

2020

UMHVERFISVÖKTUN



Fjarðaál
alcoa.is



Alcoa Fjarðaál Umhverfisvöktun 2020

Skýrsla unnin af Náttúrustofu Austurlands
og Nýsköpunarmiðstöð Íslands fyrir Alcoa Fjarðaál



NÁTTÚRUSTOFA AUSTURLANDS

Skýrsla nr: NA-210208	Dags (mánuður, ár): Apríl, 2021	Dreifing: Opin
Heiti skýrslu (aðal- og undirtitill): Alcoa Fjarðaál. Umhverfissvöktun 2020		Síðufjöldi: 111 Fjöldi viðauka: 21
Höfundar, í stafrófsröð: Erlín Emma Jóhannsdóttir, Ester Inga Eyjólfsdóttir, Guðrún Óskarsdóttir, Hermann Þórðarson, Kristín Ágústsdóttir og Margrét Gísladóttir.		
Unnið fyrir: Alcoa Fjarðaál		
Samvinnuaðilar: Efnagreiningar, Nýsköpunarmiðstöð Íslands		
Útdráttur: <p>Frá því að álver Alcoa Fjarðaáls í Reyðarfirði var gangsett árið 2007 hefur verið fylgst með áhrifum þess á umhverfið. Grunnrannsóknir fóru fram á árunum 2004–2006. Umhverfissvöktunin árið 2020 fór fram samkvæmt vöktunaráætlun sem samþykkt er af Umhverfisstofnun. Vöktunin nær til loftgæða, veðurs, gróðurs, yfirborðsvatns, jarðvegs, set- og botndýra og búfænaðar.</p> <p>Gagnasöfnun: Upplýsingum um loftgæði og veður var safnað frá fjórum loftgæðastöðvum innan og utan þynningar-svæðis. Mælipættir í lofti eru: svifryk, flúor og brennisteinstvíoxíð. Ryki var safnað á síur og mælt í því flúor og fjölhringa arómatísk vetniskolefni. Einnig var fylgst með sýrustigi, brennisteini og flúor í úrkomu.</p> <p>Sýnum af gróðri var safnað á föstum sýnatökustöðum, bæði innan og utan þynningarsvæðis. Grasi var safnað sex sinnum og rabarbara var safnað þrisvar sinnum yfir sumarið. Einnig voru tekin sýni af bláberjalyngi, fléttum, mosa, kartöflum, laufblöðum reynitrijáa, bláberjum og krækiberjum, heyi og furunálum, set- og botndýrum. Flúor var mælt í öllum gróðursýnum og styrkur þungmálma var mældur einu sinni í rabarbara. Styrkur þungmálma og PAH16 efna var mældur í set- og botndýrum. Sjónrænt mat var lagt á ástand sjaldgæfra tegunda, gróðurs í görðum og mólendi til að kanna hvort plöntur bæru einhver merki sem líkst gætu skemmdum af völdum flúors. Fléttur og mosar á steinum og klöppum voru ljósmyndaðar. Gróðursamsetning í rannsóknareitum var könnuð og gróska metin. Sýnum af jarðvegi var safnað og flúor, klór og brennisteinn mælt í sýnum. Vatni var safnað ársfjórðungslega og var sýrustig, flúor, basarýmd, brennisteinn og leiðni mælt í sýnum. Einnig var styrkur fjölhringa arómatískra vetniskolefna mældur í októbersýnum. Dýralæknir skoðaði lifandi búfé í Reyðarfirði til að leggja mat á möguleg áhrif flúormengunar á tennur og heilbrigði og styrkur flúors í kjálkum sauðfjár sem gekk í Reyðarfirði var mældur og sjónrænt mat lagt á mögulegar tannskemmdir í kjálkum.</p> <p>Helstu niðurstöður: Árið 2020 var að meðaltali fremur kalt í flestum mánuðum í Reyðarfirði. Svifryk mældist í meðallagi árið 2020 og var heldur lægra en árið 2019. Árið 2020 mældist einn dagur yfir heilsuverndarmörkum fyrir svifryk. Mæligildi brennisteinstvíoxíðs í lofti reyndust einnig í meðallagi og áþekk og undanfarin ár. Enginn dagur mældist yfir heilsu- eða gróðurverndarmörkum fyrir brennisteinstvíoxíð. Mæligildi flúors í lofti voru lægri en árin 2019 og 2018 þegar ársmeðaltal gaskennds flúors og flúors í ryki var með hæsta móti. Vetrísflúoríð (HF) fór aldrei yfir viðmiðunarmörk í starfsleyfi utan þynningarsvæðis. Hæstu gildin mældust innan þynningarsvæðis. Styrkur fjölhringa arómatískra vetniskolefna (PAH) var í meðallagi miðað við undanfarin ár og lægri en umhverfismörk segja til um. Gildin hafa verið nokkuð stöðug með náttúrulegum breytileika. Brennisteinsstyrkur í úrkomu var í meðallagi árið 2020 en flúorgildi í úrkomu voru í hærra lagi en innan settra marka og lægri en árið 2019. Litlar breytingar voru á niðurstöðum mælinga í ár- og neyslumatssýnum samanborið við fyrri ár.</p> <p>Styrkur flúors í gróðri 2020 mældist í öllum tilfellum hærra innan þynningarsvæðis en utan. Í grasi, mosa, fléttum og bláberjalyngi var ársmeðaltal flúors svipað eða lægra bæði innan og utan þynningarsvæðis samanborið við 2019. Styrkur flúors í reynilaufum var hærra en árið 2019. Styrkur flúors í rabarbarastilkum, kartöflum og berjum var lágur. Styrkur þungmálma (blýs og kadmíums) í stilkum og blöðum rabarbara var undir viðmiðunarmörkum. Sýnileg ummerki um mögulegar skemmdir af völdum flúors í gróðri var helst að finna innan þynningarsvæðis. Gróður-samsetning sumarið 2020 var svipuð og 2015, þekja smárunna og lúpínu jókst umtalsvert milli ára á meðan þekja flétta minnkaði. Meðalstyrkur flúors í grasi á beitarsvæðum og túnum sumarið 2020 var undir viðmiðunarmörkum sem í gildi eru á Íslandi fyrir flúor í heilfóðri fyrir jörturdýr. Meðalstyrkur flúors var einnig undir viðmiðunarmörkum sem sett eru fyrir mjólkandi jörturdýr á beitarsvæðum og túnum sunnan fjarðar en fyrir ofan þau norðan fjarðar. Búfænaður var almennt heilbrigður og engar sýnilegar flúorskemmdir. Styrkur flúors í kjálkum sauðfjár var breytilegur eftir bæjum og aldri sauðfjár. Styrkurinn í kjálkabeinum lamba sem ganga í Reyðarfirði mældist hærra en í kjálka-beinum lamba í viðmiðunarsýnum en öll lömbin voru við góða tannheilsu. Styrkur þungmálma og PAH efna í krækling var svipaður eða lægri en árið 2015. Í öllum tilvikum mældust gildi þungmálma og PAH efna undir íslenskum neyslu-viðmiðum. Samanlagður styrkur 16 PAH efna í vef burstaorma sem og pípum mældist lægri árið 2020 en árið 2015.</p>		
Lykilorð: Alcoa–Fjarðaál, gróðurrannsóknir, loftgæði, flúoríð, flúor, brennisteinstvíoxíð, sýrustig, PAH-efni, mosi, fléttur, rabarbari, kartöflur, reynitri, bláberjalyng, gras, búfé, krækiber, bláber, sjaldgæfar tegundir, trjávöxtur, vatn, Reyðarfjörður, álver, mengun, þungmálmar		
Yfirfarið: Guðmundur Sveinsson Kröyer hjá Alcoa Fjarðaál	ISBN / ISSN nr: ISSN nr. 2547-7447 (rafræn útgáfa) ISBN nr. 978-9935-9518-9-2 (rafræn útgáfa)	

Efnisyfirlit

1	Inngangur.....	10
2	Loftgæði.....	11
2.1	Inngangur	11
2.1.1	Loftgæðamælingar á Reyðarfirði.....	11
2.1.2	Mælistöðvar og mælipættir	11
2.2	Mælingar og mæliaðferðir.....	12
2.3	Niðurstöður	13
2.3.1	Veðurgögn og veðurfar ársins	13
2.3.2	Svifryk, söfnun á síur (PM ₁₀ Hi-vol).....	15
2.3.3	Brennisteinstvíoxíð í lofti.....	17
2.3.4	Flúor í lofti	20
2.3.5	Fjölhringa aromatísk vetniskolefni (PAH)	23
2.3.6	Efnainnihald í úrkomu	25
3	Efnamælingar í gróðri	28
3.1	Inngangur	28
3.1.1	Flúor og gróður.....	28
3.1.2	Viðmiðunarmörk flúors í fóðri fyrir búfé	30
3.2	Aðferðir og sýnatökudagar	30
3.2.1	Sýnatökuaðferðir og framsetning niðurstaðna	30
3.2.2	Töluleg úrvinnsla	31
3.2.3	Gróðursýni, sýnatökudagar og efnamælingar.....	31
3.3	Niðurstöður	32
3.3.1	Gras	32
3.3.2	Mosi.....	37
3.3.3	Fléttur.....	39
3.3.4	Bláberjalyng.....	41
3.3.5	Reyniviður	43
3.3.6	Barrnálar.....	44
3.3.7	Rabarbari.....	46
3.3.8	Kartöflur og grænmeti.....	49
3.3.9	Bláber og krækiber	50
3.3.10	Hey og fóðurkál	52
4	Sjónræn skoðun á gróðri	53
4.1	Sjaldgæfar tegundir	54
4.2	Garðaplöntur og tré.....	56
4.3	Gróður í rannsóknarreitum	57
4.4	Fléttur og mosar á grjóti	59
5	Trjávöxtur	62
5.1	Inngangur	62
5.2	Niðurstöður	63
6	Þekja og fjöldi tegunda í rannsóknarreitum	64
6.1	Gagnasöfnun	64
6.2	Úrvinnsla gagna	66
6.3	Niðurstöður	67
6.3.1	Breytingar í tegundaauðgi milli ára	67
6.3.2	Breytingar í gróðurþekju milli ára	68
6.3.3	Breytingar í gróðursamsetningu milli ára	71
7	Yfirborðsvatn	76
7.1	Inngangur	76
7.2	Niðurstöður	76
7.2.1	Flúor	76

7.2.2	Sýrustig (pH)	78
7.2.3	Fjölhringa arómatísk vetniskolefni (PAH efni)	79
7.2.4	Brennisteinn	79
7.2.5	Basarýmd (e. Alkalinity).....	80
7.2.6	Leiðni	80
8	Jarðvegur	80
8.1	Inngangur	80
8.2	Niðurstöður	81
8.2.1	Flúor	81
8.2.2	Flúor í lausn	82
8.2.3	Klór í lausn	83
8.2.4	Brennisteinn í lausn.....	84
9	Búfænaður	85
9.1	Inngangur	85
9.2	Niðurstöður	85
9.2.1	Sjónræn skoðun á lifandi búfænaði	85
9.2.2	Flúor í kjálkum úr sláturfé og sjónrænt mat dýralæknis	86
10	Botndýr og kræklingur.....	89
10.1	Inngangur	89
10.2	Aðferðir	89
10.2.1	Sýnataka og meðferð sýna	89
10.2.2	Töluleg úrvinnsla	91
10.2.3	Túlkun á styrk efna	91
10.1	Niðurstöður og umræður	91
10.1.1	Pungmálmar	92
10.1.2	Fjölhringa arómatísk vetniskolefni (PAH efni)	99
11	Samantekt og lokaorð	104
12	Heimildir	106

Myndaskrá

1. mynd. Yfirlitskort sem sýnir staðsetningu allra fastra sýnatökustaða í Reyðarfirði og Eskifirði árið 2020 (Landmælingar Íslands, 2013 og 2015).	11
2. mynd. Vindrós mælistöð 1 Reyðarfirði, 2020 (10 mín). Vindgögn fyrri hluta árs endurgerð frá stöð 2 og stöð 4.....	14
3. mynd. Vindrós mælistöð 2 Reyðarfirði, allar mælingar 2020 (10 mín).	14
4. mynd. Vindrós mælistöð 3 Reyðarfirði, allar mælingar 2020 (10 mín).	15
5. mynd. Vindrós mælistöð 4 Reyðarfirði, allar mælingar 2020 (10 mín).	15
6. mynd. Svifryk, mánaðarmeðaltöl, allar stöðvar 2020.....	16
7. mynd. Svifryk, ársmeðaltöl 2005–2020.	17
8. mynd. Brennisteinstvíoxíð, allar stöðvar 2020.	17
9. mynd. Brennisteinstvíoxíð, ársmeðaltöl 2005–2020.	18
10. mynd. Brennisteinstvíoxíð SO ₂ (µg/m ³), sem fall af vindátt 2020, allar stöðvar.	19
11. mynd. Brennisteinstvíoxíð SO ₂ (magnuppruni í %), sem fall af vindátt 2020, allar stöðvar.	20
12. mynd. Flúor gaskennur í lofti, allar stöðvar, mánaðarmeðaltöl 2020 (mælingar á síur).	21
13. mynd. Flúor rykkendur í lofti, allar stöðvar, mánaðarmeðaltöl 2020 (mælingar á síur).	21
14. mynd. Flúor alls í lofti, allar stöðvar, ársmeðaltöl 2011–2020 (mælingar á síur).	22
15. mynd. Flúor í svifryki, allar stöðvar, stakar síur mánaðarlega 2020.	22
16. mynd. Flúor í svifryki, ársmeðaltöl 2005–2020.	23
17. mynd. PAH16 í svifryki, allar stöðvar 2020.	24
18. mynd. PAH16 í svifryki, ársmeðaltöl 2006–2020.	24
19. mynd. Úrkoma í mánuði (mm, alls), allar stöðvar 2020.	25
20. mynd. Sýrustig (pH) í úrkomu, mánaðarmeðaltöl allar stöðvar 2020.	26
21. mynd. Sýrustig (pH) í úrkomu, allar stöðvar meðaltöl 2005–2020.	26
22. mynd. Brennisteinn í úrkomu, allar stöðvar 2020.	27
23. mynd. Brennisteinn í úrkomu, allar stöðvar meðaltöl 2006–2020.	27
24. mynd. Flúor í úrkomu, allar stöðvar 2020.	28
25. mynd. Flúor í úrkomu, ársmeðaltöl 2006–2020.	28
26. mynd. Sýnatökustaðir grass í Reyðarfirði og meðalstyrkur flúors í sex sýnatökufurðum frá júní til ágúst 2020 (Landmælingar Íslands, 2013, 2019 og 2021).....	33
27. mynd. Meðalstyrkur flúors (µg/g) í þurrvigt af grasi (með staðalskekkju) innan og utan þynningarsvæðis í Reyðarfirði eftir sýnatökufurðum frá júní til ágúst 2020. Fjöldi sýnatökustaða: innan þynningarsvæðis (n=7) og utan þynningarsvæðis (n=28).	34
28. mynd. Meðalstyrkur flúors (µg/g) í þurrvigt af grasi innan og utan þynningarsvæðis í Reyðarfirði árin 2004–2005 (bakgrunnsgildi, meðaltal af tveimur sýnatökum sem farnar voru, ein hvort ár) og 2008–2020. Fjöldi sýnatökustaða: 2004–2005 (n=30), 2014–2016 (n=34) og 2017–2020 (n=35).	34
29. mynd. Skipting sýnatökustaða grass sumarið 2020 upp í fimm ólík svæði (Landmælingar Íslands, 2013 og 2015).	35
30. mynd. Meðalstyrkur flúors í grasi (með staðalskekkju) sumarið 2020, skipt upp eftir svæðum. .	36
31. mynd. Meðalstyrkur flúors (µg/g) í þurrvigt af grasi (með staðalskekkju) eftir svæðum í Reyðarfirði árin öll rekstrarár álfersins 2007–2020. Fjöldi sýnatökustaða: 2004–2005 (n=30), 2014–2016 (n=34) og 2017–2020 (n=35).	36
32. mynd. Skipting sýnatökustaða mosa, flétta og bláberjalyngs sumarið 2020 í fimm svæði (Landmælingar Íslands, 2013 og 2015).	37
33. mynd. Sýnatökustaðir mosa í Reyðarfirði og styrkur flúors í júlí 2020 (Landmælingar Íslands, 2013, 2019 og 2021).	38
34. mynd. Meðalstyrkur flúors í mosa eftir svæðum árið 2004 (bakgrunnsgildi) og árin 2014 til 2020. Áttir A-austur, V-vestur og S-suður og fjarlægð frá reykháfi álvers. Fjöldi sýna er gefinn upp í sviga. Einnig er sýnd staðalskekkja meðaltalanna (32. Mynd sýnir svæðisskiptinguna).	38
35. mynd. Meðalstyrkur flúors (µg/g) í þurrvigt af mosa (með staðalskekkju) innan og utan þynningarsvæðis í Reyðarfirði árið 2004 (bakgrunnsgildi) og árin 2008 til 2020. Gögn eru byggð á 10 sýnum innan þynningarsvæðis og 20 sýnum utan þynningarsvæðis ár hvert.	39

36. mynd. Sýnatökustaðir flétta í Reyðarfirði og styrkur flúors í júlí 2020 (Landmælingar Íslands, 2013, 2019 og 2021).	40
37. mynd. Meðalstyrkur flúors í fléttum árið 2004 (bakgrunnsgildi) og árin 2014 til 2020 eftir svæðum. Áttir A-austur, V-vestur og S-suður og fjarlægð frá reykháfi álvers. Fjöldi sýna er gefinn upp í sviga. Einnig er sýnd staðalskekkja meðaltalanna (32. Mynd sýnir svæðisskiptinguna).....	40
38. mynd. Meðalstyrkur flúors (µg/g) í þurrvigt af fléttum (með staðalskekkju) innan og utan þynningarsvæðis í Reyðarfirði árið 2004 (bakgrunnsgildi) og árin 2008 til 2020. Gögnin eru byggð á 10 sýnum innan þynningarsvæðis og 20 sýnum utan þynningarsvæðis ár hvert.	41
39. mynd. Sýnatökustaðir laufa bláberjalyngs í Reyðarfirði og styrkur flúors í júlí 2020 (Landmælingar Íslands, 2013, 2019 og 2021).	41
40. mynd. Meðalstyrkur flúors í bláberjalaufum árið 2004 (bakgrunnsgildi) og árin 2014 til 2020 eftir svæðum. Áttir A-austur, V-vestur og S-suður og fjarlægð frá reykháfi álvers. Fjöldi sýna er gefinn upp í sviga. Einnig er sýnd staðalskekkja meðaltalanna (32. Mynd sýnir svæðisskiptingu).	42
41. mynd. Meðalstyrkur flúors (µg/g) í þurrvigt af bláberjalyngi (með staðalskekkju) innan og utan þynningarsvæðis í Reyðarfirði árið 2004 (bakgrunnsgildi) og árin 2008 til 2020. Gögnin eru byggð á 10 sýnum innan þynningarsvæðis og 20 sýnum utan þynningarsvæðis ár hvert.	42
42. mynd. Sýnatökustaðir á laufblöðum reynitrjáa í Reyðarfirði og styrkur flúors í laufi í ágúst 2020 (Landmælingar Íslands, 2013 og 2021).	43
43. mynd. Ársmeðaltal flúors í laufblöðum reynitrjáa (ásamt staðalskekkju) árin 2004 bakgrunnsgildi og 2008–2019 í Reyðarfirði. Gögn eru byggð á 10 sýnum árin 2004, 2015 og 2017 en 9 árin 2014, 2016 og 2020.....	44
44. mynd. Sýnatökustaðir barrnála í Reyðarfirði og styrkur flúors í nýjum barrnállum (CN) í október 2020 (Landmælingar Íslands, 2013 og 2021).	45
45. mynd. Sýnatökustaðir barrnála í Reyðarfirði og styrkur flúors í barrnállum frá fyrra ári (CP, 2018), safnað í október 2020 (Landmælingar Íslands, 2013 og 2021).	45
46. mynd. Ársmeðaltal flúors í barrnállum (ásamt staðalskekkju) árið 2004 (bakgrunnsgildi) og árin 2008 til 2020 í Reyðarfirði. Gögnin eru byggð á 10 sýnum árið 2004 en 9 sýnum árin 2014–2020. Ártalið á lárétta ásnum vísar í söfnunarár.....	46
47. mynd. Sýnatökustaðir rabarbara í Reyðarfirði og meðalstyrkur flúors í laufum (V) í þremur sýnatökufurðum frá júní til ágúst sumarið 2020 (Landmælingar Íslands, 2013 og 2021).	47
48. mynd. Ársmeðaltal flúors í þurrvigt af rabarbara árin 2004–2005 (meðaltal beggja áranna) og árin 2008 til 2020 í Reyðarfirði. Fjöldi sýna er gefinn upp í sviga. Einnig er sýnd staðalskekkja meðaltalanna. Árin 2004–2005 var farin ein sýnatökufurð og árin 2014–2020 voru farnar þrjár sýnatökufurðir.....	47
49. mynd. Sýnatökustaðir kartafla og salats (innan þéttbýlis) í Reyðarfirði og styrkur flúors í kartöflugrösom sumarið 2020 (Landmælingar Íslands, 2013 og 2021).....	49
50. mynd. Ársmeðaltal flúors í kartöflum og kartöflugrösom á þremur til fjórum sýnatökustöðum sumrin 2004 (bakgrunnsgildi) og 2008 til 2020.....	50
51. mynd. Styrkur flúors í bláberjum og krækiberjum á fimm sýnatökustöðum í Reyðarfirði í ágúst 2020. Tekið var eitt sýni á hverri stöð (Landmælingar Íslands, 2013, 2019 og 2021).	51
52. mynd. Styrkur flúors (µg/g) í þurrvigt af bláberjum og krækiberjum árin 2006 og 2014–2020 í Reyðarfirði. Fram til ársins 2011 voru greiningarmörk fyrir flúor í blá- og krækiberjum 5 µg/g.	52
53. mynd. Styrkur flúors í heysýnum m.v. 0% rakainnihald sem tekin voru 15. September 2020. Staðsetningar sýnatöku vetrarheysýna eru ekki sýndar (Landmælingar Íslands, 2013, 2019 og 2021).	53
54. mynd. Giljafækja (t.v.) og fuglaertur (t.h.) í júlí 2020 í Reyðarfirði.....	55
55. mynd. Þynnirós af neðra svæði (t.v.) og af efra svæði (t.h.) í júlí 2020 í Reyðarfirði.	55
56. mynd. Laufblöð aronsvandar sem voru gulnuð og með dauða blaðenda (t.v.) og stóriburkni (t.h.) með skemmdum endum í júlí 2020 í Reyðarfirði.	56
57. mynd. Flúorlíkar skemmdir og afbrigðilegt vaxtarlag laufa á ösp (t.v.) og víði (t.h.) við Sómastaði í Reyðarfirði í júlí 2020.	56

58. mynd. Dauðir blaðendur og dökkt band á sigurskúf (t.v.) og ösp (t.h.) við Framnes í Reyðarfirði í júlí 2020.....	57
59. mynd. Rannsóknastöðvar í Reyðarfirði. Einkenni sem líkjast skemmdum af völdum flúors sáust í 4 stöðvum sumarið 2020 (Landmælingar Íslands, 2013, 2019 og 2021).	58
60. mynd. Flúorlíkar skemmdir og rauður litur á bláberjalyngi á stöð 1.	59
61. mynd. Samanburður LQ19 (efri) og LQ9 (neðri) reita milli ára 2015 og 2020. Breytingar í smárömmum eru auðkenndar með rauðum lit.	60
62. mynd. Staðsetning klappareita og fjöldi sýnilegra breytinga á smárömmum (Landmælingar Íslands, 2015, 2019 og 2021).	61
63. mynd. Samanburður LQ25 (efri) og LQ32 (neðri) reita milli ára 2015 og 2020. Breytingar má sjá í öllum smárömmum.....	62
64. mynd. Trjámælireitir í Reyðarfirði og meðalvöxtur furu árið 2020 (Landmælingar Íslands, 2013, 2019 og 2021).	63
65. mynd. Meðalársvöxtur stafafuru (blátt) í níu trjámælireitum og bergfuru (rautt) á einum trjámælireit í Reyðarfirði tímabilið 2003–2020.....	64
66. mynd. Meðalvöxtur stafafuru (blátt) og bergfuru (rautt) á hverri staðsetningu árið 2020.....	64
67. mynd. Staðsetning vistfræðistöðvanna 30 í Reyðarfirði (Landmælingar Íslands, 2013, 2019 og 2021).	65
68. mynd. Skipting rannsóknarsvæða með tilliti til átta og fjarlægð frá strompi álvers (Landmælingar Íslands, 2013 og 2015).	66
69. mynd. Fjöldi æðplöntutegunda á mismunandi rannsóknarsvæðum árin 2005, 2009, 2015 og 2020. Lína í miðju kassa tákna miðgildi. Efri og neðri línur kassans tákna fyrstu og þriðju fjórðungsmörk. Línur út frá kassa sýna 5% og 95% öryggismörk. Fylltir hringir tákna útlaga....	68
70. mynd. Þekja æðplantna á mismunandi rannsóknarsvæðum árin 2005, 2009, 2015 og 2020. Lína í miðju kassa tákna miðgildi. Efri og neðri línur kassans tákna fyrstu og þriðju fjórðungsmörk. Línur út frá kassa sýna 5% og 95% öryggismörk. Fylltir hringir tákna útlaga.	69
71. mynd. Þekja flétta á mismunandi rannsóknarsvæðum árin 2005, 2009, 2015 og 2020. Efri og neðri línur kassans tákna fyrstu og þriðju fjórðungsmörk. Línur út frá kassa sýna 5% og 95% öryggismörk. Fylltir hringir tákna útlaga.	69
72. mynd. Þekja mosa á mismunandi rannsóknarsvæðum árin 2005, 2009, 2015 og 2020. Þekja var reiknuð frá miðgildi þekjubils (sjá 4. Töflu) og var því að hámarki 75% sem jafngildir fullri þekju. Efri og neðri línur kassans tákna fyrstu og þriðju fjórðungsmörk. Línur út frá kassa sýna 5% og 95% öryggismörk. Fylltir hringir tákna útlaga.	70
73. mynd Breytingar í þekju nokkurra algengra æðplöntu tegunda, flétta og mosa á rannsóknarsvæðunum milli ára 2005 og 2020. Efri og neðri línur kassans tákna fyrstu og þriðju fjórðungsmörk. Línur út frá kassa sýna 5% og 95% öryggismörk. Fylltir hringir tákna útlaga.	71
74. mynd. Meðalþekja ýmissa tegundahópa í mismunandi rannsóknarsvæðum árin 2005, 2010, 2015 og 2020 (gögn fyrir stöð 25 vantar fyrir árið 2015 og 2020 en hún er á svæði V 2–5 km). Skali á y-ás er mismunandi milli súlurita.	72
75. mynd. Niðurstöður DCA hnitunargreiningar þar sem staðsetningar stöðva eftir 1. Og 2. Ási hnitunar eru sýndar með hringjum. Örvur tengja sömu stöðvar milli ára (frá 2005 til 2020) og númer stöðva er sýnt við staðsetningu ársins 2020. Litur númers tákna átt og fjarlægð stöðvar frá álveri, líkt og á 72. Mynd (rautt: A 1–4, grænt: V 0–2, blátt: V 2–5, fjólublátt: V 5–12, gulbrúnt: S <2). Eigingildi 1. Áss var 0,15 og eigingildi 2. Áss var 0,12.	73
76. mynd. Niðurstöður DCA hnitunargreiningar sem sýnir staðsetningu 39 algengra æðplöntutegunda (meðalþekja >0,1%) eftir 1. Og 2. Ási hnitunar. Íslensk heiti tegunda eru sýnd í viðauka 22. Tengsl helstu umhverfis- og gróðurbreyta við niðurstöður hnitunar ($r^2 > 0,2$) eru sýnd með örvum, lengd þeirra segir til um styrkleika tengsla og áttin gefur vísbendingar um í hverju breytingar í stöðvum eru fólgnar.	74
77. mynd. Niðurstöður DCA hnitunargreiningar þar sem breytileiki í þekju helstu gróðurbreyta er sýndur fyrir hverja stöð. Þekja eykst með stærð hringja, þeir minnstu tákna enga þekju en þeir stærstu tákna mestu þekju sem viðkomandi tegundahópur hafði meðal allra stöðva rannsóknarinnar.....	75

78. mynd. Sýnatökustaðir árvatnssýna (W1–W4) og neysluvatnssýna (W5–W9) auk Grænavatns (W10) (Landmælingar Íslands, 2013 og 2015).	76
79. mynd. Ársmeðaltöl af styrk flúors í árvatnssýnum (W1–W4) og Grænavatni (W10) fyrir árin 2006 og 2015–2020.	77
80. mynd. Ársmeðaltöl af styrk flúors í neysluvatni á Eskifirði (W5 og W6) og Reyðarfirði (W7–W9) fyrir árin 2006 og 2015–2020.	77
81. mynd. Ársmeðaltöl af sýrustigi í árvatnssýnum fyrir árin 2006 og 2016–2020.	78
82. mynd. Ársmeðaltöl af sýrustigi í neysluvatni fyrir árin 2006 og 2015–2020.	78
83. mynd. Styrkur flúors í jarðvegi á níu sýnatökustöðum í Reyðarfirði í júlí 2020. Tekin voru fimm hlutsýni á hverri stöð (Landmælingar Íslands, 2013, 2019 og 2021).	81
84. mynd. Styrkur flúors (µg/g) í jarðvegi árin 2006, 2010, 2015 og 2020 í Reyðarfirði. Efri og neðri línur kassans tákna fyrstu og þriðju fjórðungsmörk. Efri og neðri línur kassans tákna fyrstu og þriðju fjórðungsmörk. Línur út frá kassa sýna 5% og 95% öryggismörk. Fylltir svartir hringir tákna útlaga og fylltir gráir hringir eru meðaltöl fyrir ár.	82
85. mynd Styrkur flúors (µg/g) í lausn úr skoluðum jarðvegi árin 2010, 2015 og 2020 í Reyðarfirði. Efri og neðri línur kassans tákna fyrstu og þriðju fjórðungsmörk. Efri og neðri línur kassans tákna fyrstu og þriðju fjórðungsmörk. Línur út frá kassa sýna 5% og 95% öryggismörk. Fylltir svartir hringir tákna útlaga og fylltir gráir hringir eru meðaltöl fyrir ár.	83
86. mynd. Styrkur klórs (µg/g) í lausn úr skoluðum jarðvegi árin 2006, 2010, 2015 og 2020. Efri og neðri línur kassans tákna fyrstu og þriðju fjórðungsmörk. Efri og neðri línur kassans tákna fyrstu og þriðju fjórðungsmörk. Línur út frá kassa sýna 5% og 95% öryggismörk. Fylltir svartir hringir tákna útlaga og fylltir gráir hringir eru meðaltöl fyrir ár.	84
87. mynd. Styrkur brennisteins (µg/g) í lausn úr skoluðum jarðvegi árið 2006, 2010, 2015 og 2020. Efri og neðri línur kassans tákna fyrstu og þriðju fjórðungsmörk. Efri og neðri línur kassans tákna fyrstu og þriðju fjórðungsmörk. Línur út frá kassa sýna 5% og 95% öryggismörk. Fylltir svartir hringir tákna útlaga og fylltir gráir hringir eru meðaltöl fyrir ár.	84
88. mynd. Meðalstyrkur flúors í kjálkabeinum lamba (með staðalskekkju) frá sex bæjum sem eiga fé sem gengur í Reyðarfirði og tveimur viðmiðunarbæjum (mynd unnin upp úr gögnum frá Þórunni Láru Þórarinsdóttur, 2021).	87
89. mynd. Meðalstyrkur flúors í kjálkabeinum lamba (með staðalskekkju) sem gengu í Reyðarfirði árin 2012–2020 (mynd unnin upp úr gögnum frá Ólöfu G. Sigurðardóttur 2012; 2014; 2015 og Þórunni Láru Þórarinsdóttur, 2016; 2017; 2018; 2019; 2020;2021).	87
90. mynd. Meðalstyrkur flúors í kjálkabeinum (með staðalskekkju) og meðalaldur fullorðins fjár frá fimm bæjum sem eiga fé sem gengur í Reyðarfirði og tveimur viðmiðunarbæjum (slátrun 2020) (mynd unnin upp úr gögnum frá Þórunni Láru Þórarinsdóttur, 2021).	88
91. mynd. Meðalstyrkur flúors í kjálkabeinum (með staðalskekkju) og meðalaldur fullorðins fjár sem gekk í Reyðarfirði (slátrun 2006 og 2012–2020). Línur sýna meðalstyrk flúors í kjálkabeinum og meðalaldur fullorðins fjár frá viðmiðunarbæjunum tveimur (slátrun 2015–2020), n=37 (mynd unnin upp úr gögnum frá Þórunni Láru Þórarinsdóttur, 2021).	89
92. mynd. Staðsetning sýnatökustaða kræklinga úr fjöru (K1– K14) og burstaorma (B16) úr botnseti í Reyðarfirði árið 2020 (Landmælingar Íslands, 2013, 2019 og 2021).	90
93. mynd. Lengd kræklinga (mm) af 13 stöðum í Reyðarfirði árið 2020. Efri og neðri línur kassans tákna fyrstu og þriðju fjórðungsmörk. Línur út frá kassa sýna 5% og 95% öryggismörk. Fylltir svartir hringir tákna útlaga og fylltir gulir hringir eru meðaltöl fyrir stöð.	91
94. mynd. Heildarþyngd kræklinga af 14 stöðum í Reyðarfirði árið 2020. Efri og neðri línur kassans tákna fyrstu og þriðju fjórðungsmörk. Línur út frá kassa sýna 5% og 95% öryggismörk. Fylltir svartir hringir tákna útlaga og fylltir gulir hringir eru meðaltöl fyrir stöð.	92
95. mynd. Holdþyngd kræklinga af 13 stöðum í Reyðarfirði árið 2020. Efri og neðri línur kassans tákna fyrstu og þriðju fjórðungsmörk. Línur út frá kassa sýna 5% og 95% öryggismörk. Fylltir svartir hringir tákna útlaga og fylltir gulir hringir eru meðaltöl fyrir stöð.	92
96. mynd. Styrkur arsens (As) í mjúkvöðva kræklinga á þurrvigtargrunni í Reyðarfirði.	93
97. mynd. Styrkur kadmíns (Cd) í mjúkvöðva kræklinga á votvigtargrunni í Reyðarfirði.	94
98. mynd. Styrkur kadmíns (Cd) í mjúkvöðva kræklinga á þurrvigtargrunni.	94
99. mynd. Styrkur króms (Cr) í mjúkvöðva kræklinga á þurrvigtargrunni.	95
100. mynd. Styrkur nikkels (Ni) í mjúkvöðva kræklinga á þurrvigtargrunni.	95

101. mynd. Styrkur kopars (Cu) í mjúkvöðva kræklinga á þurrvigtagrunni.	96
102. mynd. Styrkur kvikasilfurs (Hg) í mjúkvöðva kræklinga á þurrvigtagrunni.	96
103. mynd. Styrkur kvikasilfurs (Hg) í mjúkvöðva kræklinga í votvigt.	97
104. mynd. Styrkur blýs (Pb) í mjúkvöðva kræklinga á þurrvigtagrunni. Lægstu viðmið Norðmanna og íslensk neyslviðmið eru miklu hærri en þessar mælingar og því ekki sýnd.	98
105. mynd. Styrkur sinks (Zn) í mjúkvöðva kræklinga á þurrvigtagrunni.	99
106. mynd. Styrkur PAH efna (ng/g votvigt) yfir magngreiningarmörkum í mjúkvöðva kræklinga árið 2020 í Reyðarfirði. Ekki eru sýnd gildi ef styrkur efnisins mælist undir magngreiningarmörkum.	99
107. mynd. Styrkur benzo(a)pyrene (ng/g votvigt) í mjúkvöðva kræklinga á 13 stöðum í Reyðarfirði árið 2020. K1–K14 vísar í sýnatökustöðvar 1–14 fyrir krækling.	100
108. mynd. Styrkur phenanthrene (ng/g votvigt) í mjúkvöðva kræklinga af 13 stöðum í Reyðarfirði árið 2020. K1–K14 vísar í sýnatökustöðvar 1–14 fyrir krækling.	100
109. mynd. Styrkur acenaphthylene (ng/g votvigt) í mjúkvöðva kræklinga árið 2020 í Reyðarfirði. Ekki eru sýnd gildi ef styrkur efnisins mælist undir greiningarmörkum.	101
110. mynd. Styrkur benzo(b)fluoranthene (ng/g votvigt) í mjúkvöðva kræklinga í Reyðarfirði árið 2020. Gildi eru ekki sýnd ef styrkurinn var undir greiningarmörkum. K1–K14 vísar í sýnatökustöðvar 1–14 fyrir krækling. Ekki var unnt að safna sýnum á stöð K9.	101
111. mynd. Styrkur fluoranthene (ng/g votvigt) í mjúkvöðva kræklinga árið 2020 í Reyðarfirði. Ekki eru sýnd gildi ef styrkur efnisins mælist undir greiningarmörkum.	102
112. mynd. Styrkur pyrene (ng/g votvigt) í mjúkvöðva kræklinga í Reyðarfirði árið 2020. Gildi eru ekki sýnd ef styrkurinn var undir greiningarmörkum. K1–K14 vísar í sýnatökustöðvar 1–14 fyrir krækling. Ekki var unnt að safna sýnum á stöð K9.	102
113. mynd. Summa PAH15 (fyrir utan naphthalene) á 13 sýnatökustöðum í Reyðarfirði árin 2010, 2015 og 2020.	103

Töfluskrá

1. tafla. Veðurgögn, meðaltöl fyrir árin 2020 aftur til ársins 2006.	13
2. tafla. Meðalstyrkur þungmálma ($\mu\text{g/g}$ blautvigt) í rabarbarablöðum árin 2013 – 2020.	48
3. tafla. Meðalstyrkur þungmálma ($\mu\text{g/g}$ blautvigt) í rabarbarastilkum árin 2013 – 2020. <LOD merkir að styrkur þungmálms hefur mælst undir greiningarmörkum.	48
4. tafla. Breyttur Hult-Sernander kvarði sem var notaður við þekjumælingar.	65
5. tafla. Styrkur PAH í vatnssýnum fyrir árin 2006 og 2015–2020.	79
6. tafla. Meðalstyrkur brennisteins (mg S/L) í árvatni, neysluvatni og Grænavatni árin 2015–2020.	79
7. tafla. Meðaltals basarýmd (mg CaCO_3/L) í árvatni, neysluvatni og Grænavatni árin 2015–2020.	80
8. tafla. Meðaltals leiðni ($\mu\text{S/cm}$) í árvatni, neysluvatni og Grænavatni árin 2015–2020.	80
9. tafla. Yfirlit yfir staðsetningar sýnatökustöðva kræklinga (K1–K14) og burstaorma (B16), dags sýnatöku og söfnunartíma.	90
10. tafla. Styrkur 16 PAH efna í ornum og pípum burstaorma á einni stöð í Reyðarfirði árin 2010, 2015 og 2020. Sýnd er einnig summa 16 PAH efna án og með magngreiningarmörkum (LOQ = Limit of Quantification). Gildi árið 2010 eru fengin úr skýrslu HRV (HRV, 2010).	103

Viðaukaskrá

- Viðauki 1. Niðurstöður sjálfvirkra mælinga í loftgæðastöðvum 2020.
- Viðauki 2. Niðurstöður mælinga á flúor í lofti árið 2020.
- Viðauki 3. Niðurstöður mælinga á PAH-16 í svifrykksíum árið 2020.
- Viðauki 4. Niðurstöður efnagreininga í úrkomu árið 2020.
- Viðauki 5. Samantekt hágilda á flúor, brennisteinstvíoxíði og svifryki í lofti árið 2020.
- Viðauki 6. Niðurstöður mælinga á styrk flúors í grasi fyrir árið 2020.
- Viðauki 7. Niðurstöður mælinga á styrk flúors í mosa, fléttum og bláberjalaufi fyrir árið 2020.
- Viðauki 8. Niðurstöður mælinga á styrk flúors í laufum reyniviðar árið 2020.
- Viðauki 9. Niðurstöður mælinga á styrk flúors í barrnállum árið 2020.
- Viðauki 10. Niðurstöður mælinga á styrk flúors í rabarbara, kartöflum og salati auk niðurstaða mælinga á styrk þungmálma í rabarbara árið 2020.
- Viðauki 11. Niðurstöður mælinga á styrk flúors í bláberjum og krækiberjum árið 2020.
- Viðauki 12. Niðurstöður mælinga á styrk flúors í heysýnum árið 2020.
- Viðauki 13. Skrá yfir allar ljósmyndir teknar í Reyðarfirði árið 2020.
- Viðauki 14. Samanburður ljósmynda af fléttureitum árin 2005, 2015 og 2020.
- Viðauki 15. Niðurstöður mælinga á ársvexti furu í Reyðarfirði 2020 ásamt samantekt fyrri ára.
- Viðauki 16. Niðurstöður efnamælinga í vatnssýnum árið 2020.
- Viðauki 17. Sjónræn skoðun á búfénaði í Reyðarfirði 2020. Skýrsla dýralæknis og myndaskrá.
- Viðauki 18. Niðurstöður efnagreininga á flúor í kjálkum og sjónræn skoðun tanna og beina í sláturfé sem gekk í Reyðarfirði. Skýrsla dýralæknis 2020.
- Viðauki 19. Niðurstöður mælinga á flúor, klór og brennisteini í jarðvegi árið 2020.
- Viðauki 20. Niðurstöður efnagreininga á þungmálmum í kræklingi PAH-efnum í kræklingi og botndýrum árið 2020.
- Viðauki 21. Niðurstöður þekjumats og tegundaskráningar í rannsóknarreitum í júlí árið 2020 í Reyðarfirði og íslensk og latnesk tegundaheiti plantna.

1 Inngangur

Samkvæmt starfsleyfi Alcoa Fjarðaáls fer reglubundin umhverfisvöktun fram í grennd við álverið í samræmi við vöktunaráætlun sem samþykkt er af Umhverfisstofnun (Umhverfisstofnun, 2010; Alcoa Fjarðaál, 2013). Álver Alcoa Fjarðaáls við Reyðarfjörð var gangsett í apríl 2007 og var komið í fulla framleiðslu ári síðar. Grunnrannsóknir fóru fram á svæðinu á árunum 2004–2006, áður en starfsemi álversins hófst og hefur vöktun verið haldið áfram ár hvert síðan þá.

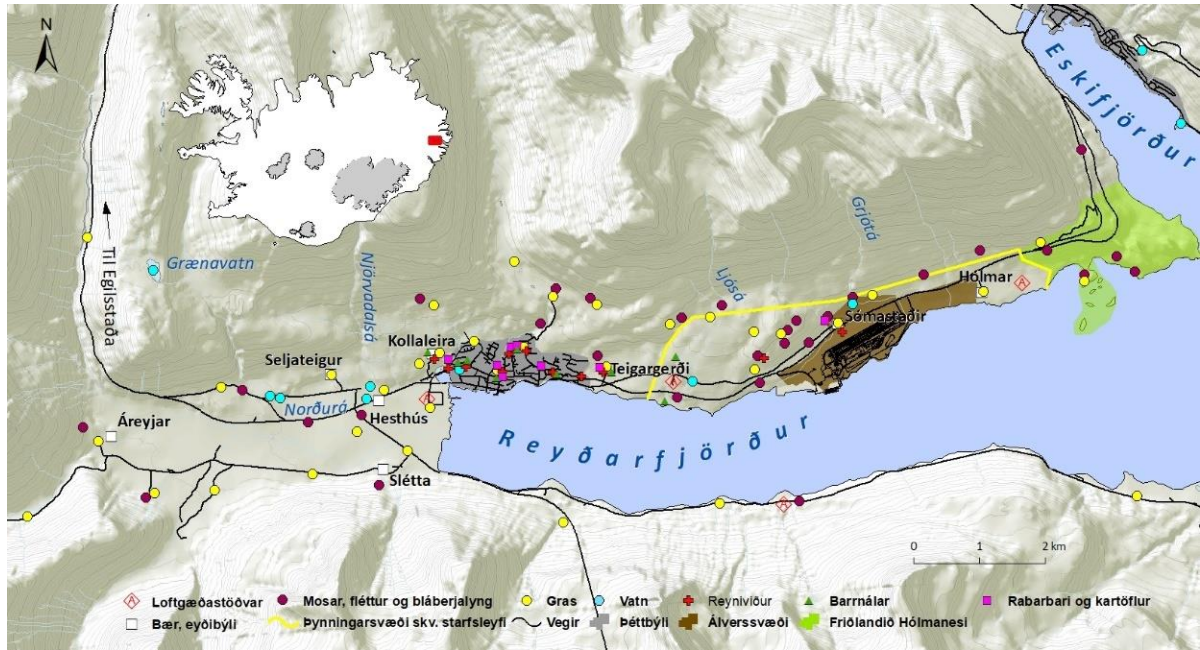
Tilgangur umhverfisvöktunarinnar er að meta það álag á umhverfið sem starfsemi álversins veldur (Umhverfisstofnun, 2010).

Umhverfisvöktuninni árið 2020 er skipt í eftirfarandi verkþætti:

- Loftgæða- og veðurmælingar
- Sýnatökur og efnamælingar gróðurs
- Sjónrænt mat á heilbrigði gróðurs
- Mælingar á vexti furutrjáa
- Sýnatökur og efnamælingar yfirborðsvatns
- Sjónræn skoðun á búfánaði auk efnagreininga og sjónræns mats á kjálkum sauðfjár
- Þekja og tegundasamsetning gróðurs
- Sýnataka og efnamælingar á jarðvegi
- Sýnataka og efnamælingar á krækling og burstaormum

Árið 2020 sá Náttúrustofa Austurlands um vöktun og sýnatöku á gróðri, yfirborðsvatni og kjálkum af sláturfé, jarðvegi, krækling og burstaormum en Efnagreiningar, Nýsköpunarmiðstöð Íslands, önnuðust efnagreiningar á gróðri, vatni og kjálkum sauðfjár, jarðvegi, kræklingi, burstaormum auk mælinga á loftgæðum og veðurfari. Mælingar á fjölhringa aromatískum vetniskolefnum (PAH) í vatni voru framkvæmdar hjá Eurofins GfA Lab Service GmbH í Þýskalandi en í kræklingi og burstaormum hjá Rannsóknastofu í Lyfja- og Eiturefnafræði hjá Háskóla Íslands. Yfirlit yfir alla fasta vöktunarstaði umhverfisvöktunarinnar árið 2020 má sjá á 1. mynd. Ekki eru sýndar staðsetningar bæja utan Reyðarfjarðar þar sem sýnum af sláturfé var safnað til mælinga á flúor í kjálkum.

Hér eru birtar niðurstöður úr öllum verkþáttum í umhverfisvöktuninni árið 2020. Niðurstöður eru bornar saman við niðurstöður fyrri rekstrarára álversins sem og viðmiðunarmörk þar sem það á við. Í fyrsta kafla er farið yfir bakgrunn og tilgang umhverfisvöktunar álvers Alcoa Fjarðaáls og hverjir koma að henni. Í köflum tvö til tíu eru birtar niðurstöður vöktunar á loftgæðum og veðurfari, gróðri, yfirborðsvatni, búfánaði og krækling. Að lokum eru helstu niðurstöður dregnar saman. Starfsmenn Nýsköpunarmiðstöðvar Íslands skrifuðu kafla tvö og sex en starfsmenn Náttúrustofu Austurlands skrifuðu aðra kafla. Kafli níu byggir á skýrslum dýralækna. Skýrslunni fylgja 21 viðauki sem prentaðir eru í sérstakri skýrslu. Þar má finna ítarlegri upplýsingar um umhverfisvöktunina.



1. mynd. Yfirlitskort sem sýnir staðsetningu allra fastra sýnatökustaða í Reyðarfirði og Eskifirði árið 2020 (Landmælingar Íslands, 2013 og 2015).

2 Loftgæði

2.1 Inngangur

2.1.1 Loftgæðamælingar í Reyðarfirði

Fjallað er um niðurstöður loftgæðamælinga fyrir árið 2020. Mælingar þessar eru hluti af umhverfisrannsóknnum vegna álvers Alcoa Fjarðaáls í Reyðarfirði. Mælingarnar eru unnar af Efnagreiningum, Nýsköpunarmiðstöð Íslands, fyrir Alcoa Fjarðaál hf.

2.1.2 Mælistöðvar og mælipættir

Mælt var á fjórum mælistöðvum, eins og hefur verið gert frá október 2006, þegar stöðvum var fjölgað úr þremur í fjórar. Mælistöðvarnar (1–4) eru sem hér segir: Stöð 1 er á Hjallaleiru sunnan og vestan við Búðareyri gegnt gámastöð, stöð 2 er á gamla urðunarstaðnum við Ljósá milli Búðareyrar og Sómastaða, stöð 3 er á Hólum um 0,6 km austan við bæjarhúsin og stöð 4 er á Miðstrandareyri sunnan fjarðarins gegnt Sómastaðalandi, þar sem nú er álver Alcoa Fjarðaáls (1. mynd).

Mælipættir í lofti eru: Svifryk, flúoríð og brennisteinstvíoxíð og PAH sambönd. Brennisteinstvíoxíðmælar eru sjálfvirkir og frá þeim er skráð meðaltal á tíu mínútna fresti. Flúor er safnað á síur, 1 og 5 daga í senn. Svifryki er safnað á 6 daga fresti á síur, sólarhring í senn. Í einni slíkri síu í hverjum mánuði frá hverri stöð er mælt flúoríð í ryki og PAH sambönd, alls 48 mælingar árlega. Úrkomu er safnað og fylgst með pH vikulega. Einnig er mælt klóríð, brennisteinn og flúoríð í einu úrkomusýni (vikusýni) í hverjum mánuði frá hverri stöð. Vind- og veðurgögnum (10 mín. meðaltöl) er safnað á öllum stöðvum, þ.e. vindátt, vindhraða, hitastigi, rakastigi og úrkomumagni.

Rekstur búnaðar gekk óvenju misjafnlega. Ekki varð komist að stöð 3 fyrr en seint í mars, þegar gert hafði verið við vegarslóða sem grófst í sundur á nokkrum stöðum vegna vatnavaxta haustið áður og engin gögn komu frá stöðinni þennan tíma. Vindmælir á stöð 1 var ekki í lagi framan af ári en var lagfærður um mitt sumar. Vindstefnugögn fyrir fyrri hluta ársins á stöðinni eru búin til úr gögnum frá stöð 2 og 4. Ítrekaðar bilanir voru í SO₂ mæli á stöð 3 á árinu og gildi óeðlilega lág og var þeim mæli skipt út í lok ágúst og mælir af stöð 4 settur í staðinn. Mælir var svo tekinn til viðgerðar. Mæligögn SO₂ frá stöð 3 verða að teljast vafasöm fram að september. Um 3 mánuði vantar þá í SO₂ gögn á stöð 4 (sept-nóv), vegna bilunarinnar í mæli. Þá bilaði dæla við flúorsafnara í maí og var viðgerð til bráðabirgða í júní, en bilaði endanlega og tók langan tíma að útvega nýja vegna 4 mánaða langs afgreiðslufrests vegna Covid faraldurs að sögn framleiðanda.

2.2 Mælingar og mæliaðferðir

Varðandi mæliaðferð á svifryki og mælingar á brennisteinstvíoxíði er vísað í handbækur með mælitækjum sem notuð eru og kvörðunarskýrslur (Hermann Þórðarson, 2020). Mælingar eru gerðar í sérhæfðum mælibúnaði sem ætlaður er til þessara nota og uppfyllir skilyrði reglugerðar nr. 920/2016, 10. gr., um mat á styrk brennisteinsdíoxíðs og svifryks (PM₁₀).

Skilgreiningar

Svifryk PM₁₀	Svifryk í lofti í µg/m ³ , agnir sem eru minni en 10 µm í þvermál.
Svifryk PM_{2,5}	Svifryk í lofti í µg/m ³ , agnir sem eru minni en 2,5 µm í þvermál.

Flúor í náttúrulegu ástandi er yfirleitt á formi flúoríðs, getur verið sem gastegundin vetnisflúoríð, HF eða sem rykkennd sölt eða steindir, s.s. CaF₂. Í skýrslunni er flúor mældur og gefinn upp sem flúorhlutinn eingöngu, nema þar sem starfsleyfi krefst samanburðar og umreiknings til gaskennds vetnisflúoríðs (HF).

Flúor rykkendur	Flúor sem mælist sem rykkendur eða bundinn ryki.
F gaskenndur	Flúor sem mælist gaskenndur og óbundinn ryki.
Flúor alls	Summa rykkennds og gaskennds flúoríðs.
Vetnisflúoríð	HF, gaskennt vetnisflúoríð. (Notað sem viðmið í starfsleyfi, þar sem umreikna skal mælt gaskennt flúoríð F sem vetnisflúoríð HF).
SO₂	Brennisteinstvíoxíð
PAH	Fjölhringa arómatísk vetniskolefni (polycyclic aromatic hydrocarbons).
Umhverfismörk	Leyfileg hámarksgildi mengunar sett í því skyni að draga úr eða koma í veg fyrir skaðleg áhrif á heilsu manna og dýra. Umhverfismörk geta átt við umhverfið í heild eða tiltekna þætti

þess (s.s. heilsuverndarmörk, gróðurverndarmörk) og tiltekin tímabil (s.s. sólarhring, árstíð eða ár).

Rafræn gögn

Nýtt var gagnasafn af vefsíðu Vista og 10 mínútna grunnmælingar frá sjálfvirkum mælibúnaði, eins og þær liggja fyrir á vefsíðunni, voru notaðar sem grunnur fyrir frekari úrvinnslu. Farið er yfir gögnin og vinsað burtu það sem ekki tilheyrir eðlilegri mælingu, svo sem toppar vegna kvarðana, frávik vegna bilana eða prófunar á tækjabúnaði. Neikvæð gildi sem koma fram vegna óvissuflökts í mælingu eru látin standa, enda eðlilegur hluti mælingar. Ef þörf krefur eru gerðar lítilsháttar leiðréttingar á núllstöðu mælinga SO₂ og þær færðar til samræmis yfir árið. Þessar leiðréttingar eru oft innan skammtímagreiningarmarka tækjanna en eru greinanlegar yfir lengri tímabil og geta skipt máli þegar meðalmæligildi eru lág. Gerðar voru lítils háttar leiðréttingar af þessu tagi á núllstöðu mælinga SO₂ árið 2020.

2.3 Niðurstöður

Samantekt yfir allar niðurstöður eftir mánuðum er að finna í viðaukum 1–5.

2.3.1 Veðurgögn og veðurfar ársins

Meðalhiti í Reyðarfirði árið 2020 mældist 4,4°C og meðalvindhraði 4,5 m/s. Hitastigsmeðaltalið var með lægsta móti, eins og 2019, aðeins 2015 hefur mælst kaldara frá árinu 2006 (1. tafla). Vindur var heldur yfir meðallagi. Árið var nokkuð úrkomusamt, í febrúar gerði bæði snjókomu og úrkomu og á haustmánuðum voru margir votviðrasamir kaflar og gríðarúrkomudagar í desember. Árið var þó langt í frá jafn úrkomusamt og árið 2018.

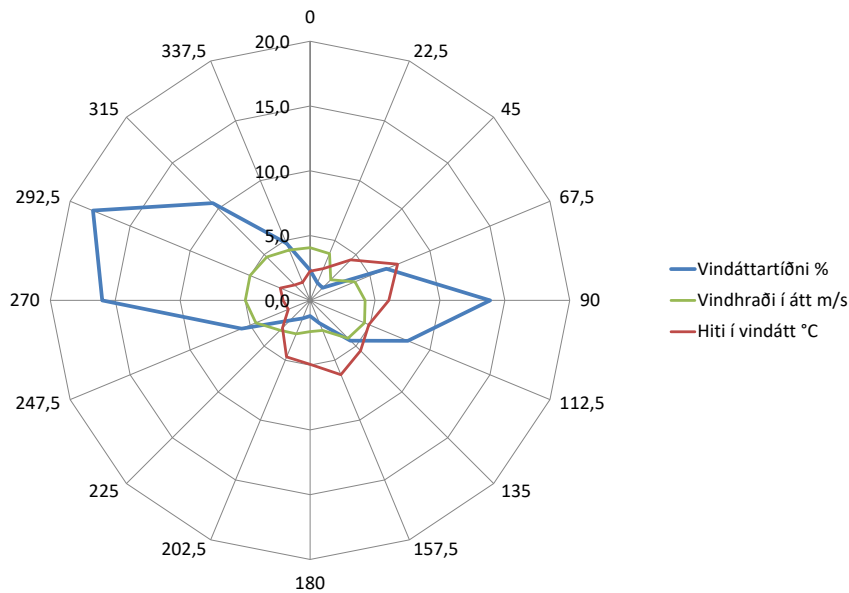
1. tafla. Veðurgögn, meðaltöl fyrir árin 2020 aftur til ársins 2006.

Veðurgögn meðaltöl						
	Ár	Meðalhiti	Meðalvindhraði	Ár	Meðalhiti	Meðalvindhraði
		°C	m/s		°C	m/s
	2020	4,1	4,5			
	2019	4,1	4,2	2012	4,2	4,4
	2018	4,7	4,0	2011	4,5	4,6
Reyðarfjörður	2017	4,7	4,1	2010	4,1	4,0
allar stöðvar	2016	4,8	4,0	2009	4,6	4,1
	2015	4,0	4,6	2008	4,3	4,2
	2014	5,3	4,0	2007	4,4	5,2
	2013	4,3	4,2	2006	4,7	4,3

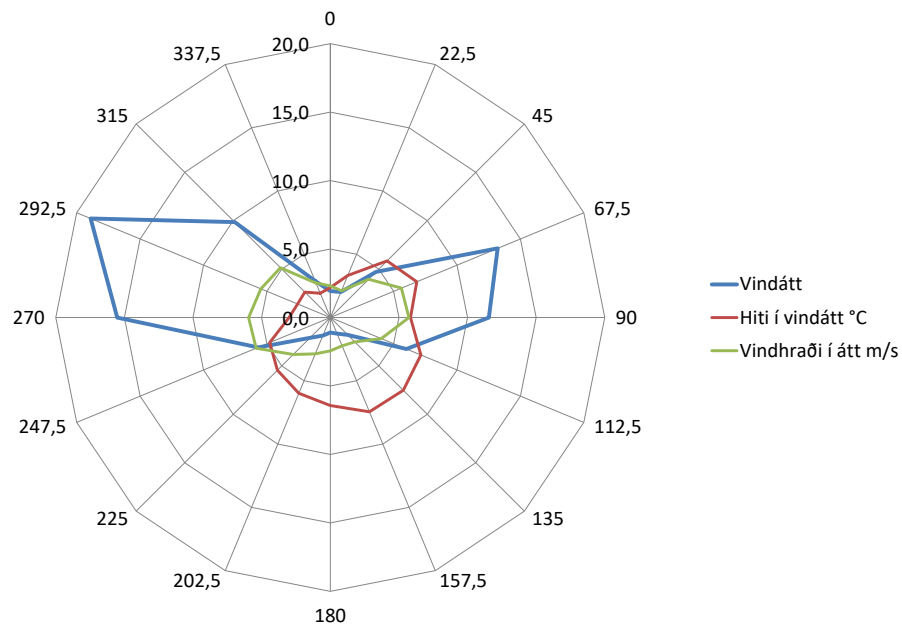
Árið 2020 á landinu var illviðrasamt, meðalvindhraði óvenju hár og óveðursdagar margir. Ársmeðalhiti var lítillega undir meðaltali undanfarinna ára. Að tiltölu var hlýrra á austan-

og norðaustanverðu landinu en svalara suðvestan- og vestanlands. Árið var úrkomusamt norðan- og austanlands, en nær meðallagi suðvestanlands.

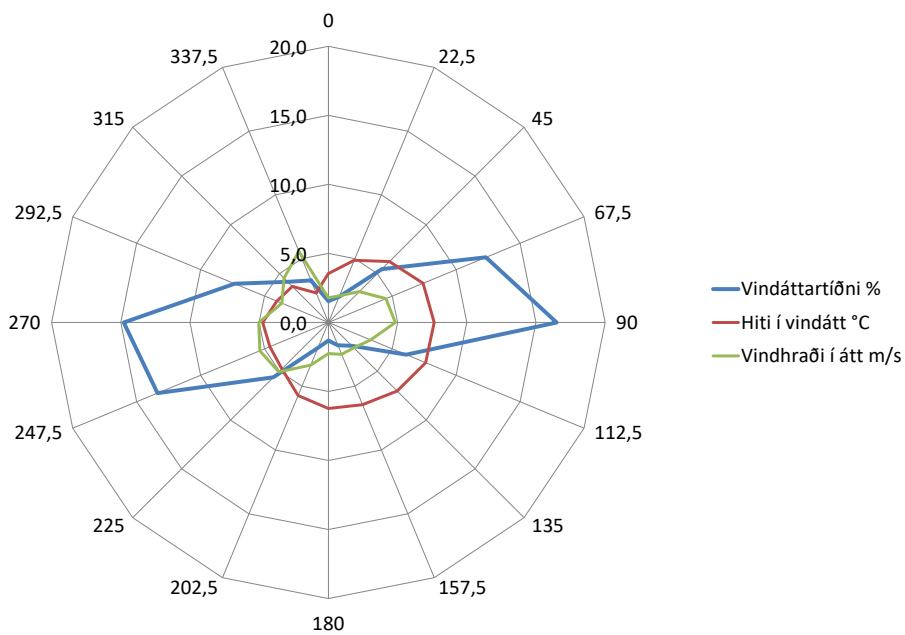
Vindrós í Reyðarfirði er einkennandi fyrir innlögn og útlögn í firðinum, austan- og vestanáttir eru langalgengastar og ráðandi 75% af tímanum. Sjá má vindrósir frá mælistöðvunum fjórum á myndum 2–5 hér undir.



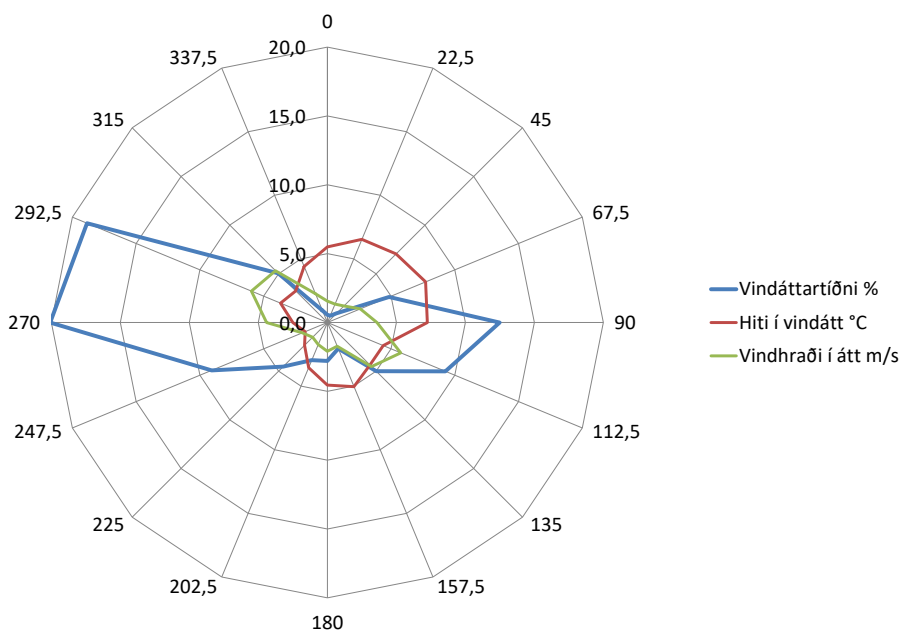
2. mynd. Vindrós mælistöð 1 Reyðarfirði, 2020 (10 mín). Vindgögn fyrri hluta árs endurgerð frá stöð 2 og stöð 4.



3. mynd. Vindrós mælistöð 2 Reyðarfirði, allar mælingar 2020 (10 mín).



4. mynd. Vindrós mælistöð 3 Reyðarfirði, allar mælingar 2020 (10 mín).



5. mynd. Vindrós mælistöð 4 Reyðarfirði, allar mælingar 2020 (10 mín).

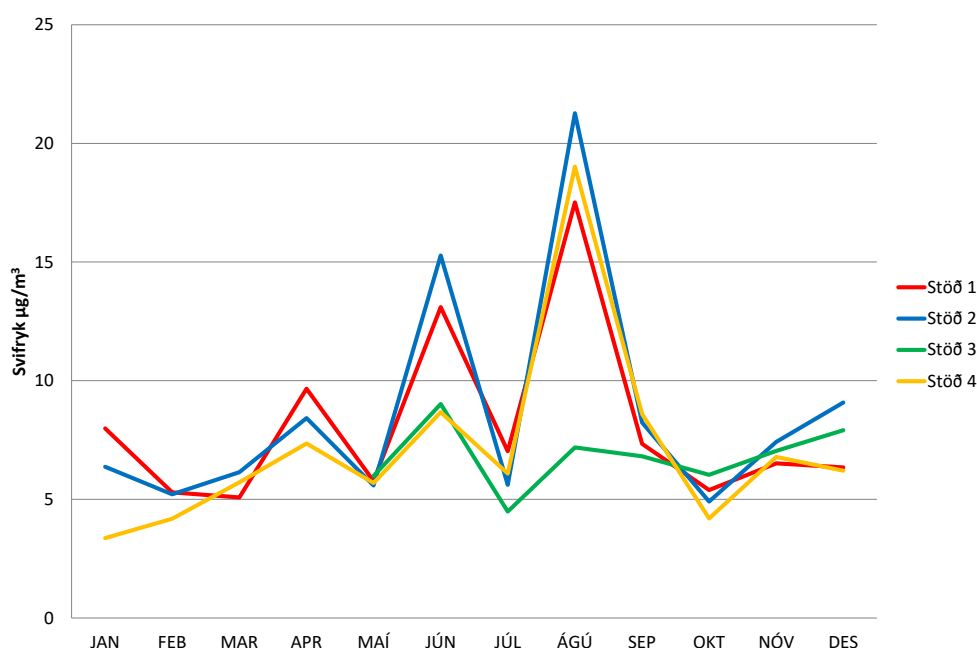
2.3.2 Svifryk, söfnun á síur (PM₁₀ Hi-vol)

Svifryki er safnað á sex daga fresti á síur, sólarhring í senn. Mæld mánaðarmeðaltöl ársins 2020 ásamt ársmeðaltölum stöðvanna árin 2005 til 2020 eru sýnd á 6. og 7. mynd.

Heildarmeðaltal svifryks mældist 7,7 µg/m³ og heldur lægra en árið áður. Þetta er lítillega hærra en á árabílinu 2009–2013 þegar svifryk var með lægsta mótí (5 ára heildarmeðaltal 7,1 µg/m³). Dagar þar sem svifryk fór yfir heilsuverndarmörk (50 µg/m³-dag) mældist einn á árinu og mældust þá rykgildi um og yfir 70 µg/m³. Það gerðist 14. ágúst í miklum

þurrki og hlýindum og gerði yfir 20°C hita yfir hádaginn. Mest var gola þann dag en þó með stöku lognpollum, mismunandi eftir tíma dags og stað, í breytilegri vestanátt og stuttum umskiptum í innlögn um miðjan daginn. Ekki komu fram hágildi á SO₂ þennan dag og ljóst að þetta rykhágildi tengist ekki álverinu, heldur fremur ryki ættuðu af hálendi landsins.

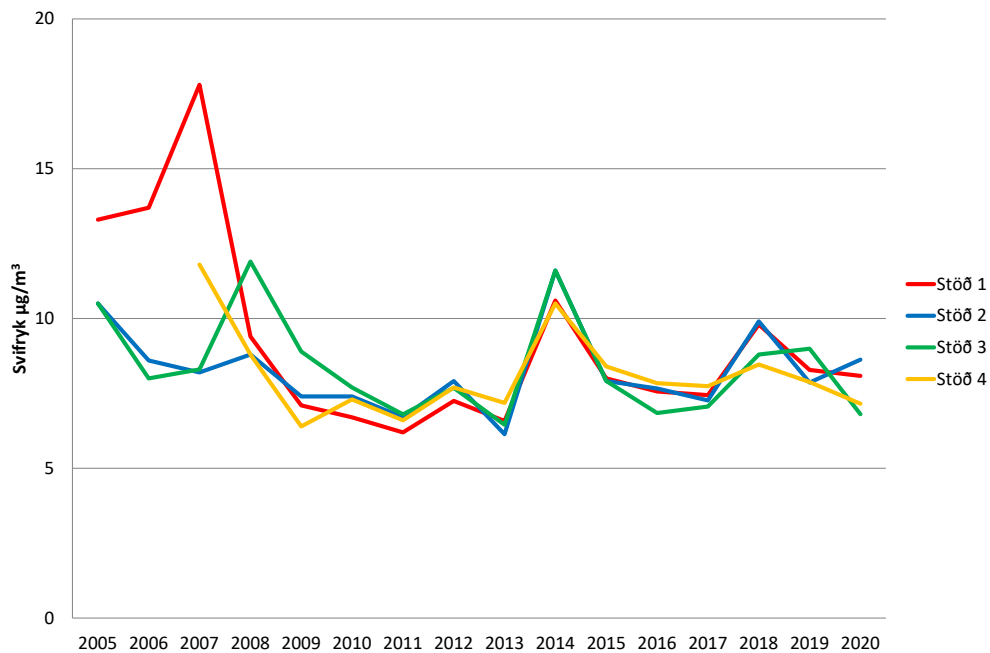
Júní og ágúst voru hæstir mánaða í svifryki og úrkoma var sérlega lítil maí til ágúst. Lítils háttar munur kom fram á meðaltali á stöðvunum, hæst mældist það á stöð 2, 8,5 µg/m³ og lægst á stöð 3, 6,9 µg/m³. Þess ber að gæta að rykgildi vantar frá stöð 3 fyrsta hluta ársins þegar ekki var fært að stöðinni, en svifryk getur verið hærra á þeirri stöð yfir vetrarmánuðina, þegar útlögn er algengari en innlögn. Þá vantaði háa daginn í ágúst á stöð 3 vegna bilunar. Hefði sá dagur mælst á stöð 3, svipaður og á hinum stöðvunum sem er líklegt, þá hefði ársmeðaltal á þeirri stöð orðið álíka og á hinum.



6. mynd. Svifryk, mánaðarmeðaltöl, allar stöðvar 2020.

Þrjár meginástæður hafa verið fyrir hærra svifryki í Reyðarfirði, þurrviðri, framkvæmdir s.s. við vegagerð og byggingar og svo öskufall frá eldgosum. Þá kann svifryk af hálendinu að leggja til svifryks í Reyðarfirði. Fyrstu árin sem mælt var (2005–2008) mældist svifryk allhátt í Reyðarfirði vegna framkvæmda. Árið 2014 gætti öskuryks frá eldgosi í Holuhrauni. Árið 2018 mældist svifryk með hærra móti og tilfallandi rok af hálendinu skýrði það að hluta (7. mynd).

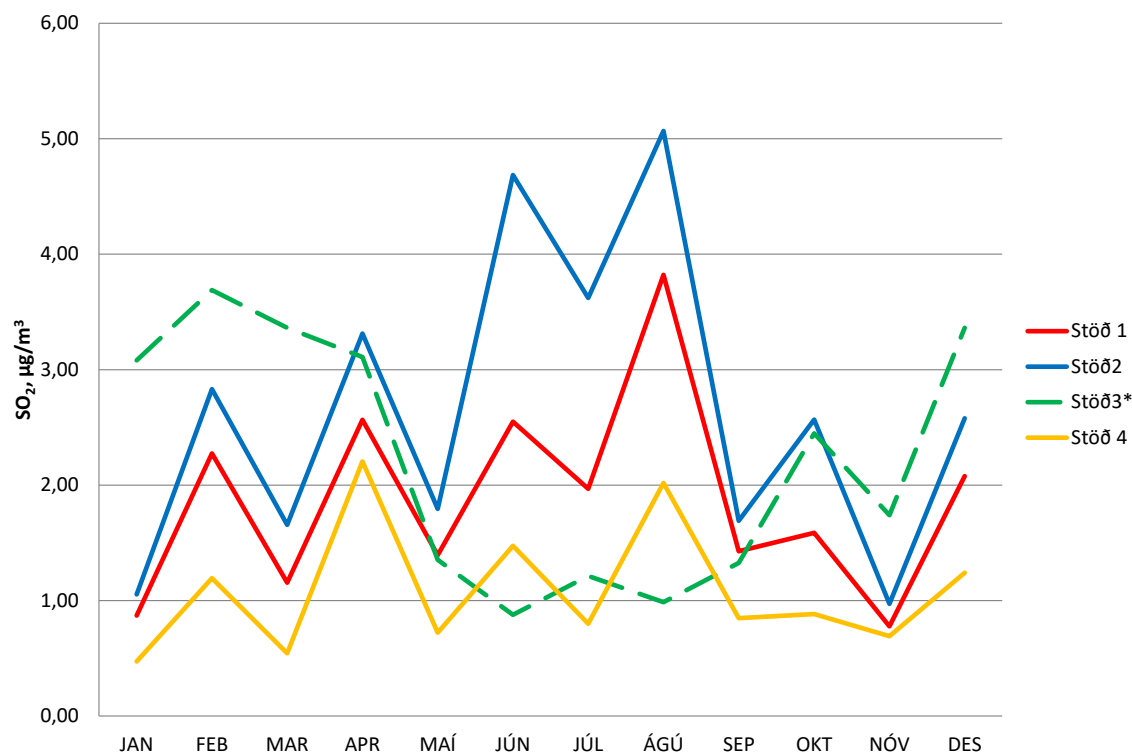
Árið 2020 má teljast í meðallagi og innan eðlilegs breytileika. Einn dagur skar sig algjörlega úr, áður nefndur 14. ágúst en yfir árið gerði þó nokkra daga um eða yfir 20 µg/m³ (7. mynd).



7. mynd. Svifryk, ársmeðaltöl 2005–2020.

2.3.3 Brennisteinstvíoxíð í lofti

Mánaðarmeðaltöl á SO₂ í lofti má sjá á 8. mynd hér undir.



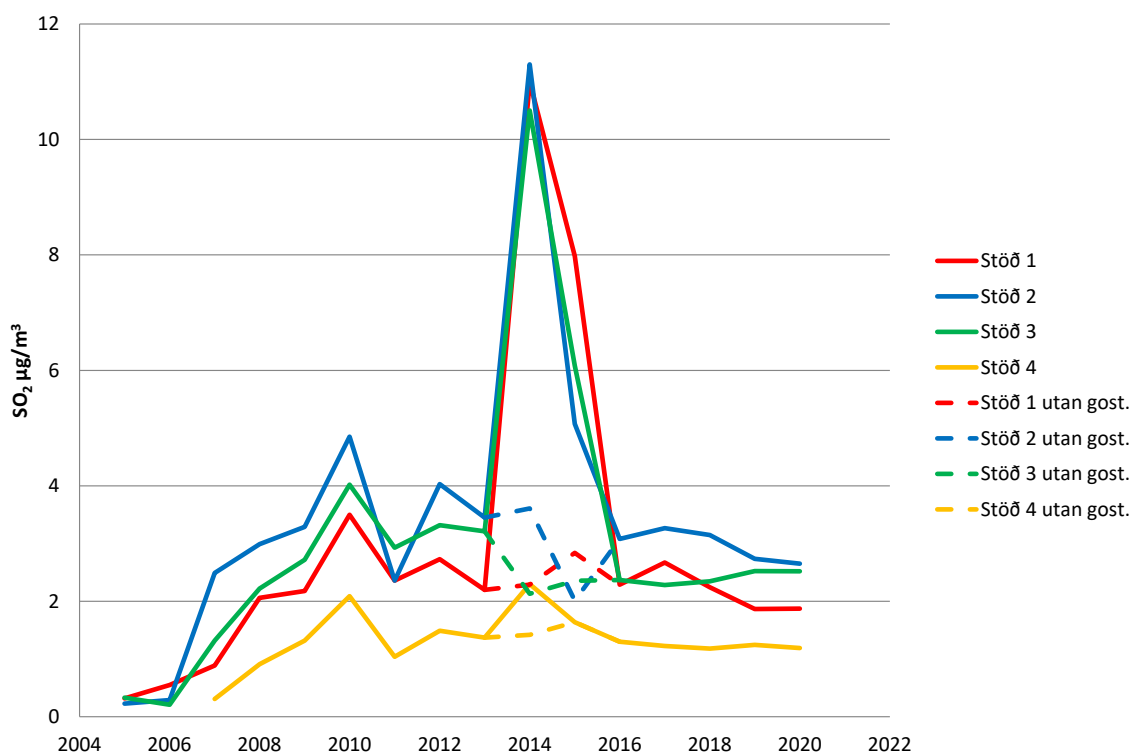
8. mynd. Brennisteinstvíoxíð, allar stöðvar 2020.

Mánaðarmeðaltöl brennisteinstvíoxíðs fylgja nokkuð hefðbundnu sniði, meginsveiflur fylgjast nokkuð að á stöðvunum og hæst mælist á stöð 2 að jafnaði og lægst á stöð 4 sunnan fjarðar. Notast var við meðalspágildislíkan fyrir gögn sem vantaði stóran hluta

ársins á stöð 3 fyrir þessa mynd. Líkanið byggist á áhrifum hitastigs, vindhraða og vindáttar á mæligildi SO_2 og spáir gróflega fyrir dagsgildum eftir þessum þremur breytum og um meginlínur mánaða. Mælingar á stöð 3 geta fylgt nokkuð öðru sniði en á hinum þremur, þar sem hún er austan megin álversins og þar mælist oft hærra að vetri til þegar útlögn er algengari en innlögn og þá lægra að sumri. Gögn vantar frá stöð 4 sept-nóv og er einnig notast við spá um þau. Spágögnin er einungis notuð fyrir þessa mynd, en ekki að öðru leyti, s.s. í mati eða meðaltalsútreikningi.

Meðaltöl brennisteinstvíoxíðs á árinu 2020 reyndust svipuð og árið 2019 og áþekkt og mörg undanfarin ár eða alveg frá árinu 2011 ef gostímabilið á árunum 2014 og 2015 (þegar mengunar frá gosinu í Holuhrauni gætti) er undanskilið. Á mynd 3b má sjá ársmeðaltöl á stöðvunum frá árinu 2005. Brotnar línur sýna meðaltölin ef gostímabilið er undanskilið.

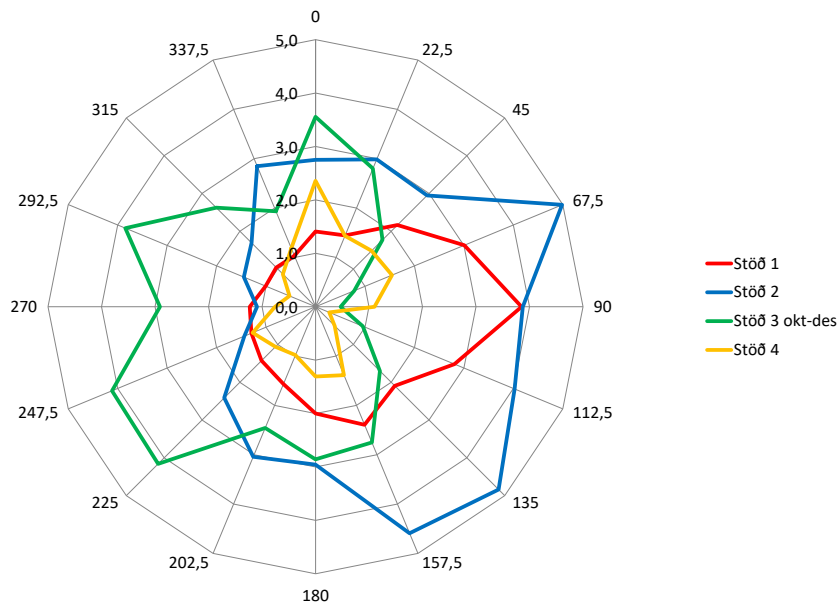
Enginn dagur fór yfir gróðurverndarmörk ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) á árinu. Hæsta dagsgildi mældist $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ á stöð 2 í breytilegum norðvestlægum andvara og svolitlu frosti þ. 4. febrúar sem af og til sló í austanátt og há gildi má líklega rekja til hitahvarfa í lofti. Hæstu dagsgildi á stöð 1 ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$) mældist 26. ágúst og stöð 3 ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$) mældist 8. desember og stöð 4 ($16 \mu\text{g}/\text{m}^3$) mældist 27. apríl. Yfirleitt má rekja þessi hágildi til hægviðris og vindáttar sem stendur á stöð yfir daginn. Á stöð 2 mældist klukkustundargildi hæst $69 \mu\text{g}/\text{m}^3$ kl. 9 þ. 26. ágúst í suðaustan kuli og nokkrum hlýindum. Jafnhátt mældist hæst $69 \mu\text{g}/\text{m}^3$ á stöð 4 í hægum breytilegum austnorðaustan andvara þ. 19. júní kl. 8. Á stöð 1 mældist hæsta klukkustundargildi $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ kl. 11 þ. 30. júlí í norðaustan andvara. Á stöð 3 mældist hæsta klukkustundargildi $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ þ. 8. desember kl. 23 í vestan andvara. Öll gildin eru undir heilsuverndarmörkum ($350 \mu\text{g}/\text{m}^3$).



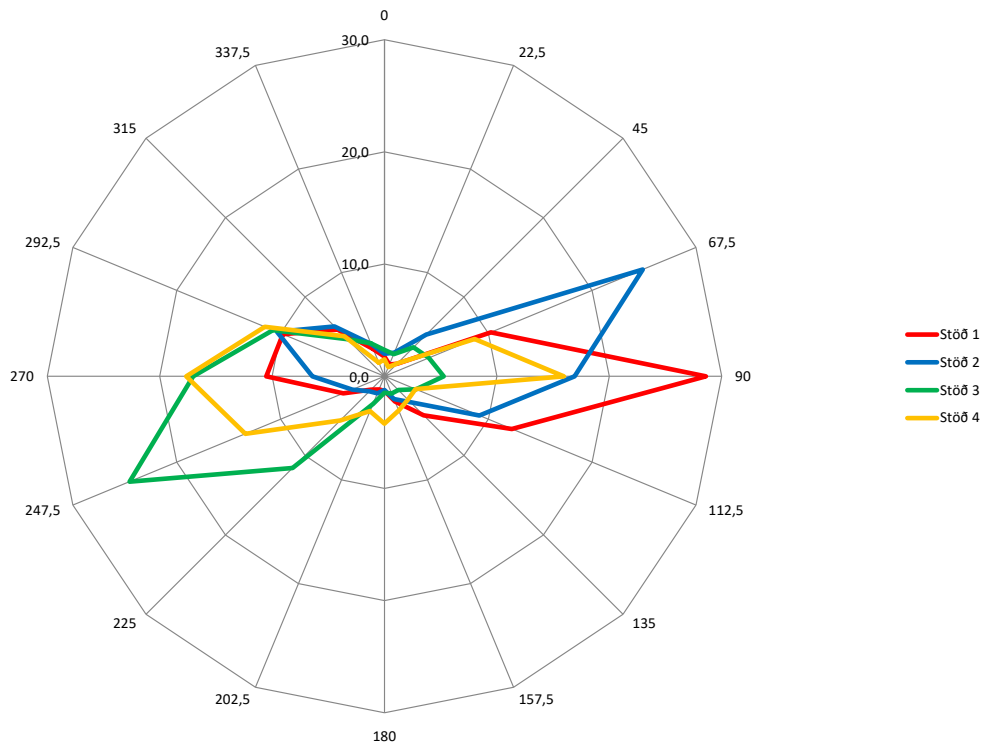
9. mynd. Brennisteinstvíoxíð, ársmeðaltöl 2005–2020.

Á 10. mynd má sjá meðalmæligildi brennisteinstvíoxíðs á öllum stöðvum sem fall af vindátt. Álverið er stór uppspretta SO₂ og hæstu gildi brennisteinstvíoxíðs mælast í suðvestanátt á stöð 3 og í austlægum áttum á stöð 1 og 2. Stöð 4 er að sumu leyti sérstök, hæsta meðaltal á stöð 4 mældist þetta árið í norðanátt, en há gildi mælast líka stundum í sunnanátt í miklu hægviðri. Þó mælist megnið af SO₂ á stöðinni oft í vestanátt og stafar af mögulegri hringhreyfingu lofts innan fjarðar þegar loft leitar inn með norðurhlíð fjarðarins og út með honum sunnanverðum til vesturs. Þá getur átt sér stað niðursláttur á lofti með suðurhlíðum fjarðarins við hitahvörf í lofti sem eru nokkuð algeng í Reyðarfirði.

Á 11. mynd má sjá hlutfallslegan magnuppruna sem mælist á stöðvunum. Langmestur hluti SO₂ sem mælist á stöð 1 og 2 er upprunninn í austurátt, en í vesturátt á stöð 3, sem svarar til afstöðu álversins til þessara stöðva. Á stöð 4 aftur er upprunans að leita að mestu í vesturátt eins og nefnt var hér ofar, öfugt við afstöðuna til álversins sem er í norðausturátt, en svarar til hringhreyfingar lofts í firðinum þegar austanvindur blæs fyrir Breiðahjalla og skilar sér tilbaka í skjól við Sléttuströnd úr vestri. Austnorðaustanáttir geta líka skilað SO₂ beint að stöð 4 í einhverjum mæli.



10. mynd. Brennisteinstvíoxíð SO₂ (µg/m³), sem fall af vindátt 2020, allar stöðvar.



11. mynd. Brennisteinstvíoxíð SO_2 (magnuppruni í %), sem fall af vindátt 2020, allar stöðvar.

Niðurstöður sjálfvirkra mælinga í stöðvum árið 2020 má sjá í viðauka 1.

2.3.4 Flúor í lofti

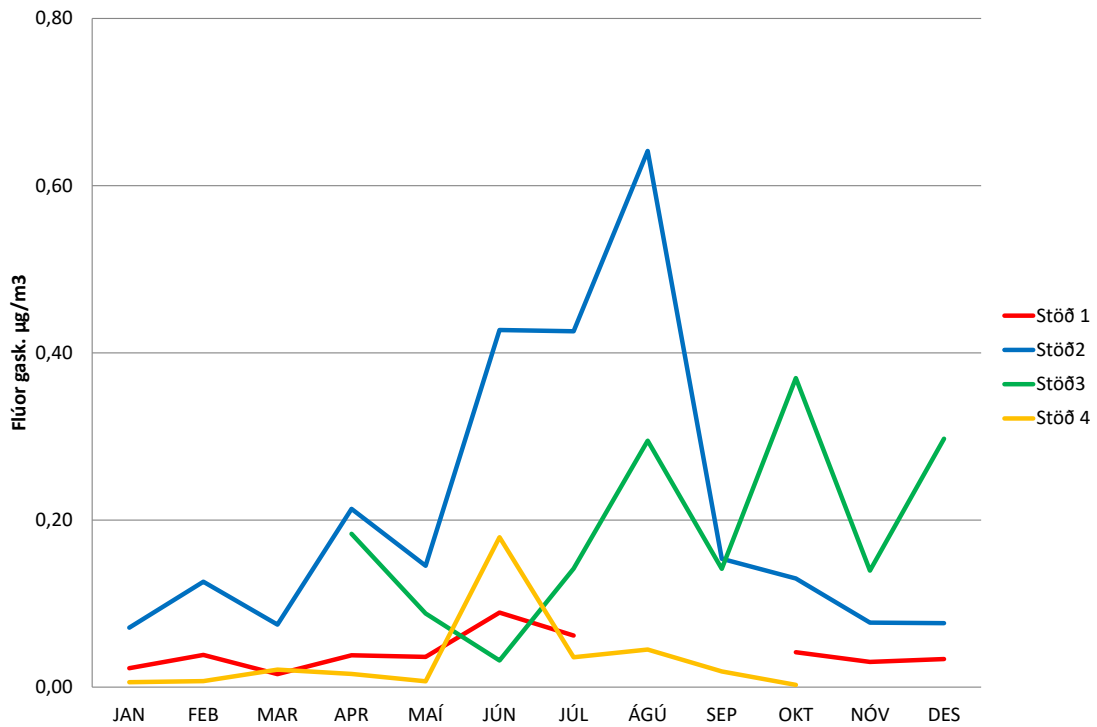
Mælingar á flúor í lofti eru gerðar með tvenns konar hætti:

- i) flúor gaskenndur og flúor í ryki í lofti er safnað með sýnatöku á 37 mm síur og eru tekin 1 dags (24 klst. samfelld) og 5 daga sýni (12 mín. á hverri klst.) til skiptis, alls um 110 sýni frá hverri stöð árlega.
- ii) flúor í ryki í lofti er mældur í stórum svifrykksíum (200 x 250 mm) og er safnað á hverja síu í 24 klst. á sex daga fresti; í einni slíkrri síu í hverjum mánuði frá hverri stöð er mælt flúoríð í ryki, alls 12 sýni frá hverri stöð eða 48 mælingar alls árlega.

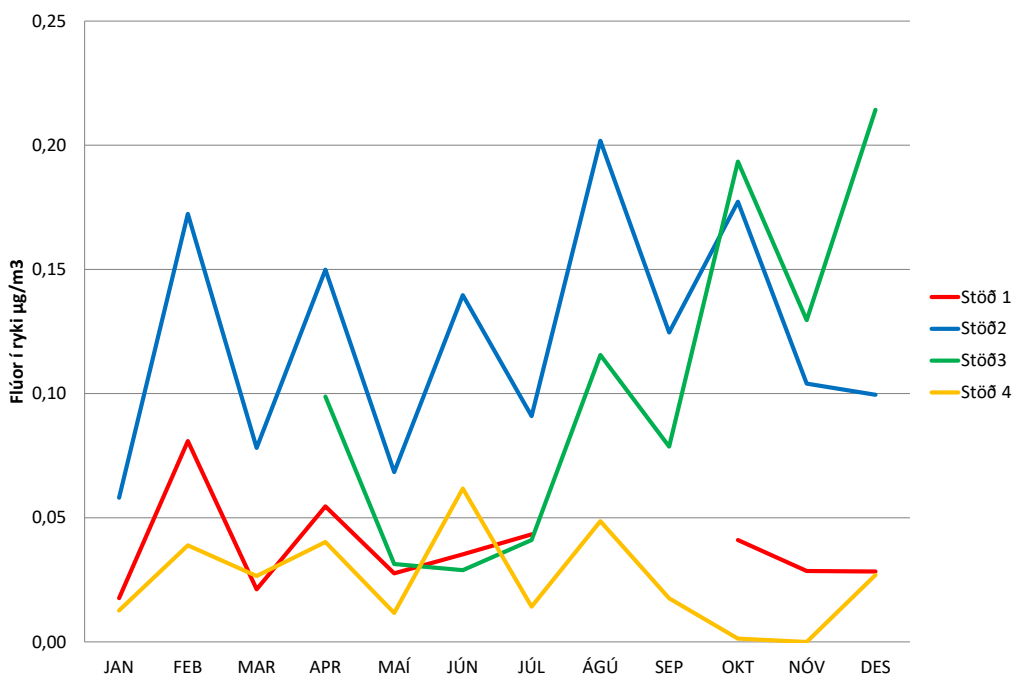
i) Flúor í lofti, safnað á 37 mm síur

Meðaltal flúors alls í lofti mældist $0,21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ og þar af flúor gaskenndur $0,13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ og er lægra en árin 2018 og 2019 þegar meðaltöl mældust hærra en áður höfðu mælst og svipar til niðurstaðna á árabílinu 2015–2017. Sjá má niðurstöður fyrir mánaðarmeðaltöl ársins á 12. og 13. mynd og samanburð við fyrri ár á 14. mynd. Flúor er svolítið breytilegur á hverri stöð yfir árið en yfirleitt hæstur á stöð 2, sérstaklega yfir sumartímann þegar innlögn er algeng í Reyðarfirði. Hæsta einstaka dagsgildi fyrir gaskennt flúoríð mældist á stöð 2 eða $1,22 \mu\text{g F}/\text{m}^3$ þ. 18. ágúst í hægum breytilegum austlægum andvara eða kuli. Hæsta dagsgildi fyrir flúor alls mældist $1,83 \mu\text{g F}/\text{m}^3$ á stöð 2 sama dag.

Viðmiðunarmörk í starfsleyfi fyrir gaskenndan flúor reiknað sem vetnisflúoríð HF eru $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ meðaltal á tímabilinu apríl–september utan þynningarsvæðis og vetnisflúoríð fer ekki yfir þau mörk. Meðalgildið á stöð 3 er $0,16 \mu\text{g HF}/\text{m}^3$ á þessu tímabili eða vel undir mörkunum. Gildið á stöð 2 er hæst eða $0,36 \mu\text{g HF}/\text{m}^3$ og yfir mörkunum, en sú stöð er innan þynningarsvæðis.

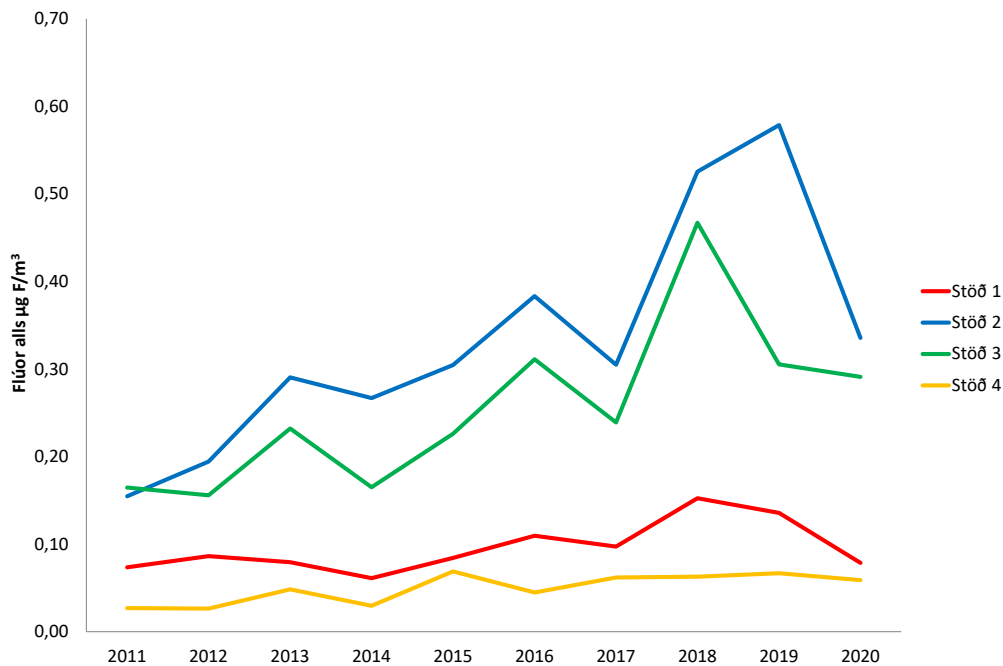


12. mynd. Flúor gaskenndur í lofti, allar stöðvar, mánaðarmeðaltöl 2020 (mælingar á síur).



13. mynd. Flúor rykkendur í lofti, allar stöðvar, mánaðarmeðaltöl 2020 (mælingar á síur).

Flúor í ryki mældist með nokkrum breytileika yfir árið og helst að sjá hámark og lágmark á stöð 3, en flúor mælist gjarnan lágur á stöð 3 yfir sumartímann.

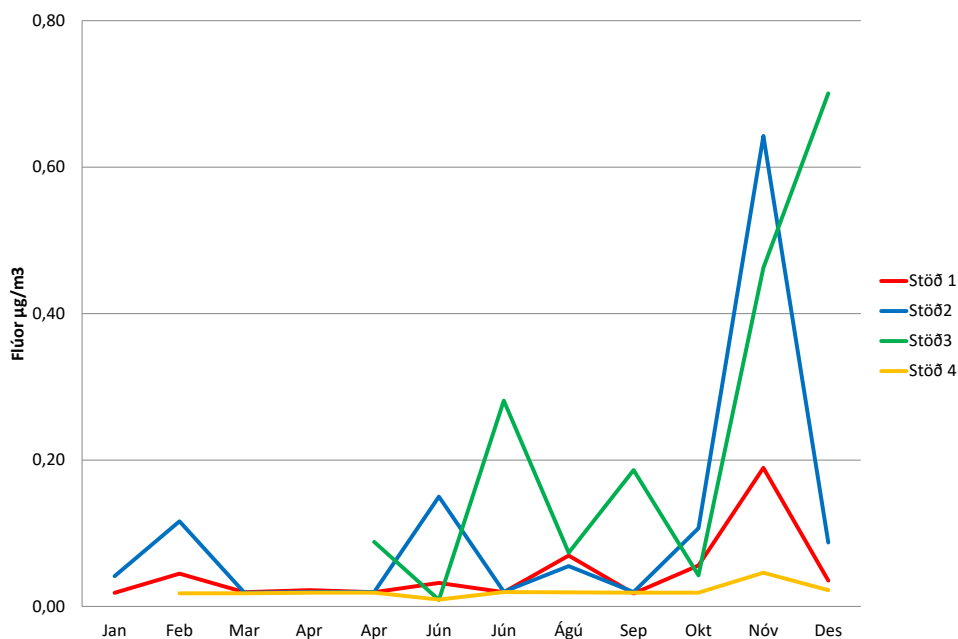


14. mynd. Flúor alls í lofti, allar stöðvar, ársmeðaltöl 2011–2020 (mælingar á síur).

Flúor í heild lækkar á öllum stöðvum, mismikið þó. Veruleg aukning í flúorstyrk hefur mælst á undanfögnu þessu ára tímabili, en vonandi sér fyrir endann á þeirri hækkun.

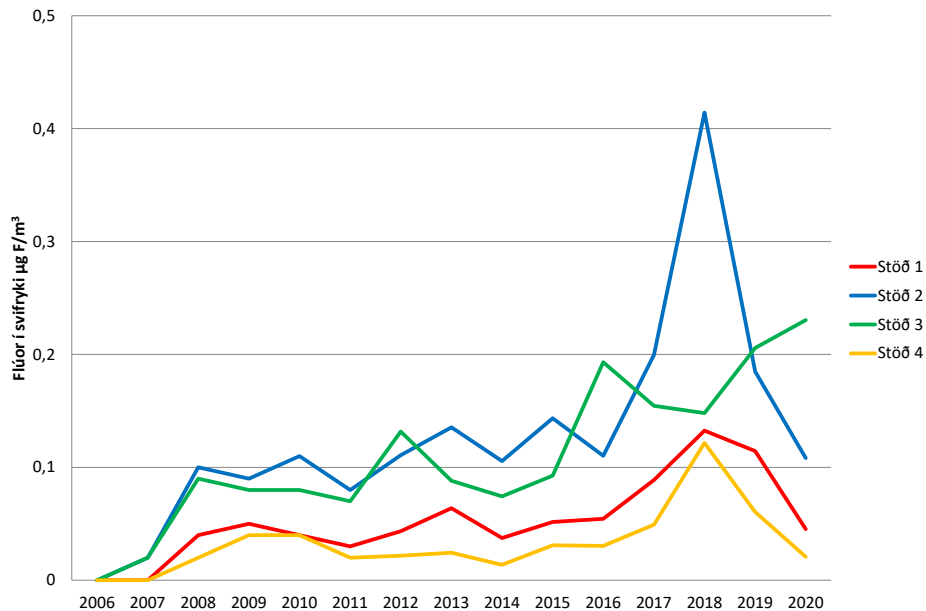
ii) Flúor í svifryki

Heildarmeðaltal ársins var $0,09 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Niðurstöður þessara mælinga má sjá á 15. mynd. Flúor í ryki í lofti er mældur í svifrykssíum, en svifryki er safnað á sex daga fresti í 24 klst. á hverja síu. Í einni slíkri síu í hverjum mánuði frá hverri stöð er mælt flúoríð í ryki, alls 48 mælingar árlega. Mikill breytileiki getur verið í þessum mælingum, enda einungis um að ræða 1 dag í hverjum mánuði frá hverri stöð.



15. mynd. Flúor í svifryki, allar stöðvar, stakar síur mánaðarlega 2020.

Nokkur lækkun í heild varð aftur á flúor í svifryki á árinu 2020 frá fyrri tveimur árum, en þá mældist flúor í svifryki hærri en áður, sjá á 16. mynd. Niðurstaðan er ámóta og árin 2015–2017 og er það í samræmi við aðrar flúormælingar. Þó er niðurstaðan á stöð 3 óvenjuhá. Tvö stök há gildi undir lok ársins hækka meðaltalið á stöðinni og engar síur bárust frá stöðinni fyrstu 4 mánuði ársins og vægi þessara 2 gilda verður því meira en ella.



16. mynd. Flúor í svifryki, ársmeðaltöl 2005–2020.

Niðurstöður mælinga á flúor í lofti árið 2020 má sjá í viðauka 2.

2.3.5 Fjölhringa aromatísk vetniskolefni (PAH)

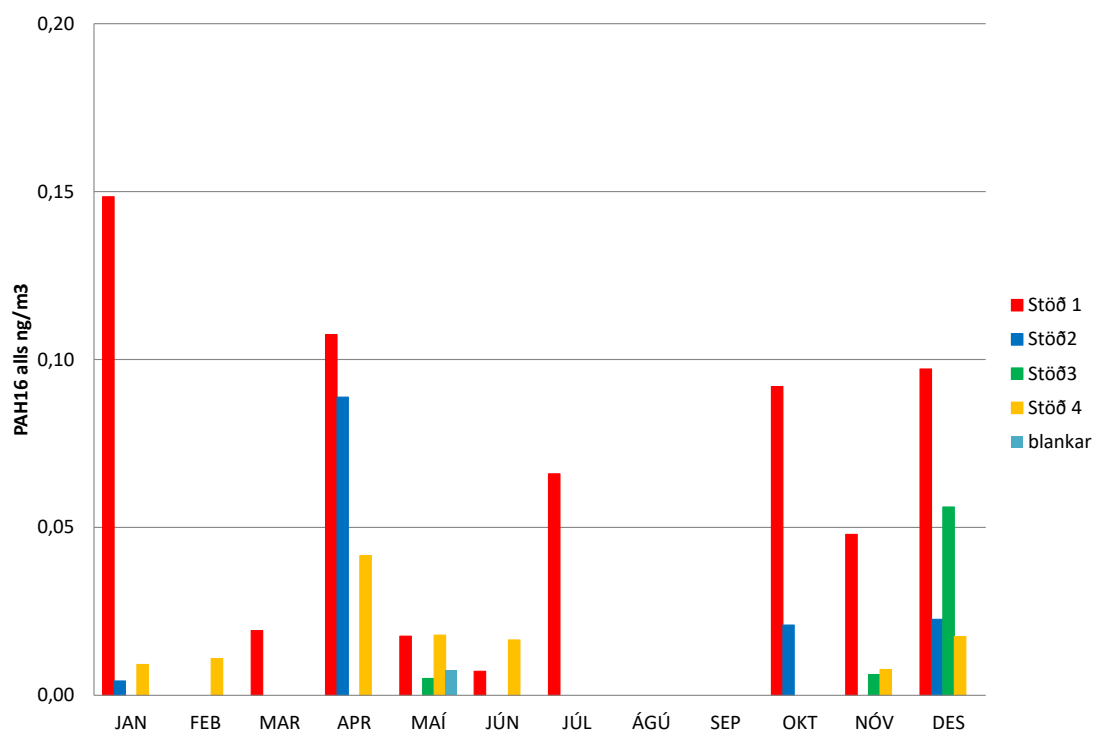
Fjölhringa vetniskolefni (vokvetniskolefni) í lofti eru mæld í svifrykssýnum með svipuðu fyrirkomulagi og rykkendur flúor, þ.e. í svifrykssíum sem safnað er á sex daga fresti í 24 klst. á hverja síu. Í einni slíkri síu í hverjum mánuði frá hverri stöð eru mæld PAH í ryki, allt að 48 mælingar árlega. Mældur var svokallaður PAH18 iðnaðarstaðall (OSPAR/ParComm) fram til 2009 og svo aftur árið 2012 en PAH16 (EPA PAH16) 2009–2011 og 2013–2020. Munur á þessu tvennu er óverulegur í mati á heildarmeðaltali.

Niðurstaða ársins er í meðallagi ef miðað er við niðurstöður frá og með árinu 2012. Þessi efni greinast í litlum mæli og mældust um 0,040 ng/m³ umfram magngreiningarmörk á árinu 2020 að heildarmeðaltali. Heildarsumma magngreiningarmarka PAH16 árið 2020 er yfirleitt innan við 0,1 ng/m³ ef sýnatökurúmmál er eðlilegt og er svolítið breytileg (<0,1–0,04 ng/m³) eftir tímabilum.

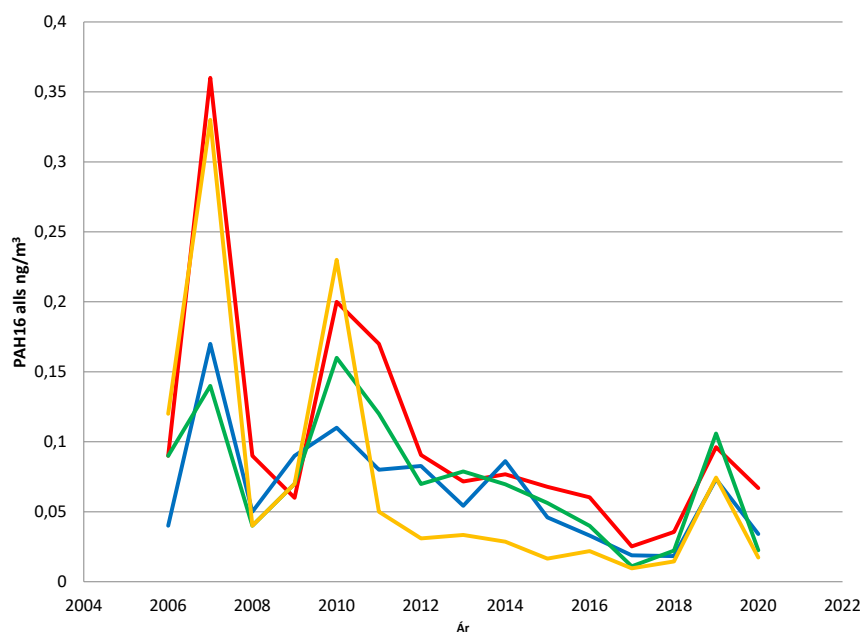
Mæligildi eru nokkuð breytileg. Oft eru mæligildi heldur lægri yfir sumartímann, vegna hærra hlutfalls í gasfasa að sumri og einnig vegna sundrunar PAH-efna fyrir áhrif sólarljóss að sumri.

Umhverfismörk fyrir bensó[a]pýren (BaP) eru 1 ng/m³ skv. reglugerð nr. 410, 2008. Mæld BaP gildi árið 2020 voru vel undir þeim mörkum. BaP greindist í 4 síum af 45 og mældist 0,004 ng/m³ í apríl og aftur í júlí á stöð 1. Af öðrum PAH efnum tilteknum í reglugerðinni, þ.e. bensó[a]antrasen, bensó[b]flúoranten, bensó[j]flúoranten, bensó[k]flúoranten, indenó[1,2,3-cd]pýren og díbenz[a,h]antrasen mældust hæstu gildin

á stöð 1 í desember eða $<0,046 \text{ ng/m}^3$ af heildarsummu þessara tilteknu sex efna. Nánast alltaf mældist summa þeirra $<0,020 \text{ ng/m}^3$.



17. mynd. PAH16 í svifryki, allar stöðvar 2020.

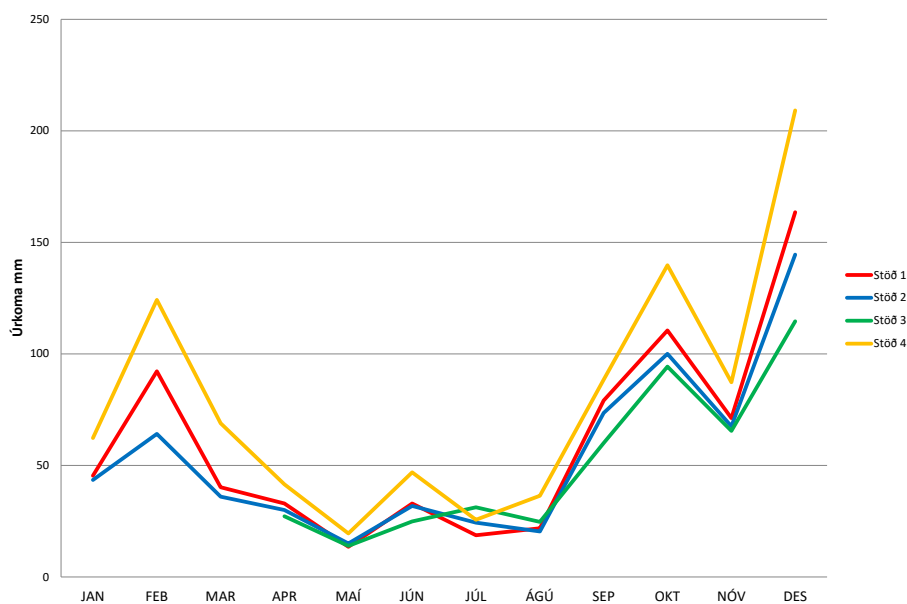


18. mynd. PAH16 í svifryki, ársmeðaltöl 2006–2020.

Niðurstöður mælinga á PAH16 í svifrykssíum má sjá í viðauka 3.

2.3.6 Efnainnihald í úrkomu

Úrkoma er mæld og henni er jafnframt safnað í Reyðarfirði á öllum stöðvum. Úrkoma hefur verið nokkuð misjöfn eftir árum. Úrkomumagn getur haft mikil áhrif á styrk mengunarefna, í mikilli úrkomu getur styrkur mælst lægri, en áfall mengunarefna á jörð engu að síður getur verið töluvert. Og svo öfugt, í lítilli úrkomu mælast stundum háir styrkir mengunarefna en áfall þeirra kann að vera lítið. Mæld úrkoma var nokkuð yfir meðallagi árið 2020, eða um 740 mm/ár að meðaltali á stöðvunum. Nokkur úrkoma var í febrúar og yfirleitt mikil síðari hluta ársins, en sumarið var þurrviðrasamt þó gert hafi stöku úrkomukafla. Sjá má úrkomu eftir mánuðum á 19. mynd. Mest rigndi að jafnaði á stöð 4, en minnst á stöð 3.



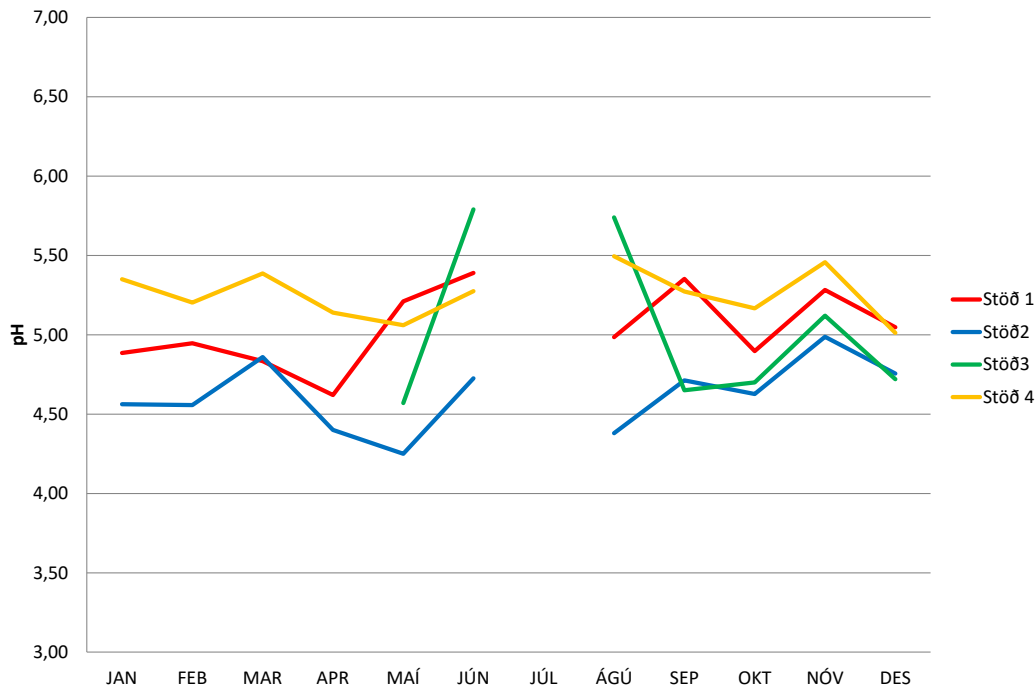
19. mynd. Úrkoma í mánuði (mm, alls), allar stöðvar 2020.

pH stig í úrkomu

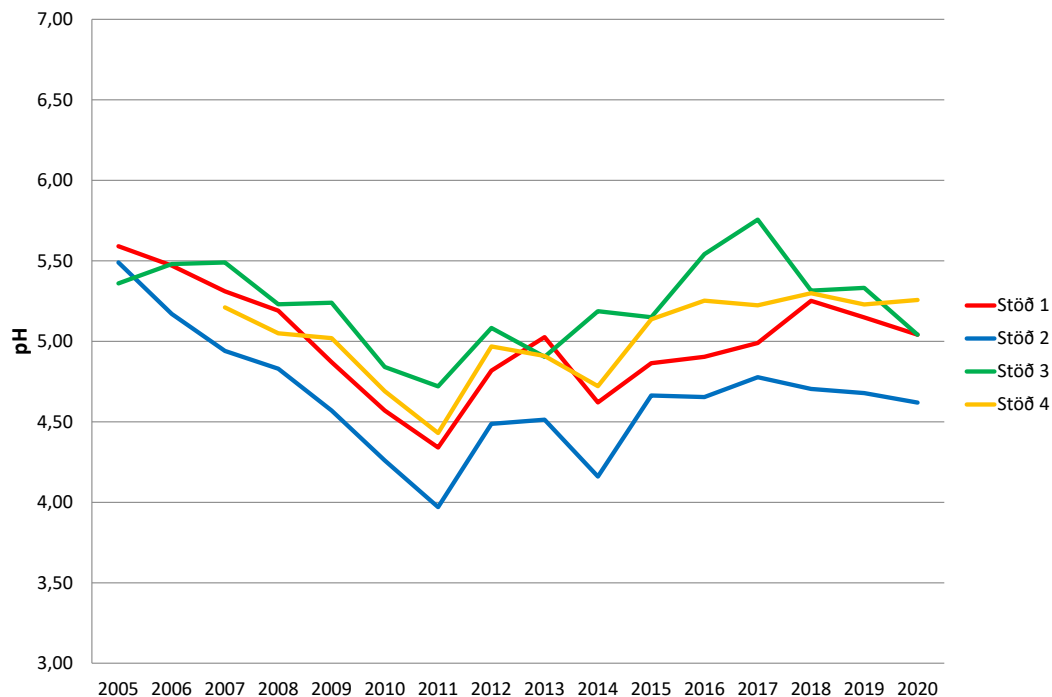
Niðurstöður ársins 2020 fyrir pH í úrkomu má sjá á 20. mynd. Myndin sýnir mánaðar-meðaltöl pH stigs í úrkomusýnum ársins, en úrkomu er safnað að jafnaði í hverri viku frá öllum stöðvum. Útlit er nokkuð einkennandi með hærra pH stig mælt á stöð 3 yfir sumartímann, þegar innlögn er áberandi. Engin sýni náðust í júlí vegna þurrviðris og í heild náðust ekki vikusýni í 20 skipti á hverri stöð á árinu af þeim sökum. Þá varð ekki komist að stöð 3 fyrsta hluta ársins.

pH stig í úrkomu mældust svipuð að meðaltali á stöð 1, 3 og 4 eða á bilinu 5 – 5,2 en lægra á stöð 2, um 4,6 (20. og 21. mynd). Helst rignir í austanáttum í Reyðarfirði og því gætir mengunar í úrkomu helst á stöð 2 og mælist úrkomun þar yfirleitt súrari með lægra pH stig. Í regnvatni sem er lítt mengað má búast við pH stigi á bilinu 5,5 – 6,5.

Í heild eru niðurstöður stöðugar með náttúrulegum breytileika frá árinu 2012.



20. mynd. Sýrustig (pH) í úrkomu, mánaðarmeðaltöl allar stöðvar 2020.

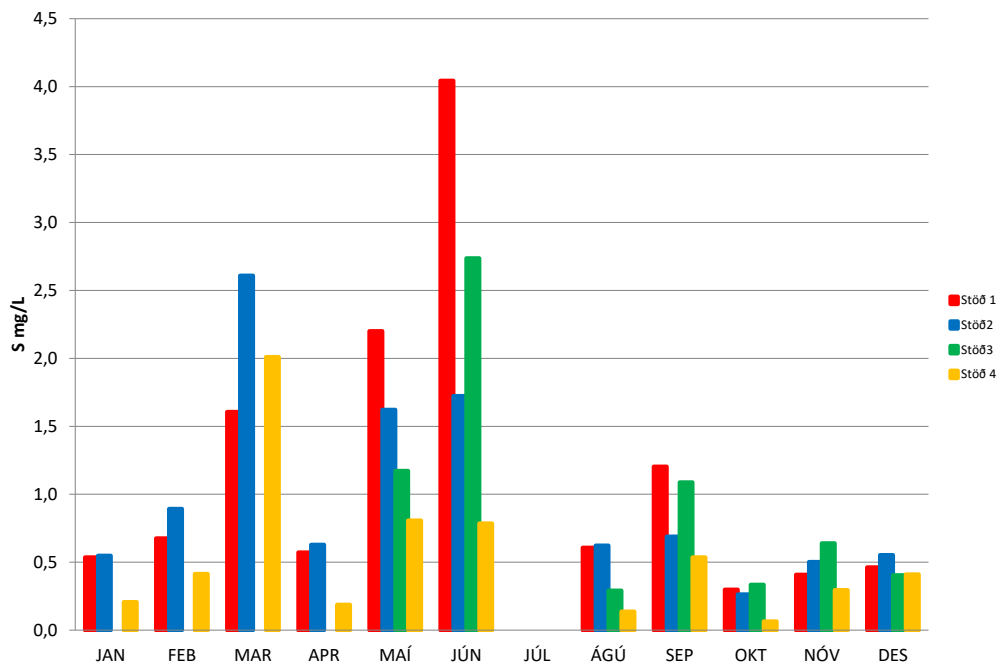


21. mynd. Sýrustig (pH) í úrkomu, allar stöðvar meðaltöl 2005–2020.

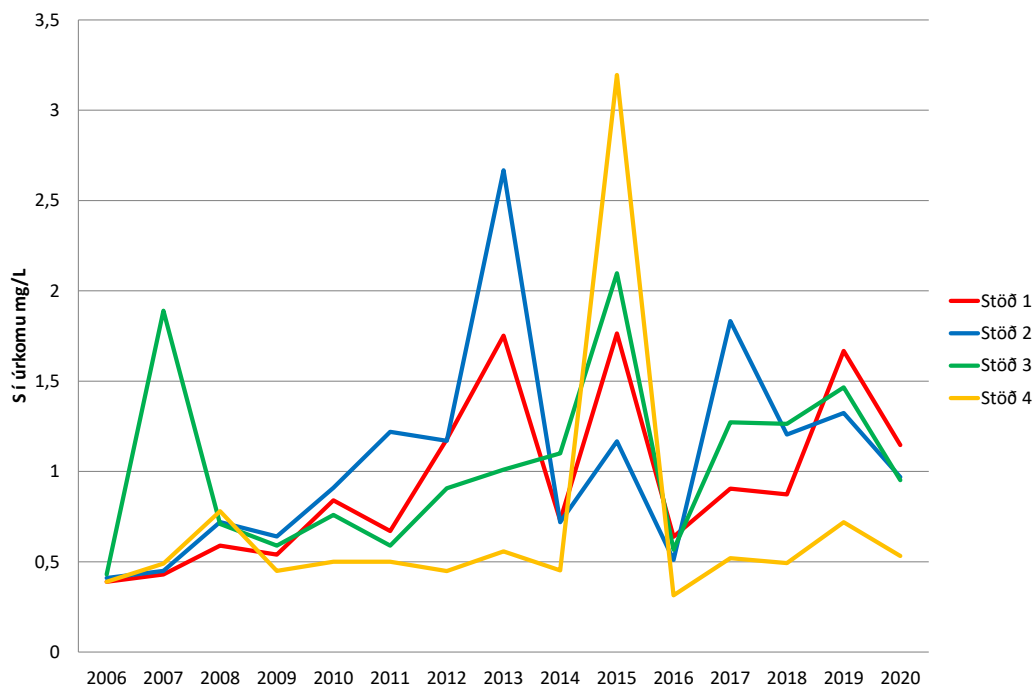
Brennisteinn í úrkomu

Uppruni brennisteins í úrkomu er einkum þrenns konar, úr sjó, af mannavöldum og svo frá eldgosum. Áhrif eldgosa voru nokkur árin 2010, 2014 og mikil árið 2015.

Brennisteinstyrkur í úrkomu var í meðallagi árið 2020, mánaðarmeðaltöl ársins má sjá á 22. mynd og ársmeðaltöl árana 2006–2020 má sjá á 23. mynd. Meðaltalið árið 2020 í heild mældist 0,89 mg S/L, töluvert lægra en árið áður, þegar meðaltali var 1,29 mg S/L.



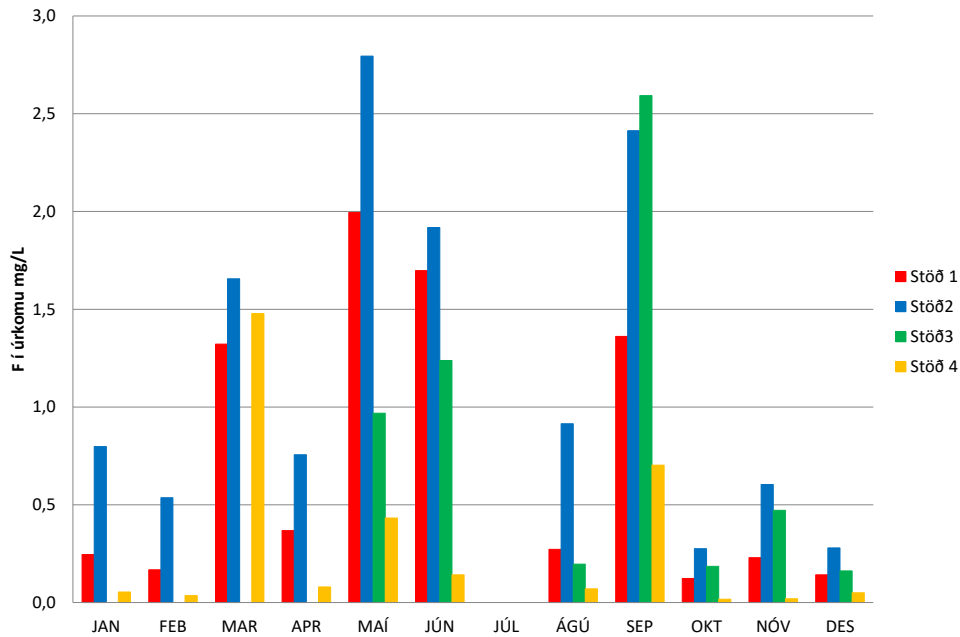
22. mynd. Brennisteinn í úrkomu, allar stöðvar 2020.



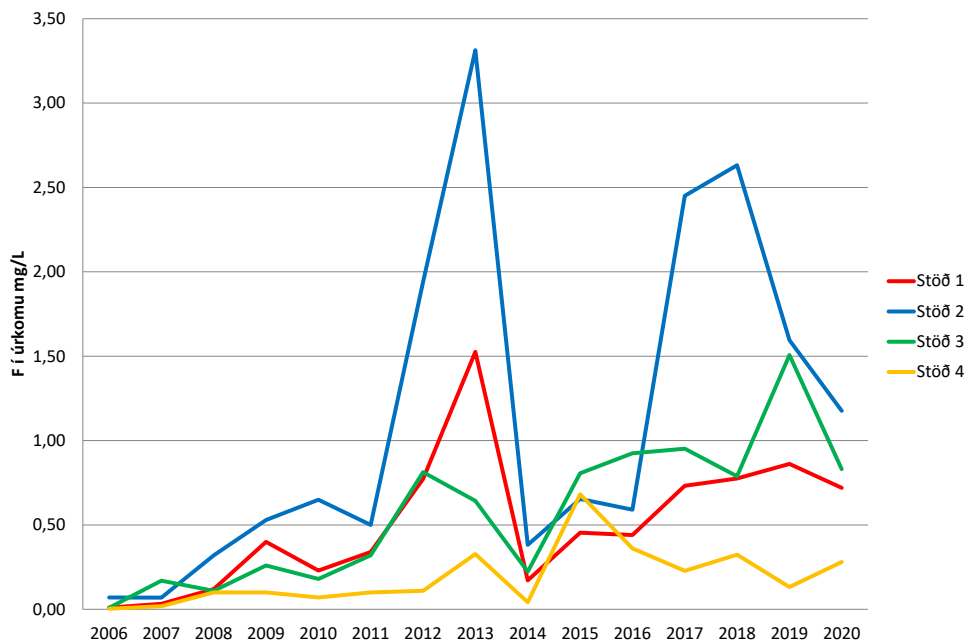
23. mynd. Brennisteinn í úrkomu, allar stöðvar meðaltöl 2006–2020.

Flúor í úrkomu

Flúorgildi í úrkomu voru í hærra lagi, ársmeðaltalið var 0,74 mg F/L árið 2020. Niðurstaða ársins er mun lægri en árið 2019 en getur ekki talist lág í langtímasamhengi. Flúor í úrkomu hefur verið breytilegur undanfarin ár og stundum mikill munur milli stöðva (24. og 25. mynd). Áður hefur meðaltalið farið hæst árið 2013 eða 1,45 mg F/L. Stundum hafa gildi yfir sumarmánuðina hækkað meðaltalið nokkuð, þegar úrkoma hefur verið lítil og að þessu sinni náðust sýni alla mánuði til mælinga nema í júlí vegna þurrviðris.



24. mynd. Flúor í úrkomu, allar stöðvar 2020.



25. mynd. Flúor í úrkomu, ársmeðaltöl 2006–2020.

Niðurstöður efnagreininga í úrkomu má sjá í viðauka 4.

3 Efnamælingar í gróðri

3.1 Inngangur

3.1.1 Flúor og gróður

Flúor er almennt talinn vera eitt skaðlegasta efnið fyrir gróður og búfénað sem berst frá álverum (Weinstein, 1983). Það berst út í umhverfið á gasformi sem vetnisflúoríð ($\text{HF}_{(g)}$)

og bundið rykögnum (flúor rykkendur í lofti) (Weinstein & Davison, 2003). Dreifing og þynning gaskennds flúors er háð veðurfari og landslagi hverju sinni. Hvas vindur getur aukið þynningu flúors hratt á meðan sólríkir og lygnir dagar geta valdið því að plöntur verða fyrir staðbundnum mengunaráhrifum í skamman tíma (Weinstein & Davison, 2004). Ríkjandi vindátt hefur áhrif á dreifingu gaskennds flúors og mælist flúor í gróðri meiri á svæðum undan ríkjandi vindátt en á móti henni (Koblar o.fl., 2011). Dreifing gaskennds flúors er misjöfn eftir því hvort um flatlendi, dali eða firði er að ræða. Vegna hreyfingar lofts við daglegar hitabreytingar í dölum og fjörðum getur gaskennður flúor borist lengra en ef um flatlendi er að ræða (Ongstad o.fl., 1994).

Plöntur verða fyrir breytilegu magni flúors í tíma og rúmi. Flúor, gas- og rykkendur, sest á yfirborð gróðurs í umhverfinu. Það veldur alla jafna ekki eituráhrifum í plöntum fyrr en það berst til innri vefja plöntunnar. Flúor berst inn í vefi plantna í gegnum loftaugu á laufblöðum sem stjórna loftskiptum. Inni í plöntunni leysist flúorinn í vatni og ferðast með því að jöðrum laufblaðanna og safnast þar fyrir. Þetta veldur breytileika í styrk flúors innan hvers laufblaðs og skýrir sýnileg einkenni flúorskemmda í gróðri (Weinstein & Davison, 2004).

Upptaka flúors er háð því hversu stór loftaugu plantna eru og hversu mikið þau eru opin og er það breytilegt eftir tegundum. Loftaugu opnast og lokast við breytingar á dagsbirtu, hita- og rakastigi. Veðurfar getur því haft mikil áhrif á hversu mikið magn flúors berst inn í plöntur. Ólíkar tegundir geta vaxið á sama stað og ein tegund getur sýnt mikil einkenni flúorskemmda á meðan önnur sýnir engin einkenni (Weinstein & Davison, 2004).

Plöntutegundir eru mis viðkvæmar fyrir flúor. Til dæmis er það þekkt erlendis að ýmsar furutegundir eru viðkvæmar. Breytilegt getur verið eftir svæðum hversu viðkvæmar einstaka tegundir eru. Ekki er nógu vel þekkt hvaða tegundir eru viðkvæmar við íslenskar aðstæður, en almennt má áætla að um 5% þeirra tegunda er vaxa á afmörkuðu svæði séu viðkvæmar fyrir flúor (Weinstein & Davison, 2004).

Rannsóknir sem gerðar voru í tengslum við norsk álver hafa sýnt að samspil mengunar og umhverfis- og erfðapátta getur haft áhrif á þol sömu tegundar. Þannig minnkaði t.d. frostþol plantna á menguðum svæðum vegna breytinga í vaxtaferli sem leiddi til gróður-skemmda á birki og reyni við uppsöfnun $\geq 100 \mu\text{g/g}$ af flúor í laufblöðum (Vike, 1999).

Flúor flyst ekki milli plöntuhluta að neinu marki og er upptaka flúors úr jarðvegi lítil. Nokkrar tegundir eru þó þekktar fyrir að geta tekið upp mikið magn flúors úr jarðvegi, jafnvel þó styrkur sé lágur. Sú best þekkt er líklegast te en algengar tegundir tes innihalda frá 70–350 $\mu\text{g F/g}$ þurrvigt. Íslenskur rabarbari virðist líka taka upp flúor úr jarðvegi og safnast hann fyrir í blöðum (Davison & Weinstein, 2006; Vike, 2005).

Styrkur flúors í blöðum virðist aukast eftir því sem líður á vaxtartíma plöntunnar. Þegar haustar visna lafin og falla til jarðar og flyst hann þá í jarðveginn þar sem hann binst áli og kalsíum (Weinstein & Davison, 2004).

Styrkur flúors í gróðri vegna upptöku frá jarðvegi og ryki í ómengnuðu umhverfi er minni en 5 $\mu\text{g/g}$ þurrvigt fyrir flestar tegundir. Einhverjar tegundir, hlutfallslega fáar þó, mælast með bakgrunnsgildi allt að 20 $\mu\text{g/g}$ flúor í þurrvigt (Weinstein & Davison, 2004; Guðrún Á. Jónsdóttir o.fl., 2005).

Þó að styrkur flúors í andrúmslofti og í blöðum plantna sé hár þá innihalda ávextir, fræ og rætur lægri gildi flúors en í laufblöðum (Weinstein & Davison, 2004). Niðurstöður rann-

sókna í Reyðarfirði undanfarin ár styðja það þar sem styrkur flúors í bláberjalyngi og laufum rabarbara hefur mælst hár miðað við bakgrunnsgildi, en styrkur flúors í berjum og stilkum rabarbara er alla jafna minni en 5 µg/g (Elín Guðmundsdóttir o.fl., 2017, 2016; Guðrún Óskarsdóttir o.fl., 2015; Erlín Emma Jóhannsdóttir o.fl., 2014, 2013, 2012; Kristín Ágústsdóttir o.fl., 2011; Davison o.fl., 2010, 2009).

Styrkur flúors í grasi getur breyst nokkuð hratt samhliða breytingum á veðurfari og magni flúors í lofti. Eins og áður hefur komið fram sest flúor á yfirborð gróðurs á formi gass og ryks. Erlendar rannsóknir benda til þess að rigning geti skolað burt allt að 60% af mældum styrk flúors í gróðri (Vike & Håbjorg, 1995). Þar af leiðandi getur styrkur flúors í gróðri mælst lægri eftir rigningu. Þannig má segja að styrkur flúors í grasi geti endurspeglað bæði veðurfar og magn loftborins flúors dagana á undan sýnatöku á grasi. Því er mikilvægt að skoða meðaltöl fyrir styrk flúors, en einblína ekki á einstakar mælingar í tíma og rúmi (Weinstein & Davison, 2004; Franzaring o.fl., 2007). Í viðauka 6 eru sýndir veðurfarslegir þættir og tími sýnasöfnunar sumarið 2020.

3.1.2 Viðmiðunarmörk flúors í fóðri fyrir búfé

Flúor veldur eitrun í búfénaði ef hann fer yfir ákveðin mörk en fræðimenn eru ekki samála um hver séu æskileg viðmiðunarmörk flúors í fóðri fyrir einstakar dýrategundir. Þó er vitað að hættan á flúoreitrun er breytileg eftir aldri, tegund dýra og ástandi þeirra (Sigurður Sigurðarson, án árs; Weinstein & Davison, 2004).

Á Íslandi er í gildi reglugerð sem segir til um hámarksgildi flúors í heilfóðri (þ.e. fullnægjandi dagskammti) fyrir búfénað miðað við 12% rakainnihald (reglugerð nr. 340/2001 með síðari breytingum nr. 74/2015). Fyrir jörturdýr þ.e. kýr, ær og geitfé er hámarksgildið 50 µg/g en 30 µg/g ef dýrin eru mjólkandi. Ekki er minnst sérstaklega á hross í þessari reglugerð og falla þau undir flokk dýra sem eru talin þola 150 µg/g. Í þessari skýrslu eru niðurstöður mælinga á styrk flúors í gróðri settar fram miðað við 0% rakainnihald. Til að niðurstöðurnar séu samanburðarhæfar við reglugerðina þarf því að umreikna viðmið hennar. Umreiknuð hámarksgildi flúors í heilfóðri fyrir búfénað miðað við 0% rakainnihald eru: 56,8 µg/g fyrir jörturdýr þ.e. kýr, ær og geitfé en 34,1 µg/g ef dýrin eru mjólkandi og 170,5 µg/g fyrir hross.

Í reglugerðinni sem í gildi er á Íslandi er ekki minnst á nein tímamörk. Í Bandaríkjunum eru hins vegar viðmið fyrir grasbíta breytileg eftir tímalengd. Staðlar í Bandaríkjunum miða við eftirfarandi styrk flúors í fóðri til að vernda alla grasbíta fyrir flúoreitrun (Weinstein & Davison, 2004). Þessir staðlar eru gefnir upp fyrir 0% rakainnihald í fóðri og eru eftirfarandi:

- Meðaltal flúors fyrir 12 mánaða tímabil má ekki fara yfir 40 µg/g
- Meðaltal flúors fyrir 2 mánaða tímabil má ekki fara yfir 60 µg/g
- Meðaltal flúors fyrir 1 mánaða tímabil má ekki fara yfir 80 µg/g

3.2 Aðferðir og sýnatökudagar

3.2.1 Sýnatökuaðferðir og framsetning niðurstaðna

Gerð var grein fyrir sýnatökuaðferðum og meðferð sýna í skýrslu Náttúrustofu Austurlands frá 2005 þar sem fjallað var um grunnvöktun í Reyðarfirði (Guðrún Á. Jónsdóttir o.fl., 2005) svo aðferðum verður aðeins lýst lauslega hér. Gróðursýnum var safnað

í merkta bréfpoka og þau þurrkuð í blástursofni við 80°C í 24 tíma (rabarbari í 48 tíma) innan sólarhrings frá söfnun. Rabarbari, kartöflur og grænmeti var skolað fyrir efnagreiningu. Annar gróður var ekki skolaður. Niðurstöður efnagreininga á grasi úr öllum sex sýnatökum sumarsins eru sýndar sem meðaltal sex mælinga með staðalskekkju. Niðurstöður efnagreininga á rabarbara úr öllum þremur sýnatökum sumarsins eru sýndar sem meðaltal þriggja mælinga með staðalskekkju. Öðrum gróðri var safnað í einni sýnatökuferð. Allar niðurstöður flúormælinga í gróðri eru gefnar upp á þurrvigtagrunni en þar sem hámarksgildi þungmálma í reglugerð nr. 265/2010 eru gefin upp í blautvigt voru gildi sem sýnd eru í niðurstöðum hér umreiknuð miðað við blautvigt.

Breytingar voru gerðar á grassýnatökustöðum árin 2013 og 2014 til að betrubæta vöktunina í samræmi við niðurstöður fyrri ára og koma til móts við ábendingar og athugasemdir Umhverfisstofnunar, Matvælastofnunar og hestaeigenda. Breytingarnar fólust í því að sumir sýnatökustaðir voru felldir út og öðrum bætt við, einkum í botni Reyðarfjarðar. Í heildina fjölgaði sýnatökustöðum um fjóra á þessum árum. Þá bættist einn sýnatökustaður til viðbótar við árið 2017 og er grasi því nú safnað á 35 sýnatökustöðum í Reyðarfirði. Breytingum á grassýnatökustöðum árin 2013 og 2014 var lýst í skýrslum fyrir umhverfisvöktun þeirra ára (Erlín Emma Jóhannsdóttir o.fl., 2014; Guðrún Óskarsdóttir o.fl., 2015).

Við kortlagningu á styrk flúors í gróðri á einstökum sýnatökustöðum var gildum skipt í fjóra flokka til að gera betur grein fyrir mögulegum áhrifum á grasbita:

- <20 µg/g flúor.
- 20–40 µg/g flúor.
- 41–60 µg/g flúor.
- >60 µg/g flúor.

3.2.2 Töluleg úrvinnsla

Parað *t*-próf (e. *paired t-test*) var notað til þess að greina hvort marktækur munur væri á styrk flúors í gróðri milli árána 2020 og 2019 annars vegar og 2020 og meðalgildi árána 2008-2019 hins vegar. Að undangengnum prófum á normaldreifingu var gögnum umbreytt með kvaðratrót eða logra væri þess þörf. Í þeim tilvikum sem ekki tókst að uppfylla skilyrði um normaldreifingu með umbreytingu var *Wilcoxon Rank* próf notað.

Tölfræðigreiningar voru gerðar í forritinu R útgáfa 3.6.1 (R Core Team, 2019) í viðmóti RStudio (RStudio Team, 2016).

3.2.3 Gróðursýni, sýnatökudagar og efnamælingar.

Grasi var safnað hálfsmánaðarlega frá júní til ágúst sumarið 2020 (26. mynd). Alls var 210 sýnum safnað í sex söfnunarferðum. Sýnataka fór fram dagana 9.–10. og 23.–24. júní, 7.–8. og 21.–22. júlí og 4.–5. og 18.–19. ágúst 2020. Styrkur flúors var mældur í öllum sýnum.

Mosa (*Racomitrium* spp.), **fléttum** (*Cladonia* spp.) og **blöðum bláberjalyngs** (*Vaccinium uliginosum*) var safnað einu sinni á 30 sýnatökustöðum í Reyðarfirði dagana 14., 15. og 16. júlí 2020 (33., 36. og 39. mynd). Styrkur flúors var mældur í öllum sýnum. Ekki var unnt að safna fléttusýni á sýnatökustöðvum 4, 17 og 28 þar sem þar voru litlar sem engar fléttur að finna. Á einum stað dugði magn fléttusýnis ekki til þurrefnagreiningar og var

meðaltal þurrefnis allra annarra sýna tekið og notað áfram í útreikningum þessara sýna. Þá er orðið að mestu ófært á sýnatökustað 25 vegna þétts gróðurs og var því ákveðið að taka sýni í um 20 m fjarlægð frá sýnatökustaðnum, hinum megin við ána.

Sýnum af **blöðum reynitrjáa** (*Sorbus* sp.) var safnað á níu sýnatökustöðum 26. ágúst 2020 (42. mynd). Styrkur flúors var mældur í öllum sýnum.

Tvenns konar sýnum af **barnálum** var safnað á níu söfnunarstöðum þann 5. október 2020. Annars vegar var safnað nýjum nálum (frá 2020, táknað CN) og hins vegar nálum sem uxu árið áður (frá 2019, táknað CP). Styrkur flúors var mældur í öllum sýnum.

Stilkum og laufum rabarbara var safnað einu sinni í mánuði frá júní til ágúst á sex sýnatökustöðum. Alls var 36 sýnum safnað dagana 24. júní, 22. júlí og 19. ágúst 2020 (47. mynd). Í júlí 2016 hafði allur rabarbarinn við V8 verið fjarlægður svo að frá og með þeirri sýnatöku voru rabarbarasýni V8 tekin í nærliggjandi garði. Árið 2020 var enginn rabarbari á sýnatökustað V1. Styrkur flúors var mældur í öllum sýnum. Þungmálmarnir kopar (Cu), sink (Zn), arsen (As), kadmíum (Cd), blý (Pb), króm (Cr), nikkell (Ni) og kvikasilfur (Hg) voru mældir einu sinni í síðustu sýnatöku sumarsins í rabarbarablöðum og -stilkum.

Kartöflugrösom og kartöflum var safnað einu sinni á þremur sýnatökustöðum (V1, V2 og V7) þann 26. ágúst 2020, alls sex sýnum (49. mynd). Einnig var einu sýni af **grænlaufs-salati** safnað á sýnatökustað V1 þann sama dag. Í öllum sýnum var mældur styrkur flúors.

Bláberjum og krækiberjum var safnað einu sinni á fimm sýnatökustöðum 26. ágúst 2020 (51. mynd). Styrkur flúors var mældur í öllum sýnum.

Heysýnum var safnað 15. september 2020. Alls var 20 sýnum safnað frá 18 túnum í Reyðarfirði (53. mynd). Áhersla var lögð á að safna sýnum af sem flestum túnum á svæðinu. Jafnframt var leitast við að safna heysýnum af sömu túnum og síðastliðin ár. Sýni voru tekin á túnum sem hesteigendur heyja, frá Sléttu og frá Áreyjum. Auk heys var tveimur sýnum af **fóðurkáli** safnað 26. ágúst 2020. Styrkur flúors var mældur í öllum sýnum.

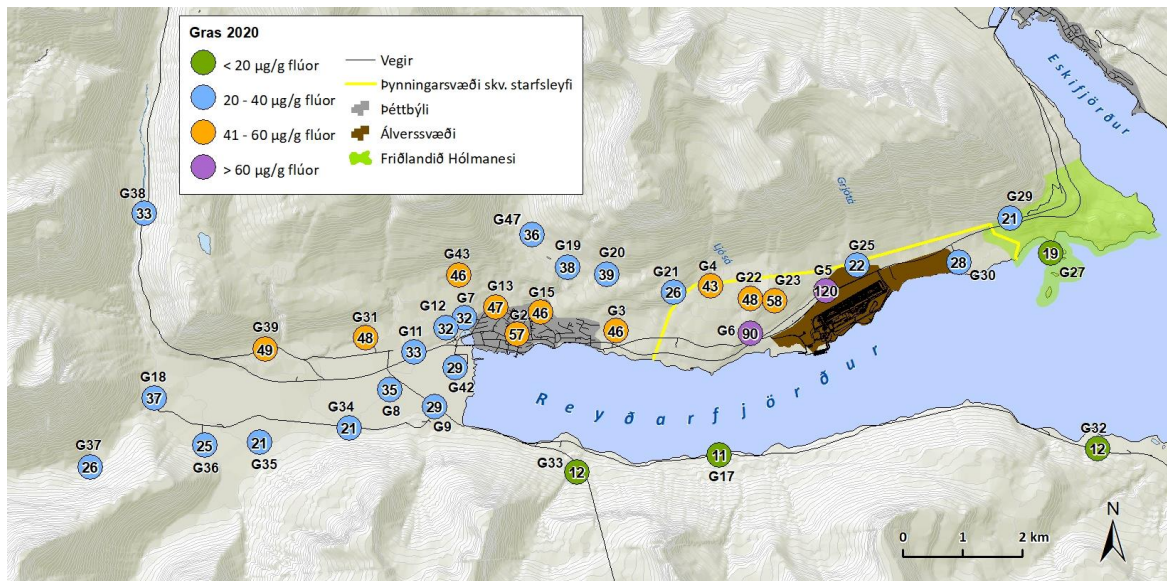
Vetrarhey. Auk þess að safna sýnum beint úr heyrúllum eða heyböggum hafa sýni einnig verið tekin af heyi sem sett er út fyrir hross yfir vetrarmánuðina til að kanna hvort flúor safnist upp í því á meðan það stendur úti. Tveimur heysýnum úr rúllum sem settar voru út fyrir hross var safnað 3. febrúar 2021. Sýnunum var safnað við Sléttu og á Áreyjum. Styrkur flúors var mældur í öllum sýnum.

3.3 Niðurstöður

3.3.1 Gras

3.3.1.1 Flúor

Hæsti meðalstyrkur flúors sumarið 2020 var 120 µg/g á sýnatökustað G5, við Sómastaði rétt ofan við álverið. Hæstu gildi flúors í einstaka sýnatökum mældust alltaf innan þynn-ingarsvæðis, á sýnatökustöðum G5 og G6 norðvestan við álverið (26. mynd). Líkt og fyrri ár mældist lægsti meðalstyrkur flúors sumarið 2020 fyrir austan og sunnan álver.

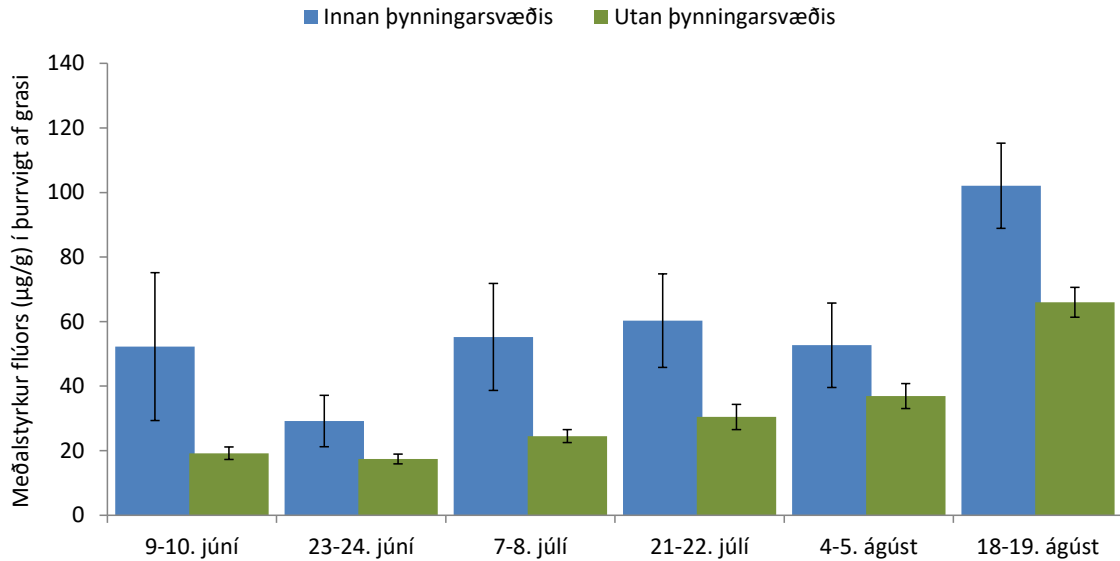


26. mynd. Sýnatökustaðir grass í Reyðarfirði og meðalstyrkur flúors í sex sýnatökuferðum frá júní til ágúst 2020 (Landmælingar Íslands, 2013, 2019 og 2021).

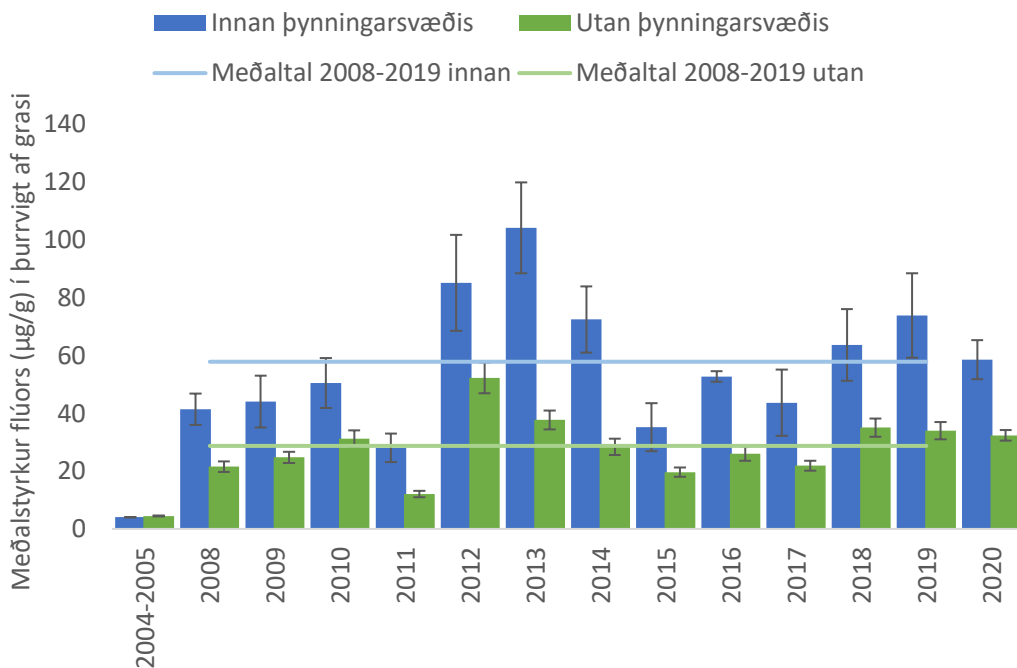
Meðalstyrkur flúors í grasi utan þynningarsvæðis álversins í Reyðarfirði mældist á bilinu 11–57 µg/g. Meðalstyrkur innan þynningarsvæðis mældist hærrí en utan þess í öllum sýnatökuferðum sumarsins 2020 (27. mynd) og var á bilinu 22–120 µg/g.

Meðalstyrkur flúors í grasi utan þynningarsvæðis árið 2020 var svipaður (32 µg/g) samanborið við gildi ársins 2019 (34 µg/g) ($p=0,567$) en hærrí en meðaltalsgildi áráanna 2008–2019 (29 µg/g; $p=0,006$). Gildi ársins 2020 innan þynningarsvæðis voru marktækt lægri en árið 2019 ($p=0,031$) en svipuð og meðaltalsgildi áráanna 2008–2019 ($p=0,813$). Flúor í grasi hefur hækkað mikið frá því áður en álverið hóf rekstur (samanburður grunnilda við meðaltöl áráanna 2008–2020: $p=0,01$) en styrkurinn er nokkuð breytilegur milli ára (28. mynd).

Gerðar voru breytingar á sýnatökustöðum sumrin 2013 og 2014 og grunnilda frá 2004–2005 eru því ekki fullkomlega samanburðarhæf við sl. ár. Árin 2014–2016 eru þó samanburðarhæf og að mestu einnig árin 2017–2020 en þó var einum sýnatökustað utan þynningarsvæðis bætt við sumarið 2017.



27. mynd. Meðalstyrkur flúors ($\mu\text{g/g}$) í þurrvigt af grasi (með staðalskekkju) innan og utan þyningarsvæðis í Reyðarfirði eftir sýnatökufærðum frá júní til ágúst 2020. Fjöldi sýnatökustaða: innan þyningarsvæðis ($n=7$) og utan þyningarsvæðis ($n=28$).



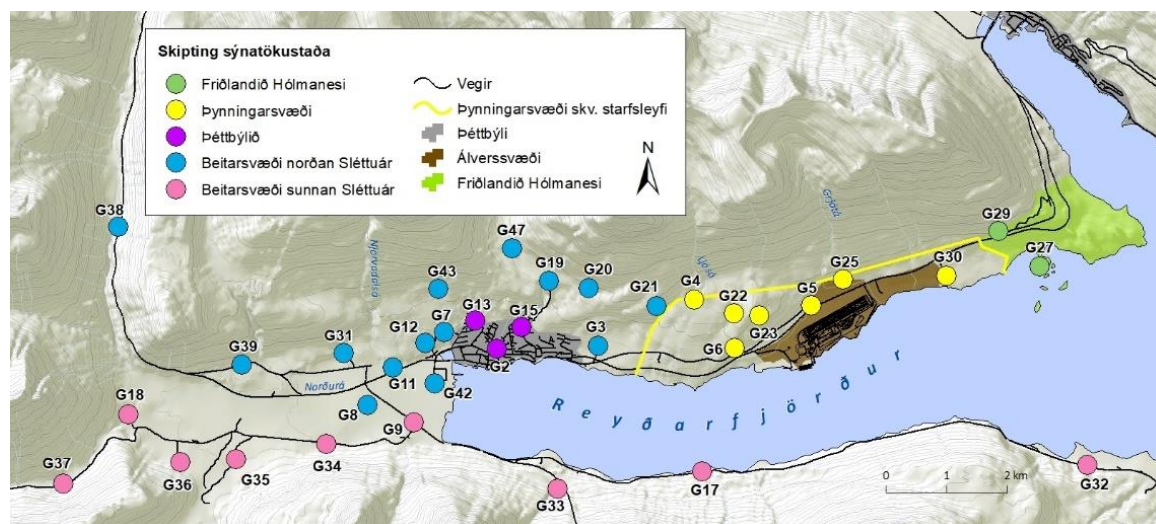
28. mynd. Meðalstyrkur flúors ($\mu\text{g/g}$) í þurrvigt af grasi innan og utan þyningarsvæðis í Reyðarfirði árin 2004–2005 (bakgrunnsgildi, meðaltal af tveimur sýnatökum sem farnar voru, ein hvort ár) og 2008–2020. Fjöldi sýnatökustaða: 2004–2005 ($n=30$), 2014–2016 ($n=34$) og 2017–2020 ($n=35$).

Meðalstyrkur flúors í grasi sumarið 2020 utan þyningarsvæðis var $32 \mu\text{g/g}$ sem er undir viðmiðunarmörkum sem sett eru fyrir hámarksgildi flúors í heilfóðri fyrir jórturdýr ($56,8 \mu\text{g/g}$ m.v. 0% rakainnihald) og undir viðmiðum fyrir mjólkandi jórturdýr ($34,1 \mu\text{g/g}$ m.v. 0% rakainnihald). Ef horft er á einstaka sýnatökustaði var meðalstyrkur flúors í grasi fyrir sumarið 2020 undir hámarksgildum flúors í heilfóðri fyrir jórturdýr (26. mynd). Meðalstyrkur flúors í grasi var yfir hámarksgildum fyrir mjólkandi jórturdýr á níu stöðum utan

þynningarsvæðis. Það var á sýnatökustöðum G3, G8, G19, G20, G31, G39, G43 og G47 sem eru allir í fjallshlíðinni norðanmegin í Reyðarfirði vestan við álverið og G18 sem er í botni fjarðarins. Meðalstyrkur flúors í grasi sumarið 2020 innan þynningarsvæðis var 59 $\mu\text{g}/\text{g}$.

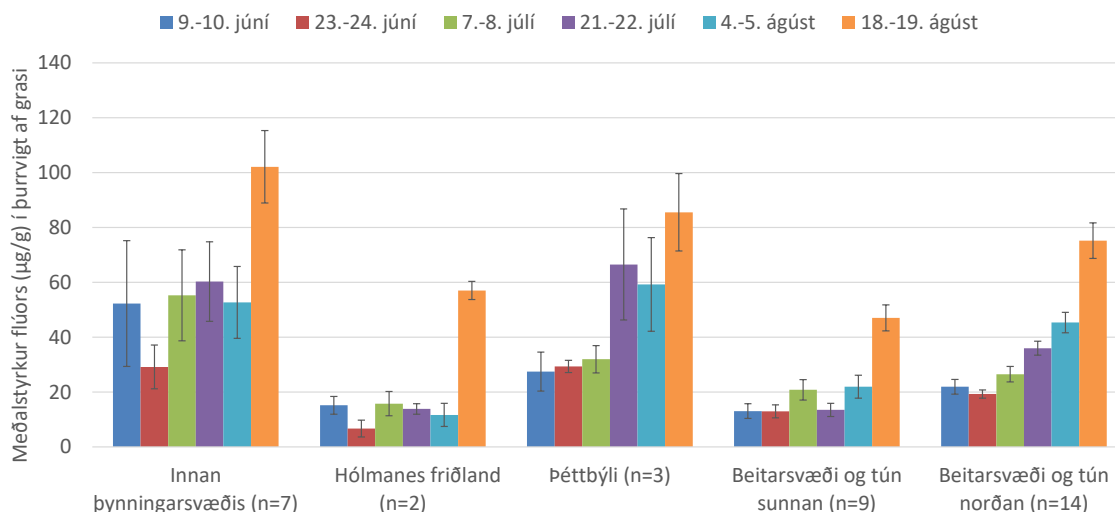
Til að fá gleggri mynd af því hvernig styrkur flúors dreifist utan þynningarsvæðis í Reyðarfirði var sýnatökustöðum á grasi skipt í fimm svæði (29. mynd):

1. Innan þynningarsvæðis skv. starfsleyfi, samtals sjö sýnatökustaðir.
2. Friðlandið og fólkvangurinn í Hólmanesi, samtals tveir sýnatökustaðir.
3. Þéttbýli, samtals þrjár sýnatökustaðir.
4. Möguleg beitarsvæði og tún norðan sauðfjárveikivarnarlínu við Sléttuá, samtals 14 sýnatökustaðir.
5. Möguleg beitarsvæði og tún sunnan sauðfjárveikivarnarlínu við Sléttuá, samtals 9 sýnatökustaðir.



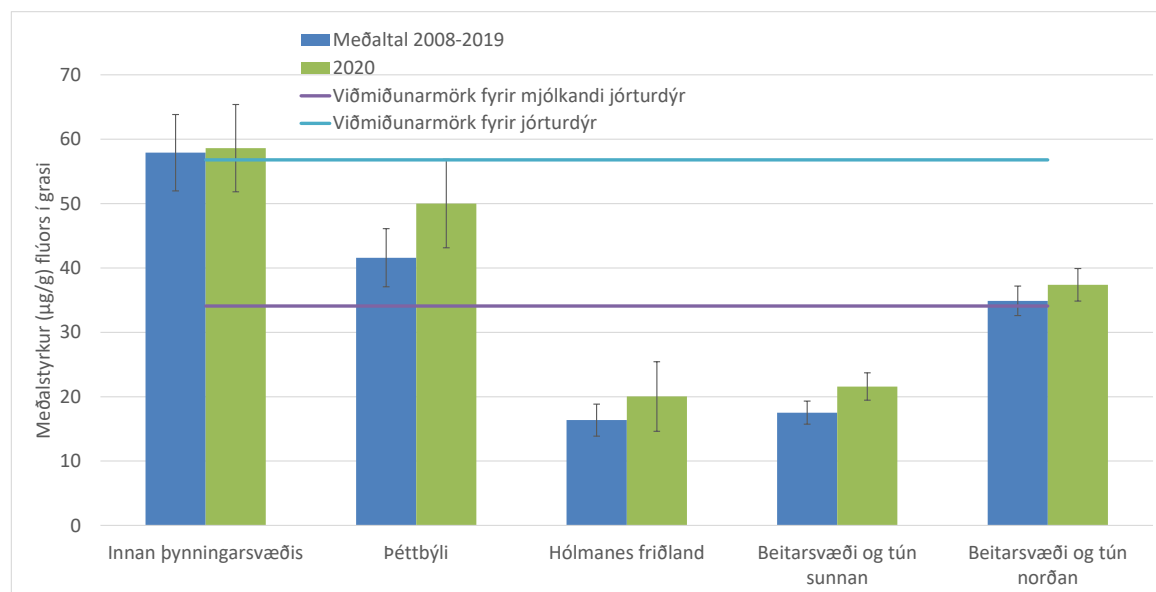
29. mynd. Skipting sýnatökustaða grass sumarið 2020 upp í fimm ólík svæði (Landmælingar Íslands, 2013 og 2015).

Hæsti meðaltalstyrkur flúors í hverri sýnatöku mældist innan þynningarsvæðis eða í þéttbýlinu á Reyðarfirði (30. mynd). Lægstu gildin mældust alltaf á Hólmanesi og á beitarsvæðum og túnum sunnan fjarðar. Lægstu meðalgildi ársins innan hvers svæðis mældust í fyrstu sýnatökunni í júní en hæstu meðalgildi ársins voru seinni part sumars í ágúst á öllum svæðum (30. mynd).



30. mynd. Meðalstyrkur flúors í grasi (með staðalskekkju) sumarið 2020, skipt upp eftir svæðum.

Meðalstyrkur flúors í grasi var svipaður eða lægri á öllum svæðum milli árána 2019 og 2020 (31. mynd). Dreifingarmynstur styrks flúors í grasi var svipað og undanfarin ár. Hæstu gildin mældust næst álverinu, innan þynningarsvæðis. Lægstu gildin mældust austan og sunnan megin við álverið sem má rekja til þess að loftborinn flúor berst að miklu leyti með ríkjandi vindátt til vesturs frá álverinu.



31. mynd. Meðalstyrkur flúors ($\mu\text{g/g}$) í þurrvigt af grasi (með staðalskekkju) eftir svæðum í Reyðarfirði. Fjöldi sýnatökustaða: 2014–2016 ($n=34$) og 2017–2020 ($n=35$).

Meðalstyrkur flúors í grasi á beitarssvæðum og túnum bæði norðan og sunnan fjarðar sumarið 2020 var undir viðmiðunarmörkum sem í gildi eru á Íslandi fyrir flúor í heilfóðri fyrir jörturdýr (mörkin eru $56,8 \mu\text{g/g}$ m.v. 0% rakainnihald). Meðalstyrkur flúors var einnig undir viðmiðunarmörkum sem sett eru fyrir mjólkandi jörturdýr á beitarssvæðum og túnum sunnan fjarðar ($22 \mu\text{g/g}$) en fyrir ofan þau norðan fjarðar, eða $37 \mu\text{g/g}$ (mörkin eru $34,1 \mu\text{g/g}$ m.v. 0% rakainnihald) (31. mynd).

Niðurstöður mælinga á flúor í grasi fyrir árið 2020 er að finna í viðauka 6.

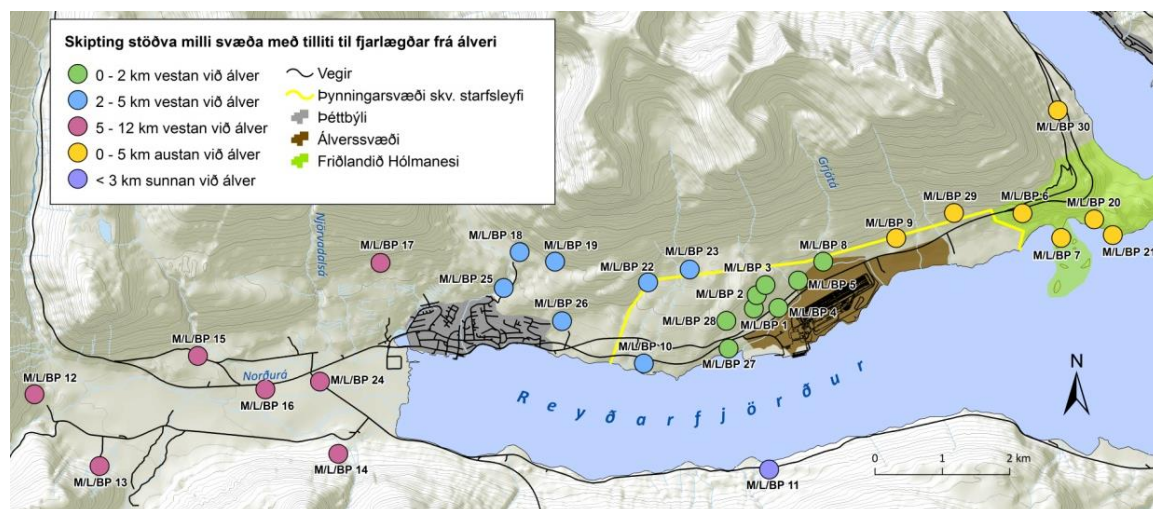
3.3.2 Mosi

3.3.2.1 Flúor

Til þess að fá gleggri mynd af því hvernig styrkur flúors dreifist í Reyðarfirði var sýnatökustöðum á mosa, fléttum og bláberjalyngi skipt í fimm svæði (32. mynd).

- Í 0–2 km fjarlægð vestur af álveri, samtals átta sýnatökustaðir.
- Í 2–5 km fjarlægð vestur af álveri, samtals sjö sýnatökustaðir.
- Í 5–12 km fjarlægð vestur af álveri, samtals sjö sýnatökustaðir.
- Í 0–5 km fjarlægð austur af álveri, samtals sjö sýnatökustaðir.
- Í < 3 km fjarlægð suður af álveri, samtals einn sýnatökustaður.

Þegar fjallað er um dreifingarmynstur flúors í þessum gróðri m.t.t. áttar og fjarlægðar frá álveri er átt við þessa skiptingu.

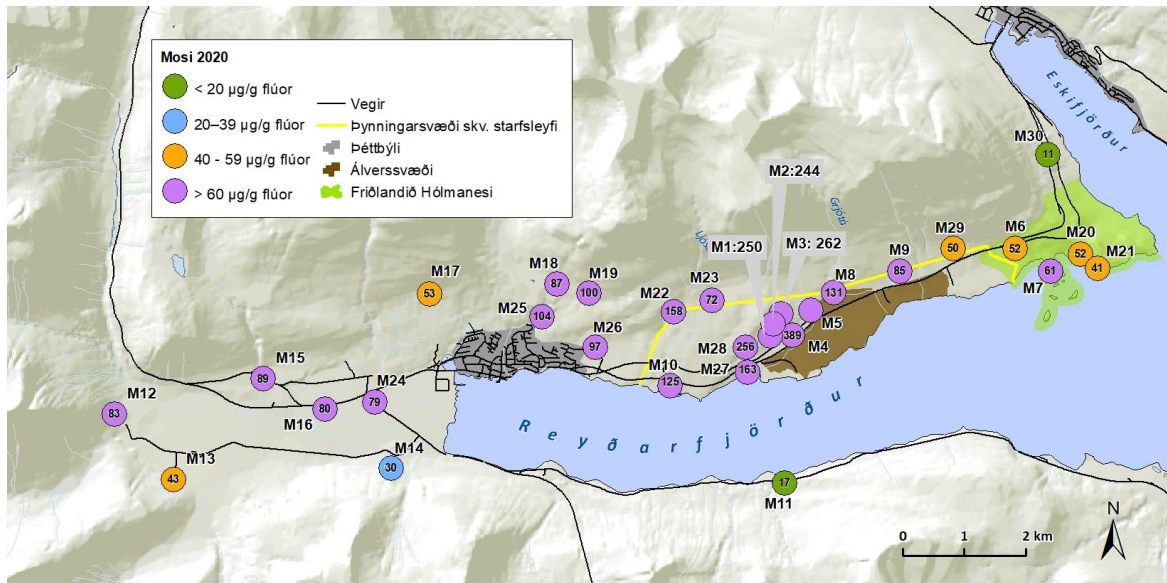


32. mynd. Skipting sýnatökustaða mosa, flétta og bláberjalyngs sumarið 2020 í fimm svæði (Landmælingar Íslands, 2013 og 2015).

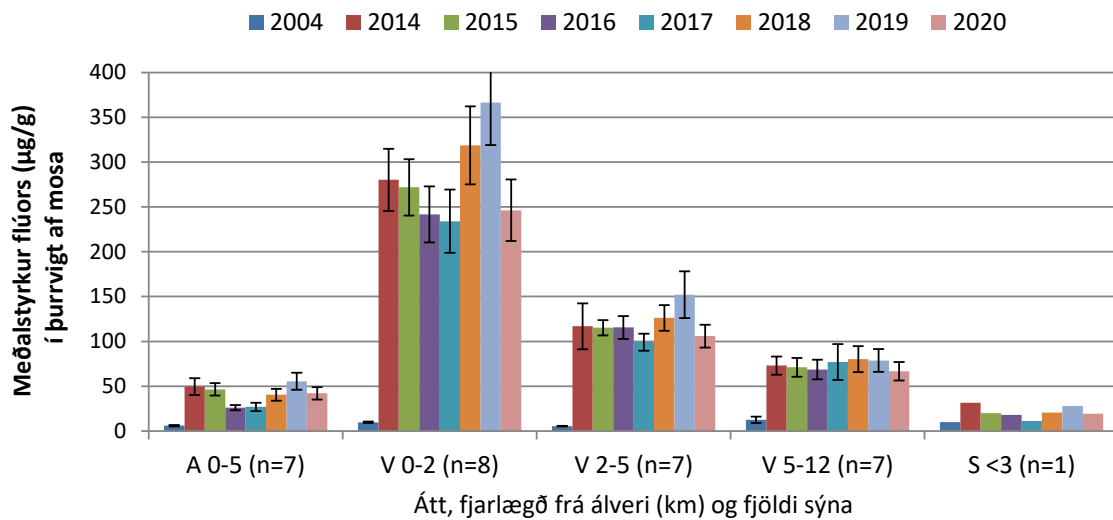
3.3.2.1 Flúor

Styrkur flúors í mosa árið 2020 mældist frá 11–389 µg/g og var dreifingarmynstrið með svipuðum hætti og fyrri ár. Hæstu gildin mældust innan þynningarsvæðis álversins. Styrkur flúors lækkaði eftir því sem fjær dró álverið en þó mismikið (33. mynd). Almennt

mældust mun lægri gildi sunnan og austan álversins en vestan þess eða 19 µg/g sunnan við það og að meðaltali 42 µg/g austan við það (33. og 34. mynd).



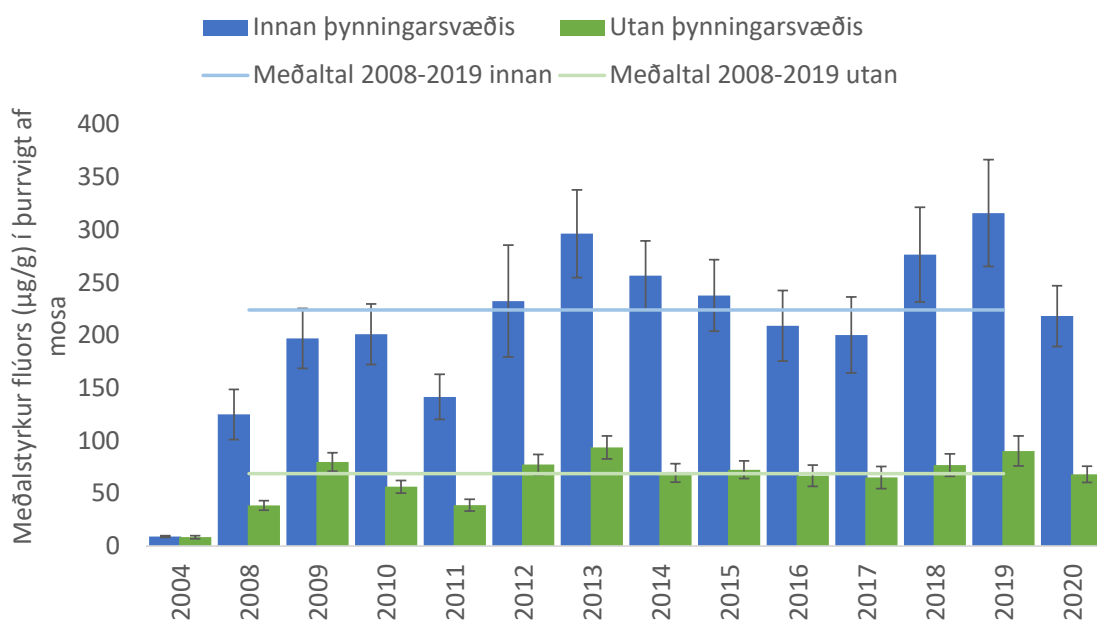
33. mynd. Sýnatökustaðir mosa í Reyðarfirði og styrkur flúors í júlí 2020 (Landmælingar Íslands, 2013, 2019 og 2021).



34. mynd. Meðalstyrkur flúors í mosa eftir svæðum árið 2004 (bakgrunnsgildi) og árin 2014 til 2020. Áttir A-austur, V-vestur og S-suður og fjarlægð frá reykháfi álvers. Fjöldi sýna er gefinn upp í sviga. Einnig er sýnd staðalskekkja meðaltalanna (32. mynd sýnir svæðisskiptinguna).

Ársmeðaltal flúors í mosa utan þýningarsvæðis árið 2020 var 68 µg/g sem er lægra en árið 2019 (90 µg/g) ($p=0,007$) (35. mynd) en svipað og meðaltal síðustu ellefu ára (69 µg/g) (2008–2019; $p<0,850$). Ársmeðaltal innan þýningarsvæðis mældist 218 µg/g. Og var styrkurinn marktækt lægri samanborið við árið 2019 (316 µg/g; $0,010$) en þó ekki og svipaður og meðalgildi árána 2008–2019 (224 µg/g; $p=0,556$). Styrkur flúors í mosa hefur hækkað mikið frá því áður en álverið hóf starfsemi (samanburður grunnilda við meðaltöl árána 2008–2020; $p=0,001$) (35. mynd).

Mosar eru frábrugðnir æðplöntum á þann hátt að hlutfall yfirborðs miðað við þyngd þeirra er mun herra en hjá æðplöntum sem skýrir hærri styrk flúors í sömu þyngd af mosa en t.d. grasi (Weinstein & Davison, 2003).



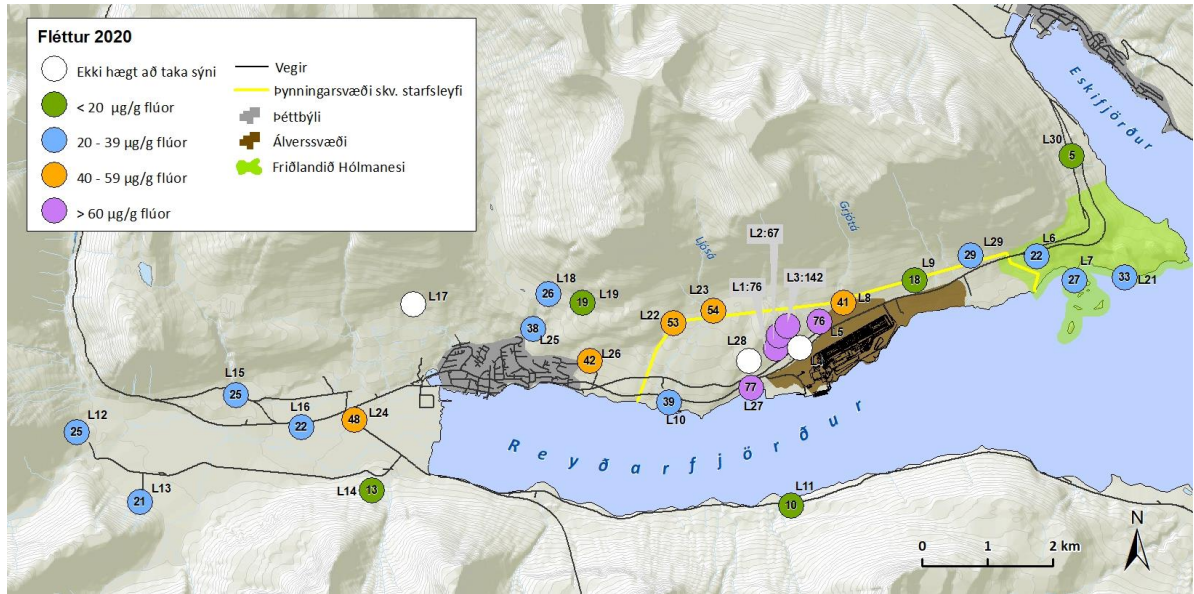
35. mynd. Meðalstyrkur flúors ($\mu\text{g/g}$) í þurrvigt af mosa (með staðalskekkju) innan og utan þyningarsvæðis í Reyðarfirði árið 2004 (bakgrunnsgildi) og árin 2008 til 2020. Gögnin eru byggð á 10 sýnum innan þyningarsvæðis og 20 sýnum utan þyningarsvæðis ár hvert.

Niðurstöður mælinga á flúor í mosa fyrir árið 2020 er að finna í viðauka 7.

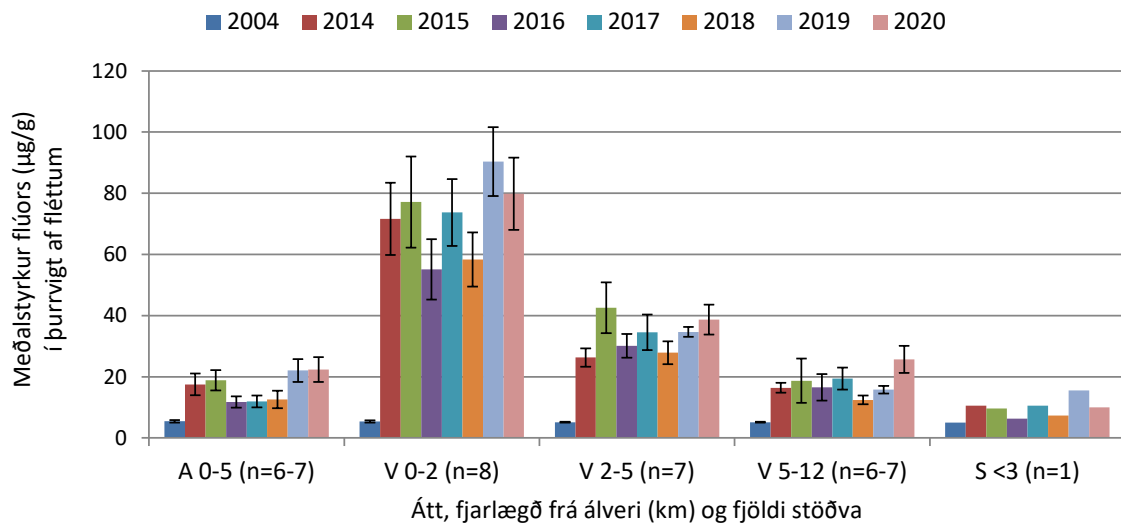
3.3.3 Fléttur

3.3.3.1 Flúor

Styrkur flúors í fléttum mældist frá 5–142 $\mu\text{g/g}$ og var dreifingarmynstur með svipuðum hætti og fyrri ár og sambærilegt við dreifingarmynstur flúors í öðrum gróðri. Hæstu gildin mældust í 0–2 km fjarlægð í vestur frá álverinu eða frá 41–142 $\mu\text{g/g}$ en styrkurinn féll þegar vestar dró og mældust sýni í 2–5 km fjarlægð frá álveri með gildi frá 19–54 $\mu\text{g/g}$ og í 5–12 km fjarlægð frá 13–48 $\mu\text{g/g}$. Mun lægri gildi mældust austan og sunnan við álverið en í sambærilegri fjarlægð vestan við það (36. og 37. mynd).

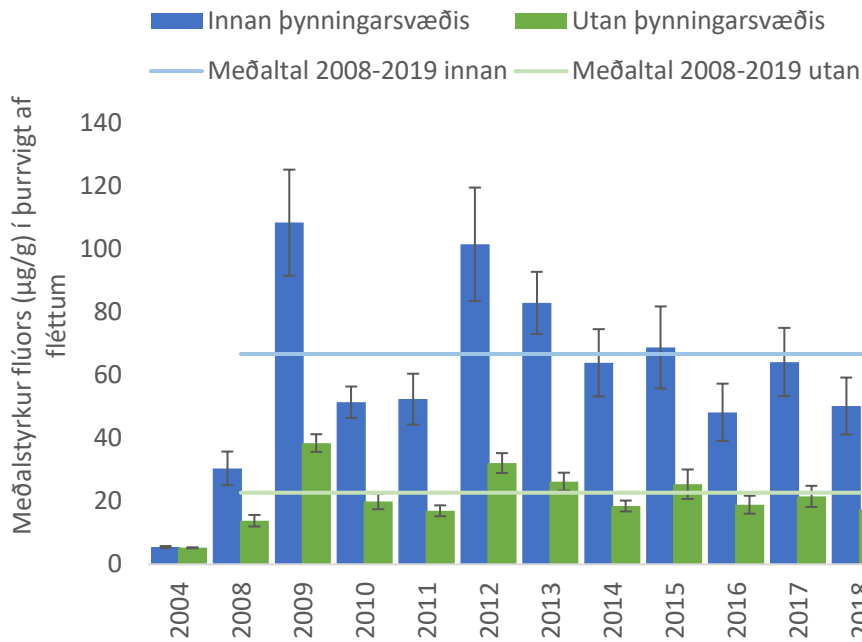


36. mynd. Sýnatökustaðir flétta í Reyðarfirði og styrkur flúors í júlí 2020 (Landmælingar Íslands, 2013, 2019 og 2021).



37. mynd. Meðalstyrkur flúors í fléttum árið 2004 (bakgrunnsgildi) og árin 2014 til 2020 eftir svæðum. Áttir A-austur, V-vestur og S-suður og fjarlægð frá reykháfi álvers. Fjöldi sýna er gefinn upp í sviga. Einnig er sýnd staðalskekka meðaltalanna (32. mynd sýnir svæðisskiptinguna).

Ársmeðaltal flúors í fléttum utan þynningarsvæðis mældist $28 \mu\text{g/g}$ og var styrkurinn ekki marktækt frábrugðinn styrknum árið 2019 ($23 \mu\text{g/g}$) ($p=0,067$) en hærri á við meðaltalsgildi árunna 2008 til 2019 ($23 \mu\text{g/g}$; $p=0,001$). Ársmeðaltal flúors í fléttum innan þynningarsvæðis mældist $67 \mu\text{g/g}$ sem var ekki marktækt hærri styrkur en mældist árið 2019 ($78 \mu\text{g/g}$; $p=0,945$) sem og meðaltalsgildi síðustu ellefu ára ($67 \mu\text{g/g}$) (2008–2019; $p<0,641$). Styrkur flúors í fléttum hefur, líkt og styrkur þess í mosa, hækkað frá bakgrunnsgildum (samanburður grunnilda við meðaltöl árunna 2008–2020: $p=0,001$) en er nokkuð breytilegur milli ára, sérstaklega innan þynningarsvæðis (38. mynd).



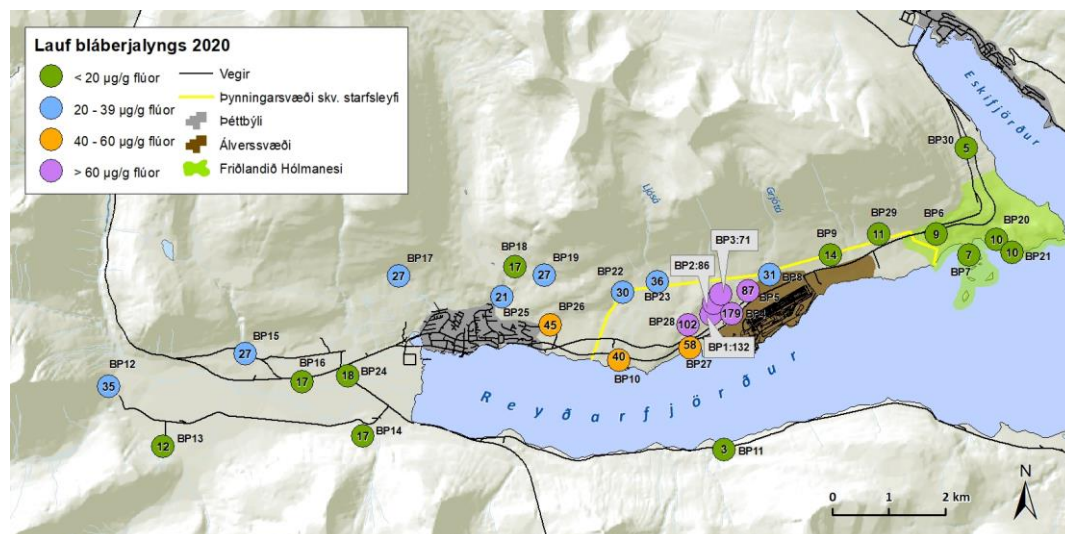
38. mynd. Meðalstyrkur flúors (µg/g) í þurrvigt af fléttum (með staðalskekkju) innan og utan þynningarsvæðis í Reyðarfirði árið 2004 (bakgrunnsgildi) og árin 2008 til 2020. Gögnin eru byggð á 10 sýnum innan þynningarsvæðis og 20 sýnum utan þynningarsvæðis ár hvert.

Niðurstöður mælinga á flúor í fléttum fyrir árið 2020 er að finna í viðauka 7.

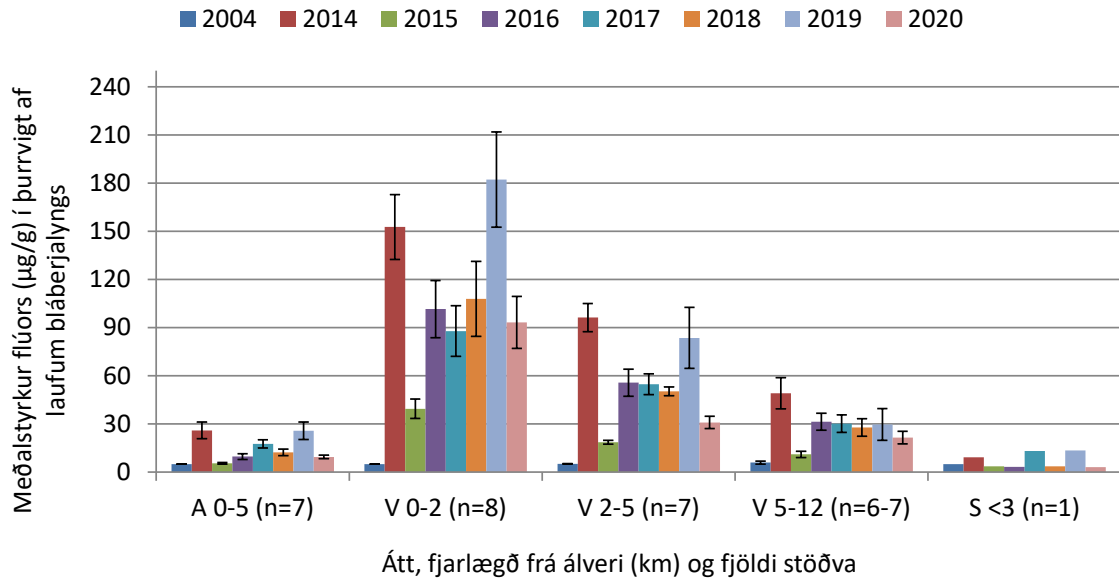
3.3.4 Bláberjalyng

3.3.4.1 Flúor

Styrkur flúors í laufum bláberjalyngs mældist frá 3–179 µg/g. Dreifingarmynstur styrks flúors í bláberjalyngi var með svipuðum hætti og í öðrum gróðursýnum, þ.e. hæstu gildin mældust næst álveri og féll styrkurinn með vaxandi fjarlægð frá því, en mismikið eftir áttum. Meðalstyrkur mældist hæstur rétt vestan við álverið (93 µg/g) en að meðaltali lægstur austur af álverinu (9 µg/g) og sunnan fjarðar (3 µg/g) (39. og 40. mynd).

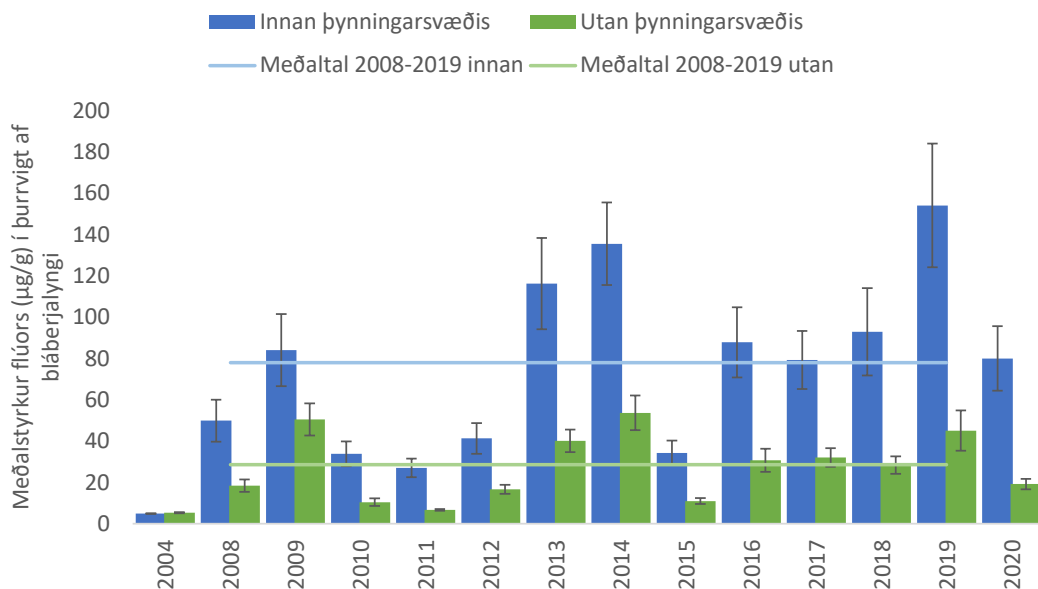


39. mynd. Sýnatökustaðir laufa bláberjalyngs í Reyðarfirði og styrkur flúors í júlí 2020 (Landmælingar Íslands, 2013, 2019 og 2021).



40. mynd. Meðalstyrkur flúors í bláberjalaufum árið 2004 (bakgrunnsgildi) og árin 2014 til 2020 eftir svæðum. Áttir A-austur, V-vestur og S-suður og fjarlægð frá reykháfi álvers. Fjöldi sýna er gefinn upp í sviga. Einnig er sýnd staðalskekka meðaltalanna (32. mynd sýnir svæðisskiptingu).

Ársmeðaltal flúors í laufum bláberjalyngs árið 2020 utan þynningarsvæðis var 19 µg/g sem eru lægri gildi en árið 2019 (45 µg/g; $p=0,001$) og meðaltalsgildi árána 2008 til 2019 (29 µg/g; $p=0,001$) en mikill breytileiki er milli ára (41. mynd). Innan þynningarsvæðis mældist styrkurinn að meðaltali 80 µg/g. Styrkurinn var lægri en árið 2019 ($p=0,02$) en svipaður meðalgildum árána 2008 til 2019 (78 µg/g) ($p=0,695$). Styrkur flúors í laufum bláberjalyngs hefur, líkt og styrkur þess í mosa og fléttum, hækkað frá bakgrunnsgildum (samanburður grunngilda við meðaltöl árána 2008-2020: $p=0,001$) (41. mynd).



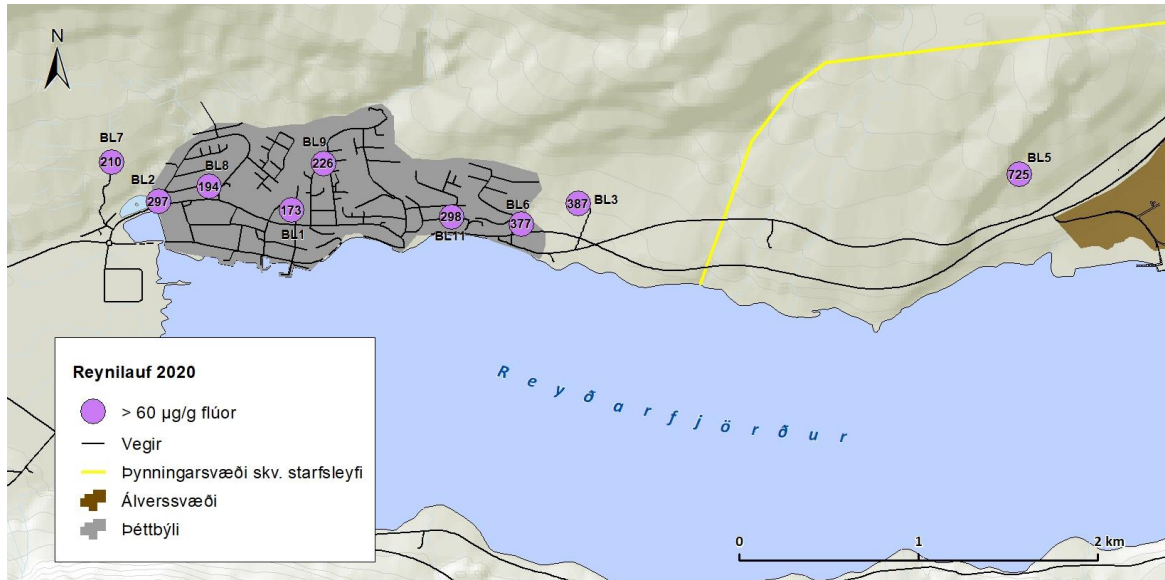
41. mynd. Meðalstyrkur flúors (µg/g) í þurrvigt af bláberjalyngi (með staðalskekku) innan og utan þynningarsvæðis í Reyðarfirði árið 2004 (bakgrunnsgildi) og árin 2008 til 2020. Gögnin eru byggð á 10 sýnum innan þynningarsvæðis og 20 sýnum utan þynningarsvæðis ár hvert.

Niðurstöður mælinga á flúor í laufum bláberjalyngs árið 2020 er að finna í viðauka 7.

3.3.5 Reyniviður

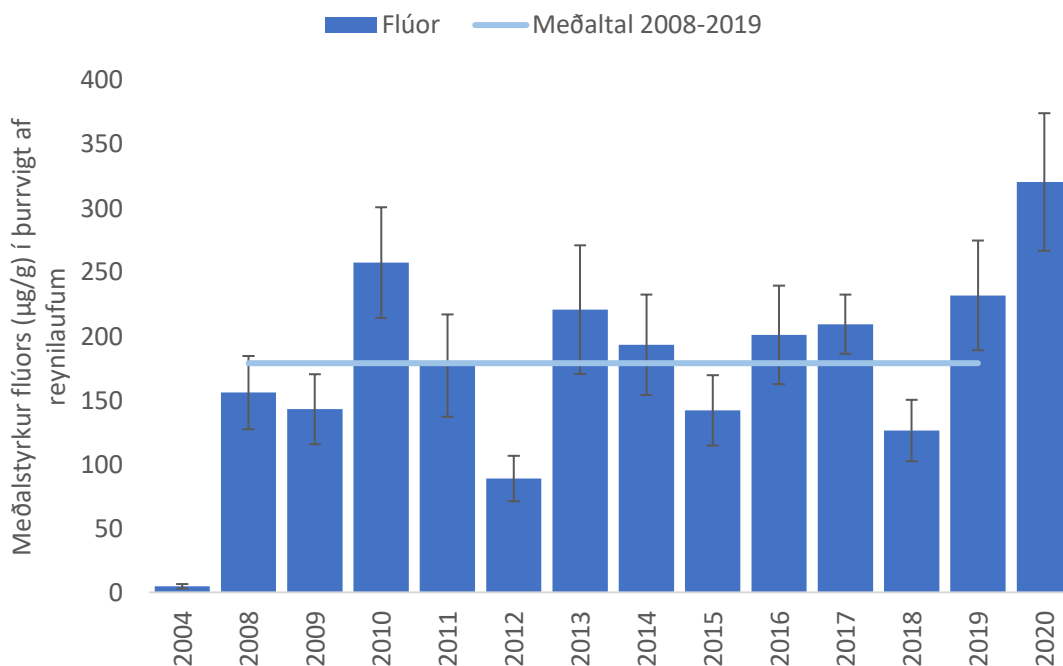
3.3.5.1 Flúor

Styrkur flúors í reynivið mældist frá 173–725 µg/g og var hæsta gildið næst álverinu á sýnatökustað BL5, sem er staðsettur í skógræktarreit rétt ofan álversins. Lægsta gildið mældist í sýni BL1 en það sýni var tekið í þéttbýlinu á Reyðarfirði (42. mynd).



42. mynd. Sýnatökustaðir á laufblöðum reynitrjáa í Reyðarfirði og styrkur flúors í laufi í ágúst 2020 (Landmælingar Íslands, 2013 og 2021).

Ársmeðaltal flúors í reynilaufum var 321 µg/g og hefur aldrei mælst svo hátt. Styrkurinn var hærri en árið 2019 (232 µg/g; $p=0,004$) sem og meðaltalstyrkur flúors árin 2008 til 2019 (179 µg/g; $p=0,002$). Meðalstyrkur flúors í reynilaufum hefur hækkað mikið frá því áður en álverið hóf rekstur (samanburður grunngilda við meðaltöl árána 2008-2020: $p=0,004$) en hann er nokkuð breytilegur milli ára líkt og í bláberjalyngi og grasi (43. mynd).



43. mynd. Ársmeðaltal flúors í laufblöðum reynitrjáa (ásamt staðalskekkju) árin 2004 bakgrunnsgildi og 2008–2019 í Reyðarfirði. Gögn eru byggð á 10 sýnum árin 2004, 2015 og 2017 en 9 árin 2014, 2016 og 2020.

Niðurstöður mælinga á flúor í laufum reynitrjáa fyrir árið 2020 er að finna í viðauka 8.

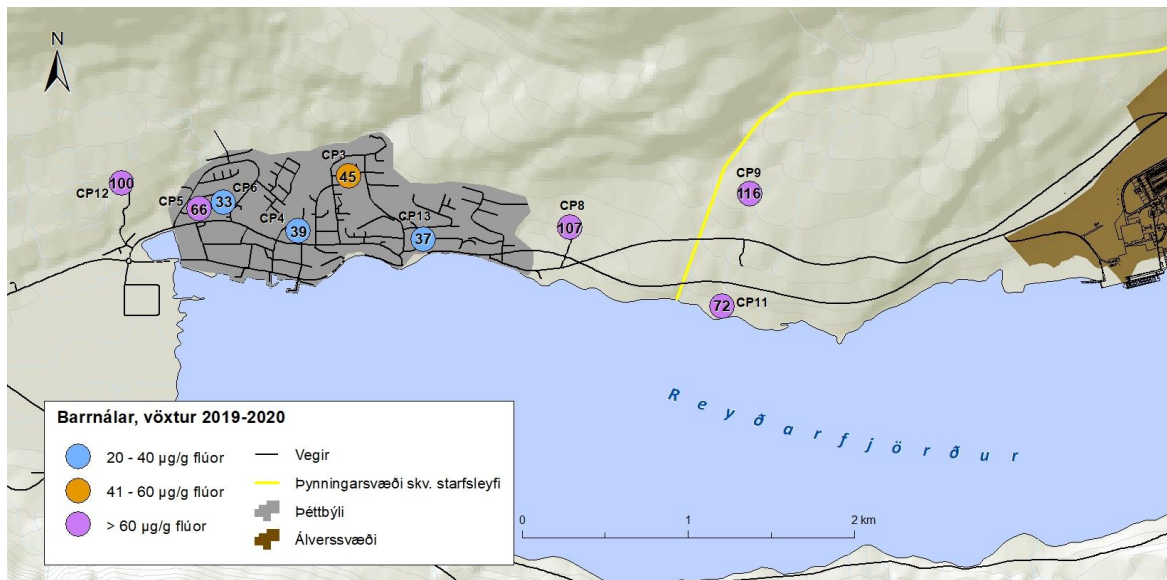
3.3.6 Barrnalar

3.3.6.1 Flúor

Styrkur flúors í nýjum barrnálum mældist frá 10 µg/g til 43 µg/g og í barrnálum fyrra árs mældist styrkurinn frá 33 µg/g til 116 µg/g (44. og 45. mynd). Hæsta gildið í nýjum nálum mældist á sýnatökustað CN8 við Teigagerði en það hæsta í nálum fyrra árs á sýnatökustaðnum CP9, á skógræktarsvæði. Lægstu gildin í nýjum nálum mældist á sýnatökustað CN4 og nálum fyrra árs mældust lægstu gildin á sýnatökustað CP6 en báðir sýnatökustaðirnir eru innan þéttbýlisins (44. og 45. mynd).

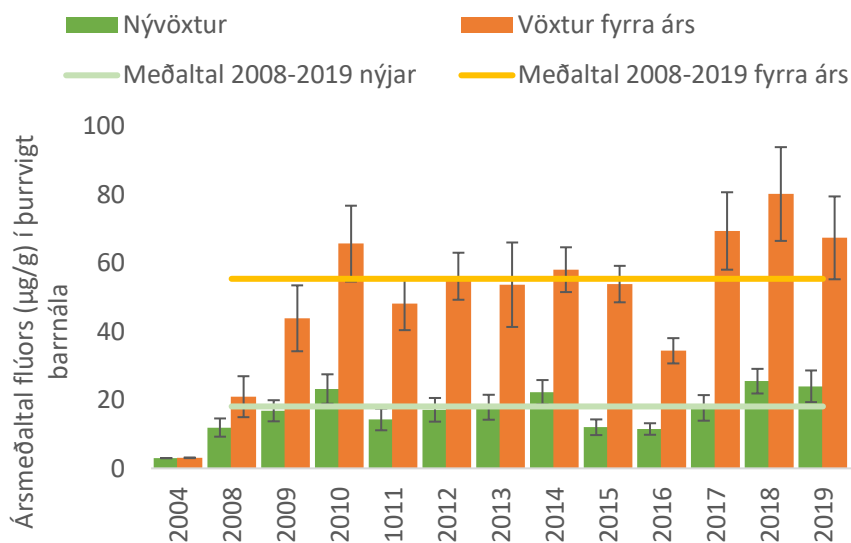


44. mynd. Sýnatökustaðir barnnála í Reyðarfirði og styrkur flúors í nýjum barnnállum (CN) í október 2020 (Landmælingar Íslands, 2013 og 2021).



45. mynd. Sýnatökustaðir barnnála í Reyðarfirði og styrkur flúors í barnnállum frá fyrra ári (CP, 2018), safnað í október 2020 (Landmælingar Íslands, 2013 og 2021).

Ársmeðaltal flúors í barnnállum árið 2020 var $22 \mu\text{g/g}$ í nýjum nállum og $68 \mu\text{g/g}$ í barnnállum fyrra árs. Meðalstyrkurinn í nývöxnum nállum var sambærilegur og árið 2019 ($24 \mu\text{g/g}$; $p=0,272$) en hærri en meðalstyrkur árána 2008 til 2019 ($18 \mu\text{g/g}$; $p=0,030$) auk bakgrunnsgilda ($3 \mu\text{g/g}$; $p=0,001$). Styrkur flúors í nállum fyrra árs sem safnað var árið 2020 ($68 \mu\text{g/g}$) var sambærilegt samanborið við árið 2019 ($67 \mu\text{g/g}$; $p=0,799$). Gildin árið 2020 voru hærri miðað við meðalstyrk síðustu ellefu ára ($55 \mu\text{g/g}$) en munurinn náði ekki marktækni ($p=0,051$). Styrkurinn hefur hækkað mikið frá bakgrunnsgildum (samanburður grunnilda við meðaltöl árána 2008-2020: $p=0,008$) (46. mynd).



46. mynd. Ársmeðaltal flúors í barnálum (ásamt staðalskekkju) árið 2004 (bakgrunnsgildi) og árin 2008 til 2020 í Reyðarfirði. Gögnin eru byggð á 10 sýnum árið 2004 en 9 sýnum árin 2014–2020. Ártalið á lárétta ásnum vísar í söfnunarár.

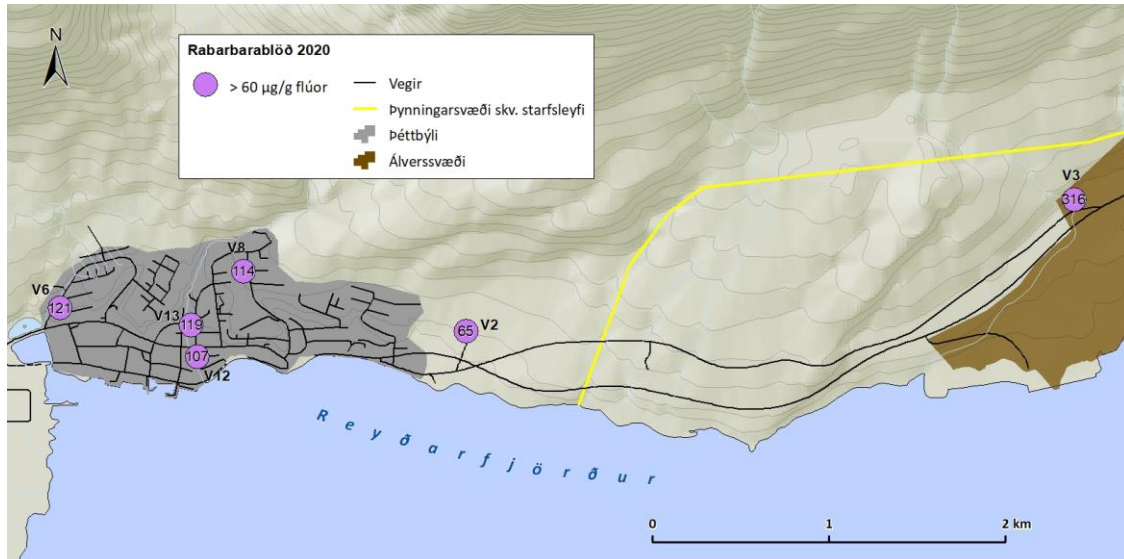
Sígræn tré fella ekki laufin á haustin og taka því upp flúor allan ársins hring. Mest er upptakan frá því nýjar nálar fara að myndast að vori og fram á veturinn. Flúor safnast fyrir í nálum og styrkurinn eykst milli ára þannig að eldri nálar mælast alltaf með hærri styrk en yngri nálar (Doley, 2010).

Niðurstöður mælinga á flúor í barnálum fyrir árið 2020 er að finna í viðauka 9.

3.3.7 Rabarbari

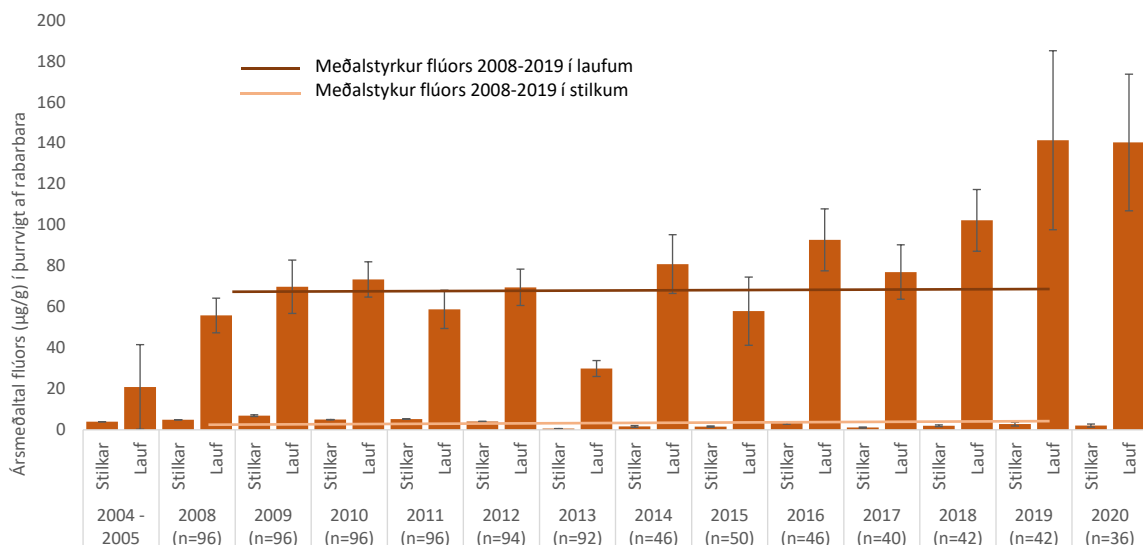
3.3.7.1 Flúor

Meðalstyrkur flúors í laufblöðum rabarbara mældist frá 68–391 µg/g. Hæsta einstaka gildi mældist í ágúst á sýnatökustað V3 (656 µg/g) sem er við Sómastaði, innan þynn-ingarsvæðis, líkt og fyrri ár. Lægsti styrkurinn mældist í júní á sýnatökustað V13 í þéttbýlinu á Reyðarfirði (47. mynd). Flúor í stilkum mældist frá 0,7–7,7 µg/g sem undirstrikar þá staðreynd að þó há gildi mælist í blöðum rabarbara mælast lág gildi í stilkunum (48. mynd). Ekki eru til nein viðmið hér á landi um hámarksstyrk flúors í grænmeti sem ætlað er til manneðis.



47. mynd. Sýnatökustaðir rabarbara í Reyðarfirði og meðalstyrkur flúors í laufum (V) í þremur sýnatökufærðum frá júní til ágúst sumarið 2020 (Landmælingar Íslands, 2013 og 2021).

Ársmeðaltal flúors í laufblöðum rabarbara var 140 µg/g og var sambærilegt við árið 2019 (141 µg/g; $p=0,469$) (48. mynd). Styrkurinn var marktækt hærri árið 2020 samanborið við meðaltal árána 2008–2019 og árin fyrir álver ($p<0,05$). Ársmeðaltal flúors í stilkum rabarbara árið 2020 var 2 µg/g og hefur lítið breyst frá því áður en álverið var byggt (48. mynd).



48. mynd. Ársmeðaltal flúors í þurrvigt af rabarbara árin 2004–2005 (meðaltal beggja árána) og árin 2008 til 2020 í Reyðarfirði. Fjöldi sýna er gefinn upp í sviga. Einnig er sýnd staðalskekkja meðaltalanna. Árin 2004–2005 var farin ein sýnatökufærð og árin 2014–2020 voru farnar þrjár sýnatökufærðir.

Niðurstöður mælinga á styrk flúors í rabarbarasýnum árið 2020 má sjá í viðauka 10.

3.3.7.2 Þungmálmur

Meðalstyrkur þungmálma í blöðum rabarbara lækkaði eða var svipaður í öllum tilvikum milli árána 2019 og 2020 nema fyrir kopar (Cu) en það hækkaði um 0,2 µg/g milli ára (2. tafla). Styrkur þungmálma getur verið nokkuð breytilegur á milli ára og mæliaðferðir,

sem verða sífellt nákvæmari, hafa áhrif á samanburð (2. tafla). Styrkur þungmálma í rabarbara var ekki skoðaður lengra aftur í tímann en til ársins 2013 til samanburðar milli ára vegna þess að þá voru gildin fyrst gefin upp fyrir blautvigt fyrir hvert sýni og eldri gildi því ekki samanburðarhæf.

Styrkur þungmálma í rabarbarastilkum var almennt lægri en í laufblöðum. Styrkurinn var í öllum tilvikum lægri eða svipaður á milli árána 2019 og 2020 (3. tafla). Gildi þungmálma í rabarbarastilkum hafa frá árinu 2013 haldist nokkuð svipuð milli ára eða verið undir greiningarmörkum.

Reglugerð um hámarksgildi fyrir tiltekin aðskotaefni í matvælum (nr. 265/2010 með síðari breytingum nr. 358/2015 og 1048/2016) skilgreinir hámarksgildi blýs (Pb) og kadmíums (Cd) í grænmeti. Hámarksgildi fyrir bæði kadmíum og blý í stöngul- og rótargrænmeti er 0,1 mg/kg ($\mu\text{g/g}$) í blautvigt. Ekkert sýni af rabarbarastilkum mældist yfir þessum viðmiðum árið 2020. Hámarksgildi fyrir kadmíum í blaðgrænmeti er 0,2 $\mu\text{g/g}$ í blautvigt og fyrir blý í blaðgrænmeti er hámarksgildið 0,3 $\mu\text{g/g}$ í blautvigt. Ekkert sýni af rabarbarablöðum mældist yfir viðmiðum fyrir blý árið 2020. Ekkert sýni mældist yfir hámarksgildum fyrir kadmíum. Í reglugerðinni eru engin viðmið fyrir aðra þungmálma í grænmeti.

2. tafla. Meðalstyrkur þungmálma ($\mu\text{g/g}$ blautvigt) í rabarbarablöðum árin 2013 – 2020.

	As $\mu\text{g/g}$	Cd $\mu\text{g/g}$	Cr $\mu\text{g/g}$	Cu $\mu\text{g/g}$	Hg $\mu\text{g/g}$	Ni $\mu\text{g/g}$	Pb $\mu\text{g/g}$	Zn $\mu\text{g/g}$
2013	<0,020	0,087	0,036	0,998	<0,005	0,750	<0,020	20,18
2014	<0,090	0,033	0,032	0,854	<0,010	0,627	<0,040	20,06
2015	<0,070	0,058	0,033	0,907	<0,009	0,738	<0,030	11,46
2016	0,009	0,065	0,081	0,813	0,002	0,599	0,010	12,82
2017	0,002	0,053	0,051	0,827	0,001	0,486	0,009	12,23
2018	<0,004	0,043	0,047	0,695	<0,004	0,466	0,009	10,29
2019	0,016	0,069	0,093	0,780	0,004	0,817	0,065	13,21
2020	0,012	0,058	0,081	0,977	0,010	0,612	0,019	13,25

3. tafla. Meðalstyrkur þungmálma ($\mu\text{g/g}$ blautvigt) í rabarbarastilkum árin 2013 – 2020. <LOD merkir að styrkur þungmálms hefur mælst undir greiningarmörkum.

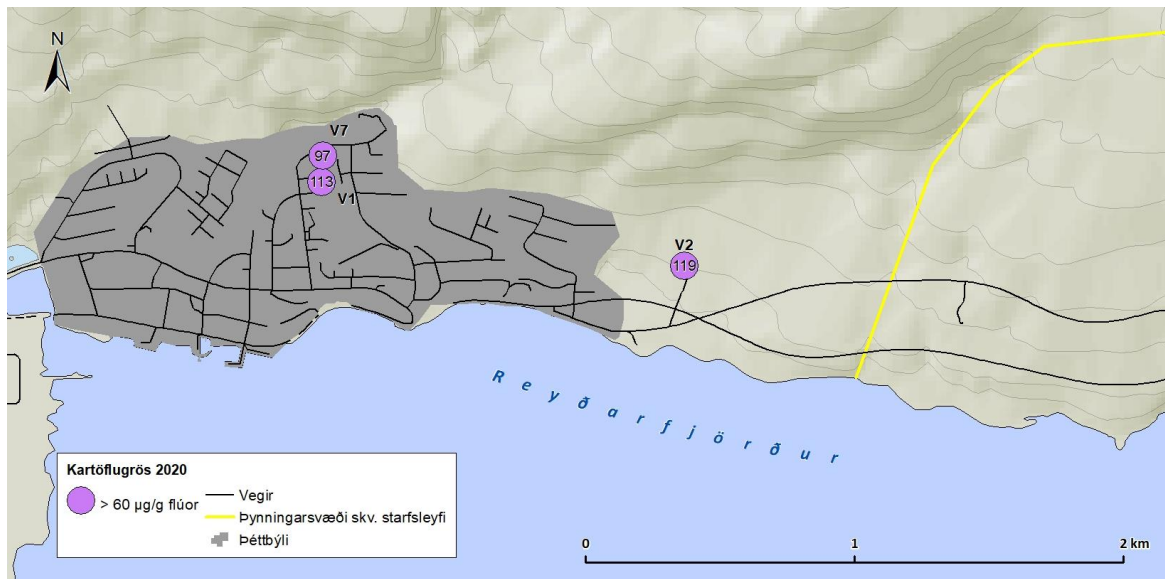
	As $\mu\text{g/g}$	Cd $\mu\text{g/g}$	Cr $\mu\text{g/g}$	Cu $\mu\text{g/g}$	Hg $\mu\text{g/g}$	Ni $\mu\text{g/g}$	Pb $\mu\text{g/g}$	Zn $\mu\text{g/g}$
2013	<0,020	0,012	0,011	0,254	0,010	0,135	0,029	3,89
2014	<0,090	0,013	0,011	0,294	<0,010	0,176	<0,040	4,16
2015	<0,070	0,012	<0,020	0,216	<0,009	0,205	<0,030	2,33
2016	0,0005	0,011	0,013	0,188	<0,0001	0,135	0,004	2,53
2017	0,0005	0,009	0,005	0,161	<0,00009	0,082	0,004	2,04
2018	<LOD	0,010	0,010	0,139	<LOD	0,070	0,004	2,04
2019	<LOD	0,016	<0,019	0,220	<0,001	0,093	<0,010	3,85
2020	<LOD	0,011	0,005	0,201	<LOD	0,110	0,005	2,85

Niðurstöður mælinga á þungmálmum í rabarbarasýnum fyrir árið 2020 má sjá í viðauka 10.

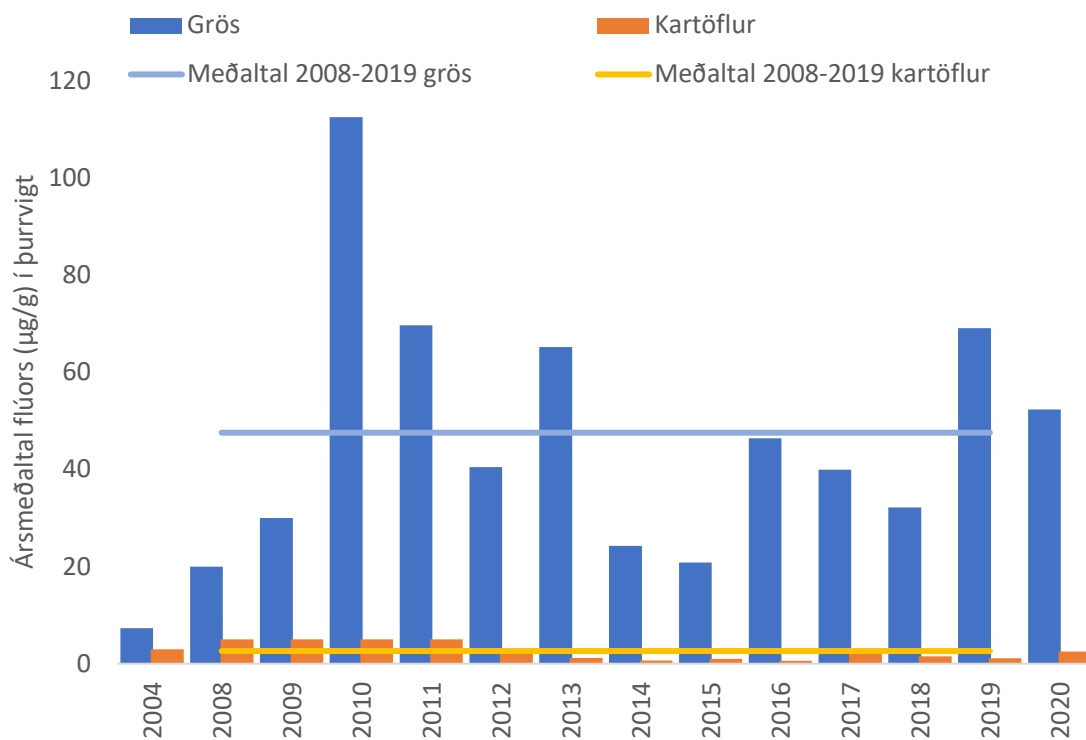
3.3.8 Kartöflur og grænmeti

3.3.8.1 Flúor

Styrkur flúors í kartöflugrösum mældist 113 $\mu\text{g/g}$ á sýnatökustað V1, 119 $\mu\text{g/g}$ á sýnatökustað V6 og 97 $\mu\text{g/g}$ á sýnatökustað V7 (að meðaltali 110 $\mu\text{g/g}$) (49. mynd). Meðalstyrkur flúors í kartöflugrösum var hærri árið 2020 en 2019 og meðalstyrkur frá árunum 2008–2019 (48 $\mu\text{g/g}$) (50. mynd). Styrkur flúors í kartöflugrösum er nokkuð breytilegur milli sýnatökustaða og milli ára. Styrkur flúors í þeim þremur sýnum af kartöflum sem tekin voru var lágur (1,2 og 1,6 $\mu\text{g/g}$) (50. mynd). Líkt og með rabarbarann má sjá að þó að styrkur flúors mælist hár í kartöflugrösum er styrkurinn lágur í kartöflunum sjálfum.



49. mynd. Sýnatökustaðir kartafla og salats (innan þéttbýlis) í Reyðarfirði og styrkur flúors í kartöflugrösum sumarið 2020 (Landmælingar Íslands, 2013 og 2021).



50. mynd. Ársmeðaltal flúors í kartöflum og kartöflugrösunum á þremur til fjórum sýnatökustöðum sumrin 2004 (bakgrunnsildi) og 2008 til 2020.

Í **grænlaufsaldi** á sýnatökustað V1 var styrkur flúors, 17 µg/g. Styrkur flúors í salati er breytilegur á milli ára. Í bakgrunnsúttekt árið 2004 var styrkur þess <3 µg/g en greiningarmörk þá voru hærri.

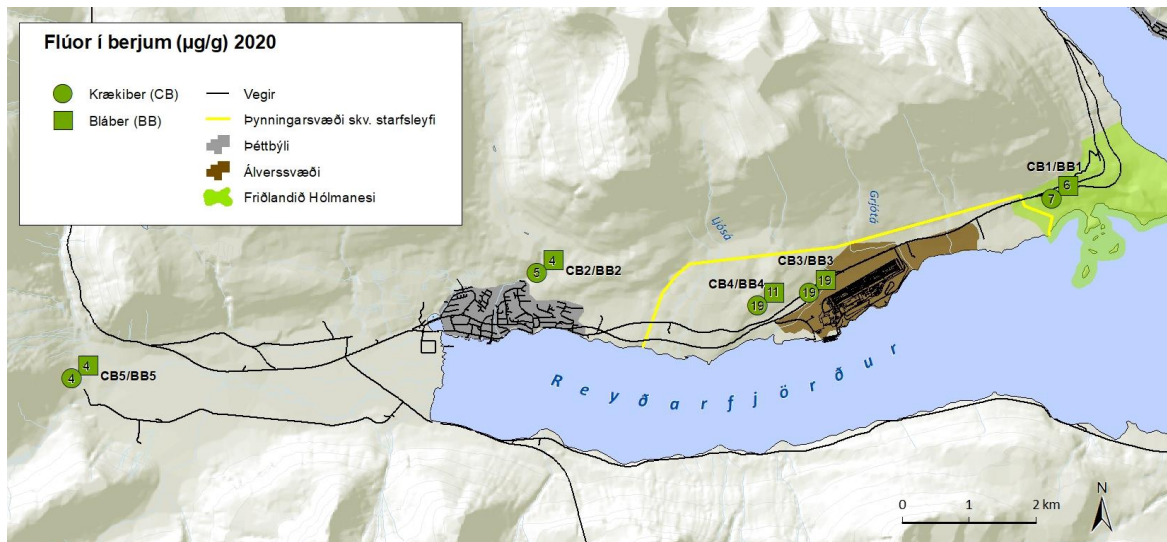
Niðurstöður mælinga á flúor kartöflum og salati fyrir árið 2020 má sjá í viðauka 10.

3.3.9 Bláber og krækiber

3.3.9.1 Flúor

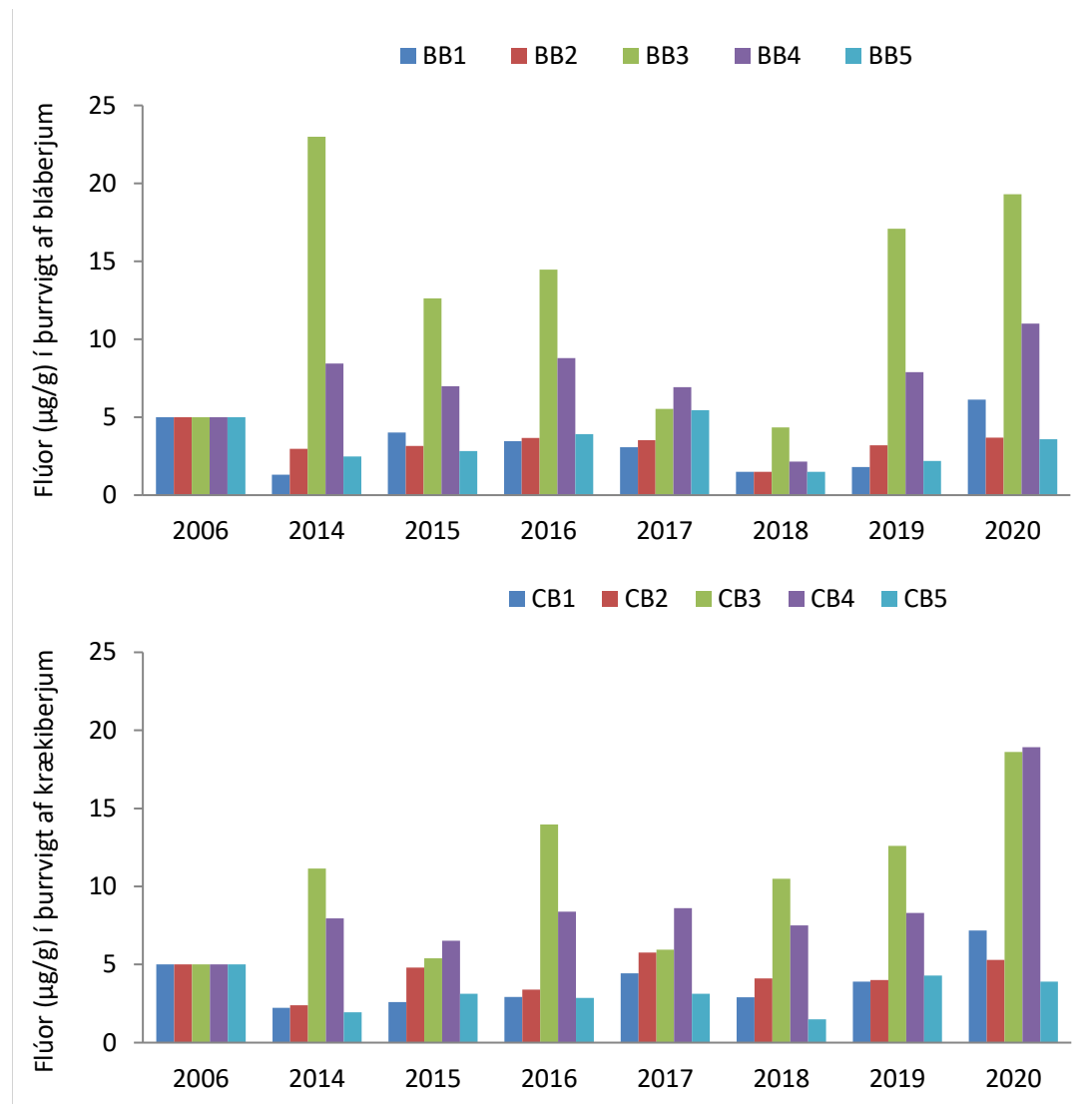
Styrkur flúors í krækiberjum og bláberjum mældist frá 4–19 µg/g. Hæstu gildin í bæði bláberjum og krækiberjum mældust innan þynningarsvæðis á sýnatökustað BB/CB3 og BB/CB4 (51. og 52. mynd).

Styrkur flúors í berjum var í flestum tilvikum hærri árið 2020 en árið 2019 (52. mynd).



51. mynd. Styrkur flúors í bláberjum og krækiberjum á fimm sýnatökustöðum í Reyðarfirði í ágúst 2020. Tekið var eitt sýni á hverri stöð (Landmælingar Íslands, 2013, 2019 og 2021).

Hæstu gildi ársins í bláberjalyngi mældust á sama svæði og í berjasýnunum BB3 og BB4 sem eru innan þynningarsvæðis og nálægt álverinu, undan ríkjandi vindátt. Styrkur flúors í blöðum bláberjalyngs reyndist alla jafna töluvert hærra en gildin í bláberjum á sömu stöðum. Sem fyrr er þetta í samræmi við erlendar athuganir sem og athuganir í Reyðarfirði undanfarin ár sem hafa sýnt að jafnvel þó að styrkur flúors í andrúmslofti og blöðum plantna sé hér þá hafa ávextir, fræ og rætur lág gildi (Elín Guðmundsdóttir o.fl., 2016, 2017, 2018; Guðrún Óskarsdóttir o.fl., 2015; Erlín Emma Jóhannsdóttir o.fl., 2012, 2013 og 2014; Weinstein & Davison, 2004).



52. mynd. Styrkur flúors ($\mu\text{g/g}$) í þurrvigt af bláberjum og krækiberjum árin 2006 og 2014–2020 í Reyðarfirði. Fram til ársins 2011 voru greiningarmörk fyrir flúor í blá- og krækiberjum 5 $\mu\text{g/g}$.

Niðurstöður mælinga á flúor í bláberjum og krækiberjum fyrir árið 2020 er að finna í viðauka 11.

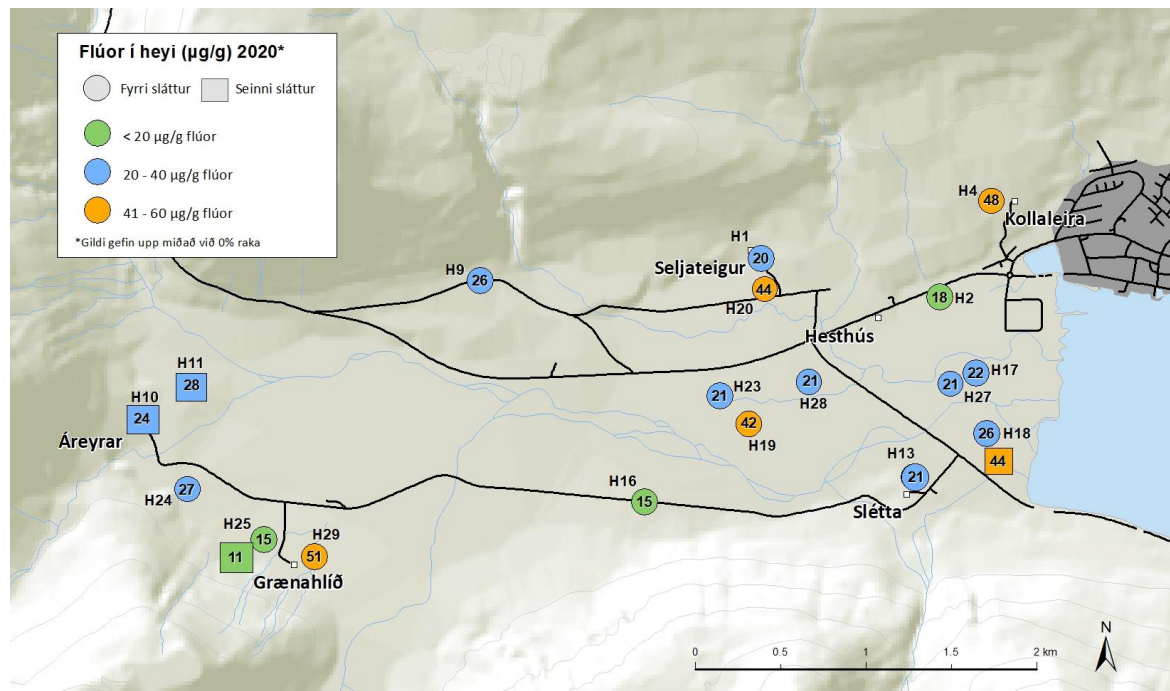
3.3.10 Hey og fóðurkál

3.3.10.1 Flúor

Styrkur flúors í heysýnum sem tekin voru beint úr rúllum eða böggum í Reyðarfirði mældist frá 11–51 $\mu\text{g/g}$ miðað við 0% rakainnihald. Styrkurinn var í öllum tilvikum undir viðmiðunarmörkum sem í gildi eru á Íslandi fyrir flúor í heilfóðri fyrir jörturdýr (56,8 $\mu\text{g/g}$ m.v. 0% rakainnihald) en í fimm sýnum yfir viðmiðunarmörkum sem sett eru fyrir mjólk-andi jörturdýr (34,1 $\mu\text{g/g}$ m.v. 0% rakainnihald) (53. mynd). Í tveimur tilfellum (H4 og H20) er heyið ætlað hrossum og því ekki yfir viðmiðunum (170,5 $\mu\text{g/g}$ m.v. 0% rakainnihald) en í þremur tilfellum H18b, H19 og H29 er heyið ætlað sauðfé eða selt (53. mynd). Það hey sem mældist yfir viðmiðunarmörkum var í öllum tilfellum slegið seinni part sumars eða frá miðjum ágúst og fram í lok ágúst þegar styrkur flúors í grasi var

hæstur. Til dæmis var styrkur flúors í grasi á sýnatökustað G36 við Grænuhlíð 59 $\mu\text{g/g}$ þann 19. ágúst en þann sama dag var tún við Grænuhlíð slegið þar sem sýni af heyi (H29) var tekið og mældist styrkur flúors í því sýni 51 $\mu\text{g/g}$ í þurrvig (53. mynd).

Styrkur flúors í vetrarheyi (heyi sem búið var að standa úti fyrir hross) var 36 $\mu\text{g/g}$ við Sléttu og 29 $\mu\text{g/g}$ við Áreyjar og var í báðum tilfellum undir viðmiðunum fyrir hross (170,5 $\mu\text{g/g}$ m.v. 0% rakainnihald). Nánari umfjöllun um viðmiðunarmörk flúors í fóðri fyrir búfé miðað við ólíkt rakainnihald má sjá í kafla 3.1.2.



53. mynd. Styrkur flúors í heysýnum m.v. 0% rakainnihald sem tekin voru 15. september 2020. Staðsetningar sýnatöku vetrarheysýna eru ekki sýndar (Landmælingar Íslands, 2013, 2019 og 2021).

Flúor var mældur í einu sýni af fóðurkáli sem tekið var við Sléttu þann 26. ágúst 2020. Styrkur flúors var 32 $\mu\text{g/g}$ sem er undir viðmiðunarmörkum flúors í heilfóðri fyrir jörturdýr (56,8 $\mu\text{g/g}$ m.v. 0% rakainnihald) og mjólkandi jörturdýr (34,1 $\mu\text{g/g}$ m.v. 0% rakainnihald).

Niðurstöður mælinga á flúor í heysýnum og sýnum af fóðurkáli fyrir árið 2020 er að finna í viðauka 12.

4 Sjónræn skoðun á gróðri

Eins og fram hefur komið berst flúor inn í laufblöð um loftaugu á yfirborði laufblaða. Inni í laufblaðinu leysist flúor upp í vatni og berst með því til jaðra blaðsins þar sem hann safnast fyrir og ferðast ekki frekar um laufblað plöntunnar (Weinstein & Davison, 2004).

Ef styrkur flúors verður hár veldur það skemmdum á frumuhimnu plöntunnar og hún fer að leka. Vefurinn deyr og breytir um lit, verður ljósbrúnn, brúnn eða svartur (e. necrosis). Þetta gerist vanalega í útjaðri laufblaðsins eða á milli æða. Einnig getur myndast röð dökkra strika í laufblaðinu þegar styrkur flúors er hár yfir vaxtartímann. Svo getur farið að dauði vefurinn þorni og detti af laufblaðinu sem veldur því að lögun blaðsins verður einkennileg, einkum fremst. Almennt eru ung blöð í þroska mun viðkvæmari fyrir flúor en

fullproskuð blöð. Þannig getur sama plantan sýnt ólík einkenni, háð því á hvaða þroskastigi blöðin eru þegar þau verða fyrir flúormengun (Weinstein & Davison, 2004).

Önnur áhrif eru þau að uppsöfnun flúors fremst í laufblaðinu dregur úr vexti frumna þar. Miðhluti laufsins heldur hins vegar áfram að vaxa og veldur því að blöðin verða kúpt þegar þau stækka (Weinstein & Davison, 2004).

Flúor getur valdið fölnun eða gulnun (e. chlorosis) í laufblöðum. Slík einkenni eru oftast talin vera vegna ónógrar birtu eða vegna skorts á járnri eða magnesíum í jarðvegi. Ástæður þess að flúor veldur gulnun er binding þess við magnesíum í plöntunni sem veldur magnesíumskorti í plöntunni (Weinstein & Davison, 2004).

Dreifingarmynstur skemmda í gróðri ákvarðast einkum af ríkjandi vindátt og að hluta til af landslagi. Í rannsóknum sem gerðar voru í Noregi á skemmdum á plöntuvef af völdum flúormengunar kom í ljós að skemmdir takmörkuðust við svæði innan tveggja kílómetra frá uppruna mengunar. Tengsl voru á milli skemmda í laufblaði og styrk flúors. Það var hins vegar breytilegt eftir stöðum í Noregi hversu mikinn styrk flúors sömu tegundir þoldu áður en bera fór á skemmdum. Veðurfar og lega svæðis hafði þar mikið að segja (Vike, 1999).

Hafa ber í huga að mörg önnur atriði í umhverfinu geta valdið streitu í plöntum sem eru líkar flúorskemmdum t.d. salt, frost og vatnsskortur (Weinstein & Davison, 2004).

Hér verður gerð grein fyrir niðurstöðum sjónrænnar skoðunar á plöntum í Reyðarfirði m.t.t. flúorskemmda sumarið 2020.

4.1 Sjaldgæfar tegundir

Sjónrænt mat á heilbrigði fimm sjaldgæfra plöntutegunda sem vaxa í Reyðarfirði var gert 27. júlí 2020. Þessar sjaldgæfu tegundir eru:

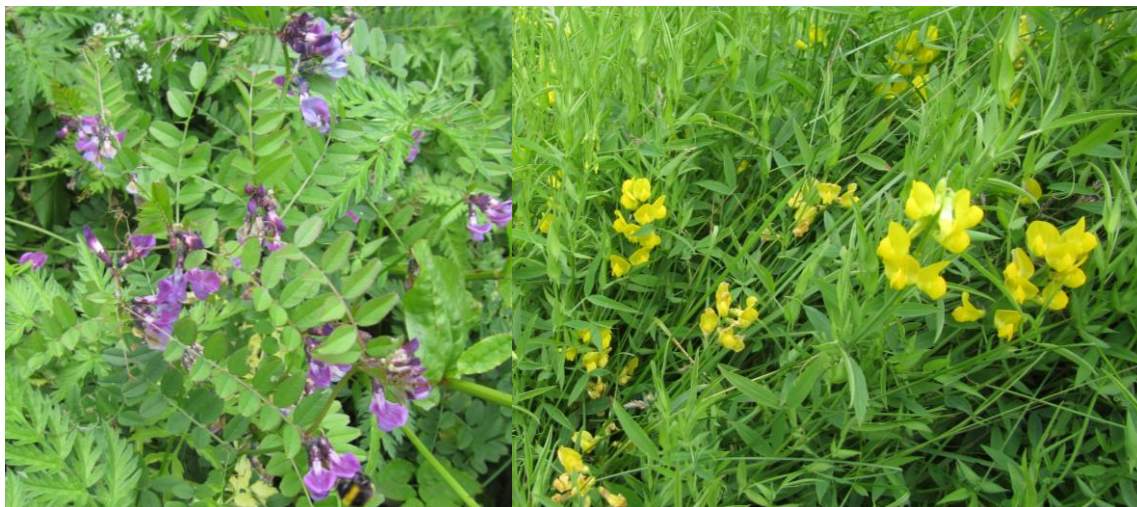
- Aronsvöndur (*Erysimum hieracifolium*) í friðlandinu í Hólmanesi
- Stóriburkni (*Dryopteris filix-mas*) í friðlandinu í Hólmanesi
- Þyrnirós (*Rosa pimpinellifolia*) á nokkrum stöðum við Kollaleiru
- Giljaflækja (*Vicia sepium*) vex í gili í þéttbýlinu á Reyðarfirði
- Fuglaertur (*Lathyrus pratensis*) vaxa einnig í þéttbýlinu á Reyðarfirði

Tvær þessara tegunda eru tilgreindar á valista æðplantna; giljaflækja og þyrnirós sem taldar eru í nokkurri hættu og er þyrnirós friðuð (Náttúrufræðistofnun, 2018).

Plönturnar voru ljósmyndaðar og kannað hvort þær sýndu mögulega einkenni flúorskemmda eða hvort vaxtarstöðum þeirra væri á einhvern hátt ógnað.

Líkt og fyrri ár var vaxtarstað giljaflækju og fuglaertna ógnað af ágengu tegundunum kerfli (*Myrrhis odorata*) og njóla (*Rumex longifolius*). Ekki var búið að slá vaxtarstað plantnanna við athugun líkt og fyrri ár. Báðar tegundirnar voru í blóma og virtust heilbrigðar og engar flúorlíkar skemmdir sáust á laufblöðum (54. mynd). Útbreiðsla

þeirra hefur aukist verulega síðustu ár en meira bar á fuglaertum en giljaflækju í brekkunni.



54. mynd. Giljaflækja (t.v.) og fuglaertur (t.h.) í júlí 2020 í Reyðarfirði.

Engar flúorlíkar skemmdir fundust á plöntum þyrnirósar. Um tvo vaxtarstaði er að ræða, annars vegar rétt vestan við Kollaleirubæinn og hins vegar nokkuð ofan við bæinn. Efri vaxtarstaðurinn var staðsettur innan beitarhólfis hrossa sumarið 2017 en hrossin voru ekki á svæðinu í athugun sumarsins 2020 og búið var að fylla upp í skurði sem voru innan hólfisins. Á efra svæðinu voru plöntur almennt minni og ekki komnar eins langt í þroska og á neðra svæðinu en þyrnirósirnar voru almennt heilbrigðar að sjá og í blóma (55. mynd).



55. mynd. Þyrnirós af neðra svæði (t.v.) og af efra svæði (t.h.) í júlí 2020 í Reyðarfirði.

Á vaxtarstað aronsvandar voru flestar plöntur í blóma og án athugasemda þó mátti greina á nokkrum blaðendum gulnun og dauða blaðenda (56. mynd). Stóriburkni var að mestu leyti einnig án athugasemda en flúorlíkar skemmdir voru á smáblöðum nokkurra laufblaða, dauðir endar líkt og fyrri ár (56. mynd).



56. mynd. Laufblöð aronsvandar sem voru gulnuð og með dauða blaðenda (t.v.) og stóriburkni (t.h.) með skemmdum endum í júlí 2020 í Reyðarfirði.

4.2 Garðaplöntur og tré

Garðagróður í þéttbýlinu á Reyðarfirði og á trjáræktarsvæðum milli álversins og bæjarins var skoðaður þann 27. júlí 2020. Gróður var ljósmyndaður og skoðaður m.t.t. mögulegra ummerkja um skemmdir á plöntuvef af völdum flúors.

Öll tré kringum Sómastaði voru fjarlægð árið 2009 en sprotar af víði (*Salix* spp.) og alaskaösp (*Populus trichocarpus*) hafa vaxið upp á ný. Greina mátti flúorlíkar skemmdir á 1–2% laufblaða víði (*Salix* sp) og aspar (57. mynd). Einkennin sáust aðallega á efstu greinum plantnanna og nýjum blöðum.

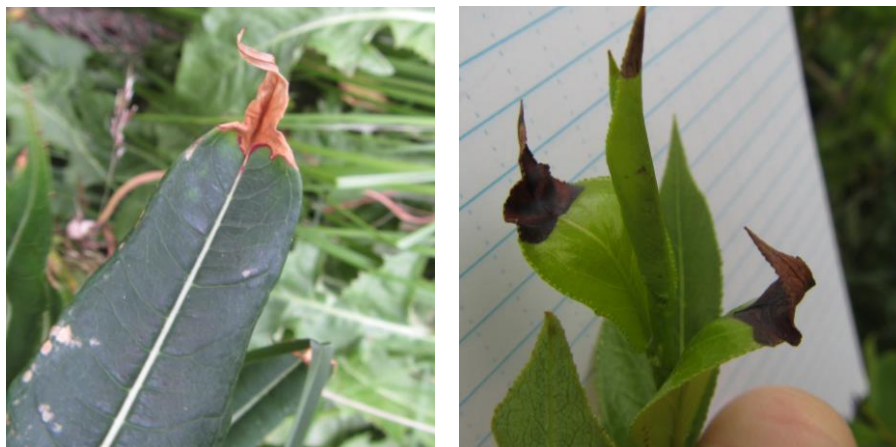


57. mynd. Flúorlíkar skemmdir og afbrigðilegt vaxtarlag laufa á ösp (t.v.) og víði (t.h.) við Sómastaði í Reyðarfirði í júlí 2020.

Fyrir ofan álverið á milli gamla og nýja vegarins vex birki (*Betula pubescens*) í þyrpingu. Það hefur stækkað töluvert frá því byrjað var að fylgjast með því árið 2007. Trén voru almennt heilbrigð en greina mátti flúorlík einkenni (kúpt og sölnaða blaðenda) á nokkrum laufblöðum. Einnig bar á gulnun í nokkrum tilfellum.

Í ræktunarreit á neðsta hjallanum norðvestur af álverinu er samansafn af ýmsum trjátegundum, einkum birki og reyni. Á reyni mátti greina flúorlíkar skemmdir (necrosis) á efstu laufblöðum sumra trjáanna. Birkitré voru almennt heilbrigð að sjá fyrir utan kal á einu tré.

Við Framnes sáust flúorlíkar skemmdir á sigurskúf, ösp og bergfuru dauðir endar (necrosis) og gulnun (chlorosis). Sigurskúfur hefur breitt mikið úr sér síðustu ár og þekur stóran hluta svæðisins (58. mynd).



58. mynd. Dauðir blaðendar og dökkt band á sigurskúf (t.v.) og ösp (t.h.) við Framnes í Reyðarfirði í júlí 2020.

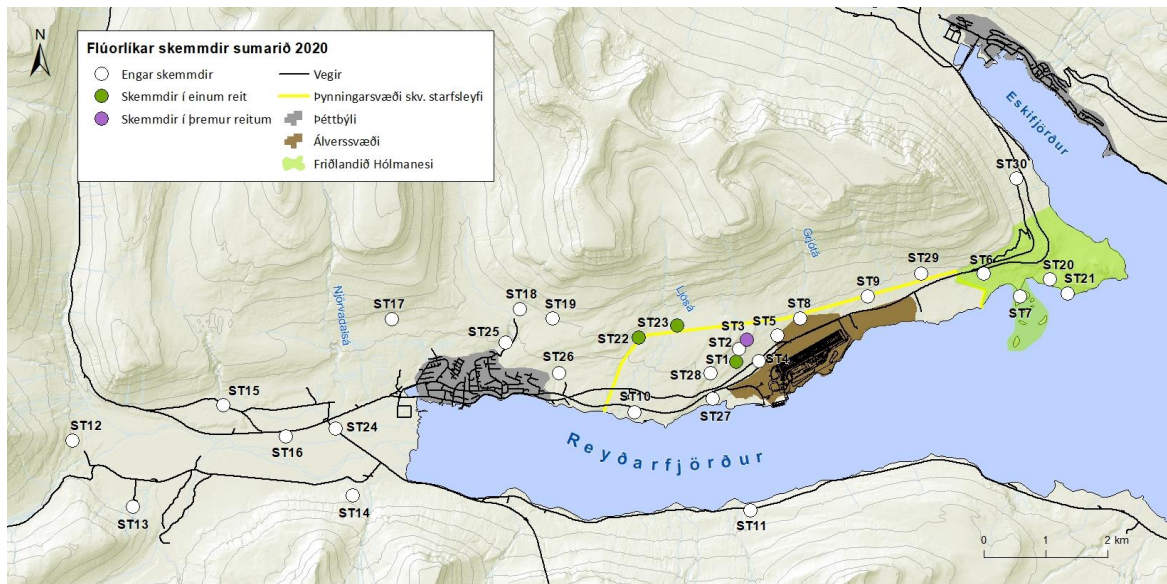
Við Teigagerði var birki og rifs heilbriggt að sjá. Á ösp og viðju (*Salix myrsinifolia subsp. borealis*) mátti greina smávægilegar skemmdir sem voru skráðar sem flúorlíkar. Lerki var með gular nárar en einkennin litu ekki út fyrir að vera dæmigerðar flúorskemmdir.

Við kirkjugarðinn sem er staðsettur rétt utan þéttbýlisins á Reyðarfirði var gróður almennt heilbrigður og án athugasemda. Greina mátti þó flúorlíkar skemmdir á limgerði og reyni á 0–2% blaða.

Gróður í þéttbýlinu á Reyðarfirði var að mestu án athugasemda en þó mátti sjá skemmdir af völdum skordýra, einkum á birki og víði. Reynir var einnig étinn og sums staðar mátti sjá flúorlík einkenni (dökk og afmynduð endalauf) á einstaka blöðum.

4.3 Gróður í rannsóknarreitum

Villtur gróður í 145 rannsóknarreitum á 29 vistfræðistöðvum í Reyðarfirði var skoðaður dagana 14.-16. júlí 2020 (59. mynd). Reitir voru ljósmyndaðir og ummerkja leitað um mögulegar skemmdir á plöntuvef af völdum flúors.



59. mynd. Rannsóknstöðvar í Reyðarfirði. Einkenni sem líkjast skemmdum af völdum flúors sáust í 4 stöðvum sumarið 2020 (Landmælingar Íslands, 2013, 2019 og 2021).

Almennt var gróður á stöðvunum í góðu ásigkomulagi og án athugasemda. Einkenni sem líkjast skemmdum af völdum flúors fundust á fjórum stöðvum árið 2020 og voru innan þynningarsvæðis eða á mörkum þess (59. mynd). Möguleg einkenni flúorskemmda árið 2020 sáust aðallega á bláberjalyngi (*Vaccinium uliginosum*) (60. mynd) og fjallavíði (*Salix arctica*). Skemmdir fundust einnig á mosa nálægt stöð 4 innan þynningarsvæðis.

Þegar skemmdir sem líkjast skemmdum af völdum flúors eru skoðaðar á gróðri verður að hafa í huga að erfitt getur verið að greina þær frá skemmdum af völdum annarra þátta og t.d. geta jafnvel einkenni sölnunar minnt á flúorskemmdir og mögulegt er að sumar þeirra séu ekki beinar flúorskemmdir heldur sölnun en flúor getur einnig haft óbein áhrif á gróður. Þá verður að taka tillit til tíma athugunar og veðurfars þess sumars. Árið 2020 var gróður skoðaður um miðjan júlí. Maí og júní voru fremur þurrviðrasamir og svalir (Veðurstofa Íslands, 2020).

Líkt og fyrri ár sáust ýmiskonar skemmdir á gróðri af völdum annarra þátta s.s. skordýra og sveppasýkinga. Árið 2020 voru ummerki traðks og beitar talsvert áberandi og á ýmsum runnum og smárunnum sáust brotnar og dauðar greinar inn á milli heilbrigðra greina. Ásigkomulag gróðurs utan rannsóknareita hefur ekki verið skráð kerfisbundið. Samt sem áður er vert að benda á að víða um Reyðarfjörð hefur bláberjalyng verið áberandi rautt og blöðin oft lítil undanfarnin ár. Árið 2020 sást rautt bláberjalyng einnig víða. Að líkindum stafar þessi rauði litur einkum af kulda- eða frostáhrifum.



60. mynd. Flúorlíkar skemmdir og rauður litur á bláberjalyngi á stöð 1.

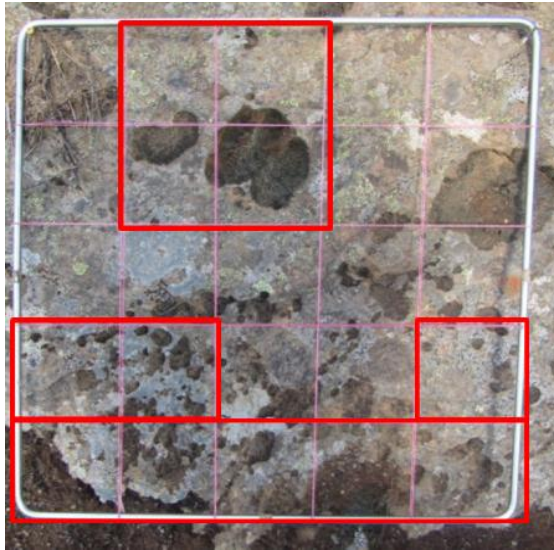
Lista yfir myndir teknar fyrir vöktun ársins 2020 er að finna í viðauka 14.

4.4 Fléttur og mosar á grjóti

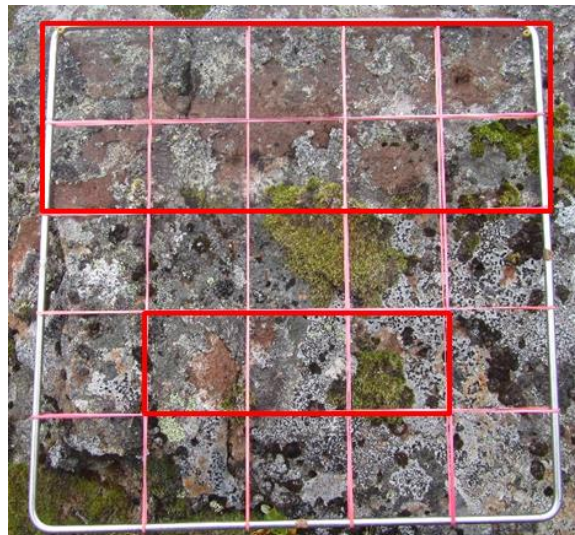
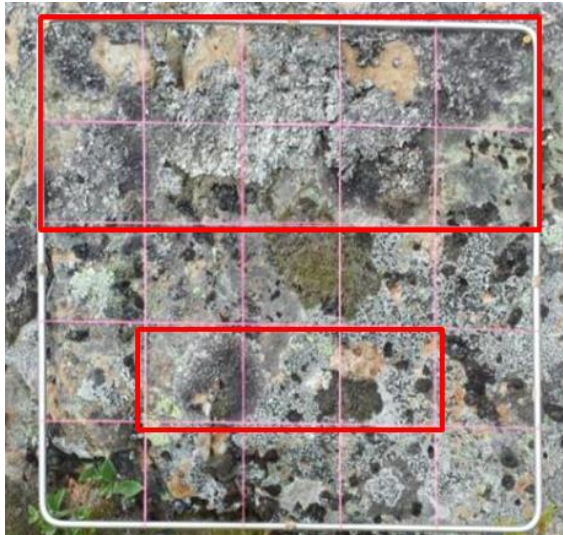
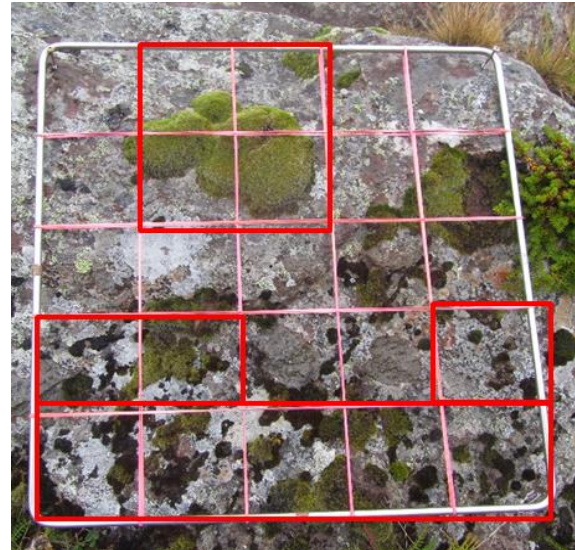
Frá árinu 2005 hefur verið fylgst með fléttum og mosum í föstum reitum á steinum og klöppum í Reyðarfirði. Reitirnir (50 x 50 cm) hafa verið ljósmyndaðir til að fylgjast með breytingum á þekju þeirra. Árið 2020 voru fléttureitir ljósmyndaðir dagana 11. júní, 15.-16. júlí, 10., 15. september og 12. október. Hér eru ljósmyndir frá árinu 2020 bornar saman við myndir frá árinu 2015 til að fá betri mynd af breytingum til lengri tíma. Frá upphafi hafa fjórir steinar eða klappir ýmist verið fjarlægðir, ekki verið hægt að endurstaðsetja eða hafa hrunið (LQ3, LQ20, LQ33 og LQ50). Alls voru 46 reitir myndaðir árið 2020 og 45 reitir myndaðir árið 2015. Því var hægt að bera saman 45 reiti milli árana 2015 og 2020 og í einu tilfalli var notast við mynd frá árinu 2010, þar sem ekki var til mynd frá árinu 2015. Allt í allt voru þá 46 reitir bornir saman.

Reitunum var skipti í 25 smáramma (10 x 10 cm). Myndirnar voru bornar saman og smárammar skoðaðir með tilliti til breytinga á vexti mosa og flétta (61. mynd). Reynt var að meta hvort þekja flétta og mosa í reitunum jókst eða minnkaði á þessu fimm ára tímabili. Ekki var farið í tegundagreiningu á fléttum.

2015

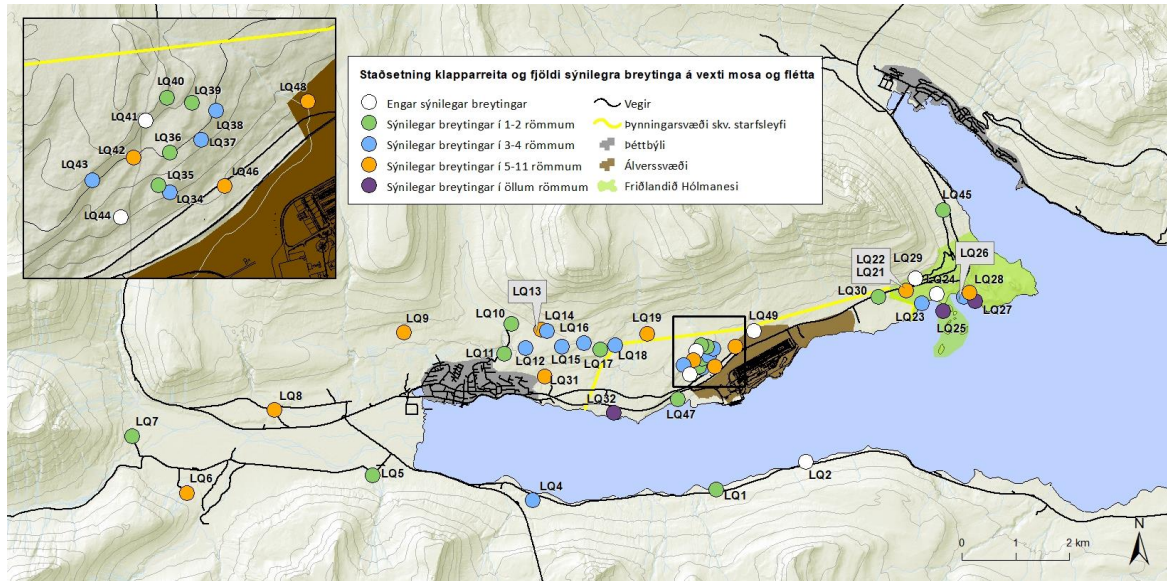


2020



61. mynd. Samanburður LQ19 (efri) og LQ9 (neðri) reita milli áráanna 2015 og 2020. Breytingar í smárömmum eru auðkenndar með rauðum lit.

Af þeim 46 reit sem hægt var að bera saman voru 17 innan þynningarsvæðis og 29 utan þynningarsvæðis (62. mynd). Almennu voru litlar þekjubreytingar flétta á föstum reitum. Ekki fundust neinar sjáanlegar breytingar á mosum og fléttum á 11% reitanna. Á um 28% reita voru breytingar í einum til tveimur smárömmum, á um 20% reita voru breytingar í þremur til fjórum smárömmum. Þrettán reitir (28%) höfðu breytingar á fimm til ellefu smárömmum og þrír reitir (7%) höfðu breytingar í öllum reitum. Í sumum tilfellum breytinga var um að ræða aukna þekju einstaklinga, í öðrum tilfellum var minnkun einstaklinga en einnig var um að ræða breytingar á þekju vegna stækkun einstakra tegunda og minnkun annarra.



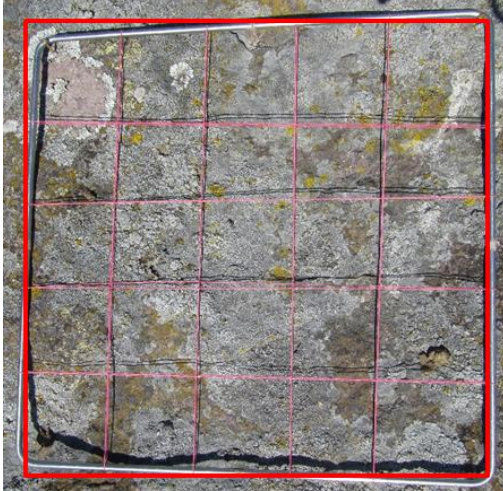
62. mynd. Staðsetning klappareita og fjöldi sýnilegra breytinga á smárömmum (Landmælingar Íslands, 2015, 2019 og 2021).

Ekki var augljós munur á breytingum innan og utan þynningarsvæðis. Algengast var að breytingar voru sjáanlegar á 1–2 smárömmum (35% reita) innan þynningarsvæðis en á 3–4 römmum (28% reita) utan þynningarsvæðis (62. mynd). Engar sýnilegar breytingar voru á 18% reita innan þynningarsvæðis en 10% reita utan þynningarsvæðis. Mesta einstaka breytingin var á reitum LQ25, LQ27 og LQ32 (63. mynd) þar sem töluverðar breytingar á þekju og hlutfalli tegunda hafði átt sér stað í öllum smárömmum reits.

2015



2020



63. mynd. Samanburður LQ25 (efri) og LQ32 (neðri) reita milli árána 2015 og 2020. Breytingar má sjá í öllum smárömmum.

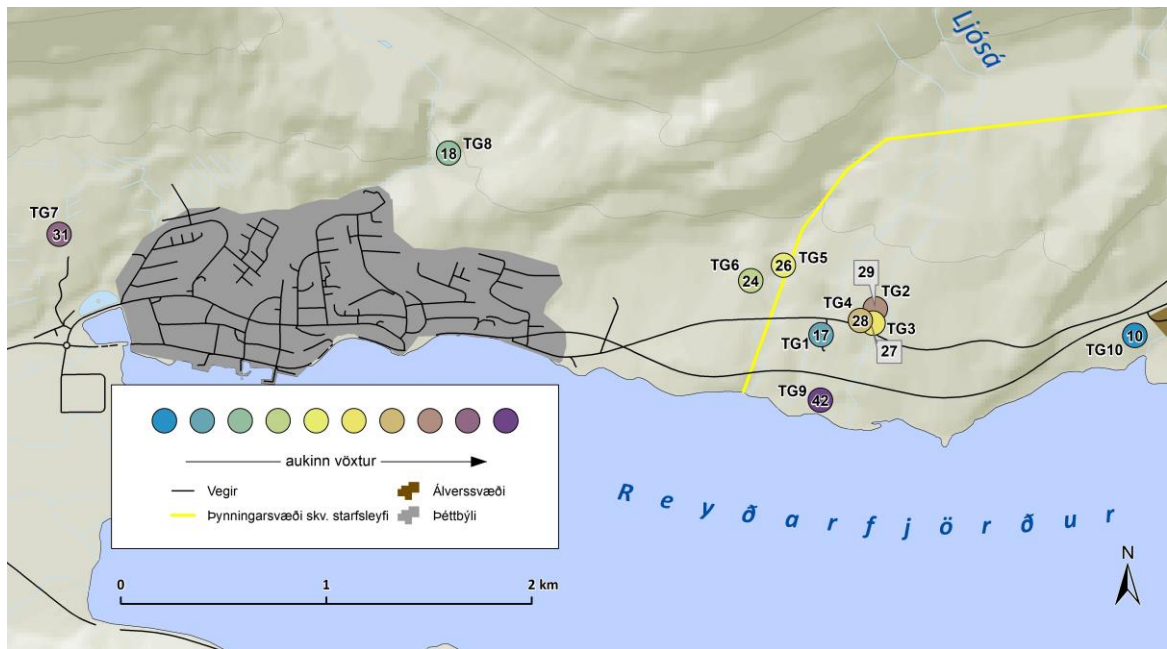
Sjónrænn samanburður á breytingum á þekju mosa og flétta í 46 fléttureitum árin 2005, 2015 og 2020 er að finna í viðauka 14 og yfirlit yfir allar ljósmyndir er að finna í viðauka 13.

5 Trjávöxtur

5.1 Inngangur

Furutegundir (*Pinus* spp.) eru taldar viðkvæmar fyrir flúor. Þolmörk viðkvæms gróðurs gagnvart loftbornum flúor eru talin vera um $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ yfir 5–6 mánaða tímabil og koma skemmdir fram í nálum plöntunnar og í minni vexti (Weinstein & Davison, 2004; Liteplo o.fl., 2002; Ongstad o.fl., 1994).

Í Reyðarfirði hefur furutrjám verið plantað víða. Mest er af stafafuru (*Pinus contorta*) en einnig er bergfura (*P. uncinata*) á Framnesi og víðar. Staðsetningu trjámælireita má sjá á 64. mynd.



64. mynd. Trjámælingar í Reyðarfirði og meðalvöxtur furu árið 2020 (Landmælingar Íslands, 2013, 2019 og 2021).

Árið 2005 voru gerðar frumathuganir á vexti furu á 10 stöðum í Reyðarfirði. Toppsprotar voru mældir með tommustokk. Tíu stafafurur voru mældar í trjáræktarreit 1–9 en átta bergfurur í trjáræktarreit 10 eða samtals 98 tré. Öll tré voru staðsett með GPS tæki og merkt með númeri og borða til að hægt væri að finna þau aftur. Mælingar voru endurteknaðar árið 2009 og á hverju ári frá 2011. Hægt er að bera saman vöxt furu fyrir og eftir að rekstur álvers hófst því þegar fyrstu mælingar voru gerðar árið 2005 var mældur vöxtur aftur til ársins 2003.

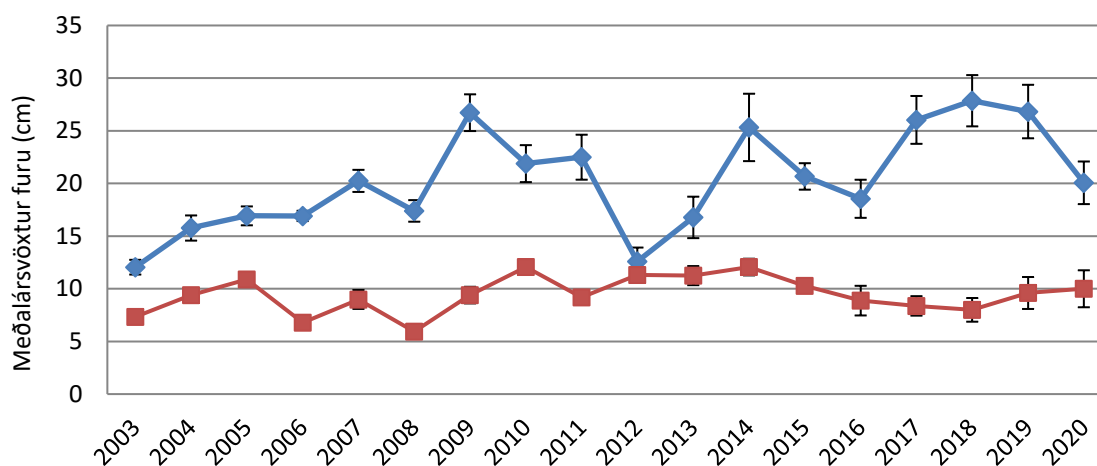
Árið 2020 voru mælingar framkvæmdar 5. og 12. október og þá var vöxtur ársins 2020 mældur. Vegna þess hve trén eru orðin há var orðið erfitt að mæla toppvöxt með tommustokk. Því var sérstök trjámælistika notuð í sjötta sinn árið 2020. Mælistikan var borin að stofni trjánna og heildarhæð þeirra mæld, því næst var hæð fyrra árs mæld. Að lokum var hæð fyrra árs dregin frá heildarhæð og toppvöxtur ársins 2020 þannig reiknaður út. Árið 2020 var trjáræktarreit 10 að hluta til kominn undir framkvæmdir, þrjú tré höfðu verið felld og því var vöxtur aðeins mældur á fimm bergfurum. Eins var eitt tré alveg brotið í trjáræktarreit 9 og mælingum hætt á því, svo vöxtur var einungis mældur á níu stafafurum í þeim reit.

5.2 Niðurstöður

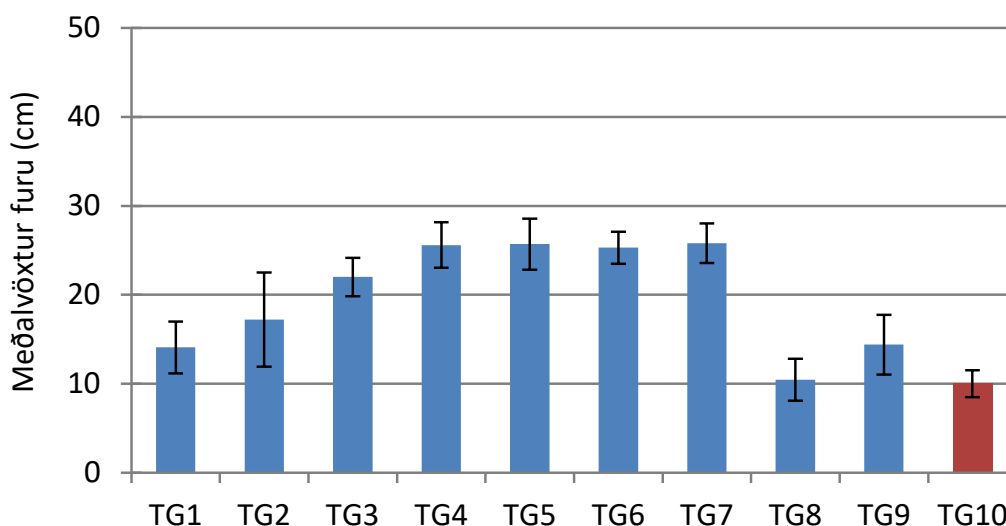
Meðalársvöxtur vaxtarsprota stafafuru á svæðum 1–9 árið 2020 var 20 cm (65. mynd). Vöxturinn var nokkuð breytilegur milli staðsetninga eða frá 10–26 cm (66. mynd). Meðalársvöxtur bergfuru er oftast heldur minni en vöxtur stafafuru (65. mynd) og var 10 cm árið 2020 (staðsetning 10 á 66. mynd).

Meðalvöxtur furu árið 2020 er töluvert lægri á öllum stöðum samanborið við árið á undan (viðauki 16). Mestur var munurinn á meðalvexti milli ára á svæði 9 (28 cm minni en árið áður) en minnstur var munurinn á staðsetningu 5, þar var enginn munur milli ára.

Meðalvöxtur stafafuru er nokkuð breytilegur á milli ára og á milli svæða (65. og 66. mynd). Árið 2020 var meðalvöxtur stafafuru mestur á staðsetningu 7 (25,8 cm), vestan megin við þéttbýli (64. mynd).



65. mynd. Meðalársvöxtur stafafuru (blátt) í níu trjámællireitum og bergfuru (rautt) á einum trjámællireit í Reyðarfirði tímabilið 2003–2020.



66. mynd. Meðalvöxtur stafafuru (blátt) og bergfuru (rautt) á hverri staðsetningu árið 2020.

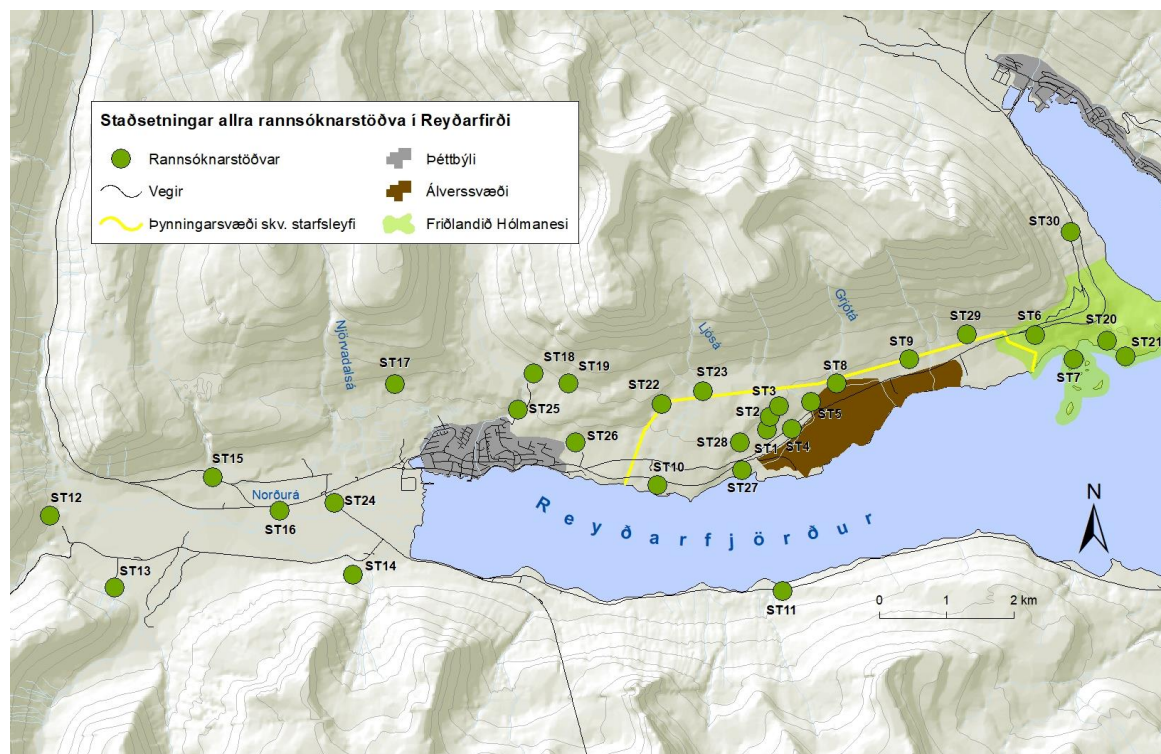
Niðurstöður trjávaxtarmælinga árið 2020 má finna í viðauka 15.

6 Þekja og fjöldi tegunda í rannsóknarreitum

6.1 Gagnasöfnun

Af 30 vistfræðistöðvum (67. mynd) voru 29 þeirra heimsóttar dagana 14. til 16. júlí 2020. Rannsóknir á gróðurþekju og -samsetningu fóru fram á fimm 1 m² rannsóknarreitum innan hvernar stöðvar og til afmörkunar þeirra var notaður 1 x 1 m stálrammi. Ramminn var settur niður á tilviljanakenndum stöðum við fyrstu gróðurfarsrannsókn vöktunarinnar árið 2005 en þá voru þeir staðir merktir með flöggum og seinna tréhælum og ramminn

alltaf lagður niður á sömu stöðum við seinni rannsóknir (árin 2009, 2015 og 2020). Samskonar aðferðir voru notaðar við rannsóknir á gróðurþekju og -samsetningu árið 2020 og árin 2005, 2009 og 2015.



67. mynd. Staðsetning vistfræðistöðvanna 30 í Reyðarfirði (Landmælingar Íslands, 2013, 2019 og 2021).

Hlutfallsleg þekja allra æðplöntutegunda af yfirborði lands innan ramma var metin sjónrænt. Þekja mosa og flétta var einnig metin en þær voru ekki greindar til tegunda. Þekja ógróins yfirborðs og grjóts var metin og ljósmynd tekin af hverjum ramma. Við þekjumatið var notast við kvarða með mismunandi þekjubílum (4. tafla). Kvarðinn er afbrigði af Hults-Sernander þekjukvarða (Sjörs, 1956) og þekjubílin eru misstór til þess að reyna að taka sem best tillit til breytileika í algengi og þekju mismunandi plöntutegunda.

4. tafla. Breyttur Hult-Sernander kvarði sem var notaður við þekjumælingar.

Þekjubíl (%)	Miðgildi þekjubíls (%)
< 1	0,5
1 – 6,25	3,6
6,25 – 12,5	9,4
12,5 – 25	18,8
25 – 50	37,5
50 – 100	75

Bláberjalyngs-, mosa- og fléttusýnum til flúormælinga var safnað á og við stöðvarnar (kaflar 3.3.2 til 3.3.4). Vegna ómögulegs aðgengis voru ekki gerðar þekju- og tegundamælingar á vistfræðistöð 25.

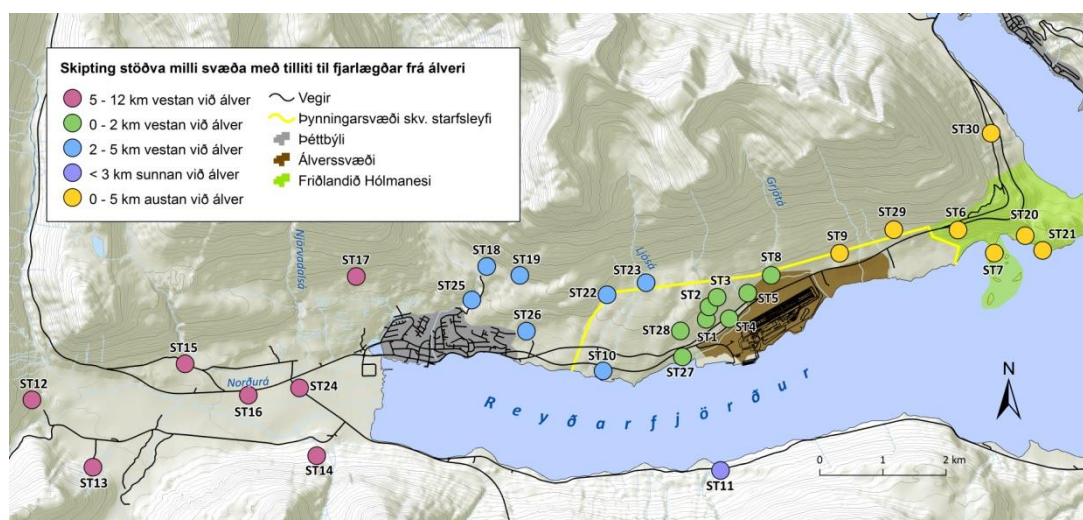
Að vettvangsvinnu unnu Anna Karen Marinósdóttir, Erlín E. Jóhannsdóttir, Guðrún Á. Jónsdóttir, Guðrún Óskarsdóttir, Kristín Ágústsdóttir, Líneik A. Sævarsdóttir og

Skarphéðinn G. Þórisson. Frekar svalt var í veðri dagana sem vettvangsvinna fór fram og skúrir með köflum.

6.2 Úrvinnsla gagna

Við úrvinnslu gagna var kannað hvort sjá mætti einhverjar breytingar á gróðurfari stöðvanna milli athugunarára. Meðalþekja plantna og ógróins yfirborðs í hverri stöð var reiknuð þannig að í hverjum ramma var þekjubilum skipt út fyrir miðgildi hvers bils (4. tafla) og meðaltöl innan hvernar stöðvar síðan reiknuð. Hver mælieining náði því yfir alla ramma í hverri stöð eða 5 m². Fyrir hverja stöð var heildarfjöldi æðplöntutegunda reiknaður sem og samanlögð þekja allra tegunda í nokkrum tegundahópum, þ.e. blómjurta, grasa, hálfgrasa, smárunna og byrkninga.

Við hverja stöð voru einnig ákveðnir umhverfispættir skráðir; hæð yfir sjávarmáli, jarðvegsdýpt, hvort stöð er staðsett uppi á hæð eða í lægð, hvort stöð snúi að eða frá álveri og fjarlægð frá álveri. Auk þess var stöðvunum skipt niður á fimm rannsóknarsvæði eftir staðsetningu með tilliti til álvers; austan við (A 0–5 km), vestan við (V 0–2 km, V 2–5 km og V 5–12 km) og sunnan við álver (S < 2 km) (68. mynd).



68. mynd. Skipting rannsóknarsvæða með tilliti til átta og fjarlægð frá strompi álvers (Landmælingar Íslands, 2013 og 2015).

Breytingar í þekju fyrir algengustu æðplöntutegundir, mosa og fléttur voru bornar saman milli ára með þöruðu t-prófi. Gögnum sem ekki uppfylltu skilyrði um normaldreifingu var umbreytt með kvaðratrót eða $\log_{10}(x+1)$. Wilcoxon rank próf var notað í þeim tilvikum þar sem gögn uppfylltu ekki skilyrði normaldreifingar þrátt fyrir umbreytingu. Í öllum tilvikum voru niðurstöður frá árinu 2020 bornar saman við bæði niðurstöður frá bakgrunnsathugunum (2005) og árið 2015.

Breytingar á heildarþekju og fjölda tegunda fyrir hvert rannsóknarsvæði voru kannaðar með einþátta og tvíþátta ferveikagreiningu (e. one and two way ANOVA) á óumbreytt gögn. Kruskal-Wallis próf var notað í þeim tilvikum þar sem gögn uppfylltu ekki skilyrði normaldreifingar. Einþátta ferveikagreining var notuð fyrir samanburð milli rannsóknarsvæða og tvíþátta ferveikagreining fyrir samanburð milli ára og rannsóknarsvæða. Gögn

fyrir rannsóknarsvæðið sunnan álver ($S < 2$ km) voru ekki notuð í þau tölfræðipróf þar sem það rannsóknarsvæði innihélt aðeins eina stöð.

Breytileiki í tegundasamsetningu milli stöðva og breytingar milli ára voru skoðaðar með fjölbreytugreiningu. Óskilyrt hnitunargreining (DCA) var gerð á öllum æðplöntutegundum en fyrst var þekjugildum þeirra umbreytt ($\log_{10}+1$). Stöð 25 var tekin út úr gagnasafninu fyrir fjölbreytugreiningar vegna þess að sú stöð var ekki heimsótt eftir árið 2009. Árið 2020 var lúpína orðin ríkjandi í stöðvum 10 og 27. Þær miklu breytingar sem verða á gróðurfari vegna útbreiðslu lúpínu gætu haft áhrif á niðurstöður fjölbreytugreiningarinnar og þar sem skoðun þeirra breytinga var ekki meðal markmiða þessarar rannsóknar var þeim stöðvum sleppt. Af sömu ástæðu var einum reit í stöðvum 3 og 26 sleppt, svo meðalþekja æðplantna í þeim stöðvum var byggð á þekjumati fjögurra reita, í stað fimm á öðrum stöðvum.

Fylgni nokkurra umhverfis- og gróðurbreyta við breytileika í gróðurfari var könnuð. Samfelldar umhverfisbreytur voru meðalstyrkur flúors ($\mu\text{g/g}$) í bláberjalyngi, mosa og fléttum sömu ár og þekjumælingar voru gerðar, fjarlægð stöðvar frá álveri, hæð yfir sjávarmáli og jarðvegsdýpt (mæld árið 2005). Nafnbreytur voru staðsetning stöðvar í landslagi (uppi á hæð eða ofan í dæld) og með tilliti til hvernig þær snéru við álverinu (að eða frá álveri), hin mismunandi rannsóknarsvæði (átt og fjarlægð frá álveri) og ár vettvangsathugana. Gróðurbreytur voru fjöldi æðplöntutegunda, þekja mosa, flétta, grjóts og ógróins yfirborðs og samanlögð þekja nokkurra tegundahópa æðplantna (grös, hálfgrös, smárunnar, runnar, byrkningar, blómjurtir og æðplöntur (þeir tveir síðastnefndu án lúpínu).

Tölfræðiúrvinnsla var unnin í R, útgáfu 3.6.1 (R Core Team, 2016) og PC-ORD (McCune og Mefford, 2011).

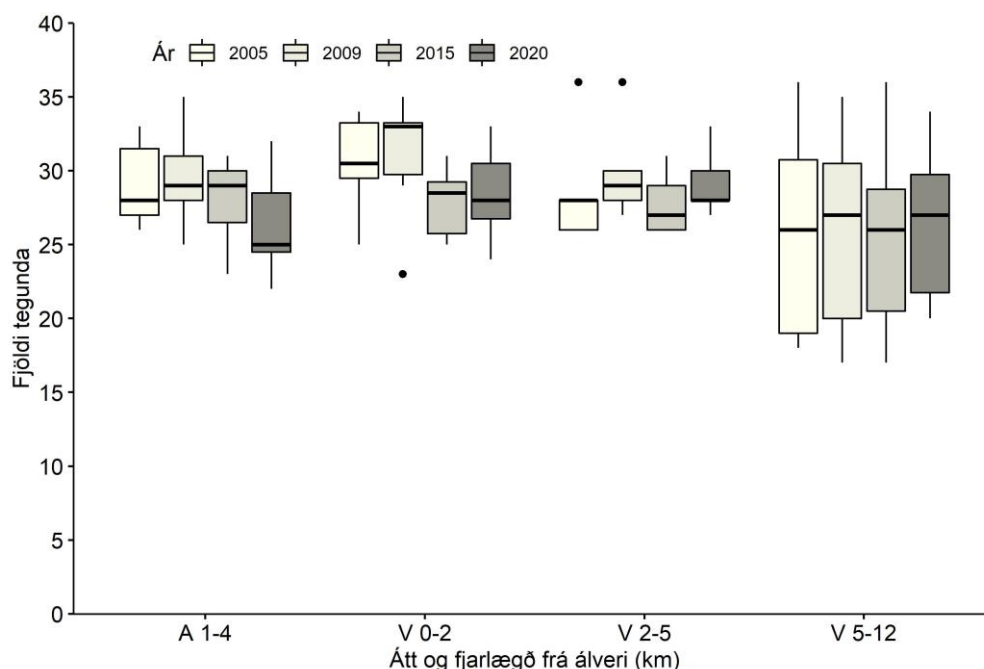
6.3 Niðurstöður

6.3.1 Breytingar í tegundaauðgi milli ára

Alls voru greindar 73 tegundir æðplantna árið 2020 í vistfræðistöðvunum 29 í Reyðarfirði og er það svipaður fjöldi og í bakgrunnsathugunum árið 2005, en þá voru skráðar 70 tegundir og árið 2015, þegar skráðar voru 75 tegundir. Nokkuð fleiri tegundir voru skráðar árið 2009 (80 tegundir). Tegundir sem voru einungis greindar til ættkvíslar voru ekki teknar með í þessum tölum ef aðrar tegundir sömu ættkvíslar fundust það ár. Árið 2020 fundust tvær tegundir sem ekki höfðu fundist við fyrri athuganir (maríustakkur og gullsteinbrjótur). Tíu tegundir sem fundist höfðu áður fundust ekki árið 2020 (geldinga-hnappur, hnappstör, vegarfi, kræklurót, lógresi, fjallastör, mosasteinbrjótur, krækill (ekki greindur til tegundar), steindepla og vetrarblóm).

Af þessum 73 æðplöntutegundum voru krækilyng og bláberjalyng algengastar en þær fundust í öllum stöðvum líkt og fyrri ár. Bláklukka og beitieski var skráð í öllum stöðvum nema einni árið 2020 en höfðu verið skráðar í öllum stöðvum árið 2005 og 2009. Mosi var skráður á öllum stöðvum öll árin og fléttur á öllum stöðvum nema einni árin 2005 og 2009, öllum nema tveimur árið 2015 og öllum nema þremur árið 2020. Tuttugu og fimm tegundir komu fyrir 15 sinnum eða oftar á stöðvunum 29 þar sem athuganir voru gerðar árið 2020.

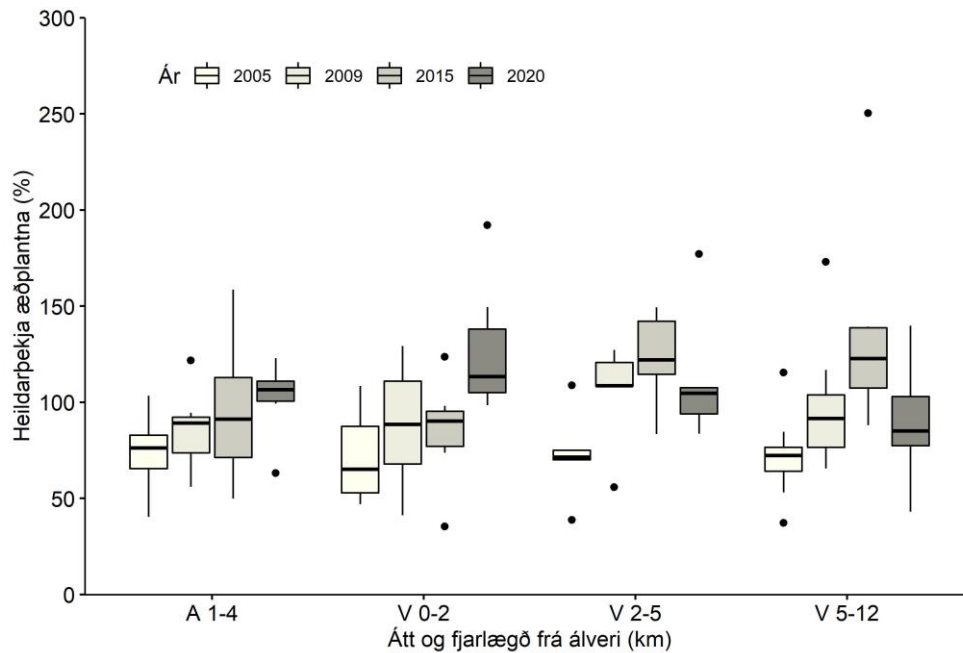
Meðalfjöldi æðplöntutegunda í reitum árið 2020 voru 27 tegundir (spönn 14–34 tegundir) og er það sami eða svipaður fjöldi og fannst árið 2015 og í bakgrunn-athugunum árið 2005 (28 tegundir) og er ekki merkjanlegur munur á fjölda tegunda í stöðvum milli athugunarára ($p > 0,05$). Ef horft er til einstaka rannsóknarsvæða þar sem fleiri en ein stöð er (A 1–4, V 0–2, V2–5 og V 5–12) sést að fjöldi tegunda er svipaður milli rannsóknarára á rannsóknarsvæðunum. Nokkru færri tegundir að meðaltali fundust þó árin 2015 (28 tegundir) og 2020 (29 tegundir) samanborið við árið 2005 (32 tegundir) á rannsóknarsvæðinu rétt vestan álvers (V 0–2). Færri tegundir fundust einnig austan álvers árið 2020 (26 tegundir) m.v. árið 2005 (29 tegundir) (69. mynd). Breytileiki í fjölda æðplantna var mestur á rannsóknarsvæðinu í 5–12 km fjarlægð vestur af álveri öll rannsóknarárin en meðalfjöldi tegunda var 25 tegundir (spönn 21 – 32) í stöð árið 2020 og 26 tegundir árin 2005, 2009 og 2015 (69. mynd). Vistfræðistöðvar sem eru þar eru alla jafna ólíkastar hvað gróðurfar varðar.



69. mynd. Fjöldi æðplöntutegunda á mismunandi rannsóknarsvæðum árin 2005, 2009, 2015 og 2020. Lína í miðju kassa táknar miðgildi. Efri og neðri línur kassans tákna fyrstu og þriðju fjórðungsmörk. Línur út frá kassa sýna 5% og 95% öryggismörk. Fylltir hringir tákna útlaga.

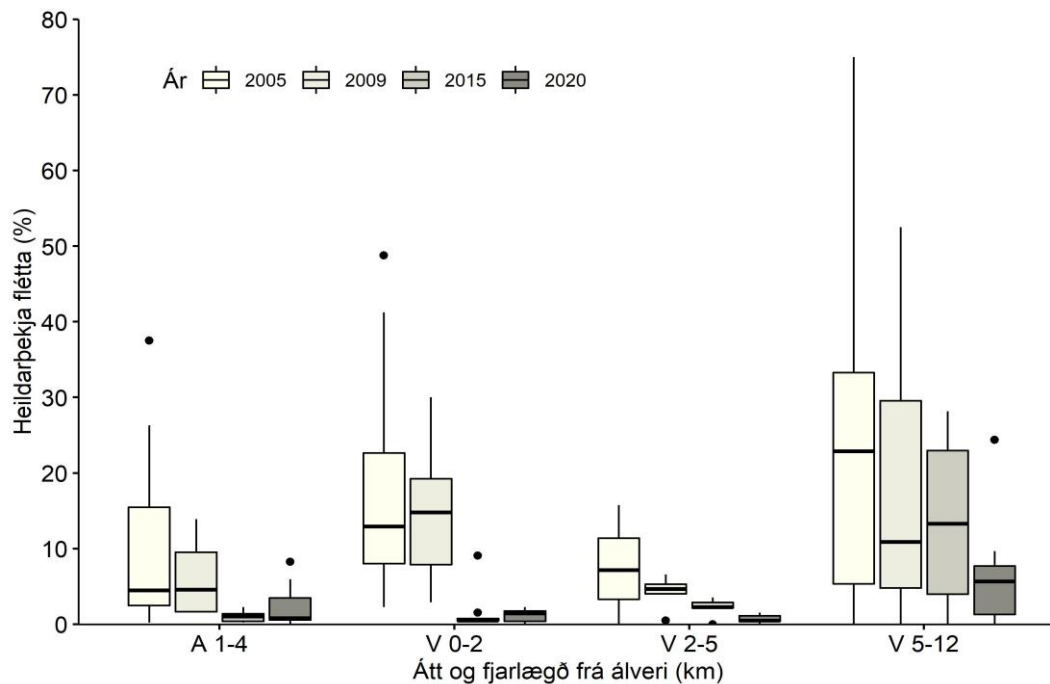
6.3.2 Breytingar í gróðurþekju milli ára

Meðalþekja æðplantna árið 2020 var 107% og hefur aukist marktækt frá bakgrunn-athugunum árið 2005 ($p=0,001$) en þá var hún 71%. Ef einstaka rannsóknarsvæði eru skoðuð sést að þekja æðplantna hefur aukist á öllum rannsóknarsvæðum frá árinu 2005 samanborið við árið 2020 (70. mynd). Aukningin er þó einna mest í 0–2 km fjarlægð frá álverinu og er ein helsta skýringin á því sú að í nokkrum reitum hefur lúpína dreift sér mikið og þekur hún í sumum tilfellum stóran hluta af reitum eða jafnvel alla reiti innan stöðvar.



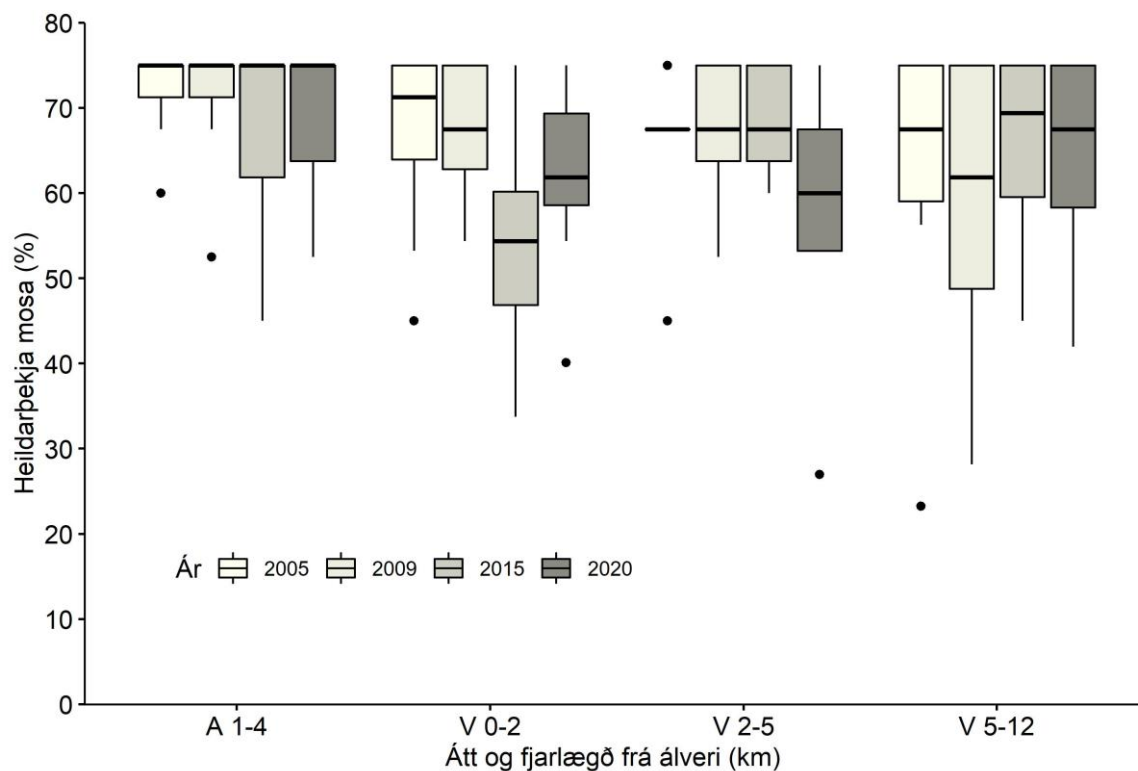
70. mynd. Þekja æðplantna á mismunandi rannsóknarsvæðum árin 2005, 2009, 2015 og 2020. Lína í miðju kassa táknar miðgildi. Efri og neðri línur kassans tákna fyrstu og þriðju fjórðungsmörk. Línur út frá kassa sýna 5% og 95% öryggismörk. Fylltir hringir tákna útlaga.

Heildarþekja flétta hefur minnkað marktækt frá árinu 2005 (17%) til 2020 (3%; $p=0,001$). Mestar breytingar á þekju milli áranna urðu á svæðinu í 0-2 km fjarlægð frá álveri og fór úr 20% árið 2005 niður í 1% árið 2020 ($p<0,001$). Einnig var marktæk breyting til minnkunar á svæðinu V 2-5 ($p=0,029$). Minnkun var einnig á þekju flétta milli rannsóknarára í 5-12 km fjarlægð frá álveri en ekki marktæk ($p=0,052$). Sama átti við um svæðið austan álvers þar var minnkun í þekju en ekki marktæk ($p=0,072$) (71. mynd og 73. mynd).



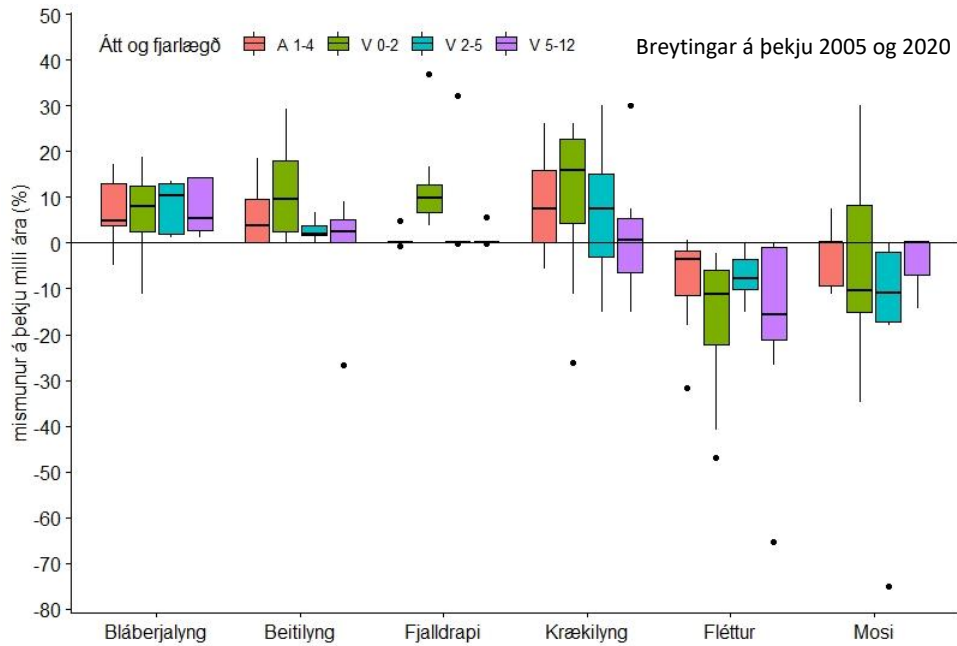
71. mynd. Þekja flétta á mismunandi rannsóknarsvæðum árin 2005, 2009, 2015 og 2020. Efri og neðri línur kassans tákna fyrstu og þriðju fjórðungsmörk. Línur út frá kassa sýna 5% og 95% öryggismörk. Fylltir hringir tákna útlaga.

Heildarþekja mosa hélst nokkuð stöðug milli árána 2005 (65%) og 2020 (63%) ($p=0,588$). Ekki var heldur munur á þekju mosa milli bakgrunnsathugana (2005) og 2020 innan rannsóknarsvæða ($p=0,393$). Í 13 stöðvum (45%) var um minnkun á þekju mosa að ræða. Í 10 stöðvum var enginn munur á þekju mosa milli árána 2005 og 2020 en aukning á þekju var í 6 stöðvum (72. og 73. mynd).



72. mynd. Þekja mosa á mismunandi rannsóknarsvæðum árin 2005, 2009, 2015 og 2020. Þekja var reiknuð frá miðgildi þekjubils (sjá 4. töflu) og var því að hámarki 75% sem jafngildir fullri þekju. Efri og neðri línur kassans tákna fyrstu og þriðju fjórðungsmörk. Línur út frá kassa sýna 5% og 95% öryggismörk. Fylltir hringir tákna útlaga.

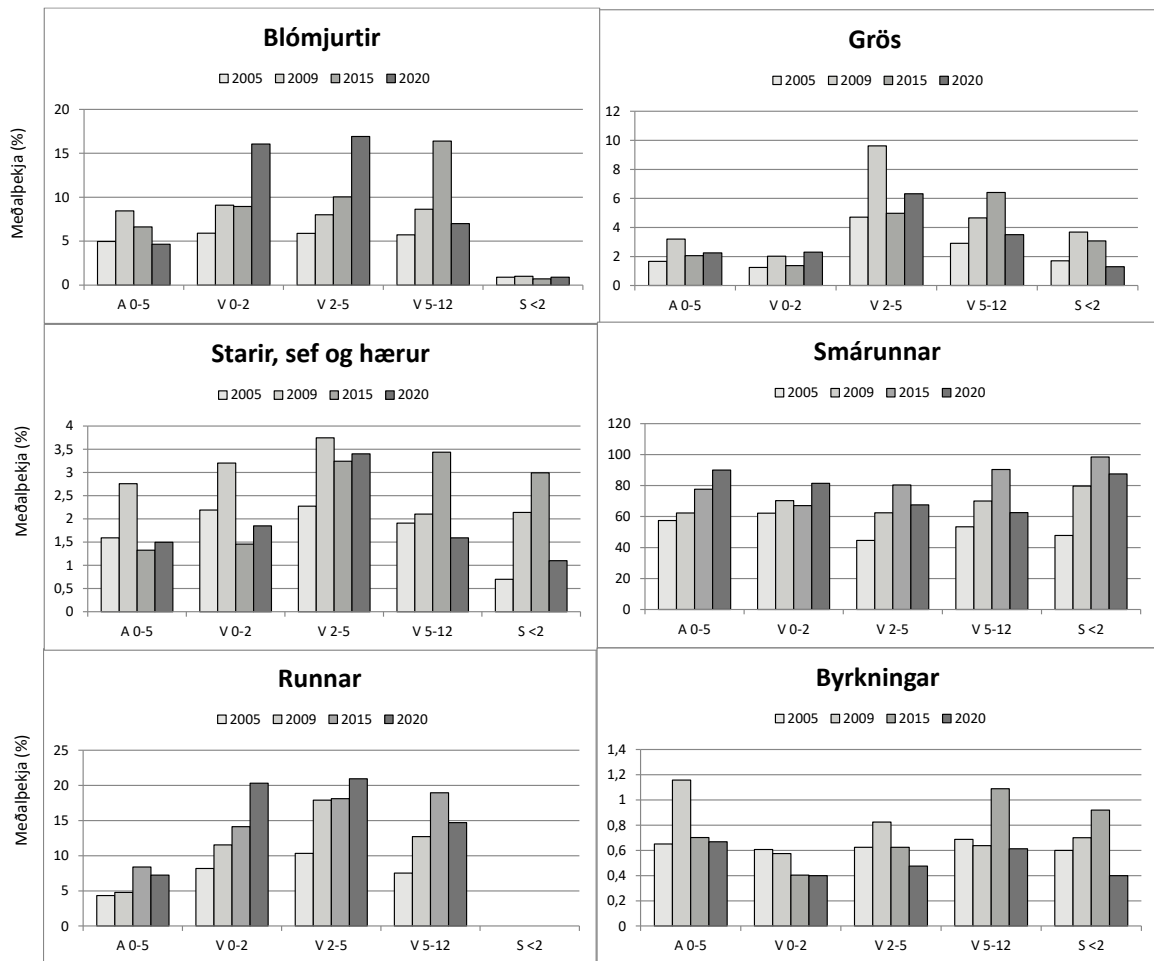
Af öllum skráðum æðplöntutegundum árið 2020 var krækilyng (*Empetrum nigrum*) mest áberandi með 45% heildarþekju. Krækilyng hafði líka mestu heildarþekjuna árið 2015 (47%) og árin 2005 (37%) og 2009 (43%) og hefur þekja þess aukist marktækt milli rannsóknarárána 2005 og 2020 ($p=0,020$) og er aukninguna að sjá á flestum rannsóknarsvæðunum frá því vöktun hófst (73. mynd). Næstmestu heildarþekjuna árið 2020 hafði bláberjalyng (*Vaccinium uliginosum*) (19%), rétt eins og fyrri athugunarár. Heildarþekja þess hefur einnig aukist milli rannsóknarárána 2005 og 2020 ($p<0,001$) (73. mynd).



73. mynd Breytingar í þekju nokkurra algengra æðplöntu tegunda, flétta og mosa á rannsóknarsvæðunum milli árána 2005 og 2020. Efri og neðri línur kassans tákna fyrstu og þriðju fjórðungsmörk. Línur út frá kassa sýna 5% og 95% öryggismörk. Fylltir hringir tákna útlaga.

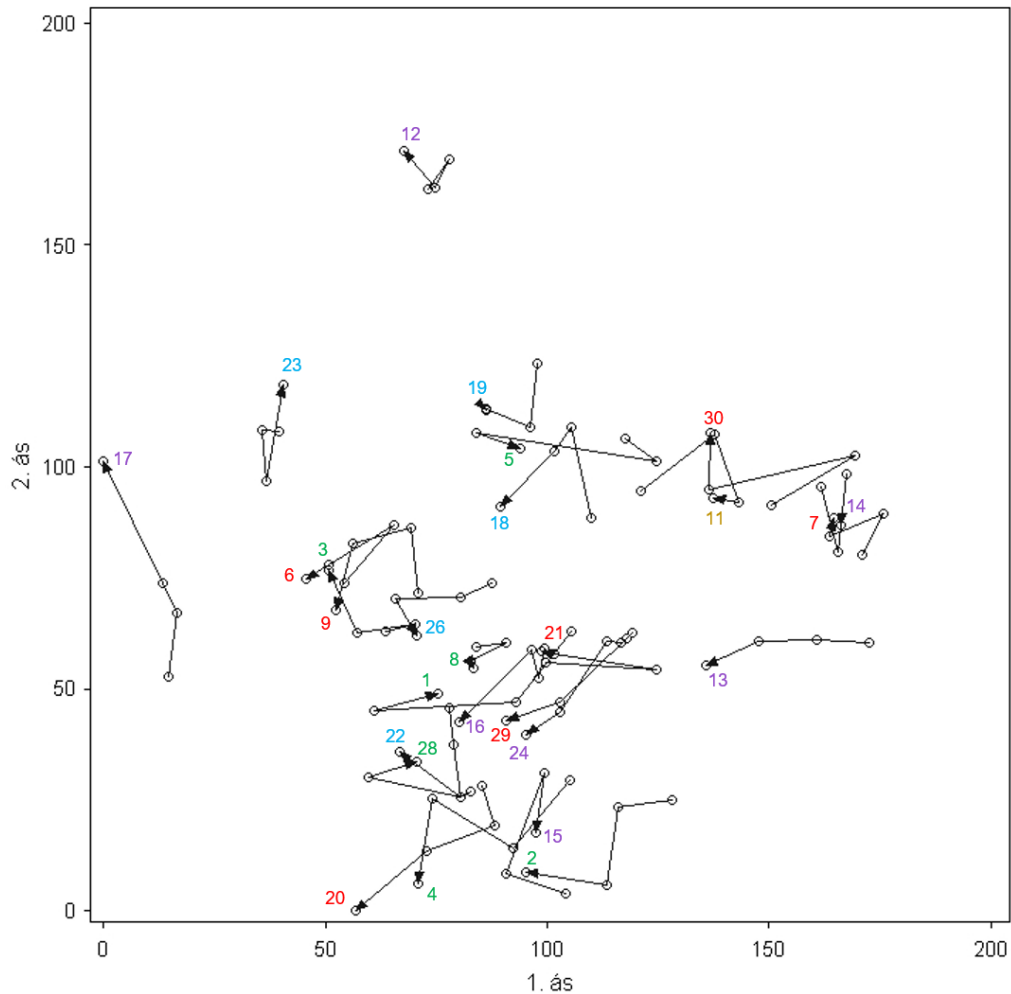
6.3.3 Breytingar í gróðursamsetningu milli ára

Samanlögð þekja blómjurta jókst milli árána 2015 og 2020 í stöðvum í 0–2 og 2–5 km fjarlægð vestur af álveri og er það vegna mikillar aukningu á þekju lúpínu á þeim svæðum (74. mynd). Samanlögð þekja grasa var mest áberandi á rannsóknarsvæðinu V 2–5 árið 2020 og hefur undanfarin ár verið mest áberandi þar og í 5–12 km fjarlægð frá álveri en í minnstri þekju rétt vestan við álverið og austan (74. mynd). Smárunnar (t.d. krækilyng, bláberjalyng og beitilyng) eru nokkuð jafndreifðir um rannsóknarsvæðin og hafa alla jafna nokkuð mikla þekju (39–120%) líkt og getið er um hér að ofan. Þekja runna (t.d. fjalldrapi og víðir) hefur einnig aukist eða er svipuð milli rannsóknarára en runnar hafa mesta þekju á öllum rannsóknarsvæðum vestan álvers en minna austan og eru ekki í stöðvum sunnan megin. Þekja byrkninga var almennt lítil líkt og undanfarin ár (0,1–1,62%) (74. mynd).



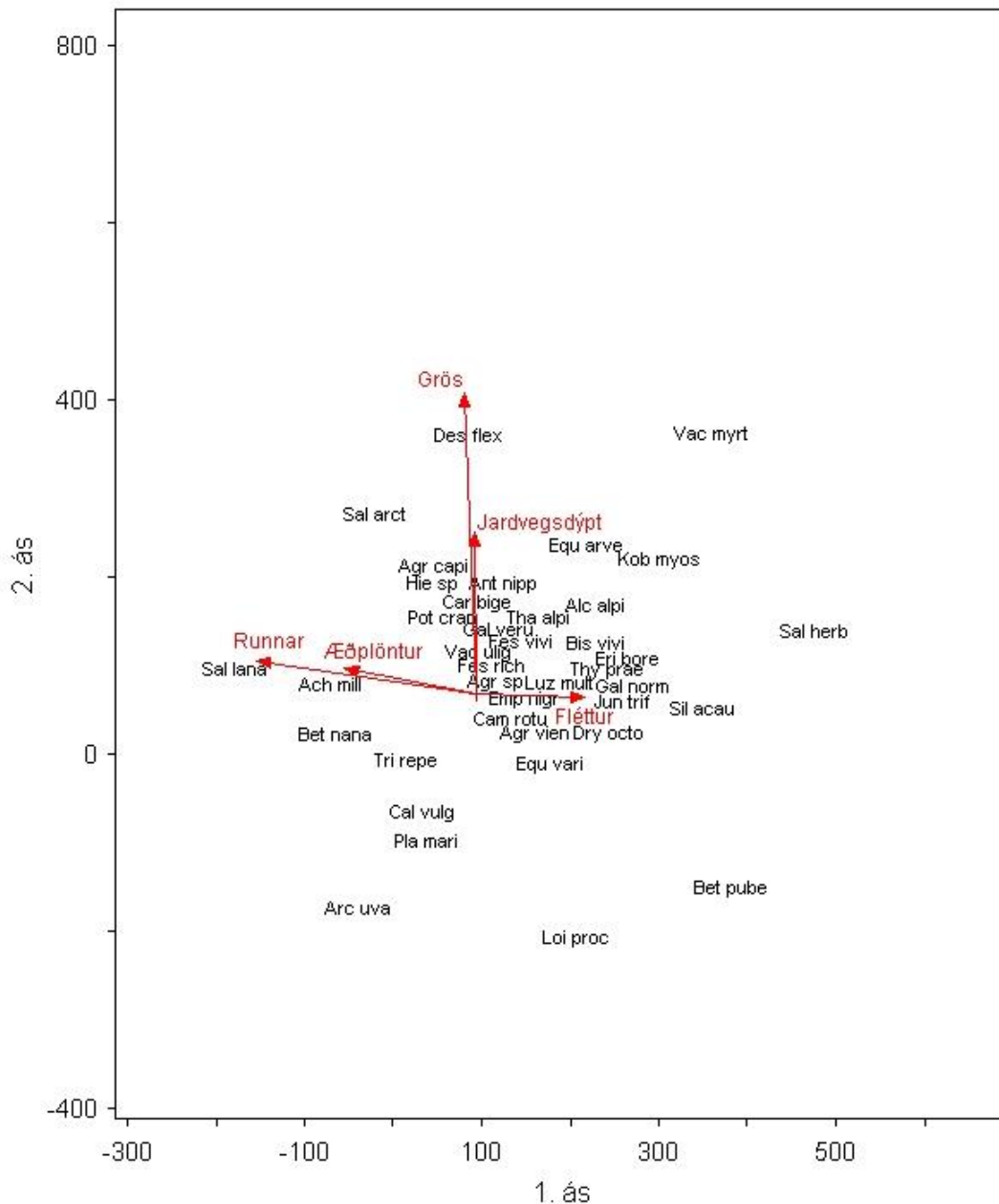
74. mynd. Meðalþekja ýmissa tegundahópa í mismunandi rannsóknarsvæðum árin 2005, 2010, 2015 og 2020 (gögn fyrir stöð 25 vantar fyrir árið 2015 og 2020 en hún er á svæði V 2–5 km). Skali á y-ás er mismunandi milli súlurita.

Með DCA greiningu á þekju æðplöntutegunda mátti greina nokkurn breytileika í gróðurfari milli stöðva (75. mynd). Til þess að átta sig á því í hverju breytileikinn felst má sjá tengsl helstu gróðurbreyta við niðurstöður hnitunar og staðsetningu algengra æðplöntutegunda á 76. mynd. Þar sést að þekja flétta fór vaxandi eftir 1. ás hnitunarmyndar, en þekja runna og æðplantna minnkandi og þekja grasa óx eftir 2. ás. Jarðvegsdýpt óx líka eftir 2. ás og tengdist sennilega aukinni þekju grasa, þ.e. jarðvegsdýpt var mikil á grösugum stöðvum. Í takt við gróðurbreyturnar sem sýndar eru á 76. mynd röðuðust nokkrar algengar runnategundir, s.s. loðvíðir (*Sal lana*) og fjalldrapi (*Bet nana*), langt til vinstri á hnitunarmyndinni, á meðan t.d. grastegundin bugðupunktur (*Des flex*) raðaðist ofarlega. Breytileiki í þekju gróðurbreytanna fjögurra á 76. mynd fyrir hverja stöð er síðan sýndur á 77. mynd og þar sést hvernig stöðvar með meiri grasþekju röðuðust gjarnan ofarlega, á meðan fléttur voru mest áberandi hægra megin á hnitunarmyndinni og runnar vinstra megin. Æðplöntur höfðu víðast hvar einhverja þekju, en virtust þó hafa meiri þekju í reitum sem röðuðust vinstra megin heldur en hægra megin á hnitunarmynd (77. mynd).



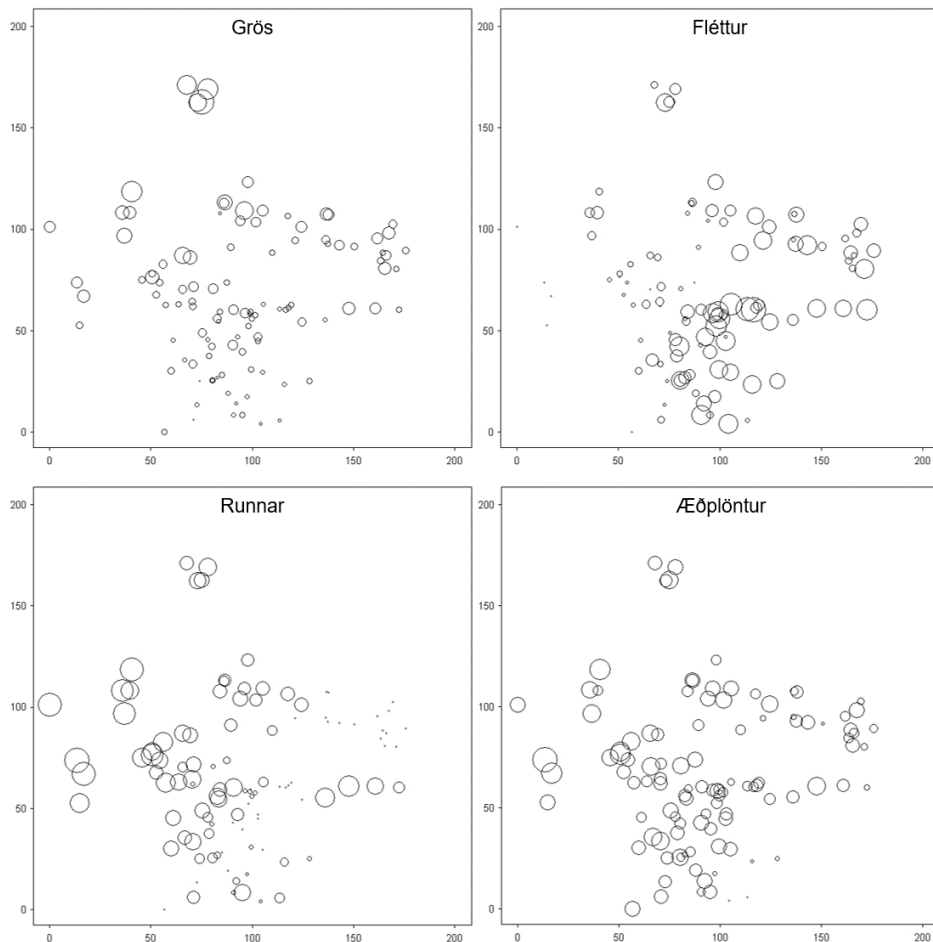
75. mynd. Niðurstöður DCA hnitunargreiningar þar sem staðsetningar stöðva eftir 1. og 2. ási hnitunar eru sýndar með hringjum. Örvar tengja sömu stöðvar milli ára (frá 2005 til 2020) og númer stöðva er sýnt við staðsetningu ársins 2020. Litur númers táknar átt og fjarlægð stöðvar frá álveri, líkt og á 73. mynd (rautt: A 1–4, grænt: V 0–2, blátt: V 2–5, fjólublátt: V 5–12, gulbrúnt: S < 2). Eigingildi 1. áss var 0,15 og eigingildi 2. áss var 0,12.

Af þessu má draga þá ályktun að stöðvar langt til hægri á 75. mynd hafi almennt verið rýrari en stöðvar lengra til vinstri og fléttur þar áberandi í sverði, á meðan gróður á stöðvum langt til vinstri var gjarnan þéttur og lagskiptur, með runnum og fleiri æðplöntutegundum. Nokkrar stöðvar, sérstaklega stöðvar 12 og 23, skáru sig svo úr að því leyti að þar voru grös meira áberandi en annars staðar og því röðuðust þær ofarlega á hnitunarmyndinni (75. mynd). Mikil þekja loðvíðis í stöð 17 olli því síðan að hún skar sig frá hinum, en loðvíðir hafði annars litla meðalþekju í stöðvum rannsóknarinnar.



76. mynd. Niðurstöður DCA hnitunargreiningar sem sýnir staðsetningu 39 algengra æðplöntutegunda (meðalþekja >0,1%) eftir 1. og 2. ási hnitunar. Íslensk heiti tegunda eru sýnd í viðauka 21. Tengsl helstu umhverfis- og gróðurbreyta við niðurstöður hnitunar ($r^2 > 0,2$) eru sýnd með örnum, lengd þeirra segir til um styrkleika tengsla og áttin gefur visbendingar um í hverju breytingar í stöðvum eru fólgnar.

Út frá hnitunarmyndunum hér að ofan (75.– 76. mynd) má einnig áætla í hverju helstu breytingar á gróðurfari stöðva milli ára voru fólgnar. Breytingin sem var hvað mest áberandi var færsla margra stöðva til vinstri milli ára, mismikið þó. Það var í samræmi við vaxandi þekju runna og minni þekju flétta milli ára í viðkomandi stöðvum (77. mynd).



77. mynd. Niðurstöður DCA hnitunargreiningar þar sem breytileiki í þekju helstu gróðurbreyta er sýndur fyrir hverja stöð. Þekja eykst með stærð hringja, þeir minnstu tákna enga þekju en þeir stærstu tákna mestu þekju sem viðkomandi tegundahópur hafði meðal allra stöðva rannsóknarinnar.

Aukin ganga hreindýra í Reyðarfirði sl. ár er talin ein helsta orsök þess að fléttur hafa verið á undanhaldi þar, enda sáust gjarnan ummerki um fléttubeit í stöðvum rannsóknarinnar. Aukin þekja runna og smárunna milli ára gæti tengst ýmsum áhrifaþáttum, s.s. breyttri landnýtingu og loftslagsbreytingum, en á norðlægum slóðum má vænta þess að með hlýnandi loftslagi aukist þekja og hæð runnagróðurs, á kostnað lággróðurs sem hopar (Ingibjörg S. Jónsdóttir o.fl., 2005; Anne D. Bjorkman o.fl., 2018).

Ekkert skýrt mynstur var að sjá í breytingu á gróðurfari milli ára eftir átt og fjarlægð stöðva frá álveri (75. mynd). Umtalsverðar breytingar hafa orðið á gróðri í Reyðarfirði, sem og á landinu öllu sl. ár og áratugi, sem einna helst hafa komið til vegna breytinga á beitarálagi (Martha Reynolds o.fl., 2015), í sambland við loftslagsbreytingar (Halldór Björnsson o.fl., 2018). Því er eðlilegt að erfitt sé að koma auga á mögulegar breytingar á gróðri af völdum álvers með fjölbreytugreiningu, en niðurstöður hennar veita engu að síður innsýn inn í það breytilega náttúrulega umhverfi sem álverið starfar í og gerir okkur kleift að taka tillit til þess við greiningu gagna. Auk þess skal taka fram að fjölbreytugreiningin skýrði aðeins hluta breytileikans sem var að finna í gögnunum og hann gæti því einnig hafa stjórnað af öðrum þáttum en þeim sem skoðaðir voru í þessari greiningu.

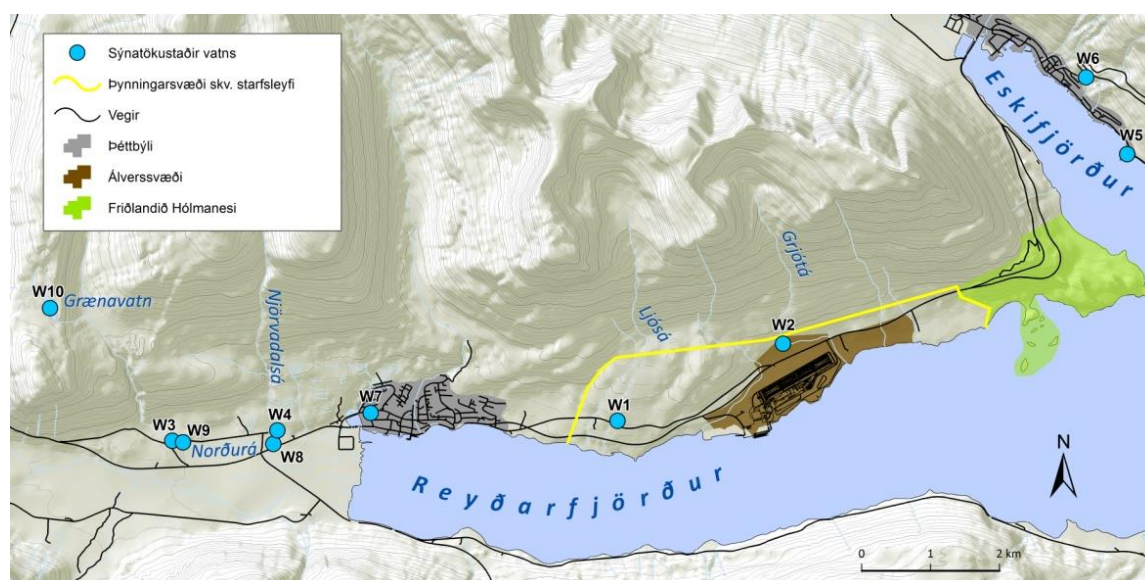
Niðurstöður tegundaskráningar og þekjumats á öllum stöðvum árið 2020 má sjá í viðauka 21.

7 Yfirborðsvatn

7.1 Inngangur

Sýni voru tekin á samtals 10 sýnatökustöðum. Fjögur árvatnssýni voru tekin úr Ljósá (W1), Grjótá (W2), Norðurá (W3) og Njörvadalsá (W4). Fimm neysluvatnssýni voru tekin á eftirfarandi stöðum: úr krana á Mjóeyri á Eskifirði (W5), vatnstanki á Eskifirði (W6), úr krana í Olís sjoppu á Reyðarfirði (W7) og tveimur vatnstönkum á Reyðarfirði, þeim gamla (W8) og þeim nýja (W9). Auk þess var sýni tekið úr Grænavatni (W10) (78. mynd). Sýni voru tekin fjórum sinnum yfir árið úr árvatni og neysluvatni á stöðum W1–W9, þann 21. janúar, 20. apríl, 20. júlí og 13. október en tvisvar úr Grænavatni, 20. júlí og 13. október.

Í öllum sýnamengjum var mælt sýrustig (pH), leiðni ($\mu\text{S}/\text{cm}$), basarýmd (alkalinity, mg CaCO_3/L), styrkur flúors (F) og styrkur brennisteins (S) hjá Efnagreiningum, Nýsköpunarmiðstöð Íslands. Auk þess var ákvarðaður styrkur fjölhringa aromatískra vetniskolefna (PAH-16) í seinasta sýnaskammti ársins. PAH mælingar voru framkvæmdar hjá Eurofins GfA Lab Service GmbH í Þýskalandi.



78. mynd. Sýnatökustaðir árvatnssýna (W1–W4) og neysluvatnssýna (W5–W9) auk Grænavatns (W10) (Landmælingar Íslands, 2013 og 2015).

7.2 Niðurstöður

Niðurstöður eru settar fram sem ársmeðaltöl fyrir hvern sýnatökustað og einnig eru tekin saman ársmeðaltöl fyrir árvatn og neysluvatn. Niðurstöður eru bornar saman við gildi fimm undangenginna ára auk gildi ársins 2006 sem er notað sem bakgrunnsgildi.

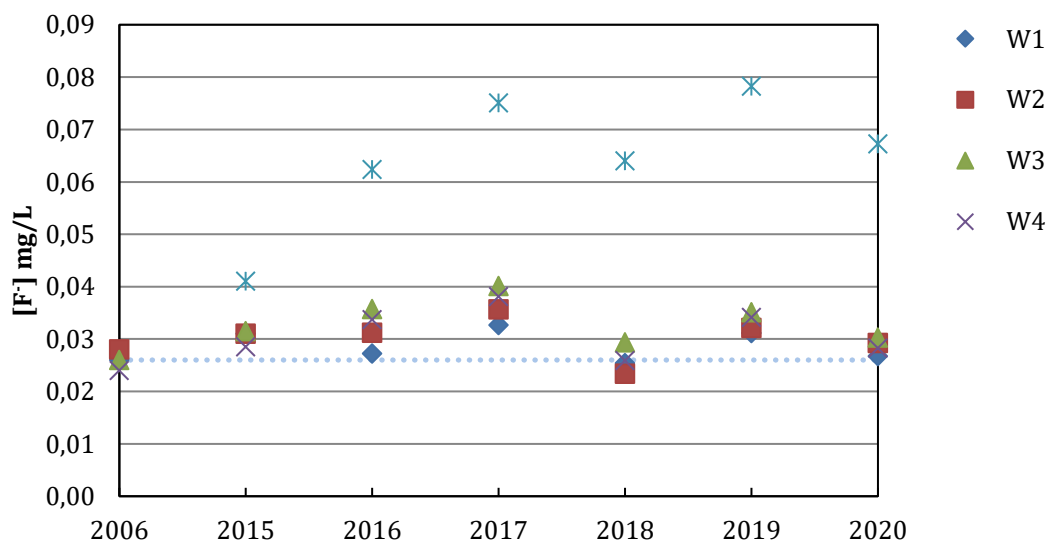
7.2.1 Flúor

Samkvæmt reglugerð um neysluvatn (nr. 536/2001 með síðari breytingum nr. 145/2008) er hámarksgildi fyrir flúorinnihald neysluvatns 1,5 mg/L.

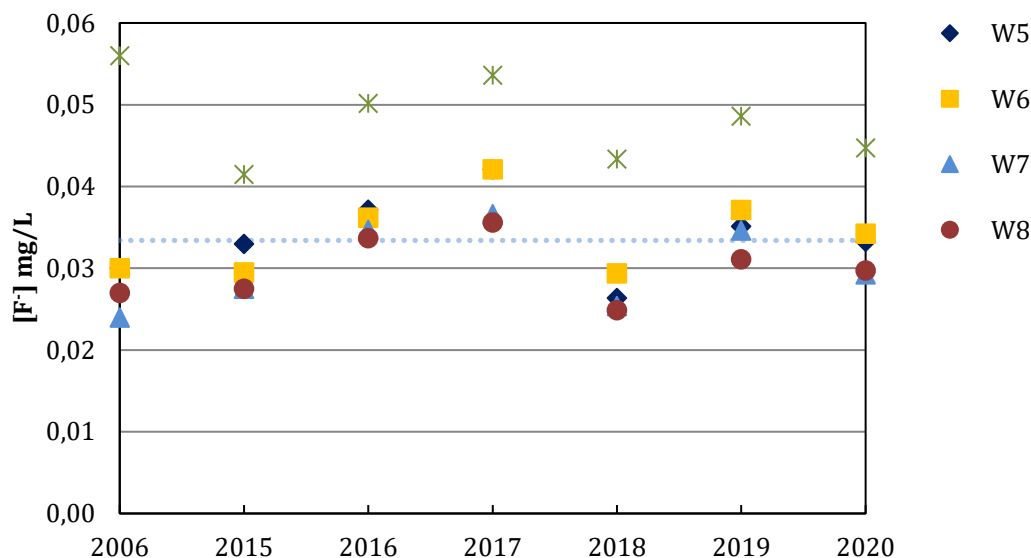
Ársmeðaltal flúors í vatni árið 2020 var 0,035 mg/L. Meðaltal fyrir árvatn (W1–W4) var 0,029 mg/L sem er sambærilegt við undanfarin ár. Styrkur flúors í Grænavatni (W10)

mælist talsvert hærrí en í öðru yfirborðsvatni á svæðinu, eða að meðaltali 0,067 mg/L árið 2020. Flúorstyrkur í Grænavatni hefur einkennst af miklum sveiflum milli ára. Ársmeðaltal fyrir neysluvatn (W5–W9) var 0,034 mg/L. Greiningarmörk (LOD) fyrir magngreiningar flúors í vatni eru 0,01 mg/L og magngreiningarmörk (LOQ) eru 0,04 mg/L svo ekki er hægt að tala um marktækar sveiflur í meðalstyrk flúors milli ára, en greinilegt er þó að fylgni er milli allra sýnatökustaða, þ.e.a.s. flúorstyrkur minnkar í þeim öllum.

Styrk flúors í vatni árið 2006 og á tímabilinu 2015 til 2020 má sjá á 79. (árvatn) og 80. mynd (neysluvatn). Mælingar frá 2006 eru notaðar sem bakgrunnsgildi fyrir svæðið og er meðalstyrkur flúors á viðkomandi sýnatökustöðum það árið sýndur sem blá punktalína.



79. mynd. Ársmeðaltöl af styrk flúors í árvatnsýnum (W1–W4) og Grænavatni (W10) fyrir árin 2006 og 2015–2020.



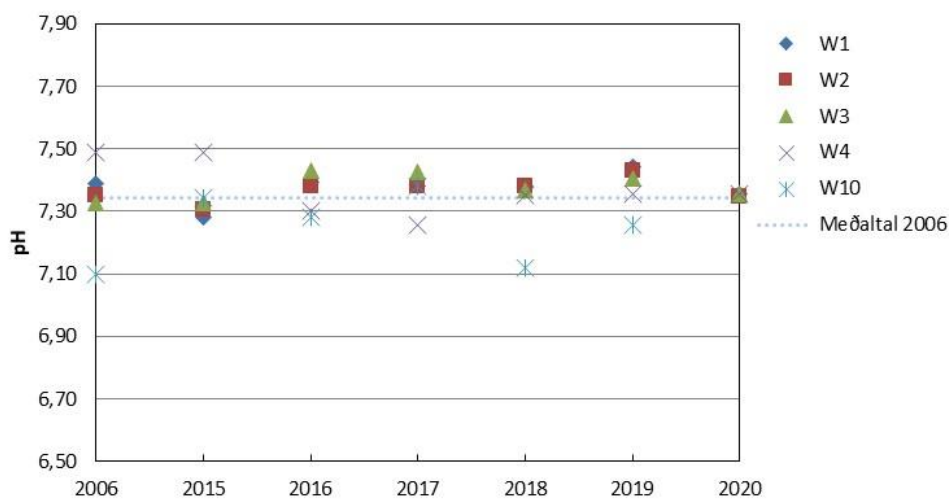
80. mynd. Ársmeðaltöl af styrk flúors í neysluvatni á Eskifirði (W5 og W6) og Reyðarfirði (W7–W9) fyrir árin 2006 og 2015–2020.

7.2.2 Sýrustig (pH)

Í reglugerð um neysluvatn (reglugerð nr. 536/2001 með síðari breytingum nr. 145/2008) er tekið fram að neysluvatn skuli hafa pH á bilinu 6,5 til 9,5.

Heildarársmeðaltal sýrustigs vatns árið 2020 var 7,35 sem er örlítill lækkun frá árinu 2019 þegar heildarársmeðaltalið var 7,41. Í neysluvatni (W5 – W9) var ársmeðaltal sýrustigs 7,37 og mældust þar hæstu og lægstu meðaltalsgildin fyrir einstaka sýnatökustaði; 7,81 í W9 og 7,14 í W7. Á síðasta ári var ársmeðaltal sýrustigs í neysluvatni örlítið hærra, eða 7,43. Í árvatni (W1 – W4) var ársmeðaltal sýrustigs 7,36 sem er örlítill lækkun frá síðasta ári þegar ársmeðaltalið var 7,43. Í Grænavatni var ársmeðaltal sýrustigs 7,26 en var 7,12 í fyrra. Á 81. mynd og 82. mynd má sjá meðaltöl sýrustigs í ám og í neysluvatni árin 2006 og 2015 – 2020. Sýrustig allra einstaka sýna voru vel innan leyfilegra marka reglugerða.

Mælingar frá 2006 eru notaðar sem bakgrunnsgildi fyrir svæðið og er meðalsýrustig á viðkomandi sýnatökustöðum það árið sýndur sem blá punktalína.



81. mynd. Ársmeðaltöl af sýrustigi í árvatnssýnum fyrir árin 2006 og 2016–2020.



82. mynd. Ársmeðaltöl af sýrustigi í neysluvatni fyrir árin 2006 og 2015–2020.

7.2.3 Fjölhringa aromatísk vetniskolefni (PAH efni)

Í reglugerð um neysluvatn (reglugerð nr. 536/2001 með síðari breytingum nr. 145/2008) er fjallað um fjölhringa aromatísk vetniskolefni (PAH). Þar er gefið hámarksgildið 0,10 µg/L, þar sem viðmiðunargildið er summa af styrk efnasambandanna benzo(b)flúoranten, benzo(k)flúoranten, benzo(ghi)perylene og indeno(1,2,3-cd)pyren. PAH-16 var greint í öllum sýnum, nema í sýni úr W10 sem brotnaði í flutningum. Gildi allra efna eru sýnd í viðauka 16.

Öll sýni mældust undir greiningarmörkum PAH efnasambandanna fjögurra og því eru tölurnar gefnar upp sem <X (minna en) samanlögð greiningarmörk þeirra. Þetta er sambærilegt við niðurstöður frá og með 2011. Niðurstöður fyrir heildarmagn PAH efna fyrir árin 2006 og 2015–2020 má sjá í 5. töflu.

5. tafla. Styrkur PAH í vatnssýnum fyrir árin 2006 og 2015–2020.

	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	W9	W10	Meðalta
	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L
2006	0,100	0,260	0,250	0,530	0,090	0,130	0,110	0,240	0,690		0,267
2015	< 0,004	< 0,0039	< 0,0036	< 0,0039	< 0,0038	< 0,0036	< 0,0039	< 0,0037	< 0,0038	< 0,004	< 0,008
2016	< 0,0040	< 0,0047	< 0,0048	< 0,0040	< 0,0040	< 0,0040	< 0,0044	< 0,0040	< 0,0040	< 0,0040	< 0,0042
2017	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008
2018	< 0,00831	< 0,008	< 0,008	< 0,00806	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008	< 0,008
2019	< 0,012	< 0,012	< 0,012	< 0,012	< 0,012	< 0,012	< 0,014	< 0,019	< 0,016	< 0,023	< 0,015
2020	< 0,016	< 0,016	< 0,016	< 0,016	< 0,016	< 0,016	< 0,016	< 0,016	< 0,016		< 0,016

Niðurstöður á styrk allra PAH efna (PAH16) í vatnssýnum má finna í viðauka 16.

7.2.4 Brennisteinn

Í reglugerð um neysluvatn (reglugerð nr. 536/2001 með síðari breytingum nr. 145/2008) eru gefin hámarksgildi súlfats í neysluvatni (250 mg SO₄/L), sem jafngildir styrk brennisteins í vatni 83,3 mg S/L og því lýst að vatnið má ekki vera tærandi. Brennisteinn var ekki magngreindur í vatni árið fyrir upphaf starfsemi álversins og því eru bakgrunnsgildi ekki tekin fram.

Styrkur brennisteins í árvatni og neysluvatni breytist ekki með afgerandi hætti milli árána 2019 og 2020 frekar en undanfarin ár (6. tafla). Styrkur brennisteins í Grænavatni er sveiflukenndari en mælist lægri en hann hefur gert síðan árið 2017. Mæligildi fyrir einstök sýni eru öll vel undir þeim mörkum sem gefin eru upp í reglugerð og mælist brennisteinn hæst 0,54 mg/L í Grænavatni í október. Greiningarmörk (LOD) brennisteins í vatni eru 0,01 mg/L og magngreiningarmörk 0,05 mg/L.

6. tafla. Meðalstyrkur brennisteins (mg S/L) í árvatni, neysluvatni og Grænavatni árin 2015–2020.

mg S/L	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Árvatn	0,45	0,41	0,41	0,38	0,38	0,39
Neysluvatn	0,49	0,46	0,47	0,46	0,42	0,40
Grænavatn	0,50	0,49	0,69	0,54	0,58	0,50

7.2.5 Basarýmd (e. alkalinity)

Ársmeðaltöl basarýmdar frá árinu 2015 má sjá í 7. töflu. Basarýmd neysluvatns hefur haldist sambærileg síðan árið 2015 og er 19,3 mg CaCO₃/L á ársgrundvelli. Nokkra dreifingu má finna milli sýnatökustaða, en lægst er ársmeðaltalið 14,9 mg CaCO₃/L í W8 og hæst 22,3 mg CaCO₃/L í W6. Mælingar innan hvers staðar eru sambærilegar.

Sömuleiðis má finna nokkra dreifingu milli sýnatökustaða árvatns, en basarýmd þess mælist lægst að meðaltali 13,4 mg CaCO₃/L í W2 og hæst 19,0 mg CaCO₃/L í W4. Ársmeðaltal árvatnssýna er 15,7 mg CaCO₃/L sem er hækkun frá árinu 2019.

Mestu sveiflurnar milli ára sjást í Grænavatni, W10, en basarýmd árið 2020 er talsvert lægri en hún var árið 2019.

7. tafla. Meðaltals basarýmd (mg CaCO₃/L) í árvatni, neysluvatni og Grænavatni árin 2015–2020.

mg CaCO ₃ /L	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Árvatn	13,5	15,5	15,1	13,9	14,2	15,7
Neysluvatn	18,5	18,7	20,6	19,8	19,8	19,3
Grænavatn	12,0	17,5	15,9	12,4	16,1	12,0

7.2.6 Leiðni

Meðalleiðni árvatnssýna og neysluvatnssýna árið 2020 er örlítið hærri en árið 2019 (8. tafla), sem kemur til vegna aukinnar leiðni á öllum sýnatökustöðum. Leiðni vatns er háð ýmsum breytum, m.a. veðurfari og árstíðum og flokkast allar sveiflur milli ára og innan árs til náttúrulegs breytileika. Mestar sveiflur milli ára mælast í Grænavatni en leiðnin lækkar frá árinu 2019.

Samkvæmt reglugerð um neysluvatn (nr. 536/2001 með síðari breytingum nr. 145/2008 og nr. 570/2018) er leyfileg hámarksleiðni 2500 µS/cm við 20°C auk þess sem vatnið má ekki vera tærandi.

8. tafla. Meðaltals leiðni (µS/cm) í árvatni, neysluvatni og Grænavatni árin 2015–2020.

µS/cm	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Árvatn	43,2	43,9	50,1	41,2	42,4	49,2
Neysluvatn	55,1	54,7	59,1	54,8	51,4	56,0
Grænavatn	36,5	34,8	44,1	36,3	45,7	36,8

Niðurstöður allra efnamælinga í vatnssýnum fyrir árið 2020 má finna í viðauka 16.

8 Jarðvegur

8.1 Inngangur

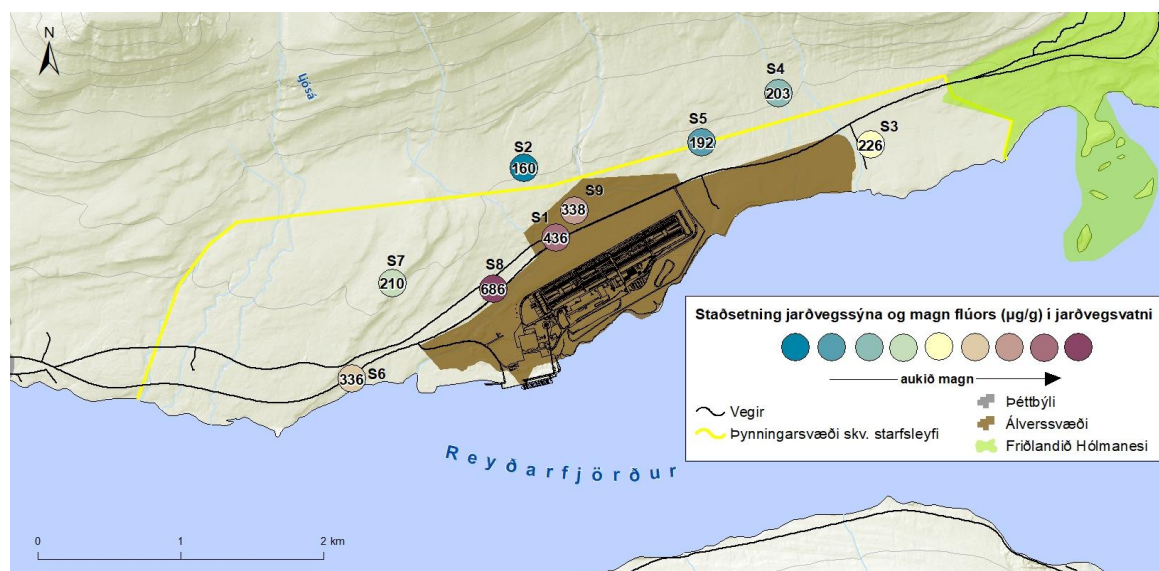
Jarðvegssýni voru tekin 28. júlí 2020 á níu sýnatökustöðum í um og innan við 2 km radíus frá álverinu í Reyðarfirði (83. mynd). Jarðvegssýnataka 2020 fór fram á sömu stöðum og með sama hætti og sýnatökur árin 2004–2006 og 2010 og 2015 fyrir utan að ekki var

tekið sýni á sýnatökustað S10 árin 2010, 2015 og 2020 þar sem hann eyðilagðist vegna framkvæmda við álverið. Sýni á hverjum sýnatökustað samanstóð af fimm hlutsýnum úr kjarnabor sem var 6 cm í þvermál. Hlutsýnin voru tekin innan 1 m radíuss frá sýnatökustaðnum. Efsta lagið, þar sem finna mátti plöntuleifar og rætur, var fjarlægt og um 5 cm þykkt sýni tekið þar fyrir neðan úr hverju hlutsýni og blandað í eitt sýni. Í öllum sýnum var mældur heildarstyrkur flúors auk styrks flúors, klórs, brennisteins og fosfórs í lausn úr skoluðum jarðvegi hjá Efnagreiningum, Nýsköpunarmiðstöð Íslands.

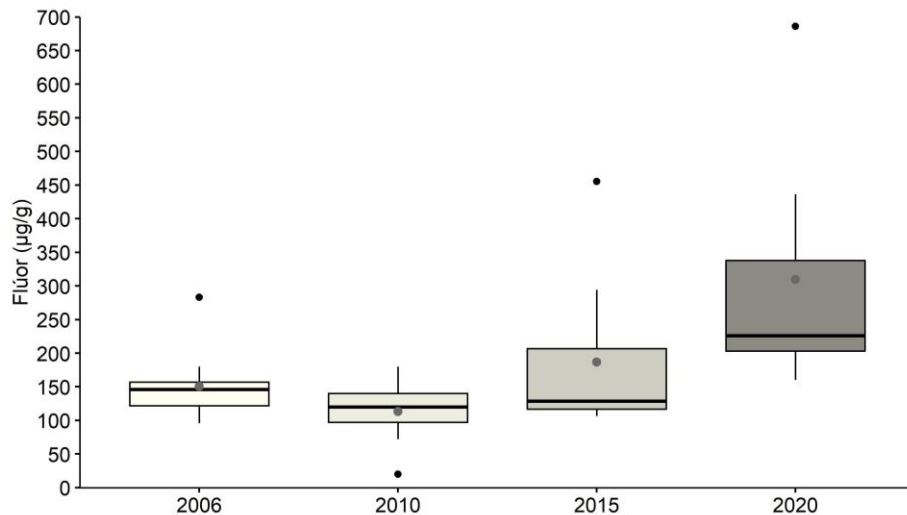
8.2 Niðurstöður

8.2.1 Flúor

Styrkur flúors í jarðvegi árið 2020 mældist frá 160–686 µg/g Hæstur var styrkurinn á sýnatökustað S8, sem er rétt norðvestur af álverinu (83. mynd). Styrkur flúors í jarðvegi hafði áður verið mældur árin 2006, 2010 og 2015. Árið 2020 var meðalstyrkur flúors í jarðvegi 310 µg/g og var hann marktækt hærri en mældist í bakgrunnsathugunum árið 2006 (151 µg/g, $p=0,004$) og árin 2010 (113 µg/g, $p=0,004$) og 2015 (187 µg/g, $p=0,004$) (84. mynd).



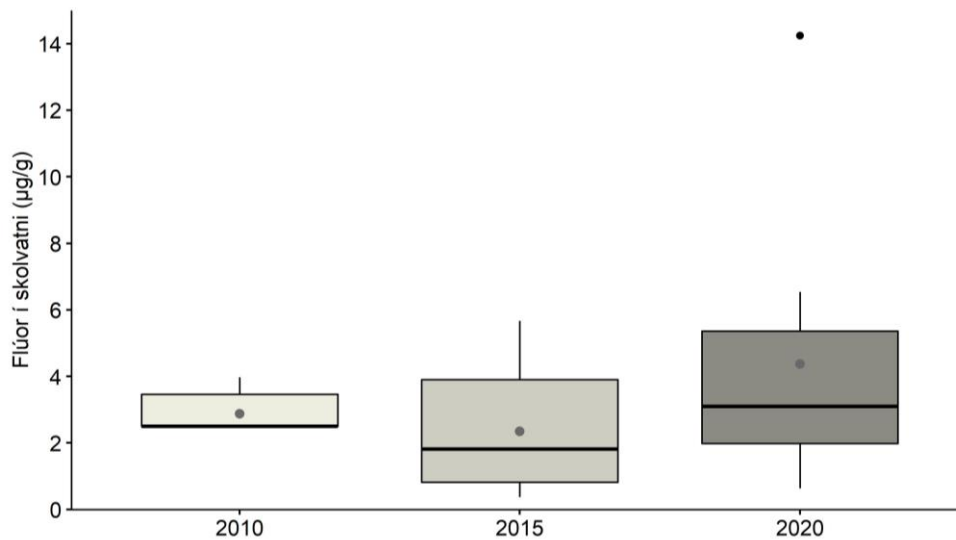
83. mynd. Styrkur flúors í jarðvegi á níu sýnatökustöðum í Reyðarfirði í júlí 2020. Tekin voru fimm hlutsýni á hverri stöð (Landmælingar Íslands, 2013, 2019 og 2021).



84. mynd. Styrkur flúors ($\mu\text{g/g}$) í jarðvegi árin 2006, 2010, 2015 og 2020 í Reyðarfirði. Efri og neðri línur kassans tákna fyrstu og þriðju fjórðungsmörk. Línur út frá kassa sýna 5% og 95% öryggismörk. Fylltir svartir hringir tákna útlaga og fylltir gráir hringir eru meðaltöl fyrir ár.

8.2.2 Flúor í lausn

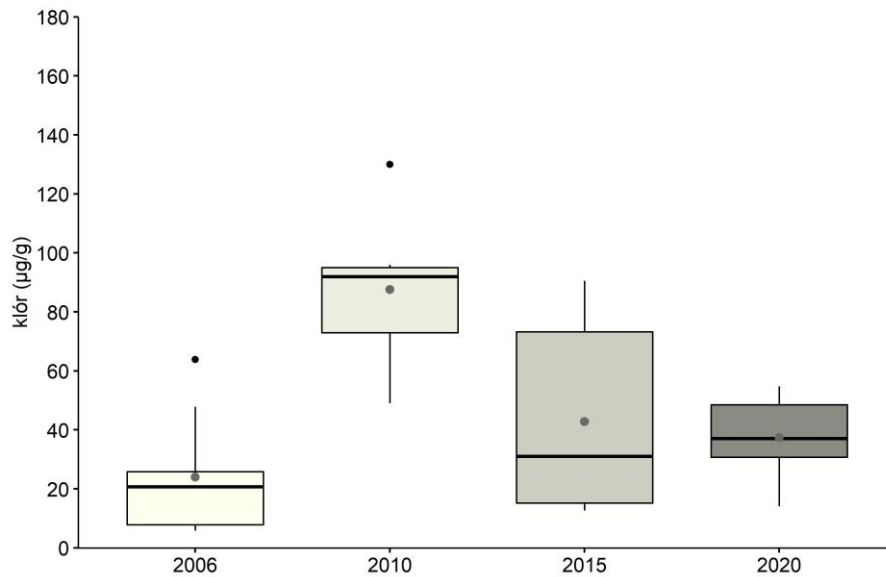
Árið 2020 var meðalstyrkur flúors í lausn $4,37 \mu\text{g/g}$ (spönn $0,6\text{--}14,2 \mu\text{g/g}$). Hæstur var styrkurinn á sýnatökustað S1 sem er rétt ofan álversins en lægstur á sýnatökustað S2 upp í hlíðinni ofan álvers. Styrkur flúors í lausn úr skoluðum jarðvegi hafði áður verið mældur árin 2015, 2010, 2005 og 2004. Aðrar aðferðir voru notaðar við mælingar á flúor í lausn árin 2004–2005 en árin 2010 og 2015 og niðurstöður eru þess vegna ekki samanburðarhæfar. Hér verður því einungis fjallað um niðurstöður árin 2010, 2015 og 2020. Hækkun var á styrk flúors milli árana 2020 samanborið við árin 2010 og 2015 ($2,88 \mu\text{g/g}$ og $2,34 \mu\text{g/g}$) munurinn var þó ekki marktækur við fyrri ár (2010, $p=0,930$) né samanborið við (2015, $p=0,297$) (85. mynd).



85. mynd Styrkur flúors ($\mu\text{g/g}$) í lausn úr skoluðum jarðvegi árin 2010, 2015 og 2020 í Reyðarfirði. Efri og neðri línur kassans tákna fyrstu og þriðju fjórðungsmörk. Línur út frá kassa sýna 5% og 95% öryggismörk. Fylltir svartir hringir tákna útlaga og fylltir gráir hringir eru meðaltöl fyrir ár.

8.2.3 Klór í lausn

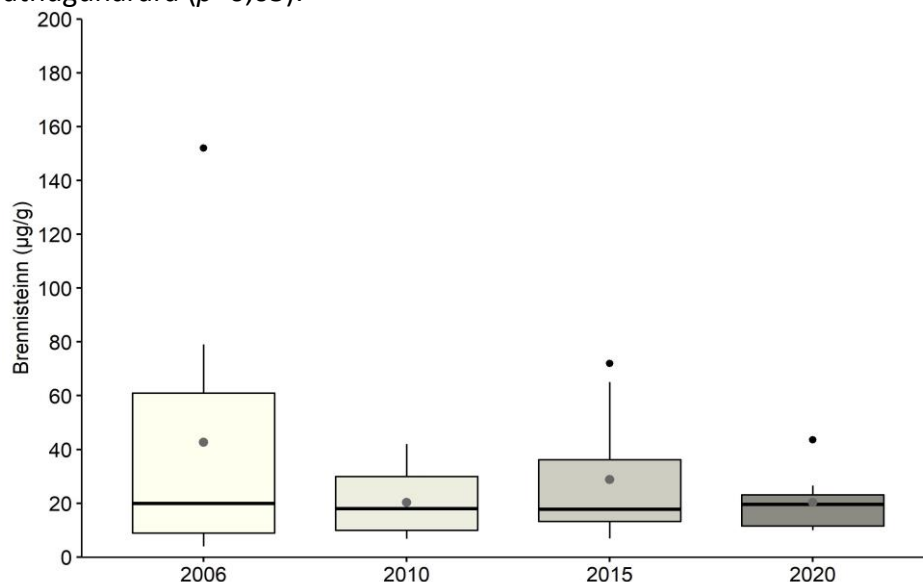
Meðalstyrkur klórs í lausn úr skoluðum jarðvegi árið 2020 var $37 \mu\text{g/g}$ (spönn $14\text{--}55 \mu\text{g/g}$). Klór var einnig mældur árin 2004–2006 (bakgrunnsathugun) og 2010 og 2015. Í bakgrunnsathugunum var meðalstyrkurinn $26 \mu\text{g/g}$ árið 2004, $28 \mu\text{g/g}$ árið 2005 og $24 \mu\text{g/g}$ árið 2006 (einungis sýnt á 86. mynd). Styrkur klórs var breytilegur milli sýnatöku- staða öll athugunarárin og ekkert sýnilegt mynstur í styrk var að sjá, fyrir utan að styrkurinn var almennt talsvert hærri árið 2010 en hin athugunarárin ($p < 0,05$) (86. mynd).



86. mynd. Styrkur klórs ($\mu\text{g/g}$) í lausn úr skoluðum jarðvegi árin 2006, 2010, 2015 og 2020. Efri og neðri línur kassans tákna fyrstu og þriðju fjórðungsmörk. Línur út frá kassa sýna 5% og 95% öryggismörk. Fylltir svartir hringir tákna útlaga og fylltir gráir hringir eru meðaltöl fyrir ár.

8.2.4 Brennisteinn í lausn

Meðalstyrkur brennisteins í lausn úr skoluðum jarðvegi árið 2020 var $20 \mu\text{g/g}$ (spönn $10\text{--}44 \mu\text{g/g}$) og er það nokkuð lægri styrkur en mældist árið 2015 ($29 \mu\text{g/g}$) en ekki var marktækur munur þar á ($p > 0,05$). Styrkurinn árið 2020 var lægri en hann mældist í bakgrunnsathugunum árin 2004–2006 en þá var hann að meðaltali frá $43 \mu\text{g/g}$ árið 2006 upp í $174 \mu\text{g/g}$ árið 2004. Styrkur brennisteins var nokkuð breytilegur milli sýnatökustaða öll athugunarárin (87. mynd) og ekki hægt að sjá að hann væri hærri nær álverinu eftir að rekstur þess hófst. Ekki var heldur greinanlegur munur á styrk brennisteins í lausn milli athugunarára ($p < 0,05$).



87. mynd. Styrkur brennisteins ($\mu\text{g/g}$) í lausn úr skoluðum jarðvegi árið 2006, 2010, 2015 og 2020. Efri og neðri línur kassans tákna fyrstu og þriðju fjórðungsmörk. Efri og neðri línur kassans tákna fyrstu og þriðju fjórðungsmörk. Línur út frá kassa sýna 5% og 95% öryggismörk. Fylltir svartir hringir tákna útlaga og fylltir gráir hringir eru meðaltöl fyrir ár.

Niðurstöður mælinga á flúor, klór og brennisteini í jarðvegsvatni fyrir árið 2020 er að finna í viðauka 19.

9 Búfenaður

9.1 Inngangur

Vegna háls styrks flúors í grasi sumarið 2012 var ákveðið í samráði við Umhverfisstofnun og Matvælastofnun að kanna áhrif þess á búfenað í Reyðarfirði. Rannsóknirnar felast í mælingu á styrk flúors í kjálkum sauðfjár og sjónrænni skoðun kjálka og tanna til að leita sýnilegra vísbendinga um skemmdir í tönnum og beinum af völdum flúors. Auk þess er framkvæmd sjónræn skoðun á lifandi búfenaði í sama tilgangi. Styrkur flúors í kjálkum sauðfjár hafði einnig verið mældur árið 2006 svo grunnildi þeirrar vöktunar eru til staðar.

Sjónrænt mat á mögulegum einkennum flúoreitrunar á lifandi búfenaði byggði á mælikvarða NRC 1974 (National Research Council) sem felur í sér bæði sjónrænt mat og þreifingu tanna (Livesey & Payne, 2011). Kvarðinn er fimm þrepa, þar sem 1 merkir engar breytingar og 5 alvarlegar breytingar. Hér á eftir verður fjallað um helstu niðurstöður sjónrænnar skoðunar á lifandi búfenaði og rannsókna á kjálkum úr sláturfé árið 2020. Samantektin er unnin upp úr skýrslum sérfræðinga sem finna má í viðauka 17 (Eyrún Arnardóttir, 2021) og 18 (Þórunn Lára Þórarinsdóttir, 2021).

9.2 Niðurstöður

9.2.1 Sjónræn skoðun á lifandi búfenaði

Dýralæknir skoðaði hross og sauðfé í Reyðarfirði þann 7. janúar 2021. Á Sléttu voru 18 kindur skoðaðar, fylgt var eftir kindum úr fyrri skoðunum auk þess sem þremur fæddum árið 2019 var bætt við. Tvö hross voru einnig skoðuð í hesthúsahverfinu (Eyrún Arnardóttir, 2021). Öll dýr sem skoðuð voru virtust heilbrigð, í góðum holdum og sýndu ekki holti eða stirðleika í hreyfingum en nokkuð bar á tannlosi hjá sauðfé líkt og árið 2019 (Eyrún Arnardóttir, 2021). Tennur sauðfjár voru almennt heilbrigðar, þó fundust vafasamar breytingar á tönnum tveggja gripa en ekki er hægt að fullyrða að um áhrif af völdum flúormengunar sé að ræða. Einnig var glerungur í einum grip heilt yfir lélegur. Flúortengdar breytingar á tönnum verða við mikla inntöku flúors á þeim tíma sem glerungur á tönnum er að myndast, þ.e. áður en tennur vaxa í gegnum tannholdið. Dýralæknir telur erfitt að meta það hvort kindurnar muni finna fyrir neikvæðum afleiðingum þeirra tannskemmda sem greindust en bendir á að áhugavert sé að mæla flúorstyrk í beinum þeirra þegar þeim verður lógað (Eyrún Arnardóttir, 2021).

Tvö hross voru skoðuð að þessu sinni í hesthúsahverfinu á Reyðarfirði. Ákveðið var að taka út úr rannsókninni hross sem voru komin vel yfir tanntökualdur. Ekkert þeirra hrossa hafði sýnt merki um flúortengdar breytingar og því ekki talin ástæða til þess að fylgja þeim eftir en taka frekar inn ný unghross sem hafa verið alin upp í Reyðarfirði og eru nú á tanntöku aldri. Engar merkjanlegar breytingar á tönnum fundust í hrossunum tveimur sem skoðuð voru (Eyrún Arnardóttir, 2021). Rannsókn sem gerð var á styrk flúors í kjálka-beinum íslenska hestsins nálægt iðnaðarsvæðinu í Straumsvík benda til að minni uppsöfnun er á flúor í beinum hrossa samanborið við sauðfé (Brynja Valgeirsdóttir, 2020)

enda eru viðmiðunarmörk fyrir flúor í fóðri mun hærrí fyrir hross (sjá kafla 3.1.2. viðmiðunarmörk flúors í fóðri fyrir búfé).

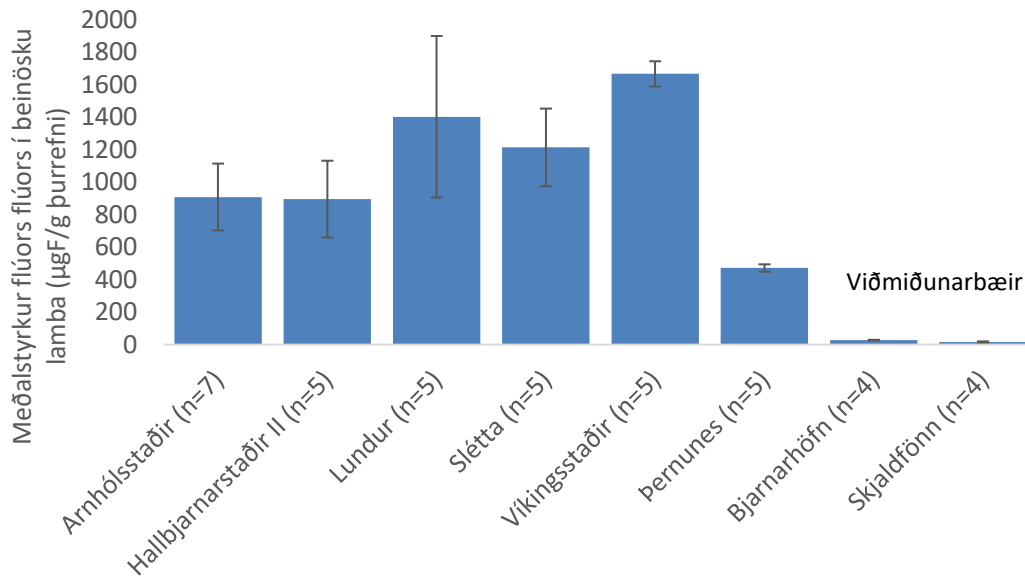
9.2.2 Flúor í kjálkum úr sláturfé og sjónrænt mat dýralæknis

Hausum af sauðfé var safnað haustið 2020 frá sex bæjum sem eiga fé sem gengur í Reyðarfirði að sumarlagi, þ.e. Sléttu og Þernunesi í Reyðarfirði, Hallbjarnarstöðum II og Arnhólsstöðum í Skriðdal og Víkingsstöðum og Lundi austan megin við Lagarfliót. Gagnasöfnun var unnin í samvinnu við bændur og sláturhús. Óskað var eftir fimm hausum af lömbum og fimm af fullorðnu fé (æskilegur aldur 4–5 vetra) frá hverjum bæ. Þar sem fé frá Skriðdal gengur ekki allt í Reyðarfirði voru bændur beðnir um að velja handahófskennt úr fé sem talið var ganga í og við Reyðarfjörð. Alls voru 53 sýni skoðuð og efna greind af fé sem gekk í Reyðarfirði. Sýni af fullorðnu fé fékkst af öllum bæjum nema Víkingsstöðum (alls 21 sýni) en sýni af lömbum fékkst frá öllum bæjum (30 sýni). Til samanburðar voru 16 viðmiðunarsýni einnig mæld og skoðuð (8 lömb og 8 fullorðnar kindur). Þessi sýni komu frá tveimur bæjum utan Austurlands: Skjaldfönn í Ísafjarðardjúpi og frá Bjarnarhöfn á Snæfellsnesi (Þórunn Lára Þórarinsdóttir, 2021).

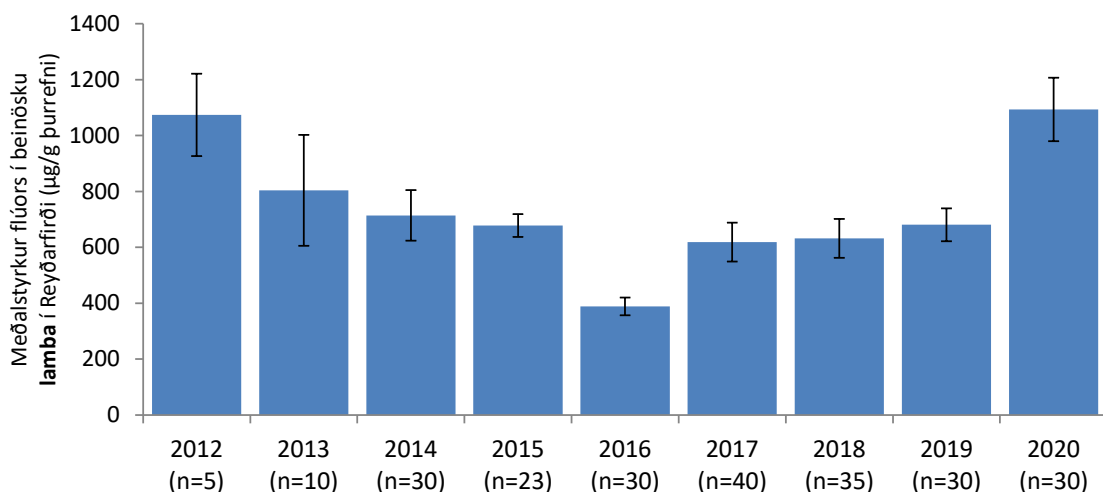
Flúorinnihald í kjálkabeinum var breytilegt eftir aldri dýra, bæjum og einnig var breytileiki meðal sýna frá sama bæ (88. og 90. mynd). Eins og við var að búast mældist styrkur flúors í kjálkabeinum lamba lægri en í fullorðnu fé, en rannsóknir hafa sýnt fram á að flúormagn í beinum eykst með aldri (Livesey & Payne, 2011).

Meðalstyrkur flúors í kjálkabeinum lamba sem gengu í Reyðarfirði mældist hæstur frá Víkingsstöðum (1668 µg/g) en lægstur frá Þernunesi (472 µg/g) (88. mynd) líkt og árið 2019. Í beinösku lamba frá Lundi var að finna mesta breytileikann í styrk flúors milli sýna (744–3265 µg/g) en minnsta breytileikann var að finna á Víkingsstöðum (1479–1852) og Þernunesi (409–539 µg/g) (Þórunn Lára Þórarinsdóttir, 2021).

Meðalstyrkur flúors í kjálkabeinum lamba hefur verið mældur árlega frá 2012 en ósamræmi er í fjölda sýna og bæja milli ára (89. mynd). Styrkur flúors í kjálkabeinum lamba var mældur í 30 sýnum árið 2020 (89. mynd) (Þórunn Lára Þórarinsdóttir, 2021). Meðalársstyrkur flúors í kjálkabeinum lamba sem gengu í Reyðarfirði mældist 1094 µg/g árið 2020, sem er hæsti styrkur sem hefur mælst og er hann sambærilegur og mældist árið 2012 (1074 µg/g). Styrkurinn var mun hærrí en meðalársstyrkurinn í kjálkabeinum lamba í viðmiðunarsýnum frá bæjum utan Austurlands (23 µg/g) (Þórunn Lára Þórarinsdóttir, 2021).



88. mynd. Meðalstyrkur flúors í kjálkabeinum lamba (með staðalskekkju) frá sex bæjum sem eiga fé sem gengur í Reyðarfirði og tveimur viðmiðunarbæjum (mynd unnin upp úr gögnum frá Þórunni Láru Þórarinsdóttur, 2021).



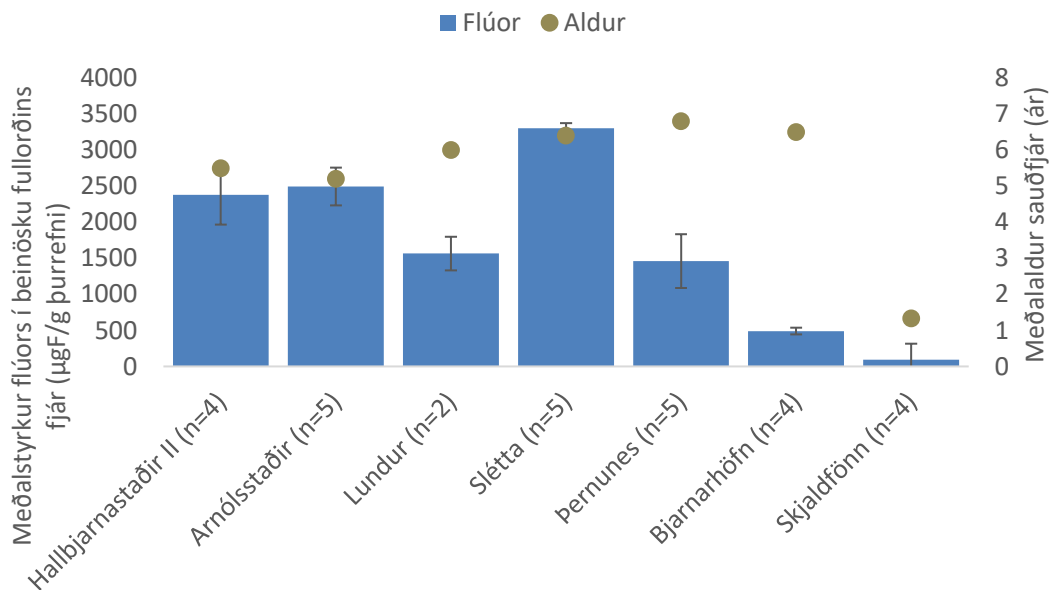
89. mynd. Meðalstyrkur flúors í kjálkabeinum lamba (með staðalskekkju) sem gengu í Reyðarfirði árin 2012–2020 (mynd unnin upp úr gögnum frá Ólöfu G. Sigurðardóttur 2012, 2014, 2015 og Þórunni Láru Þórarinsdóttur, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021).

Eðlilegt þykir að flúorgildi í beinum fullorðinna jörturdýra sé á bilinu 1000–1500 µg/g (Livesey & Payne, 2011). Flúorgildi í beinum fullorðins sauðfjár sem gekk í Reyðarfirði var á bilinu 1307–4179 µg/g. Hæsta gildið mældist í kind frá bænum Slættu í Reyðarfirði og var jafnframt hæsta meðaltalsgildið í sauðfé þaðan 3308 µg/g og er það hækkun frá árinu 2019 en þá var meðaltalsgildið 2592 µg/g. Styrkur flúors frá öðrum bæjum var svipaður eða lægri milli árána 2019 og 2020. Meðalaldur kinda árið 2020 var hæstur á Þernunesi (7 ár) en lægstur á Arnólsstöðum (5 ár) en styrkur flúors mældist þó lægstur í sauðfé frá Þernunesi (90. mynd) (Þórunn Lára Þórarinsdóttir, 2021). Lægstu gildi flúors í lömbum mældust einnig í sýnum frá Þernunesi. Meðalstyrkur flúors í beinösku fullorðins fjár í Reyðarfirði árið 2020 var um fjórfalt hærri (2181 µg/g) samanborið við viðmiðunarbæina

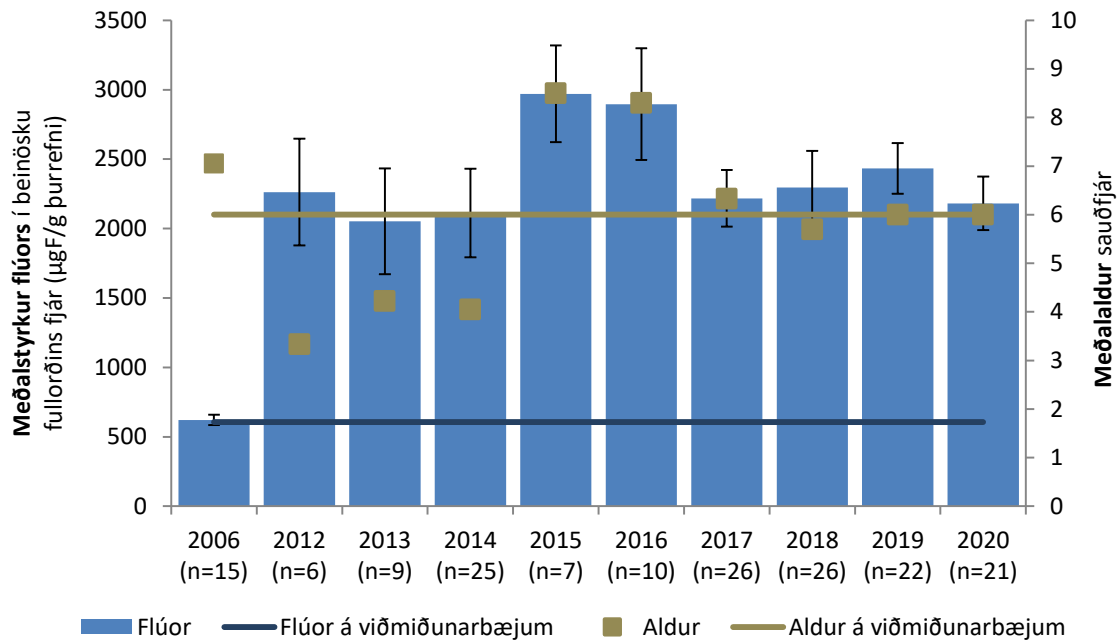
(605 µg/g) á árunum 2015–2020. Meðalstyrkur flúors í beinösku sauðfjár í Reyðarfirði árið 2020 var 2244 µg/g og meðalaldur 6 ár. Meðalstyrkur flúors hefur verið svipaður milli ára frá upphafi mælinga (2012), fyrir utan árin 2015 og 2016 þegar flúor mældist hæstur en þá var meðalaldur sauðfjár einnig hæstur (8 ár). Nokkurt ósamræmi er þó í fjölda sýna og bæja milli ára (91. mynd).

Árið 2006 mældist styrkur flúors í beinösku að meðaltali 719 µg/g í fullorðnu sauðfé frá Sléttu, 596 µg/g í sauðfé frá Þernunesi og 550 µg/g frá Kollaleiru. Aðeins var mældur flúor í beinösku fimm kinda frá hverjum bæ, aldur kinda frá Sléttu var ekki skráður en meðalaldur kinda frá Þernunesi var 6,5 ár og frá Kollaleiru 7,6 ár. Flúorgildi í sauðfé í Reyðarfirði áður en álver tók til starfa mældust undir viðmiðunargildum Livesey og Payne (2011) í öllum sýnum. Sýnin eru fá en niðurstöðurnar benda til þess að styrkur flúors í beinösku sauðfjár hafi hækkað frá því álverið tók til starfa. Sýni úr fullorðnu fé frá Sléttu voru tekin aftur árin 2012–2020 og styrkur flúors var þá um þrisvar til fimm sinnum hærri en árið 2006 (91. mynd).

Öll lömbin voru við góða tannheilsu. Hvað varðar eldra féð þá mætti sýnasafnið vera stærra og betra. Tannheilsa kinda frá Reyðarfirði var í mörgum tilfellum sæmileg eða slæm en það átti einnig við um kindur frá viðmiðunarbæjunum. Þórunn Lára Þórarinsdóttir (2021) benti á að mögulega hafi sýnin af eldra fénu ekki verið valin handahólfkennt heldur sé féð valið í sláturhús vegna slæmrar tannheilsu. Tengsl milli styrks flúors í beinvef og tannheilsu dýranna sást ekki (Þórunn Lára Þórarinsdóttir, 2021).



90. mynd. Meðalstyrkur flúors í kjálkabeinum (með staðalskekkju) og meðalaldur fullorðins fjár frá fimm bæjum sem eiga fé sem gengur í Reyðarfirði og tveimur viðmiðunarbæjum (slátrun 2020) (mynd unnin upp úr gögnum frá Þórunni Láru Þórarinsdóttur, 2021).



91. mynd. Meðalstyrkur flúors í kjálkabeinum (með staðalskekkju) og meðalaldur fullorðins fjár sem gekk í Reyðarfirði (slátrun 2006 og 2012–2020). Línur sýna meðalstyrk flúors í kjálkabeinum og meðalaldur fullorðins fjár frá viðmiðunarbæjunum tveimur (slátrun 2015–2020), n=37 (mynd unnin upp úr gögnum frá Þórunni Láru Þórarinsdóttur, 2021).

10 Botndýr og kræklingur

10.1 Inngangur

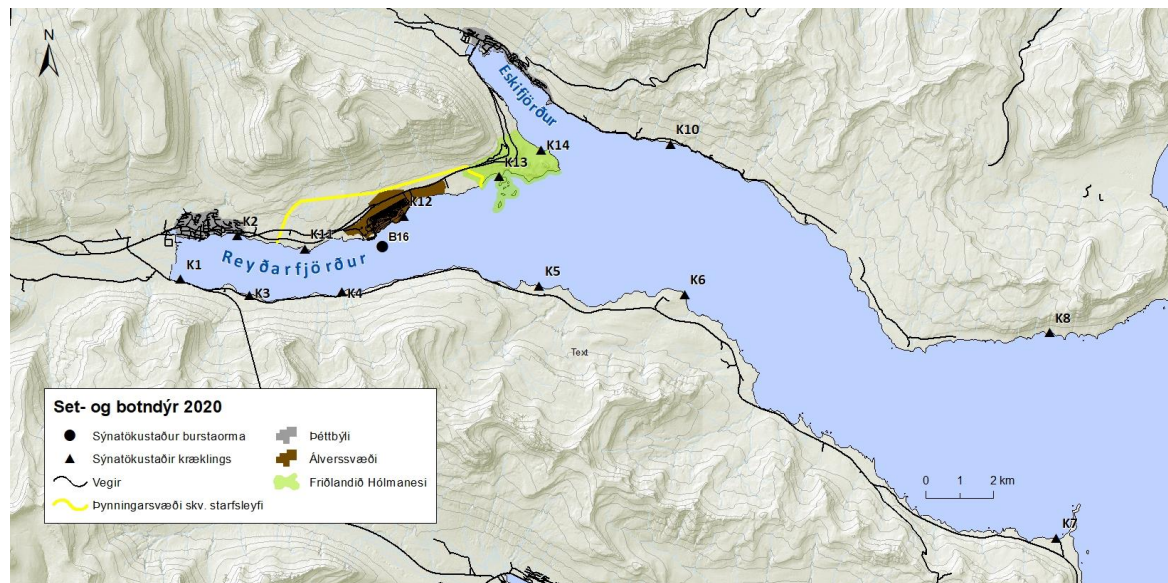
Markmið rannsóknarinnar er að meta hugsanleg mengunaráhrif álvers Alcoa Fjarðaáls á lífríki sjávar í Reyðarfirði. Grunnástand á PAH-16 efnum var kannað árið 2000 í kræklingu og burstaormum (Hafsteinn G. Guðfinnsson o.fl., 2001) og endurtekið árið 2010 og 2015 auk þess voru þungmálmar mældir það ár (HRV, 2010). Hér verður greint frá niðurstöðum vöktunarmælinga á sýnum frá 2020 og niðurstöður bornar saman við fyrri mælingar.

10.2 Aðferðir

10.2.1 Sýnataka og meðferð sýna

Sýnum af krækling var safnað á stórstraumsfjöru 19.-21. ágúst 2020 á 13 stöðum í Reyðarfirði (92. mynd). Staðsetningar sýnatökustöðva voru þær sömu og árið 2000 þegar grunnástand var mælt (Hafsteinn G. Guðfinnsson o.fl., 2001), árið 2010 (HRV, 2010) og árið 2015 (Erlín Emma Jóhannsdóttir o.fl., 2016). Ekki náðist að safna sýnum á stöð 9 árið 2020. Á hverjum sýnatökustað voru um 80 kræklingar settir í plastpoka og síðar settir í kælibox. Þegar sýnatöku var lokið hvern dag var kræklingur frá hverri stöð settur í aðskilda netpoka sem var hengdur ofarlega í plasttunnu sem var full af hreinum sjó sem tekin var austan við Mjóeyri í Eskifirði. Lofti var dælt í tunnuna allan tímann. Þar voru kræklingarnir látnir vera í sólarhring svo meltingavegurinn tæmdist. Tunnan var höfð úti í skugga svo sjórinn hitnaði ekki í henni. Eftir sólarhring voru netpokarnir veiddir upp úr tunnunni og kræklingurinn settur í plastpoka og frystur og síðan sendur til

Rannsóknastofu í Lyfja- og Eiturefnafræði hjá Háskóla Íslands til mælinga á þungmálum (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb og Zn) og fjölhringa arómatískum vetniskolefnum (PAH-16).



92. mynd. Staðsetning sýnatökustaða kræklinga (K1–K14) og burstaorma (B16) úr botnseti í Reyðarfirði árið 2020 (Landmælingar Íslands, 2013, 2019 og 2021).

Tíu sýnum af botndýrum var safnað á einni stöð (92. mynd) til mælinga á fjölhringa arómatískum vetniskolefnum (PAH-16) og er staðsetning sýnatökustöðvarinnar sú sama og árið 2000 þegar grunnástand var mælt (Hafsteinn G. Guðfinnsson o.fl., 2001). Sýnin voru tekin með Van Veen greip þann 17. desember 2020. Sýnin voru sigtuð með 1 mm sigti og burstaormar og tilheyrandi leirpípur týnd úr sýnum. Burstaormum og leirpípum var haldið aðskildum. Sýnin voru fryst og síðar send til Rannsóknastofu í Lyfja- og Eiturefnafræði hjá Háskóla Íslands til mælinga á fjölhringa arómatískum vetniskolefnum (PAH-16).

9. tafla. Yfirlit yfir staðsetningar sýnatökustöðva kræklinga (K1–K14) og burstaorma (B16), dags sýnatöku og söfnunartíma.

Sýni nr.	Breidd N	Lengd V	Dags	Söfnunartími
1	65°01.232	14°14.007	19.8.2020	06:40
2	65°01.855	14°11.749	21.8.2020	09:50
3	65°00.890	14°11.458	19.8.2020	07:20
4	65°00.836	14°07.952	19.8.2020	10:45
5	65°00.684	14°00.482	19.8.2020	10:00
6	65°00.359	13°55.018	19.8.2020	09:25
7	64°55.988	13°41.768	19.8.2020	08:10
8	64°59.274	13°41.370	20.8.2020	07:50
10	65°02.777	13°55.084	20.8.2020	10:20
11	65°01.563	14°09.219	21.8.2020	09:00
12	65°01.967	14°05.379	21.8.2020	08:15
13	65°02.473	14°01.661	19.8.2020	20:30
14	65°02.841	14°00.000	19.8.2020	19:10
16			17.12.2020	

10.2.2 Töluleg úrvinnsla

Parað t -próf (e. paired t -test) var notað til þess að greina hvort marktækur munur væri á styrk þungmálma á milli árána 2015 og 2020. Að undangengnum prófum á normaldreifingu var gögnum umbreytt með kvaðratrót eða logra væri þess þörf.

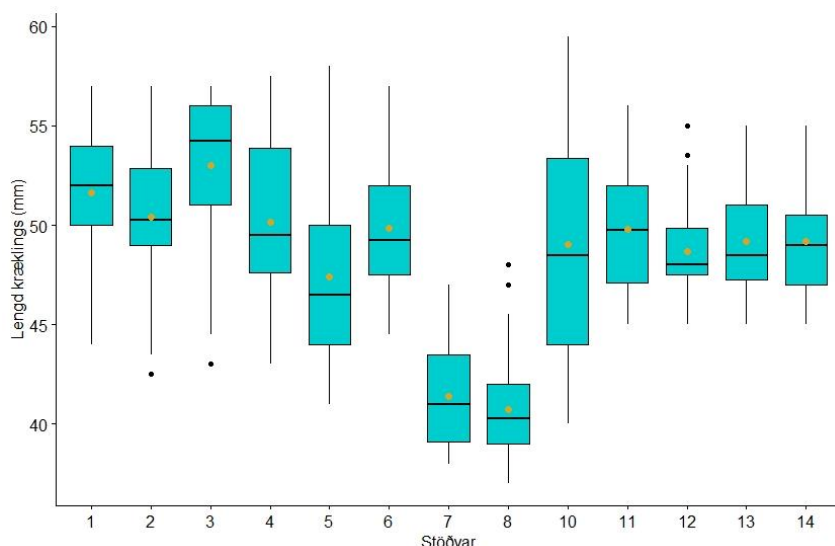
Tölfræðiúrvinnsla var unnin í R, útgáfu 3.6.1 (R Core Team, 2016).

10.2.3 Túlkun á styrk efna

Við túlkun niðurstaðna á styrk efna í kræklingi og burstaormum er stuðst við reglugerð 265/2010 um hámarksgildi fyrir tiltekin aðskotaefni í matvælum með síðari breytingum fyrir þau efni sem þar eru tilgreind. Jafnframt er stuðst við mengunarflokka sem Norðmenn hafa skilgreint á mengunarástandi í umhverfi og lífverum sjávar, þar á meðal talinn krækling sem er 4–6 cm og set. Flokkarnir eru frá I–V og telst svæði í flokki I bakgrunnsgildi en svæði í flokki V telst mikið mengað (Molvær o.fl., 2004).

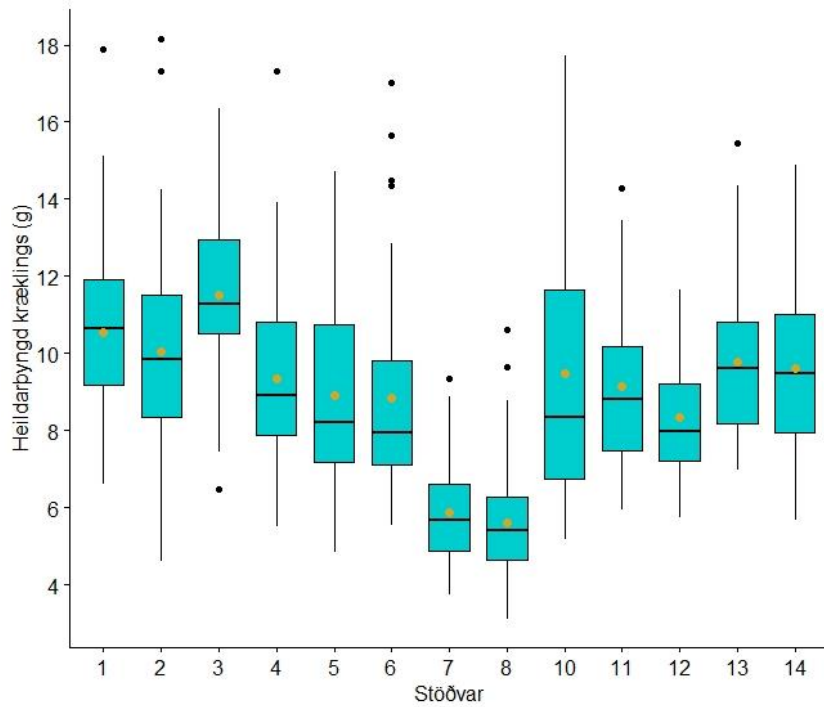
10.1 Niðurstöður og umræður

Meðalstærð kræklinga á stöðvunum var frá 41–53 mm. Minnstur var kræklingurinn á Vattarnesi (stöð 7) og (stöð 8) en stærstur var hann á stöð 3 (93. mynd).

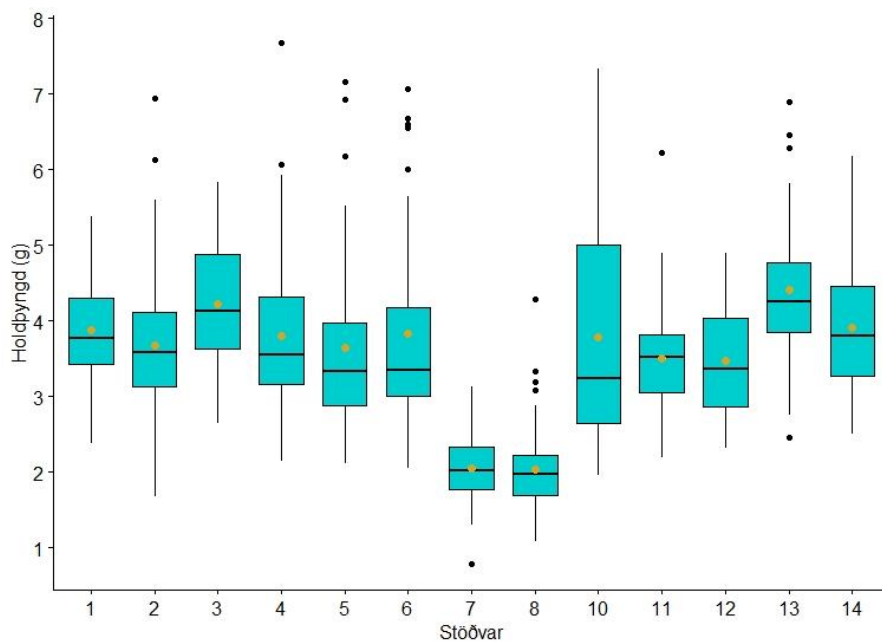


93. mynd. Lengd kræklinga (mm) af 13 stöðum í Reyðarfirði árið 2020. Efri og neðri línur kassans tákna fyrstu og þriðju fjórðungsmörk. Línur út frá kassa sýna 5% og 95% öryggismörk. Fylltir svartir hringir tákna útlaga og fylltir gulir hringir eru meðaltöl fyrir stöð.

Heildarþyngd kræklinga var að meðaltali frá 5,161–11,52 g mest var meðaltals þyngdin á stöð 3 eða 11,76 en minnst á stöðvum 7 og 8 (94. mynd). Holdþyngd var að meðaltali 2,04–4,41 og var að sama skapi minnst á stöðvum 7 og 8 og mest á stöð 3 (95. mynd).



94. mynd. Heildarþyngd kræklinga af 14 stöðum í Reyðarfirði árið 2020. Efri og neðri línur kassans tákna fyrstu og þriðju fjórðungsmörk. Línur út frá kassa sýna 5% og 95% öryggismörk. Fylltir svartir hringir tákna útlaga og fylltir gulir hringir eru meðaltöl fyrir stöð.



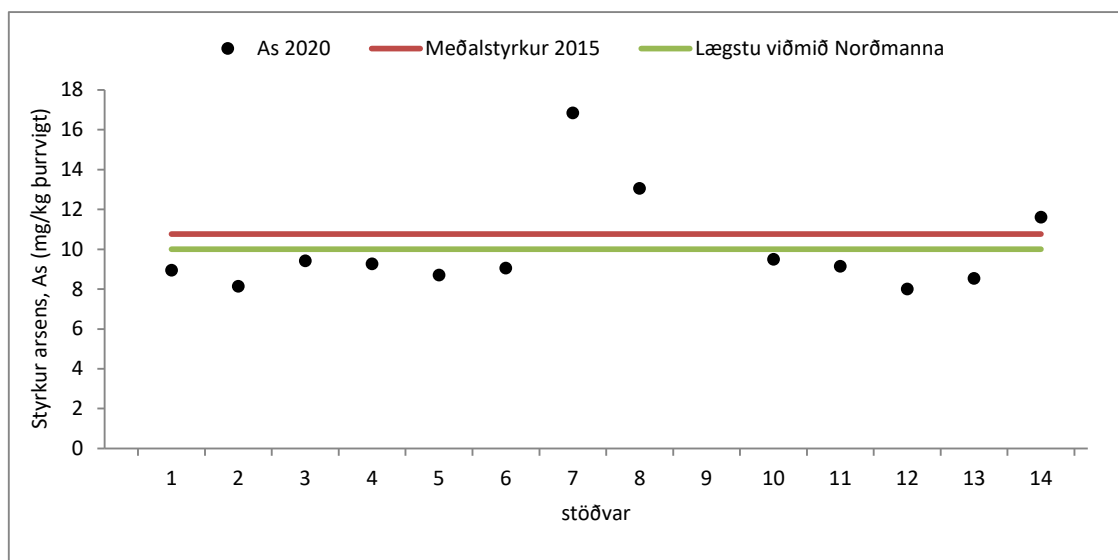
95. mynd. Holdþyngd kræklinga af 13 stöðum í Reyðarfirði árið 2020. Efri og neðri línur kassans tákna fyrstu og þriðju fjórðungsmörk. Línur út frá kassa sýna 5% og 95% öryggismörk. Fylltir svartir hringir tákna útlaga og fylltir gulir hringir eru meðaltöl fyrir stöð.

10.1.1 Þungmálmar

Mælingar á þungmálmum í kræklingi fara fram á mjúkvef hans en breytileiki getur verið í votþunga kræklinga því hann getur innihaldið mismikið magn af sjó þegar hann er frystur. Því er samanburður niðurstaðna gerður á þurrvigtagrunni og er það talið gefa réttari mynd af magni þungmálma í sýnunum. Það verður þó að hafa í huga að leyfileg

hámarksgildi, t.d. til manneidis, miðla yfirleitt við votvigt. Samkvæmt reglugerð 265/2010 um hámarksgildi fyrir tiltekin aðskotaefni í matvælum með síðari breytingum er skilgreint hámarksgildi blýs (1,5 mg/kg blautvigt) og kadmíums (1,0 mg/kg blautvigt) í samlokum. Fyrir kvikasilfur er um tvö hámarksgildi að ræða, annars vegar lægra hámarksgildi (0,5 mg/kg blautvigt) fyrir sjávarfang sem oft er neytt og hins vegar hærra hámarksgildi (1,0 mg/kg blautvigt) fyrir sjávarfang sem neytt er sjaldan og fellur kræklingur í síðari flokkinn. Ekki er getið um leyfilegt hámarksgildi fyrir arsen, króm, kopar, nikkell og sink í samlokum til manneidis í fyrrgreindri reglugerð nr. 265/2010.

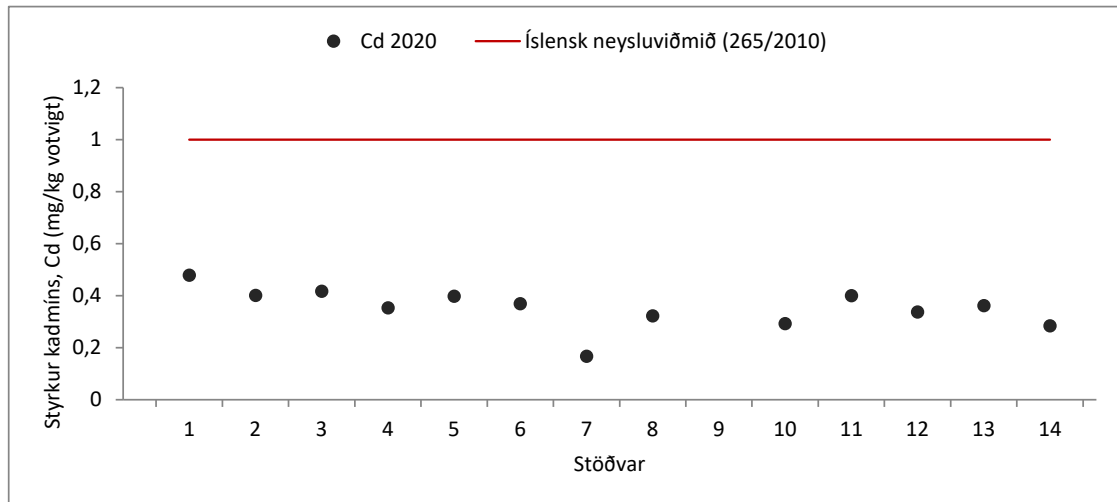
Styrkur **Arsens** mældist að meðaltali 10,02 mg/kg þurrvigt (spönn 8,00–16,84 mg/kg) árið 2020. Styrkur arsens var marktækt lægri árið 2020 samanborið við árið 2015 (10,76 mg/kg, $p=0.02$) (96. mynd) og árið 2010 (10,98 mg/kg $p=0,02$). Styrkur arsens í sýnum var í flestum tilfellum nálægt lægstu viðmiðunargildum Norðmanna, 10 mg/kg, og flokkast í annan flokk af fimm. Þrjú sýni voru þó hærri en það á stöðvum 7, 8 og 14. Rannsóknir sýna að selta og fita geta haft áhrif á heildarstyrk arsens í kræklingi því arsensambönd geta verið fituleyst eða fitutengd og einnig er stærsti hluti arsens í kræklingi á formi óeittraðs arsenobetaine sem kræklingurinn notar við stjórnun á osmótískum þrýstingi (Clowes og Francesconi, 2004). Styrkur arsens getur einnig verið mismunandi milli ára. Þó svo að styrkur arsens hafi verið yfir eða við lægstu viðmiðunarmörkum arsens í Noregi í Reyðarfirði árið 2020 er hann ekki ósvipaður og styrkur arsens í innlendum sem erlendum gagnagrunnum fyrir krækling af ómenguðum svæðum hérlendis (Erla Sturludóttir o.fl., 2013; Hrönn Jörundsdóttir o.fl., 2013). Því er styrkur arsens í mjúkvöðva kræklingi í Reyðarfirði 2020 í svipuðum styrk og í kræklingi frá ómenguðum stöðum umhverfis landið.



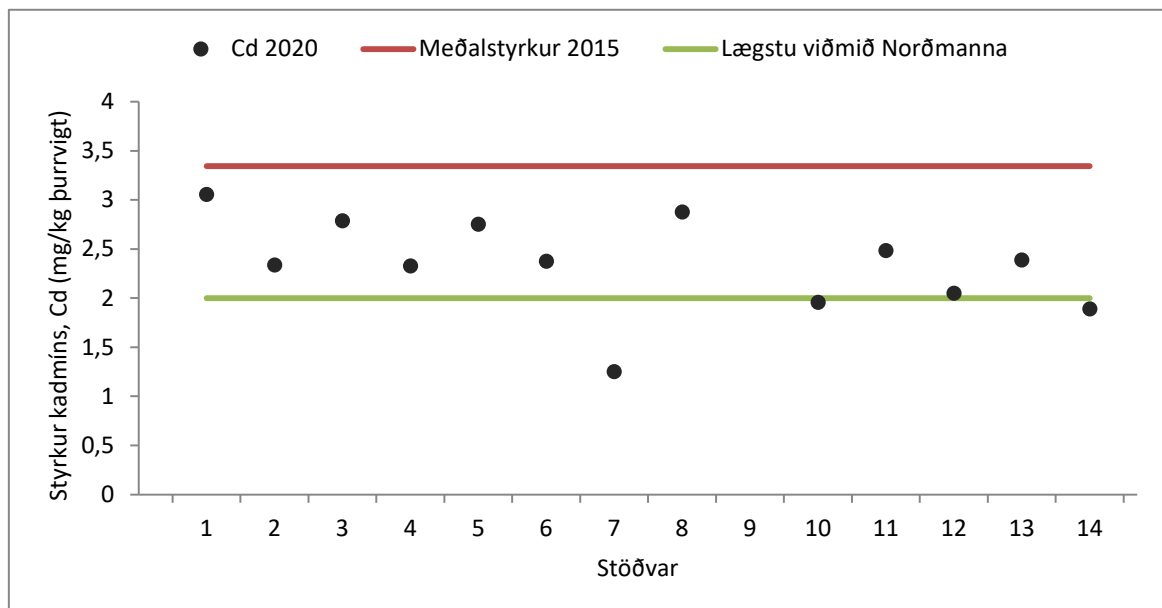
96. mynd. Styrkur arsens (As) í mjúkvöðva kræklingi á þurrvigtargrunni í Reyðarfirði.

Styrkur **kadmíns** mældist að meðaltali 2,35 (spönn 1,25–3,06 mg/kg) á þurrvigtargrunni árið 2020 og var lægri samanborið við árið 2015 ($p<0,01$) og árið 2010 (3,30 mg/kg, $p=0,005$). Leyfilegt hámarksgildi fyrir kadmín í samlokum til mannaeldis er 1 mg/kg votvigtar (reglugerð 265/2010) en styrkur kadmíns í þessari rannsókn mældist á bilinu 0,17–0,48 mg/kg uppreiknað á votvigt og var hann í öllum tilfellum undir neysluviðmiðum (97. mynd). Miðað við viðmiðunarmörk í Noregi (Molvær o.fl., 2004)

lendir svæðið í öðrum flokk (98. mynd). Styrkurinn í Reyðarfirði er þó nokkuð hærri á þurrvigtagrunni en styrkur kadmíns frá 11 sýnatökustöðum umhverfis landið árið 2011 en hann mældist að meðaltali 1,9 mg/kg á þurrvigtagrunni (Hrönn Jörundsóttir o.fl., 2013) og á bilinu 1,3 – 1,7 mg/kg (þurrvig) í kræklingasýnum sem hefur verið safnað árlega á sömu stöðum í Hvalfirði yfir 20 ára tímabil (Erla Sturludóttir o.fl., 2013). Ekki var þó hægt að sjá að styrkurinn mældist hærri á sýnatökustöðum nærri álverinu.

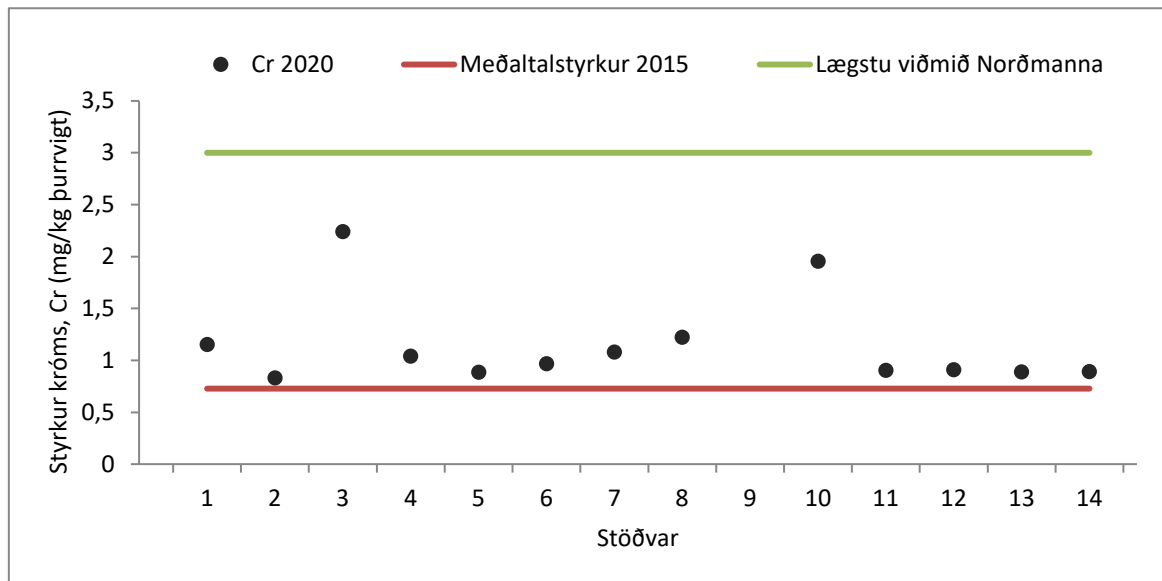


97. mynd. Styrkur kadmíns (Cd) í mjúkvöðva kræklinga á votvigtagrunni í Reyðarfirði.



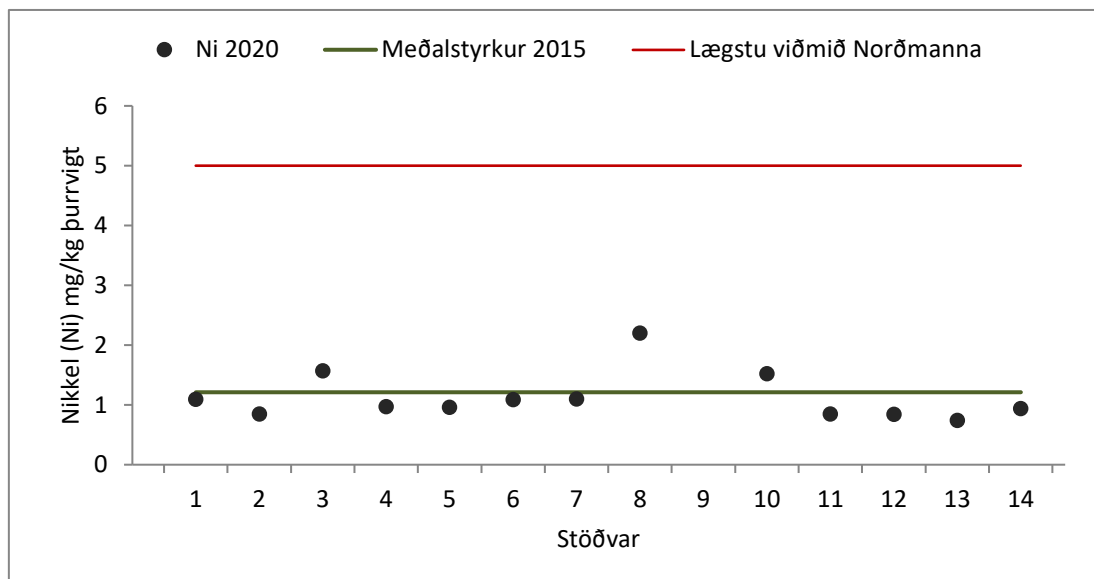
98. mynd. styrkur kadmíns (Cd) í mjúkvöðva kræklinga á þurrvigtagrunni.

Styrkur **króms** mældist að meðaltali 1,15 mg/kg á þurrvigtagrunni (spönn 0,83–2,24) árið 2020 og var hann marktækt hærri heldur en árið 2015 ($p = 0,002$) (99. mynd) en lægri en árið 2010 (2,22 mg/kg, $p=0,005$). Öll sýni voru fyrir neðan lægstu viðmið Norðmanna (3 mg/kg þurrvig) (Molvær o.fl., 2004). Ekki er hægt að sjá að styrkurinn hækki eða lækki miðað við fjarlægð frá álverinu.



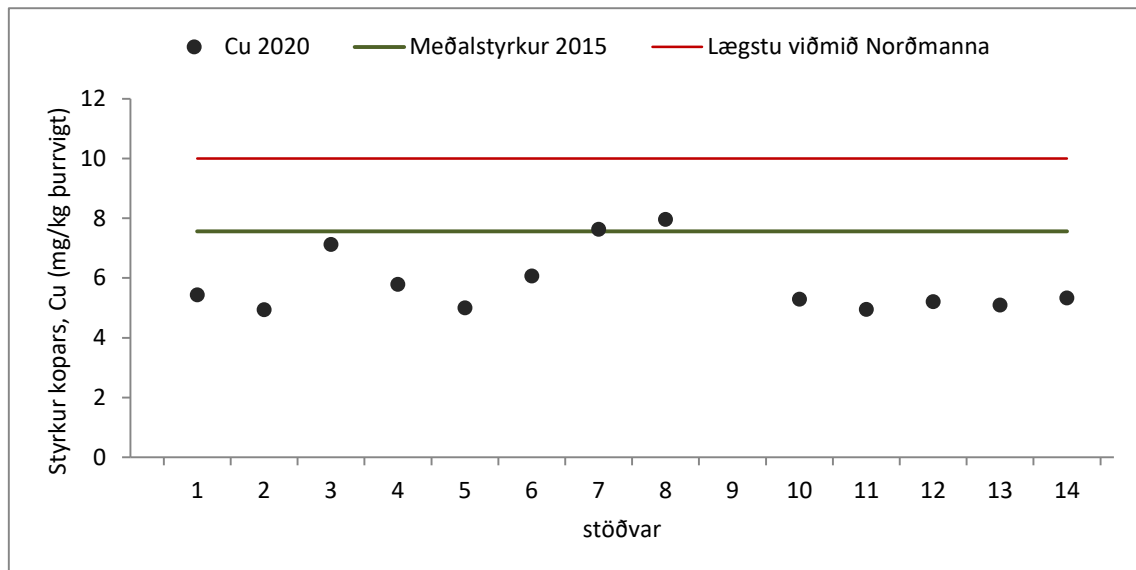
99. mynd. Styrkur króms (Cr) í mjúkvöðva kræklings á þurrvigtargrunni.

Styrkur **nikkels** var að meðaltali 1,13 mg/kg í þurrvigt (spönn 0,74–2,20 mg/kg) og var ekki marktækur munur á gildum milli ára 2015 og 2020 ($p = 0.09$) en hann var lægri árið 2020 samanborið við árið 2010 (2,13 mg/kg, $p < 0,001$). Styrkurinn var lægri en lægstu viðmiði í Noregi á öllum stöðvum (Molvær o.fl., 2001) (100. mynd).



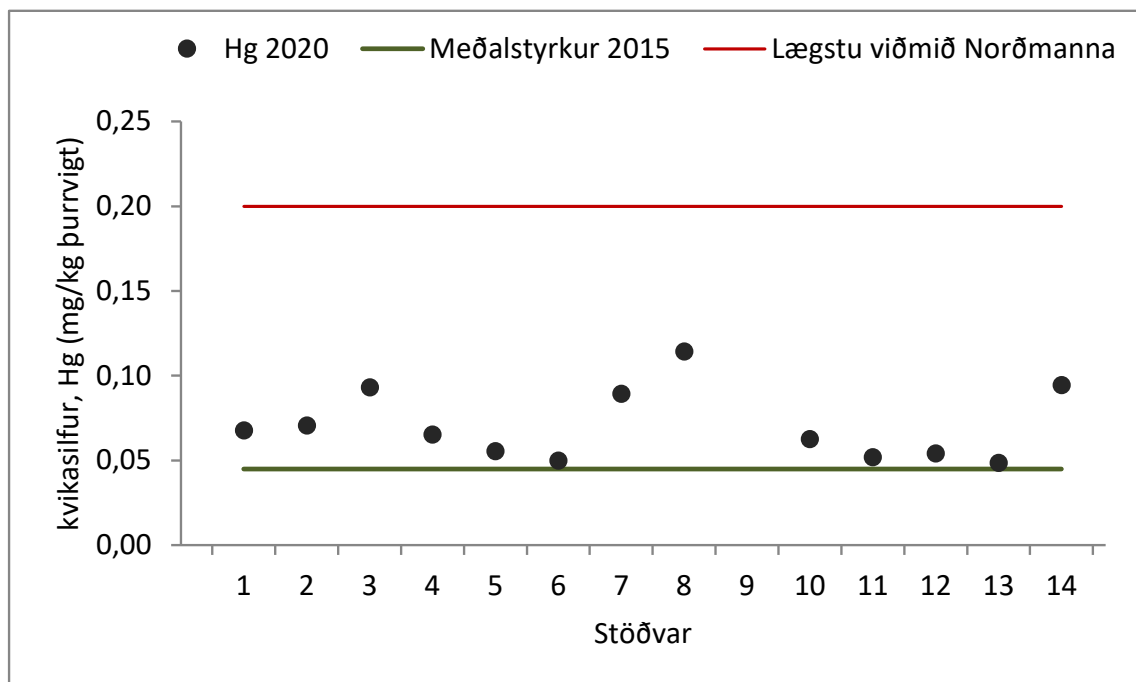
100. mynd. Styrkur nikkels (Ni) í mjúkvöðva kræklings á þurrvigtargrunni.

Styrkur **kopars** mældist að meðaltali 5,83 mg/kg á þurrvigtargrunni (spönn 4,94–7,96 mg/kg) árið 2020 og var ekki marktækur munur milli ára 2015 og 2020 á styrk kopars ($p = 0.08$) né 2010 (5,91 mg/kg, $p = 1$). Styrkurinn mældist í öllum tilfellum undir lægstu viðmiðum Norðmanna fyrir kopar (10 mg/kg þurrvigt) (101. mynd).

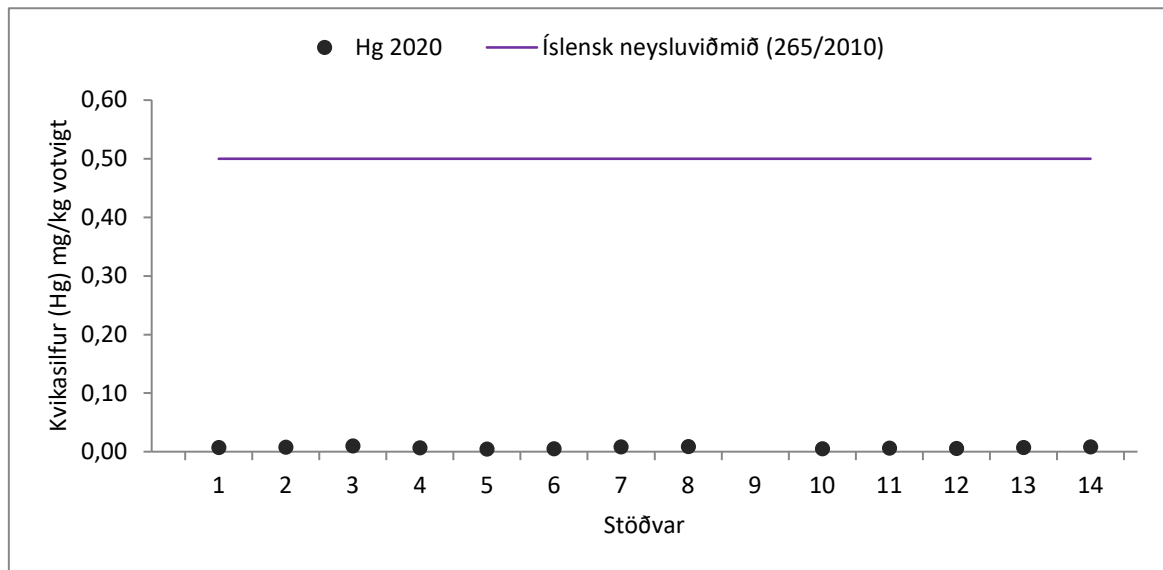


101. mynd. Styrkur kopars (Cu) í mjúkvöðva kræklinga á þurrvigtagrunni.

Styrkur **kvikasilfurs** (Hg) mældist að meðaltali 0,07 mg/kg á þurrvigtagrunni (spönn 0,05–0,11 mg/kg) og var styrkurinn hærrí árið 2020 en 2015 ($p < 0,001$) en lægri en árið 2010 (0,09 mg/kg, $p < 0,01$). Öll gildi voru lægri en lægstu viðmið Norðmanna sem eru 0,2 mg/kg þurrvigti (Molvær o.fl. 2004) (102. mynd). Leyfilegur hámarksstyrkur kvikasilfurs fyrir sjávarfang sem sjaldan er neytt er 1,0 mg/kg en 0,5 mg/kg votvigti fyrir sjávarfang sem oft er neytt og fellur kræklingur í fyrri flokkinn (reglugerð 265/2010). Styrkur kvikasilfurs á votvigtagrunni í kræklingi í Reyðarfirði mældist frá 0,02–0,10 mg/kg votvigti og falla öll gildi langt fyrir neðan þau gildi ef miðað er við lægri viðmið reglugerðarinnar (103. mynd).

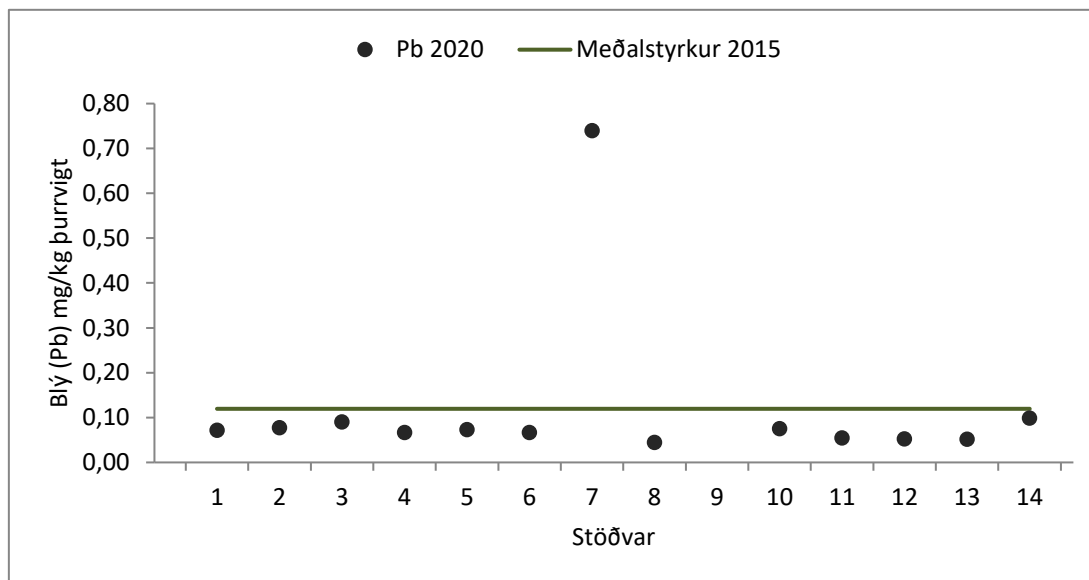


102. mynd. Styrkur kvikasilfurs (Hg) í mjúkvöðva kræklinga á þurrvigtagrunni.



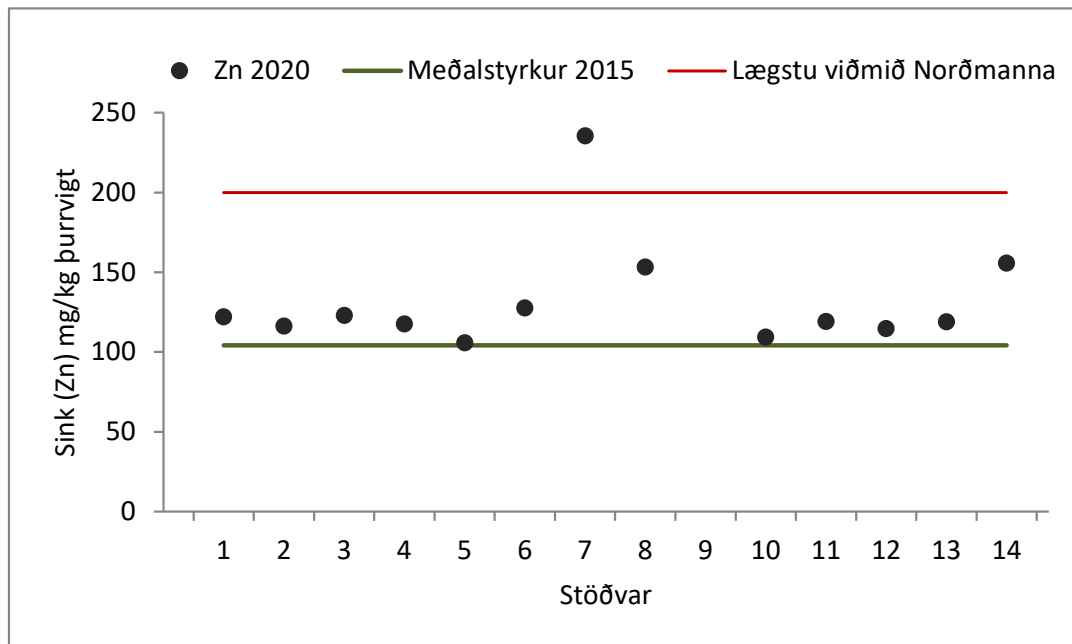
103. mynd. Styrkur kvikasilfurs (Hg) í mjúkvöðva kræklingi í votvigt.

Blýstyrkur var að meðaltali 0,12 mg/kg þurrvigt (spönn 0,05–0,74 mg/kg) og var meðalstyrkurinn jafn og árið 2015 (0,12 mg/kg þurrvigt) og ekki marktækur munur milli ára ($p=0,080$). Gildin árið 2020 voru lægri en árið 2010 (0,19 mg/kg, $p=0,02$). Öll sýni voru langt fyrir neðan lægstu viðmið Norðmanna sem er 3,0 mg/kg og er það gildi því ekki sýnt á myndinni (104. mynd). Styrkur blýs mældist að meðaltali 0,01 mg/kg votvigtar (spönn 0,01–0,03 mg/kg). Samlokur til neyslu hafa hámarksgildið 1,5 mg/kg votvigtar fyrir blý og falla öll gildi langt fyrir neðan þau viðmið.



104. mynd. Styrkur blýs (Pb) í mjúkvöðva kræklings á þurrvigtargrunni. Lægstu viðmið Norðmanna og íslensk neyslviðmið eru miklu hærri en þessar mælingar og því ekki sýnd.

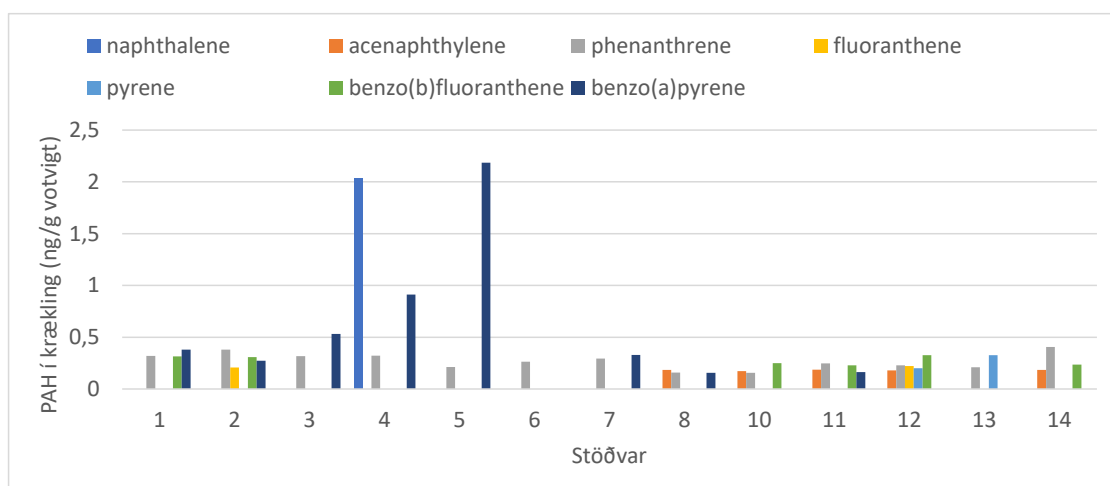
Sinkstyrkur var að meðaltali 132 mg/kg þurrvigt (spönn 106–236 mg/kg) og var hann marktækt hærri heldur en árið 2015 ($p < 0,001$) en svipaður og árið 2010 (126 mg/kg, $p=0,735$). Gildin árið 2020 voru öll nema eitt (stöð 7) undir lægstu viðmiðum Norðmanna sem er 200 mg/kg (Molvær o.fl., 2004)(105. mynd).



105. mynd. Styrkur sinks (Zn) í mjúkvöðva kræklings á þurrvigtagrunni.

10.1.2 Fjölhringa arómatísk vetniskolefni (PAH efni)

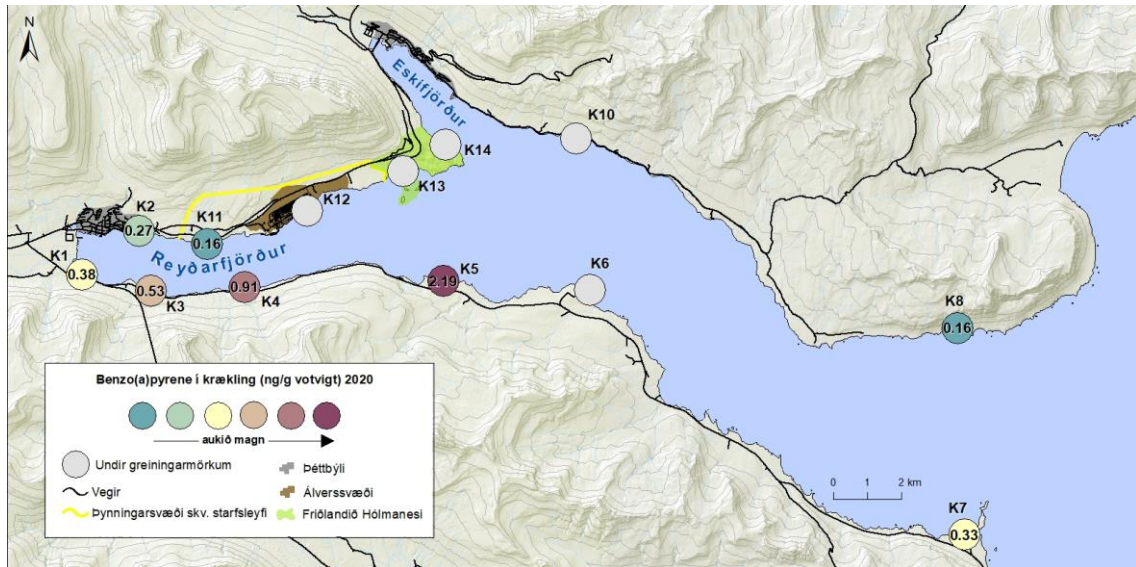
Af sextán PAH efnum sem voru mæld í mjúkvöðva kræklings mældust sjö efnanna yfir greiningarmörkum. Greiningarmörk voru breytileg eftir efnum (Viðauki 21). Þau efni sem mældust yfir greiningarmörkum voru phenanthrene sem mældist á öllum stöðvum, acenaphthylene sem mældist á fimm stöðvum, fluoranthene sem mældist á tveimur stöðvum, pyrene mældist á tveimur stöðvum, naphtalene mældist á einni stöð, benzo(b)fluoranthene mældist á sex stöðvum og benzo(a)pyrene mældist á átta stöðvum. Af þeim sjö PAH efnum sem voru yfir greiningarmörkum í krækling mældust flest á stöð 12 (alls 5 efni) en sú stöð er neðan við álverið (106. mynd). Einnig mældust fjögur efnanna í krækling á stöðvum 11 og 2 sem eru vestan við álverið. Styrkur efnanna var þó í öllum tilvikum lágur.



106. mynd. Styrkur PAH efna (ng/g votvigt) yfir magngreiningarmörkum í mjúkvöðva kræklings árið 2020 í Reyðarfirði. Ekki eru sýnd gildi ef styrkur efnisins mælist undir magngreiningarmörkum.

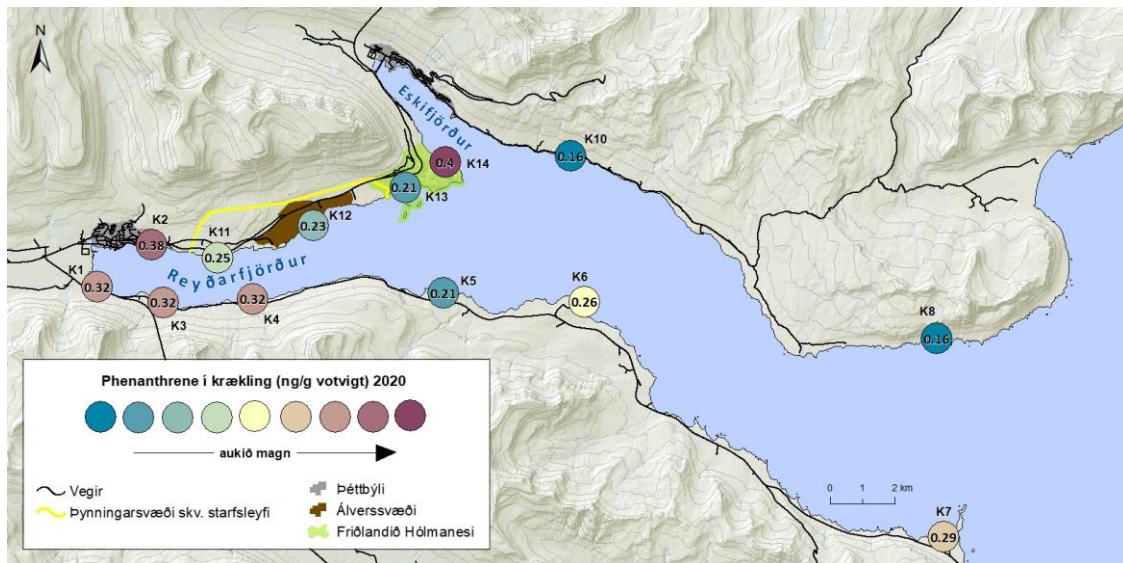
Samkvæmt reglugerð nr. 265/2010 er hámarksgildi fyrir benzo(a)pyrene, sem er eitruaðasta PAH efnið, í samlokum til manneldis hér á landi 10 µg/kg í votvigt. Styrkur þess

efnis var undir þeim mörkum á öllum stöðvum í kræklingi í Reyðarfirði árið 2020 (0,16–2,19 ng/g) og því undir íslenskum neysluviðmiðum eins og raunin var í grunnrannsóknnum árið 2000 og einnig árið 2010 og 2015 (Hafsteinn G. Guðfinnsson o.fl., 2001; HRV, 2010; Erlín Emma Jóhannsdóttir o.fl., 2016). Lægstu umhverfisviðmið Norðmanna fyrir benzo(a)pyrene eru 1 ng/g votvigt (Molvær o.fl., 1997) og mældist styrkur þess efnis á einum stað (stöð 5) yfir þeim viðmiðunum. Sú stöð er sunnan megin í Reyðarfirði (107. mynd).



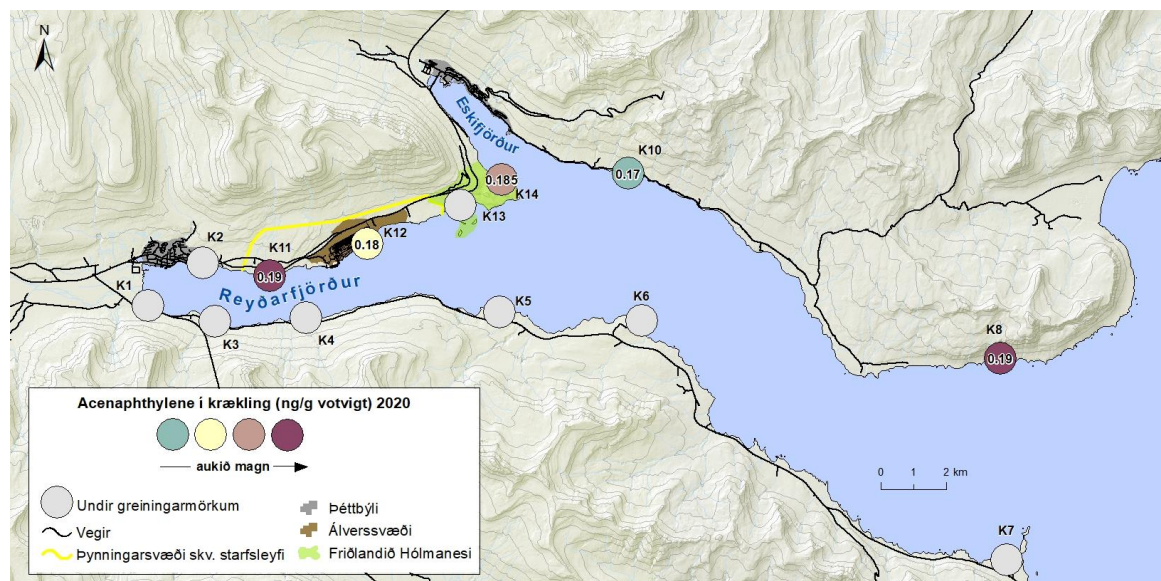
107. mynd. Styrkur benzo(a)pyrene (ng/g votvigt) í mjúkvöðva kræklinga á 13 stöðum í Reyðarfirði árið 2020. K1–K14 vísar í sýnatökustöðvar 1–14 fyrir krækling.

Phenanthrene mældist yfir greiningarmörkum á öllum stöðvum árið 2020 og var styrkur þess frá 0,16–0,40 ng/g í votvigt. Styrkurinn var undir greiningarmörkum á öllum stöðvum árið 2015 en greiningarmörk voru hærri en nú (<2,44–<2,60 ng/g). Ekki var hægt að sjá að styrkur efnisins mældist hærri á stöðvum nálægt álverinu (108. mynd). Straumar í Reyðarfirði liggja í meginráttum inn að norðanverðu og út að sunnanverðu (Hafsteinn Guðfinnsson o.fl. 2001).



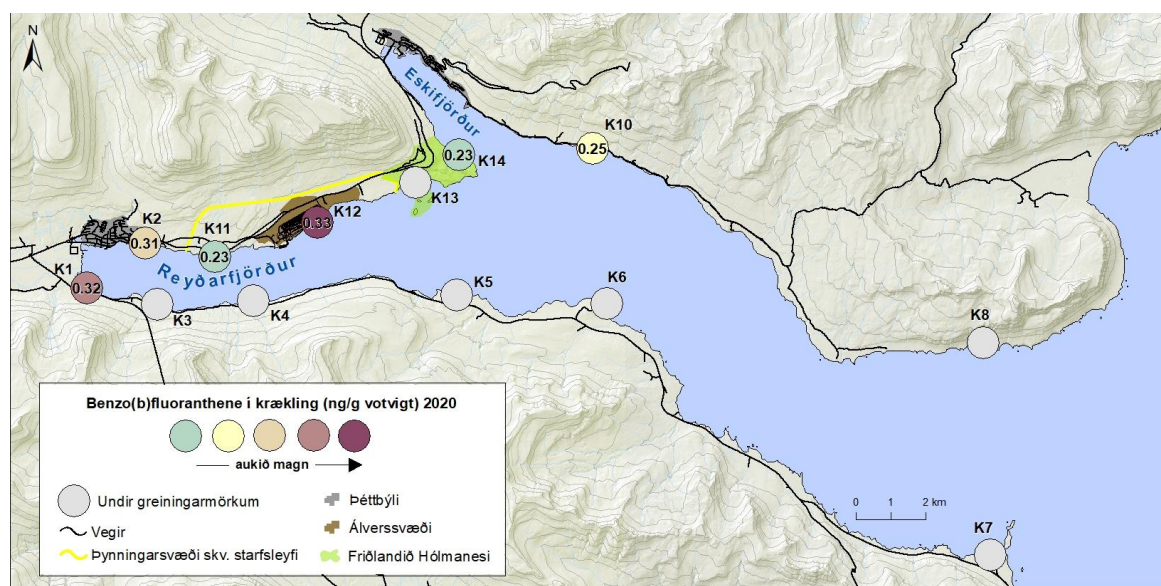
108. mynd. Styrkur phenanthrene (ng/g votvigt) í mjúkvöðva kræklinga af 13 stöðum í Reyðarfirði árið 2020. K1–K14 vísar í sýnatökustöðvar 1–14 fyrir krækling.

Acenaphthylene mældist í fimm sýnum árið 2020 (109. mynd). Styrkurinn árið 2020 var í öllum tilvikum lægri samanborið við árið 2010 og 2015 en þá voru greiningarmörkin hærri (<0,5 og <0,2 µg/kg).



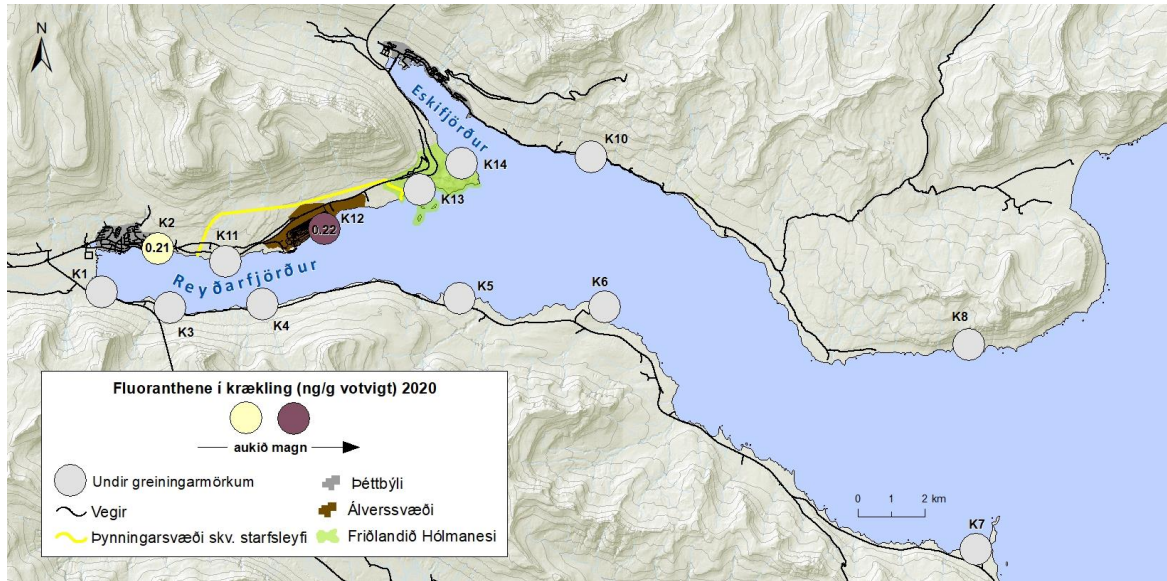
109. mynd. Styrkur acenaphthylene (ng/g votvigt) í mjúkvöðva kræklinga árið 2020 í Reyðarfirði. Ekki eru sýnd gildi ef styrkur efnisins mælist undir greiningarmörkum.

Benzo(b)fluoranthene mældist í sex sýnum og var frá 0,25 til 0,33 ng/g. Hæstu gildin mældust fyrir neðan álverið og í botni Reyðarfjarðar (110. mynd).



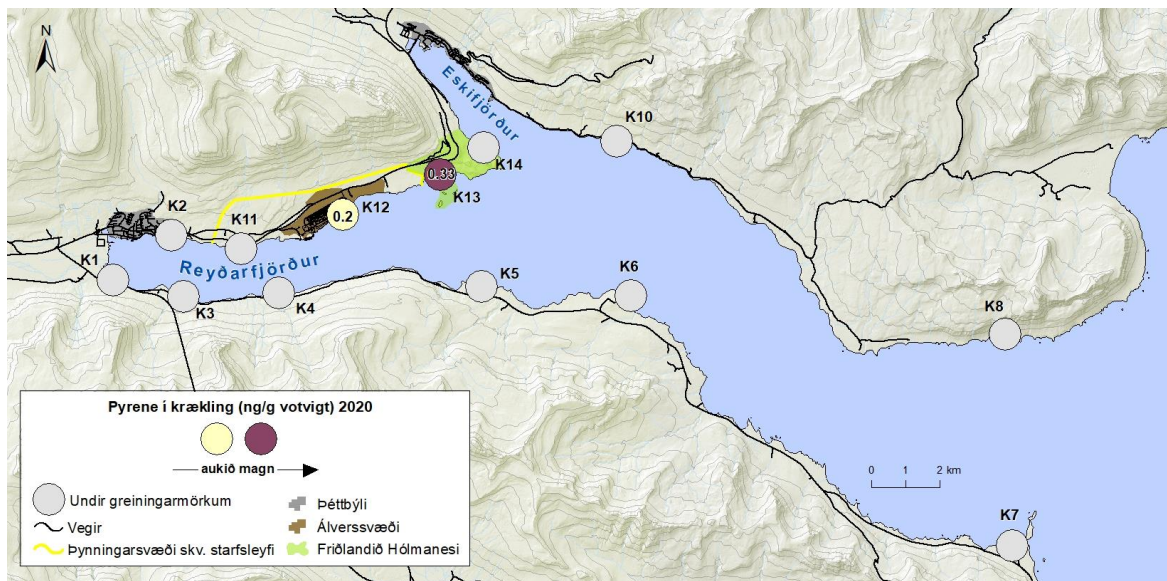
110. mynd. Styrkur benzo(b)fluoranthene (ng/g votvigt) í mjúkvöðva kræklinga í Reyðarfirði árið 2020. Gildi eru ekki sýnd ef styrkurinn var undir greiningarmörkum. K1–K14 vísar í sýnatökustöðvar 1–14 fyrir krækling. Ekki var unnt að safna sýnum á stöð K9.

Fluoranthene mældist í tveimur sýnum árið 2020 (0,21 og 0,22 ng/g) (111. mynd) en í sex sýnum árið 2015 og var styrkurinn í báðum tilvikum lægri árið 2020.



111. mynd. Styrkur fluoranthene (ng/g votvigt) í mjúkvöðva kræklinga árið 2020 í Reyðarfirði. Ekki eru sýnd gildi ef styrkur efnisins mælist undir greiningarmörkum.

Pyrene mældist yfir greiningarmörkum í tveimur sýnum árið 2020 (112. mynd) en í öllum sýnum árið 2015 (spönn 5,6 til 34,5 ng/g v.v) og var því veruleg lækkun milli ára á því efni.

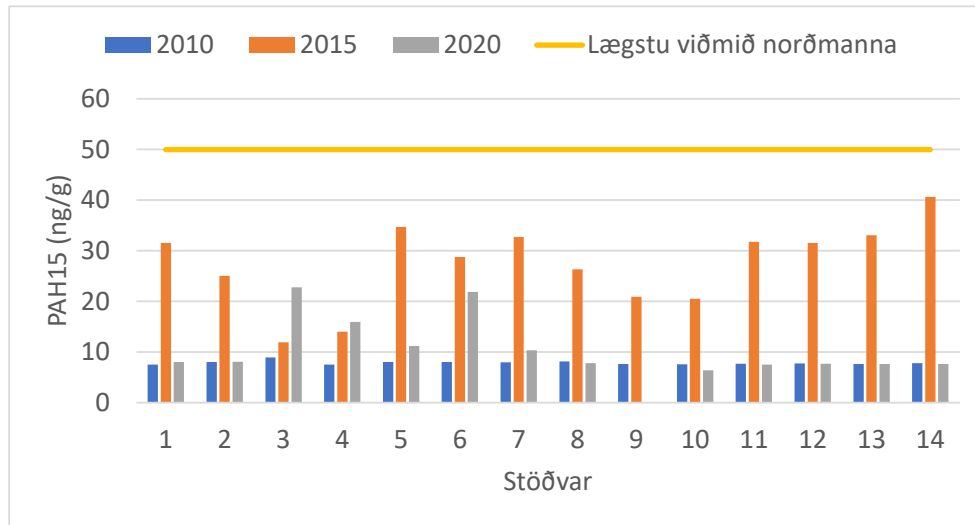


112. mynd. Styrkur pyrene (ng/g votvigt) í mjúkvöðva kræklinga í Reyðarfirði árið 2020. Gildi eru ekki sýnd ef styrkurinn var undir greiningarmörkum. K1–K14 vísar í sýnatökustöðvar 1–14 fyrir krækling. Ekki var unnt að safna sýnum á stöð K9.

Naphtalene mældist yfir greiningarmörkum á stöð 4 og var 2,0 ng/g (ekki sýnt á mynd).

Summa PAH16 efna (óháð greiningarmörkum) í kræklingi var frá 8–23 ng/g á stöðvunum 13 í Reyðarfirði árið 2020. Öll gildi nema tvö (stöðvar 3 og 6) voru undir 20 ng/g og eru þær stöðvar sunnan megin í Reyðarfirði. Summa PAH16 efnanna var mun lægri árið 2020 en 2015 en þá mældist styrkur PAH16 efna frá 12–41 ng/g. Skýringin á hærri gildum árið 2015 er sennilega vegna þess að kræklingur árið 2015 var ekki hreinsaður í hreinum sjó líkt og árið 2020. Norðmenn hafa skilgreint umhverfismörk fyrir summu PAH15 efna (EPA16, fyrir utan naftalen) í seti og eru mörkin fyrir summu þessara efna <50 µg/kg fyrir

lítt menguð svæði (Molvær o.fl., 2004). Summa sömu efna í Reyðarfirði mældust í öllum tilfellum og öllum árum undir neðstu viðmiðunarmörkum Norðmanna fyrir set og falla því allir sýnatökustaðir í flokkinn lítt menguð svæði (113. mynd).



113. mynd. Summa PAH15 (fyrir utan naphthalene) á 13 sýnatökustöðum í Reyðarfirði árin 2010, 2015 og 2020.

Af þeim sextán PAH efnum sem voru mæld í burstaormum mældust sjö efni yfir greiningarmörkum en níu í pípum árið 2020. Styrkurinn var lægri árið 2020 samanborið við árið 2015 og 2010 fyrir öll efni bæði í ornum og pípum, greiningamörk árið 2020 voru lægri í flestum tilfellum miðað við árið 2010 (10. tafla).

10. tafla. Styrkur 16 PAH efna í ornum og pípum burstaorma á einni stöð í Reyðarfirði árin 2010, 2015 og 2020. Sínd er einnig summa 16 PAH efna án og með mælgreiningarmörkum (LOQ = Limit of Quantification). Gildi árið 2010 eru fengin úr skýrslu HRV (HRV, 2010).

Mælipáttur	2010	2010	2015	2015	2020	2020
	Ormar	Pípur	Ormar	Pípur	Ormar	Pípur
Naphthalene	< 5,00	< 5,00	< 15,80	< 16,80	<1,30	<5,30
Acenaphthylene	< 1,00	< 1,00	< 0,25	0,89	0,25	<0,53
Acenaphthene	< 1,00	1,70	< 0,66	4,23	<0,13	<0,53
Fluorene	< 1,00	3,10	< 0,89	40,1	0,26	0,84
Phenanthrene	< 1,00	8,90	2,76	66,00	0,30	3,71
Anthracene	< 1,00	< 1,00	0,35	15,8	<0,13	<0,53
Fluoranthene	< 1,00	5,80	1,89	10,3	0,15	3,90
Pyrene	< 1,00	2,00	38,8	320	0,13	3,04
Benz(a)anthracene	< 1,00	1,70	0,20	1,28	<0,13	1,08
Chrysene	< 1,00	3,10	0,36	1,95	0,17	1,28
Benzo(b/j)fluoranthene	< 1,00	1,00	1,84	3,80	<1,30	1,72
Benzo(k)fluoranthene	< 1,00	< 1,00	0,42	1,11	<0,13	0,77
Benzo(a)pyrene	< 1,00	< 1,00	0,27	1,58	0,31	0,86
Dibenz(a,h)anthracene	< 1,00	< 1,00	0,14	0,47	<0,67	<0,53
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	< 1,00	1,5	0,74	2,52	<0,13	<0,53
Benzo(ghi)perylene	< 1,00	< 1,00	0,78	2,22	<1,30	<1,10
Summa 16 EPA-PAH án. LOQ		29	49	472	2	17
Summa 16 EPA-PAH með LOQ	20	40	66	489	7	26

Við samanburð á summu PAH efna fyrir orma og pípur árið 2020 við sömu PAH efni árið 2015 má sjá að um mikla lækkun er að ræða milli ár og hefur ekki mælst svo lág. Árið 2020 var samanlagt gildi fyrir orma og pípur 33 ng/g votvigt en 519 ng/g votvigt fyrir orma og pípur árið 2015 (10. tafla). Gildið fyrir árið 2010 var 60 ng/g (HRV, 2010) og í

bakgrunnsathugunum árið 2000 var það 191 µg/kg votvigt (Hafsteinn G. Guðfinnsson o.fl., 2001). Sú lækkun sem var á gildunum milli áráanna 2020 og 2015 er óútskýrð, en lækkunin milli áráanna 2010 og 2020 er að hluta til skýrð með því að magngreiningarmörk voru lægri árið 2020 og nákvæmni í mælingum meiri árið 2020.

Niðurstöður þungmálma í kræklingi og mælingar á PAH- efnun í kræklingi og burstaormum fyrir árið 2020 er að finna í viðauka 20.

11 Samantekt og lokaorð

Mengunarstig í lofti í Reyðarfirði árið 2020 var í megindráttum heldur lægra en undanfarin ár. Þó er vert að gefa gaum að tilteknum þáttum. Svifryk mældist í meðallagi árið 2020 og mælist tiltölulega stöðugt frá árinu 2009, þrátt fyrir svolíttinn breytileika. Mæligildi brennisteinstvíoxíðs í lofti reyndust einnig í meðallagi og tiltölulega stöðug frá árinu 2011, ef undanskilin eru áhrif frá gosinu í Holuhrauni. Mæligildi flúors fóru aftur lækkandi miðað við árin á undan, mælt á síur og í svifryki og í úrkomu. Þó mæligildi árið 2020 hafi verið heldur lægri en árin 2019 og 2018 er heildarleitni töluvert hækkandi frá 2011 þó allnokkur breytileiki sé í meðaltali frá ári til árs. Vonandi eru mæligildi 2020 til marks um að leitni sé niður á við aftur. Taka skal fram að flúorgildi í lofti eru innan settra marka. Rykkennd PAH efni mældust lág árið 2020 og hafa verið nokkuð stöðug frá árinu 2012, fyrir utan svolitla hækkun á árinu 2019.

Meðalstyrkur flúors í grasi á beitarsvæðum og túnum sumarið 2020 var undir viðmiðunarmörkum sem í gildi eru á Íslandi fyrir flúor í heilfóðri fyrir jórturdýr. Meðalstyrkur flúors var einnig undir viðmiðunarmörkum sem sett eru fyrir mjólkandi jórturdýr á beitarsvæðum og túnum sunnan fjarðar en fyrir ofan þau norðan fjarðar. Styrkur flúors í heyi var í þremur tilfellum yfir hámarksgildum fyrir mjólkandi jórturdýr. Styrkurinn var hæstur í heysýnum af túnum sem slegin voru síðsumars.

Styrkur flúors í gróðri hefur hækkað umtalsvert frá því áður en álverið tók til starfa. Gildi ársins 2020 voru í öllum tilvikum hærrí innan þynningarsvæðis en utan. Flúor í gróðri var í flestum tilvikum lægri eða sambærilegur miðað við gildi ársins 2019 og meðaltal áráanna 2008–2019 bæði utan og innan þynningarsvæðis. Meðalstyrkur flúors í reynilaufum hefur þó aldrei mælt eins hár og árið 2020.

Trjávöxtur hefur verið breytilegur milli ára, en ekki er hægt að greina augljósan mun innan og utan þynningarsvæðis. Ummerki um mögulegar skemmdir af völdum flúors á gróðri sáust að mestu innan þynningarsvæðis.

Tegundaauðgi í mólendisreitum var svipuð milli ára frá 2005 til 2020 og lítil breyting var á gróðursamsetningu á þessu tímabili. Meðalgróðurþekja jókst á tímabilinu og var orðin marktækt meiri árið 2020 en hún var árið 2005. Mest áberandi breytingin var aukin þekja smárunna og minni þekja flétta. Þekja lúpínu jókst einnig mikið milli athugunarára í nokkrum reitum.

Litlar breytingar urðu á þeim gildum sem mæld voru í vatnssýnum árið 2020 miðað við fyrri ár. Litlar breytingar sjást á ársmeðaltölum flúors, sýrustigs og brennisteins í neysluvatni og í árvatni árið 2020, en gildin hafa haldist nokkuð stöðug undanfarin fimm ár. Basarýmd eykst örlítið í árvatni árið 2020. Leiðni mælist einnig hærrí í bæði árvatni og neyslumatni árið 2020 en er innan eðlilegra náttúrulegra sveiflna. Styrkur flúors og

brennisteins, basarýmd og leiðni í Grænavatni lækkar á milli ára. Einungis eru tekin tvö sýni í Grænavatni árlega og útslag sveiflna í styrk þessara efna í Grænavatni hefur verið hærra en á öðrum sýnatökustöðum. Öll gildi falla innan viðmiðunargilda í reglugerð um neysluvatn. Styrkur PAH efnasambandanna fjögurra í árvatni og neysluvatni er undir greiningarmörkum, en sú staða hefur haldist óbreytt frá 2011.

Styrkur mældra efna í jarðvegi hafa ýmist hækkað, lækkað eða staðið í stað milli athugunarára en gildin eru gjarnan breytileg milli sýnatökustaða. Hægt var að greina aukinn styrk flúors í jarðvegi milli athugunarára.

Flúor í beinösku kjálka í sauðfé, bæði lömbum og fullorðnu fé, sem gengur í Reyðarfirði mælist hærri en úr kjálkum af sauðfé sem gengur utan Austurlands. Meðalstyrkur flúors í lömbum sem gengur í Reyðarfirði hefur aldrei mælst svo hár og var svipaður samanborið við árið 2012. Styrkur flúors í beinösku fullorðins fjár var sambærilegur og 2019. Hæsti meðalstyrkur flúors í beinösku í fullorðnu fé mældist á Sléttu en í lömbum á Víkingsstöðum. Styrkur flúors í kjálkum hefur mælst breytilegur milli ára og milli bæja. Sýni hafa verið fá og lítið hægt að álykta um þróun á styrk flúors í kjálkabeinum þau ár sem hann hefur verið mældur en þó er ljóst að gildi hafa hækkað frá því álver tók til starfa. Sjónrænt mat kjálkana gaf til kynna að öll lömb væru við góða tannheilsu, en erfitt var að draga ályktanir um tannheilsu eldra fjár. Sjónræn skoðun lifandi sauðfjár og hrossa í Reyðarfirði leiddi í ljós að dýrin voru almennt heilbrigð. Í tveimur kindum sáust þó breytingar í tönnum sem mögulega gætu verið flúorskemmdir en ekki er hægt að fullyrða að svo sé.

Styrkur þungmálma í kræklingi var lægri eða sambærilegur árið 2020 samanborið við árið 2015. Öll gildi mældust undir lágstu íslensku neysluviðmiðum og í öllum tilvikum var styrkurinn í lágsta eða næstlágsta mengunarflokki skv. skilgreiningu Norðmanna. Styrkur PAH efna í kræklingi í Reyðarfirði mældist lægri en hann mældist árið 2015 og undir íslensku neysluviðmiði og undir viðmiðum fyrir lágsta mengunarflokk Norðmanna. Ekki var augljóst dreifingarmynstur á styrk PAH efna í Reyðarfirði. Hærri gildin dreifðust víða um fjörðinn og því ekki hægt að draga ályktanir um eina uppsprettu mengunar. Samanlagður styrkur 16 PAH efna í vef burstaorma sem og pípum mældist einnig lægri árið 2020 en árið 2015.

12 Heimildir

- Anne D. Bjorkman, Isla H. Myers-Smith, Evan Weiher o.fl. 2018. Plant functional trait change across a warming tundra biome. *Nature*, 562, 57–62.
- Auglýsing um friðlýsingu nokkurra plöntutegunda. Nr. 184/1978.
http://www.ust.is/library/Skrar/Einstaklingar/Fridlyst-svaedi/Auglysingar/r_184_1978_auglysing_plontutegundir.pdf Skoðað í september 2018.
- Alcoa Fjarðaál (2013). *Vöktunaráætlun*. Útbúið fyrir Umhverfisstofnun. Reyðarfjörður: Álver Alcoa Fjarðaáls.
- Brynja Valgeirsdóttir (2020). Fluoride in the Icelandic horse. 60 ECTS thesis submitted in partial fulfilment of a Magister Scientiarum degree in Agricultural Sciences. Reykjavík: Landbúnaðarháskóli Íslands.
- Davison, A.W. & Weinstein, L.H. (2006). *Investigation of the sources of elevated fluoride in vegetation in the Reyðarfjörður area*. Í: *External Environmental Monitoring. Fjarðaál-Alcoa Smelter Reyðarfjörður. Summary of NA activities in 2006*. Neskaupstaður: Náttúrustofa Austurlands.
- Davison, A.W., Erlín Jóhannsdóttir og Kristín Ágústsdóttir (2009). *External Environmental Monitoring. Fjarðaál-Alcoa Smelter Reyðarfjörður. Summary of activities in 2008 by Náttúrustofa Austurlands*. Neskaupstaður: Náttúrustofa Austurlands.
- Davison, A.W., Erlín Jóhannsdóttir og Kristín Ágústsdóttir (2010). *External Environmental Monitoring. Alcoa-Fjarðaál Smelter in Reyðarfjörður. Results of on-going monitoring from 2006 to 2009 and comparison with the baseline survey from 2004 and 2005*. Neskaupstaður: Náttúrustofa Austurlands.
- Doley, D. (2010). Rapid quantitative assessment of visible injury to vegetation and visual amenity effects of fluoride. *Environmental Monitoring and Assessment*, 160, 181–198.
- Elín Guðmundsdóttir, Erlín Emma Jóhannsdóttir, Guðrún Óskarsdóttir, Dr. Helga Dögg Flosadóttir, Hermann Þórðarson og Kristín Ágústsdóttir (2017). *Alcoa Fjarðaál. Umhverfissvöktun 2016*. Skýrsla unnin af Náttúrustofu Austurlands og Nýsköpunarmiðstöð Íslands fyrir Alcoa Fjarðaál. Neskaupstaður: Náttúrustofa Austurlands.
- Elín Guðmundsdóttir, Erlín Emma Jóhannsdóttir, Guðrún Óskarsdóttir, Dr. Helga Dögg Flosadóttir, Hermann Þórðarson og Kristín Ágústsdóttir (2016). *Alcoa Fjarðaál. Umhverfissvöktun 2015*. Skýrsla unnin af Náttúrustofu Austurlands og Nýsköpunarmiðstöð Íslands fyrir Alcoa Fjarðaál. Neskaupstaður: Náttúrustofa Austurlands.
- Erlín Emma Jóhannsdóttir, Dr. Helga Dögg Flosadóttir og Hermann Þórðarson (2014). *Alcoa Fjarðaál. Umhverfissvöktun 2013*. Skýrsla unnin af Náttúrustofu Austurlands og Nýsköpunarmiðstöð Íslands fyrir Alcoa Fjarðaál. Neskaupstaður: Náttúrustofa Austurlands.
- Erlín Emma Jóhannsdóttir, Hermann Þórðarson og Kristmann Gíslason (2013). *Alcoa Fjarðaál, umhverfissvöktun árið 2012*. Skýrsla unnin af Náttúrustofu Austurlands og Nýsköpunarmiðstöð Íslands fyrir Alcoa Fjarðaál. Neskaupstaður: Náttúrustofa Austurlands.
- Erlín Emma Jóhannsdóttir, Kristín Ágústsdóttir og Davison, A.W. (2012). *Umhverfissvöktun í Reyðarfirði 2011. Gróður og yfirborðsvatn*. Unnið fyrir HRV. Neskaupstaður: Náttúrustofa Austurlands.
- Eyrún Arnardóttir (2020). *Eftirlitsskýrsla – níunda skoðun dýralæknis á grasbitum í Reyðarfirði, eftirfylgni fyrri skoðana sem áttu sér stað á árunum 2012–2018. Skoðun framkvæmd á Sléttu, í hesthúsahverfi á Reyðarfirði og Iðavöllum*. Egilsstaðir: Dýralæknastofan á Randabergi.
- Eyrún Arnardóttir (2021). *Eftirlitsskýrsla – tíunda skoðun dýralæknis á grasbitum í Reyðarfirði, eftirfylgni fyrri skoðana sem áttu sér stað á árunum 2012–2020. Skoðun framkvæmd á Sléttu, í hesthúsahverfi á Reyðarfirði*. Egilsstaðir: Dýralæknastofan á Randabergi.
- Franzaring, J., Klumpp, A. & Fangmeier, A. (2007). Active biomonitoring of airborne fluoride near an HF producing factory using standardised grass cultures. *Atmospheric Environment*, 41, 4828–4840.
- Guðrún Á. Jónsdóttir, Erlín Emma Jóhannsdóttir og Kristín Ágústsdóttir (2005). *Baseline Survey Report. External Environmental Monitoring – Ecological Survey*. Neskaupstaður: Náttúrustofa Austurlands.
- Guðrún Óskarsdóttir, Elín Guðmundsdóttir, Dr. Helga Dögg Flosadóttir, Hermann Þórðarson og Kristín Ágústsdóttir (2015). *Alcoa Fjarðaál. Umhverfissvöktun 2014*. Skýrsla unnin af Náttúrustofu Austurlands og Nýsköpunarmiðstöð Íslands fyrir Alcoa Fjarðaál. Neskaupstaður: Náttúrustofa Austurlands.
- Hermann Þórðarson (2020). *Viðhald og kvörðun loftmælingastöðva. Skýrsla vor 2020 og skýrsla haust 2020*. Nýsköpunarmiðstöð Íslands, 6EM20019.
- Ingibjörg S. Jónsdóttir, Borgþór Magnússon, Jón Guðmundsson, Ásrún Elmarsdóttir, Hreinn Hjartarson. (2005). Variable sensitivity of plant communities in Iceland to experimental warming. *Global Change Biology*, 11, 553–563

- Koblar, A., Tavčar, G. & Ponikvar-Svet, M. (2011). Effects of airborne fluoride on soil and vegetation. *Journal of Fluorine Chemistry*, 132, 755–759.
- Kristín Ágústsdóttir, Erlín Emma Jóhannsdóttir og Davison, A.W. (2011). *Álver Alcoa Fjarðaáls Umhverfisstofnun í Reyðarfirði 2010. Gróður og yfirborðsvatn*. Neskaupstaður: Náttúrustofa Austurlands.
- Landmælingar Íslands (2013). Leyfi, samkvæmt 31. gr. upplýsingalaga nr. 140/2012 og lögum um landmælingar og grunnkortagerð nr. 103/2006, fyrir gjaldfrjáls gögn frá Landmælingum Íslands. Skoðað í mars 2017 á <http://www.lmi.is/wp-content/uploads/2013/10/Almskilm.pdf>
- Landmælingar Íslands (2015). Gjaldfrjáls vektor gögn IS50v 4.1 - 24122013 útgáfa. Sótt í desember 2015 á niðurhalssíðu LMÍ: <http://atlas.lmi.is/LmiData/index.php>
- Landmælingar Íslands (2019). Gjaldfrjáls vektor gögn IS50v - 24122013 útgáfa. Sótt í febrúar 2019 á niðurhalssíðu LMÍ: <http://atlas.lmi.is/LmiData/index.php>
- Landmælingar Íslands (2021). Gjaldfrjáls vektor gögn IS50v - 24122013 útgáfa. Sótt í febrúar 2021 á niðurhalssíðu LMÍ: <http://atlas.lmi.is/LmiData/index.php>
- Liteplo, R., Gomes, R., Hower, P. & Malcolm, H. (2002). *Fluorides. Environmental Health Criteria*, 227. World Health Organization.
- Livesey, C. & Payne, J. (2011). Diagnosis and investigation of fluorosis in livestock and horses. *In Practice*, 33, 454–461.
- McCune, B. & M.J. Mefford (2011). PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data. Version 6.08. Glenden Beach, Oregon: MjM Software.
- Náttúrufræðistofnun Íslands (2018). *Válisti æðplantna*. <https://www.ni.is/midlun/utgafa/valistar/plontur/valisti-aedplantna> Skoðað í september 2018.
- Ongstad, L., Stoll, C.I. & Aasland, T. (1994). *The Norwegian aluminium industry and the local environment. Project to study the effects of industrial emission from primary aluminium plants in Norway- Summary report*. Oslo: Hydro Media.
- Ólöf G. Sigurðardóttir (2012). *Vöktun á áhrifum flúors á kjálka sauðfjár fyrir Alcoa Fjarðaál – Reyðarfjörður*. Reykjavík: Tilraunastöð Háskóla Íslands í meinafræði að Keldum.
- Ólöf G. Sigurðardóttir (2014). *Vöktun á áhrifum flúors á kjálka sauðfjár fyrir Alcoa Fjarðaál – Reyðarfjörður*. Reykjavík: Tilraunastöð Háskóla Íslands í meinafræði að Keldum.
- Ólöf G. Sigurðardóttir (2015). *Vöktun á áhrifum flúors á kjálka sauðfjár fyrir Alcoa Fjarðaál – Reyðarfjörður*. Reykjavík: Tilraunastöð Háskóla Íslands í meinafræði að Keldum.
- R Core Team (2019). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Reglugerð um arsen, kadmíum, kvikasilfur, nikkell og fjölhringa arómatísk vetniskolefni í andrúmslofti nr. 410/2008.
- Reglugerð um brennisteinsdíoxíð, köfnunarefnisdíoxíð og köfnunarefnisoxíð, bensen, kolsýring, svifryk og blý í andrúmsloftinu, styrk ósons við yfirborð jarðar og um upplýsingar til almennings nr. 920/2016.
- Reglugerð um eftirlit með fóðri nr. 340/2001 með síðari breytingum nr. 74/2015.
- Reglugerð um hámarksgildi fyrir tiltekin aðskotaefni í matvælum nr. 265/2010 með síðari breytingum nr. 358/2015 og nr. 1048/2016.
- Reglugerð um neysluvatn nr. 536/2001 með síðari breytingum nr. 145/2008.
- RStudio Team (2016). *RStudio: Integrated Development for R (Version 1.1.383)*. RStudio, Inc., Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>.
- Sigurður H. Magnússon (2018). *Vöktun þungmálma og brennisteins í mosa á Íslandi 1990–2015. Áhrif frá iðjuverum og eldvirkni*. Garðabær: Náttúrufræðistofnun Íslands. NÍ-18006.
- Sigurður Sigurðarson (á.á.). *Áhrif eldgosa á dýr*. Skoðað í febrúar 2011 á http://www.mast.is/Uploads/document/yd_eydublod/ahrif_eldgosa_a_dyr.pdf
- Umhverfisstofnun (2010). *Starfsleyfi fyrir álver Alcoa Fjarðaáls sf., Hrauni 1 í Reyðarfirði. kt. 5203034210*. Skoðað í apríl 2014 á http://www.ust.is/library/Skrar/Atvinnulif/Starfsleyfi/Starfsleyfi-i-gildi/alver/Alcoa_Fjardaal_2026.pdf
- Veðurstofa Íslands (2020). *Mánaðaryfirlit Veðurstofu Íslands fyrir árið 2020*. Sjá <http://www.vedur.is/vedur/vedurfar/manadayfirlit/>.
- Vike, E. & Håbjørg, A. (1995). Variation in fluoride content and leaf injury on plants associated with three aluminum smelters in Norway. *The Science of the Total Environment*, 163, 25–34.
- Vike, E. (1999). Air-pollutant dispersal patterns and vegetation damage in the vicinity of three aluminum smelters in Norway. *The Science of the Total Environment*, 236, 75–90.

- Vike, E. (2005). Uptake, Deposition and Wash Off of Fluoride and Aluminium in Plant Foliage in the Vicinity of an Aluminium Smelter in Norway. *Water, Air, & Soil Pollution*, 160 (1–4), 145–159.
- Weinstein, L.H. & Davison, A.W. (2003). Native plant species suitable as bioindicators and biomonitors for airborne fluoride. *Environmental Pollution*, 125, 3–11.
- Weinstein, L.H. & Davison, A.W. (2004). *Fluorides in the Environment*. Wallingford, UK: CABI publishing.
- Weinstein, L.H. (1983). Effects of Fluorides on Plants and Plant Communities: An Overview. Í: Shupe, J.L., Peterson, H.B. & Leone, N.C. (ritstj.), *Fluorides: Effects on Vegetation, Animals, and Humans* (bls. 61–82). Salt Lake City, Utah: Paragon Press.
- Þórunn Lára Þórarinsdóttir (2016). *Skýrsla varðandi flúormælingu beina og skoðun tanna í sauðfé fyrir iðnaðarsvæðið Fjarðaál*. Mosfellsbær: Dýralæknirinn Mosfellsbæ.
- Þórunn Lára Þórarinsdóttir (2017). *Skýrsla fyrir árið 2016, flúormæling beina og skoðun tanna í sauðfé fyrir iðnaðarsvæðið Fjarðaál*. Mosfellsbær: Dýralæknirinn Mosfellsbæ.
- Þórunn Lára Þórarinsdóttir (2018). *Skýrsla fyrir árið 2017, flúormæling beina og skoðun tanna í sauðfé fyrir iðnaðarsvæðið Fjarðaál*. Mosfellsbær: Dýralæknirinn Mosfellsbæ.
- Þórunn Lára Þórarinsdóttir (2019). *Skýrsla fyrir árið 2018, flúormæling beina og skoðun tanna í sauðfé fyrir iðnaðarsvæðið Fjarðaál*. Mosfellsbær: Dýralæknirinn Mosfellsbæ.
- Þórunn Lára Þórarinsdóttir (2020). *Skýrsla fyrir árið 2019, flúormæling beina og skoðun tanna í sauðfé fyrir iðnaðarsvæðið Fjarðaál*. Mosfellsbær: Dýralæknirinn Mosfellsbæ.
- Þórunn Lára Þórarinsdóttir (2021). *Skýrsla fyrir árið 2020, flúormæling beina og skoðun tanna í sauðfé fyrir iðnaðarsvæðið Fjarðaál*. Mosfellsbær: Dýralæknirinn Mosfellsbæ.

NÁTTÚRUSTOFA AUSTURLANDS

Bakkavegi 5 • 740 Neskaupstað • Sími 477-1774 • Netfang: na@na.is
Tjarnarbraut 39B • 700 Egilsstöðum • Veffang: www.na.is

