

**Könnun á ólífrænum snefilefnum og fjölhringja
kolvatnsefnum (PAH) í kræklingi og seti við Grundartanga,
Hvalfirði, 2016**

Evaluation of inorganic trace elements and aromatic
hydrocarbons (PAHs) in blue mussel (*Mytilus edulis*) and
sediment at Grundartangi, Hvalfjörður, 2016

Matís skýrsla

Mars 2017

Halldór Pálmar Halldórsson¹

Hermann Dreki Guls¹

Natasa Desnica²

Erna Óladóttir²

Helga Gunnlaugsdóttir²

Kristín Ólafsdóttir³

¹Rannsóknasetur Háskóla Íslands á Suðurnesjum

²Matís ohf

³Rannsóknastofa í lyfja- og eiturefnafræði við HÍ



<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, 2011 og 2013 ásamt því að framkvæmd vöktunar var endurskoðuð, m.a. bætt við sýnatökustöðum og mælipáttum fjölgað. Í þessari skýrslu er greint frá niðurstöðum vöktunarmælinga í sýnum frá 2016.</p> <p>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 innar í firðinum. Kræklingabúrin voru síðan tekin upp og kræklingurinn rannsakaður tveimur mánuðum síðar. Til að meta náttúrulegar sveiflur í styrk efna og vexti kræklinga, 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) voru mæld við lok rannsóknarinnar. 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 16 fjölrhringja kolvatnsefni (PAH efni) en þeim síðastnefndu var fækkað um tvö (perylene og benzo(e)pyrene) að beiðni verkkaupa. PAH efni voru einnig mæld í setsýnum sem tekin voru á sömu stöðum og kræklingasýnin.</p> <p>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 við verksmiðjusvæðin yfir ræktunartímann. Því er ekki talið að hár kadmínstyrkur tengist iðjuverunum á Grundartanga, heldur náttúrulega háum bakgrunnsstyrk í íslensku 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 3 PAH efni yfir magngreiningarmörkum í kræklingi, þau sömu og 2013: pyrene, phenanthrene og fluoranthene (perylene greindist einnig 2013 en því var sleppt að þessu sinni). Pyrene var í hæstum styrk af þessum 3 PAH efnum sem greindust, nema í banka 1 þar sem fluoranthene var í hæstum styrk. Styrkur PAH efna í kræklingi var óverulegur og ávallt undir norskum viðmiðunarmörkum fyrir menguð svæði hvað krækling varðar. Öll 16 PAH efnin greindust í öllum setsýnum og var heildarmagn þeirra á bilinu 209-791 µg/kg þurrvig. Líklegt er að þessi PAH efni í setinu tengist iðnaðarstarfssemi og skipaumferð á svæðinu. Ef borið er saman við norsk viðmiðunargildi flokkast allir mældir sýnatökustaðir nema tveir sem mild áhrifsvæði þar sem PAH styrkur mælist hærrí miðað við skilgreiningu á bakgrunnssvæði. Þetta er í annað sinn sem styrkur PAH efna er mældur í setsýnum í umhverfisvöktun iðjuveranna á Grundartanga og reyndist heildarmagn PAH efna í setinu heldur lægra í ár borið saman við 2013.</p> <p>Áhrif iðjuveranna á krækling í nágrenni við Grundartanga virðast takmörkuð ef tekið er tillit til þeirra efna sem mæld voru í þessari rannsókn. Áhrif á lífríki setsins eru því að öllum líkindum óveruleg, miðað við norsk og kanadísk áhrifamörk af völdum PAH efna. Áfram er þó nauðsynlegt að fylgjast vel með og vakta umhverfið og lífríkið til að greina breytingar á mengunarálagi á þessu svæði.</p>
<p>Lykilorð á íslensku:</p>	<p><i>Iðjuver, álframleiðsla, járnblend, mengun, vöktun, umhverfissvæði</i></p>

<p><i>Summary in English:</i></p>	<p>The aim of this study is to estimate potential impact of organic and inorganic pollutants on the costal marine ecosystem in proximity to the industrial activities at Grundartangi in Hvalfjörður. The monitoring started in the year 2000 and has since then been revised in terms of additional sampling sites and measured elements, but the monitoring has been repeated in the years 2004, 2007, 2011 and 2013. This report summarises the results obtained in the study performed in 2016.</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 retrieved 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, the following trace elements and organic compounds were analysed in the soft mussel tissue: As, Cd, Cu, Zn, Cr, Ni, Hg, Se, Pb, V, Al, Fe, F and 16 PAHs (two compounds, perylene and benzo(e)pyrene were omitted this time). 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 sampling sites. Death rate was low and the mussels thrived well. In general, inorganic trace elements were similar or in lower concentrations 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 activities at Grundartangi, but rather to high natural Cd background concentration in the Icelandic environment. However, Cd as well as Hg and Pb meet the EU maximum limits for food consumption. Only 3 PAH compounds were detected above limits of quantification in the mussel samples. Pyrene was always at the highest concentration while phenanthrene and fluoranthene were at lower concentration, except at banki 1, where fluoranthene was the highest. The PAH concentrations never exceeded the Norwegian standards for total PAH concentration for mussels. All 16 PAHs were detected in all sediment samples with total PAHs ranging 209-791 µg/kg. All sites except for the reference site and S1 fall into the category slightly impacted sites due to increased PAH concentrations when compared to Norwegian reference values and below threshold effect levels compared to Canadian criteria. This is the second time that PAHs are analysed in sediment samples to monitor the impact of the industrial activities at Grundartangi and total levels of PAH are now somewhat lower than observed in 2013. 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 also appears to be low. However, it is important to maintain frequent monitoring studies on the marine ecosystem near the Grundartangi industrial area in order to detect changes in pollution burden.</p>
<p><i>English keywords:</i></p>	<p><i>Industrial activity, aluminum production, alloy production, pollution, monitoring, environmental quality</i></p>

1. Inngangur	5
1.1. Fyrri rannsóknir	5
2. Markmið	5
3. Aðferðir.....	6
3.1. Undirbúningur búra, meðhöndlun og ræktun kræklings í búrum.....	6
3.1.1 Sýnatökur af botnseti utan við Grundartanga í Hvalfirði	7
3.2. Sýnaundirbúningur, aðferðafræði snefilefnamælinga og gæðaeftirlit	8
3.2.1. Meðferð kræklingssýna fyrir mælingu	8
3.2.2. Ólífræn snefilefni og meginþættir	8
3.2.3. Mælingar á PAH.....	9
4. Niðurstöður og umræða.....	9
4.1. Líffræðilegir þættir	9
4.2. Dánartíðni.....	9
4.3. Vöxtur og holdafar.....	10
4.4. Ólífræn snefilefni.....	11
4.5. PAH efni.....	21
5. Samantekt og lokaorð	25
6. Heimildaskrá.....	27

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 fjölhringja 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 þeirri umhverfisvöktun sem fram fer vegna iðnaðarstarfseminnar á Grundartanga og var unnið fyrir Norðurál hf. og Elkem Ísland ehf. Sumar og haust 2016 fóru fram rannsóknir á ástandi sjávar við Grundartanga og Katanes í Hvalfirði með tilliti til ýmissa ólífrænna og lífrænna efnasambanda. Kræklingur var tekinn 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], 2011 [11] og 2013 [39] hafa farið fram mælingar á styrk PAH sambanda og ólífrænna snefilefna í mjúkvef kræklinga sem hafður var í búrum á grunnsævi utan við Grundartanga. Árið 2013 voru í fyrsta sinn greind PAH efni í seti í þessum rannsóknum. Niðurstöðurnar gáfu til kynna að iðjuverin á Grundartanga hafa óveruleg áhrif á að mengandi efni safnist upp í sjávarlífverum í nágrenninu [10, 11, 39].

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 eru tekin upp í sjávarlífríki við strönd vegna þeirrar iðnaðarstarfsemi sem fram fer á Grundartanga og til að athuga hvort breytingar hafi átt sér stað frá fyrri 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 umhverfisvöktun iðjuveranna á Grundartanga. Skipulagning rannsókna var einnig í höndum Magnúsar sem tók þátt í öllum sjóferðum og hafði umsjón með endurnýjun slitinna búra og annars útbúnaðar. Hermann Dreki Guls, starfsmaður Rannsóknaseturs Háskóla Íslands á Suðurnesjum vann einnig að öllum þáttum verkefnisins.

Þann 17. júní 2016 var farið með krækling sem fenginn var af ræktunarlinum Vogaskeljar, Vogum á Vatnsleysuströnd, á Rannsóknasetur HÍ á Suðurnesjum í Sandgerði. Miðað við útsetningu ræktunarlínanna sem kræklingnum var safnað af var hann tveggja til þriggja ára, og því ágætlega staðlaður í aldri og stærð. Í Sandgerði voru 20 kræklingar á stærðarbilinu 40-55 mm settir í hvert hólf búra 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 í tvo sólarhringa 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 búrum má fá hjá Rannsóknarsetri HÍ á Suðurnesjum.

Þann 20. júní var kræklingnum komið fyrir á viðmiðunarstað í Saurbæjarvík en sá staður var einnig notaður til viðmiðunar árið 2013, þá í fyrsta sinn. 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 ólífraenna efna í kræklingi hafði mælst í hærri kantinum miðað við sýnatökustöðvarnar [8-11]. Átta lagnir með búrum, voru útbúnar um borð í bátinum Frey AK-81 og kræklingnum komið fyrir á viðmiðunarstaðnum þar sem hann var hafður í þrjár vikur til aðlögunar.

Þann 13. 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 bátinum. 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 17. 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, búrin burstuð að utan og ásætur fjarlægðar.

Þann 17. 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 útbúin 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 þannig háttað að sem minnst hættu væri á að kræklingurinn laskaðist við flutning og meðhöndlun.

Stöðvarnar voru þær sömu og í rannsóknunum árið 2013. 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 forðast hugsanleg áhrif af botni. Kort af öllum stöðvum ásamt GPS hnitum og lýsingu á staðsetningum má finna í viðauka I.

3.1.1 Sýnatökur af botnseti utan við Grundartanga í Hvalfirði

Halldór Pálmar Halldórsson, sá um skipulagningu rannsókna og bar ábyrgð á framkvæmd þess hluta sem snéri að sýnatöku á seti með botngreip. Magnús Freyr Ólafsson, tók þátt í sjóferðinni ásamt Hermanni Dreka Guls.

Botngreipasýnin voru tekin þann 28. september 2016 og var báturinn Ýmir AK-80 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 300 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. Reynt var að taka botnsýni á sömu stöðum og vöktunarstöðvar eru fyrir kræklinginn en á stöðvum 4 og 6 reyndist botninn of sendinn/grófur og voru þau sýni því tekin 50-100 m utar, þar sem reyndist vera fínna og samaburðarhæfara set. 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 má fá hjá Rannsóknarsetri HÍ á Suðurnesjum.

3.2. Sýnaundirbúningur, aðferðafræði snefilefna mælinga og gæðaeftirlit

Mælingar á líffræðilegum þáttum kræklinganna ásamt myndun safnsýnis fór fram á Rannsóknasetri HÍ 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 voru framkvæmdar 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 Pálmars Halldórssonar. 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 með ICP-MS. Hvert sýni er greint í þremur hlutsýnum.

Gæðaeftirlit snefilefna mælinga 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 tekið þátt í fjölþjóðlegum samanburðarprófunum fyrir mælingar á ólífrænum snefilefnum og tekur nú þátt í QUASIMEME, (Quality Assurance of Information for Marine Environmental Monitoring in Europe), NJF (North European Proficiency Testing) og Rikilt (stýrt af Wageningen University). 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

Greining á PAH efnunum í kræklingi og seti fóru fram hjá Rannsóknastofu í lyfja- og eiturefnafræði, HÍ, undir stjórn Kristínar Ólafsdóttur. Sextán fjölhringa kolvatnsefni (PAH) voru mæld í mjúkvef 16 kræklingasýna og í 7 sýnum af seti sem safnað var í Hvalfirði haustið 2016. Mæliaðferð fyrir PAH efni í seti var framkvæmd eins og lýst er í Karstensen ofl. 1998 [20], en sýni hreinsuð með KOH/etanóli. PAH efni voru úrhlotuð úr kræklingi með fituútdrætti skv. [25], en fitan hreinsuð með KOH/etanóli. Triklórnaftalene var notað sem innri staðall og PCB-116 og PCB-198 sem heimtustaðlar. Gæðaeftirlit fyrir þessar efnagreiningar fólst í mælingum á sýnum af kræklingi og seti frá QUASIMEME með þekktu magni allra 16 PAH efnanna sem voru greind með sýnunum og nýtast þannig sem viðmiðunarsýni fyrir þessar mælingar (sjá viðauka V).

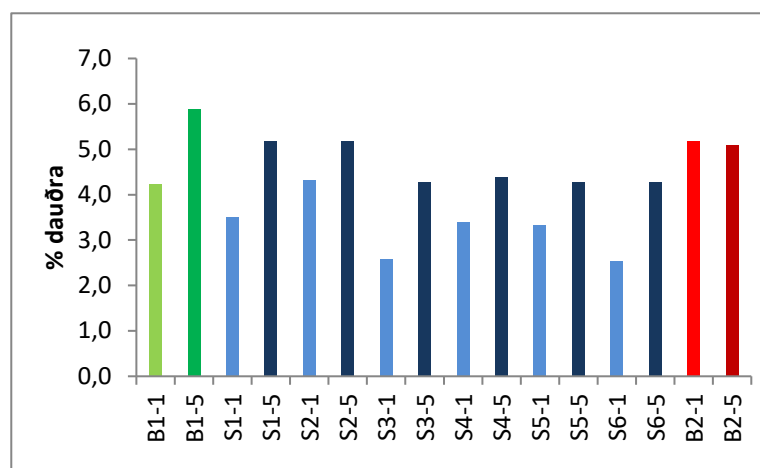
4. Niðurstöður og umræða

4.1. Líffræðilegir þættir

Í viðauka II eru teknar saman niðurstöður rannsókna á líffræðilegum þáttum kræklingasýnanna.

4.2. Dánartíðni

Í hverju búi var talinn heildarfjöldi og fjöldi dauðra einstaklinga og er þessar niðurstöður að finna á **Mynd 1** og í töflu í viðauka II. Dánartíðni kræklinga á stöðvum og í viðmiðunarsýnum var lág eða að meðaltali 4,2% (á bilinu 2,5–5,9%, staðalfrávik: 0,96). Að meðaltali voru 4,9 kræklingar dauðir af 120 einstaklingum á stöðvunum (á bilinu 3–7, staðalfrávik: 1,12). 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 fá hjá Rannsóknarsetri HÍ á Suðurnesjum.

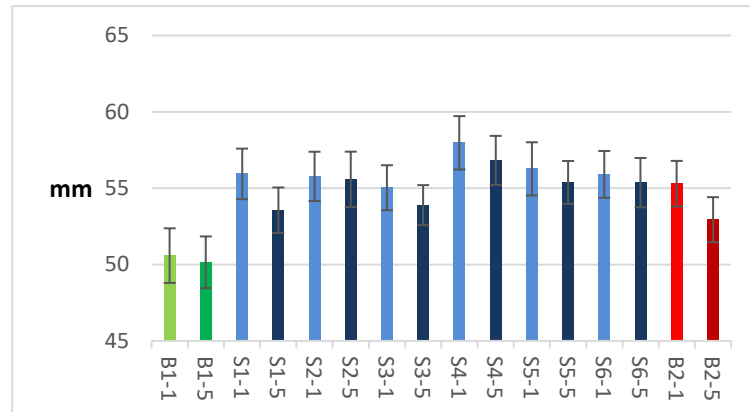


Mynd 1. Hlutfall dauðra einstaklinga eftir stöðvum

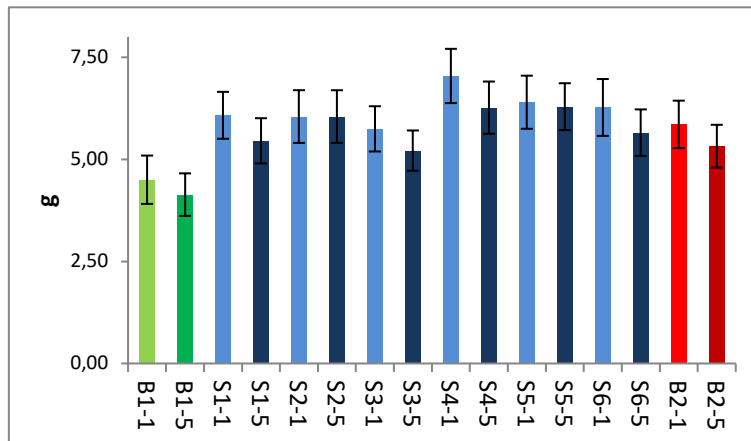
4.3. Vöxtur og holdafar

Lengd. Meðallengd kræklinga er sýnd á **Mynd 2**. Eitthvað er um breytilegan vöxt milli stöðva en almennt er vöxtur góður líkt og í fyrri rannsóknum. Vöxtur kræklinganna var að meðaltali 5,4 mm, á 1 m dýpi og 4,6 mm á 5 m dýpi miðað við banka 1 í upphafi rannsóknar.

Mynd 2. Meðallengd kræklinga með 95% öryggismörkum



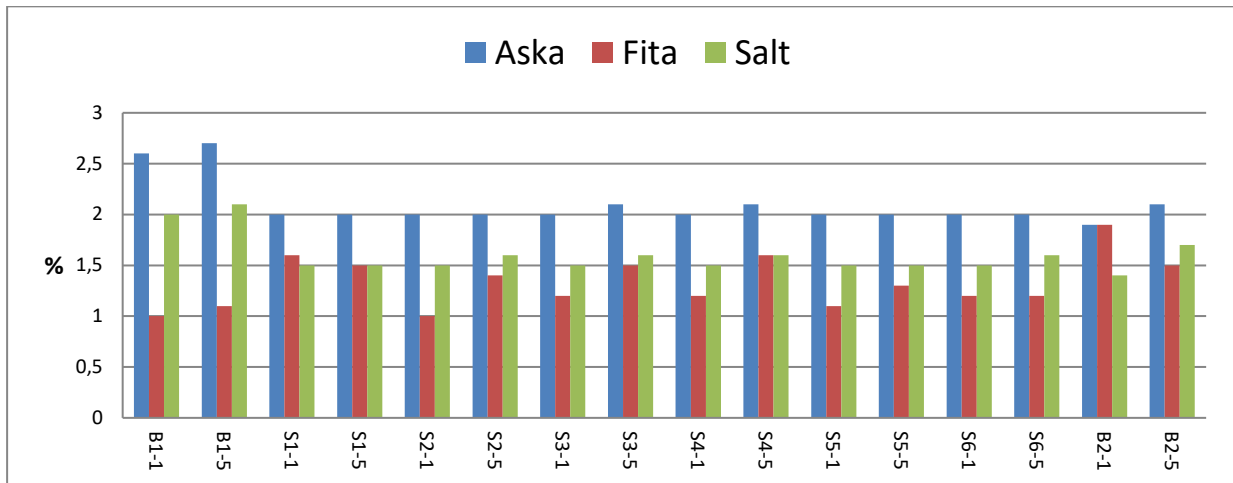
Skeljamassi kræklinga er sýndur á **Mynd 3**. Í öllum tilfellum verður aukning í þyngd skelja miðað við banka í byrjun (að meðaltali 38%).



Mynd 3. Meðalþyngd kræklingaskelja með 95 % öryggismörkum

Ástandsstuðull er notaður til að meta næringarástand kræklinga og er reiknaður sem hlutfall hæðar og breiddar. Þetta hlutfall getur hækkað með auknum styrk þungmálma [21, 22]. Meðaltal ástandsstuðuls fyrir banka og sýni er 1,3 (á bilinu 1,29-1,39, staðalfrávik 0,13). Enginn marktækur munur kom fram á ástandsstuðli milli stöðva, sem bendir til þess að þungmálmur hafa ekki haft 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. 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 2016 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.

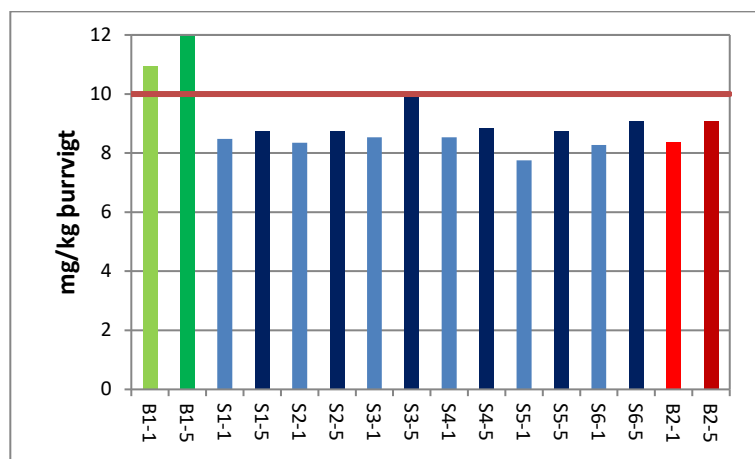
4.4. Ólífræn snefilefni

Allar mælingar fara fram á mjúkvef kræklings, en breytileiki getur verið í votþunga kræklingsins vegna þess að hann getur innihaldið mismikið af sjó við frystingu, því ætti samburður 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. kræklings). Svæði í flokki I teljast lítt eða ekki menguð en svæði í flokki V telst vera 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 í köflunum hér fyrir neðan eru reiknaðar á þurrvigtagrunni og rauða línan á myndunum táknar 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 fyrri rannsóknum lækkaði styrkur arsens á stöðvunum sex og í banka yfir ræktunartímann 2016, og eins var bankaviðmið í upphafi örlítið yfir lægstu norsku viðmiðunarmörkunum [23]. Annars eru sýni og banki í lok rannsóknar 2016 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 geta haft veruleg áhrif á heildarstyrk arsens því arsensambönd geta verið fituleyst eða fitutengd og þar að auki er stærsti hluti arsens í kræklingi jafnan á formi óeittraðs arsenobetaine sem kræklingurinn notar við

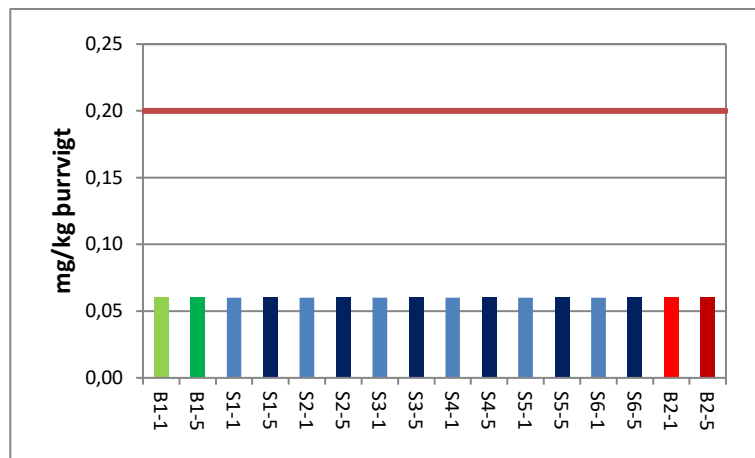
stjórnun á osmótískum þrýstingi [10]. Styrkur arsens sem og annarra ólífrænna snefilefna í kræklingi getur líka verið mismunandi milli ára [10] og þó svo lægstu viðmiðunarmörk í Noregi séu nálægt styrk í þessari rannsókn (og yfir þeim árið 2000) þá er þessi styrkur arsens algengur í innlendum sem erlendum gagnagrunnum fyrir krækling af ómenguduðum svæðum. Vöktun á mengunarefnum í lífríki sjávar við Ísland hefur verið framkvæmd árlega frá 1989 (fyrir utan stutt hlé 2014-2015) og hafa niðurstöður hvers árs verið teknar saman í skýrslu. Niðurstöður fyrir 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 en einn vöktunarstaður þ.e.a.s. Úlfsá var ekki tekinn með í ársmeðaltalið þar sem styrkur arsens var marktækt hærri þar en á öðrum vöktunarstöðum[24]. Önnur rannsókn sem byggir á samantekt og tölfræðiúrvinnslu á yfirgripsmiklun gögnum úr mengunaryöktun á lífríki sjávar við 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 arsen í kræklingi frá lítt eða ómenguduðum svæðum s.s. Hvassahrauni og Dalatanga (Mjóafirði) [25]. Því er styrkur arsens í mjúkvöðva kræklingi við Grundartanga 2016 í svipuðum styrk og í kræklingi frá ómenguduðum stöðum umhverfis landið.



Mynd 5. Arsen í mjúkvöðva kræklingi

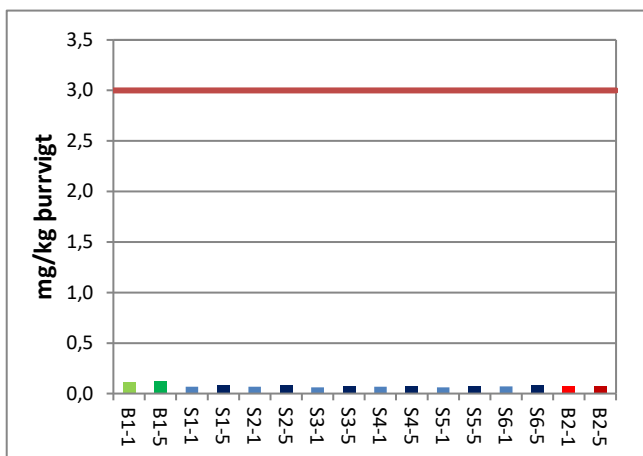
Kvikasilfur. Niðurstöður á **Mynd 6** sýna greiningarmörk kvikasilfurs í mjúkvöðva kræklingi (þurrvigt) ásamt lægstu viðmiðunargildum Norðmanna [23]. Styrkur kvikasilfurs er í öllum tilfellum lægri en greiningarmörk, þ.e. <0,06 mg/kg (þurrvigt), sem er langt undir lægsta viðmiðunargildi Norðmanna, 0,2 mg/kg (þurrvigt), sem er talið einkenna lítt eða ómenguduð svæði [23] og er jafnframt langt undir neyslumörkum Evrópusambandsins [26]. Þessar niðurstöður fyrir kvikasilfur eru í samræmi við niðurstöður 2011 og 2013, en kvikasilfur var ekki mælt í rannsókninni 2000 og nokkur breytileiki í styrk greindist milli árána 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 lítt menguduðum svæði s.s. Hvassahrauni [25]. Styrkur kvikasilfurs í mjúkvöðva kræklingi við

Grundartanga 2016 er því sambærilegur við styrk kvikasilfurs í kræklingi frá ómenguðum stöðum umhverfis landið.

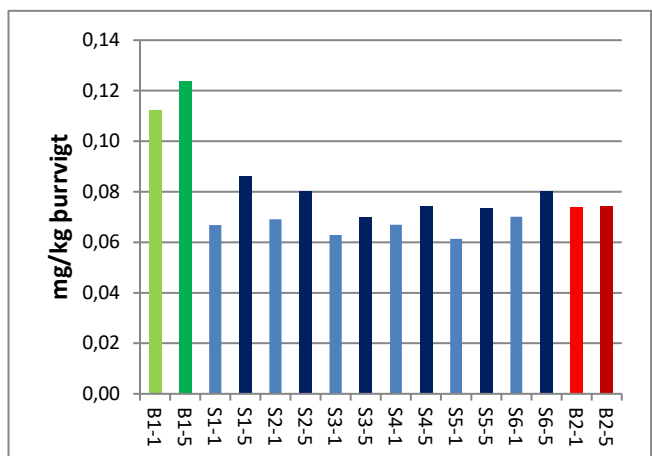


Mynd 6. Kvikasilfur í mjúkvöðva kræklings

Blý. Niðurstöður á **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 m dýpi á stöð 1 miðað við banka í byrjun, en í öllum sýnunum er styrkurinn langt undir lægsta umhverfisviðmiði Norðmanna sem er 3 mg/kg [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, 2011 og 2013 var styrkur blýs líka langt undir lægsta viðmiði í Noregi. Niðurstöður vöktunar á ólífurænum snefilefnum í kræklingi sem safnað var á 11 stöðum kringum landið vöktunarárið 2011 sýna að blýstyrkur var á bilinu 0,03 til 0,42 mg/kg, en að meðaltali 0,15 mg/kg (þurrvigt) (einn vöktunarstaður þ.e. Grímsey var ekki tekinn með í ársmeðaltalið þar sem styrkur blýs er marktækt hærri þar en á öðrum vöktunarstöðum [24].



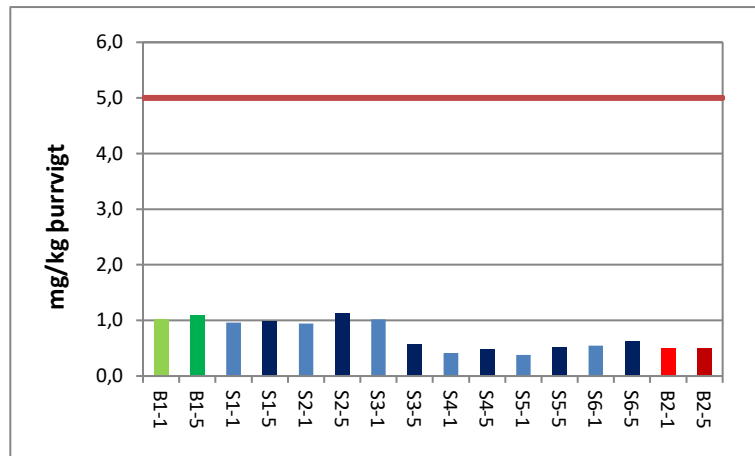
Mynd 7. Blý í mjúkvöðva kræklings með tilliti til lægsta viðmiðunargildi Norðmanna



Mynd 8. Blý í mjúkvöðva kræklings án viðmiðunargilda Norðmanna

Nikkel styrkur 2016 er sýndur á **Mynd 9**. Styrkur nikkels er u.þ.b tvöfalt hærri á stöð 1-2 (1 og 5 m dýpi) og stöð 3 (1 m dýpi) en á hinum stöðvunum, en engu að síður langt undir lægsta viðmiði

Norðmanna (5 mg/kg) á öllum stöðvunum [23]. Ef borið er saman við eldri rannsóknir er styrkur nikkels breytilegur milli ára, en nikkell er í marktækt hærri styrk árin 2007 og 2000 miðað við árið 2004. Nikkelstyrkurinn í sýnunum sem tekin voru 2016 er á svipuðu bili og hann var árin 2011 og 2013. Ástæðan fyrir því að nikkellstyrkurinn var hærri í vöktunarránsóknum 2000 kann að vera að á þeim tíma voru kræklingasýnin meðhöndluð í olíu [8]. Nikkelstyrkurinn 2016 er umtalsvert lægri en lægstu viðmið í Noregi (5 mg/kg) fyrir lítt eða óverulega mengað svæði.



Mynd 9. Nikkel í mjúkvöðva kræklingum

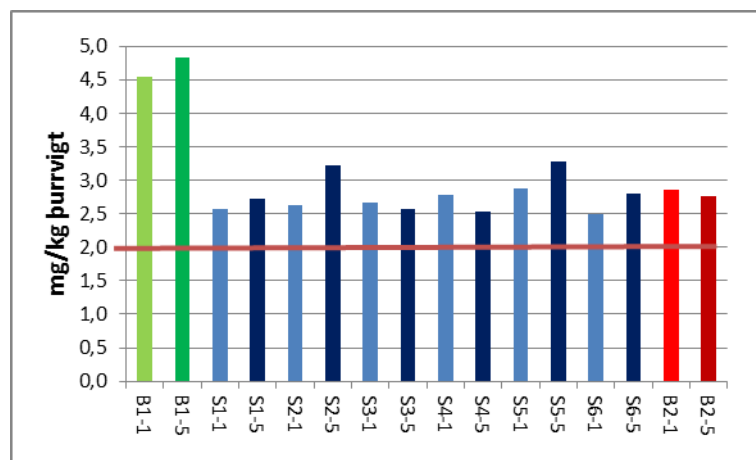
Kadmín. Styrkur kadmíns er sýndur á **Mynd 10** og er svipaður á öllum stöðvum yfir tímabilið, en styrkur kadmíns í sýnunum, banka 2 meðtöldum, lækkaði yfir ræktunartímann við verksmiðjusvæðin. Þetta er sama mynstur og sást 2000 [8], 2007 [10], 2011 [11] og 2013 [39] en ekki 2004 [9]. Þessi lækkun bendir því ekki til þess að um kadmínmengun frá verksmiðju svæðinuverksmiðjusvæðinu sé að ræða. Skýringin á þessari lækkun gæti legið í því að kræklingurinn hrygnir líklegast á tímabilinu júlí – ágúst í Hvalfirði og breytist efnasamsetning hans við það. Líklega eru það því líffræðilegar og árstíðabundnar breytingar sem orsaka þessa lækkun í styrk kadmíns og fleiri efna í kræklingi yfir ræktunartímann. Upphafsstyrkur kadmíns í banka 1, bæði á 1 og 5 m dýpi, var hár árið 2016 eða 4,7 mg/kg á þurrvigt að meðaltali (**Tafla 1**). Þessi hái upphafsstyrkur gerir samanburð við fyrri ár erfiðan. Því var ákveðið að skoða hlutfallslega lækkun í kadmín styrk yfir ræktunartímabilið í þremur rannsóknnum, þ.e.a.s. 2011, 2013 og 2016, þar sem kræklingur af ræktunarlínu Vogaskeljar frá Vogum á Vatnsleysuströnd var notaður við vöktunina í öll þrjú skipti. Niðurstöður í töflu 1 sýna að hlutfallsleg lækkun í styrk kadmín á meðan á rækt stendur er áþekkt í öll þrjú skiptin, en var minni (1,7 mg/kg) árið 2016 en 2013 (1,9 mg/kg) og gæti hár upphafsstyrkur kadmín í kræklingnum verið skýringin á því. Árið 2016 er styrkur kadmín á stöðvunum á bilinu 2,5–3,5 mg/kg sem er nálægt næstlægsta viðmiðunargildi Norðmanna (2–5 mg/kg) [23] og lendir því svæðið í öðrum flokk sem nokkuð mengað svæði (moderat forurennet).

Tafla 1. Styrkur kadmíns, samanburður áráanna 2011-2016

ár	Kadmín í mjúkvöðva kræklingi (mg/kg þurrvigti)		
	Banki 1 (1 og 5 m) upphaf	Stöðvar 1-6+Banki 2 (1 og 5 m), lokin	Hlutfall*
2016	4,7	2,77	1,7
2013	3,46	1,86	1,9
2011	2,88	1,88	1,5

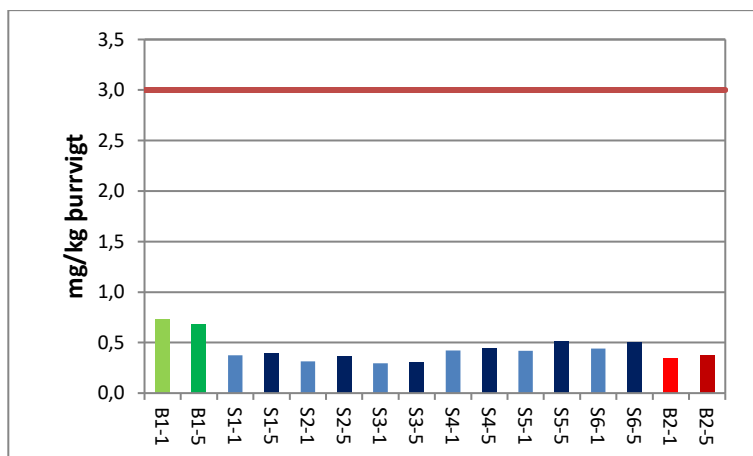
* Banki upphaf/stöðvar+banki, lok

Rannsóknir sýna 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 þurrvigti árið 2011 [24] og á bilinu 1,3–1,7 mg/kg (þurrvigti) 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 lítt eða ómenguðum svæðum s.s. Hvassahrauni [25]. Styrkur kadmíns á votvigti í þessari rannsókn (0,53–0,80 mg/kg) er einnig ávallt undir neyslumörkum Evrópusambandsins fyrir samlokur (1 mg/kg votvigti) [28]. Styrkur kadmín í mjúkvöðva kræklingi við Grundartanga 2016 er því sambærilegur við styrk kadmíns í kræklingi frá ómenguðum stöðum umhverfis landið.



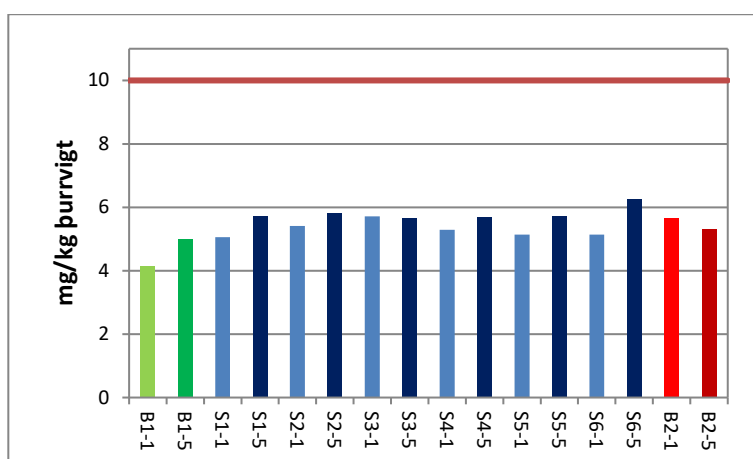
Mynd 10. Kadmín í mjúkvöðva kræklingi 2016

Króm. Á Mynd 11 er sýndur styrkur króms í mjúkvef kræklingi 2016. Styrkur króms á stöðvunum sex og í banka lækkar yfir ræktunartímann og í öllum tilfellum er styrkur króms langt undir lægsta viðmiði Norðmanna. Krómstyrkur virðist geta verið nokkuð breytilegur milli ára, t.d. mældist krómstyrkur 2007 á sumum stöðvum yfir lægstu viðmiðunargildi Norðmanna sem er frábrugðið niðurstöðum frá 2000, 2004, 2011 og 2013. Upptaka króms er háð vexti kræklingins, nálægð kræklingins við botnset og einnig er samband milli hækkaða krómstyrks og hækkaðs magns ösku [10].



Mynd 11. Króm í mjúkvöðva kræklinga

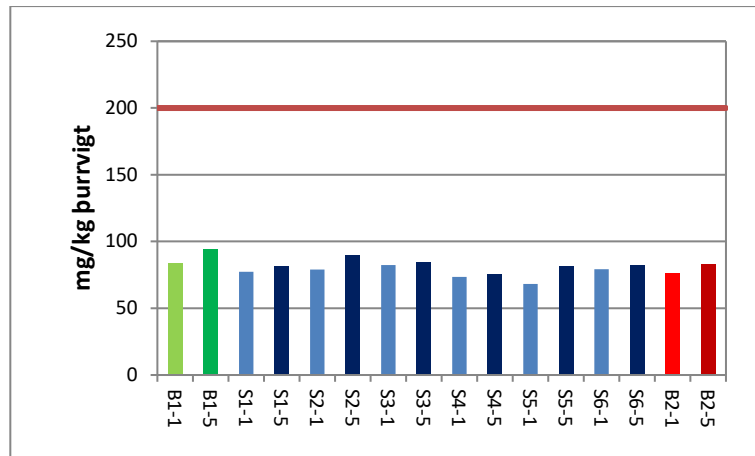
Kopar. Á Mynd 12 sést að koparstyrkurinn hækkar lítillega miðað við banka í upphafi á flestum stöðvunum, sömuleiðis er koparstyrkurinn almennt örlítið hærri á 5 m dýpi en á 1 m dýpi og á stöð S6-5 er koparstyrkurinn hærri (6,27 mg/kg) en í banka B2-5 (5,23 mg/kg) í lokin. Þessar niðurstöður eru ekki í samræmi við niðurstöður ársins 2013 en þá var örlítill hækkun í koparstyrk í kræklingnum á stöðvum 1 og 2 við verksmiðjussvæðið miðað við banka í upphafi og á viðmiðunarstöðinni (B2). Þrátt fyrir þetta eru öll gildi fyrir árið 2016 undir lágsta viðmiði Norðmanna, 10 mg/kg [23] og mælist lægri koparstyrkur nú en árin 2000, 2004 og 2007 en svipaður og árin 2011 og 2013. Reyndar var talið að koparmengun hafi orðið við undirbúning sýna árið 2000 og því hugsanlega óáreiðanlegt að nota þær niðurstöður til samanburðar. Síðustu 20 ár var meðalstyrkur kopars 6,6 mg/kg (þurrvigt) í kræklingi frá vöktunarsvæðum umhverfis landið, og þær niðurstöður sýna einnig að styrkur kopars er ekki hærri á vöktunarstöðum sem eru skilgreindir sem iðnaðarsvæði [25].



Mynd 12. Kopar í mjúkvöðva kræklinga

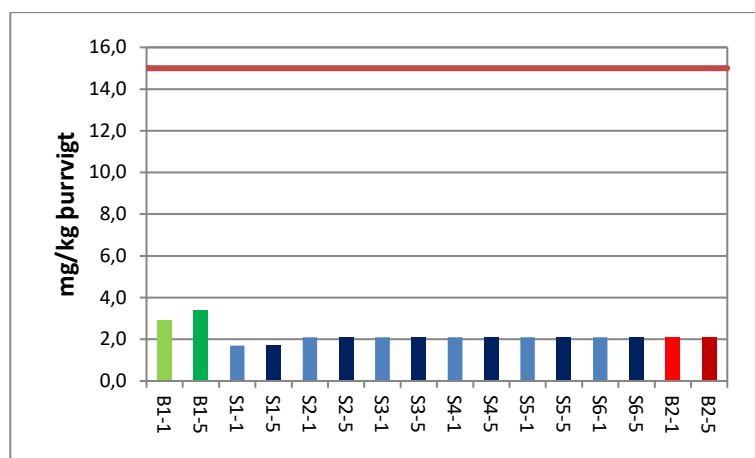
Sink styrkur í mjúkvöðva kræklinga á þurrvigtargrunni er sýndur á Mynd 13. Styrkur sinks hefur lækkað í öllum sýnum miðað við Banka 1 árið 2016, en styrkur sinks á stöðvum 1-6 er svipaður og sinkstyrkurinn í banka 2 í lokin. Öll sýni mælast langt undir lágsta viðmiði Norðmanna (200 mg/kg, þurrvigt) [23]. Meðal sinkstyrkur árið 2016 á 1 og 5 m dýpi á stöðvum 1-6 er um 76,5

mg/kg þurrvigt, sem er mjög svipað meðalgildi og mældist 2013 (80,6 mg/kg, þurrvigt), sem er lægri styrkur en mælt 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 (þurrvigt) [25].



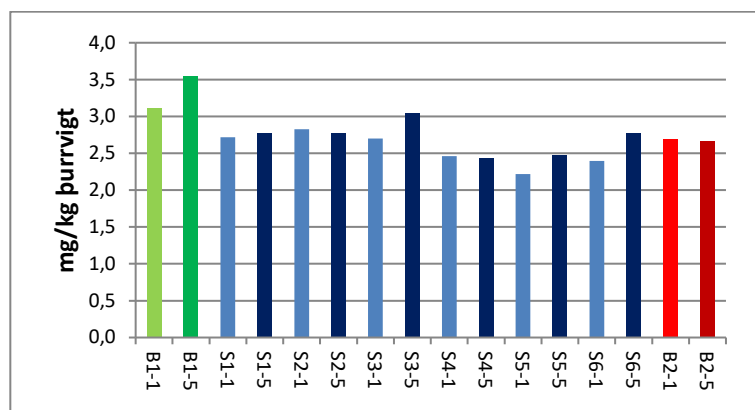
Mynd 13. Sink í mjúkvöðva kræklinga

Flúor styrkur í mjúkvöðva kræklinga á þurrvigtargrunni er sýndur á **Mynd 14**. Myndin sýnir einnig lægstu viðmiðunarmörk Norðmanna (15mg/kg) 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. Styrkur flúors hefur lækkað í öllum sýnum 2016 miðað við Banka 1 og styrkur flúors á stöðvum 1-6 er svipaður og í Banka 2 í lokin, og sömuleiðis er ekki kerfisbundinn munur í styrk flúors eftir dýpi (1 og 5 m) á stöðvunum sex. Töluvert hærri flúorstyrkur mælist árið 2013 borið saman við fyrri rannsóknir en þá var grunnildið í Banka 1 líka u.þ.b. 2,5 sinnum hærri en árið 2016. Fyrir rannsóknina 2013 var bankinn var færður þar sem hann var talinn vera of nálægt áhrifasvæði iðnaðarsvæðisins í fyrri rannsóknum.



Mynd 14. Flúor í mjúkvöðva kræklinga

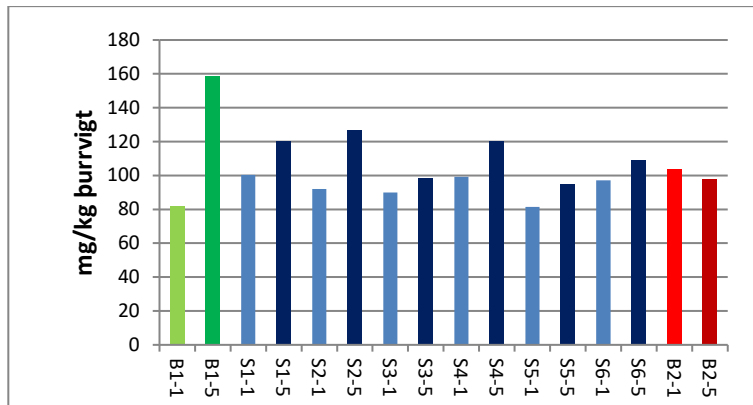
Selen. Styrkur selens í kræklingi er sýndur á **Mynd 15** og sést þar að styrkur selens hefur lækkað á ræktunartímanum 2016 á öllum stöðvunum og viðmiðunarbanka (B2) í lokin. Ekki sést kerfisbundinn munur á sýnum á annars vegar 1 m dýpi og 5 m dýpi hins vegar og ef miðað er við banka í upphafi tímabils hefur orðið lækkun í styrk yfir ræktunartímann, sem einnig mátti sjá í tilvikum arsens, kadmíns, króms og flúors. 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 þurrvigti 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 kræklingi

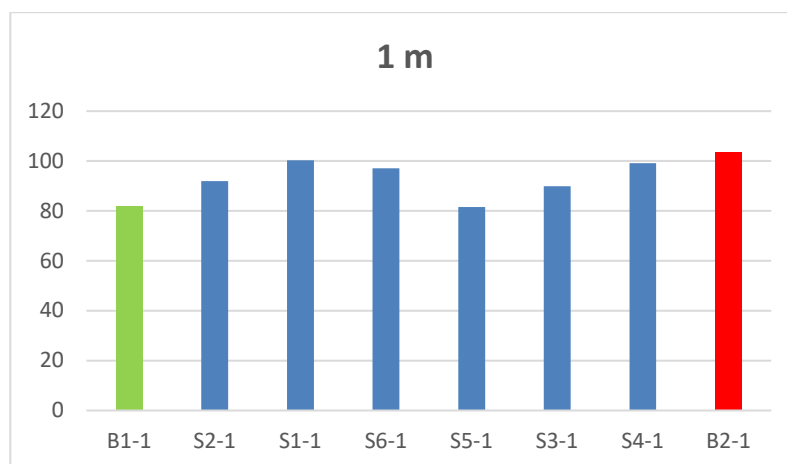
Álstyrkur í mjúkvef kræklingi á þurrvigtagrunni er sýndur á **Mynd 16**. Lítið eru til um sambærilegar rannsóknir á áli og t.d. eru ekki til viðmiðunarmörk fyrir ál í kræklingi eða öðrum lífverum sjávar né hafa verið sett hámarksgildi á styrk áls í matvælum. Niðurstöðurnar fyrir 2016 sýna óverulega hækkun í álstyrk yfir ræktunartímann á öllum stöðvum (nema stöð 5) á 1 m dýpi miðað við upphafsgildið í banka 1 á 1 m dýpi, en hins vegar er álstyrkur í banka 2 á 1 m dýpi í lokin nánast sá sami og á stöðvunum. Þessi hækkun í álstyrk yfir ræktunartímann er hins vegar innan við 20% sem jafngildir mælióvissu mæliaðferðarinnar. Mynd 16 sýnir að álstyrkur á 5 m dýpi í banka 1 var mjög hár og að styrkur áls á 5 m dýpi lækkar yfir ræktunartímann á öllum stöðvunum sem og í banka 2.

Hins vegar var álstyrkurinn á fjórum stöðvum hærri á 5 m dýpi en hann var á viðmiðunarstöð í Banka 2 á sama dýpi (Mynd 16). Fyrri rannsóknir, 2011 og 2013, hafa sýnt að álstyrkurinn er 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].

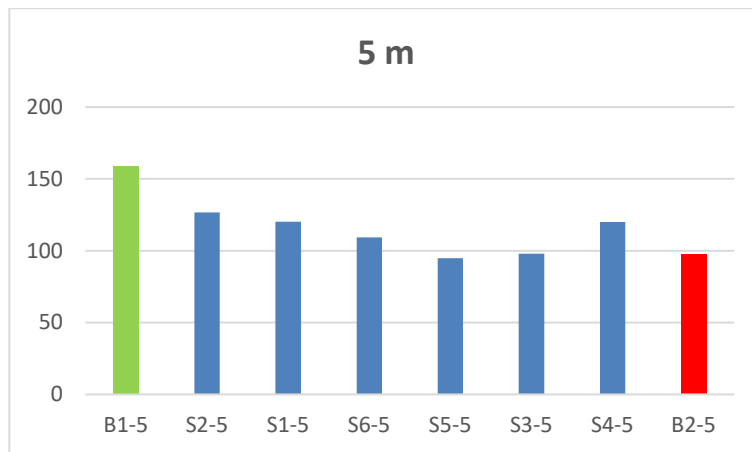


Mynd 16. Ál í mjúkvöðva kræklinga

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.

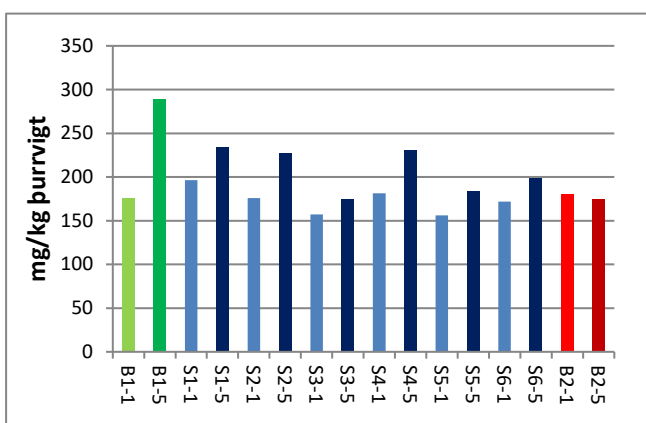


Mynd 17. Styrkur áls í kræklingum ræktuðum á 1 m dýpi, stöðvum raðað upp eftir fjarlægð frá iðjuverunum þ.e. S2 og S1 eru næstar, S6, S5 og S3 lengra frá og að lokum er S4 í mestri fjarlægð.

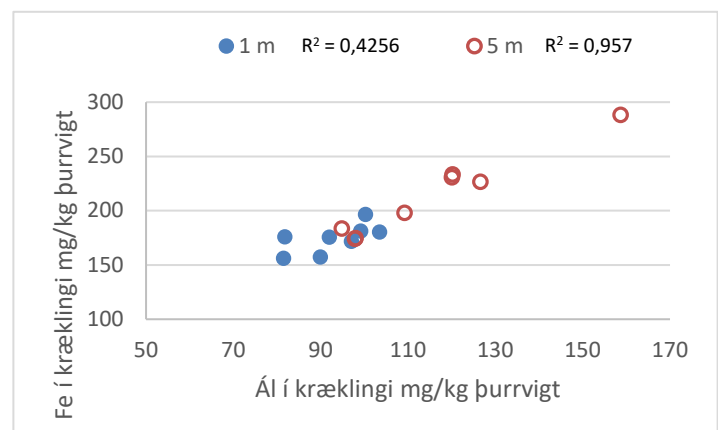


Mynd 18. Styrkur áls í kræklingum ræktuðum á 5 m dýpi, stöðvum raðað upp eftir fjarlægð frá iðjuverunum þ.e. S2 og S1 eru næstar, S6, S5 og S3 lengra frá og að lokum er S4 í mestri fjarlægð.

Járn. Á **Mynd 19** má sjá styrk járn í kræklingi á þurrvigtagrunni. Á öllum stöðvunum 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 járn (Mynd 20). Þessa fylgni má einnig sjá í niðurstöðum fyrri rannsóknanna þ.e. 2011 og 2013. Þetta samband er talið komið til vegna náttúrulegs landræns framburðar og sets, þar sem ál og járn er lausbundið í íslenskum jarðvegi og ár skila miklu af þessum efnum á haf út. Vensl járn og áls í kræklingi 2016 er sett fram í Mynd 20, og má sjá sterka fylgni milli áls og járn styrks á 5 m dýpi ($R^2 = 0,95$) við botn þar sem setið hefur meiri áhrif á sýnin. Af þessum sökum sýna niðurstöður rannsókna að styrkur járn lækki í eldiskræklingi er frá dregur ströndu [27]. Því bendir allt til að styrkur járn og áls sé 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 járn í matvælum enda um nauðsynlegt snefilefni að ræða.



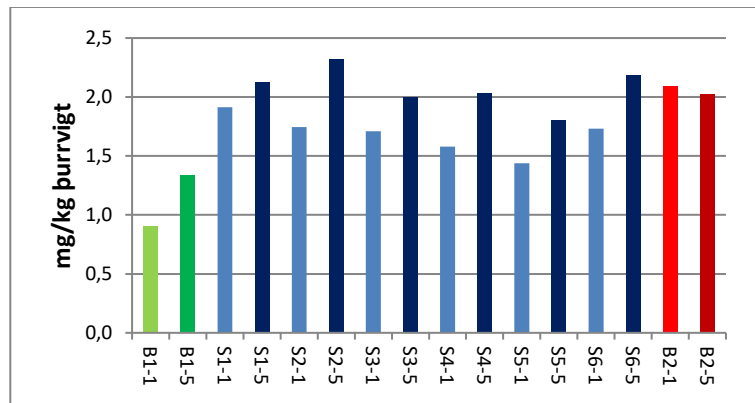
Mynd 19. Járn í mjúkvöðva kræklingi



Mynd 20. Vensl járn og áls í kræklingi 2016

Vanadín. Niðurstöður fyrir styrk vanadíns í mjúkvæf kræklingi á þurrvigtagrunni eru sýndar á **Mynd 21**. Styrkur vanadíns hækkar á öllum stöðvunum sem og í banka 2 á meðan á rækt stendur. Vanadínstyrkurinn á öllum stöðvum (1-6) er hærri á 5 dýpi en á 1 m dýpi sem bendir til þess að vanadín sé herra við botn. Umhverfismörk fyrir vanadín í kræklingi eru ekki kunn,

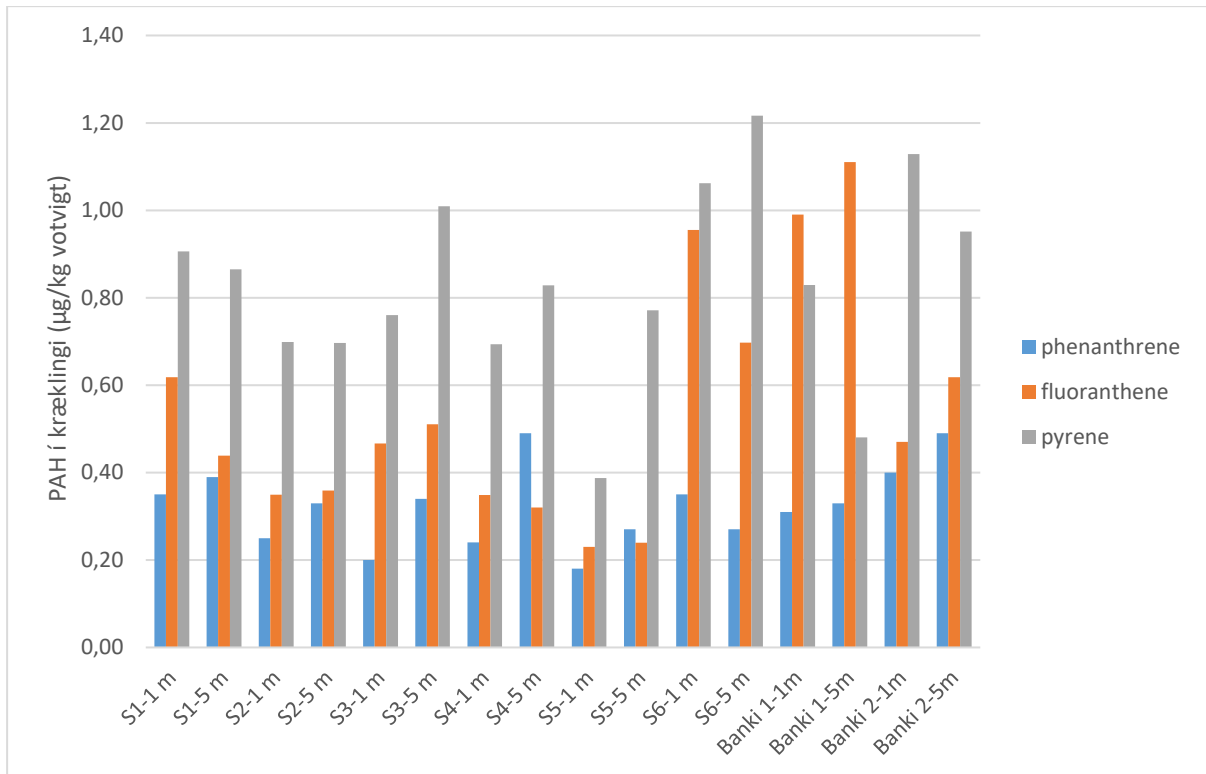
Þannig að hér er einungis hægt að styðjast við fyrri niðurstöður úr rannsóknum vegna áhrifa iðjuveranna í Grundartanga. Fyrri rannsóknir frá árunum 2011 og 2013 sýna ókerfisbundin breytileika í niðurstöðum milli stöðva, en samkvæmt niðurstöðum ársins 2011 var vandadín styrkurinn á stöðvunum að jafnaði eilítið hærri á 5 dýpi en 1 m dýpi. Upphafsstyrkur vanadíns í kræklingi í banka 1 í fyrri rannsóknum er mjög breytilegur sem gerir allan samanburð milli ára erfiðan.



Mynd 21. Vanadín í mjúkvöðva kræklinga

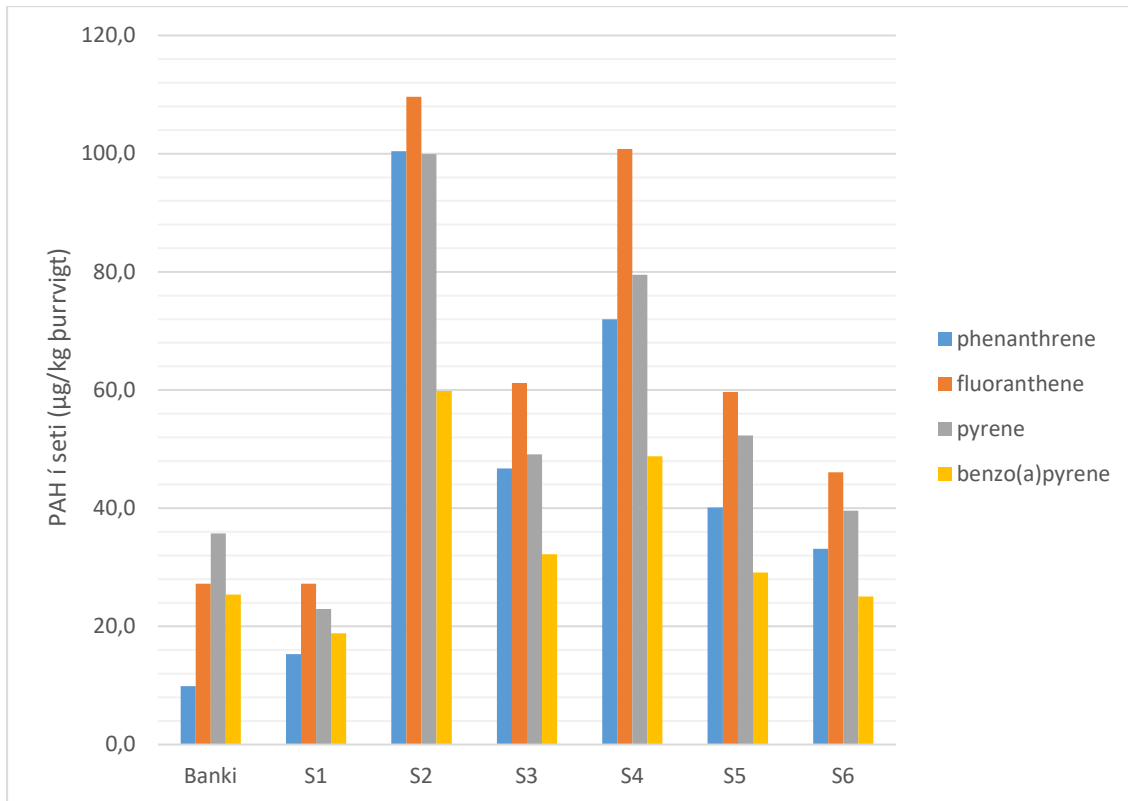
4.5. PAH efni

Tafla í viðauka V sýnir niðurstöður gæðaeftirlits RLE á PAH mælingunum. Mæld voru 16 PAH-efni sem eru þau 16 efni sem Umhverfisstofnun Bandaríkjanna (US-EPA) hefur ákvarðað að séu þau sem mikilvægast er að rannsaka og vakta vegna áhrifa og styrks í umhverfinu. Mjög lítið af PAH efnum greindust í sýnunum, en niðurstöður á styrk mælanlegra PAH-efna í mjúkvef kræklinga má sjá í töflu í viðauka V. Pyrene, fluoranthene og phenanthrene greindust yfir greiningarmörkum í öllum sýnum. Greiningarmörk naftalens voru hærri en fyrir önnur efni, þar sem mikill breytileiki var á magni naftalens í blanksýnum. Þá voru greiningarmörk 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 efna ásamt benzo[a]pyrene í seti en öll PAH efni voru yfir greiningarmörkum í öllum setsýnum.



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

Norðmenn hafa sett umhverfismörk fyrir þessi 16 PAH efni sem US-EPA mæla með og hafa skilgreint 5 mismunandi flokka sem hægt er að miða við. M.a. eru mörkin fyrir benzo[a]pyrene 1 µg/kg á votvigt kræklinga fyrir minnst mengaða flokkinn, þ.e. þar sem mengun er minnst. Heildarmagn 15 PAH efna (EPA16, fyrir utan naftalen) í lægsta flokknum má vera <50 µg/kg votvigt og falla öll kræklingssýni frá Hvalfirði 2016 í þann flokk bæði hvað varðar heildarmagn og styrk benzo(a)pyrens eða ómenguð svæði samkvæmt norsku stöðlunum fyrir PAH efni í kræklingi [23]. Ef borið er saman við niðurstöður annarra [30, 31, 40] virðist heldur ekki vera um mengun PAH efna að ræða í umræddum sýnum frá Hvalfirði 2016. Kræklingur tekinn í Reykjavíkurböfn og í Hvassahrauni sumarið 2004 sýndi nokkuð hærri gildi eða heildarstyrk 16 PAH efna/B(a)P um 99/4,3 µg/kg (Reykjavík) og 37/2,5 µg/kg (Hvassahraun) [40]. Á ómenguðu svæði í Skotlandi [31] var heildarstyrkur 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 kræklinga.



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

Ef niðurstöður í seti eru skoðaðar þá sést að lægstur PAH styrkur mældist í S1 (209 µg/kg þurrvigt) sem var mjög áþekkt sýni frá banka (235 µg/kg þurrvigt). Hæstur styrkur er í seti frá S2 (791 µg/kg þurrvigt).

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 2 [35]. Langoftast falla PAH efnin undir flokk II, þar sem vænta má lítilla áhrifa, en sýni frá banka og S1 falla þó undir flokk I hvað varðar heildarmagn efnanna eða það sem telja má bakgrunnstyrk. Eitt efnanna, Benzo[ghi]perylene fellur þó í flokk III um norsk viðmiðunargildi í öllum sýnum þar með talið set frá Banka.

Tafla 2: 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]perýlen (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, ásamt styrk benzo[a]pyrens sem er eitraðasta efnið í efnaflokknum, í botnseti utan við Grundartanga í Hvalfirði sýnd í Töflu 3.

Tafla 3: Styrkur summu 16 PAH efna í botnseti við Grundartanga í Hvalfirði 2016 í µg/kg þ.v.

Efni	Banki	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Σ16 PAH	235	209	791	409	598	364	339
Benzo[a]pyrene	25,4	18,8	59,8	32,2	48,8	29,1	25,1

Sýni af botnseti við Grundartanga flokkast því í flokk I eða II ef summa 16 PAH efna er skoðuð, en ef benzo[a]pyrene er skoðað sérstaklega þá falla öll sýnin í flokk II. 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 4 sýnir viðmiðunargildi tekin úr grein He og meðhöfunda (36).

Tafla 4: Þröskuldsgildi og áhrifagildi fyrir einstök PAH efni í seti í µg/kg. 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 3 og 4, þá falla allir sýnatökustaðirnir nema S2 og S4 í REL, það er að ólíklegt sé að sjá áhrif vegna þess benzo[a]pyrens sem þar finnst. Sýnatökustaðirnir S2 og S4 eru undir þröskuldsgildi áhrifa (TEL). Gildin REL og TEL eru sett fram sem viðmiðunargildi fyrir 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 annað sinn sem mælingar eru framkvæmdar á PAH efnum í seti í umhverfisvöktun fyrir iðjuverin á Grundartanga. Gildin nú eru svipuð og 2013, en þó er ekkert sýni sem fellur í OEL flokk eins og S5 gerði 2013. Hafa verður í huga að nú vantar tvö efnanna frá 2013, perylene og benzo(b)pyrene (að beiðni verkkaupa), þó að sú viðbót hefði varla fært hæsta sýnið í OEL flokk. 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. PAH efni í seti frá Reyðarfirði frá árinu 2000 þegar umhverfismat var framkvæmt vegna fyrirhugaðs álvers þar (38) sýndi summu 23 PAH efna á bilinu 23-100 µg/kg þ.v. (þurrvig) og meðaltalið var 57 µg/kg þ.v. og þetta eru því líklega einu bakgrunnsgildi fyrir PAH efni í seti sem til eru frá Íslandi. Allir mælistaðir í vöktun í Hvalfirði 2016 mælast með hærri summu PAH efna (209-791 µg/kg), þó að einungis 16 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 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 í flestum sýnum nokkuð hærri en í viðmiðunarsýni en öll féllu þó undir norska og kanadískar skilgreiningar um litla eða óverulega mengun sem talin er lítil hætta á fyrir lífríkið [35]. Styrkur eitraðasta PAH efnisins, benzo(a)pyrenes, fellur í flokk II á öllum svæðum, þar sem reiknað er með litlum eituráhrifum. Samkvæmt kanadískum rannsóknum falla öll setsýnin neðan við þröskuldsgildi áhrifa (TEL) [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 viðmiðunarstaðar er mun hentugri í þessari rannsókn borið saman við fyrri rannsóknir og er ólíklegt að iðjuverin hafi áhrif á núverandi viðmiðunarstað.

Til að draga saman:

- Ekki mælast mikil áhrif iðjuvera á umhverfið í sjónum við iðnaðarsvæðið á Grundartanga

6. Heimildaskrá

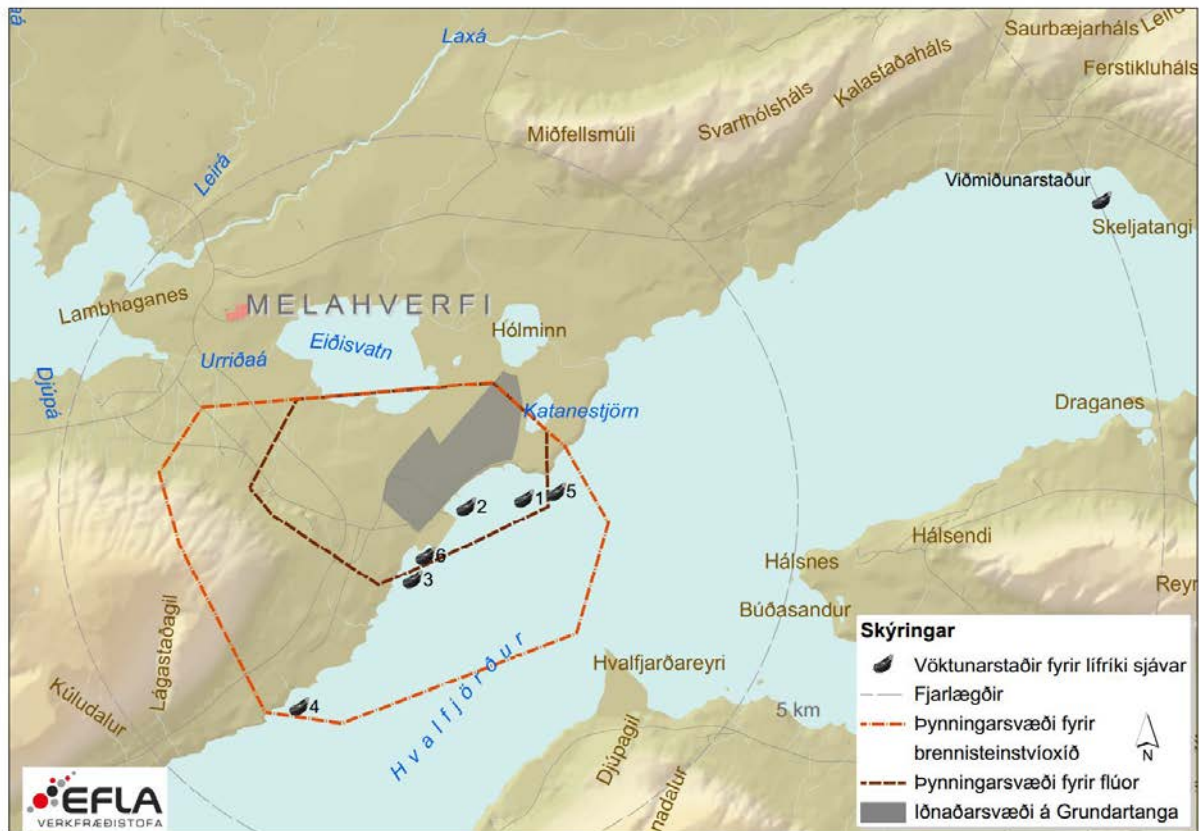
1. H. P. Halldórsson, Ó. S. Gíslason "Mengunarálag í vistkerfi sjávar utan við Grundartanga og Katanes í Hvalfirði vaktað með hjálp kræklinga - Undirbúningur búra, og meðhöndlun og ræktun kræklinga í búrum"; Rannsóknasetur Háskóla Íslands á Suðurnesjum 2012.
2. N. Mzoughi, L. Chouba, "Heavy Metals and 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. Magnúsdóttir, 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 (6PV05186); 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
39. H. Jörundsdóttir, N. Desnica, Ragnarsdóttir, H. Gunnlaugsdóttir "Könnun á ólífrænum snefilefnum og arómatískum fjölhringjum (PAH) í kræklingi við Grundartanga, Hvalfirði, 2013"; Matis: Reykjavík, Iceland, 2014; p 42.
40. M. Olenycz et al. , Comparison of PCBs and PAHs levels in European coastal waters using mussels from the *Mytilus edulis* complex as biomonitors, *Oceanologia* (2015), Volume: 57 Issue: 2 Pages 196-211

VIÐAUKI I

Staðsetningar sýnastöðva 1-6 og viðmiðunarstaðar

Kort sem sýnir staðsetningu stöðvar 1-6 og viðmiðunarstaðar



Númer og staðsetningar kræklingastöðva við Grundartanga og á viðmiðunarstað í Saurbæjarvík árið 2016 ásamt dýpi og lýsingu á stöðvum.

Stöð	N-breidd	V-breidd	Lýsing á stöðvum	Dýpi árið 2016 faðmar/metrar
1	64°21.631´	21°45.339´	Utan við grynningar út af Katanesi	7,9 / 14,2
2	64°21.551´	21°46.300´	Um 230m austan við bryggjukant Grundartangahafnar	6,5, / 11,7
3	64°20.998´	21°47.203´	Um 650m vestan við grjóttgarð kerbrotagryfju	8,0 / 14,4
4	64°20.029´	21°49.030´	Um 3km vestan við verksmiðjussvæðið 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°21,112	21°47,082´	Um 250m vestan viðbryggjukant, við grjóttgarð kerbrotagryfju	7,5 / 13,5
Viðmiðunarstaður	64°24.000´	21°35.800´	Í Saurbæjarvík, um 8 km austan við Katanes	10-11 / 18,5-119,6

VIÐAUKI II

Dánartíðni og líffræðilegir þættir

Samantekt á heildarfjölda og dauðum einstaklingum í búrum

Stöð	Heildarfjöldi einstaklinga	Fjöldi dauðra einstaklinga	%*
B1-1	118	5	4.2
B1-5	119	7	5.9
S1-1	114	4	3.5
S1-5	116	6	5.2
S2-1	116	5	4.3
S2-5	116	6	5.2
S3-1	116	3	2.6
S3-5	117	5	4.3
S4-1	118	4	3.4
S4-5	114	5	4.4
S5-1	120	4	3.3
S5-5	117	5	4.3
S6-1	118	3	2.5
S6-5	117	5	4.3
B2-1	116	6	5.2
B2-5	118	6	5.1

* 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
	[g]	[g]	[g]	[mm]	[mm]	[mm]		[g]	[g]	[g]	[mm]	[mm]	[mm]
B1-1							B1-5						
AV.	10,0	5,4	4,5	50,6	25,4	19,3	AV.	9,1	4,9	4,1	50,1	25,1	18,2
MED.	8,2	4,7	3,5	48,1	24,6	17,3	MED.	7,6	4,3	3,2	48,0	24,4	17,1
STEDV	4,3	2,2	2,1	6,4	3,1	5,9	STEDV	3,8	2,0	1,9	6,1	2,8	3,1
MIN.	4,2	2,6	2,0	42,8	21,3	14,1	MIN.	4,6	2,4	1,9	41,2	19,8	14,6
MAX.	19,8	10,7	9,2	64,3	34,5	51,5	MAX.	18,5	9,8	9,4	61,7	30,7	26,0
S1-1							S1-5						
AV.	14,4	8,2	6,1	55,9	26,9	20,8	AV.	12,5	6,9	5,5	53,6	26,5	19,9
MED.	13,3	8,0	5,4	55,3	26,2	20,3	MED.	11,7	6,6	4,9	52,9	26,2	19,2
STEDV	4,4	2,5	2,1	6,0	2,2	3,0	STEDV	3,7	1,9	2,0	5,4	2,3	2,7
MIN.	7,8	2,6	3,2	45,4	23,0	16,8	MIN.	7,1	4,0	2,9	42,3	22,6	15,8
MAX.	23,9	14,4	10,0	67,5	32,6	27,4	MAX.	23,1	10,9	10,9	69,1	32,0	28,1
S2-1							S2-5						
AV.	15,7	9,5	6,0	55,8	27,0	20,9	AV.	14,7	8,5	6,0	55,6	27,2	20,8
MED.	13,7	8,8	5,1	54,9	26,7	19,9	MED.	12,9	7,4	5,1	54,1	26,6	20,1
STEDV	5,4	3,2	2,3	5,8	2,4	3,1	STEDV	5,1	2,9	2,3	6,5	2,7	3,4
MIN.	9,2	5,2	3,4	46,0	22,9	17,0	MIN.	7,1	3,5	3,3	45,3	23,4	16,0
MAX.	30,2	18,4	12,1	68,6	31,9	27,8	MAX.	25,3	15,0	11,9	69,3	34,4	26,7

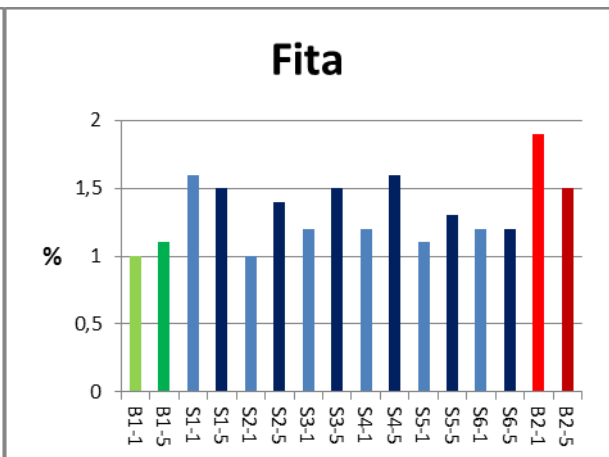
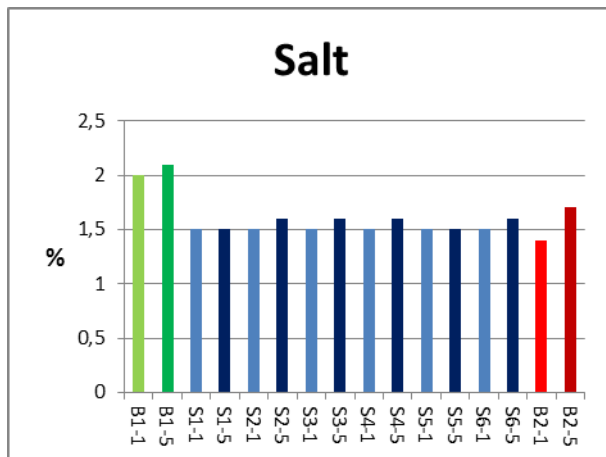
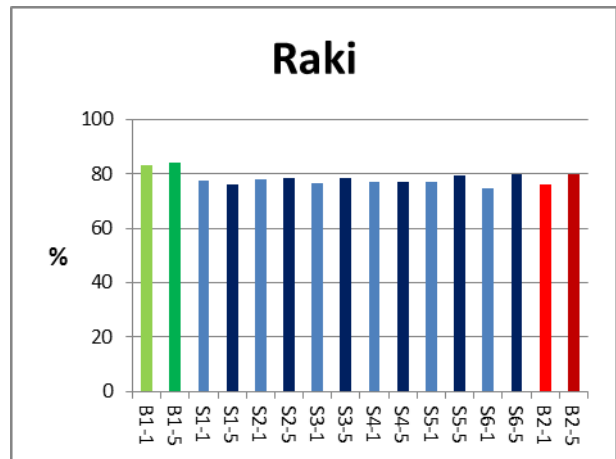
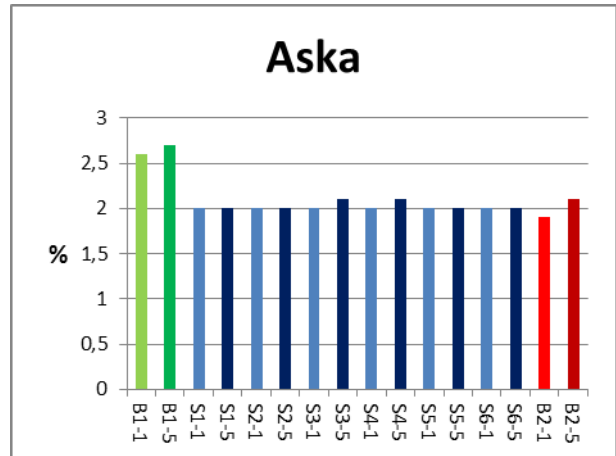
S3-1							S3-5						
AV.	14,6	8,7	5,7	55,0	27,0	20,6	AV.	12,8	7,5	5,2	53,9	26,3	19,6
MED.	13,6	8,4	4,7	54,0	26,7	19,8	MED.	11,7	7,0	4,5	53,1	25,8	18,7
STEDV	4,2	2,4	2,0	5,3	2,3	2,9	STEDV	3,7	2,1	1,8	4,7	2,2	2,6
.							.						
MIN.	8,7	4,7	3,7	46,0	22,8	16,7	MIN.	7,7	3,8	2,9	46,1	22,9	16,2
MAX.	24,9	15,7	11,2	66,8	32,3	27,3	MAX.	24,8	15,1	9,5	65,2	31,1	26,0
S4-1							S4-5						
AV.	16,9	9,8	7,0	58,0	28,2	22,1	AV.	15,0	8,5	6,3	56,8	27,7	20,9
MED.	17,8	10,4	7,2	58,7	28,1	22,6	MED.	12,8	7,3	5,3	56,3	27,4	19,4
STEDV	5,2	2,9	2,4	6,3	2,8	3,4	STEDV	5,2	3,0	2,3	5,8	2,3	3,2
.							.						
MIN.	7,9	4,6	3,2	46,3	22,5	16,1	MIN.	8,5	4,1	3,2	47,1	23,9	16,9
MAX.	27,0	15,3	11,6	69,0	34,1	27,6	MAX.	26,0	15,1	11,4	68,5	32,0	28,3
S5-1							S5-5						
AV.	15,3	8,8	6,4	56,3	27,2	21,1	AV.	14,9	8,5	6,3	55,4	27,2	20,9
MED.	13,5	7,7	5,7	55,3	27,1	20,3	MED.	14,0	8,2	5,7	55,4	27,3	21,1
STEDV	5,4	3,1	2,3	6,3	2,5	3,5	STEDV	4,5	2,6	2,1	5,1	2,5	3,2
.							.						
MIN.	7,8	4,7	3,1	46,6	22,3	15,8	MIN.	7,6	4,1	3,3	45,6	22,0	14,0
MAX.	27,2	16,1	11,0	69,1	32,2	28,5	MAX.	28,6	17,3	11,1	69,0	32,9	27,4
S6-1							S6-5						
AV.	15,5	9,1	6,3	55,9	27,3	21,2	AV.	14,1	8,4	5,7	55,4	27,0	20,3
MED.	14,2	8,3	5,7	55,1	27,0	20,9	MED.	12,9	7,7	5,1	53,5	26,3	19,3
STEDV	5,4	3,1	2,5	5,5	2,5	3,0	STEDV	5,0	3,0	2,1	5,8	2,5	3,2
.							.						
MIN.	8,4	4,6	3,4	47,5	23,3	16,9	MIN.	6,9	3,6	3,1	45,6	23,7	15,8
MAX.	28,4	16,7	13,4	67,7	33,0	28,3	MAX.	25,3	15,3	10,4	68,8	33,5	27,3
B2-1							B2-5						
AV.	13,4	7,4	5,9	55,3	26,5	20,3	AV.	12,5	7,0	5,3	52,9	26,0	19,6
MED.	12,4	6,8	4,9	54,2	25,8	19,8	MED.	11,1	6,0	4,8	51,0	26,0	18,8
STEDV	3,9	2,0	2,1	5,4	2,5	3,2	STEDV	4,4	2,8	1,9	5,3	2,3	2,9
.							.						
MIN.	7,9	4,3	3,4	47,2	23,1	16,1	MIN.	7,4	4,0	3,1	45,3	22,1	14,7
MAX.	21,0	10,9	10,6	63,8	32,2	28,8	MAX.	27,5	17,2	10,1	66,3	32,0	26,5

VIÐAUKI III

Meginþættir

Meginþættir gefnir upp á votvigt (%)

Stöð	Raki	Aska	Fita	Salt
B1-1	83,1	2,6	1,0	2,0
B1-5	84,1	2,7	1,1	2,1
S1-1	77,4	2,0	1,6	1,5
S1-5	76,1	2,0	1,5	1,5
S2-1	78,2	2,0	1,0	1,5
S2-5	78,5	2,0	1,4	1,6
S3-1	76,7	2,0	1,2	1,5
S3-5	78,5	2,1	1,5	1,6
S4-1	77,1	2,0	1,2	1,5
S4-5	76,9	2,1	1,6	1,6
S5-1	77,1	2,0	1,1	1,5
S5-5	79,4	2,0	1,3	1,5
S6-1	74,7	2,0	1,2	1,5
S6-5	79,7	2,0	1,2	1,6
B2-1	76,2	1,9	1,9	1,4
B2-5	80	2,1	1,5	1,7



VIÐAUKI IV

Ólífræn snefilefni

Gæðaeftirlit fyrir snefilefnamælingar

mg/kg		Al	V	Cr	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Se	Cd	Hg	Pb
DORM4	certified value	—	—	1,87	341	1,36	15,9	52,2	6,80	3,56	0,306	0,41	0,416
	measured	—	—	1,66	327	1,02	13,72	49,59	7,52	4,4	0,28	0,4	0,38
	Z-score	—	—	-0,78	-0,61	-1,62	-1,3	-0,57	0,88	1,78	-0,41	-0,18	-0,46
Quasimeme, QTM110 Mussle tissue	certified value	49	6,72	0,85	104,7	0,73	5,59	95	13,59	2,16	1,28	0,025	0,26
	measured	47	6,65	0,75	99,09	0,60	4,56	84	14,18	2,23	1,11	0,026	0,22
	Z-score	-0,46	-0,09	-0,73	-0,68	-1,06	-1,49	-1,2	0,39	0,23	-0,87	0,11	-0,82
Quasimeme, QTM112, mussels tissue	assigned value	10,2	—	125	21,5	103	1053	26,4	1,95	463	236	2,65	40,5
	measured	10	—	108	24	83	749	22	2,0	431	198	3	36
	Z-score	-0,1	—	-0,7	0,9	-0,9	-1,7	-1	0,2	-0,5	-1	0,3	-0,6
Mussle tissue	assigned value							83,1	6,07	1,84	0,35	0,196	2
	measured							73,2	6,04	1,59	0,32	0,26	1,8
	Z-score							-1,21	-0,04	-0,94	-0,44	1,52	-0,72
Quasimeme, QTM113, fish tissue	assigned value	—	—	150	1,74	47,8	222	5,13	7,47	316	202	113,1	5,8
	measured	—	—	161	2	46	174	4	9	336	206	109,0	4
	Z-score	—	—	0,4	0,8	-0,1	-0,6	-0,7	1,6	0,4	0,2	-0,2	-0,6

Niðurstöður mælinga ólifrænum snefilefnum á votvigtargrunni (mg/kg)

Stöð	A [†]	As [*]	Cd [*]	Cr [†]	Cu [*]	F [*]	Fe [*]	Hg [*]	Ni [†]	Pb [*]	Se [†]	V [†]	Zn [*]
B1-1	13,96	1,87	0,78	0,12	0,71	0,49	30,00	<0,01	0,17	0,02	0,53	0,15	14,24
B1-5	26,09	1,98	0,80	0,11	0,82	0,56	47,41	<0,01	0,18	0,02	0,58	0,22	15,50
S1-1	22,93	1,94	0,59	0,09	1,16	0,39	44,90	<0,015	0,22	0,02	0,62	0,44	17,65
S1-5	27,79	2,02	0,63	0,09	1,33	0,39	53,98	<0,015	0,23	0,02	0,64	0,49	18,86
S2-1	19,78	1,79	0,57	0,07	1,16	0,45	37,77	<0,015	0,20	0,01	0,61	0,38	16,97
S2-5	26,43	1,83	0,67	0,08	1,21	0,44	47,28	<0,015	0,23	0,02	0,58	0,48	18,64
S3-1	19,61	1,86	0,58	0,06	1,25	0,46	34,27	<0,015	0,22	0,01	0,59	0,37	17,95
S3-5	20,53	2,08	0,54	0,06	1,19	0,44	36,57	<0,015	0,12	0,01	0,64	0,42	17,62
S4-1	22,07	1,90	0,62	0,09	1,18	0,47	40,34	<0,015	0,09	0,01	0,55	0,35	16,36
S4-5	26,99	1,99	0,57	0,10	1,28	0,47	51,90	<0,015	0,11	0,02	0,55	0,46	16,90
S5-1	18,37	1,75	0,65	0,09	1,16	0,47	35,20	<0,015	0,09	0,01	0,50	0,32	15,37
S5-5	19,73	1,82	0,68	0,11	1,19	0,44	38,20	<0,015	0,11	0,02	0,51	0,37	16,98
S6-1	20,53	1,75	0,53	0,09	1,09	0,44	36,33	<0,015	0,12	0,01	0,51	0,37	16,75
S6-5	22,71	1,89	0,58	0,10	1,30	0,44	41,17	<0,015	0,13	0,02	0,58	0,45	17,12
B2-1	21,21	1,72	0,59	0,07	1,16	0,43	36,95	<0,015	0,10	0,02	0,55	0,43	15,53
B2-5	19,66	1,82	0,56	0,07	1,07	0,42	34,95	<0,015	0,10	0,01	0,54	0,41	16,67

*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 ≥20%.

VIÐAUKI V

PAH efni

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

Sýni: QPH062BT PAH efni	Mælt gildi 1	Mælt gildi 2	Mælt gildi 3	Meðaltal mældra gilda	Vottað gildi	Z-score
naftalene	<3	<3	<3	<3	2,41	C
acenaftylene	0,47	0,48	0,48	0,48	0,47	0,04
acenaftene	0,87	0,85	0,77	0,83	0,87	-0,20
fluorene	2,13	1,97	2,18	2,09	1,99	0,30
phenanthrene	12,20	11,6	12,0	12,0	11,4	0,37
anthracene	1,14	1,09	1,11	1,12	1,10	0,07
fluoranthene	19,78	20,1	19,7	19,9	19,2	0,26
pyrene	17,69	18,5	17,5	17,9	17,1	0,36
benz(a)anthracene	5,30	5,32	5,20	5,28	5,06	0,29
chrysene	5,95	5,91	5,88	5,91	5,66	0,31
benzo(b)fluoranthene	5,61	5,82	5,68	5,70	5,73	-0,03
benzo(k)fluoranthene	2,48	2,55	2,41	2,48	2,37	0,28
benzo(a)pyrene	1,99	2,10	1,92	2,00	2,00	0,00
indeno(1,2,3-cd)pyrene	1,37	1,67	1,74	1,59	1,67	-0,25
dibenz(a,h)anthracene	0,42	0,42	0,48	0,44	0,45	-0,08
benzo(ghi)perylene	3,47	2,47	2,35	2,77	2,61	0,36

*óhreinindi í sýni trufluðu greiningu; C: consistent

Styrkur PAH efna í kræklingi frá Hvalfirði (µg/kg votvigt) eftir stöðvum

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	0,31	0,33	0,35	0,39	0,25	0,33	0,20	0,34	0,24	0,49	0,18	0,27	0,35	0,27	0,40	0,49
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	1,1	0,62	0,44	0,35	0,36	0,47	0,51	0,35	0,30	0,21	0,24	1,0	0,70	0,47	0,62
pyrene	0,83	0,48	0,91	0,86	0,70	0,70	0,76	1,0	0,69	0,83	0,39	0,77	1,1	1,2	1,1	0,95
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(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
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	<1	<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
Total PAH, lower bound	2,1	1,9	1,9	1,7	1,3	1,4	1,4	1,9	1,3	1,6	0,80	1,3	2,4	2,2	2,0	2,1
Total PAH, upper bound	14	14	14	14	13	13	13	14	13	14	13	13	14	14	14	14
% Þurrvigt	17	16	23	23	22	21	22	21	22	22	23	21	21	21	20	20

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

Sýni: QPH064BT PAH efni	Mælt gildi 1	Mælt gildi 2	Mælt gildi 3	Meðaltal mældra gilda	Vottað gildi	Z-score
naftalene	599	509	502	536	544	-0,11
acenaftylene	45,3	50,6	45,3	47,1	48,2	-0,19
acenaftene	188	170	213	190	193	-0,12
fluorene	253	240	269	254	274	-0,57
phenanthrene	2013	1835	1979	1942	1970	-0,11
anthracene	540	489	588	539	546	-0,10
fluoranthene	2922	2821	3015	2919	2956	-0,10
pyrene	2507	2406	2614	2509	2547	-0,12
benz(a)anthracene	1267	1251	1358	1292	1278	0,09
chrysene	1226	1144	1294	1221	1218	0,02
benzo(b)fluoranthene	1196	1182	1273	1217	1229	-0,08
benzo(k)fluoranthene	585	557	578	574	565	0,12
benzo(a)pyrene	1122	1125	1198	1148	1179	-0,21
indeno(1,2,3-cd)pyrene	811	771	821	801	790	0,11
dibenz(a,h)anthracene	187	172	191	183	182	0,06
benzo(ghi)perylene	973	928	953	951	962	-0,09

Magn PAH efni í seti úr Hvalfirði (µg/kg þurrvigti)

PAH efni	Banki	S1	S2	S3	S4	S5	S6
naftalene	2,1	7,2	30,0	13,3	14,8	4,1	10,9
acenaftylene	2,1	1,7	1,9	1,5	3,1	4,2	1,2
acenaftene	1,3	5,6	37,1	17,8	14,0	5,4	28,5
fluorene	1,8	5,2	38,1	21,2	24,3	14,6	20,0
phenanthrene	9,9	15,3	100	46,7	72,0	40,1	33,1
anthracene	3,4	4,4	33,2	13,4	24,4	13,6	9,5
fluoranthene	27,2	27,2	110	61,2	101	59,7	46,1
pyrene	35,7	23,0	99,9	49,1	79,5	52,3	39,6
benz(a)anthracene	13,3	14,6	58,7	30,4	47,1	27,8	21,9
chrysene	17,3	13,4	51,3	26,3	39,3	22,8	23,9
benzo(b)fluoranthene	24,6	20,5	55,3	29,8	38,1	29,2	25,6
benzo(k)fluoranthene	11,0	9,2	21,8	13,5	18,9	13,5	10,9
benzo(a)pyrene	25,4	18,8	59,8	32,2	48,8	29,1	25,1
indeno(1,2,3-cd)pyrene	24,5	18,4	40,0	22,9	32,8	21,5	17,9
dibenz(a,h)anthracene	4,5	3,2	10,7	5,3	6,9	4,2	4,3
benzo(ghi)perylene	30,8	21,2	43,0	24,5	33,0	21,6	20,3
Summa 16 PAH efna	235	209	791	409	598	364	339
% þurrvigti	39,2	42,6	61,8	57,3	56,1	51,1	58,1

*

VIÐAUKI VI

Sýnatökur af botnseti

Staðsetningar botngreipastöðva við Grundartanga og viðmiðunarstaðar í Saurbæjarvík árið 2016, númer stöðva, dýpi og lýsing á stöðvum og setsýnum.

Stöð	N-breidd	V-breidd	Lýsing á stöðvum	Dýpi árið 2016 faðmar / metrar	Lýsing á seti
1	64°21,637'	21°45,369'	Utan við grynningar út af Katanesi	7,9 / 14,2	Nokkuð fínt set, gott sýni. Töluvert af skeljabrotum, slöngustjörnum og kóralþörungum.
2	64°21,557'	21°46,348'	Um 230 m austan við bryggjukant Grundartangahafnar	5,6 / 10,1	Fínt set, gott sýni. Lítið af sjáanlegum þörungum og dýrum.
3	64°21,002'	21°47,220'	Um 650 m vestan við grjótgarð kerbrotagryfju	8,0 / 14,4	Fínt set en töluvert af kóralþörungum og skeljabrotum ásamt þarastilk og flatfiskaseiði.
4	64°20,005'	21°48,945'	Um 3 km vestan við verksmiðjussvæðið Grundartanga, Galtarvíkurhöfða	11,8 / 21,2	Nokkuð fínt set, þó mögulega grófara en innar í firðinum. Einnig prófað nokkrum sinnum á 15 og 30m dýpi en sýnin ýmist sandur/gróft set eða greipin tóm (harður botn).
5	64°21,694'	21°44,842'	Utan við Katanes, um 450 m austan við stöð 1	7,3 / 13,2	Fínt set, gott sýni. Töluvert af skeljabrotum, kóralþörungum, slöngustjörnum. Nokkuð af öðrum dýrum, s.s. lítil ígulker, trjónukrabbar, aða og báruskel.
6	64°21,097'	21°47,138'	Um 250 m vestan við bryggjukant, við grjótgarð kerbrotagryfju	6,8 / 12,2	Nokkuð fínt set, þó mögulega grófara en innar í firðinum. Prófað fyrst á 64°21,119';21°47,070' (13,5m) og 64°21,124';21°47,038' (16m) en sýnin þar of sandkennd/gróf.
Viðmið	64°24,028'	21°35,824'	Í Saurbæjarvík, um 8 km austan við Katanes	10,3 / 18,5	Fínt set, gott sýni. Dálítið af skeljabrotum og slöngustjörnum.