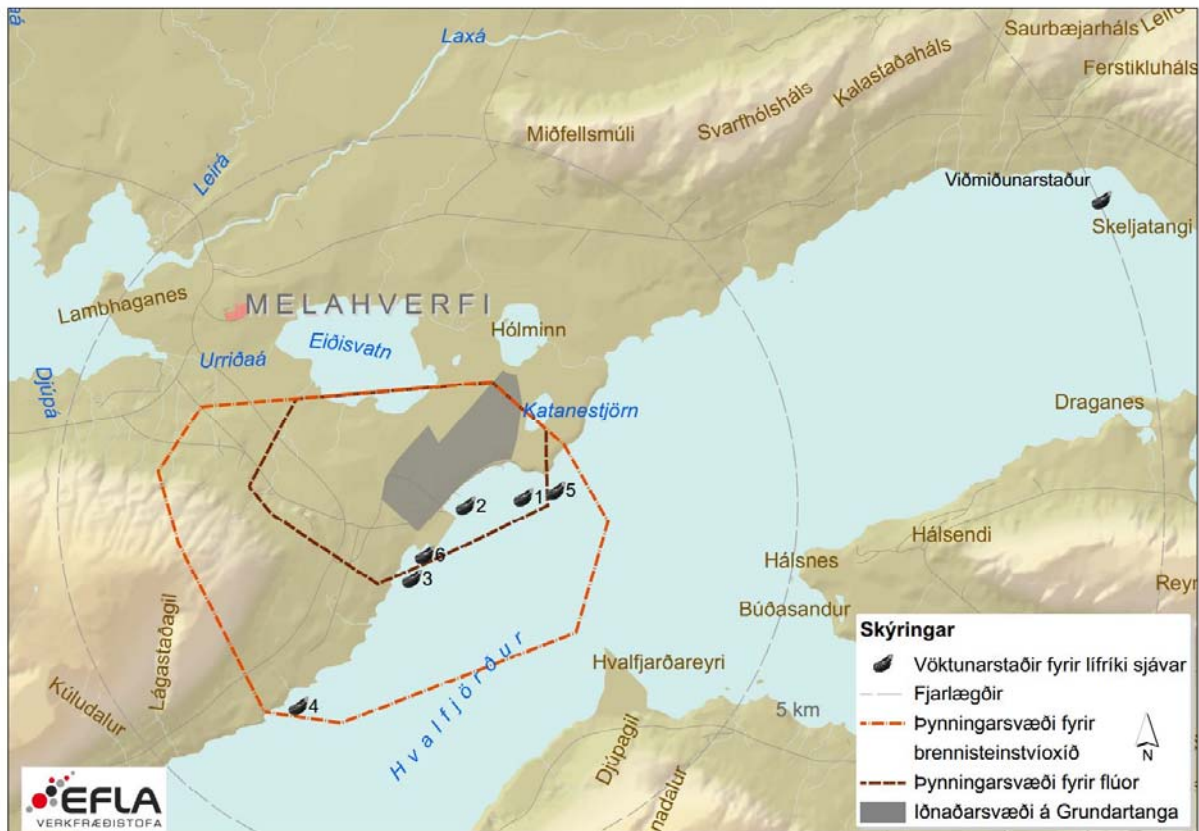
1. H. P. Halldórsson, Ó. S. Gíslason "Mengunarálag í vistkerfi sjávar utan við Grundartanga og Katanes í Hvalfirði vaktað með hjálp kræklinga - Undirbúningur búra, og meðhöndlun og ræktun kræklinga í búrum"; Rannsóknasetur Háskóla Íslands á Suðurnesjum 2012.
2. N. Mzoughi, L. Chouba, "Heavy Metals and PAH Assessment Based on Mussel Caging in the North Coast of Tunisia (Mediterranean Sea)", *International Journal of Environmental Research*, vol. 6, 1, pp. 109-118, 2012.
3. R. C. Sundt, D. M. Pampanin, M. Grung, J. Barsiene, A. Ruus, "PAH body burden and biomarker responses in mussels (*Mytilus edulis*) exposed to produced water from a North Sea oil field: Laboratory and field assessments", *Marine Pollution Bulletin*, vol. 62, 7, pp. 1498-1505, 2011.
4. C. A. Duarte, E. Giarratano, O. A. Amin, L. I. Comoglio, "Heavy metal concentrations and biomarkers of oxidative stress in native mussels (*Mytilus edulis chilensis*) from Beagle Channel coast (Tierra del Fuego, Argentina)", *Marine Pollution Bulletin*, vol. 62, 8, pp. 1895-1904, 2011.
5. M. E. Chase, S. H. Jones, P. Hennigar, J. Sowles, G. C. H. Harding, K. Freeman, P. G. Wells, C. Krahforst, K. Coombs, R. Crawford, J. Pederson, D. Taylor, "Gulfwatch: Monitoring spatial and temporal patterns of trace metals and organic contaminants in the Gulf of Maine (1991-1997) with the blue mussel, *Mytilus edulis* L.", *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 42, pp. 490-504, 2001.
6. K. Granby, N. H. Spliid, "Hydrocarbons and organochlorines in common mussels from the Kattegat and the Belts and their relation to condition indices.", *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 30, 74-82, pp. 74, 1995.
7. H. P. Halldórsson, J. Svavarsson, A. Granmo, "The effect of pollution on scope for growth of the mussel (*Mytilus edulis* L.) in Iceland.", *Mar. Environ. Res.*, vol. 59, pp. 47-64, 2005.
8. G. A. Auðunsson, E. Árnadóttir, H. Halldórsdóttir, J. R. Vaño, M. E. Tighe, u. Ragnarsdóttir "Könnun á ólífrænum snefilefnum og arómatískum fjölhringum (PAH) í kræklingi við Grundartanga, Hvalfirði, sumarið 2000"; 3-01; 2001.
9. H. Halldórsdóttir, G. A. Auðunsson "Könnun á ólífrænum snefilefnum og arómatískum fjölhringjum (PAH) í kræklingi við Grundartanga, Hvalfirði, 2004"; 27-05; 2005.
10. G. A. Auðunsson "Könnun á ólífrænum snefilefnum og arómatískum fjölhringjum (PAH) í kræklingi við Grundartanga, Hvalfirði, sumarið 2007"; NM 11-06; 2011.
11. H. Jörundsdóttir, S. Jensen, N. Desnica, Ragnarsdóttir, H. Gunnlaugsdóttir "Könnun á ólífrænum snefilefnum og arómatískum fjölhringjum (PAH) í kræklingi við Grundartanga, Hvalfirði, 2011"; Matis: Reykjavík, Iceland, 2012; p 33.
12. H. P. Halldórsson, Ó. S. Gíslason "Mengunarálag í vistkerfi sjávar utan við Grundartanga og Katanes í Hvalfirði vaktað með hjálp kræklinga - Undirbúningur búra, meðhöndlun og ræktun kræklinga í búrum"; Reykjavík, Iceland, 2014.
13. M. H. Salazar, S. M. Salazar, "Standard guide for conducting in-situ field bioassays with caged bivalves. American Society for Testing and Materials (ASTM), 2001. ." In Annual Book of ASTM Standards: 2001; Vol. designation: E 2122 02.
14. Matis, "SV-25-02-SN. Móttaka og vinnslurás sýna, snefilefna mælingar." In 2011.
15. Matis, "SV-22-02-SN-1. NMKL (2007). ICP-MS aðferð." In 2011.
16. Matis, "SV-22-02. AE 4. ISO 6496-(E), mod." In 1999.
17. Matis, "SV-22-02. AE 5. ISO 5984." In 2002.
18. Matis, "SV-22-02. AE 1. AOCS Ba 3-38." In 1997; Vol. AN 301.
19. Matis, "SV-22-02. AE 2. AOAC-Titrino " In 2000.
20. K. H. Karstensen, O. Ringstad, I. Rustad, K. Kalevi, K. Jørgensen, K. Nylund, T. Alsberg, K. Ólafsdóttir, O. Heidenstam, H. Solberg, "Methods for chemical analysis of contaminated soil samples - tests of their reproducibility between Nordic laboratories", *Talanta*, vol. 46, pp. 423-437, 1998.
21. T. Prakash, K. Rao, "Relationship between the metal content in bivalve shell and its physical parameters", *Fresenius Environmental Bulletin*, vol. 2, 9, pp. 509-513, 1993.
22. P. B. Lobel, C. D. Bajdik, S. P. Belkhole, S. E. Jackson, H. P. Longerich, "Improved protocol for collecting mussel watch specimens taking into account sex, size, condition, shell shape, and

- chronological age", *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, vol. 21, 3, pp. 409-414, 1991.
23. J. Molvær, J. Knutzen, J. Magnusson, B. Rygg, J. Skei, J. Sorensen "Classification of environmental quality in fjords and coastal waters. A guide. 97:03"; Norsk institutt for vannforskning: 2004.
 24. H. Jörundsdóttir, N. Desnica, Ragnarsdóttir, H. Gunnlaugsdóttir "Monitoring of the marine biosphere around Iceland 2011 and 2012"; Matis - Icelandic Food and Biotech R&D: Reykjavík, Iceland, 2013; p 63.
 25. E. Sturludóttir, H. Gunnlaugsdóttir, H. Jörundsdóttir, E. V. Magnusdóttir, K. Olafsdóttir, G. Stefansson, "Spatial and temporal trends of contaminants in mussel sampled around the Icelandic coastline", *Sci. Tot. Environ.*, vol. 454-455, pp. 500-509, 2013.
 26. E. Regulation, "Reglugerð um gildistöku tiltekinnar gerðar Evrópusambandsins um aðskotaefni í matvælum." In 2003; Vol. 661.
 27. G. A. Auðunsson "Kræklingrannsóknir: Ánanaust 2000"; ITÍ0605/EGK02 (6ÞV05186); 2005.
 28. C. R. (EC), "Setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs." In Commission Regulation (EC): 2006; Vol. No 1881.
 29. M. L. Lares, G. Flores-Munoz, R. Lara-Lara, "Temporal variability of bioavailable Cd, Hg, Zn, Mn and Al in an upwelling regime", *Environmental Pollution*, vol. 120, 3, pp. 595-608, 2002.
 30. M. Pecseli, G. Pritzl, M. Thomsen, G. Asmund, J. T. Christensen, "Polycyclic Aromatic Compounds in the Greenland Marine Environment", *Polycyclic Aromatic Compounds*, vol. 22, 3, pp. 689-702, 2002.
 31. L. Webster, M. Russell, P. Walsham, L. A. Phillips, G. Packer, I. Hussy, J. A. Scurfield, E. J. Dalgarno, C. F. Moffat, "An assessment of persistent organic pollutants (POPs) in wild and rope grown blue mussels (*Mytilus edulis*) from Scottish coastal waters", *Journal of Environmental Monitoring*, vol. 11, 6, pp. 1169-1184, 2009.
 32. J. Knutzen, "Effects on marine organisms from polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and other constituents of waste water from aluminium smelters with examples from Norway", *Science of The Total Environment*, vol. 163, 1-3, pp. 107-122, 1995.
 33. K. Naes, J. Knutzen, L. Berglind, "Occurrence of PAH in marine organisms and sediments from smelter discharge in Norway", *Science of The Total Environment*, vol. 163, 1-3, pp. 93-106, 1995.
 34. Halldórsson, H.P., Gíslason, Ó.S., Mengunarág í botnseti utan við Grundartanga í Hvalfirði - Undirbúningur og sýnatökur með botngreip. Skýrsla Háskóla Íslands, Mars 2014.
 35. SFT (Statens forurensningstilsyn (Norwegian Pollution Control Authority)). Revidering av klassifisering av metaller og organiske miljøgifter i vann og sedimenter. 2229/2007, 12 bls.
 36. He, X., Pang, Y., Song, X., Chen, B., Feng, Z., Ma, Y. 2014. Distribution, sources and ecological risk assessment of PAHs in surface sediments from Guan River Estuary, China. *Marine Pollution Bulletin* 80: 52-58
 37. ECM, 2007. Environment Canada and Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec. 2007. Criteria for the Assessment of Sediment Quality in Quebec and Application Frameworks: Prevention, Dredging and Remediation. 39 bls.
 38. Hafsteinn G. Guðfinnsson o.fl. 2001. Rannsóknir á straumum, umhverfispáttum og lífríki sjávar í Reyðarfirði frá júlí til október árið 2000. Hafrannsóknastofnun Fjölrit nr. 85, 1-136

VIÐAUKI I

Staðsetning sýnastöðva 1-6 og viðmiðunarstaðar

Kort sem sýnir staðsetningu stöðvar 1-6 og viðmiðunarstaðar



Númer stöðva, GPS staðsetningar, lýsing á stöðvum og dýpi.

Stöð	N-breidd	V-breidd	Lýsing á stöðvum	Dýpi árið 2013 faðmar/metrar
1	64°21.631'	21°45.376'	Utan við grynningar út af Katanesi	7,9 / 14,2
2	64°21.551'	21°46.350'	Um 200m austan við bryggjukant Grundartangahafnar	5,6 / 10,1
3	64°20.998'	21°47.203'	Um 650m vestan við grjótgarð kerbrotagryfju	8,0 / 14,4
4	64°20.029'	21°49.030'	Um 3km vestan við verksmiðjusvæðið á Grundartanga, við Galtarvíkurhöfða	7,5 / 13,5
5	64°21.690'	21°44.842'	Utan við Katanes, um 450m austan við stöð 1	8,1 / 14,6
6	64°21,178'	21°47,005'	Um 200m vestan við grjótgarð kerbrotagryfju	7,0 / 12,6
Viðmiðunarstaður	64°24.044'	21°35.800'	Í Saurbæjarvík, um 8 km austan við Katanes	12-13 / 21,6-23,4

VIÐAUKI II

Dánartíðni og líffræðilegir þættir

Samantekt á heildarfjölda og dauðum einstaklingum í búrum

Stöð	Heildarfjöldi einstaklinga	Fjöldi dauðra einstaklinga	%*
B1-1	121	5	4,2
B1-5	119	0	0,0
S1-1	119	6	5,0
S1-5	119	8	6,7
S2-1	120	7	5,8
S2-5	119	4	3,3
S3-1	120	9	7,5
S3-5	118	5	4,2
S4-1	119	12	10,0
S4-5	120	4	3,3
S5-1	120	6	5,0
S5-5	117	7	5,8
S6-1	117	1	0,8
S6-5	118	6	5,0
B2-1	118	8	6,7
B2-5	121	4	3,3

* Miðað við 120 kræklinga í byrjun

Líffræðilegir þættir kræklingssýna

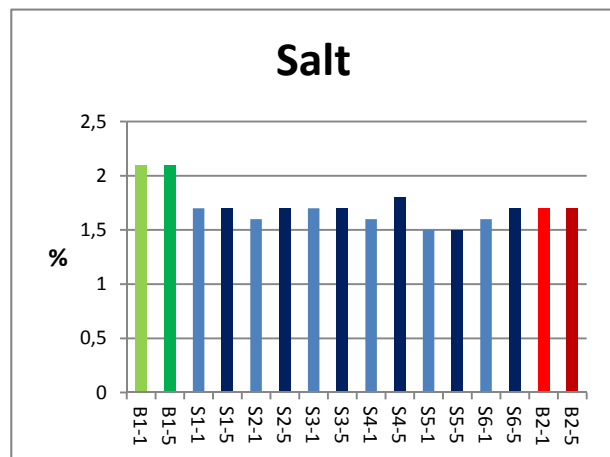
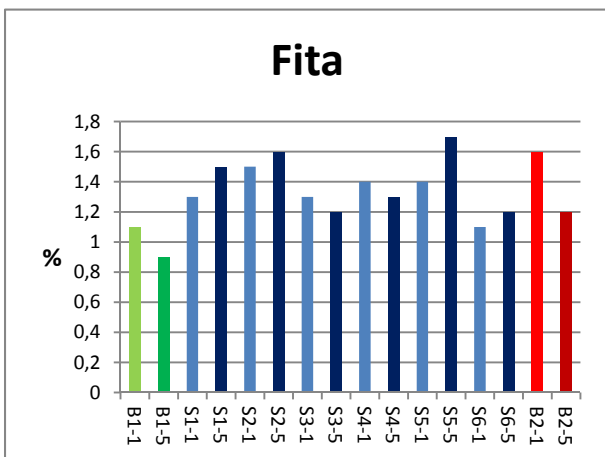
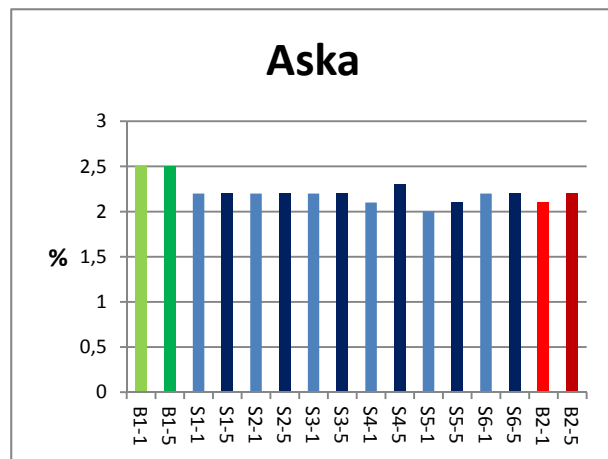
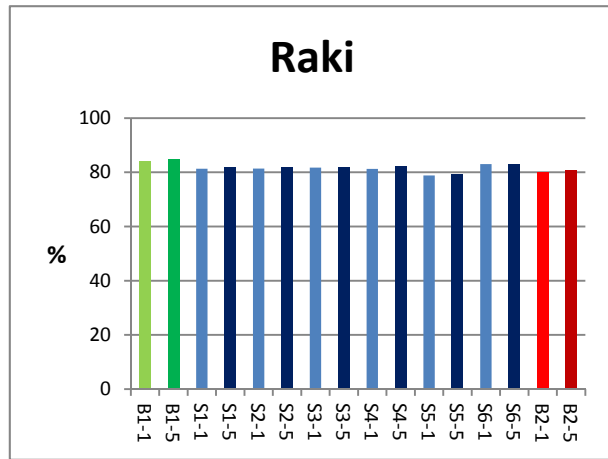
	Þyngd	Þyngd holds	Þyngd skeljar	Lengd	Hæð	Breidd		Þyngd	Þyngd holds	Þyngd skeljar	Lengd	Hæð	Breidd
B1-1	[g]	[g]	[g]	[mm]	[mm]	[mm]	B1-5	[g]	[g]	[g]	[mm]	[mm]	[mm]
AV.	10,7	6,4	4,2	50,6	25,0	18,6	AV.	11,2	6,9	4,3	50,7	25,0	18,9
MED.	10,7	6,2	4,1	51,2	25,2	18,6	MED.	11,6	6,9	4,3	50,9	25,4	18,9
STEDV.	1,9	1,3	0,7	2,9	1,9	1,4	STEDV.	2,3	1,6	0,9	3,5	1,7	1,8
MIN.	7,2	4,3	2,8	43,6	20,9	15,6	MIN.	6,9	4,3	2,5	44,6	21,0	15,0
MAX.	14,4	9,2	5,7	55,8	28,7	21,8	MAX.	15,7	10,1	6,1	57,1	27,8	24,2
S1-1							S1-5						
AV.	16,4	10,3	5,9	55,0	27,4	21,4	AV.	16,1	9,8	6,0	55,3	27,0	21,1
MED.	15,7	10,0	5,6	54,6	27,4	21,1	MED.	16,5	10,1	6,0	55,6	27,0	21,2
STEDV.	3,1	2,1	1,1	3,3	2,1	2,0	STEDV.	2,8	2,0	1,0	3,2	1,9	2,0
MIN.	10,8	6,5	4,3	49,3	19,6	18,4	MIN.	10,6	6,1	4,3	47,4	21,8	17,5
MAX.	24,4	16,1	8,9	64,0	32,6	26,1	MAX.	21,0	13,4	8,4	60,6	30,4	26,6
S2-1							S2-5						
AV.	16,8	10,6	6,0	56,0	27,4	21,6	AV.	15,4	9,5	5,7	54,9	26,6	21,3
MED.	16,6	10,6	6,0	56,7	27,4	21,6	MED.	14,9	9,1	5,7	55,2	26,7	21,3
STEDV.	3,3	2,3	1,1	4,1	1,9	1,9	STEDV.	3,4	2,4	1,1	4,2	2,2	1,9
MIN.	10,2	6,0	3,7	46,1	23,7	16,5	MIN.	8,3	4,9	3,1	47,1	21,1	17,7
MAX.	23,4	15,7	8,1	63,2	33,4	25,6	MAX.	23,9	14,9	8,6	63,9	32,3	25,7
S3-1							S3-5						
AV.	15,1	9,4	5,7	53,5	26,0	20,8	AV.	15,0	9,4	5,5	53,9	26,2	21,3
MED.	14,7	8,9	5,4	54,5	26,2	20,8	MED.	15,0	9,2	5,6	53,9	26,0	21,1
STEDV.	3,7	2,5	1,3	4,3	2,3	1,8	STEDV.	2,4	1,8	0,8	3,4	1,9	1,7
MIN.	8,9	4,8	3,3	45,0	21,9	16,0	MIN.	10,0	5,8	4,0	46,2	22,6	17,4
MAX.	24,1	15,7	8,4	62,2	31,6	24,1	MAX.	19,7	13,1	7,7	60,4	30,6	26,1
S4-1							S4-5						
AV.	16,8	10,6	6,1	55,3	26,9	21,3	AV.	14,6	8,9	5,5	54,2	27,0	21,2
MED.	16,5	10,6	6,0	55,8	27,0	21,3	MED.	14,9	9,0	5,5	54,8	27,1	21,1
STEDV.	2,8	2,0	1,0	3,4	2,3	1,7	STEDV.	2,8	2,0	1,0	3,8	1,7	1,8
MIN.	9,2	5,4	3,7	47,4	22,5	18,2	MIN.	7,0	3,6	3,3	46,2	22,9	18,3
MAX.	25,4	16,5	8,7	61,5	32,1	26,9	MAX.	21,2	13,7	7,7	61,0	31,3	26,5
S5-1							S5-5						
AV.	15,7	9,4	6,0	54,3	27,1	21,2	AV.	14,8	8,9	5,5	54,5	26,8	21,3
MED.	15,8	9,5	6,1	55,1	27,1	21,2	MED.	15,0	9,0	5,6	54,7	27,0	21,2
STEDV.	3,3	2,1	1,3	3,5	2,2	1,9	STEDV.	2,7	1,8	1,0	3,6	2,0	1,8
MIN.	9,3	5,0	3,9	47,8	22,5	17,5	MIN.	8,8	4,8	3,5	46,6	23,1	17,5
MAX.	24,8	15,1	9,1	62,1	32,3	25,2	MAX.	22,0	13,6	8,0	63,2	30,5	24,7
S6-1							S6-5						
AV.	17,2	10,8	6,2	56,4	27,7	22,0	AV.	15,0	9,4	5,5	53,7	26,5	21,2
MED.	17,4	11,1	6,1	56,7	27,4	21,9	MED.	15,6	9,5	5,6	54,2	26,3	21,5
STEDV.	3,3	2,2	1,1	3,7	2,1	1,6	STEDV.	2,9	2,0	1,1	4,1	2,2	1,6
MIN.	10,5	6,2	4,0	46,5	22,6	19,3	MIN.	9,4	5,5	3,6	45,5	23,0	17,9
MAX.	24,0	15,0	9,0	64,1	32,1	27,6	MAX.	21,2	13,7	7,3	60,2	30,5	24,0
B2-1							B2-5						
AV.	14,9	8,9	5,8	54,0	26,8	20,9	AV.	14,8	8,9	5,7	54,2	26,8	21,3
MED.	15,2	8,7	6,1	55,1	26,9	21,0	MED.	14,2	8,5	5,6	54,1	26,7	21,1
STEDV.	2,9	2,0	1,1	3,8	2,0	1,9	STEDV.	2,4	1,7	0,8	2,6	1,8	1,6
MIN.	8,4	4,7	3,6	45,3	21,6	16,4	MIN.	11,3	6,7	4,3	47,4	23,3	18,6
MAX.	19,9	12,7	7,8	61,2	31,6	25,3	MAX.	20,0	12,9	7,3	59,7	30,1	27,7

VIÐAUKI III

Meginþættir

Meginþættir gefnir upp á votvigt (%)

Stöð	Raki	Aska	Fita	Salt
B1-1	83,9	2,5	1,1	2,1
B1-5	84,92	2,5	0,9	2,1
S1-1	81,29	2,2	1,3	1,7
S1-5	81,79	2,2	1,5	1,7
S2-1	81,36	2,2	1,5	1,6
S2-5	81,85	2,2	1,6	1,7
S3-1	81,74	2,2	1,3	1,7
S3-5	81,86	2,2	1,2	1,7
S4-1	81,26	2,1	1,4	1,6
S4-5	82,18	2,3	1,3	1,8
S5-1	78,81	2	1,4	1,5
S5-5	79,24	2,1	1,7	1,5
S6-1	83,01	2,2	1,1	1,6
S6-5	82,82	2,2	1,2	1,7
B2-1	80,14	2,1	1,6	1,7
B2-5	80,8	2,2	1,2	1,7



VIÐAUKI IV

Ólífræn snefilefni

Gæðaeftirlit fyrir snefilefnamælingar:

mg/kg		Al	V	Cr	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Se	Cd	Hg	Pb
DORM3	certified value	—	—	1,89±0,17	347±20	1,28±0,24	15,5±0,63	51,3±3,1	6,88±0,30	—	0,29±0,02	0,382±0,06	0,395±0,05
	measured	—	—	1,823	336	1,059	12,11	49,5	7,36	—	0,25		
	Z-score	—	—	-0,24	-0,47	-1,12	-2,07	-0,39	0,58	—	-0,72		
Mussle tissue	certified value	—	—	0,78±0,06			9,45±0,13		6,07±0,13		0,348±0,007	0,196±0,009	2,00±0,04
	measured	—											
	Z-score	—											
Quasimeme, QTM097, mussels tissue	assigned value	—	—	305,8	—	—	1418	24,43	1,968	708,6	100,6	26,07	180,2
	measured	—	—	231	—	—	1140	22,00	2,000	671,0	93,0	32,00	150,0
	Z-score	—	—	-1,6	—	—	-1,2	-0,6	0,1	-0,4	-0,3	0,4	-1,2
Quasimeme, QTM098, hake fish tissue	assigned value	—	—	57,25	—	—	187,4	2,794	2,06	341,1	—	113,1	6,243
	measured	—	—	41,00	—	—	208,0	3,000	2,00	354,0	—	109,0	11,00
	Z-score	—	—	-0,9	—	—	0,3	0,2	-0,2	0,3	—	-0,2	1,5

Niðurstöður mælinga ólífrænum snefilefnum á votvigtargrunni (mg/kg)

Stöð	Al [†]	V [†]	Cr [†]	Fe [*]	Ni [†]	Cu [*]	Zn [*]	As [*]	Se [†]	Cd [*]	Hg [*]	Pb [*]	F
B1-1	14,2	0,7	0,1	24,4	0,1	0,8	16,7	1,5	0,8	0,5	0,01	0,012	1,3
B1-5	11,9	0,8	0,1	23,1	0,2	0,8	18,1	1,6	0,8	0,6	<0,01	0,012	1,2
S1-1	24,5	0,8	0,1	36,4	0,1	1,1	16,8	1,7	0,6	0,4	0,01	0,013	1,4
S1-5	22,3	0,8	0,1	33,7	0,1	1,1	16,2	1,6	0,6	0,4	<0,01	0,016	1,4
S2-1	17,3	0,8	0,1	25,6	0,1	1,1	15,8	1,6	0,6	0,4	<0,01	0,011	1,2
S2-5	21,6	0,8	0,1	30,3	0,1	1,1	17,3	1,7	0,6	0,4	<0,01	0,012	1,4
S3-1	12,1	0,6	0,1	23,8	0,1	0,9	15,2	1,5	0,5	0,3	<0,01	0,011	1,3
S3-5	13,9	0,5	0,1	28,8	0,1	0,9	14,8	1,5	0,5	0,3	<0,01	0,011	1,2
S4-1	10,9	0,5	0,1	23,1	0,1	1,0	14,9	1,5	0,5	0,3	<0,01	0,010	1,3
S4-5	17,0	0,5	0,1	34,8	0,1	0,9	15,6	1,5	0,4	0,3	<0,01	0,012	1,3
S5-1	10,6	0,5	0,1	24,1	0,1	1,0	15,7	1,6	0,5	0,3	<0,01	0,010	1,4
S5-5	12,8	0,6	0,1	25,9	0,1	0,9	16,9	1,6	0,5	0,4	<0,01	0,012	1,4
S6-1	10,8	0,5	0,1	23,2	0,1	0,8	13,4	1,4	0,4	0,3	<0,01	0,010	1,4
S6-5	15,2	0,5	0,1	31,5	0,1	0,8	14,6	1,5	0,4	0,3	<0,01	0,011	1,2
B2-1	16,9	0,6	0,1	27,5	0,1	1,1	18,0	1,7	0,6	0,4	<0,01	0,011	1,2
B2-5	20,2	0,6	0,1	30,2	0,1	1,2	18,2	1,8	0,6	0,4	<0,01	0,012	0,9

*Faggiltar mælingar, óvissa mæliaðferðarinnar er 20% .

†Ekki faggiltar mælingar, óvissa hefur ekki formlega verið ákvörðuð, en notast er við sömu aðferðarfræði og því er óvissa metin vera $\geq 20\%$.

VIÐAUKI V

PAH efni

Gæðaeftirlit: PAH efni í kræklingi frá QUASIMEME (µg/kg votvigt)

PAH þáttur	Vottað gildi	Mælt gildi
naftalene	2,41	< 3
acenaftylene	0,47	0,53
acenaftene	0,87	0,83
fluorene	1,99	2,10
phenanthrene	11,4	9,72
anthracene	1,10	1,35
fluoranthene	19,2	20,2
pyrene	17,1	16,5
benz(a)anthracene	5,06	5,38
chrysene	5,66	6,22
benzo(b)fluoranthene	5,73	5,48
benzo(k)fluoranthene	2,37	2,61
benzo(e)pyrene	7,36	7,84
benzo(a)pyrene	2,00	1,96
perylene	2,97	3,12
indeno(1,2,3-cd)pyrene	1,67	1,71
dibenz(a,h)anthracene	0,45	0,61
benzo(ghi)perylene	2,61	< 3

Magn PAH efni í µg/kg af krækling eftir stöðvum á votvigt

Efni	B1-1	B1-5	S1-1	S1-5	S2-1	S2-5	S3-1	S3-5	S4-1	S4-5	S5-1	S5-5	S6-1	S6-5	B2-1	B2-5
naftalene	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
acenaftylene	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
acenaftene	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
fluorene	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
phenanthrene	0,64	0,55	0,79	0,73	0,74	0,69	0,89	0,60	0,70	0,63	0,65	0,76	0,65	0,63	0,98	1,0
anthracene	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
fluoranthene	1,0	1,0	1,2	1,5	1,1	1,1	1,7	1,1	0,97	1,1	1,0	1,2	1,1	0,81	1,3	1,7
pyrene	1,5	1,4	1,7	2,2	1,4	1,6	2,8	2,0	1,8	1,7	1,7	1,8	1,7	1,3	2,1	2,7
benz(a)anthracene	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
chrysene	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
benzo(b)fluoranthene	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
benzo(k)fluoranthene	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
benzo(e)pyrene	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
benzo(a)pyrene	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
perylene	1,6	1,2	1,4	1,6	1,0	1,7	2,6	1,8	1,6	1,7	2,3	2,4	2,4	1,7	1,6	2,0
indeno(1,2,3-cd)pyrene	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
dibenz(a,h)anthracene	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
benzo(ghi)perylene	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3

Gulmerkt gildi eru gildi sem eru yfir magngreiningarmörkum. Þau eru merkt gul til glöggvunar lesanda.

Gæðaeftirlit: PAH efni í seti frá QUASIMEME (µg/kg þurrvigti)

PAH þáttur	Vottað gildi	Mælt gildi
naftalene	544	530
acenaftylene	48,2	46,5
acenaftene	193	190
fluorene	274	245
phenanthrene	1970	1961
anthracene	546	545
fluoranthene	2956	3061
pyrene	2547	2633
benz(a)anthracene	1278	1305
chrysene	1218	1294
benzo(b)fluoranthene	1229	1238
benzo(k)fluoranthene	565	577
benzo(e)pyrene	1036	1060
benzo(a)pyrene	1179	1166
perylene	354	375
indeno(1,2,3-cd)pyrene	790	807
dibenz(a,h)anthracene	182	189
benzo(ghi)perylene	962	989

Magn PAH efni í µg/kg af seti eftir stöðvum á þurrvigti

Efni	Banki	S1	S2	S3	S4	S5	S6
<i>naftalene</i>	16,1	13,2	51,4	35,9	11,7	134	<6
<i>acenaftylene</i>	1,6	1,5	2,5	1,5	<1	29	<1
<i>acenaftene</i>	2,1	4,3	12,8	27,3	3,1	28	<1
<i>fluorene</i>	2,2	4,5	14,6	19,2	1,2	77	<1
<i>phenanthrene</i>	9,5	21,0	74,0	99,2	1,5	414	<1
<i>anthracene</i>	3,0	6,0	23,1	28,4	<1	140	<1
<i>fluoranthene</i>	20,5	34,6	102	143	2,1	529	<1
<i>pyrene</i>	21,9	34,9	102	125	2,6	490	<1
<i>benz(a)anthracene</i>	12,3	25,2	64,8	82,8	1,4	284	<1
<i>chrysene</i>	10,6	19,9	51,6	64,2	1,2	201	<1
<i>benzo(b)fluoranthene</i>	12,5	21,2	52,2	61,0	2,0	153	<1
<i>benzo(k)fluoranthene</i>	6,1	9,3	24,1	28,9	1,1	86	<1
<i>benzo(e)pyrene</i>	11,0	16,9	41,5	45,6	1,8	120	<1
<i>benzo(a)pyrene</i>	10,2	22,1	45,6	60,4	1,5	191	<1
<i>perylene</i>	33,0	17,7	28,7	28,1	1,7	66	<1
<i>indeno(1,2,3-cd)pyrene</i>	13,3	19,2	44,6	56,4	2,1	152	<1
<i>dibenz(a,h)anthracene</i>	1,9	3,2	8,3	10,6	<1	26	<1
<i>benzo(ghi)perylene</i>	16,9	24,6	54,5	65,1	2,8	151	<1
<i>Summa 18 PAH efna*</i>	205	299	799	983	37,7	3271	
<i>% Þurrvigti</i>	28,8	46,8	46,9	51,5	67,4	46,0	69,0

* = Lower bound, gildi < gr.m. eru sett jöfn núlli í summu

VIÐAUKI VI

Sýnatökur af botnseti

Númer stöðva, GPS staðsetningar botngreipastöðva við Grundartanga og viðmiðunarstaðar í Saurbæjarvík, dýpi og lýsing á stöðvum og setsýnum.

Stöð	N-breidd	V-breidd	Lýsing á stöðvum	Dýpi árið 2013 faðmar / metrar	Lýsing á seti
1	64°21,631'	21°45,376'	Utan við grynningar út af Katanesi	7,9 / 14,2	Nokkuð fínt set. Öðuskeljar, slöngustjörundur ofl. Tvær greipar teknar
2	64°21,551'	21°46,350'	Um 200 m austan við bryggjukant Grundartangahafnar	5,6 / 10,1	Fínt set, gott sýni
3	64°20,998'	21°47,203'	Um 650 m vestan við grjótgarð kerbrotagryfju	8,0 / 14,4	Fínt set en töluvert af kóralþörungum (Lithothamnium) Tvær greipar teknar
4	64°20,029'	21°49,030'	Um 3 km vestan við verksmiðjussvæðið á Grundartanga, við Galtarvíkurhöfða	7,5 / 13,5	Sandur/gróft set
5	64°21,690'	21°44,842'	Utan við Katanes, um 450 m austan við stöð 1	8,1 / 14,6	Fínt set + skeljabrot og kóralþörungar Tvær greipar teknar
6	64°21,178'	21°47,005'	Um 200 m vestan við grjótgarð kerbrotagryfju	7,0 / 12,6	Sandur/gróft set. Prófað utar en ekki fínna set þar (dýpi 18m: 64°21,186';21°46,943' og 35m: 64°21,165';21°46,782')
Viðmið	64°24,044'	21°35,800'	Í Saurbæjarvík, um 8 km austan við Katanes	12-13 / 21,6-23,4	Fínt set, gott sýni