

# **Viðtakarannsóknir fráveitu árið 2025 við meginútrásir skólphreinsistöðvanna í Reykjavík og á Kjalarnesi**

Skýrsla unnin fyrir Veitur ohf.

Apríl 2026

**Höfundar:**

**Halldór Pálmar Halldórsson**

**Hermann Dreki Guls**

**Sandra Dögg Georgsdóttir**

Rannsóknasetur Háskóla Íslands á Suðurnesjum





## Samantekt

Að beiðni Veitna fóru fram viðtakarannsóknir fráveitu við meginútrásir skólphreinsistöðvanna í Ánanaustum og Klettagörðum á Sundunum í Reykjavík og á Kjalarnesi sumarið og haustið 2025. Rannsóknasetur Háskóla Íslands á Suðurnesjum sá um framkvæmd verkefnisins og notaði til þess rannsóknabát setursins, Sæmund fróða RE. Í öllum meginatriðum var framkvæmd verkefnisins sambærileg við rannsóknirnar sem sömu aðilar sáu um fyrir Veitur árið 2021. Í júní var kræklingi safnað í fjöru við Fossá í Hvalfirði og hann settur út á tíu stöðvar við fráveiturnar, og í Saurbæjarvík í Hvalfirði til viðmiðunar. Um miðjan september, þegar kræklingurinn hafði verið úti í búrum í rúma tvo mánuði, var hann tekinn aftur upp og eftirfarandi mælingar framkvæmdar á dýrunum: líffræðilegir þættir (s.s. vöxtur, hlutfall fitu, vatns, salts og ösku), styrkur ólífrænna snefilefna, PFAS efna (e. per- and polyfluorinated alkyl substances) og PAH efna (fjölarómatískra kolvatnsefna). Sjósýni voru einnig tekin tvisvar (í júlí og september) á sjö kræklingastöðvum til greininga á saurkóligerlum og saurkokkum en samhliða þeim sýnatökum fóru mælingar fram á staðnum á yfirborðssýnum sjávar, þ.e. á hitastigi, súrefni, seltu og sýrustigi.

Sjávarhiti, súrefni, selta og sýrustig var nokkuð áþekkt á öllum stöðvum og jafnframt sambærileg náttúrulegum gildum fyrir Faxaflóa. Saurkólí og saurkokkar (enterokokkar) reyndust í hæstum styrk í september við útrásina frá Ánanaustum, á stöð A3 (við dreifistút, um 500 m suður af útrásarenda; 8700 og 2700 í fj/100 ml), á stöð A1 (við útrásarendann; 280 og 63 í fj/100 ml) og á stöð A4 (1000 m austan við útrásarenda; 230 og 20 fj/100 ml) en öll mæld gildi, að stöð A3 undanskilinni, voru innan marka sem kveðið er á um í reglugerð um fráveitur og skólp. Nánast engin saurgerlamengun reyndist í sjósýnum við Klettagarðaútrásina, hvort sem var í júlí eða september, en gildin voru mun lægri á öllum stöðvum í júlí borið saman við september eða á bilinu <10 – 75 fj/ml fyrir bæði saurkólí og saurkokka.

Kræklingurinn þreifst vel á öllum stöðvunum líkt og árið 2021 og fráveiturnar höfðu ekki neikvæð áhrif á líffræðilega þætti kræklings. Í samanburði við viðmiðunarstöð í Hvalfirði og niðurstöður frá rannsókninni 2021 reyndust lítil eða ekki merkjanleg áhrif fráveitna á uppsöfnun snefilefnanna áls, arsens, blýs, flúors, járn, kadmíns, kopars, króms, kvikasilfurs, nikkels, selens, silfurs, sinks og vanadíns sem voru ávallt nálægt eða undir lágstu umhverfisviðmiðum í Noregi þar sem við á, og áþekk því sem mælist almennt í kræklingi við Ísland. Þó má nefna að silfur, sem á árum áður mátti rekja til fráveitnanna, reyndist nú yfir greiningarmörkum á öllum stöðvum við útrásirnar frá Ánanaustum og Klettagörðum en undir mörkum í Hofsvík og í Hvalfirði. Gildin eru þó lægri miðað við þau sem fengust í kræklingi á sömu stöðvum árið 2021 og um fimmfalt lægri en bakgrunnsviðmiðið í Noregi fyrir styrk silfurs.

PAH efni í kræklingi voru í hærri styrk núna samanborið við 2021 þegar afar lágur styrkur mældist. Samtals reyndust 4 – 11 PAH efni í greinanlegu magni í kræklingssýnum frá Ánanaustum og Klettagörðum en einungis þrjú þeirra (phenanthrene, fluoranthen og pyrene) greindust í sýnum frá Hofsvík og í viðmiðunarsýnum frá Hvalfirði. Í Hofsvík, sem var með lágstu PAH gildin, voru þessi þrjú efni í svipuðum styrk og í viðmiði 1 frá Hvalfirði en hins vegar var styrkur fluoranthen og pyren í viðmiði 2 frá Hvalfirði talsvert hærri, eða svipaður og í menguðustu sýnunum við Ánanaust. Heildarstyrkur PAH efna var þó heldur lægri þar en í sýnum frá Klettagörðum, þar sem mengunin mældist mest. Samanlagður styrkur allra 16 PAH efnanna fór þar yfir 50 µg/kg vv í einu sýni (stöð K2: 60,4 µg/kg vv) en það er viðmið fyrir bakgrunnsgildi skv. norskum stöðlum. Þetta sýni er þó vel innan þess bils sem Norðmenn skilgreina sem gott ástand og litla áhættu (flokkur II). Benzo(a)pyrene, það PAH efni sem mest er fylgst með, greindist einungis í einu sýni yfir magngreiningarmörkum (á stöð A2 við Ánanaustútrásina) en styrkur þess var vel undir bæði íslenskum umhverfisgæðakröfum fyrir lífverur og

norskum mörkum fyrir bakgrunnsgildi. Hækkaður styrkur á fluoranthene og pyren í viðmiði 2 úr Hvalfirði er athyglisverður, en þar sem önnur PAH efni sýna ekki sambærilega hækkun er uppruni þeirra líklega af öðrum toga en við Ánanaust og Klettagarða.

Af öllum PFAS efnum sem greind voru (21 í sjó og 24 í kræklingi) reyndust aðeins tvö í mælanlegum styrk í sjósýnum (PFBA og PFBS) og eitt í kræklingi (PFTeDA) en um lága styrki er að ræða.

Með tilliti til allra mælinga sem fram fóru á Sundunum og við Kjalarnes árið 2025 má segja að tiltölulega lítil áhrif sjáist í grennd við fráveiturnar. Fram kom hækkun í styrk PAH efna í kræklingi sem rekja má til útrásanna á Sundunum og fjöldi saurkólígerla reyndist hár í einu sjósýni í september við Ánanaustútrásina en heilt yfir telst ástand svæðisins ásættanlegt.

## Efnisyfirlit

Samantekt .....	3
1. Inngangur .....	6
1.1. Fyrri rannsóknir.....	6
2. Aðferðir .....	6
2.1. Söfnun kræklinga, undirbúningur búra, meðhöndlun, útsetning og ræktun kræklinga.....	6
2.2. Sjósýnatökur .....	9
2.3. Sýnaundirbúningur, aðferðafræði efnagreininga og gæðaeftirlit .....	10
2.4. Ólífræn snefilefni, meginþættir, PFAS efni og saurgerlar .....	10
2.4. Mælingar á PAH efnum .....	10
3. Niðurstöður og umræður .....	11
3.1. Mælþættir í sjó .....	11
3.2. PFAS efni í sjó.....	12
3.3. Líffræðilegir þættir kræklinga .....	13
3.4. Dánartíðni kræklinga í búrum .....	13
3.5. Vöxtur og holdafar kræklinga.....	13
3.6. Meginefnaþættir í kræklingi .....	16
3.7. Ólífræn snefilefni .....	16
Ál (Al) .....	17
Arsen (As).....	18
Blý (Pb).....	19
Flúor (F).....	20
Járn (Fe) .....	20
Kadmín (Cd).....	22
Kopar (Cu) .....	23
Króm (Cr).....	24
Kvikasilfur (Hg) .....	25
Nikkel (Ni) .....	26
Selen (Se) .....	27
Silfur (Ag) .....	28
Sink (Zn) .....	29
Vanadín (V) .....	30
3.8. PAH efni (fjölarómatísk kolvatnsefni).....	31
3.9. PFAS efni í kræklingi .....	33
6. Heimildaskrá.....	34
Viðauki I.....	37
Viðauki II.....	38

# 1. Inngangur

Að beiðni Veitna fóru fram viðtakarannsóknir fráveitu við meginútrásir skólphreinsistöðvanna í Ánanaustum og Klettagörðum á Sundunum í Reykjavík og á Kjalarnesi sumarið og haustið 2025. Rannsóknasetur Háskóla Íslands á Suðurnesjum sá um framkvæmd verkefnisins og notaði til þess rannsóknabát setursins, Sæmund fróða RE. Halldór Pálmar Halldórsson, Hermann Dreki Guls og Sandra Dögg Georgsdóttir hjá Rannsóknasetrinu sáu um skipulagningu á framkvæmd þess hluta rannsókna sem snéri að útsetningu og ræktun kræklinga í búrum. Ásamt þeim sá Magnús Freyr Ólafsson, umsjónarmaður fyrir hönd Veitna, einnig um undirbúning verkefnisins og að útvega krækling og tók hann jafnframt þátt í öllum sjóferðum. Í júní var kræklingi upphaflega safnað í fjöru við Fossá í Hvalfirði og hann settur út á tíu stöðvar við útrásir fráveitanna, og í Saurbæjarvík í Hvalfirði til viðmiðunar. Um miðjan september, þegar kræklingurinn hafði verið úti í búrum í rúma tvo mánuði, var hann tekinn inn og eftirfarandi mælingar framkvæmdar á dýrunum: líffræðilegir þættir (s.s. vöxtur, hlutfall fitu, vatns, salts og ösku), styrkur ólífrænna snefilefna og PAH efna (fjölarmatískra kolvatnsefna). Sjósýni voru einnig tekin tvisvar (í júlí og september) á sjö kræklingastöðvum til greininga á saurkólígerlum og saurkókkum en samhliða þeim sýnatökum fóru mælingar fram á staðnum á yfirborðssýnum sjávar, þ.e. á hitastigi, súrefni, seltu og sýrustigi. Í ár var einnig ákveðið að mæla PFAS efni, bæði í kræklingi og sjó, og var það gert í fyrsta skipti frá upphafi viðtakarannsókna Veitna.

## 1.1. Fyrri rannsóknir

Við þær rannsóknir sem hér er lýst og fóru fram árið 2025 var litið til samskonar vöktunar 2021 (Halldór Pálmar Halldórsson og Hermann Dreki Guls, 2022) ásamt fyrri rannsókna við útfærslu verkefnisins og til samanburðar niðurstaðna. Viðamiklar og vandaðar rannsóknir hafa áður farið fram á Sundunum við Reykjavík, bæði áður og eftir að hreinsun fráveitu hófst og farið var losa frárennsli á núverandi losunarsvæðum (Guðjón Atli Auðunsson 1992, 2001, 2005, 2015, 2015b, 2015c; Guðjón Atli Auðunsson og Hannes Magnússon 1994, 1995; Jón S. Ólafsson og Sólveig R. Ólafsdóttir 2001; Sólveig R. Ólafsdóttir 2006, 2011). Niðurstöður þessara rannsókna hafa m.a. sýnt fram á að kræklingur hentar vel til mats á ólífrænum og lífrænum aðskotaefnum, að örverur hafa greinst í hæstum styrk á tiltölulega litlu svæði við útrásarendana, að PCB-efni og önnur klórlífræn efni reyndust af almennum landrænum toga og mögulega vegna losunar með frárennsli á árum áður (en ekki í dag). Af snefilefnum hefur í fyrri rannsóknum aðeins mátt tengja silfur í kræklingi við núverandi fráveitu en þó í minna mæli en áður en núverandi losun fráveituvatns hófst á Sundunum (sjá Guðjón Atli Auðunsson 2015 ásamt heimildum sem þar er vísað í).

## 2. Aðferðir

### 2.1. Söfnun kræklinga, undirbúningur búra, meðhöndlun, útsetning og ræktun kræklinga

Kræklingi var safnað á sama stað og á sambærilegum tíma og fyrir vöktunina árið 2021, þ.e. í fjöru við Fossá í Hvalfirði þann 12. júní 2025 og farið með hann samdægurs í Rannsóknasetur HÍ á Suðurnesjum í Sandgerði. Líkt og árið 2021 stóð til að fá krækling hjá kræklingaræktendum en ekki reyndist mögulegt að fá hentuga stærð af línukræklingi. Í Sandgerði var kræklingurinn mældur og flokkaður og 20

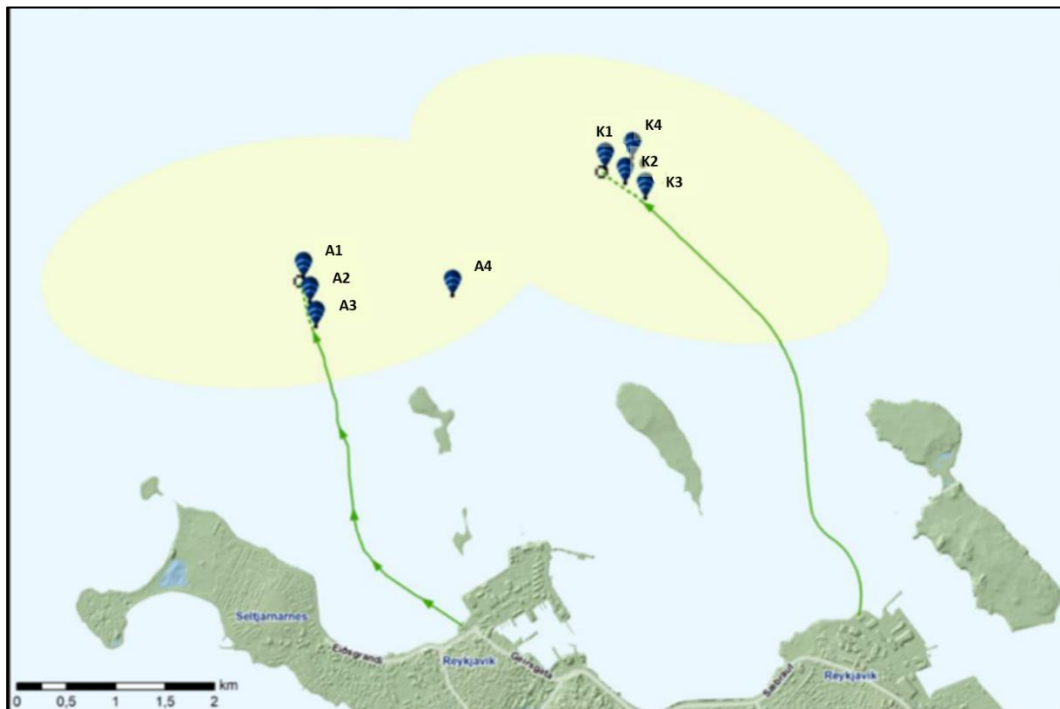
einstaklingar á stærðarbilinu 45–50 mm settir í hvert hólf búrana þar sem reynt var að velja eingöngu einstaklinga í góðu ástandi. Heildarfjöldi kræklinga á hverri stöð var 120 sem deildist niður í þrjú búr. Kræklingurinn var hafður í búrunum í 6 sólarhringa í hreinum borholusjó í Sandgerði (sírennsli, 9,5°C, selta 32) en þá kemur hann sér fyrir og festir sig í búrunum. Þann 19. júní var kræklingnum komið fyrir á viðmiðunarstað í Saurbæjarvík innarlega í Hvalfirði en sá staður hefur reynt vel sem viðmið í öðrum sambærilegum verkefnum (sjá t.d. Hrönn Jörundsdóttir o.fl. 2014; Halldór Pálmar Halldórsson o.fl. 2017; Halldór Pálmar Halldórsson og Hermann Dreki Guls, 2022). Tólf lagnir með búrum voru útbúnar um borð í bátnum Sæmundi fróða RE 32 og kræklingnum komið fyrir á viðmiðunarstaðnum þar sem hann var hafður í þrjár vikur til aðlögunar.

Þann 8. júlí voru lagnir færðar á stöðvarnar við fráveiturnar og kræklingurinn hafður þar í rúma 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 (viðmið 1 í upphafi tímabils), en ein lögn var höfð áfram á viðmiðunarstaðnum næstu tvo mánuðina sem viðmiðunarsýni 2 (viðmið 2 í lok tímabils). Allur kræklingur var hafður á 5 metra dýpi miðað við stórstraumsfjöru og einungis í Hvalfirði og í Hofsvík var einnig hafður belgur á yfirborði til endurheimtar lagna. Lagnirnar næst útrásunum voru hafðar um 50 m frá fráveiturörum í áætlaðri megin straumstefnu sjávar, þ.e. austan við útrásir á Sundunum og norðvestan við útrás frá Kjalarnesi. Þetta var gert með áætlaða hliðrun losunarstróksins úr dreifistútum útrásarlagnanna á sjávarbotninum í huga, með það fyrir augum að draga úr líkum á því að straumar beri strókinn frá kræklingalögnunum. Kræklingurinn var því aðeins fjær útrásunum miðað við fyrri rannsóknir (fyrir 2021) og geta niðurstöðurnar því nýst til samanburðar við eldri gögn og mögulega hægt að áætla hvort frekari áhrif sjáist með þessari uppsetningu, en áhrif fráveitnanna hafa hingað til reynt afar takmörkuð. Kræklingalögnum við útrásir frá Ánanaustum og Klettagörðum var sökkt og enginn belgur hafður á yfirborði þar sem mikil skipa- og bátaumferð er um það svæði og miklar líkur á að lagnir tapist. Í stað belgs var höfð 50 metra löng endurheimtarlína út frá hverri lögn sem síðan var slædd upp af botni. Nánari lýsingar, númer og staðsetningar sýnatökustöðva eru sýndar á meðfylgjandi kortum og í **töflu 1**.

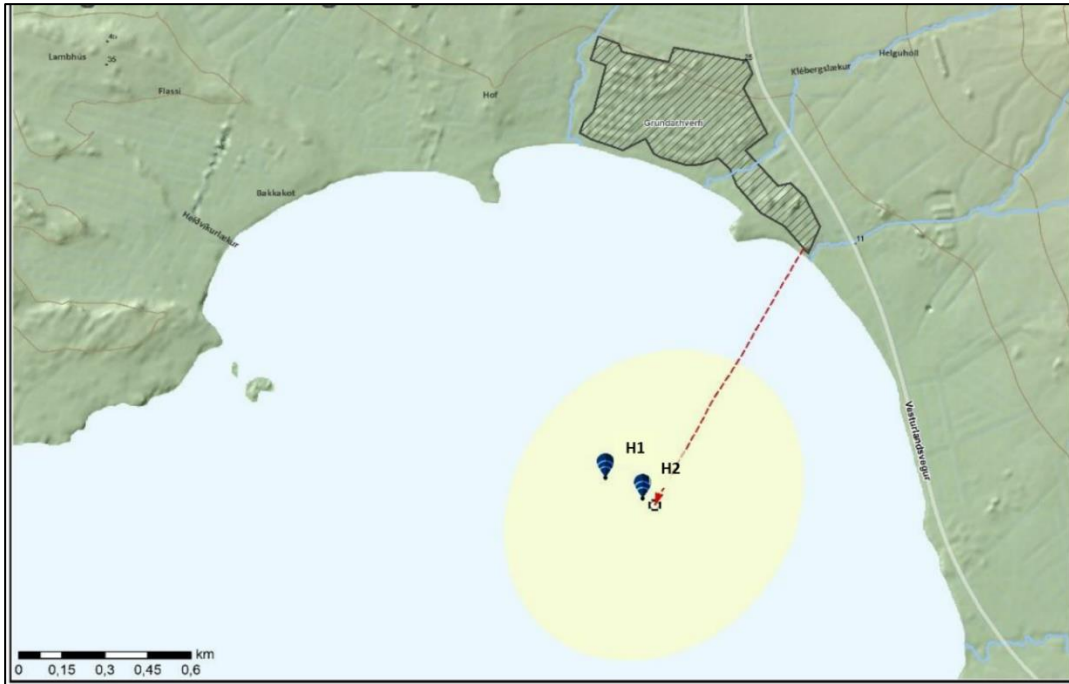
Ákveðið var að fara í eftirlitsferð þann 28. ágúst, eftir mitt ræktunartímabilið þegar hrygningartíma kræklinga ætti að mestu að vera lokið, til að kanna ástand lagna, búra og kræklinga. Lagnirnar voru dregnar upp, búrin burstuð að utan og ásætur fjarlægðar. Þann 16. september voru allar lagnirnar teknar 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 kræklinginn í búrunum. Búrin voru því útbúin og kræklingurinn meðhöndlaður í samræmi við staðlaðar aðferðir við kræklingavöktun, m.a. ASTM staðalinn frá árinu 2001 þar sem áhersla er lögð á að kræklingurinn hafi gott rými til vaxtar og geti síað sjó óhindrað allan ræktunartímann (Salazar og Salazar 2001). Einnig var allri framkvæmd rannsókna þannig háttáð að sem minnst hætta væri á að kræklingurinn laskaðist við flutning og meðhöndlun. Þann 16. september voru sjósýni einnig tekin (bakteríur og PFAS efni) og mælingar á súrefni, seltu, sýrustigi og hitastigi sjávar framkvæmdar.

Tafla 1. Númer kræklingastöðva, heildardýpi á stöðvunum (í metrum) ásamt nánari lýsingu og staðsetningu þeirra.

Stöð	Kræklingastöðvar	Dýpi (m)	Baughnit	
			N-breidd	V-lengd
	<b>Ánanaust</b>			
A1	Við útrásarenda dreifistúts (50 m austan við dreifistút)	31	64°11.017'	21°59.459'
A2	250 m frá útrásarenda við dreifistút (50 m austan við dreifistút)	27	64°10.934'	21°59.397'
A3	500 m frá útrásarenda við dreifistút (50 m austan við dreifistút)	20	64°10.792'	21°59.316'
A4	1000 m austan við útrásarenda	14	64°11.020'	21°58.014'
	<b>Klettagarðar</b>			
K1	Við útrásarenda dreifistúts (50 m austan við dreifistút)	31	64°11.712'	21°55.843'
K2	250 m frá útrásarenda við dreifistút (50 m austan við dreifistút)	31	64°11.658'	21°55.601'
K3	500 m frá útrásarenda við dreifistút (50 m austan við dreifistút)	31	64°11.563'	21°55.363'
K4	300 m austan við dreifistút, út frá stöð K2	31	64°11.797'	21°55.500'
	<b>Hofsvík</b>			
H1	200 m norðvestan við útrásarenda	14	64°13.634'	21°50.277'
H2	50 m norðvestur frá útrásarenda	14	64°13.637'	21°50.142'
	<b>Hvalfjörður - viðmið</b>			
Viðmið 1 og 2	Í Saurbæjarvík í Hvalfirði, um 8 km austan við Katanes	21	64°24.020'	21°35.780'



Mynd 1. Kræklingastöðvar við útrás frá Ánanaustum (A1 – A4) og Klettagörðum (K1 – K4) í Reykjavík. Kort: Veitur.



Mynd 2. Kræklingastöðvar við útrás í Hofsvík á Kjalarnesi (H1 og H2). Kort: Veitur.



Mynd 3. Kræklingastöð í Saurbæjarvík í Hvalfirði (banki 1 og banki 2; viðmiðunarstöðvar). Kort: ja.is.

## 2.2. Sjósýnatökur

Sjósýni voru tekin um borð í bátnum með því að dæla upp sjó af um 50 cm dýpi til mælinga á bakteríum (saurkólí og enterókokkum). Til mælinganna var sjósýnum safnað í 500 ml plastflöskur sem farið var með til gerlamælinga hjá Sýni ehf og til PFAS mælinga á vegum Matís ohf. Mælingar á sjávarhita, súrefnismettun, sýrustigi og seltu fóru fram um borð í bátnum og notaður var Hanna HI 98194 pH/EC/DO multiparameter í eigu Náttúrustofu Suðvesturlands til mælinganna. Mælirinn var kvarðaður (kalibreraður) samdægurs fyrir mælingarnar. Til stöðlunar og til að sannreyna niðurstöður mælinganna

var sjávarhiti jafnframt mældur með Therma 20 Metal Thermometer hitamæli og súrefnisinnihald sjávar með Handy Polaris TGP – OxyGuard.

### 2.3. Sýnaundirbúningur, aðferðafræði efnagreininga og gæðaeftirlit

Á Rannsóknasetri HÍ í Sandgerði var dánartíðni kræklinga metin. Í hvert sýni til efnagreininga voru notaðir 50 einstaklingar frá hverri stöð og sömu einstaklingar voru jafnframt notaðir til mælinga á vexti og holdafari. Hver einstaklingur var þyngdar- og lengdarmældur (hæð, breidd og þykkt skelja). Einnig var skráð heildarþyngd kræklinga, þyngd holds og þyngd skelja. Þessar mælingar voru í umsjón og framkvæmdar af Halldóri Pálmari, Hermanní Dreka og Söndru Dögg. Að lokum var öllum mjúkvæf þessara 50 einstaklinga safnað saman í sýrupvegnað glerkrúkkur og sett í frysti. Sýnin voru síðan flutt frosin til Matís, þar sem þau voru afþídd, gerð einsleit og frostþurrkuð fyrir efnagreiningar.

### 2.4. Ólífræn snefilefni, meginþættir, PFAS efni og saurgerlar

Ólífræn snefilefni í kræklingi voru greind hjá Matís. Niðurbrot og mæling sýna var byggð á lýsingu í grein Jens Sloth o.fl. (2005) og NMKL nr. 186-2007 (NMKL 2007) og bestuð miðað við aðstæður hjá Matís, s.s. notkun á örbylgjuofni (UltraWave, Milestone) sem notaður var við niðurbrot sýnanna. Niðurbrotið var framkvæmt með aðstoð örbylgju. Hvert sýni var mælt frá grunni í tvísýni. Hvert tvísýni var 150–200 mg (nákvæmni upp á  $\pm 0,1$  mg) og komið fyrir í þar til gerðum quartz niðurbrotsglösum auk 1 ml af saltpéturssýru ( $\text{HNO}_3$ ) og 1 ml af vetnisperoxíði ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ). Glösum var lokað og þau sett í örbylgjuofninn þar sem sýnin voru brotin niður. Að loknu niðurbroti voru sýnin færð yfir í 50 ml polypropylen rör og þynnt með afjónuðu vatni að 50 ml. Snefilefni í sýnunum voru mæld með ICP-MS-aðferð (e. inductively coupled plasma mass spectrometer). Styrkur ólífrænu snefilefnanna (arsen, ál, blý, járn, kadmín, kopar, króm, kvikasílfur, nikkell, selen, sílfur, sink, og vanadín) í kræklingasýnunum var mældur samkvæmt faggiltum aðferðum í gæðahandbók Matís. Ákvarðanir á meginefnaþáttum voru gerðar samkvæmt faggildum aðferðum Matís; vatn, aska, fita og salt. Flúor í kræklingi var mældur hjá Matís, með ISE (fluoride ion-selective electrode), ISO aðferð EN 10359-1:1992, eftir sýruniðurbrot.

PFAS efni í kræklingi voru greind hjá Matís. Innanhúsaðferðin byggir á EURL-aðferðinni. PFAS-efnin voru dregin út með EURL dSPE-aðferðinni og greind með LC-MS/MS (Thermo Fisher Scientific, Altis). Mælingar á PFAS efnum í sjó voru framkvæmdar af undirverktökum í samstarfi með Matís. Eftir upphreinsun með SPE samkvæmt US EPA 533 voru mælingar framkvæmd með LC-MS/MS (OV-PFAS-SPE, ALS, Svíþjóð). Mælingar á saurgerlum (hitapólnir kóligerlar og saurkokkar) voru framkvæmdar hjá Sýni ehf samkvæmt ISO 9308-2:2012 MPN Quanti tray 2000 staðli.

### 2.4. Mælingar á PAH efnum

Greiningar á PAH efnum í kræklingi fóru fram á Rannsóknastofu í lyfja- og eiturefnafræði, HÍ, undir stjórn Elínar Valgerðar Magnúsdóttur. Sextán fjölhringa kolvatnsefni (16 EPA-PAH) voru mæld í mjúkvæf kræklingasýnanna: naftalene, acenaftylene, acenaftene, fluorene, phenanthrene, anthracene, fluoranthene, pyrene, benz(a)anthracene, chrysene, benzo(b)fluoranthene, benzo(k)fluoranthene, benzo(a)pyrene, indeno(1,2,3-cd)pyrene, dibenz(a,h)anthracene og benzo(ghi)perylene. PAH efni voru úrhlotuð úr kræklingi með fituútdrætti, 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 notuð þannig sem viðmiðunarsýni fyrir þessar mælingar.

### 3. Niðurstöður og umræður

#### 3.1. Mælipættir í sjó

Niðurstöður mælinga á sjósýnum eru sýndar í **töflu 2** og **3**. Nánari lýsing á staðsetningum kræklingastöðva er í **töflu 1**.

Tafla 2. Niðurstöður mælinga á sjósýnum tekin í júlí ásamt hnitum og dýpi kræklingastöðva.

Stöð	Dags.	N.breidd	V.lengd	Dýpi fm	Dýpi m	Sjávarhiti °C	O2 mg/L	O2 %	pH	Selta	Saurkólí (fj/100mL)	Enterokokkar (fj/100mL)
A1	08.07.25	64°11.017'	21°59.459'	17	31	12,2	8,73	100	8,13	35	30	41
A2	08.07.25	64°10.934'	21°59.397'	15	27							
A3	08.07.25	64°10.792'	21°59.316'	11	20	12,2	8,67	100	8,13	35	52	10
A4	08.07.25	64°11.020'	21°58.014'	8	14	12,2	8,58	99	8,13	35	75	10
K1	08.07.25	64°11.712'	21°55.843'	17	31	12,1	8,77	101	8,12	35	52	<10
K2	08.07.25	64°11.658'	21°55.601'	17	31							
K3	08.07.25	64°11.563'	21°55.363'	17	31	12,1	8,66	100	8,12	35	<10	<10
K4	08.07.25	64°11.797'	21°55.500'	17	31	12,1	8,79	101	8,12	35	20	<10
H1	08.07.25	64°13.634'	21°50.277'	8	14							
H2	08.07.25	64°13.637'	21°50.142'	8	14	12,8	8,47	99	8,08	35	10	<10

Tafla 3. Niðurstöður mælinga á sjósýnum tekin í september ásamt hnitum og dýpi kræklingastöðva.

Stöð	Dags.	N.breidd	V.lengd	Dýpi fm	Dýpi m	Sjávarhiti °C	O2 mg/L	O2 %	pH	Selta	Saurkólí (fj/100mL)	Enterokokkar (fj/100mL)
A1	16.09.25	64°11.017'	21°59.459'	17	31	11,3	8,52	95	8,17	35	280	63
A2	16.09.25	64°10.934'	21°59.397'	15	27							
A3	16.09.25	64°10.792'	21°59.316'	11	20	11,3	8,08	90	8,14	35	8700	2700
A4	16.09.25	64°11.020'	21°58.014'	8	14	11,4	8,22	92	8,15	35	230	20
K1	16.09.25	64°11.712'	21°55.843'	17	31	11,4	8,77	99	8,20	36	<10	<10
K2	16.09.25	64°11.658'	21°55.601'	17	31							
K3	16.09.25	64°11.563'	21°55.363'	17	31	11,4	8,76	99	8,20	36	<10	<10
K4	16.09.25	64°11.797'	21°55.500'	17	31	11,4	8,78	99	8,20	36	<10	<10
H1	16.09.25	64°13.634'	21°50.277'	8	14							
H2	16.09.25	64°13.637'	21°50.142'	8	14	11,5	7,97	90	8,14	35	<10	<10

Sjávarhiti, súrefni, selta og sýrustig er áþekkt á öllum stöðvum, annars vegar í júlí og hins vegar í september, og eru sambærileg náttúrulegum gildum í Faxaflóa (Sjórannsóknir, Haf- og Vatn 2020, slóð: <https://sjora.hafro.is>). Saurkólí og saurkokkar (enterokokkar) reyndust í hæstum styrk í september við

útrásina frá Ánanaustum á stöð A3 (við dreifistút, um 500 m suður af útrásarenda; 8700 og 2700 í fj/100 ml), stöð A1 (við útrásarendann; 280 og 63 í fj/100 ml) og stöð A4 (1000 m austan við útrásarenda; 230 og 20 fj/100 ml). Nánast engin saurgerlamengun reyndist í sjósýnum við Klettagarðaútrásina, hvort sem var í júlí eða september, en fjöldi saurgerla var heilt yfir mun minni á stöðvunum í júlí borið saman við september eða á bilinu <10 – 75 fj/ml fyrir bæði saurkólí og saurkokka. Þar sem sjósýni voru aðeins tekin tvisvar yfir vöktunartímabilið takmarkar það túlkun gagna en búast má við breytileika í slíkum mælingum. Öll mæld gildi, að stöð A3 undanskilinni, voru innan marka sem kveðið er á um í reglugerð um fráveitur og skólp (nr. 798/1999). Samkvæmt reglugerðinni eru umhverfismörk fyrir saurmengun yfirborðsvatns vegna holræsaútrása þannig að „fjöldi hitaþolinnna kólíbaktería eða saurkólígerla eða saurkokka skal utan þynningarsvæðis í a.m.k. 90% tilfella vera undir 1000 pr. 100 ml miðað við lágmark 10 sýni“. Allar stöðvarnar eru innan þynningarsvæðanna eins og þau eru heimiluð í starfsleyfum, þ.e. 1500–2500 metrar frá útrásunum frá Reykjavík og 500–600 metrar frá útrásinni við Kjalarnes. Sjósýnin reyndust því vel undir umhverfismörkum í flestum tilfellum, sem ætti jafnvel við þó þau hefðu verið tekin utan þynningarsvæða.

Þegar allar stöðvar eru bornar saman og horft er til stöðva A4 (1000 m frá Ánanaustútrás) og K4 (300 m frá Klettagarðaútrás) sem liggja fjærst útrásunum, og tillit tekið til vatnsskiptahraða á svæðinu, má álykta að þynningarsvæðið út frá útrásum sé innan við 1000 m, sem eru sömu niðurstöður og ályktanir og komu fram í rannsóknunum á útrásunum árið 2021 (Halldór Pálmar Halldórsson og Hermann Dreki Guls, 2022).

### 3.2. PFAS efni í sjó

PFAS efni voru nú mæld í fyrsta skipti í sjósýnum og í kræklingi í viðtakarannsóknunum fráveitu við meginútrásir skólphreinsistöðvanna í Reykjavík. PFAS er heiti yfir stóran efnahóp en þetta eru efni sem á ensku kallast „per- and polyfluorinated alkyl substances“. Þessi efni eru afar þrávirk, geta safnast upp í umhverfinu og lífverum og valdið margvíslegum skaðlegum áhrifum en þessi efni eru m.a. notuð í ýmsar neysluvörur.

Niðurstöður mælinga á styrk PFAS efna í sjósýnum eru sýndar í **töflu 3**. Aðeins tvö PFAS efni (af 21) reyndust í mælanlegum styrk í sjósýnum, þ.e. PFBA og PFBS. Um lága styrki er að ræða eða 0,006–0,009 µg/L (summa 21 PFAS) þar sem styrkur PFBA var um 90% af heildarstyrk á hverri stöð en efnið greinist oft í sambærilegum styrk í ofanvatni frá þéttbýli og iðnaðarsvæðum (María J. Gunnarsdóttir o.fl., 2025). PFAS styrkurinn var hærri við Ánanaust (A1 og A3) en í Hvalfirði (viðmið 2) og við útrásarendann frá Klettagörðum (K4). Til samanburðar mældist í nýlegri íslenskri rannsókn styrkur 18 PFAS efna í sýnum teknum í skólphreinsistöðinni á Klettagörðum 0,007 – 0,014 µg/L (María J. Gunnarsdóttir o.fl., 2025).

Tafla 3. Styrkur PFAS efna í sjósýnum tekin 16. september.

Sjósýni Efni (µg/L)	Viðmið 2	A1	A4	K4
Perfluorobutanoic acid (PFBA)	<b>0,00534</b>	<b>0,00866</b>	<b>0,00859</b>	<b>0,00535</b>
Perfluoropentanoic acid (PFPeA)	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Perfluorohexanoic acid (PFHxA)	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Perfluoroheptanoic acid (PFHpA)	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Perfluorooctanoic acid (PFOA)	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Perfluorononanoic acid (PFNA)	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Perfluorodecanoic acid (PFDA)	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Perfluorobutane sulfonic acid (PFBS)	<b>0,000945</b>	<b>0,000824</b>	<b>0,000747</b>	<b>0,000747</b>
Perfluorohexane sulfonic acid (PFHxS)	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Perfluorooctane sulfonic acid (PFOS)	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
6:2 Fluorotelomer sulfonic acid (6:2 FTS)	<0.0006	<0.0006	<0.0006	<0.0006
Sum of 4 PFAS*	<0.0006	<0.0006	<0.0006	<0.0006
Sum of 11 PFAS	<b>0,00628</b>	<b>0,00948</b>	<b>0,00934</b>	<b>0,0061</b>
Perfluoroundecanoic acid (PFUnDA)	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Perfluorododecanoic acid (PFDoDA)	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Perfluorotridecanoic acid (PFTrDA)	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Perfluoropentane sulfonic acid (PFPeS)	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Perfluoroheptane sulfonic acid (PFHpS)	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Perfluorononane sulfonic acid (PFNS)	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Perfluorodecane sulfonic acid (PFDS)	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Perfluoroundecane sulfonic acid (PFUnDS)	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Perfluorododecane sulfonic acid (PFDoDS)	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010
Perfluorotridecane sulfonic acid (PFTrDS)	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010
Sum of 21 PFAS	<b>0,00628</b>	<b>0,00948</b>	<b>0,00934</b>	<b>0,0061</b>

\*PFOA + PFNA + PFHxS + PFOS

### 3.3. Líffræðilegir þættir kræklinga

Í **viðaukum I og II** eru teknar saman niðurstöður rannsókna á líffræðilegum þáttum kræklingasýnanna. Samanburður á lengd, þyngd og ástandsstuðli kræklinga á milli stöðva var gerður með einþátta fervikagreiningu (One-way ANOVA) og Tukey post-hoc prófi í kjölfarið en breytileikinn var jafndreifður og gögnin normaldreifð í öllum tilfellum. Ástandsstuðull (condition index) var reiknaður á eftirfarandi hátt samkvæmt ráðleggingum ICES (Hansson o.fl. 2017): Þyngd vefs (g) / (lengd x breidd x hæð) x 1000.

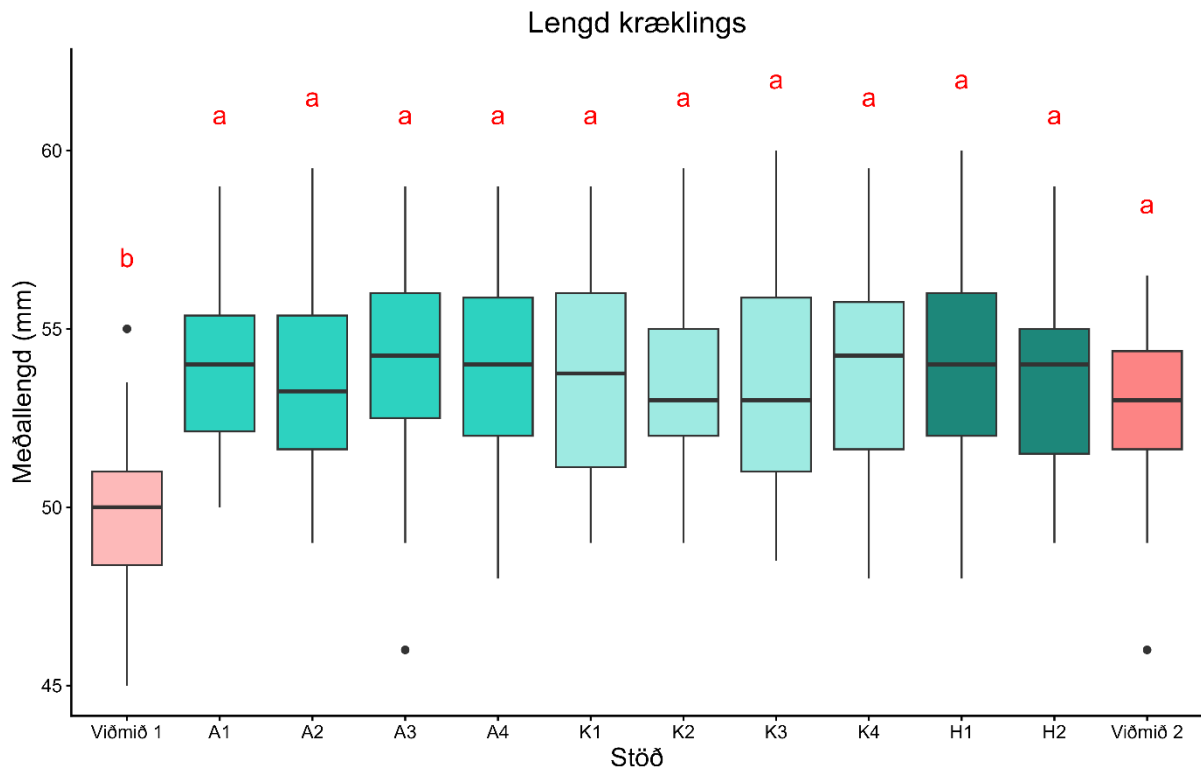
### 3.4. Dánartíðni kræklinga í búrum

Í hverju búi var heildarfjöldi og fjöldi dauðra einstaklinga talinn. Dánartíðni kræklinga á stöðvum og í viðmiðunarsýnum var lág eða að meðaltali 2,0% (á bilinu 0 – 5,8%, staðalfrávik: 1,7). Að meðaltali voru 2,4 kræklingar dauðir af 120 einstaklingum á stöðvunum (fjöldi á bilinu 0 – 7, staðalfrávik: 2,1). Í heildina var því um afar fáa dauða einstaklinga að ræða og lítill munur á milli stöðva. Þetta teljast því eðlileg afföll og mjög áþekk því sem sést hafa í sambærilegum kræklingaverkefnum í Faxaflóa og Hvalfirði (t.d. Halldór Pálmar Halldórsson o.fl. 2017, Guðjón Atli Auðunsson o.fl. 2020, Halldór Pálmar Halldórsson og Hermann Dreki Guls, 2022).

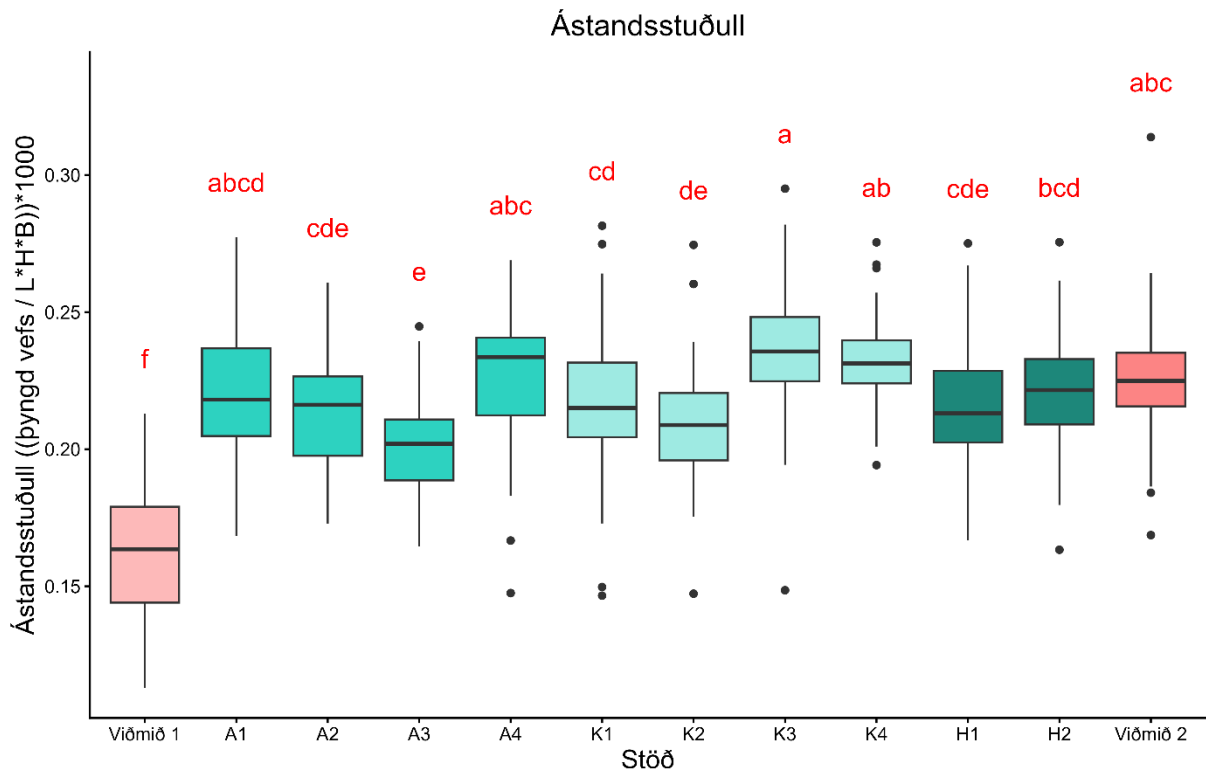
### 3.5. Vöxtur og holdafar kræklinga

Lengdaraukning kræklinga var sambærileg á öllum stöðvum yfir vöktunartímabilið í samanburði við viðmið 1 eins og sést á **mynd 5**. Viðmið 1 (júlí) og viðmið 2 (september) eru sýni úr kræklingi sem notaður var til viðmiðunar, samanber umfjöllun í kafla 2.1. Út frá ástandsstuðli sem notast var við hér

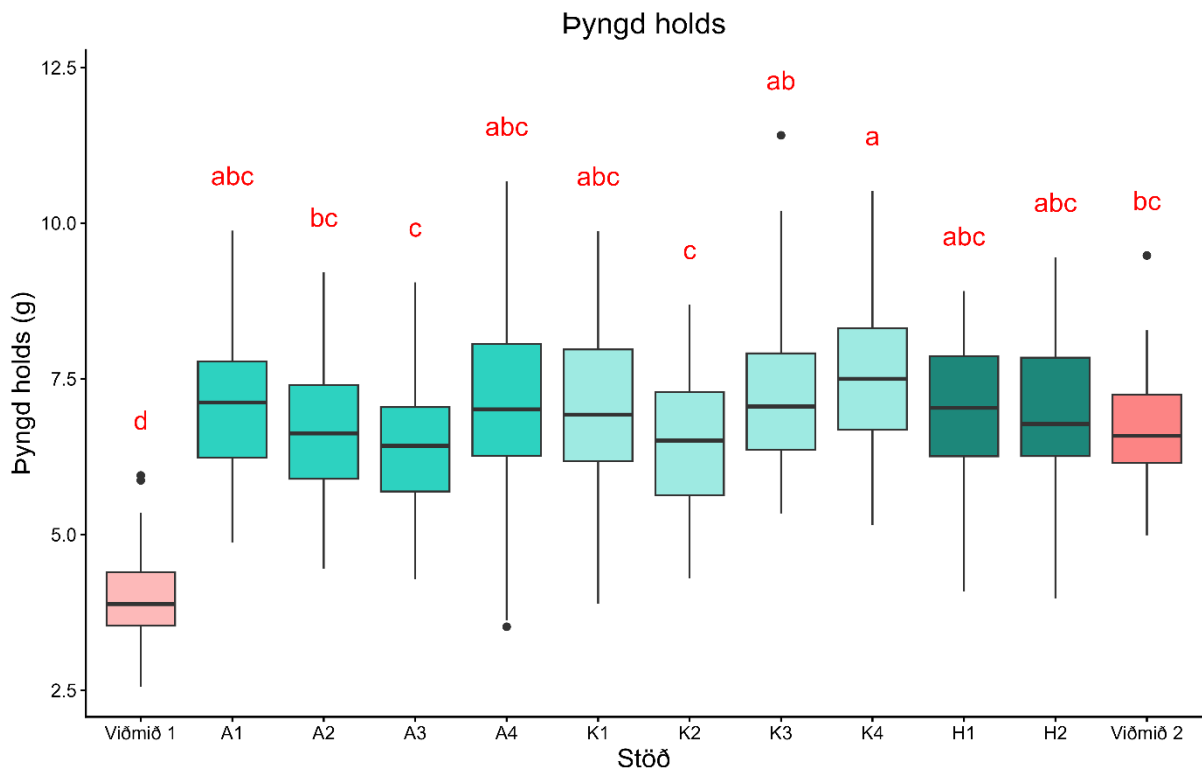
(mynd 6) má sjá að kræklingurinn hefur dafnað vel yfir vöktunartímabilið og er ástandsstuðullinn, að stöð A2 og K3 undanskildum, sambærilegur viðmiði 2 í Hvalfirði. Þetta bendir til þess að fæðuaðgengi sé almennt svipað fyrir krækling á vöktunarstöðvum og í Hvalfirði. Sambærilegt mynstur má sjá í þyngd holds hjá kræklingi (mynd 7) og er ekkert sem bendir til neikvæðra áhrifa á vöxt kræklings vegna nálægðar við fráveitur. Í fyrri rannsóknum hefur komið fram meiri breytileiki á stöðvum við Ánanaust (A1-4) samanborið við Klettagarða (K1-4) bæði í þyngd holds og ástandsstuðli, en slíkur munur kom ekki fram núna.



Mynd 4. Meðallengd kræklings (mm ± staðalfrávik) frá öllum stöðvum. Punktar tákna útlaga og mismunandi bókstafir gefa til kynna marktækan mun á milli stöðva ( $p < 0,05$ , einþátta fervikagreining og Tukey próf).



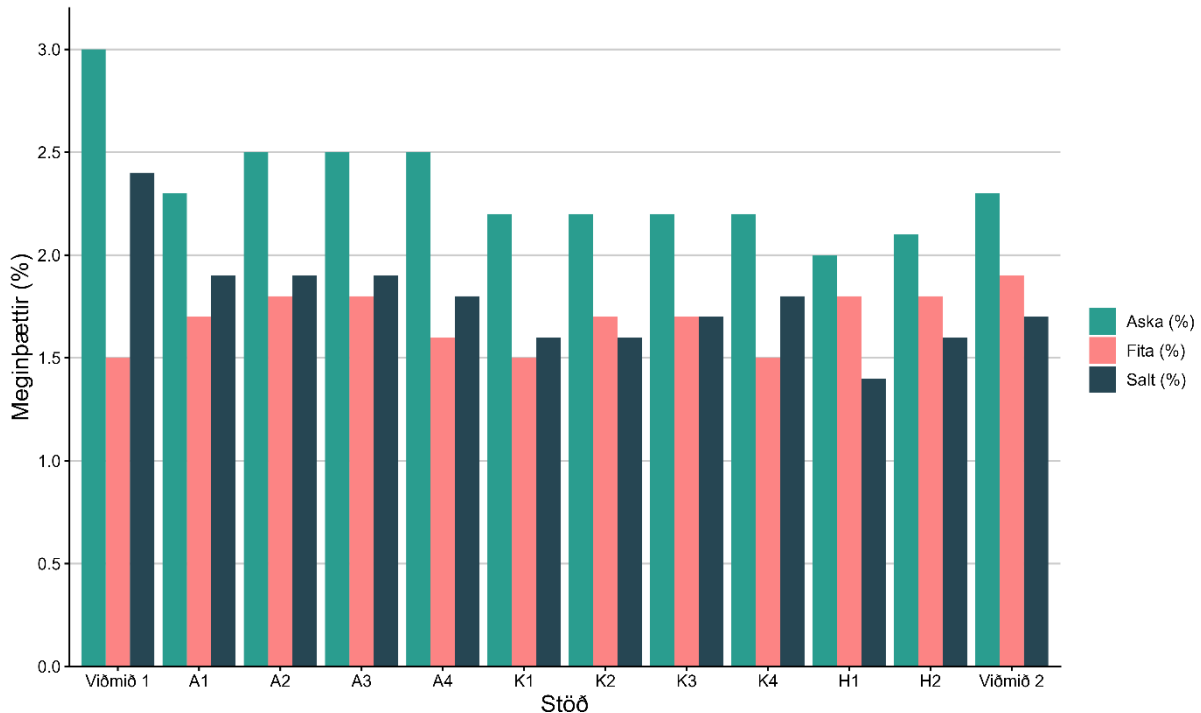
Mynd 5. Ástandsstuðull kræklinga (meðaltal ± staðalfrávik) frá öllum stöðvum. Punktur tákna útlaga og mismunandi bókstafir gefa til kynna marktækan mun á milli stöðva ( $p < 0,05$ , einþátta ferkagreiðing og Tukey próf).



Mynd 6. Meðalþyngd kræklingaholds (g í votvigt ± staðalfrávik) frá öllum stöðvum. Punktur tákna útlaga og mismunandi bókstafir sýna marktækan mun á milli stöðva ( $p < 0,05$ , einþátta ferkagreiðing og Tukey próf).

### 3.6. Meginefnaþættir í kræklingi

Meginefnaþættir eru sýndir í **viðauka II** og á **mynd 8**. Tiltölulega lítill munur er á sýnunum (fyrir utan viðmið 1) varðandi alla þrjá mæliþættina sem skoðaðir voru þ.e. aska, fita og salt, sem er í samræmi við þann litla mun sem er að finna heilt yfir í líffræðilegum þáttum.



Mynd 7. Niðurstöður mælinga á fitu, ösku og salti í kræklingi frá öllum stöðvum.

Kræklingurinn á viðmiði 1 sker sig úr í lægra hlutfalli fitu og hærra hlutfalli seltu og ösku sem endurspeglar árstímann þar sem kræklingi var safnað í upphafi vaxtartímans, þ.e. í byrjun sumars. Niðurstöðurnar fyrir viðmið 2 gefa einnig til kynna að kræklingurinn hafi verið í góðu ástandi í upphafi rannsóknar en mikil áhersla var lögð á að vaxtarrými og aðgengi kræklingsins að sjó í búrunum væri gott allan ræktunartímann en notast var við staðlaðar og sambærilegar aðferðir og áður.

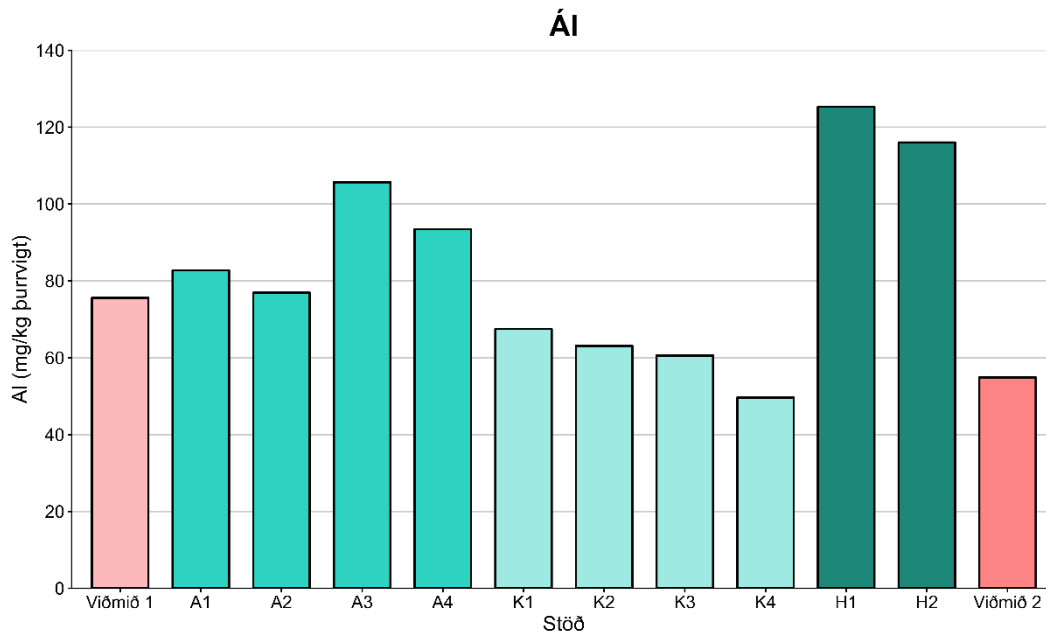
### 3.7. Ólífræn snefilefni

Allar mælingar fóru fram á mjúkvæf kræklinga, en breytileiki getur verið í votvigt kræklinga þar sem hann getur innihaldið mismikið af sjó við frystingu, og ætti því samanburður niðurstaðna á þurrvigtargrunni 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 til V út frá efnainnihaldi lífvera, þar með talið kræklinga. Svæði í flokki I teljast lítt eða ekki menguð en svæði í flokki V teljast mikið menguð (Molvær o.fl. 2004). Þessi flokkun er höfð til hliðsjónar við túlkun niðurstaðna.

Niðurstöður mælinga á ólífrænum snefilefnum á votvigtargrunni er að finna í **viðauka II (tafla 7)**, en allar niðurstöður hér að neðan eru reiknaðar á þurrvigtargrunni og rauða línán á myndunum tákna lægsta viðmið Norðmanna á þurrvigtargrunni (Molvær o.fl. 1997, 2004) en slík viðmið eru ekki til fyrir ál, járn, selen og vanadín.

## Ál (Al)

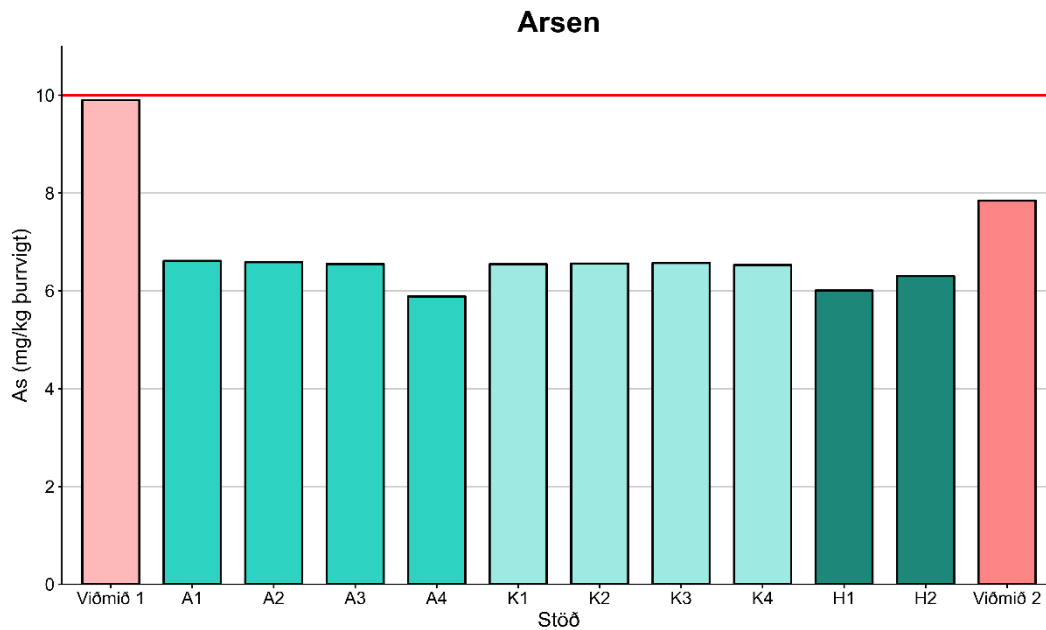
Álstyrkur í mjúkvef kræklinga er sýndur á **mynd 9**. Lítið er til um sambærilegar rannsóknir á áli og t.d. eru ekki til viðmiðunarmörk fyrir umhverfið eða hámarksgildi á styrk áls í matvælum fyrir krækling eða aðrar sjávarlífverur. Niðurstöðurnar sýna nokkuð svipaðan álstyrk yfir ræktunartímann á öllum stöðvum, fyrir utan H1 og H2 í Hofsvík sem eru líkt og 2021 hærri miðað við aðrar stöðvar, en álstyrkur er ívið hærri á viðmiði 1 og á Ánanaustum miðað við Klettagarða og viðmið 2. Lægri gildin sem komu fram í kræklingi við fráveituna frá Klettagörðum má að líkindum skýra með meira dýpi á þeim stöðvum. Rannsóknir í Hvalfirði í tengslum við iðjuverin á Grundartanga hafa sýnt að styrkur áls er yfirleitt hærri á 5 metra dýpi miðað við 1 metra dýpi (Hrönn Jörundsdóttir o.fl. 2014; Halldór Pálmar Halldórsson o.fl. 2022), sem er líklega vegna meiri nálægðar við botnsetið og tilheyrandi uppróts en ál hefur sterka viðloðun við föst efni, einkum lífrænar agnir, og er almennt talið að ál í kræklingi sé tilkomið vegna áhrifa frá seti (Guðjón Atli Auðunsson 2015b). Í samanburði við rannsóknina 2021 er álstyrkur nú hærri á flestum stöðvum sem líklegast endurspeglar náttúrulegan breytileika, s.s. áhrif vegna veðurs og strauma sem hafa áhrif á upprót af botni.



Mynd 8. Styrkur áls í vef kræklinga á vöktunarstöðvum ásamt viðmiðunarstöðvum í mg/kg þurrvigt.

## Arsen (As)

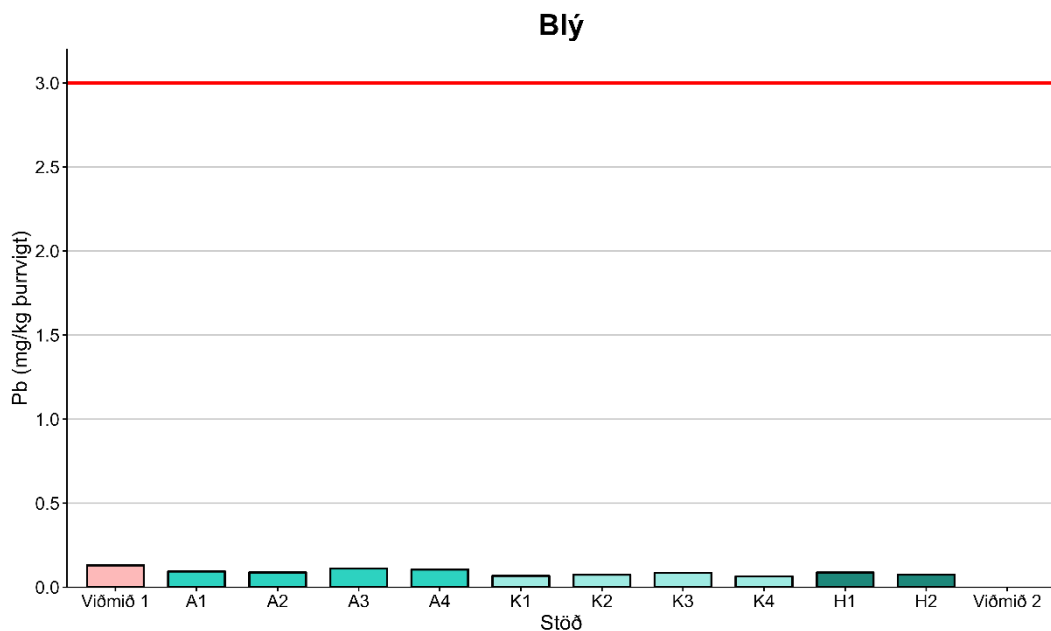
Á mynd 10 er styrkur arsens í kræklingi. Allar rannsóknastöðvar eru áþekkar og undir lágsta viðmiðunargildi Norðmanna (10 mg/kg þ.v.) og flokkast því í fyrsta flokk af fimm. Styrkur arsens sem nú mældist í kræklingi er ívið lægri en jafnan mældist í krækling við strendur Íslands, um 10 mg/kg (Erla Sturludóttir o.fl. 2013), og teljast þessar niðurstöður því áþekkar eða jafnvel lægri en sjá má í kræklingi hér við land á ósnortnum svæðum og því ekki um áhrif frá skólpútrásum á Sundunum að ræða. Í rannsóknunum 2021 voru styrkir arsens á bilinu 8 til 10 mg/kg þannig að nú eru þeir lægri eða í kringum 6 mg/kg á öllum rannsóknastöðvunum.



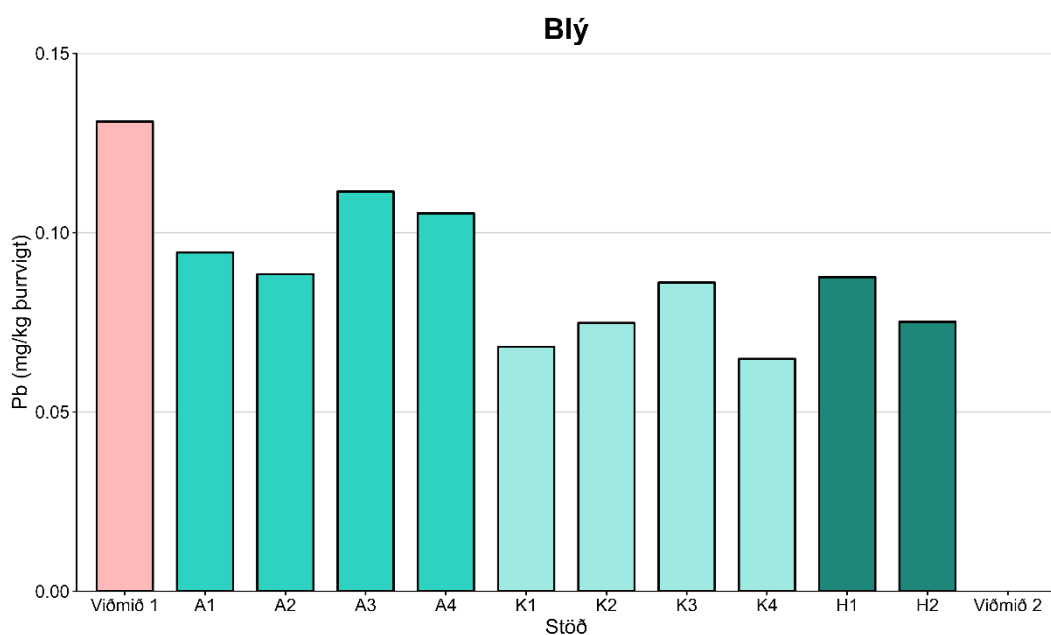
Mynd 9. Styrkur arsens í vef kræklings á vöktunarstöðvum ásamt viðmiðunarstöðvum í mg/kg þurrvigt. Rauða línan sýnir lágstu umhverfismörk (bakgrunnsstyrk) í Noregi, þ.e. 10 mg/kg þurrvigt (Molvær o.fl. 1997).

## Blý (Pb)

**Myndir 11 og 12** sýna styrk blýs, þar sem niðurstöðurnar eru sýndar með og án lágsta viðmiðunargildis sem notað er í Noregi. Líkt og 2021 má greina örliðla hækkun í blýstyrk á stöðvum A3 og A4 við útrásina frá Ánanaustum en í öllum sýnunum er styrkurinn langt undir lágsta umhverfisviðmiði Norðmanna (3 mg/kg þ.v.) og viðmið 2 reyndist jafnframt undir greiningarmörkum (0,012 mg/kg votvig). Niðurstöður vöktunar á ólífrænum 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 þ.v. Styrkur blýs hefur haldist nokkuð sambærilegur og í viðtakarannsóknnum á Sundunum frá árunum 2011 og 2021 og um óveruleg áhrif vegna fráveitu er að ræða á blýstyrk.



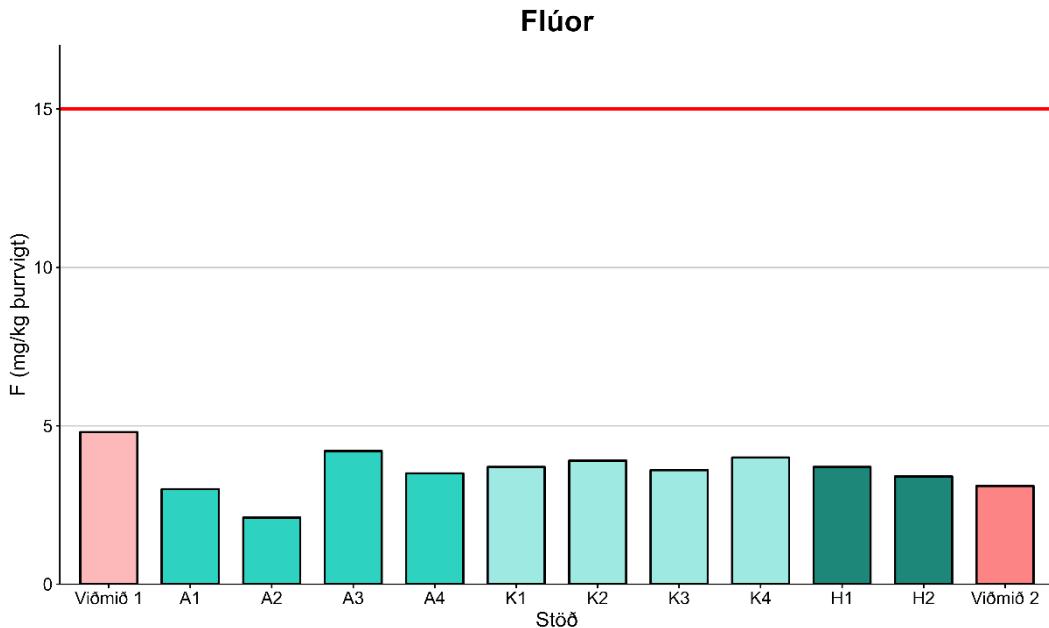
Mynd 10. Styrkur blýs í vef kræklinga á vöktunarstöðvum ásamt viðmiðunarstöðvum í mg/kg þurrvig. Rauða línan sýnir lágstu umhverfismörk (bakgrunnsstyrk) í Noregi, þ.e. 3 mg/kg þurrvig (Molvær o.fl. 1997).



Mynd 11. Styrkur blýs í vef kræklinga á vöktunarstöðvum ásamt viðmiðunarstöðvum í mg/kg þurrvig.

## Flúor (F)

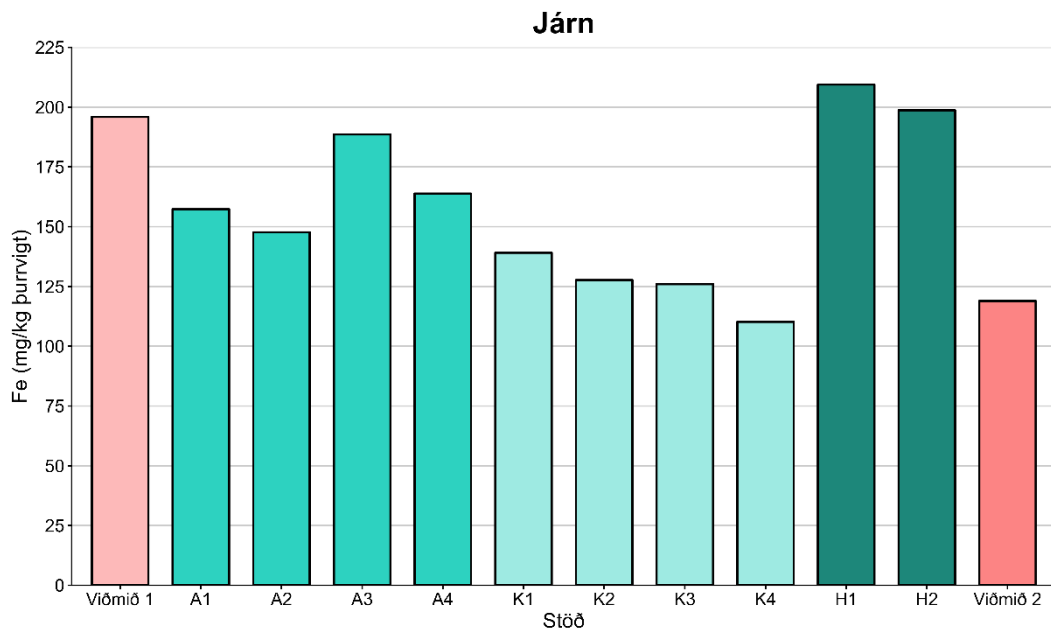
Styrkur flúors í vef kræklinga er sýndur á mynd 13. Flúor hefur aðeins einu sinni áður verið mældur í viðtakarannsóknnum, þ.e. 2021, og var þá líkt og nú í hæstum styrk í fjörukræklingi úr Hvalfirði (viðmið 1) í upphafi rannsóknar og fór lækkandi á öllum stöðvum yfir vöktunartímabilið. Í kræklingavöktun við Grundartanga í Hvalfirði árið 2021 mældist flúor á bilinu 4 til 7 mg/kg þ.v. í vef kræklinga á sjö stöðvum (Halldór Pálmar Halldórsson o.fl. 2022) og flúorstyrkur því lægri nú í samanburði við þær mælingar. Rauð lína sýnir lægstu viðmiðunargildi frá Noregi og mælast öll gildi langt undir þeim.



Mynd 12. Styrkur flúors í vef kræklinga á vöktunarstöðvum ásamt viðmiðunarstöðvum í mg/kg þurrvigt. Rauða línan sýnir lægstu umhverfismörk (bakgrunnsstyrk) í Noregi, þ.e. 15 mg/kg þurrvigt (Molvær o.fl. 1997).

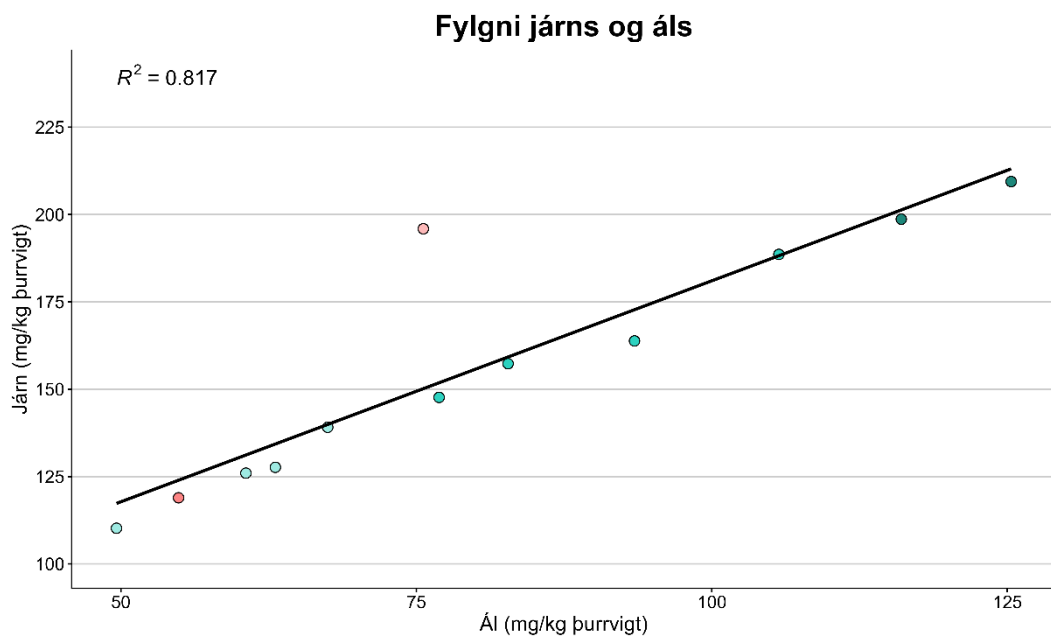
## Járn (Fe)

Á mynd 14 má sjá styrk járns í kræklingi. Gildin eru nokkuð sambærileg þeim sem mældust í fyrri rannsóknnum frá 2011 og 2021, þó þau séu heilt yfir ívið hærra nú á stöðvum A1–4 og K1–K4 miðað við 2021. Breytileika í styrk járns milli stöðva má oft skýra með mismunandi dýpi en hæstan styrk járns er að finna á grynustu stöðvunum (A3, A4, H1 og H2) sem bendir til að styrkur járns sé hér af náttúrulegum toga en ekki vegna útrásanna. Þessu til samanburðar þá mældist járnstyrkur á öllum stöðvum í kræklingavöktun við Grundartanga í Hvalfirði að jafnaði hærra á 5 m dýpi (sambærilegt dýpi kræklinga og í þessari rannsókn) miðað við krækling á 1 m dýpi (Hrönn Jörundsóttir o.fl. 2014, Halldór Pálmar Halldórsson o.fl. 2022), sem er áþekkt hegðun og fyrir ál, og fæst nú sömuleiðis sterk jákvæði fylgni milli áls og járns (mynd 15). Járn telst ekki til mengunarefna og finnst oft, líkt og ál, í miklum mæli í sjávarseti (Guðjón Atli Auðunsson 2015). Ekki eru til viðmiðunarmörk fyrir járn í kræklingi eða öðrum sjávarlífverum né hafa verið sett hámarksgildi á styrk járns í matvælum enda um nauðsynlegt snefilefni að ræða.



Mynd 13. Styrkur járns í vef kræklinga á vöktunarstöðvum ásamt viðmiðunarstöðvum í mg/kg þurrvigt.

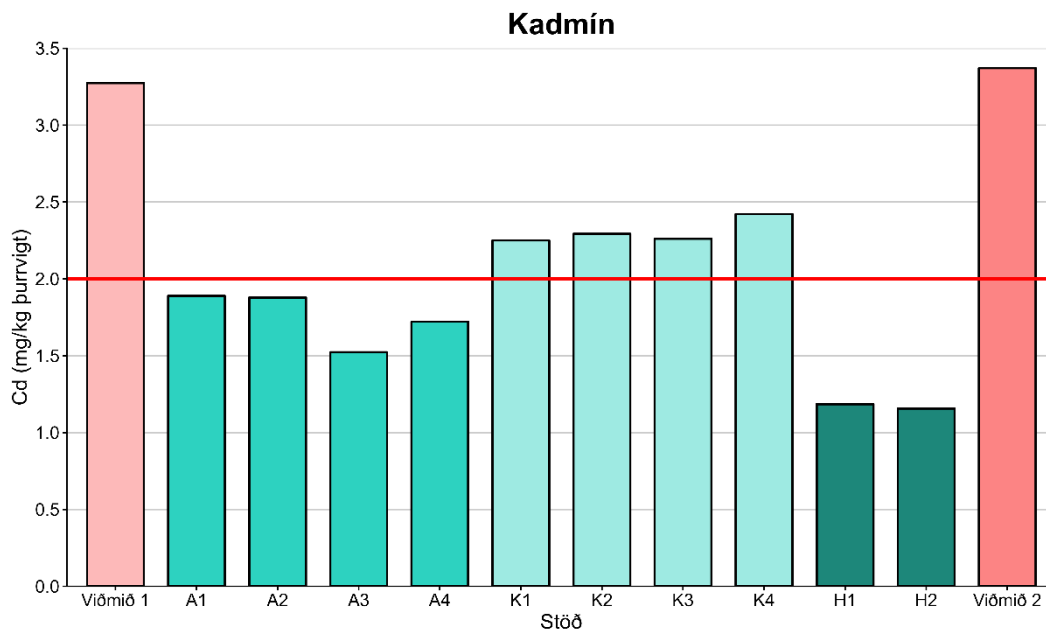
Þessi áhrif frá seti á sjávarbotni eru einnig sjáanleg í öðrum efnum sem finnast náttúrulega í seti, líkt og rætt var um varðandi ál í kræklingi hér að ofan. Með því að skoða fylgni áls og járns ( $p < 0,01$ ) á mynd 15 má álykta að uppruni þeirra sé náttúrulegur.



Mynd 14. Fylgni járns (Fe) og áls (Al) í kræklingi frá öllum stöðvunum.

## Kadmín (Cd)

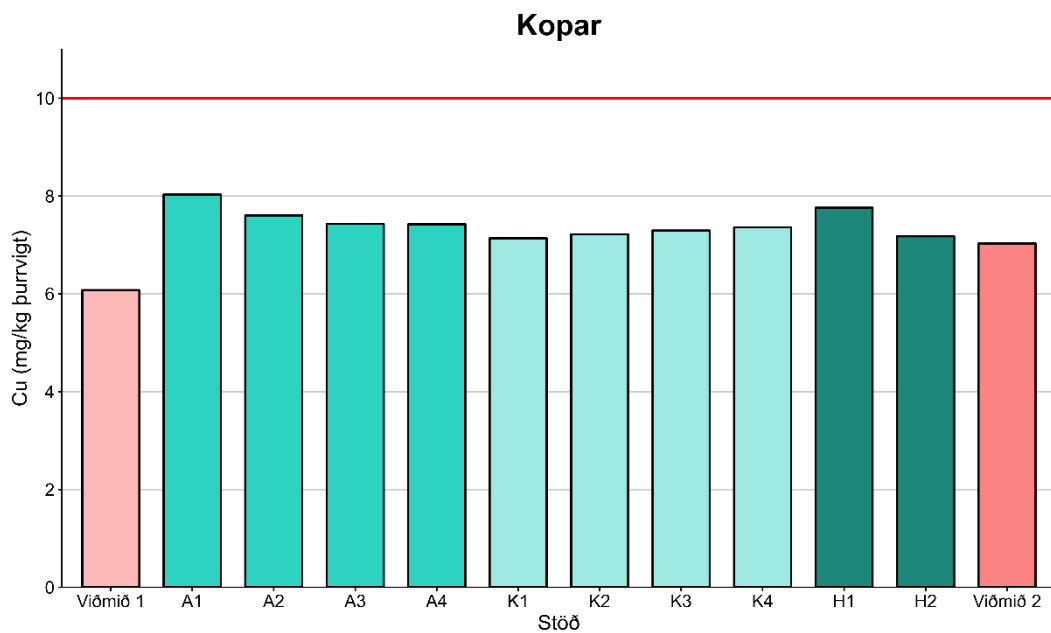
Styrkur kadmíns er sýndur á mynd 16. Ólíkt því sem sást í viðtakarannsókninni 2021 hélst styrkur kadmíns nú svipaður yfir ræktunartímamann á viðmiðunarstaðnum í Hvalfirði sem jafnframt var talsvert hærri en við útrásirnar. Í rannsókninni 2021 var þessu öfugt farið, þ.e. styrkur kadmíns var þá talsvert hærri við útrásirnar frá Ánanaustum og Klettagörðum samanborið við viðmið 1 og 2. Óljóst er hvað veldur þessum mun á milli rannsókna en líklega eru þarna líffræðilegar og árstíðabundnar breytingar að verki. Almenn er kræklingur við Ísland hár í kadmíni af náttúrulegum orsökum, þ.e. líklegast vegna eldvirkni og bergrofs. Árleg vöktun á ólífrænum snefilefnum í kræklingi sem safnað er að hausti hefur sýnt kadmínstyrk á bilinu 1,3–1,7 mg/kg þ.v. á sömu sýnatökustöðum í Hvalfirði (sambærilegt við viðmið 2) mælt yfir 20 ára tímabil (1990–2010) og eru þau gildi áþekk niðurstöðum fyrir kadmín í kræklingi frá lítt eða ómengduðum svæðum (Erla Sturludóttir o.fl. 2013). Árið 2021 mældist kadmínstyrkur töluvert hærri við Ánanaust og Klettagarða (3,1–5,2 mg/kg þ.v.) samanborið við viðmiðin ásamt H1 og H2, auk þess sem styrkurinn reyndist þá einnig hærri miðað við rannsóknina árið 2011 (2,5–3,4 mg/kg þ.v.). Ekki var því hægt að útiloka áhrif skólpútrása á styrk kadmíns 2021 en augljósar uppsprettur af mannavöldum voru ekki kunnar (Halldór Pálmar Halldórsson og Hermann Dreki Guls 2022). Núverandi rannsókn bendir hins vegar ekki til áhrifa af völdum útrásanna á kadmínstyrk í kræklingi árið 2025.



Mynd 15. Styrkur kadmíns í vef kræklinga á vöktunarstöðvum ásamt viðmiðunarstöðvum í mg/kg þurrvigt. Rauða línan sýnir lægstu umhverfismörk (bakgrunnsstyrk) í Noregi, þ.e. 2 mg/kg þurrvigt (Molvær o.fl. 1997).

## Kopar (Cu)

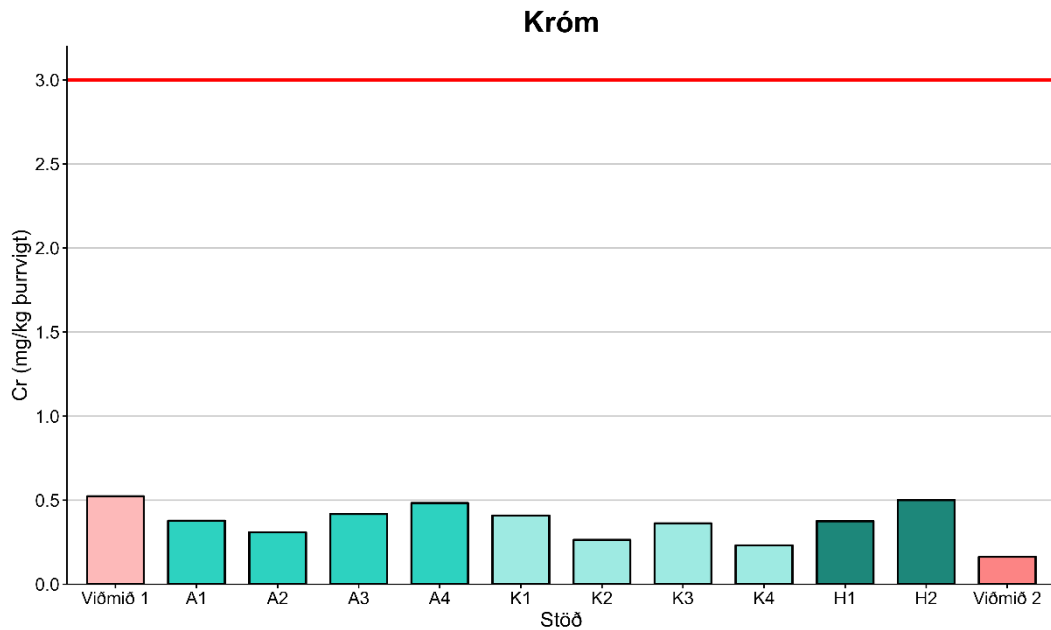
**Mynd 17** sýnir styrk kopars í kræklingi og sjá má að styrkurinn er ávallt undir lægstu umhverfismörkum í Noregi fyrir bakgrunnstyrk kopars (10 mg/kg þ.v.) (Molvær o.fl. 1997). Niðurstöðurnar eru mjög sambærilegar þeim sem komu fram í viðtakarannsóknunum 2021 og er styrkur kopars einnig svipaður því sem hefur mælst í fyrri rannsóknum (Guðjón Atli Auðunsson 2015b). Ekkert bendir því til þess að um áhrif frá skólpútrásum sé að ræða.



Mynd 16. Styrkur kopars í vef kræklings á vöktunarstöðvum ásamt viðmiðunarstöðvum í mg/kg þurrvigt. Rauða línan sýnir lægstu umhverfismörk (bakgrunnsstyrk) í Noregi, þ.e. 10 mg/kg þurrvigt (Molvær o.fl. 1997).

## Króm (Cr)

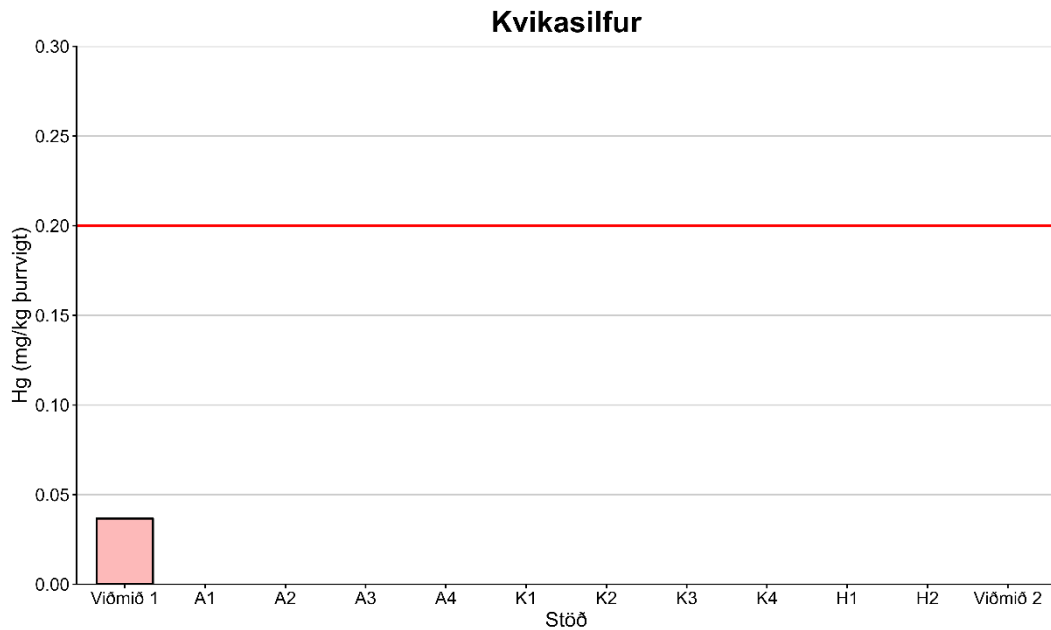
**Mynd 18** sýnir styrk króms í mjúkvef kræklings. Styrkir króms á öllum stöðvunum eru langt undir lægsta viðmiði Norðmanna og mjög áþekkir þeim sem mældust í fyrri viðtakarannsóknum á Sundunum. Upptaka króms er almennt háð vexti kræklingsins og nálægðar hans við botnset eins og sjá má vísbendingar um í niðurstöðunum en ekki eru greinanleg áhrif á krómstyrk af völdum útrásanna.



Mynd 17. Styrkur króms í vef kræklings á vöktunarstöðvum ásamt viðmiðunarstöðvum í mg/kg þurrvigt. Rauða línan sýnir lægstu umhverfismörk (bakgrunnsstyrk) í Noregi, þ.e. 3 mg/kg þurrvigt (Molvær o.fl. 1997).

## Kvikasilfur (Hg)

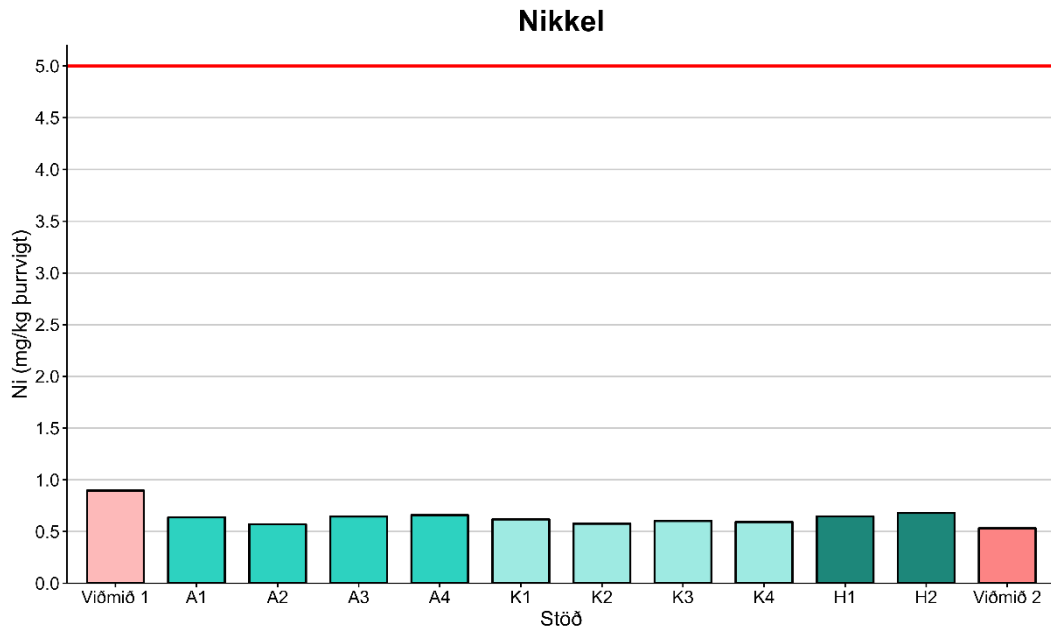
Kvikasilfur reyndist aðeins á einni stöð, viðmiði 1, yfir greiningarmörkum eins og sjá má á mynd 19. Í fyrri rannsóknum á Sundunum hefur kvikasilfur iðulega verið í lágum styrk í kræklingi og vel undir lægstu norsku viðmiðunarmörkunum (0,20 mg/kg þ.v.). Það er því ljóst að engin áhrif koma fram af völdum fráveitanna á uppsöfnun kvikasilfurs í kræklingi.



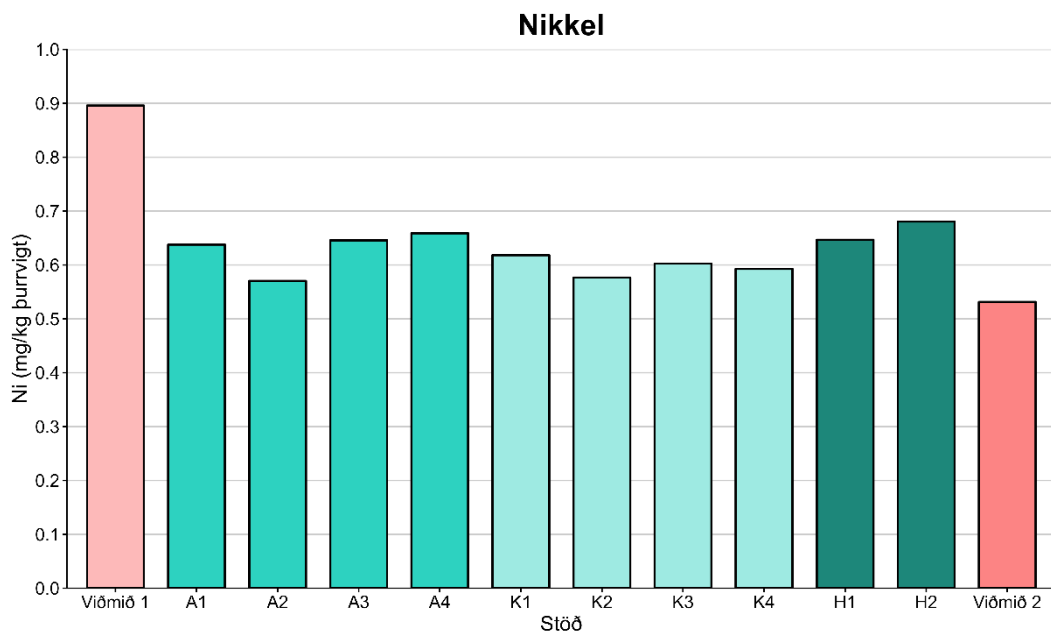
Mynd 18. Styrkur kvikasilfurs í vef kræklinga á vöktunarstöðvum ásamt viðmiðunarstöðvum í mg/kg þurrvigt. Rauða línan sýnir lægstu umhverfismörk (bakgrunnsstyrk) í Noregi, þ.e. 0,20 mg/kg þurrvigt (Molvær o.fl. 1997).

## Nikkel (Ni)

**Myndir 20 og 21** sýna styrk nikkels í kræklingi. Eins og í fyrri rannsóknum á Sundunum mælist nikkell í mjög lágum styrk í kræklingunum. Öll gildin eru langt undir viðmiðunarmörkum Norðmanna, hvort sem er við útrásirnar eða á viðmiði 1 og 2, og því ekki um áhrif frá fráveitunum að ræða.



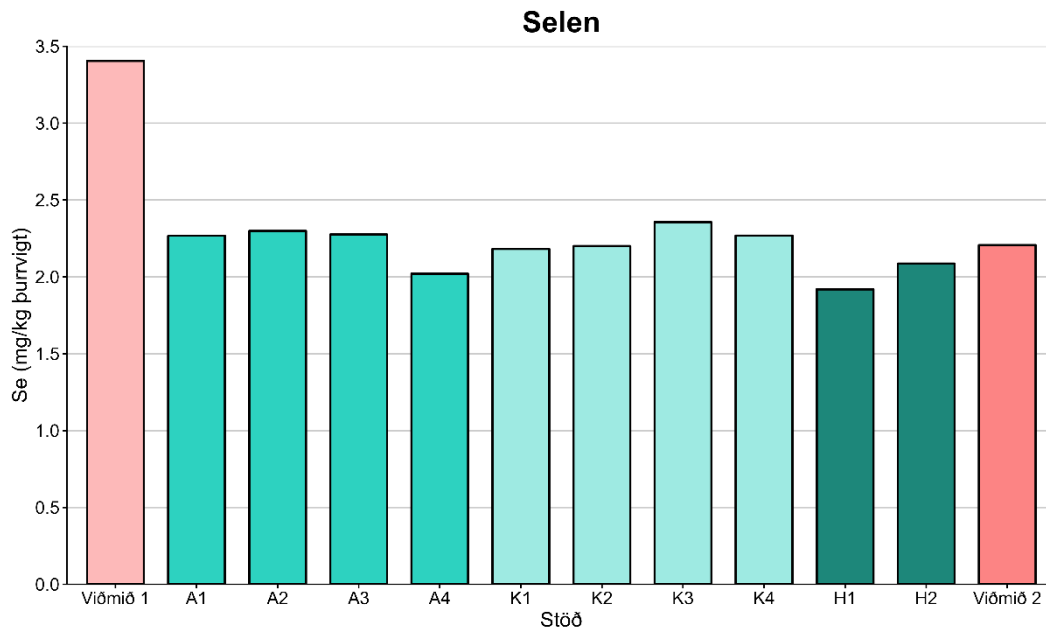
Mynd 19. Styrkur nikkels í vef kræklinga á vöktunarstöðvum ásamt viðmiðunarstöðvum í mg/kg þurrvigt. Rauða línan sýnir lægstu umhverfismörk (bakgrunnsstyrk) í Noregi, þ.e. 5 mg/kg þurrvigt (Molvær o.fl. 1997).



Mynd 20. Styrkur nikkels í vef kræklinga á vöktunarstöðvum ásamt viðmiðunarstöðvum í mg/kg þurrvigt.

## Selen (Se)

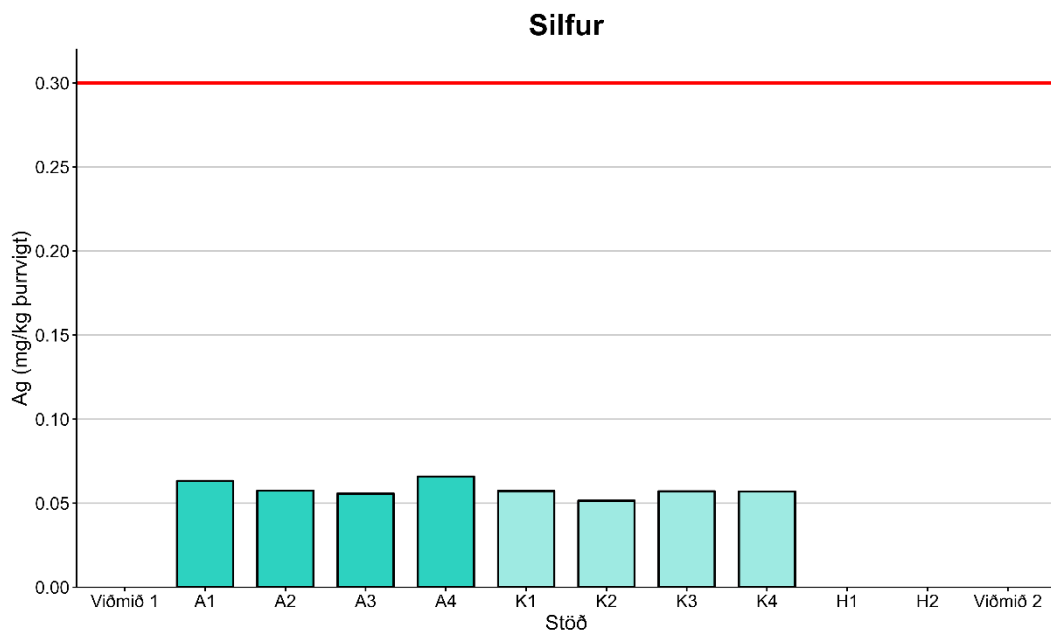
Styrkur selens í kræklingi er sýndur á mynd 22. Selen mælist ívið lægra en í fyrri fráveiturannsóknum á Sundunum. Niðurstöður fyrrnefndrar vöktunar á ólífrænum snefilefnum í kræklingi sem safnað var árlega á 11 stöðum kringum landið sýna að selenstyrkur í kræklingi var að meðaltali 2,3 mg/kg þ.v. árið 2011 (Hrönn Jörundsdóttir o.fl. 2013). Langtímarannsókn sýnir að styrkurinn hefur sveiflast á bilinu 2,1 – 3,5 mg/kg þ.v. á síðastliðnum 20 árum (Erla Sturludóttir o.fl. 2013) sem er svipaður styrkur og mælist í þessari rannsókn og er svæðið samkvæmt þessu ekki undir álagi selens. Ekki hafa verið sett umhverfismörk fyrir selen í kræklingi eða öðrum sjávarlífverum.



Mynd 21. Styrkur selens í vef kræklinga á vöktunarstöðvum ásamt viðmiðunarstöðvum í mg/kg þurrvigt.

## Silfur (Ag)

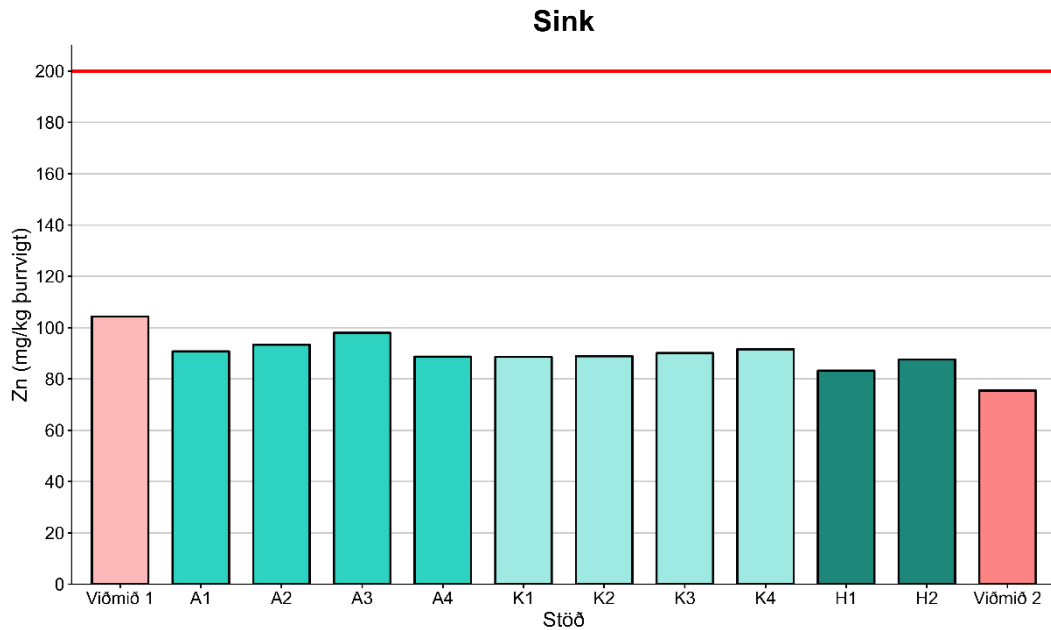
**Mynd 23** sýnir styrk silfurs í kræklingi. Silfur reyndist ýmist undir greiningarmörkum eða rétt yfir þeim þar sem styrkurinn var á bilinu 0,05–0,066 mg/kg þ.v. Það er svipað og mældist árið 2011 (0,06–0,075 mg/kg þ.v.) en lægra en mældist árið 2021 (0,05–0,12 mg/kg þ.v.). Þessi gildi eru þó öll lág og vel undir viðmiðunarmörkum Norðmanna (0,30 mg/kg þ.v.). Samkvæmt fyrri rannsóknum hefur mátt tengja fráveituvatn frá Ánanaustum og Klettagörðum við upptöku silfurs í kræklingi á þeim stöðvum þar sem styrkur silfurs hefur mælst þar hærri samanborið við viðmið 1 og 2 (Guðjón Atli Auðunsson 2015b; Halldór Pálmar Halldórsson og Hermann Dreki Guls 2022). Það bendir til áhrifa frá fráveitunum en um mjög lága styrki er að ræða.



Mynd 22. Styrkur silfurs í vef kræklinga á vöktunarstöðvum ásamt viðmiðunarstöðvum í mg/kg þurrvigt. Rauða línan sýnir lægstu umhverfismörk (bakgrunnsstyrk) í Noregi, þ.e. 0,30 mg/kg þurrvigt (Molvær o.fl. 1997).

## Sink (Zn)

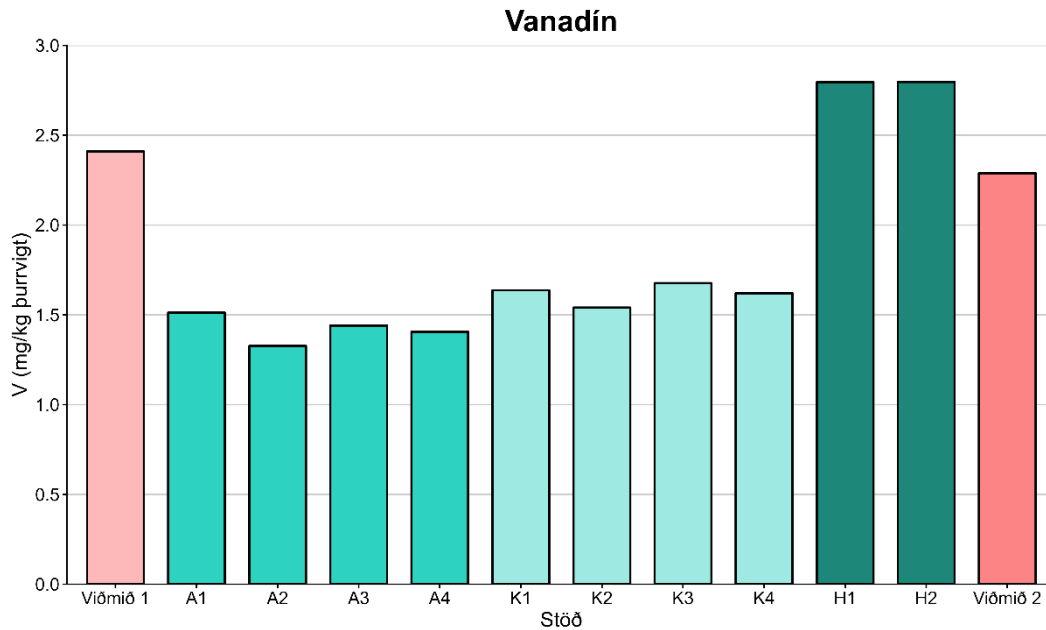
**Mynd 24** sýnir styrk sinks í kræklingi. Öll sýni mælast langt undir lágsta viðmiði Norðmanna (200 mg/kg þ.v.) og eru einnig talsvert undir 20 ára meðalgildi fyrir sinkstyrk í kræklingi frá ómenguðum svæðum umhverfis Ísland (130 mg/kg þ.v.) (Erla Sturludóttir o.fl. 2013). Styrkur sinks reyndist mjög svipaður og í fyrri rannsóknum á Sundunum. Sjá má lækkun á öllum stöðvum samanborið við viðmið 1 en örlítið hærrí gildi á vöktunarstöðvunum miðað við viðmið 2 sem bendir til að um óveruleg áhrif af völdum fráveitu sé að ræða.



Mynd 23. Styrkur sinks í vef kræklinga á vöktunarstöðvum ásamt viðmiðunarstöðvum í mg/kg þurrvigt. Rauða línan sýnir lágstu umhverfismörk (bakgrunnsstyrk) í Noregi, þ.e. 200 mg/kg þurrvigt (Molvær o.fl. 1997).

## Vanadín (V)

Niðurstöður fyrir styrk vanadíns í kræklingi eru sýndar á mynd 25. Umhverfismörk fyrir vanadín í kræklingi eru ekki til en miðað við fráveiturannsóknina 2021 eru gildin nú ívið hærri, en nokkuð sambærileg við rannsóknina 2011 en þá fylgdi styrkur vanadíns ólífrænum hluta setsins og því háður jarðefnafræði svæðisins (Guðjón Atli Auðunsson 2015). Líklega er því uppruni vanadíns úr seti og jafnframt benda hærri gildi í Hofsvík (H1 og H2) og á viðmiðum 1 og 2 í samanburði við útrásirnar frá Ánanaustum og Klettagörðum, að ekki sé um áhrif að ræða vegna fráveitu.



Mynd 24. Styrkur vanadíns í vef kræklinga á vöktunarstöðvum ásamt viðmiðunarstöðvum í mg/kg þurrvigti.

### 3.8. PAH efni (fjölarómatísk kolvatnsefni)

**Tafla 4** sýnir styrk PAH efna í kræklingi á votvigtargrunni. Samtals 4-11 PAH efni voru í greinanlegu magni í kræklingssýnum frá Ánanaustum og Klettagörðum en einungis þrjú þeirra (phenanthrene, fluoranthen og pyrene) greindust í sýnum frá Hofsvík og viðmiðunarsýnum úr Hvalfirði. Í Hofsvík voru þessi þrjú efni í svipuðum styrk og í viðmiði 1 úr Hvalfirði, en hins vegar var styrkur fluoranthe og pyren í viðmiði 2 úr Hvalfirði talsvert hærri, eða svipaður og í menguðustu sýnunum við Ánanaust. Benzo(a)pyrene greindist einungis í einu sýni (A2 - Ánanaust), en heildarmagn PAH efna var þó heldur lægra þar en í sýnum frá Klettagörðum, þar sem mengunin mældist mest.

Samanlagður styrkur allra efnanna fór yfir 50 µg/kg votvigt í einu sýni við Klettagarðaútrásina (K2), en það er viðmið fyrir bakgrunnsgildi skv. norskum stöðlum (Molvær o.fl. 1997, sjá **töflu 4**). Þetta sýni er þó vel innan þess bils sem Norðmenn skilgreina sem gott ástand og litla áhættu (Flokkur II). Oft er naftalen undanskilið í samlagningu PAH efna vegna þess að styrkur þess er mjög breytilegur í umhverfinu sbr. viðmiðunarmörk Norðmanna, þar sem summan samanstendur af 15PAH efnum (naftalen undanskilið). Vegna þessa breytilega styrks voru magngreiningarmörk (LOQ) áætluð hærri en staðalfrávik gera ráð fyrir, þar sem meira eða jafnmikið naftalen greindist í báðum blönkum en greindist í sýnunum. Sem fyrr segir greindist benzo(a)pyrene einungis í einu sýni (A2) yfir magngreiningarmörkum en styrkur þess var vel undir bæði umhverfisgæðakröfum fyrir lífverur skv. Reglugerð um varnir gegn mengun vatns 796-1999 og norskum mörkum fyrir bakgrunnsgildi (Green o.fl. 2012).

Heildarmagn PAH efna í Hvalfirði (viðmið 1) og Hofsvík er lægra en mældist á ómenguðu svæði í Skotlandi (Webster o.fl. 2009) þar sem heildarmagn PAH efna í kræklingi var um 9 µg/kg votvigt um sumar og 22 µg/kg votvigt um vetur. Hækkaður styrkur á fluoranthe og pyren í viðmiði 2 úr Hvalfirði er athyglisverður, en þar sem önnur PAH efni sýna ekki sambærilega hækkun er uppruni þeirra líklega af öðrum toga en við Ánanaust og Klettagarða. Hlutföll og samsetning PAH efnanna styðja það einnig (t.d. hlutfall phenanthrene/anthracene og floranthe/pyrene) og benda eindregið til að efnin séu fyrst og fremst úr olíum (e. petrogenic) í kræklingi við Ánanaust og Klettagarða en í Hvalfirði og Hofsvík virðist uppruni PAH efnanna blandaðri, þ.e. einnig af völdum bruna á lífrænu efni (e. pyrolytic).

Tafla 4. Styrkur mismunandi PAH efna og summa þeirra í vef kræklinga á vöktunarstöðvum og viðmiðunarstöðvum (Viðmið 1 og 2) í µg/kg votvigt. Norsk viðmiðunarmörk fyrir styrk PAH efna í kræklingi (Flokkur I til V) eru sýnd neðst í töflunni.

Efni (µg/kg votvigt)	Viðmið 1	Viðmið 2	A1	A2	A3	A4	K1	K2	K3	K4	H1	H2	Kræklingur mörk* Flokkur I
naftalene	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 30**
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	
acenaftene	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,67	< 0,5	< 0,5	0,74	0,86	0,82	< 0,5	< 0,5	< 0,5	
fluorene	< 0,5	< 0,5	0,79	1,44	0,54	0,53	1,25	1,38	1,25	< 0,5	< 0,5	< 0,5	
phenanthrene	1,23	1,76	7,38	11,5	5,59	4,49	15,2	18,2	14,1	4,01	1,79	1,87	
anthracene	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,53	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,84	0,54	< 0,5	< 0,5	< 0,5	
fluoranthene	0,86	3,62	2,53	3,51	2,10	1,56	4,56	5,67	4,42	1,66	0,54	0,52	
pyrene	0,78	11,0	10,5	14,4	8,08	5,10	21,9	26,9	22,0	6,87	0,92	0,76	
benz(a)anthracene***	< 0,5	< 0,5	1,10	1,73	1,07	0,51	0,50	0,71	0,62	< 0,5	< 0,5	< 0,5	
chrysene***	< 0,5	< 0,5	3,09	4,54	3,14	1,63	4,63	5,86	5,00	1,55	< 0,5	< 0,5	
benzo(b)fluoranthene***	< 0,5	< 0,5	2,08	2,55	2,37	1,37	< 0,5	< 0,5	0,65	< 0,5	< 0,5	< 0,5	
benzo(k)fluoranthene***	< 0,5	< 0,5	0,91	1,01	0,95	0,64	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	
benzo(a)pyrene***	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,64	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	
indeno(1,2,3-cd)pyrene***	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	
dibenz(a,h)anthracene***	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	
benzo(ghi)perylene	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	
Summa PAH efna sem greinast	2,9	16,4	28,3	42,5	23,8	15,8	48,7	60,4	49,5	14,1	3,25	3,15	<50*
ΣKPAH***	-	-	9,4	12,5	9,8	6,4	-	-	-	-	-	-	<10*
% þurrvigt	19,1	24,5	21,2	22,6	21,5	22,8	22,0	22,8	22,1	21,6	24,0	24,0	

\*\*\*Krabbameinsvaldandi PAH; summa er ekki reiknuð nema a.m.k. helmingur efna sé yfir magngreiningarmörkum og fyrir efni undir greiningarmörkum er helmingi greiningarmarka bætt við summu.

\*\*Umhverfisgæðakröfur (UGK) fyrir lífverur

*Norsk áhættugreining styrks PAH efna í kræklingi (µg/kg vv)	mörk benzo(a)pyrens	mörk summu KPAH	mörk summu PAH efna (án naftalens)
Flokkur I: bakgrunnur	<1	<10	< 50
Flokkur II: gott ástand, lítil hættu	1-3	10-30	50-200
Flokkur III: einhver áhrif við langvarandi útsetningu	3-10	30-100	200-2000
Flokkur IV: slæmt ástand: áhrif á lífverur eftir stutta útsetningu	10-30	100-300	2000-5000
Flokkur V: mjög slæmt ástand: bráð áhrif	>30	>300	>5000

### 3.9. PFAS efni í kræklingi

Niðurstöður mælinga á styrk PFAS efna í kræklingi eru í **töflu 5**. Líkt og með sjósýnin er um lága styrki að ræða og aðeins eitt PFAS efni (PFTeDA) reyndist yfir greiningarmörkum og var styrkurinn einungis rétt yfir þeim mörkum eða 0,11 µg/kg votvigt.

Tafla 5. Styrkur PFAS efna í kræklingi.

Kræklingur Efni (µg/kg votvigt)	Viðmið 1	Viðmið 2	A1	A4	K4
PFBA	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
PFPeA	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
PFHxA	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
PFHpA	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
PFOA	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
PFNA	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
PFDA	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
PFBS	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
PFHxS	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
PFOS	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08
PFUnDA	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
PFDoDA	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
PFTrDA	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
PFHpS	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
PFNS	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
PFPeS	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
PFUnDS	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
PFDoDS	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
PFTrDS	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
L-PFOS	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08
br-PFOS	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
PFTeDA	<b>0,11</b>	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
PFDS	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1

## 6. Heimildaskrá

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

Erla Sturludóttir, Helga Gunnlaugsdóttir Hrönn Jörundsdóttir, Elín V. Magnúsdóttir, Kristín Ólafsdóttir, Gunnar Stefánsson. 2013. Spatial and temporal trends of contaminants in mussel sampled around the Icelandic coastline. *Science of the Total Environment* 454-455: 500–509.

Green, N.W., Schøyen, M., Öxnevad, S., et al. 2012. Hazardous substances in fjords and coastal waters – 2011. Levels, trends and effects. NIVA report no. O-12106.

Guðjón Atli Auðunsson. 1992. Efnamælingar í fráveituvatni í Reykjavík. Unnið fyrir Gatnamálastjórnann í Reykjavík. Skýrsla Rf 9 (115 síður). Desember 1992.

Guðjón Atli Auðunsson. 1992. Kræklingsrannsóknir vegna væntanlegrar losunar frárennslis frá Reykjavík. Unnið fyrir Gatnamálastjórnann í Reykjavík. Skýrsla Rf 51 (65 síður). Júní 1992.

Guðjón Atli Auðunsson, Hannes Magnússon. 1994. Kræklingsrannsóknir 1994 vegna væntanlegrar losunar frárennslis frá Reykjavík. Framhald-I. Unnið fyrir Gatnamálastjórnann í Reykjavík. Rf Skýrsla 96 (68 síður). September 1995.

Guðjón Atli Auðunsson, Hannes Magnússon. 1995. Kræklingsrannsóknir 1995 vegna væntanlegrar losunar frárennslis frá Reykjavík. Framhald-II. Unnið fyrir Gatnamálastjórnann í Reykjavík. Rf Skýrsla 98 (20 síður). Október 1995.

Guðjón Atli Auðunsson. 2000. Hegðun og samsetning fráveituvatns í hreinsistöðinni við Ánanaust. Unnið fyrir Gatnamálastjórnann í Reykjavík. Skýrsla Rf 4-00. Mars 2000.

Guðjón Atli Auðunsson. 2001. Kræklingsrannsóknir út af Klettagörðum 1998. Unnið fyrir Gatnamálastjórnann í Reykjavík. Skýrsla Rf 10-01. Júní 2001.

Guðjón Atli Auðunsson. 2001b. Setgildrurannsóknir út af Ánanaustum, 95-, 96 og Klettagörðum, 98 – 99: hafræn meðferð skolps. Unnið fyrir Gatnamálastjórnann í Reykjavík. Verkefnisskýrsla Rf 27-01. Október 2001.

Guðjón Atli Auðunsson. 2002. Hegðun og samsetning fráveituvatns í Skolpu 2000-2001. Unnið fyrir Gatnamálastjórnann í Reykjavík. Skýrsla Rf 06 - 02. Mars 2002.

Guðjón Atli Auðunsson. 2005. Kræklingsrannsóknir: Ánanaust 2000. Unnið fyrir Orkuveitu Reykjavíkur. Skýrsla ITÍ0605/EGK02 (6PV05186).

Guðjón Atli Auðunsson. 2005b. Setgildrurannsóknir út af Ánanaustum, 00-, 01: hafræn meðferð skolps. Unnið fyrir Orkuveitu Reykjavíkur. Verkefnaskýrsla Iðntæknistofnunar. ITÍ0605/EGK01. Desember 2005.

Guðjón Atli Auðunsson. 2006. Summary and evaluation of environmental impact studies on the recipient of sewage from the STP at Ánanaust, Reykjavík. Work for Reykjavík Energy (Orkuveita Reykjavíkur). Skýrsla ITÍ0616/EGK05 (6PV05186). November 2006.

Guðjón Atli Auðunsson. 2009. Viðtaki fráveituvatns frá Borgarnesi. Greinargerð vegna skilgreiningar viðtaka með sérstöku tilliti til friðlýstra svæða í næsta nágrenni við viðtaka. Unnið fyrir Orkuveitu Reykjavíkur. Skýrsla NMÍ 09-09. Júlí 2009.

Guðjón Atli Auðunsson. 2014. Könnun á ólífrænum snefilefnum og aromatískum fjölhringa-samböndum (PAH) í kræklingi við álverið í Straumsvík, sýnataka 2013. Skýrsla NMÍ 14-06 - 6EM13087, p. 81.

Guðjón Atli Auðunsson. 2015. Viðtakarannsóknir 2011: setgildirur. Unnið fyrir Orkuveitu Reykjavíkur. Skýrsla NMÍ 15-02. Apríl 2015.

Guðjón Atli Auðunsson. 2015b. Viðtakarannsóknir 2011: kræklingur. Unnið fyrir Orkuveitu Reykjavíkur. Skýrsla NMÍ 15-03. Apríl 2015.

Guðjón Atli Auðunsson. 2015c. Viðtakarannsóknir 2011: sjór. Unnið fyrir Orkuveitu Reykjavíkur. Skýrsla NMÍ 15-04. Maí 2015.

Guðjón Atli Auðunsson, Adrianna Milewska, Joe Jephson, Halldór P. Halldórsson, Hermann Dreki Guls, Ester Inga Eyjólfsdóttir, Baldur Jón Vigfússon. 2020. Könnun á ólífrænum snefilefnum og aromatískum fjölhringa-samböndum (PAH) í kræklingi við álverið í Straumsvík. Sýnataka 2018. NMÍ-skýrsla, verknr: 6EM18058:3, maí 2020. Unnið fyrir ISAL, 50 bls.

Halldór Pálmar Halldórsson, Hermann Dreki Guls, Natasa Desnica, Julija Igrorsdóttir, Branka Borojevic, Kristín Ólafsdóttir. 2022. Könnun á ólífrænum snefilefnum og arómatískum fjölhringjum (PAH) í kræklingi og seti við Grundartanga, Hvalfirði, 2021. Skýrsla Matís 16-22, ISSN 1670-7192, apríl 2022, p. 50.

Halldór Pálmar Halldórsson, Natasa Desnica, Hermann Dreki Guls, Erna Óladóttir, Helga Gunnlaugsdóttir, Kristín Ólafsdóttir. 2017. Könnun á ólífrænum snefilefnum og arómatískum fjölhringjum (PAH) í kræklingi og seti við Grundartanga, Hvalfirði, 2016. Skýrsla Matís 02-17, ISSN 1670-7192, mars 2017, p. 45.

Halldór Pálmar Halldórsson, Hermann Dreki Guls. 2022. Viðtakarannsóknir fráveitu við meginútrásir skólphreinsistöðvanna í Reykjavík og á Kjalarnesi árið 2021. Rannsóknasetur Háskóla Íslands á Suðurnesjum. Unnið fyrir Veitur ohf. Skýrsla nr. 2022-101, febrúar 2022, 30 bls.

Hansson, T., Thain, J., Martínez-Gómez, C., Hylland, K., Gubbins, M., Balk, L. 2017. Supporting variables for biological effects measurements in fish and blue mussel. ICES Techniques in Marine Environmental Sciences. No. 60. 22 pp.

Hrönn Jörundsdóttir, Natasa Desnica, Þuríður Ragnarsdóttir, Helga Gunnlaugsdóttir. 2013. Monitoring of the marine biosphere around Iceland 2011 and 2012. Matis - Icelandic Food and Biotech R&D: Reykjavík, Iceland, p. 63.

Hrönn Jörundsdóttir, Natasa Desnica, Þuríður Ragnarsdóttir, Helga Gunnlaugsdóttir. 2014. Könnun á ólífrænum snefilefnum og arómatískum fjölhringjum (PAH) í kræklingi og seti við Grundartanga, Hvalfirði, 2013. Skýrsla Matís 06-14, ISSN 1670-7192, febrúar 2014, p. 42.

Ilyinskaya, E., Mason, E., Wieser, P.E., Holland, L., Liu, E.J., Mather, T.A., Edmonds, M., Whitty, R.C.W., Elias, T., Nadeau, P.A., Schneider, D., McQuaid, J.B., Allen, S.E., Harvey, J., Oppenheimer, C., Kern, C., Damby, D. 2021. Rapid metal pollutant deposition from the volcanic plume of Kīlauea, Hawai'i. Communications Earth & Environment - Nature, 2:78. <https://doi.org/10.1038/s43247-021-00146-2>

Jón S. Ólafsson, Sólveig R. Ólafsdóttir. 2001. Ástand sjávar á losunarsvæði skolps undan Ánanaustum - Unnið fyrir Gatnamálastjórnann í Reykjavík. Hafrannsóknastofnunin og Háskóli Íslands, 48 bls.

María J. Gunnarsdóttir, Hrund Ó. Andradóttir, Kristín Ólafsdóttir, Ásta Ósk Hlöðversdóttir, Roland Kallenborn, Erik Magnus Ræder, Jan Ludvig Lyche, Jitka Becanova, Rainer Lohmann. 2025. PFAS in drinking water, wastewater and surface water in Reykjavík, Iceland. *Environmental Science Advances*, 4, 1427 – 1443.

Molvær, J., Knutzen, J., Magnusson, J., Rygg, B., Skei, J., Sørensen, J. 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Veiledning. Classification of environmental quality in fjords and coastal waters. A guide. Statens forurensningstilsyn, SFT. 1997.

Molvær, J., Knutzen, J., Magnusson, B.R., Skei, J., Sorensen, J. 2004. Classification of environmental quality in fjords and coastal waters. A guide. 97:03. Norsk institutt for vannforskning: 2004.

Reglugerð um varnir gegn mengun vatns 796-1999 með breytingum. Listi III. Umhverfisgæðakröfur fyrir forgangsefni og tiltekin önnur mengunarefni. A-hluti: Umhverfisgæðakröfur (UGK).

Salazar, M.H., Salazar, S.M. 2001. „Standard guide for conducting in-situ field bioassays with caged bivalves. American Society for Testing and Materials (ASTM), 2001.“ *Annual Book of ASTM Standards: 2001; Vol. E 2122 02*.

Sloth, J.J., Larsen, E.H., Julshamn, K. 2005. Report on three aliphatic dimethylarsinoyl compounds as common minor constituents in marine samples. An investigation using high-performance liquid chromatography/inductively coupled plasma mass spectrometry and electrospray ionisation tandem mass spectrometry. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 19 (2). 227–235. doi:10.1002/rcm.1770

Sólveig R. Ólafsdóttir. 2006. Styrkur næringarefna í hafinu umhverfis Ísland. Hafrannsóknastofnunin. Fjölrit nr. 122.

Sólveig R. Ólafsdóttir. 2011. Áhrif þéttbýlis á næringarefni í Faxaflóa. Hafrannsóknir nr. 158: 38-41.

Webster, L., Russell, M., Walsham, P., Phillips, L.A., Packer, G., Scurfield, J., Dalgarno, E.J., Moffat, C.F. 2009. An assessment of persistent organic pollutants (POPs) in wild and rope grown blue mussels (*Mytilus edulis*) from Scottish coastal waters. *J. Environm. Monit.* 11: 1169-1184.

## Viðauki I

Líffræðilegar mæliþættir kræklinga.

Tafla 5. Meðalgildi líffræðilegra mæliþátta kræklinga ( $n = 50$ ,  $n = 60$  fyrir viðmið 1) á öllum stöðvum við útrásirnar og viðmiðunarstað í Hvalfirði ásamt útreiknuðum ástandsstuðli (votvigt vefs/(lengd\*breidd\*hæð)\*1000).

	Viðmið 1 Hvalfjörður	Viðmið 2 Hvalfjörður	A1	A2	A3	A4	K1	K2	K3	K4	H1	H2
<b>Heildarþyngd (g)</b>	10,3	14,0	15,0	14,2	14,1	14,7	14,7	14,0	14,8	15,3	14,9	14,6
Staðalfrávik	1,29	1,52	1,99	1,76	1,90	2,45	2,24	2,06	2,26	2,08	2,28	2,19
Lægsta gildi	7,61	10,5	11,9	10,2	10,6	10,1	10,0	10,1	11,4	10,9	10,5	10,1
Hæsta gildi	13,2	18,1	19,8	17,6	18,3	19,6	19,2	18,3	20,4	19,1	18,5	19,8
<b>Lengd (mm)</b>	49,8	53,0	53,9	53,6	54,0	53,9	53,9	53,6	53,4	53,9	54,0	14,6
Staðalfrávik	2,08	1,98	2,18	2,55	2,57	2,69	2,78	2,48	2,94	2,74	3,12	2,19
Lægsta gildi	45,0	46,0	50,0	49,0	46,0	48,0	49,0	49,0	48,5	48,0	48,0	10,1
Hæsta gildi	55,0	56,5	59,0	59,5	59,0	59,0	59,0	59,5	60,0	59,5	60,0	19,8
<b>Hæð (mm)</b>	22,7	23,7	24,3	24,3	24,3	24,4	24,6	24,6	24,5	24,8	24,8	24,2
Staðalfrávik	1,62	1,68	1,58	1,84	1,69	2,00	1,70	1,76	1,87	1,45	1,64	1,79
Lægsta gildi	19,5	20,5	20,5	20,0	20,0	19,0	21,0	19,5	21,0	20,0	21,0	20,5
Hæsta gildi	27,0	27,0	27,0	28,0	28,0	29,5	29,0	28,0	29,0	28,0	29,0	28,0
<b>Breidd (mm)</b>	22,2	23,6	24,1	24,1	24,2	23,8	24,2	23,6	23,5	24,1	24,2	24,2
Staðalfrávik	1,24	1,52	1,70	1,66	1,86	1,94	1,83	1,78	1,85	1,98	1,87	1,80
Lægsta gildi	19,5	20,5	21,0	20,0	20,5	20,0	20,5	20,0	20,0	19,0	20,0	19,5
Hæsta gildi	25,0	27,0	27,5	28,0	28,5	29,0	28,0	28,0	28,0	28,0	27,5	28,0
<b>Þyngd vefs (g)</b>	4,05	6,67	7,03	6,72	6,37	7,07	6,97	6,52	7,27	7,48	6,97	6,99
Staðalfrávik	0,72	0,88	1,19	1,05	1,01	1,39	1,32	1,09	1,28	1,13	1,23	1,20
Lægsta gildi	2,56	4,99	4,87	4,45	4,28	3,52	3,89	4,30	5,34	5,15	4,09	3,97
Hæsta gildi	5,95	9,48	9,88	9,21	9,05	10,7	9,87	8,69	11,4	10,5	8,91	9,45
<b>Þyngd skeljar (g)</b>	6,22	7,26	7,88	7,36	7,59	7,55	7,66	7,36	7,43	7,68	7,81	7,45
Staðalfrávik	0,98	1,04	1,24	0,99	1,31	1,43	1,28	1,29	1,31	1,27	1,34	1,43
Lægsta gildi	4,47	5,19	6,03	5,52	3,87	4,70	5,01	4,76	5,40	5,33	5,35	5,09
Hæsta gildi	8,52	10,2	11,8	9,11	10,7	11,0	11,3	10,1	10,8	9,90	10,3	10,9
<b>Ástandsstuðull</b>	0,16	0,23	0,22	0,21	0,20	0,23	0,22	0,21	0,24	0,23	0,21	0,22
Staðalfrávik	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Lægsta gildi	0,11	0,17	0,17	0,17	0,16	0,15	0,15	0,15	0,15	0,19	0,17	0,16
Hæsta gildi	0,21	0,31	0,28	0,26	0,24	0,27	0,28	0,27	0,30	0,28	0,28	0,28

## Viðauki II

### Meginefnaþættir og ólífræn snefilefni í kræklingi

Tafla 6. Meginefnaþættir í kræklingi.

Kræklingur				
Stöð	Fita (%)	Aska (%)	Salt (%)	Vatn (%)
Viðmið 1	1,5	3,0	2,4	80,9
Viðmið 2	1,9	2,3	1,7	75,5
A1	1,7	2,3	1,9	78,8
A2	1,8	2,5	1,9	77,4
A3	1,8	2,5	1,9	78,5
A4	1,6	2,5	1,8	77,2
K1	1,5	2,2	1,6	78,0
K2	1,7	2,2	1,6	77,3
K3	1,7	2,2	1,7	77,9
K4	1,5	2,2	1,8	78,4
H1	1,8	2,0	1,4	76,0
H1	1,8	2,1	1,6	76,0

Tafla 7. Ólífræn snefilefni í kræklingi á votvigtargrunni.

Kræklingur - mg/kg votvigt													
Stöð	V	Se	Hg	Fe	Cu	Zn	Cd	Cr	Pb	Ni	As	Ag	Al
Viðmið 1	0,46	0,65	0,007	37,4	1,16	19,9	0,63	0,10	0,025	0,171	1,89	<0,013	14,4
Viðmið 2	0,56	0,54	<0,005	29,1	1,72	18,5	0,83	0,04	<0,012	0,130	1,92	<0,013	13,4
A1	0,32	0,48	<0,005	33,3	1,70	19,2	0,40	0,08	0,020	0,135	1,40	0,0134	17,5
A2	0,30	0,52	<0,005	33,4	1,72	21,1	0,43	0,07	0,020	0,129	1,49	0,0130	17,4
A3	0,31	0,49	<0,005	40,6	1,60	21,1	0,33	0,09	0,024	0,139	1,41	0,0120	22,8
A4	0,32	0,46	<0,005	37,3	1,69	20,2	0,39	0,11	0,024	0,150	1,34	0,0150	21,3
K1	0,36	0,48	<0,005	30,6	1,57	19,5	0,50	0,09	0,015	0,136	1,44	0,0126	14,9
K2	0,35	0,50	<0,005	29,0	1,64	20,2	0,52	0,06	0,017	0,131	1,49	0,0117	14,3
K3	0,37	0,52	<0,005	27,8	1,61	19,9	0,50	0,08	0,019	0,133	1,45	0,0126	13,4
K4	0,35	0,49	<0,005	23,8	1,59	19,8	0,52	0,05	0,014	0,128	1,41	0,0123	10,7
H1	0,67	0,46	<0,005	50,2	1,86	20,0	0,28	0,09	0,021	0,155	1,44	<0,012	30,0
H1	0,67	0,50	<0,005	47,6	1,72	21,0	0,28	0,12	0,018	0,163	1,51	<0,013	27,8

Tafla 8. Ólífræn snefilefni í kræklingi á þurrvigtagrunni.

Kræklingur - mg/kg þurrvig														
Stöð	V	Se	Hg	Fe	Cu	Zn	Cd	Cr	Pb	Ni	As	Ag	Al	F
Viðmið 1	2,41	3,40	0,037	196	6,08	104	3,27	0,52	0,13	0,90	9,90	-	75,6	4,8
Viðmið 2	2,29	2,21	-	119	7,03	75,5	3,37	0,16	-	0,53	7,85	-	54,9	3,1
A1	1,51	2,27	-	157	8,03	90,7	1,89	0,38	0,09	0,64	6,61	0,063	82,8	3,0
A2	1,33	2,30	-	148	7,60	93,3	1,88	0,31	0,09	0,57	6,59	0,057	76,9	2,1
A3	1,44	2,28	-	189	7,43	98,0	1,52	0,42	0,11	0,65	6,55	0,056	106	4,2
A4	1,41	2,02	-	164	7,42	88,7	1,72	0,48	0,11	0,66	5,88	0,066	93,5	3,5
K1	1,64	2,18	-	139	7,14	88,6	2,25	0,41	0,07	0,62	6,55	0,057	67,5	3,7
K2	1,54	2,20	-	128	7,22	88,9	2,29	0,26	0,07	0,58	6,56	0,051	63,1	3,9
K3	1,68	2,36	-	126	7,29	90,1	2,26	0,36	0,09	0,60	6,57	0,057	60,6	3,6
K4	1,62	2,27	-	110	7,36	91,6	2,42	0,23	0,06	0,59	6,53	0,057	49,6	4,0
H1	2,80	1,92	-	209	7,76	83,2	1,18	0,38	0,09	0,65	6,01	-	125	3,7
H1	2,80	2,09	-	199	7,18	87,6	1,16	0,50	0,08	0,68	6,30	-	116	3,4