

Alcoa Fjarðaál

Umhverfisvöktun 2012



Alcoa Fjarðaál Umhverfismælingun 2012

Skýrsla unnin af Náttúrustofu Austurlands
og Nýsköpunarmiðstöð Íslands fyrir Alcoa Fjarðaál



- Egilsstaðir
 Neskaupstaður

Skýrsla nr: NA-130125	Dags (mánuður, ár): Apríl 2013	Dreifing: Lokuð
Heiti skýrslu (aðal- og undirtitill): Alcoa Fjarðaál. Umhverfissvöktun 2012		Upplag: 11
		Síðufjöldi: 71
		Fjöldi korta:
		Fjöldi viðauka: 15
Höfundar: Erlín Emma Jóhannsdóttir, Hermann Þórðarson og Kristmann Gíslason		
Unnið fyrir: Alcoa Fjarðaál		
Samvinnuaðilar: Efnagreining, Nýsköpunarmiðstöð Íslands. Skýrslur nr. 6EM12010 og 6EM12011		
<p>Útdráttur: 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 2012 fór fram samkvæmt umhverfissvöktunaráætlun sem samþykkt er af Umhverfisstofnun, þar sem vakta skal andrúmsloft (veður og loftgæði), gróður og yfirborðsvatn. Vegna hárra flúorgilda í grasi sumarið 2012 voru gerðar viðbótarrannsóknir á heyi, korni og matjurtum í Reyðarfirði. Kannaður var styrkur flúors í kjálkum sauðfjár og sjónræn skoðun var framkvæmd á sauðfé, hrossum og nautgripum.</p> <p>Gagnasöfnun: Upplýsingum um loftgæði og veðurfar var safnað frá fjórum loftgæðastöðvum innan og utan þynningarsvæðis. Mæliþættir 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, klóríði, sulfati og flúori í úrkomu. Veðurgögnum var einnig safnað á öllum fjórum stöðvunum sem og frá Veðurstofu Íslands.</p> <p>Sýnum af gróðri var safnað á föstum sýnatökustöðum, bæði innan og utan þynningarsvæðis. Grasi og rabarbara var safnað sex sinnum yfir sumarið. Bláberjalyngi, fléttum, mosa, kartöflum, laufblöðum reynitjrjáa, bláberjum og krækiberjum, heyi og furunálum var safnað einu sinni. Flúor var mældur í öllum gróðursýnum og auk þess var styrkur þungmálma mældur einu sinni í rabarbara, kartöflum og grænkáli. 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. Vatni var safnað fjórum sinnum og var sýrustig, flúor, klóríð, sulfat og fjölhringa arómatísk vetniskolefni mælt í sýnunum.</p> <p>Helstu niðurstöður: Austan- og vestanáttir voru ríkjandi í Reyðarfirði árið 2012. Austlægir vindar voru algengari yfir sumarið en vestlægir vindar að vori og á haustmánuðum. Svifryk mældist aldrei yfir heilsuverndarmörkum. Brennisteinstvíoxíð í lofti var hærra árið 2012 en 2011. Flúor í lofti var hærri árið 2012 en 2011 en fór þó aldrei yfir viðmiðunarmörk. Styrkur fjölhringa arómatískra vetniskolefna mældist lægri milli ára. Nokkur hækkan var á sýrustigi í úrkomu frá því sem var. Veruleg hækkan var á flúorgildum í úrkomu. Lítilsháttar hækkan var á brennisteini í úrkomu frá því sem var árið 2011.</p> <p>Ársméðaltal flúors í gróðursýnum var almennt hærri árið 2012 en 2011. Á milli árona var marktæk hækkan á gildi flúors í grassýnum, mosa, fléttum og bláberjalyngi. Styrkur flúors í laufum reynitjrjáa var hins vegar marktækt lægri árið 2012 heldur en 2011. Í öðrum gróðursýnum var einnig hækkan en ekki marktæk. Meðalstyrkur flúors í grasi yfir vaxtartímann mældist yfir viðmiðum fyrir sauðfé norðvestan álvers en innan marka sunnan megin. Styrkur flúors í rabarbarastilkum, kartöflum og berjum var lágur. Dreifing og uppruni þungmálma í rabarbara, kartöflum og káli er óljós og ekki hægt að rekja til starfsemi álversins.</p> <p>Sýnilegar skemmdir á gróðri var helst að merkja nálægt álveri en einnig sáust skemmdir inn í bænum á Reyðarfirði. Helst mátti greina skemmdir á bláberjalyngi, furu og víði.</p> <p>Litlar breytingar voru á efnasamsetningu vatns milli árona 2011 og 2012. Sýrustig hækkaði á öllum sýnatökustöðum en mældist þó innan þeirra marka sem mælt hafa á fyrri árum.</p>		
Lykilorð: Alcoa –Fjarðaál, gróðurrannsóknir, loftgæði, flúoríð, flúor, brennisteinstvíoxíð, klóríð, sulfat, sýrustig, PAH-efni, mosi, fléttur, rabarbari, kartöflur, reynitré, bláberjalyng, gras, búfé, krækiber, bláber sjaldgæfar tegundir, trjávöxturvatn, Reyðarfjörður, álver, mengun	ISSN nr:	
Yfirfarið: Jón Ágúst Jónsson hjá Náttúrustofu Austurlands og Guðmundur Sveinsson Kröyer hjá Alcoa Fjarðaál	ISBN nr:	

Efnisyfirlit

1	Inngangur	10
2	Loftgæði.....	11
2.1	Inngangur	11
2.1.1	Loftgæðamælingar í Reyðarfirði	11
2.1.2	Mælistöðvar og mælipættir	11
2.2	Mælingar og mæliaðferðir	12
2.3	Niðurstöður	12
2.3.1	Veðurgögn og veðurfar ársins.....	12
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	19
2.3.5	Fjölhringa arómatísk vetniskolefni (PAH)	24
2.3.6	Efnainnihald í úrkomu	27
3	Gróður	33
3.1	Inngangur	33
3.1.1	Flúor og gróður	33
3.1.2	Viðmiðunarmörk flúors í fóðri fyrir búfé	34
3.2	Efnagreiningar á gróðri	35
3.2.1	Gras	36
3.2.2	Mosi.....	39
3.2.3	Fléttur.....	41
3.2.4	Bláberjalyng	43
3.2.5	Reyniviður	44
3.2.6	Barnálar	46
3.2.7	Rabarbari.....	47
3.2.8	Kartöflur og grænmeti	50
3.2.9	Bláber og krækiber.....	52
3.2.10	Hey	52
3.3	Sjónræn skoðun á gróðri.....	54
3.3.1	Sjaldgæfar tegundir.....	54
3.3.2	Garðaplöntur og tré	55

3.3.3	Gróður í rannsóknarreitum	56
3.3.4	Fléttur og mosar.....	57
3.4	Trjávöxtur.....	58
4	Yfirborðsvatn	60
4.1	Inngangur	60
4.2	Niðurstöður.....	61
4.2.1	Flúor	61
4.2.2	Sýrustig (pH).....	62
4.2.3	Fjölhringa arómatísk vetniskolefni (PAH efni)	63
4.2.4	Súlfat og basarýmd	64
5	Samantekt	65
5.1	Loftgæði	65
5.1.1	Svifryk.....	65
5.1.2	Brennisteinstvíoxíð	65
5.1.3	Flúor í lofti (HF)	65
5.1.4	Fjölhringa arómatísk vetniskolefni (PAH)	65
5.1.5	Efnainnihald í úrkomu	65
5.2	Gróður.....	66
5.2.1	Styrkur flúors í gróðri	66
5.2.2	Dreifing flúors frá álveri	66
5.2.3	Styrkur þungmálma í rabarbara og kartöflum	66
5.2.4	Sjónræn skoðun á gróðri.....	66
5.3	Grasbítar	67
5.3.1	Styrkur flúors í fóðri búfánaðar	67
5.3.2	Styrkur flúors í kjálkum sauðfjár	67
5.3.3	Önnur dýr	67
5.4	Yfirborðsvatn.....	68
6	Lokaorð.....	68
7	Heimildir	69

Myndaskrá

Mynd 1. Yfirlitskort sem sýnir staðsetningu allra fastra sýnatökustaða í Reyðarfirði og Eskifirði (©Landmælingar Íslands, leyfi nr. L05040009).....	11
Mynd 2. Vindrós mælistöð 1 Reyðarfirði, 2012, allar mælingar (10mín).....	13
Mynd 3. Vindrós mælistöð 2 Reyðarfirði, 2012, allar mælingar (10 mín).	13
Mynd 4. Vindrós mælistöð 3 Reyðarfirði, 2012, allar mælingar (10 mín).	14
Mynd 5. Vindrós mælistöð 4 Reyðarfirði, 2012, allar mælingar (10 mín).	14
Mynd 6. Svifryk, allar stöðvar 2012.	16
Mynd 7. Svifryk, ársmeðaltöl 2005-2012.....	16
Mynd 8. Brennisteinstvíoxíð, allar stöðvar 2012.	18
Mynd 9. Brennisteinstvíoxíð, ársmeðaltöl 2005-2012.....	18
Mynd 10. Brennisteinstvíoxíð SO ₂ , sem fall af vindátt 2012, allar stöðvar.	19
Mynd 11. Flúorgask.(HF) í lofti, allar stöðvar, 2012 (mælingar á síur).	22
Mynd 12. Flúor rykkendur í lofti, allar stöðvar, 2012 (mælingar á síur).....	22
Mynd 13. Flúor í svifryki, allar stöðvar 2012.....	24
Mynd 14. PAH18 í svifryki, allar stöðvar 2012.	26
Mynd 15. PAH18 í svifryki, ársmeðaltöl 2006-2012.....	26
Mynd 16. Sýrustig (pH) í úrkomu, allar stöðvar meðaltöl 2005-2012	28
Mynd 17. Sýrustig (pH) í úrkomu, mánaðarmeðaltöl allar stöðvar 2012.	29
Mynd 18. Súlfat-S í úrkomu, ársmeðaltöl 2006-2012.....	29
Mynd 19. Súlfat-S í úrkomu, allar stöðvar 2012.	30
Mynd 20. Flúor í úrkomu, allar stöðvar 2012.	31
Mynd 21. Flúor í úrkomu, ársmeðaltöl 2006-2012.....	32
Mynd 22. Sýnatökustaðir grass og skipting eftir svæðum (©Landmælingar Íslands, leyfi nr. L05040009).	36
Mynd 23. Sýnatökustaðir grass í Reyðarfirði og meðalstyrkur flúors sumarið 2012 (á vaxtartíma) (©Landmælingar Íslands, leyfi nr. L05040009).....	37
Mynd 24. Meðaltalstyrkur flúors í grasi sumarið 2012 frá júní-ágúst, skipt upp eftir svæðum.....	37
Mynd 25. Ársmeðaltal flúors í grassýnum (ásamt staðalskekkju) árin 2004 til 2012 í Reyðarfirði. Gögn eru byggð á 30 sýnum árin 2004 og 2005 en 180 sýnum árin 2007-2012.	38
Mynd 26. Meðaltalstyrkur flúors (µg/g) í grasi yfir vaxtartíma gróðurs (bláar súlur) og meðaltalstyrkur af loftbornu flúori (µg/m ³) frá fjórum loftgæðastöðvum (rauð lína) í Reyðarfirði sumarið 2012.....	39

Mynd 27. Sýnatökustaðir mosa í Reyðarfirði og styrkur flúors í júlí 2012 (©Landmælingar Íslands, leyfi nr. L05040009).....	40
Mynd 28. Dreifingarmynstur flúors í mosa frá árinu 2004 (bakgrunnsgildi) til ársins 2012. 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.....	40
Mynd 29. Ársmeðaltal flúors í mosa (ásamt staðalskekkju) árin 2004 til 2012 í Reyðarfirði. Gögnin eru byggð á 30 sýnum ár hvert.....	41
Mynd 30. Sýnatökustaðir flétta í Reyðarfirði og styrkur flúors í júlí 2012 (©Landmælingar Íslands, leyfi nr. L05040009).....	42
Mynd 31. Dreifingarmynstur flúors í fléttum frá árinu 2004 (bakgrunnsgildi) til ársins 2012. 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.....	42
Mynd 32. Ársmeðaltal flúors í fléttusýnum (ásamt staðalskekkju) árin 2004 til 2012 í Reyðarfirði. Gögnin eru byggð á 28-30 sýnum ár hvert.....	43
Mynd 33. Sýnatökustaðir bláberjalyngs í Reyðarfirði og styrkur flúors í júlí 2012 (©Landmælingar Íslands, leyfi nr. L05040009).....	43
Mynd 34. Dreifingarmynstur flúors í bláberjalaufum frá árinu 2004 (bakgrunnsgildi) til ársins 2012. 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.....	44
Mynd 35. Meðaltalsgildi flúors í bláberjalyngi (ásamt staðalskekkju) árin 2004 til 2011 í Reyðarfirði. Gögnin eru byggð á 30 sýnum ár hvert.....	44
Mynd 36. Sýnatökustaðir á laufblöðum reynitrjáa í Reyðarfirði og styrkur flúors í laufi í ágúst 2012 (©Landmælingar Íslands, leyfi nr. L05040009).....	45
Mynd 37. Ársmeðaltal flúors í laufblöðum reynitrjáa (ásamt staðalskekkju) árin 2004 til 2012 í Reyðarfirði. Gögnin eru byggð á 10 sýnum árin 2004-2009, en 9 sýnum árin 2010-2012.	45
Mynd 38. Sýnatökustaðir barrnála í Reyðarfirði og styrkur flúors í nývöxnum barrnálum í september 2012 (©Landmælingar Íslands, leyfi nr. L05040009).	46
Mynd 39. Sýnatökustaðir barrnála í Reyðarfirði og styrkur flúors í barrnálum frá fyrra ári (2011), safnað í september 2012 (©Landmælingar Íslands, leyfi nr. L05040009).	46
Mynd 40. Ársmeðaltal flúors í barrnálum (ásamt staðalskekkju) árin 2004 til 2012 í Reyðarfirði. Gögnin eru byggð á 10 sýnum árin 2004-2009, en 9 sýnum árið 2010, 2011 og 2012. Ártalið á lárétta ásnum vísar í söfnunarár.	47
Mynd 41. Sýnatökustaðir rabarbara í Reyðarfirði og meðaltal flúors í laufum frá júní til ágúst sumarið 2012 (©Landmælingar Íslands, leyfi nr. L05040009).....	48
Mynd 42. Ársmeðaltal flúors í þurrviggt af rabarbara árin 2004 til 2012 í Reyðarfirði. Gögn eru byggð á 94 sýnum í sex sýnatökuferðum árin 2007-2012 en 10 sýnum árin 2004 og 2005.....	48
Mynd 43. Styrkur flúors í kartöflum og kartöflugrösnum á þremur söfnunarstöðum sumrin 2004, 2011 og 2012 en tveimur söfnunarstöðum 2007-2010.....	50

Mynd 44. Styrkur flúors í krækiberjum á 5 sýnatökustöðum í Reyðarfirði sumarið 2012. Tekið var eitt sýni á hverri stöð.....	52
Mynd 45. Styrkur flúors í bláberjum á 5 sýnatökustöðum í Reyðarfirði sumarið 2012. Tekið var eitt sýni á hverri stöð.....	52
Mynd 46. Staðsetning á túnum sem heysýni voru tekin af í nóvember og desember í Reyðarfirði 2012.....	53
Mynd 47. Samsett mynd. Giljaflækja (efst til vinstri), aronsvöndur (til hægri), þyrnirós (neðst til vinstri) og stóriburkni (neðst til hægri) sumarið 2012.	55
Mynd 48. Mögulegar flúorskemmdir í gróðri í Reyðarfirði. Fura (<i>Pinus sp.</i>) við í trjáræktareit (t.v.) og víðir (<i>Salix sp.</i>) við Andapoll (t.h.)	56
Mynd 49. Rannsóknastöðvar í Reyðarfirði. Sýnilegar skemmdir á gróðri sem líktust flúorskemmdum sáust á 8 stöðvum sumarið 2012 (©Landmælingar Íslands, leyfi nr. L05040009).	57
Mynd 50. Staðsetning 10 trjámæltreita í Reyðarfirði og tegundir trjáa sem finnast í þeim. Kortlagning skógræktarsvæðis var gerð af Skógræktarfélagi Íslands (©Landmælingar Íslands, leyfi nr. L05040009).....	58
Mynd 51. Meðalársvöxtur stafafuru (<i>P. contorta</i>) í 9 trjámæltreitum í Reyðarfirði tímabilið 2003-2012.	60
Mynd 52. Sýnatökustaðir vatnssýna.	61
Mynd 53. Fylgni ársmeðaltals af styrk flúors í árvatnsýnum og Grænavatni fyrir árin 2004-2012.	61
Mynd 54. Fylgni ársmeðaltals af styrk flúors í neysluvatni fyrir árin 2004-2012.....	62
Mynd 55. Fylgni ársmeðaltals af sýrustigi í árvatnsýnum fyrir árin 2004-2012.	62
Mynd 56. Fylgni ársmeðaltals af sýrustigi í neysluvatni fyrir árin 2004-2012.	63

Töfluskrá

Tafla 1. Árs- og mánaðarmeðaltöl svifryks ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).....	15
Tafla 2. Árs-og mánaðarmeðaltöl SO_2 í lofti í $\mu\text{g}/\text{m}^3$	17
Tafla 3. Árs- og mánaðarmeðaltöl flúors í lofti* í $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (mæl. á síur).....	20
Tafla 4. Ársmeðaltöl og mæligildi rykkennds flúors í lofti í $\mu\text{g}/\text{m}^3$	23
Tafla 5. Árs- og mánaðarmeðaltöl dagsmælinga rykkennds PAH í lofti í ng/m^3	25
Tafla 6. Efnainnihald í úrkomu, ársmeðaltöl í mg/L (F, $\text{SO}_4\text{-S}$) og einingalaust (pH)	27
Tafla 7. Árs og mánaðarmeðaltöl flúors í úrkomu (vikusýni) í mg/L	30
Tafla 8. Styrkur þungmálma (mg/kg blautvigt) í rabarbarablöðum árið 2012.	49
Tafla 9. Styrkur þungmálma (mg/kg blautvigt) í rabarbarastilkum árið 2012.	49
Tafla 10. Styrkur þungmálma (mg/kg blautvigt) í kartöflugrösum, kartöflum með og án hýðis og grænkáli árið 2012.	51
Tafla 11. Niðurstöður mælinga á styrk flúors ($\mu\text{g}/\text{g}$) í heyi sem hirt var í Reyðarfirði sumrin 2011 og 2012. Miðað er við 12% rakainnihald sýnis.	53
Tafla 12. Meðalvöxtur vaxtarsprota (cm) á stafafuru (staðsetning 1-9) og bergfuru (staðsetning 10) frá árinu 2003-2012 í tíu trjáræktarreitum í Reyðarfirði. Staðalskekkja meðaltalanna segir til um breytileika í vexti fyrir hverja staðsetningu.	59
Tafla 13. Heildarmagn PAH efna.	63
Tafla 14. Styrkur slúlfats (mg/L) í vatnsýnum árin 2010-2012.....	64
Tafla 15. Basarýmd ($\text{mg CACO}_3/\text{L}$) vatnsýna árin 2010-2012.....	64

Viðaukaskrá

- Viðauki 1. Niðurstöður sjálfvirkra mælinga í stöðvum
- Viðauki 2. Niðurstöður á efnagreiningum í síum og úrkomu
- Viðauki 3. Mælingar á PAH-16 og flúor í svifrykssíum
- Viðauki 4 . Samantekt hágilda á flúori og brennisteinstvíoxíði í lofti
- Viðauki 5 . Niðurstöður efnamælinga í grassýnum 2012
- Viðauki 6. Samanburður veðurfarsþátta í Reyðarfirði og sýnatökudaga sumarið 2012
- Viðauki 7. Niðuarstöður efnamælinga í mosa, fléttum og laufum bláberjalyngs 2012
- Viðauki 8 . Niðurstöður efnamælinga í sýnum af laufblöðum reynitrijáa og barrnálum 2012
- Viðauki 9 . Niðurstöður efnamælinga í sýnum af grænmeti og berjum 2012
- Viðauki 10. Niðurstöður efnagreininga á heyi 2012
- Viðauki 11. Niðurstöður efnamælinga á þungmálmum í Reyðarfirði 2012
- Viðauki 12. Niðurstöður trjámælinga á furu í Reyðarfirði 2012
- Viðauki 13. Niðurstöður efnamælinga í vatnssýnum 2012
- Viðauki 14. Skrá yfir allar ljósmyndir teknar í felti 2012
- Viðauki 15. Niðurstöður viðbótarrannsóknna á búfénaði og heyi í Reyðarfirði 2012

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). Álver Alcoa Fjarðaáls við Reyðarfjörð var gangsett í apríl 2007. 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 fylgjast með áhrifum álversins á umhverfið og tryggja að þau mengunarefni sem fylgja starfsemi þess séu undir viðmiðunarmörkum sem álverinu eru sett samkvæmt starfsleyfi (Umhverfisstofnun 2010).

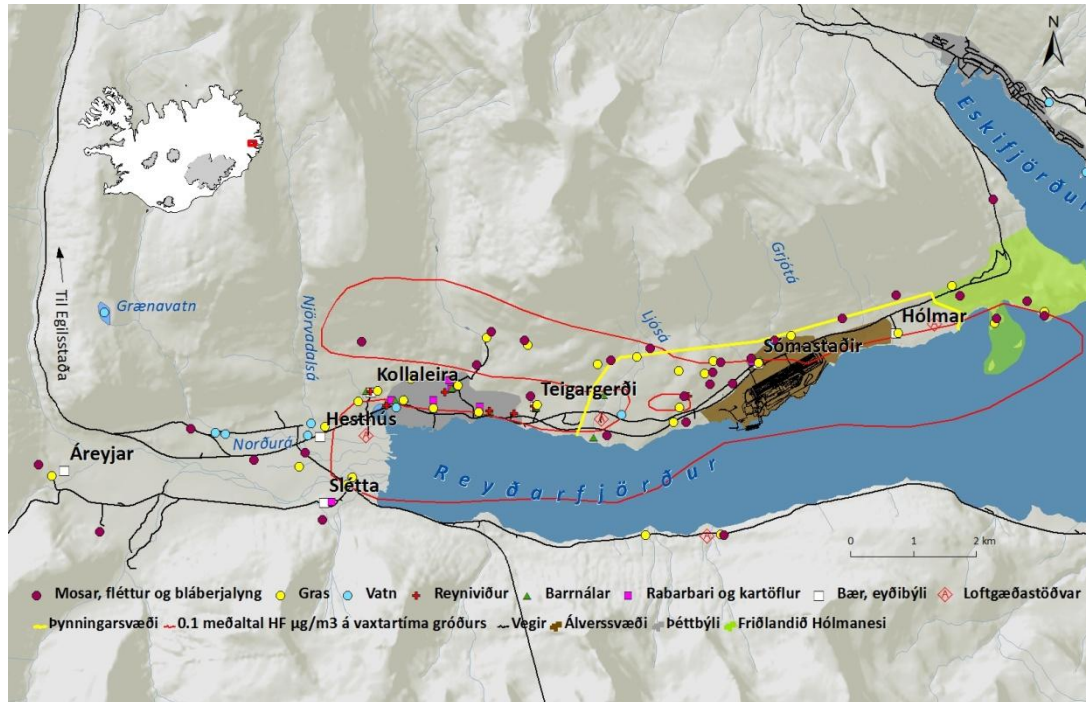
Umhverfisvöktuninni er skipt í sjö verkþætti:

1. Loftgæða- og veðurmælingar
2. Sýnatökur og efnamælingar á gróðri
3. Sýnatökur og efnamælingar á yfirborðsvatni
4. Sjónrænt mat á heilbrigði gróðurs
5. Mælingar á vexti furutrjáa
6. Efnamælingar á jarðvegsvatni
7. Mæling á mengunarefnum í sjó og fjöru

Árið 2012 sá Náttúrustofa Austurlands um vöktun og sýnatöku á gróðri og yfirborðsvatni en Efnagreining Nýsköpunarmiðstöðvar Íslands annaðist efnagreiningar. Mælingar á loftgæðum og veðurfari voru unnar af Efnagreiningum, Nýsköpunarmiðstöðvar Íslands. Á mynd 1 er yfirlit yfir alla vöktunarstaði umhverfisvöktunarinnar árið 2012.

Þar sem styrkur flúors í grasi mældist hár sumarið 2012 óskaði Alcoa Fjarðaál, í samráði við Umhverfisstofnun, eftir viðbótarrannsóknum í Reyðarfirði sumarið 2012. Gerð var úttekt á heyi, korni og matjurtum af svæðinu. Einnig var kannaður styrkur flúors í kjálkum sauðfjár. Þá var dýralæknir fenginn til að framkvæma sjónræna skoðun á sauðfé, hrossum og nautgripum. Niðurstöður þessara rannsókna má finna í Viðauka 15.

Í þessari skýrslu verða birtar niðurstöður úr verkþáttum 1-5 í umhverfisvöktuninni árið 2012 en verkþættir 6 og 7 verða framkvæmdir næst árið 2015. Niðurstöður eru bornar saman við niðurstöður fyrri rekstrarára álversins sem og viðmiðunarmörk þar sem það á við. Skýrslunni er skipt upp í sex kafla. Í fyrsta kafla er farið yfir bakgrunn og tilgang umhverfisvöktunar álvers Alcoa Fjarðaáls sem og hverjir koma að henni. Í köflum tvö til fjögur eru birtar niðurstöður vöktunar á loftgæðum, gróðri og yfirborðsvatni árið 2012. Að lokum eru helstu niðurstöður skýrslunnar síðan dregnar saman. Skýrslunni fylgja 15 viðaukar sem prentaðir eru í sérstakri skýrslu. Þar má finna ítarlegri upplýsingar um umhverfisvöktunina.



Mynd 1. Yfirlitskort sem sýnir staðsetningu allra fastra sýnatökustaða í Reyðarfirði og Eskifirði (©Landmælingar Íslands, leyfi nr. L05040009).

2 Loftgæði

2.1 Inngangur

2.1.1 Loftgæðamælingar í Reyðarfirði

Fjallað er um niðurstöður loftgæðamælinga fyrir árið 2012. Mælingar þessar eru hluti af umhverfissrannsóknum vegna álvers Alcoa Fjarðaáls við Reyðarfjörð. 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 fjölgaði úr 3 í fjórar. Mælistöðvarnar (1-4) eru annars sem hér segir: Stöð 1 er á Hjallaleiru sunnan og vestan við Búðareyri gegnt gámastöð, stöð 2 er á gamla urðunarstaðnum við Ljósa milli Búðareyrar og Sómastaða, stöð 3 er á Hólum um 1 km austan við bæjarhúsin og stöð 4 er ofan vegar við Miðstrandareyri sunnan fjarðar gegnt Sómastöðum (Mynd 1).

Mælipættir í lofti eru: Svifryk, flúoríð og brennisteinstvíoxíð. Brennisteinstvíoxíðmælar eru sjálfvirkir og frá þeim er skráð meðaltal á tíu mínútna fresti. Flúor er safnað á síur, 1 og 5 daga í senn og mældur rykbundinn og gaskenndur flúor. Svifryki er safnað á 6 daga fresti á síur, sólarhring í senn. Í einni slíkri síu í hverjum mánuði frá hverri stöð er mælt flúor í ryki og PAH sambönd, alls 48 mælingar árlega. Úrkomu er safnað og fylgst með pH vikulega. Einnig er mælt klóríð, sulfat, og flúor 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.

2.2 Mælingar og mæliaðferðir

Mælingar eru gerðar í sérhæfðum mælibúnaði sem ætlaður er til þessara nota og uppfyllir skilyrði reglugerðar nr. 251/2002 um mat á styrk brennisteinsdíoxíðs, og svifryks (PM_{10}). Varðandi umsjón mælibúnaðar vísast til kvörðunarskýrsla (Hermann Þórðarson 2012).

Skilgreiningar

Svifryk PM_{10} Svifryk í lofti í $\mu g/m^3$, agnir sem eru minni en 10 μm í þvermál.

Svifryk $PM_{2,5}$ Svifryk í lofti í $\mu g/m^3$, agnir sem eru minni en 2,5 μm í þvermál.

Flúor rykkennt Sá hluti flúoríðs sem mælist sem rykkennt eða bundið ryki.

HF gaskennt Sá hluti flúoríðs sem mælist gaskennt og óbundið ryki, vetnisflúoríð.

Flúor alls Summa rykkennds og gaskennds flúoríðs

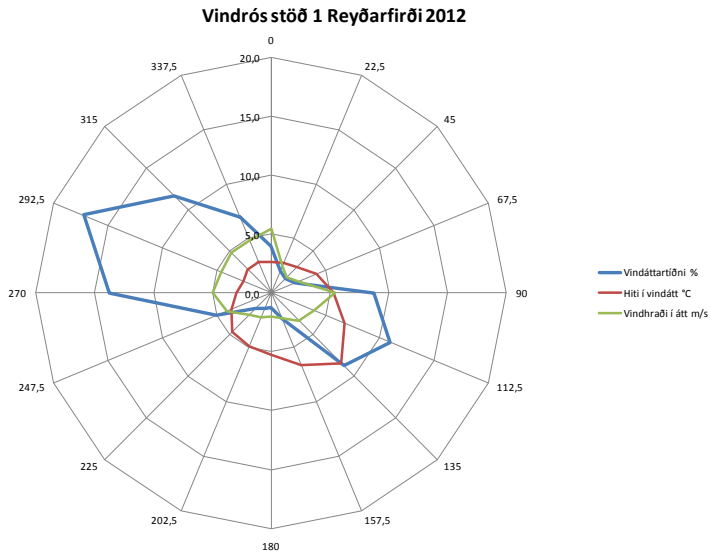
Umhverfismörk Leyfileg hámarksgildi mengunar sett í því skyni að draga úr eða koma í veg fyrir skaðleg áhrif á heilsu manna og dýra. Umhverfismörk geta átt við umhverfið í heild eða tiltekna þætti þess (s.s. heilsuverndarmörk, gróðurverndarmörk) og tiltekin tímabil (s.s. sólarhring, árstíð eða ár).

2.3 Niðurstöður

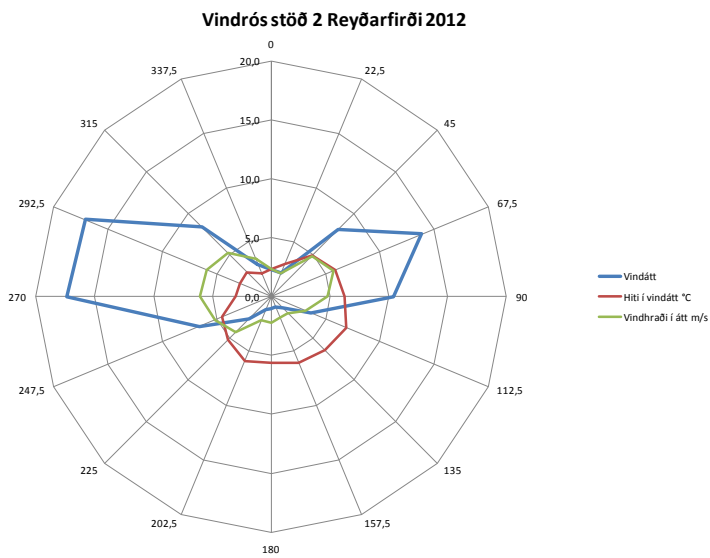
Samantekt yfir allar niðurstöður loftgæðamæla eftir mánuðum er að finna í viðaukum 1-4.

2.3.1 Veðurgögn og veðurfar ársins

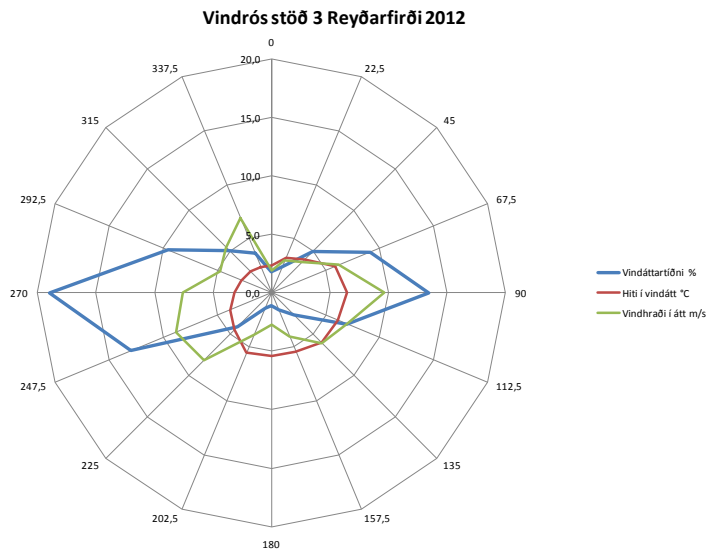
Meðalhiti á Reyðarfirði mældist 4,2°C, meðalvindhraði 4,4 m/s. Miðað við næstu ár á undan, þá var árið þar í meðallagi m.t.t. hita, vinds og úrkomu. Það er ívið kaldara en 2011 og vindur líklega lítillaga meiri. Árið var mjög hlýtt á landinu, sérstaklega um landið vestanvert. Árið var það sjöunda hlýjasta frá upphafi mælinga í Stykkishólmi og tólfta hlýjasta í Reykjavík en nær meðallagi austanlands. Tíð var hagstæð lengst af árið 2012 (Veðurstofa Íslands 2012). Árið byrjaði þó með miklum umhleypingum og illviðrum. Um mánaðamótin mars/apríl skipti mjög um veðurlag og við tóku norðlæggar áttir sem voru lengst af ríkjandi það sem eftir lifði ársins. Vor og sumar voru óvenju þurr og sólrík bæði nyrðra og syðra. Óvenjulegt hríðarveður gerði á Norðurlandi snemma í september. Þá var óvenju illviðrasamt framan af nóvember og óvenjusnjóþungt norðanlands í nóvember og desember.



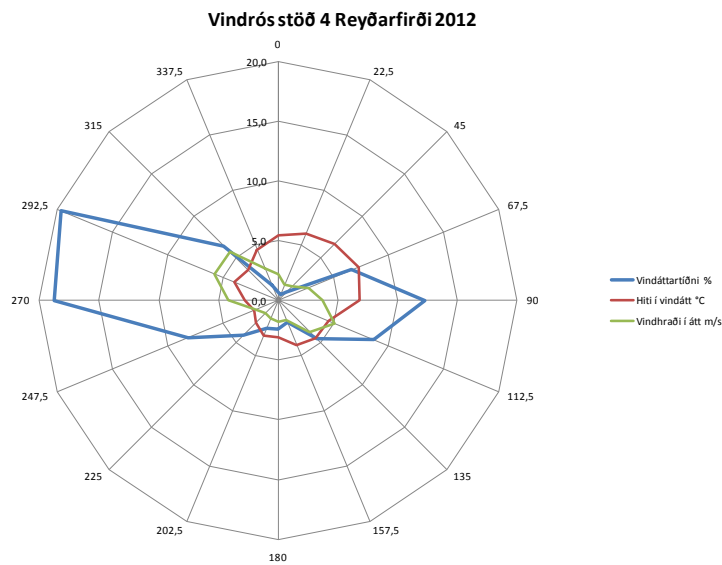
Mynd 2. Vindrós mælistöð 1 Reyðarfirði, 2012, allar mælingar (10mín).



Mynd 3. Vindrós mælistöð 2 Reyðarfirði, 2012, allar mælingar (10 mín).



Mynd 4. Vindrós mælistöð 3 Reyðarfirði, 2012, allar mælingar (10 mín).



Mynd 5. Vindrós mælistöð 4 Reyðarfirði, 2012, allar mælingar (10 mín).

Vindrós í Reyðarfirði er einkennandi fyrir innlögn og útlögn í firðinum, austan- og vestanáttir eru langalgengastar og ráðandi 75% af tímanum. Á myndum 2-5 hér ofar má sjá vindrósir frá öllum stöðvum, en meginrættir eru svipaðir þó vindáttir fylgi svolítið landslagi á hverjum stað. Sjá má jafnframt að hvassast og kaldast er í norðvestanáttum og hlýjast í suðaustanáttinni.

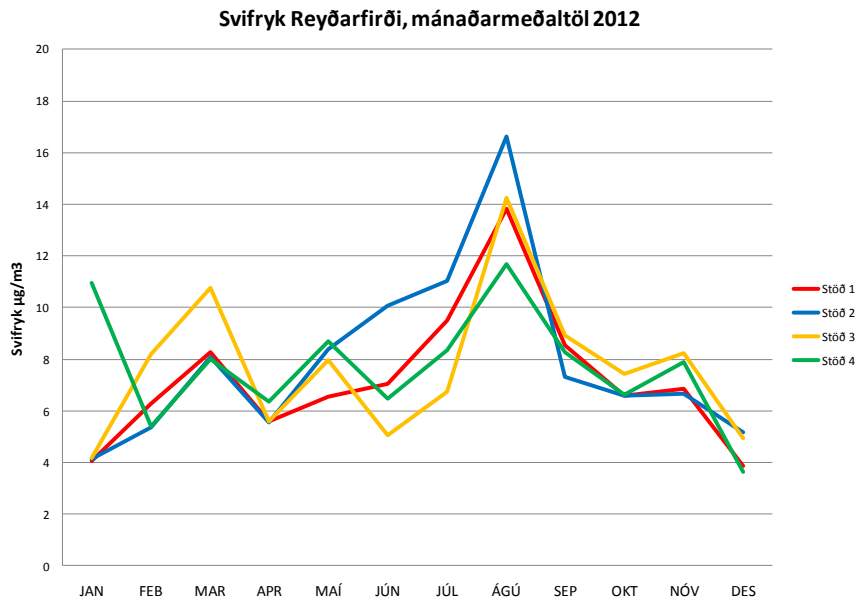
2.3.2 Svifryk, söfnun á síur (PM_{10} Hi-vol)

Svifryki er safnað á 6 daga fresti á síur, sólarhring í senn. Mælt mánaðarmeðaltal og fyrri ársmeðaltöl stöðvanna má sjá í töflu 1:

Tafla 1. Árs- og mánaðarmeðaltöl svifryks ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

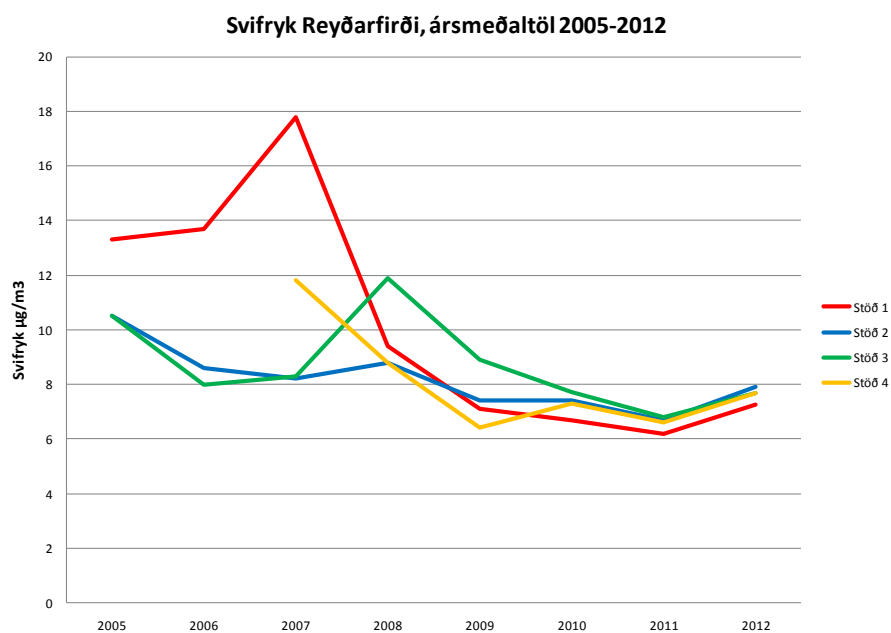
		Stöð 1	Stöð2	Stöð3	Stöð 4
Ár	2005	13,3	10,5	10,5	
	2006	13,7	8,6	8	
	2007	17,8	8,2	8,3	11,8
	2008	9,4	8,8	11,9	8,8
	2009	7,1	7,4	8,9	6,4
	2010	6,7	7,4	7,7	7,3
	2011	6,2	6,7	6,8	6,6
	2012	7,2	7,9	7,7	7,7
2012	JAN	4,0	4,1	4,2	11,0
	FEB	6,3	5,4	8,2	5,4
	MAR	8,3	8,1	10,8	8,0
	APR	5,6	5,6	5,6	6,4
	MAÍ	6,6	8,4	8,0	8,7
	JÚN	7,1	10,1	5,1	6,5
	JÚL	9,5	11,0	6,7	8,4
	ÁGÚ	13,8	16,6	14,2	11,7
	SEP	8,5	7,3	8,9	8,3
	OKT	6,6	6,6	7,4	6,6
	NÓV	6,9	6,6	8,2	7,9
	DES	3,9	5,2	5,0	3,6

Heildarmeðaltal svifryks mælist $7,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ og mælist fremur jafnt á öllum stöðvum. Rykið er ívið hærra seinnipart sumars en þá voru þurrviðri töluverð. Dagar þar sem svifryk fer yfir heilsuverndarmörk ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -dag) mælast aldrei á árinu.



Mynd 6. Svifryk, allar stöðvar 2012.

Svifryk hefur verið svipað í Reyðarfirði frá árinu 2009 eða á bilinu 6-9 µg/m³, en var nokkru hærra að meðaltali á miklu framkvæmdatímabili árin 2005-2008.



Mynd 7. Svifryk, ársmeðaltöl 2005-2012.

2.3.3 Brennisteinstvíoxíð í lofti

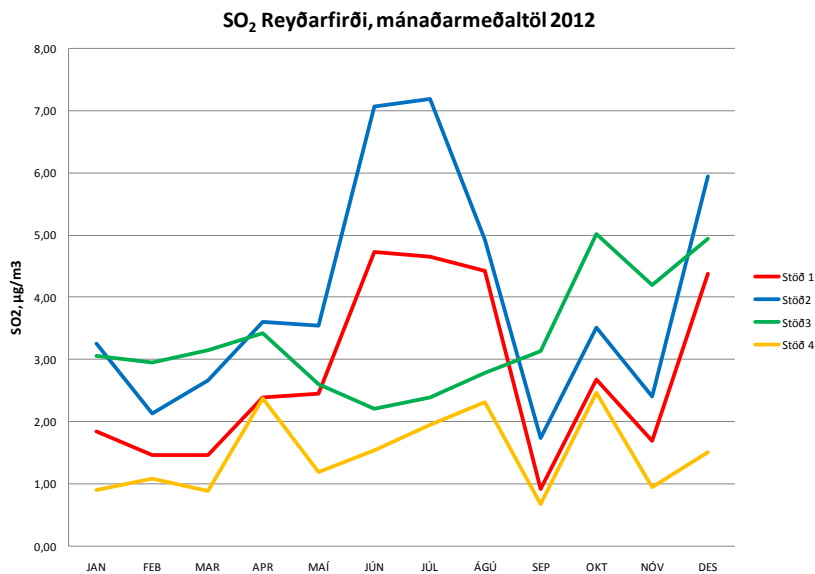
Árs- og mánaðarmeðaltöl á SO₂ í lofti má sjá í töflu 2 hér undir.

Tafla 2. Árs-og mánaðarmeðaltöl SO₂ í lofti í µg/m³.

		Stöð 1	Stöð 2	Stöð 3	Stöð 4
Ár	2005	0,32	0,23	0,33	
	2006	0,55	0,29	0,21	
	2007	0,89	2,49	1,32	0,31
	2008	2,06	2,99	2,22	0,91
	2009	2,18	3,29	2,72	1,32
	2010	3,50	4,85	4,02	2,09
	2011	2,36	2,36	2,93	1,04
	2012	2,73	4,03	3,32	1,49
2012	JAN	1,84	3,26	3,05	0,90
	FEB	1,45	2,14	2,95	1,09
	MAR	1,47	2,67	3,14	0,88
	APR	2,39	3,60	3,42	2,37
	MAÍ	2,45	3,55	2,60	1,19
	JÚN	4,74	7,07	2,20	1,54
	JÚL	4,66	7,19	2,38	1,95
	ÁGÚ	4,43	4,92	2,79	2,31
	SEP	0,92*	1,74	3,14	0,67
	OKT	2,68	3,52	5,02	2,47
	NÓV	1,69	2,41	4,20	0,95
	DES	4,38	5,95	4,94	1,51

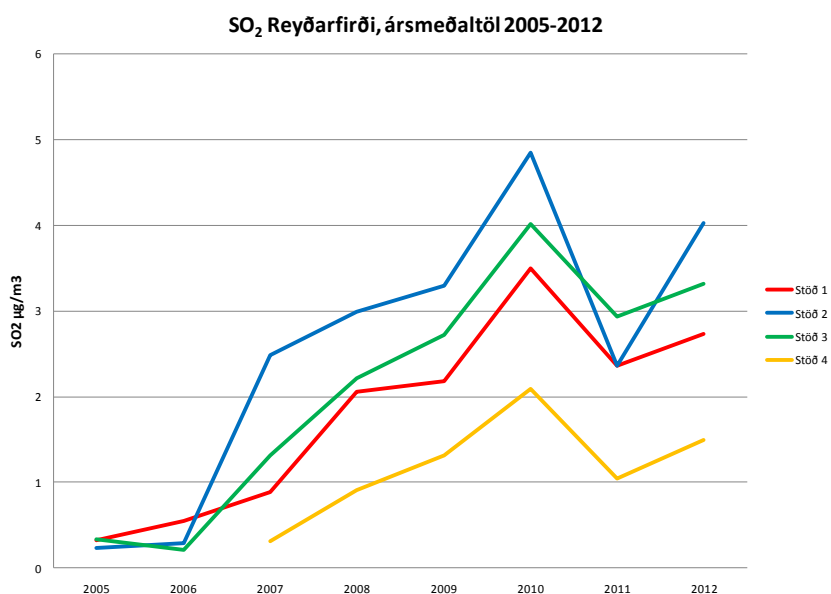
*Gildi áætlað ekki notað í meðaltali

Sjá má að meðaltal brennisteinstvíoxíðs fyrir 2005 er yfirleitt um 0,2-0,3 µg/m³ sem er eðlilegt fyrir lítið bæjarfélag eða sveit (Efnagreining, Nýsköpunarmiðstöð Íslands 2012).



Mynd 8. Brennisteinstvíoxíð, allar stöðvar 2012.

Meðaltal brennisteinstvíoxíðs er 2,9 µg/m³, sem er hærra en 2011 en lægra en 2010. Meginbreyta í áhrifum á meðaltal er vindstyrkur, en mældur styrkur brennisteinstvíoxíðs er yfirleitt í öfugu hlutfalli við vindstyrk og eru mæligildi jafnan hæst frá og með apríl og út ágúst þegar hægviðri eru algeng. Enginn dagur fer þó yfir gróðurverndarmörk (50 µg/m³), né klukkustund yfir heilsuverndarmörk (350 µg/m³); hæsta tíu mínútna meðaltal og mæligildi er 246 µg/m³ á stöð 2 þann 7. júlí. Hæstu klukkustundarmeðaltöl mælast 105,5 µg/m³ á stöð 2 sömuleiðis þann 7. júlí og svo aftur á sömu stöð 105,4 µg/m³ þann 17. júlí. Hæsta sólarhringsmeðaltal er 25,2 µg/m³ á stöð 1 þann 13 desember, en sá dagur mælist hár á flestum stöðvum.

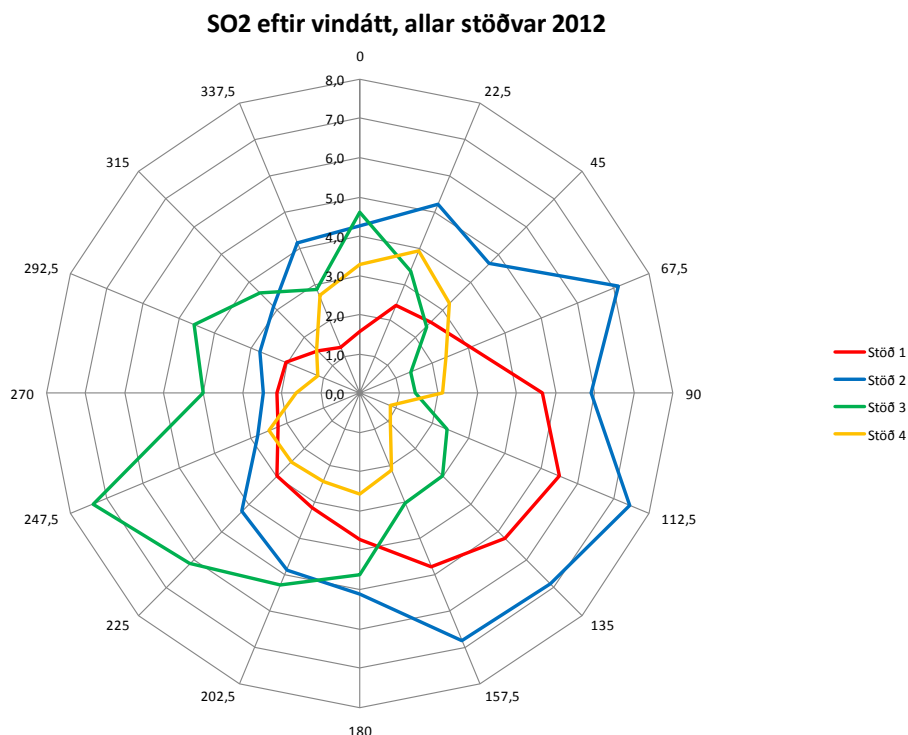


Mynd 9. Brennisteinstvíoxíð, ársmeðaltöl 2005-2012.

Ef metin er uppspretta þessarar mengunar út frá vindátt kemur fram að hæstu meðalgildi á stöð 1 og 2 fást í austanáttum. Hæstu meðalgildi á stöð 3 fást í

vestlægrí átt og hæstu gildi á stöð 4 í norðvestlægrí átt. Meginuppspretta brennisteinstvíoxíðsmengunar í Reyðarfirði nú er því álverið.

Á mynd 10 hér undir má sjá mæligildi brennisteinstvíoxíðs á öllum stöðvum sem fall af vindátt.



Mynd 10. Brennisteinstvíoxíð SO₂, sem fall af vindátt 2012, allar stöðvar.

2.3.4 Flúor í lofti

Mælingar á flúor í lofti sem gerð er grein fyrir eru gerðar með tvenns konar hætti:

Flúor gaskenndur og flúor í ryki í lofti er safnað með sýnatöku á síur og eru tekin 1 dags sýni (24 st. samfelld) og 5 daga sýni (12 mín. á hverri klst.) til skiptis.

Flúor í ryki í lofti er mældur í svifrykssíum; í einni slíkri síu í hverjum mánuði frá hverri stöð er mælt flúor í ryki, alls 48 mælingar árlega.

Áður var notast við sjálfvirka TessCom mæla. Reynslan af þeim mælingum hefur ekki verið góð, bilanir hafa verið tíðar og erfitt að greina hvort mjög há gildi tengist bilunum eða ekki. Vegna þessa hefur flúor í lofti verið mældur með söfnun á síur frá miðju ári 2011 og þær svo bornar saman við mælingar úr TessCom mælunum. Einungis er gerð grein fyrir niðurstöðum mælinga á flúor með söfnun á síur og í svifryki.

Flúor í lofti, söfnun á síur

Flúor í lofti hefur verið mældur með söfnun á síur frá miðju ári 2011. Þessi gerð mælingar er mjög áreiðanleg og hefur jafnan verið notuð héraendis til mælinga á flúor í lofti. Niðurstöður mælinga á flúor á síur sýnir allgóða fylgni við sjálfvirkar mælingar á brennisteinstvíoxíði, en við þeirri fylgni má búast þar sem stærsta mengunaruppsprettan er sú sama.

Meðaltal flúors alls í lofti mælist $0,12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ með þessum hætti, og flúor (gaskenndur, HF) $0,07 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Veruleg hækkun mælist á flúor yfir sumarmánuðina júní-ágúst á stöð 1 og 2, en stöð 3 er hærri að vori og síðla hausts (Tafla 3 og Mynd 11). Þetta fer saman við vindáttir í Reyðarfirði því innlögn vinds í Reyðarfirði er algengari á sumrum en útlögn á vor og haustmánuðum. Því mælist mengun hærri á sumrin frá álverinu á stöð 1 og 2 þar sem þær stöðvar standa innar í firðinum en álverið. Viðmiðunarmörk fyrir gaskenndan flúor eru $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ meðaltal á tímabilinu apríl-september utan þynningarsvæðis og flúor (HF) fer hvergi yfir þau mörk. Það gerist einu sinni á stöð 2 í júlí að stakt mánaðarmeðaltal er hærra en $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ og sú stöð er innan þynningarsvæðis.

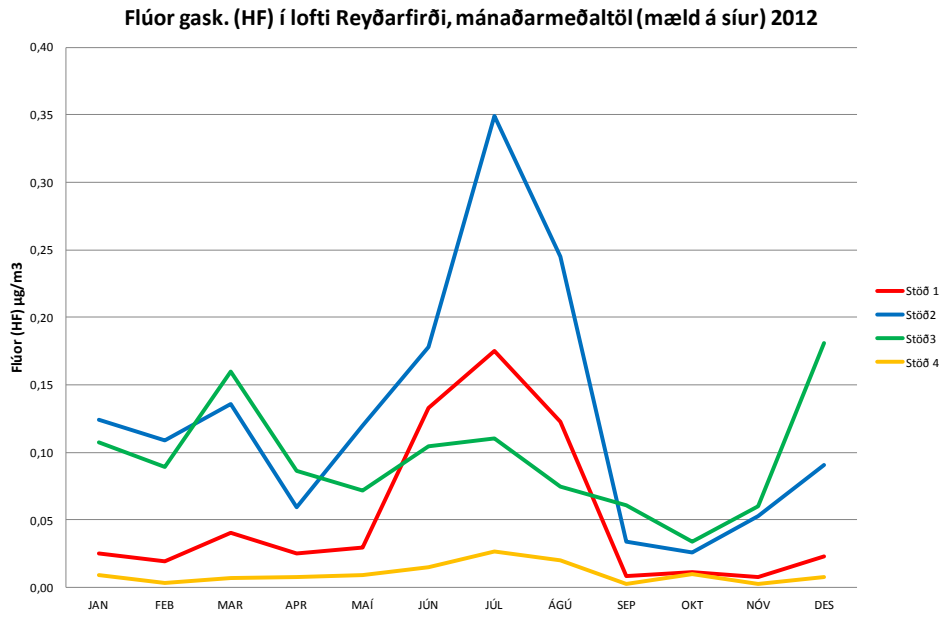
Tafla 3. Árs- og mánaðarmeðaltöl flúors í lofti* í $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (mæl. á síur).

Ár**	Stöð 1	Stöð 2	Stöð 3	Stöð 4
Flúor gas				
2011	0,04	0,08	0,08	0,01
2012	0,05	0,13	0,09	0,01
Flúor ryk				
2011	0,03	0,07	0,08	0,02
2012	0,04	0,07	0,06	0,02
Flúor alls				
2011	0,07	0,15	0,16	0,03
2012	0,09	0,19	0,16	0,03
Flúor gas 2012				
JAN	0,02	0,12	0,11	0,01
FEB	0,02	0,11	0,09	0,00
MAR	0,04	0,14	0,16	0,01
APR	0,02	0,06	0,09	0,01
MAÍ	0,03	0,12	0,07	0,01
JÚN	0,13	0,18	0,10	0,01
JÚL	0,18	0,35	0,11	0,03
ÁGÚ	0,12	0,25	0,07	0,02
SEP	0,01	0,03	0,06	0,00
OKT	0,01	0,03	0,03	0,01
NÓV	0,01	0,05	0,06	0,00
DES	0,02	0,09	0,18	0,01

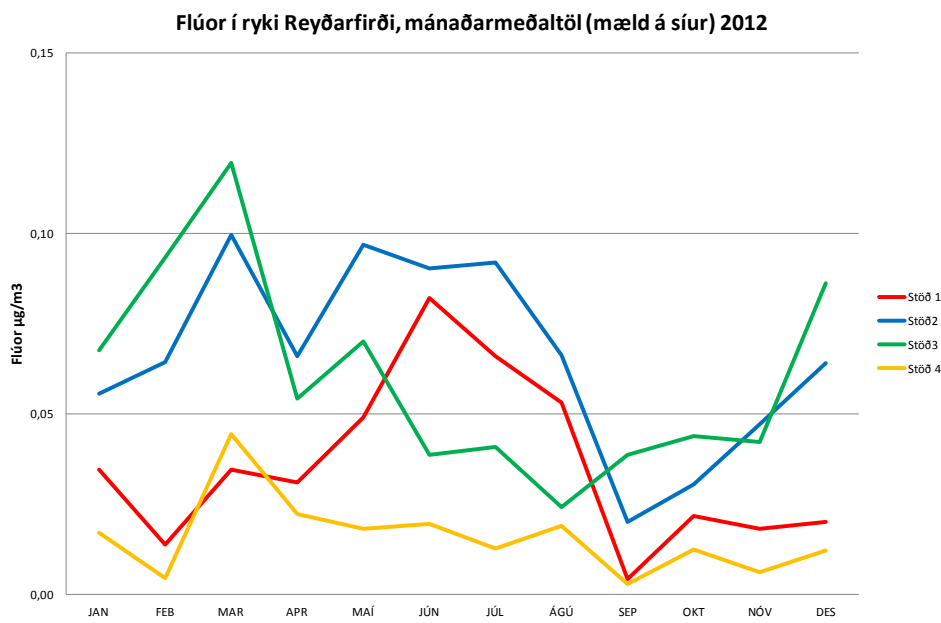
Ár**	Stöð 1	Stöð 2	Stöð 3	Stöð 4
Flúor ryk 2012				
JAN	0,03	0,06	0,07	0,02
FEB	0,01	0,06	0,09	0,00
MAR	0,03	0,10	0,12	0,04
APR	0,03	0,07	0,05	0,02
MAÍ	0,05	0,10	0,07	0,02
JÚN	0,08	0,09	0,04	0,02
JÚL	0,07	0,09	0,04	0,01
ÁGÚ	0,05	0,07	0,02	0,02
SEP	0,00	0,02	0,04	0,00
OKT	0,02	0,03	0,04	0,01
NÓV	0,02	0,05	0,04	0,01
DES	0,02	0,06	0,09	0,01
Flúor alls 2012				
JAN	0,06	0,18	0,17	0,03
FEB	0,04	0,17	0,18	0,01
MAR	0,07	0,23	0,28	0,05
APR	0,06	0,13	0,14	0,03
MAÍ	0,08	0,22	0,14	0,03
JÚN	0,21	0,27	0,15	0,04
JÚL	0,24	0,44	0,15	0,04
ÁGÚ	0,16	0,34	0,11	0,04
SEP	0,02	0,06	0,10	0,02
OKT	0,03	0,05	0,08	0,02
NÓV	0,03	0,10	0,10	0,01
DES	0,04	0,14	0,27	0,02

*Gögn heilla mánaða ekki alltaf fyrirliggjandi

**Meðaltal mælinga nær frá júní 2011



Mynd 11. Gaskennt flúor (HF) í lofti, allar stöðvar, 2012 (mælingar á síur).



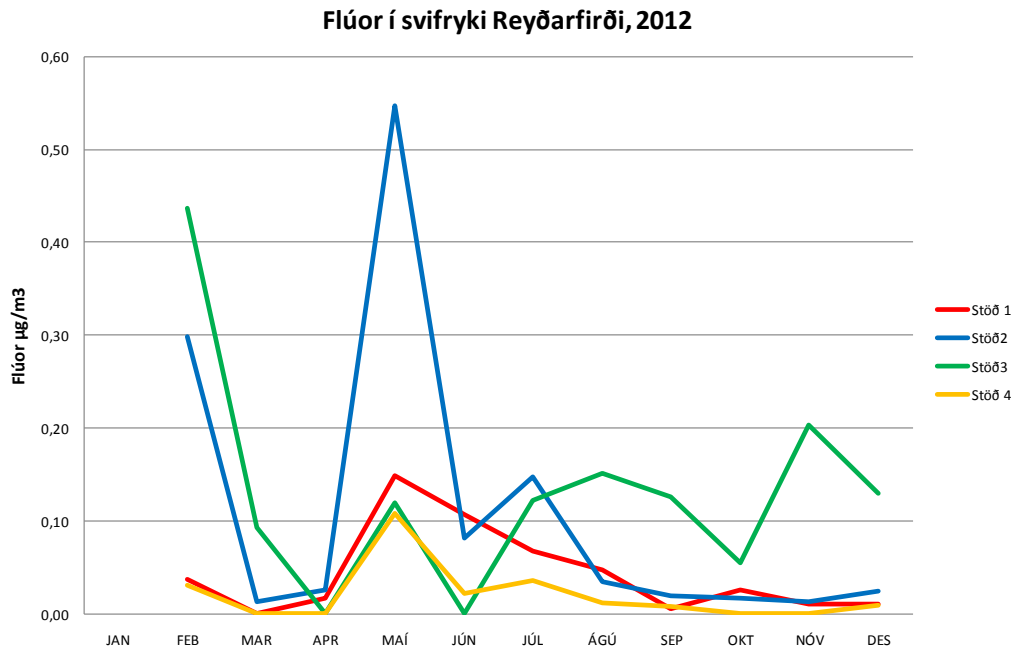
Mynd 12. Flúor rykkendur í lofti, allar stöðvar, 2012 (mælingar á síur).

Flúor í svifryki

Flúor í ryki í lofti er mældur í svifrykssíum, en svifryki er safnað á 6 daga fresti á síur. Í einni slíkri síu í hverjum mánuði frá hverri stöð er mælt flúoríð í ryki, alls 48 mælingar árlega. Niðurstöðu þessara mælinga má sjá í töflu 4 hér að neðan:

Tafla 4. Ársmeðaltöl og mæligildi rykkennds flúors í lofti í $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Ár/Mán.	Stöð 1	Stöð 2	Stöð 3	Stöð 4	
2006	≤ 0,01	≤ 0,01	≤ 0,01	≤ 0,01	
2007	≤ 0,01	0,02	0,02	≤ 0,01	
2008	0,04	0,10	0,09	0,02	
2009	0,05	0,09	0,08	0,04	
2010	0,04	0,11	0,08	0,04	
2011	0,03	0,08	0,07	0,02	
2012	0,04	0,11	0,13	0,02	
2012	JAN	ES	ES	ES	ES
FEB	0,04	0,30	0,44	0,03	
MAR	<0,01	0,01	0,09	<0,01	
APR	0,02	0,03	<0,01	<0,01	
MAÍ	0,15	0,55	0,12	0,11	
JÚN	0,11	0,08	<0,02	0,02	
JÚL	0,07	0,15	0,12	0,04	
ÁGÚ	0,05	0,03	0,15	0,01	
SEP	0,01	0,02	0,13	0,01	
OKT	0,03	0,02	0,05	<0,002	
NÓV	0,01	0,01	0,20	<0,006	
DES	0,01	0,02	0,13	0,01	



Mynd 13. Flúor í svifryki, allar stöðvar 2012.

Sjá má að meðaltöl eru svipuð og fyrri ár nema á stöð 3, þar sem nokkur hækkun verður (Tafla 4). Ekki er ástæða til að leggja mikið upp úr þeirri hækkun, hér er einungis um að ræða einn dag í hverjum mánuði.

2.3.5 Fjölhringa arómatísk vetniskolefni (PAH)

Fjölhringa arómatísk vetniskolefni í lofti eru mæld í svifrykssýnum með svipuðu fyrirkomulagi og rykkenndur flúor, þ.e. í svifrykssíum sem safnað er á 6 daga fresti. Í einni slíkri síu í hverjum mánuði frá hverri stöð eru mæld PAH í ryki, alls 48 mælingar árlega. Mældur var svokallaður PAH18 iðnaðarstaðall (OSPAR/ParComm) árið 2012 (Ospar Commission 2001) og fram til 2009 en PAH16 (EPA PAH16) 2009-2011. Munur á þessu tvönnu er óverulegur í mati á heildarmeðaltali.

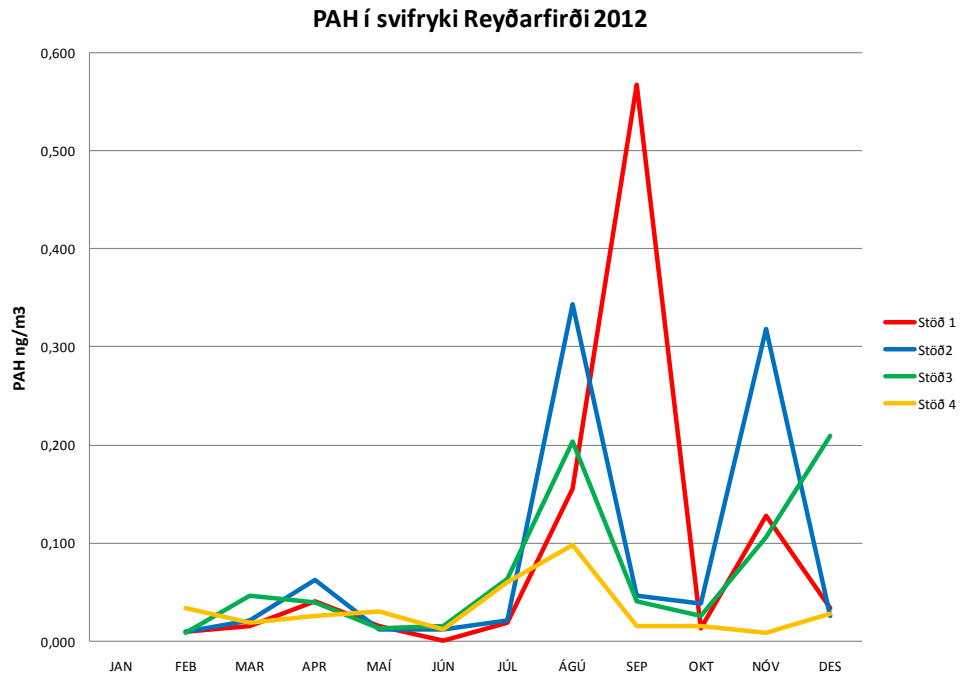
Lækkun verður á þessu ári miðað við árið 2011 (Mynd 15, bls. 26). Þessi efni greinast í litlum mæli og mælast um $0,07 \text{ ng/m}^3$ á árinu 2012 að heildarmeðaltali en mældust $0,11 \text{ ng/m}^3$ á árinu 2011 (Tafla 5). Í ár mælist stöð 4 lægst en stöðvar 1-3 eilítið hærri. Oft hafa stöð 1 og 4 fylgst að og verið svolítið hærri en stöðvar 2 og 3, en stöð 1 og 4 standa nær vegum og umferð en stöðvar 2 og 3.

Tafla 5. Árs- og mánaðarmeðaltöl dagsmælinga rykkennds PAH í lofti í ng/m³

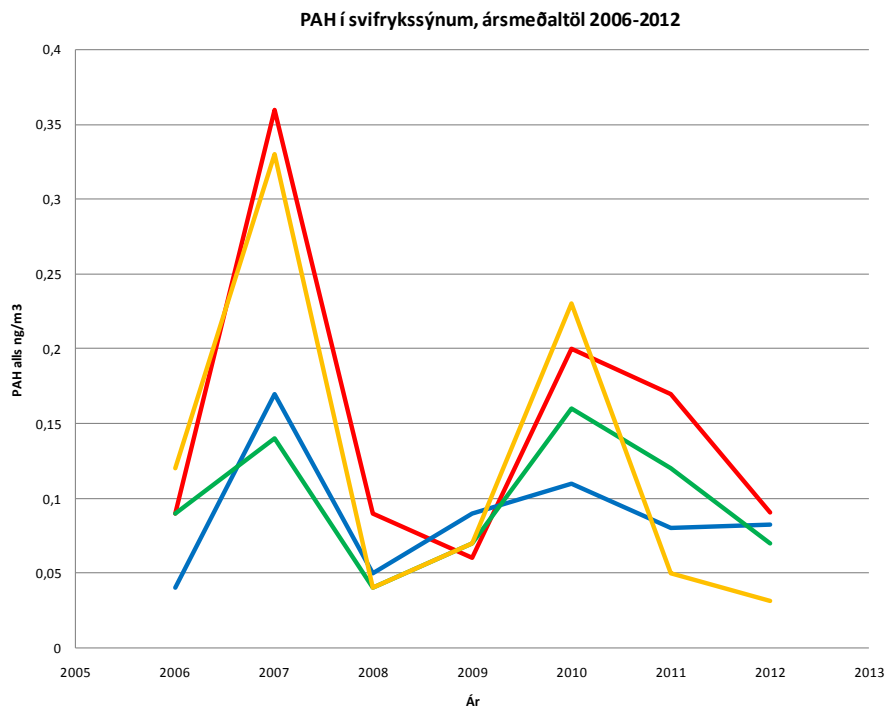
Ár/Mán.	Stöð 1	Stöð 2	Stöð 3	Stöð 4
2006	0,09	0,04	0,09	0,12
2007	0,36	0,17	0,14	0,33
2008	0,09	0,05	0,04	0,04
2009	0,06	0,09	0,07	0,07
2010	0,20	0,11	0,16	0,23
2011	0,17	0,08	0,12	0,05
2012	0,09	0,08	0,07	0,03
2012	JAN	ES	ES	ES
	FEB	0,010	0,009	0,01
	MAR	0,015	0,021	0,05
	APR	0,041	0,062	0,04
	MAÍ	0,015	0,012	0,01
	JÚN	0,000	0,011	0,01
	JÚL	0,018	0,021	0,06
	ÁGÚ	0,155	0,344	0,20
	SEP	0,568	0,046	0,04
	OKT	0,013	0,038	0,03
	NÓV	0,127	0,319	0,11
	DES	0,033	0,026	0,21

Mæligildi eru mjög lág framan af ári, en mun hærra seinni hluta ársins án þess að geta talist há. Ekki er skýring á þessum mun eftir árstíma (Mynd 14).

Umhverfismörk fyrir bensó[a]pýren (BaP) eru 1 ng/m³ (Reglugerð nr. 410/2008). Mæld BaP gildi í ár eru vel undir þeim mörkum. Yfirleitt greinist BaP ekki, en greinist þó í 5 síum af 44 og reiknast hæst þann 13. september á stöð 1 eða 0,04 ng/m³, annars staðar eru gildin undir 0,004 ng/m³. Af öðrum PAH efnum tilteknum í reglugerðinni, þ.e. benzó[a]antrasen, benzó[b]flúoranten, benzó[j]flúoranten, benzó[k]flúoranten, indenó[1,2,3-cd]pýren og díbenz[a,h]antrasen mælist einnig lítið, hæsta gildið er 0,17 ng/m³ á stöð 1 þann 13. september og jafnhátt gildi á stöð 2 þann 12. nóvember af benzó[b]flúoranten og benzó[j]flúoranten (mæld saman sem summa).



Mynd 14. PAH18 í svifryki, allar stöðvar 2012.



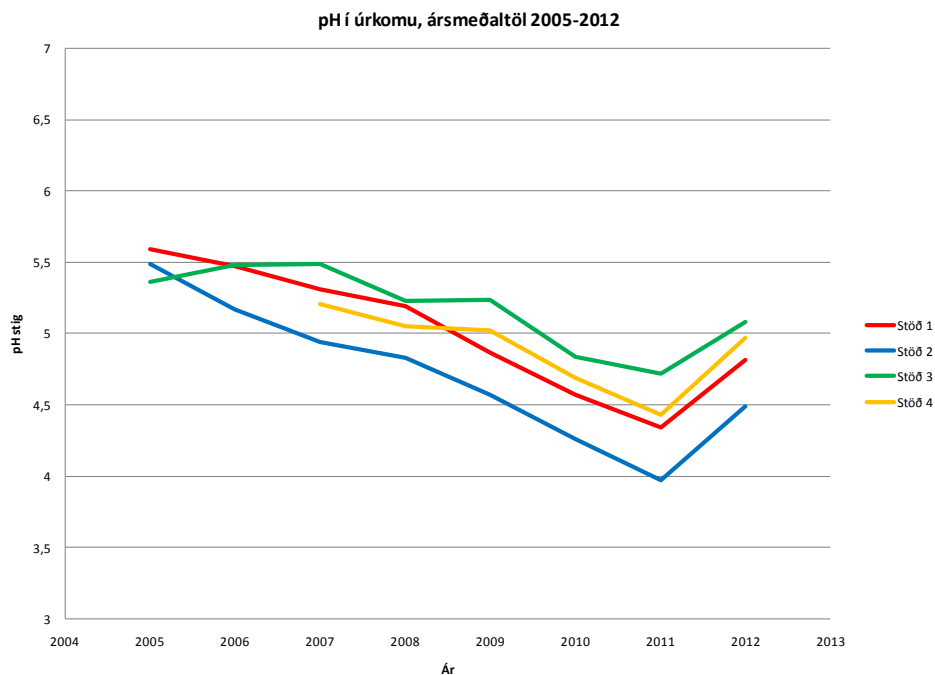
Mynd 15. PAH18 í svifryki, ársmeðaltöl 2006-2012.

2.3.6 Efnainnihald í úrkomu

Meðaltöl áranna 2005-2012 fyrir pH og SO₄-S í úrkomu má sjá í töflu 6.

Tafla 6. Efnainnihald í úrkomu, ársmeðaltöl í mg/L (F, SO₄-S) og einingalaust (pH)

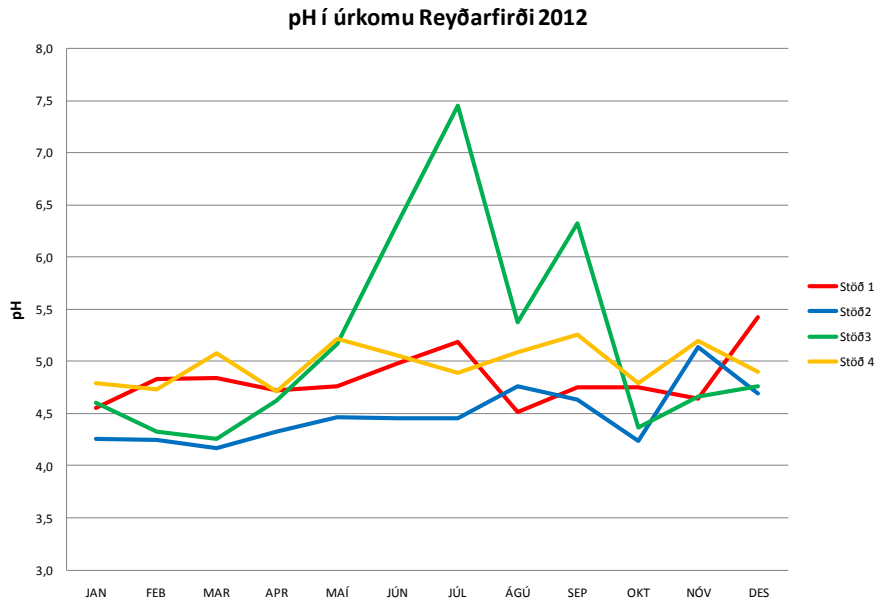
Ár/Mán.	Stöð 1	Stöð 2	Stöð 3	Stöð 4
pH gildi				
2005	5,59	5,49	5,36	
2006	5,47	5,17	5,48	
2007	5,31	4,94	5,49	5,21
2008	5,19	4,83	5,23	5,05
2009	4,87	4,57	5,24	5,02
2010	4,57	4,26	4,84	4,69
2011	4,34	3,97	4,72	4,43
2012	4,82	4,49	5,08	4,97
Súlfat-S				
2006	0,39	0,41	0,43	0,39
2007	0,43	0,45	1,89	0,49
2008	0,59	0,72	0,71	0,78
2009	0,54	0,64	0,59	0,45
2010	0,84	0,91	0,76	0,50
2011	0,67	1,22	0,59	0,50
2012	1,18	1,17	0,91	0,45



Mynd 16. Sýrustig (pH) í úrkomu, allar stöðvar meðaltöl 2005-2012

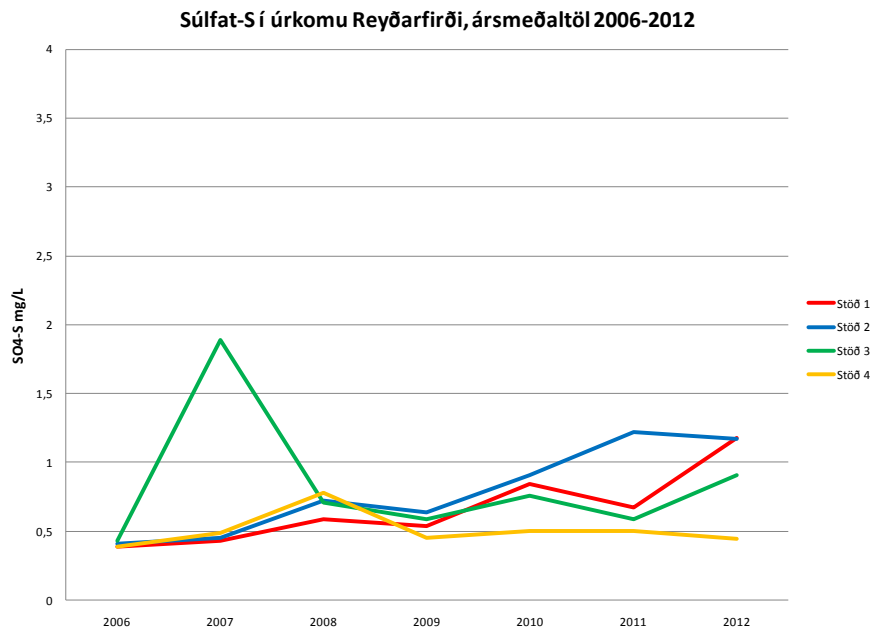
Í ár virðist að frekari lækkun á pH stigi í úrkomu hafi ekki átt sér stað, heldur hækkar það nokkuð (Mynd 16). Nokkur súrnun í úrkomu hefur átt sér stað á síðustu árum og raunar verið viðvarandi frá upphafi rekstrar álversins. Það er líklegt að þetta tengist auknum styrk brennisteinstvíoxíðs og koltvíoxíðs. Breytingarnar eru nokkuð skýrar og súrnunin hafði numið um 1-1,5 pH stigi frá upphafi, en hækkar svolítið 2012 eða um 0,5 pH stig.

Sýrustig er fremur stöðugt á flestum stöðvum nema stöð 3 en þar hækkar það verulega í júlí og september (Mynd 17). Hækkunina á stöð 3 má að líkindum rekja til úrkomu sem fellur í austanáttum (norðaustan til suðaustan). Sú úrkoma er tiltölulega ómenguð. Úrkoma sem fellur á hinar stöðvarnar er líklegri til að hafa blandast menguðu lofti sem gera hana súrari vegna áhrifa CO₂ og SO₂ í útblæstri.

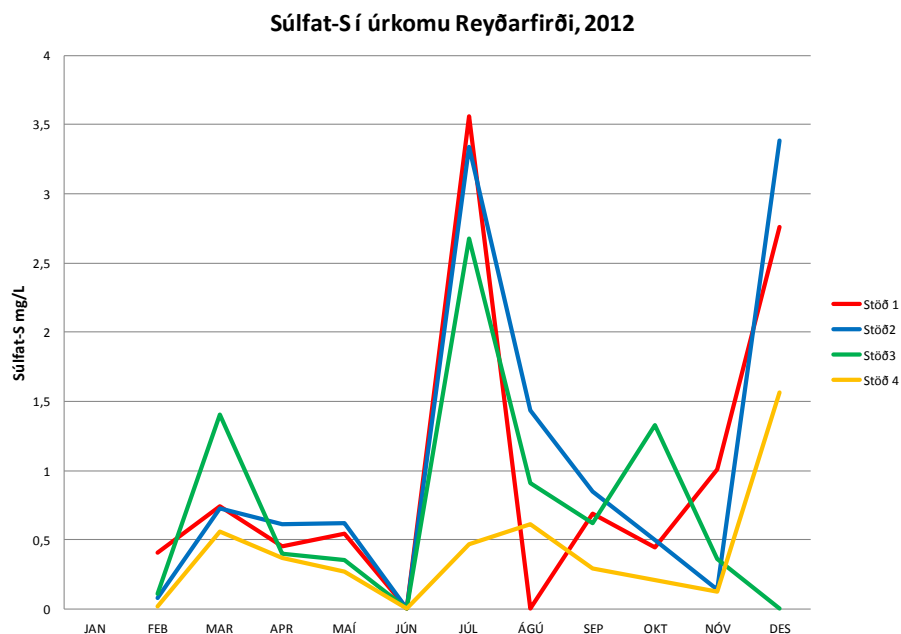


Mynd 17. Sýrustig (pH) í úrkomu, mánaðarmeðaltöl allar stöðvar 2012.

Brennisteinn í úrkomu hækka svoltið að meðaltali árið 2012 (Mynd 18 og Mynd 19). Mæligildi á stöð 2 og 4 lækka lítillega en hækka meira en því nemur á stöð 1 og 3. Sæmileg fylgni er milli mælds brennisteinstvíoxíðs í lofti og brennisteins í úrkomu og eru mæligildi hærri í hægu veðri yfir sumarið og einnig undir lok ársins.



Mynd 18. Súlfat-S í úrkomu, ársmeðaltöl 2006-2012.



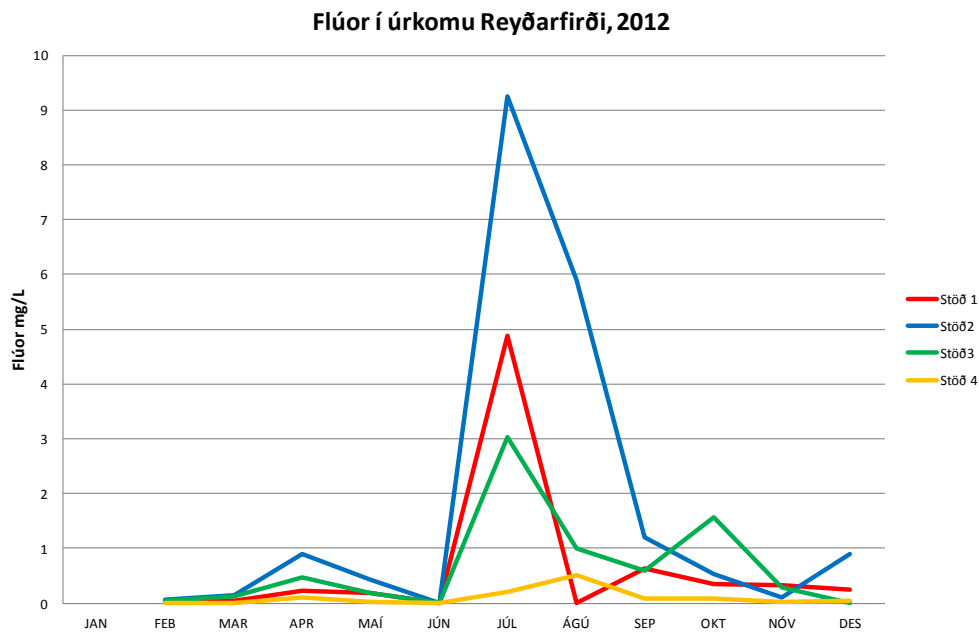
Mynd 19. Súlfat-S í úrkomu, allar stöðvar 2012.

Flúorgildi í úrkomu hækka verulega að meðaltali milli ára. Tveir mánuðir, júní og ágúst mælast sérstaklega háir, en engar úrkomu varð vart í júlí. Víst er að ástæða hækkunar á þessu tímabili er bilun í þurrhreinivirki Fjarðaáls. Fjögur mæligildi valda þessari hækkun, mælingar á stöð 1-3 í júní og mæling á stöð 2 í ágúst. Það má reyndar búast við hækkun yfir sumartímann, sem má að mestu leyti rekja til hægviðris, en þessi gildi eru töluvert umfram það. Að öðru leyti eru flúorgildi í úrkomu eðlileg (Tafla 7, Mynd 20 og Mynd 21).

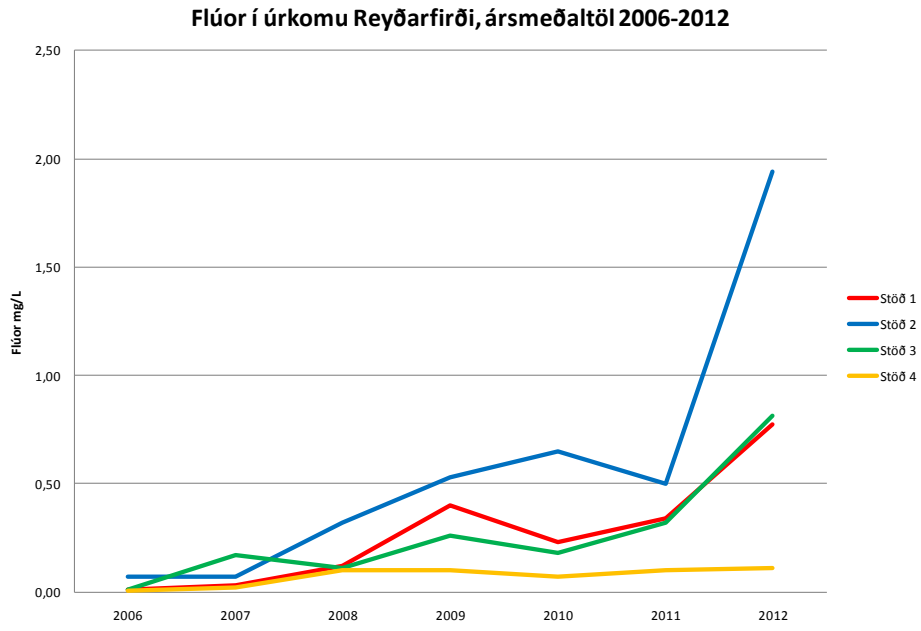
Tafla 7. Árs og mánaðarmeðaltöl flúors í úrkomu (vikusýni) í mg/L

Ár/Mán.	Stöð 1	Stöð 2	Stöð 3	Stöð 4
2006	0,01	0,07	0,01	0,00
2007	0,03	0,07	0,17	0,02
2008	0,12	0,32	0,11	0,10
2009	0,40	0,53	0,26	0,10
2010	0,23	0,65	0,18	0,07
2011	0,34	0,50	0,32	0,10
2012	0,77	1,94	0,81	0,11
2012 JAN	ES	ES	ES	ES
FEB	0,05	0,06	0,04	0,01
MAR	0,04	0,15	0,12	0,01
APR	0,24	0,89	0,48	0,11
MAÍ	0,18	0,43	0,19	0,03
JÚN	ES	ES	ES	ES

Ár/Mán.	Stöð 1	Stöð 2	Stöð 3	Stöð 4
JÚL	4,88	9,24	3,04	0,21
ÁGÚ	ES	5,90	1,00	0,50
SEP	0,63	1,20	0,59	0,08
OKT	0,36	0,52	1,57	0,09
NÓV	0,33	0,10	0,30	0,02
DES	0,25	0,89	ES	0,04



Mynd 20. Flúor í úrkomu, allar stöðvar 2012.



Mynd 21. Flúor í úrkomu, ársmeðaltöl 2006-2012.

3 Gróður

3.1 Inngangur

3.1.1 Flúor og gróður

Í þeim rannsóknum sem hér verður gerð grein fyrir er lögð áhersla á að mæla flúor í gróðri en það er talið vera ein skaðlegasta lofttegundin frá álverum fyrir gróður og búfenað (Weinstein 1983).

Dreifing og þynning flúors er háð veðurfari og landslagi hverju sinni. Hvass vindur getur aukið þynningu loftborins flúors hratt á meðan sólríkir og lygnir dagar geta valdið því að plöntur verða fyrir miklum staðbundnum mengunaráhrifum í skamman tíma (Weinstein og Davison 2004). Dreifing flúors er misjöfn eftir því hvort um flatlendi, dali eða firði er að ræða. Flúor sem berst út í andrúmsloftið í dölum og fjörðum getur borist lengra heldur en ef um flatlendi er að ræða (Ongstat o.fl. 1994).

Plöntur verða fyrir breytilegu magni flúors í tíma og rúmi. Flúor (á formi gass og ryks) sest á yfirborð gróðurs í umhverfinu. Það veldur alla jafna ekki eituráhrifum í plöntum fyrr en það berst til innri vefja plöntunnar í gegnum loftaugu á laufblöðum sem stjórna loftskiptum. Inni í plöntunni leysist flúorið upp í vatni og ferðast með því að jöðrum laufblaðanna og safnast þar fyrir. Þetta veldur miklum breytileika í styrk flúors innan eins laufblaðs og skýrir sýnileg einkenni flúorskemmda í gróðri (Weinstein og Davison 2004).

Uptaka flúors er háð því hversu stór loftgötin eru og hversu mikið þau eru opin. Loftgötin opnast og lokast við breytingar á dagsbirtu, hita- og rakastigi. Veðurfari getur því haft mikil áhrif á hversu mikið magn flúors berst inn í plöntur. Þá er breytilegt eftir tegundum hversu stór götin eru og hvernig þau opnast. Ólíkar tegundir geta því vaxið á sama stað og ein sýnt mikil einkenni flúorskemmda á meðan önnur sýnir engin einkenni (Weinstein og Davison 2004).

Einstaka tegundir eru viðkvæmar fyrir flúor. Til dæmis er það þekkt erlendis að ýmsar furutegundir eru viðkvæmar. Mjög 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 og 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 getur frostþol plantna minnkað á menguðum svæðum vegna breytinga í vaxtaferli sem leiðir til gróðurskemmda á birki og reyni við uppsöfnun 100 µg/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 þekkta er líklegast te. En algengar tegundir tes innihalda frá 70-350 µg/g í þurrvig. Íslenskur rabarbari virðist líka taka upp flúor úr jarðvegi og safnast hann fyrir í blöðum (Davison & Weinstein 2006).

Styrkur flúors í blöðum virðist aukast eftir því sem líður á vaxtartíma plöntunnar. Þegar haustar visna lafin. Við það flyst flúor í jarðveginn þar sem það binst áli og kalsíum (Weinstein og Davison 2004).

Styrkur flúors í gróðri vegna upptöku frá jarðvegi og ryki í ómenguðu umhverfi er minni en 5 µg/g af flúor í þurrvigti fyrir flestar tegundir. Einhverjar tegundir, hlutfallslega fáar þó, mælast með bakgrunnsgildi allt að 20 µg/g flúor í þurrvigti (Weinstein og Davison 2004, Náttúrustofa Austurlands 2005).

Þó að styrkur flúors í andrúmslofti og í blöðum plantna sé hár þá innihalda ávextir, fræ og rætur mjög lág gildi flúors (Weinstein og Davison 2004). Niðurstöður rannsókna í Reyðarfirði undanfarin ár styðja það þar sem styrkur flúors í bláberjalyngi og laufum rabarbara hefur mælst hár, en styrkur flúors í berjum og stilkum er alla jafna minni en 5 µg/g (Náttúrustofa Austurlands 2012, 2011, 2010 og 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 og Håbjorg 1995). Þar af leiðandi getur styrkur flúors í gróðri mælst lægri eftir rigningu. Í Viðauka 6 eru veðurfarslegir þættir og tími sýnasöfnunar sumarið 2012.

Flúor binst fljótt við önnur efnasambönd í grassverðinum þannig að það safnast ekki upp í blöðum. Almennt séð má segja að styrkur flúors í grasi endurspeglir veðurfar og magn loftborins flúors dagana á undan sýnatöku á grasi. Þess vegna er mikilvægt að safna grassýnum oftast en t.d. furunálum og öðrum gróðursýnum (Weinstein og Davison 2004, Franzaring, Klumpp og Fangmeier 2007).

3.1.2 Viðmiðunarmörk flúors í fóðri fyrir búfé

Flúor veldur eitrun í búfénaði ef það fer yfir ákveðin mörk en fræðimenn eru ekki á eitt sammála um hvað séu æskileg viðmiðunarmörk flúors í fóðri fyrir einstakar dýrategundir. En þó er vitað að hættan á flúoreitrun er breytileg eftir aldri, tegund dýra og ástandi þeirra (Sigurður Sigurðarson, ekkert ártal, Weinstein og Davison 2004).

Á Íslandi er í gildi reglugerð sem segir til um hámarksgildi flúors í heilfóðri fyrir búfénað miðað við 12 % rakainnihald. Hámarksgildi heilfóðurs fyrir jörturdýr þ.e. kýr, ær og geitfé eru 50 µgF/g en 30 µgF/g ef dýrin eru mjólkandi (Reglugerð nr. 340/2001). Ekki er minnst sérstaklega á hross í þessari reglugerð og falla þau undir flokk dýra sem eru talin þola 150 µg/g en ekki er talað um nein tímamörk í þeirri reglugerð. Viðmiðunarmörk heilfóðurs fyrir hross eru af mörgum talin vera mun lægri en það, eða frá 40-60 µg/g (t.d. Chris Livesey og Jo Payne 2011, European food safety authority 2010, National research council 2005, Ongstat o.fl. 1994).

Staðlar í Bandaríkjunum miða við eftirfarandi styrk flúors í fóðri til að vernda alla grasbíta fyrir flúoreitrun (Weinstein og Davison 2004):

- 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 Efnagreiningar á gróðri

Sýnataka á gróðri og fjöldi sýna var með sama hætti og árið 2011 (Mynd 1, bls. 11). 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). Rabarbari, kartöflur og grænmeti var skolað fyrir efnagreiningu. Annar gróður var ekki skolaður. Niðurstöður efnagreininga á grasi og rabarbara eru sýndar sem meðaltal sex mælinga \pm staðalskekkja (SE). Um eina sýnatöku og mælingu er að ræða af öðrum gróðri.

Lögð var áhersla á að bera saman niðurstöður mælinga ársins 2012 við niðurstöður ársins 2011. Ítarlegan tölfræðilegan samanburð á gildum flúors í gróðri í Reyðarfirði frá grunnrannsóknnum árið 2004 fram til ársins 2009 er að finna í skýrslu Náttúrustofu Austurlands (2010), en þar er tekið tillit til fjarlægðar frá álveri og staðsetninga sýnatökustaða. Í Viðauka 6 eru veðurfarslegir þættir og tími sýnasöfnunar sumarið 2012.

Parað t-próf (e. Paired t-test) var notað til þess að greina hvort tölfræðilega marktækur munur væri á styrk flúors í gróðri milli áronna 2011 og 2012. Kannað var hvort gögn voru normaldreifð og var logra beitt á þau gögn sem ekki höfðu normaldreifingu. Á þau gögn sem ekki höfðu normaldreifingu þrátt fyrir umbreytingu með lógarithma var óparametrísku prófi beitt.

Við kortlagningu á dreifingu styrks flúors í grasi var meðaltalsgildum skipt í fjóra flokka til að gera betur grein fyrir mögulegum áhrifum á grasbíta:

- <20 $\mu\text{g/g}$ flúor. Bakgrunnsgildi. Engin hætta fyrir grasbíta.
- $20\text{--}39$ $\mu\text{g/g}$ flúor. Hækkuð gildi. Möguleg hætta fyrir grasbíta, einkum mjólkandi ær og kýr.
- $40\text{--}60$ $\mu\text{g/g}$ flúor. Nokkur hætta fyrir unga grasbíta með tennur í örum vexti, sérstaklega ef þessi gildi eru líka meðaltalsgildi fyrir vetrarfóður.
- >60 $\mu\text{g/g}$ flúor. Talsverð hætta fyrir bæði unga grasbíta og eldri, sér í lagi ef sambærileg gildi mælast einnig í vetrarfóðri.

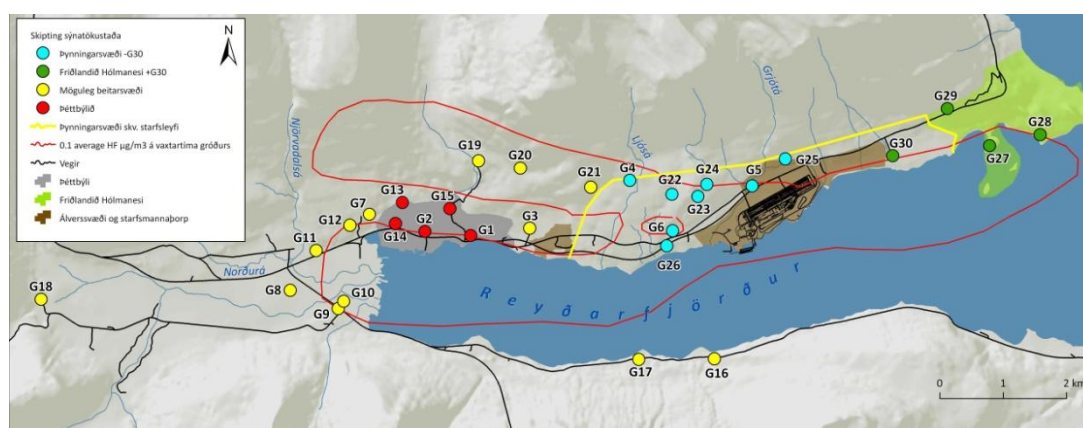
Þessi flokkun var einnig notuð við kortlagningu á styrk flúors í öðrum gróðri.

3.2.1 Gras

Grasi var safnað á 30 sýnatökustöðum, hálfsmánaðarlega frá júní til ágúst. Alls var 180 sýnum safnað í sex söfnunarferðum¹.

Sýnatökustöðum á grasi var skipt í fjögur svæði til að fá betri mynd af ólíkum styrk flúors eftir svæðum, samtals 13 sýnatökustaðir (Mynd 22 og Mynd 24):

1. Innan opinbers þynningarsvæðis skv. starfsleyfi að undanskildum sýnatökustað G30. Samtals 8 sýnatökustaðir.
2. Friðlandið og fólkvangurinn í Hólmanesi auk sýnatökustaðar G30², samtals 4 sýnatökustaðir
3. Bærinn, samtals 5 sýnatökustaðir
4. Möguleg beitarsvæði og tún samtals 13 sýnatökustaðir.



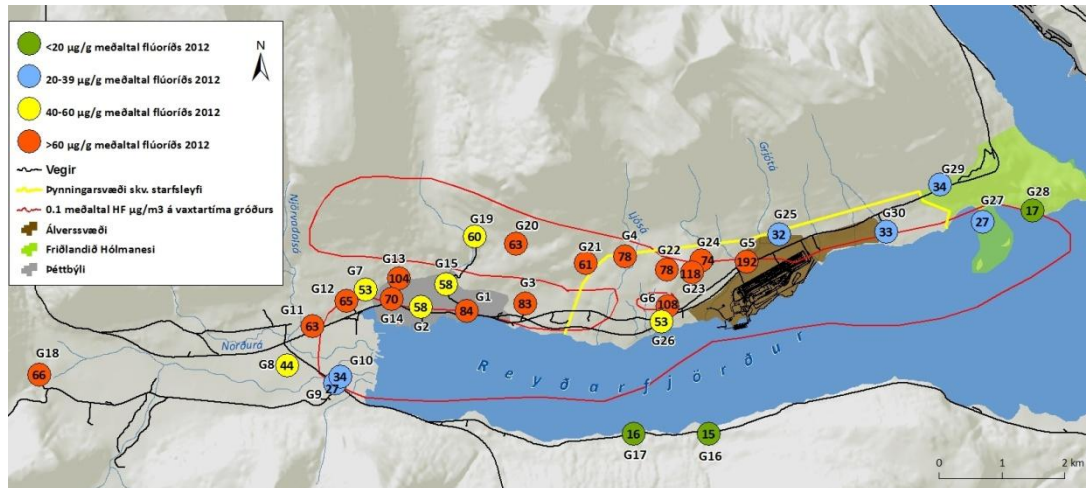
Mynd 22. Sýnatökustaðir grass og skipting eftir svæðum (©Landmælingar Íslands, leyfi nr. L05040009).

Meðalstyrkur flúors í grasi yfir þriggja mánaða tímabil mældist frá 15-192 µg/g. Sé nána rýnt í dreifingu flúors má sjá að flúor dreifðist undan ríkjandi vindátt sem var úr austri sumarið 2012 (Mynd 23). Sýnatökustaðir sunnan og austan álvers mældust með mun lægri styrk flúors en í sýnum sem tekin voru vestan álvers. Styrkurinn var hæstur næst álverinu og vestan við það. Þó mældust há meðaltalsgildi grass í botni fjarðarinnar við Áreyjar eða 66 µg/g sem er um 12 kílómetra frá álverinu. Það gæti skýrst af landslagi þar sem söfnunarstaðurinn er undir háum tindi. Vindurinn blæs úr austri inn fjörðinn en kemur að fyrirstöðu við Áreyjatind.

Styrkur flúors í grasi lækkaði marktækt með vaxandi fjarlægð frá álveri í vestur í júlí og ágúst (júlí 1, P= 0,024; júlí 2, P=0,03; ágúst 1, P=0,044 og ágúst 2 P=0,001) en ekki í júní (júní 1, P=0,095 og júní 2, P= 0,060).

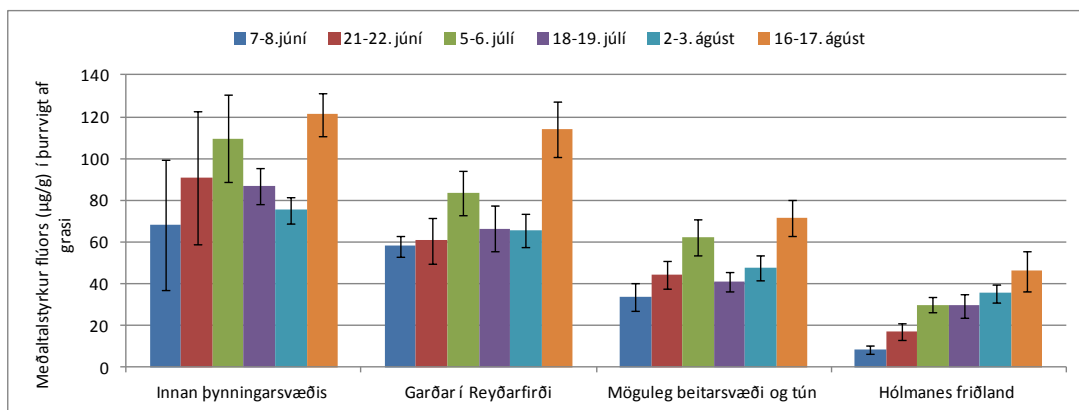
¹ Dagana 7., 8., 21., og 22. júní, 5., 6., 18 og 19. júlí og 2., 3., 16., og 17. ágúst.

² Vegna staðsetningar og fjarlægðar frá álveri og mæligilda þótti auðsýnt að sýnatökustaður G30 var á allan hátt líkari sýnatökustöðum í Hólmanesi.



Mynd 23. Sýnatökustaðir grass í Reyðarfirði og meðalstyrkur flúors sumarið 2012 (á vaxtartíma) (©Landmælingar Íslands, leyfi nr. L05040009).

Ef litið er á meðalstyrk flúors skipt eftir svæðum sést að hæsti meðalstyrkur flúors í grasi frá júní til ágúst mældist innan þýnningarsvæðis skv. starfsleyfi álversins eða 68 til 121 µg/g. Meðalstyrkur flúors í sýnum sem tekin voru í görðum á Reyðarfirði mældust frá 58 til 114 µg/g. Meðaltal á beitarsvæðum og túnum var frá 34 til 71 µg/g. Lægstu gildin mældust síðan í friðlandinu á Hólmanesi, eða 8 til 46 µg/g. Styrkur flúors var lægstur í byrjun júní en hæstur í síðari sýnatökunni í ágúst á öllum svæðum (Mynd 22 og Mynd 24).

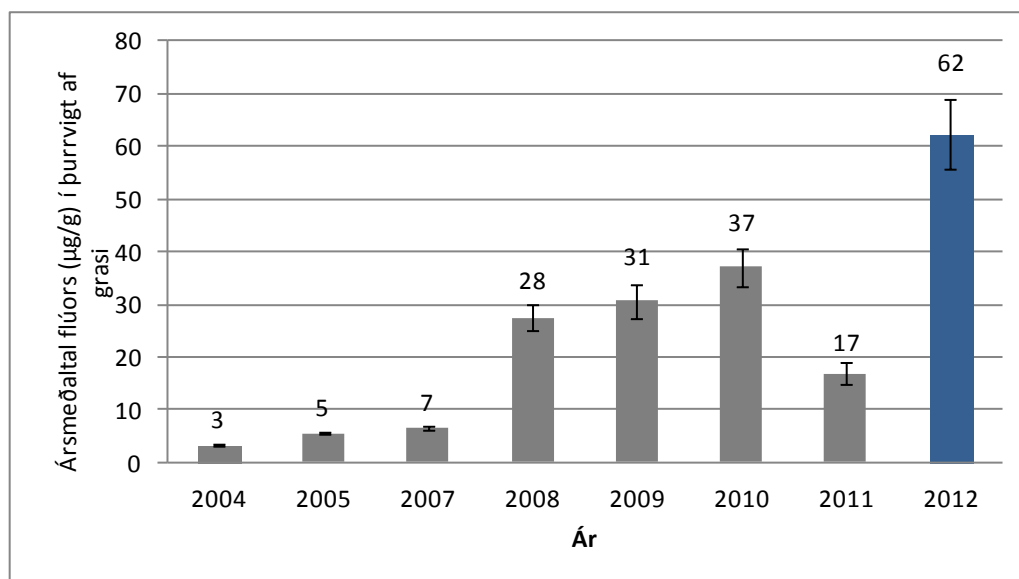


Mynd 24. Meðalstyrkur flúors í grasi sumarið 2012 frá júní-ágúst, skipt upp eftir svæðum.

Breytileiki í styrk flúors í sýnum sem tekin voru innan þýnningarsvæðis er nokkuð mikill sérstaklega í fyrstu tveimur sýnatökum sumarsins (Mynd 24). Ástæðan er mikill munur á styrk flúors í sýni sem tekið var austan við álverið (G25) og í sýnum sem eru vestan álversins. Lægstu gildin voru 9 og 19 µg/g á sýnatökustað G25 í júní en þá voru hæstu gildin 282 og 304 µg/g á sýnatökustað G5 sem er rétt vestan álversins (Mynd 23). Þetta endurspeglar glöggt að flúor dreifist frá austri til vesturs með ríkjandi vindátt.

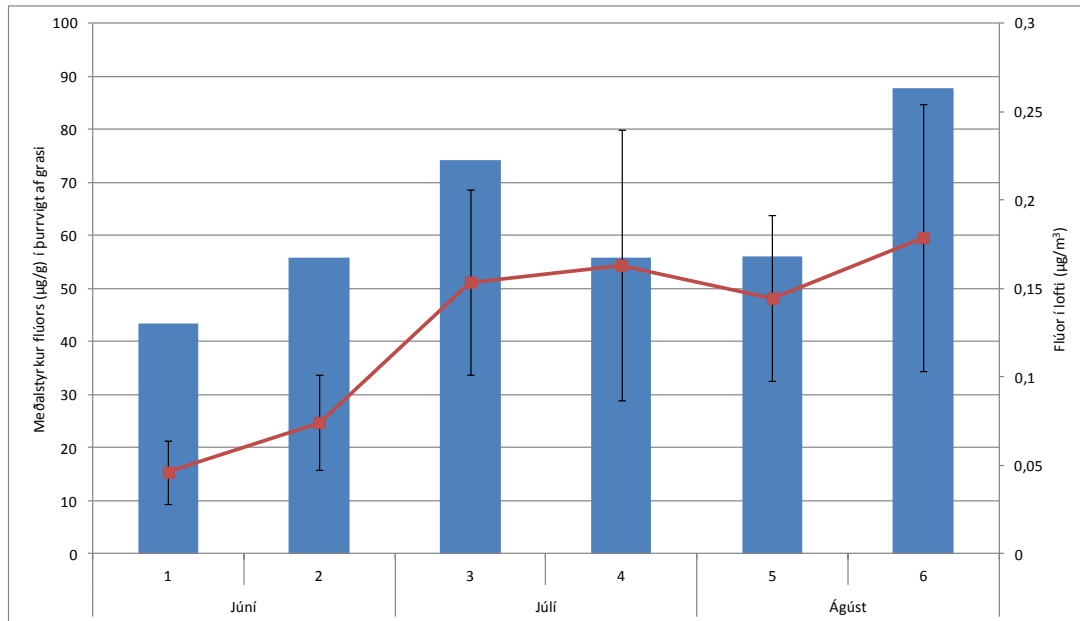
Öll grassýni sumarið 2012 mældust með hærri styrk flúors heldur en árið 2011. Marktæk hækkun var á ársmeðaltali flúors í grasi á vaxtartíma (júní-ágúst) milli áráanna 2011 og 2012 ($P < 0,001$) (Mynd 25). Allar mælingar á flúor í grasi fyrir árið

2012 er að finna í Viðauka 5 sem og meðaltal flúors yfir sumarið á öllum sýnatökustöðum grass frá árinu 2004.



Mynd 25. Ársmeðaltal flúors í grassýnum (ásamt staðalskekkju) árin 2004 til 2012 í Reyðarfirði. Gögn eru byggð á 30 sýnum árin 2004 og 2005 en 180 sýnum árin 2007-2012.

Talið er að ef styrkur loftborins flúors sé á bilinu 0,2-0,6 µg/m³ geti flúor í laufblöðum mælst allt frá 30 til 100 µg/g (Ongstad o.fl. 1994). Styrkur flúors í grasi endurspeglar vel styrk loftborins flúors sumarið 2012 í Reyðarfirði. Þetta sést vel þegar meðalstyrkur flúors í grasi fyrir hverja sýnatöku er borinn saman við flúor í lofti dagana á undan sýnatöku (Mynd 26). Styrkur flúors í grasi var lægstur í fyrstu sýnatökunni í júní og sömuleiðis loftbórið flúor. Í næstu tveimur sýnatökum hækka styrkur flúors í grasi og sömuleiðis styrkur flúors í lofti. Í seinni sýnatökunni í júlí verður síðan breyting á en þá lækkar styrkur flúors í grasi en hækka örlítið í lofti. Lækkun á styrknum í grasinu gæti stafað af því að rigning var tveimur dögum fyrir sýnatöku. Styrkur flúors í grasi helst síðan óbreytt í fyrri sýntökunni í ágúst en mesta úrkoma sumarsins í Reyðarfirði mældist dagana fyrir þá sýnatökuferð. Hæsti meðalstyrkur flúors í grasi mældist í síðari sýnatökunni í ágúst og þá mælist hæsti styrkur flúors í lofti einnig (Mynd 26). Eins og fram hefur komið þá getur rigning skolað burt mikinn hluta flúors á gróðri því hann sest á plöntur á formi gass og ryks en fer ekki allur inn í laufblöðin.

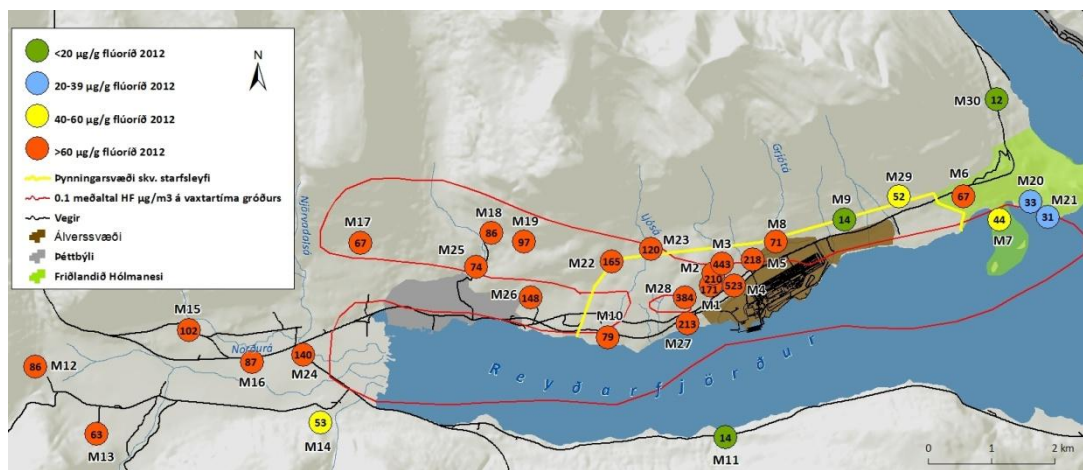


Mynd 26. Meðalstyrkur flúors ($\mu\text{g/g}$) í grasi yfir vaxtartíma gróðurs (bláar súlur) og meðaltalstyrkur af loftbornu flúori ($\mu\text{g/m}^3$) frá fjórum loftgæðastöðvum (rauð lína) í Reyðarfirði sumarið 2012.

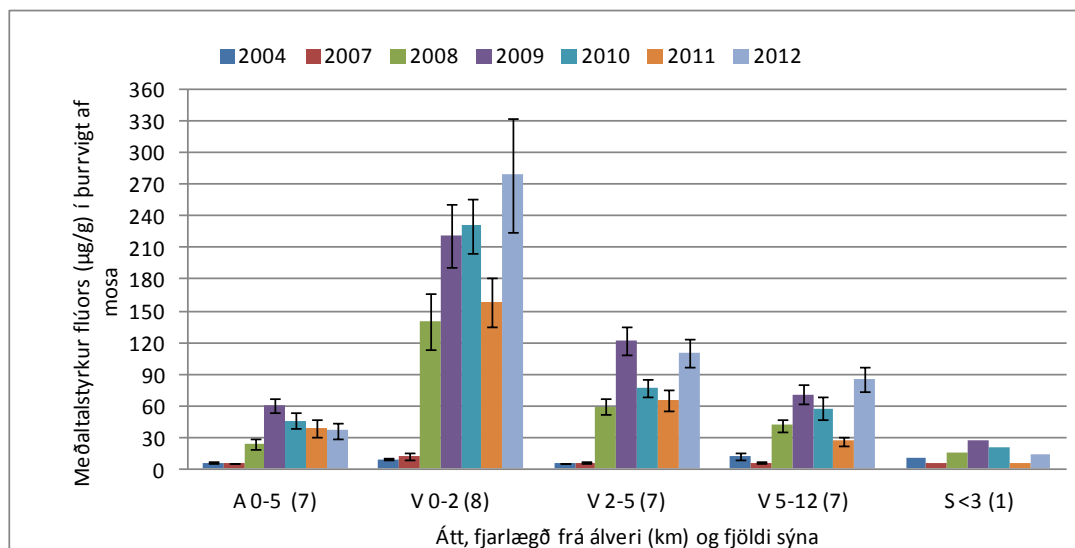
3.2.2 Mosi

Mosa (*Racomitrium spp.*) var safnað dagana 4., 5., 9., og 10. júlí 2012, á sama tíma og fléttum og bláberjalyngi á 30 sýnatökustöðum í Reyðarfirði (Mynd 27) Flúor var mælt í öllum sýnum.

Styrkur flúors í mosa mældist frá 12-523 $\mu\text{g/g}$ og er dreifingarmynstrið með svipuðum hætti og fyrri ár. Hæstu gildin eru að mælast í 0-2 km fjarlægð í vestur frá álverinu en styrkurinn fellur nokkuð hratt þegar vestar dregur en flúor er þó að mælast frá 74-165 $\mu\text{g/g}$ í 2-5 km fjarlægð frá álveri. Minni munur er á gildum eftir því sem vestar dregur frá álveri og er breytileiki í styrk flúors í mosa meiri í 0-2 km fjarlægð heldur en í hinum tveimur fjarlægðarflokkunum og skýrist það sennilega af staðsetningu sýnatökustaða. Mun lægri gildi eru að mælast austan og sunnan við álverið eða allt að sexfalt lægri heldur en meðaltal gilda í 0-2 km fjarlægð vestan álvers (Mynd 27 og Mynd 28).

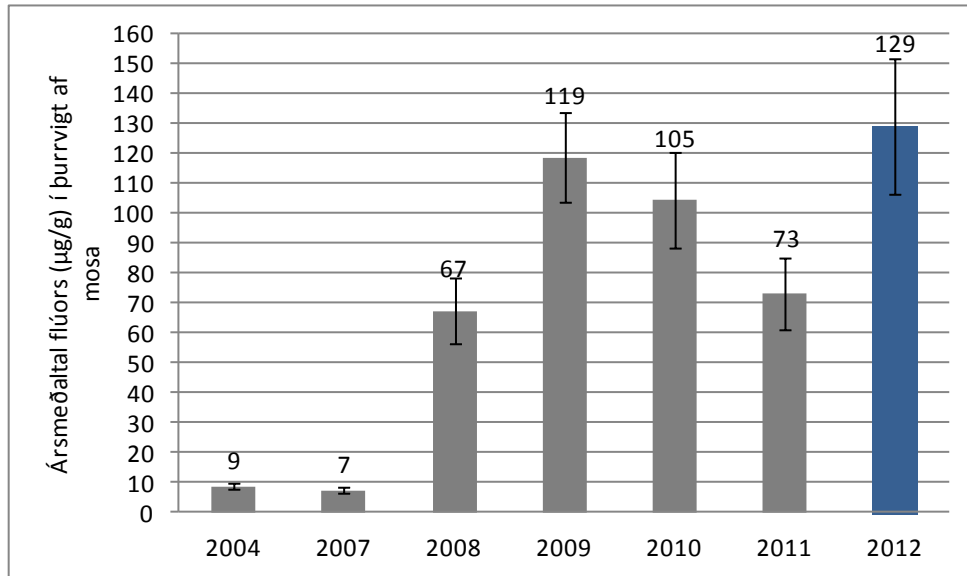


Mynd 27. Sýnatökustaðir mosa í Reyðarfirði og styrkur flúors í júlí 2012 (©Landmælingar Íslands, leyfi nr. L05040009).



Mynd 28. Dreifingarmynstur flúors í mosa frá árinu 2004 (bakgrunnsgildi) til ársins 2012. 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.

Ársmeðaltal flúors í mosa tvöfaldaðist milli árána 2011 og 2012 og var um marktæka breytingu til hækkunar að ræða ($P < 0,001$). Styrkur flúors árið 2012 var einnig marktækt hærri en bakgrunnsgildin frá 2004 ($P < 0,001$) (Mynd 29). Í viðauka 7 má sjá mynd sem sýnir styrk flúors á öllum sýnatökustöðum mosa frá árinu 2004-2012.



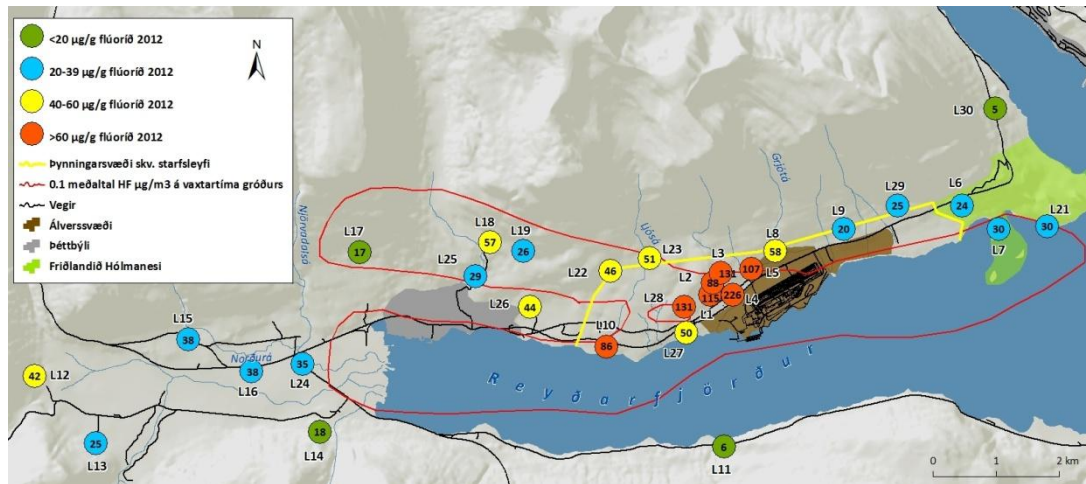
Mynd 29. Ársmeðaltal flúors í mosa (ásamt staðalskekkju) árin 2004 til 2012 í Reyðarfirði. Gögnin eru byggð á 30 sýnum ár hvert.

Mosar eru frábrugðnir háplöntum á þann hátt að þeir hafa mun lægra hlutfall yfirborðs og þyngdar sem skýrir hærri styrk flúors í sömu þyngd af mosa en t.d. grasi. Þá skortir mosa loftgöt til að stýra upptöku og losun.

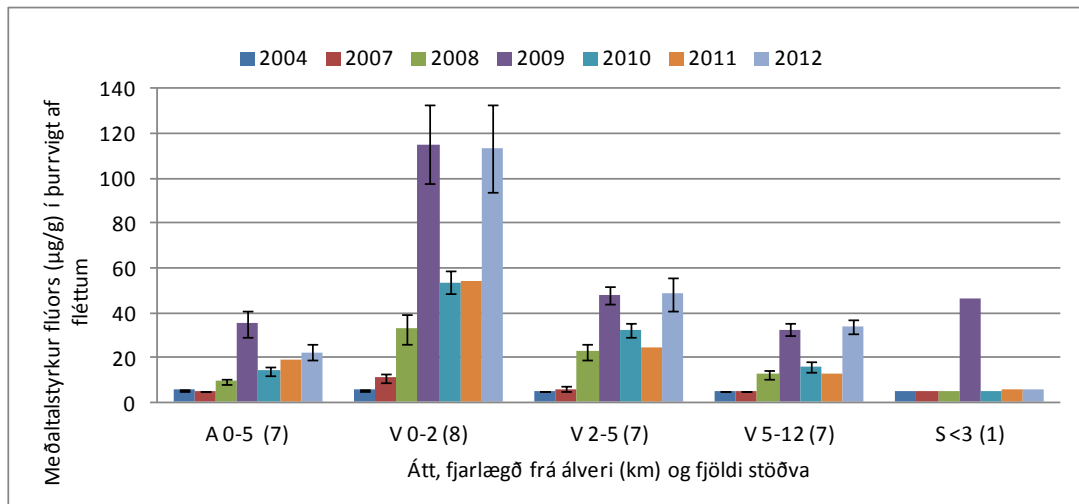
3.2.3 Fléttur

Fléttum (*Cladonia arbuscula*) var safnað dagana 4., 5., 9., og 10. júlí 2012, á sama tíma og bláberjalyngi og mosa á 29 sýnatökustöðum í Reyðarfirði (Mynd 30). Ekki var unnt að safna sýni á sýntökustað L20 þar sem þar var engar fléttur að finna. Styrkur flúors var mæltur í öllum sýnum.

Styrkur flúors í fléttum mældist frá 5 - 226 µg/g og var dreifingarmynstur flúors í fléttum með svipuðum hætti og fyrri ár. Hæstu gildin voru að mælast í 0-2 km fjarlægð í vestur frá álverinu eða 50-226 µg/g en styrkurinn féll nokkuð hratt þegar vestar dró og voru sýni í 2-5 km fjarlægð frá álveri að mælast með gildi frá 26-86 µg/g. Breytileiki í styrk flúors í fléttum var meiri í 0-2 km fjarlægð heldur en í hinum tveimur fjarlægðarflokkunum og skýrist það sennilega af staðsetningu sýnatökustaða líkt og með mosann. Mun lægri gildi voru að mælast austan og sunnan við álverið (Mynd 30 og Mynd 31).

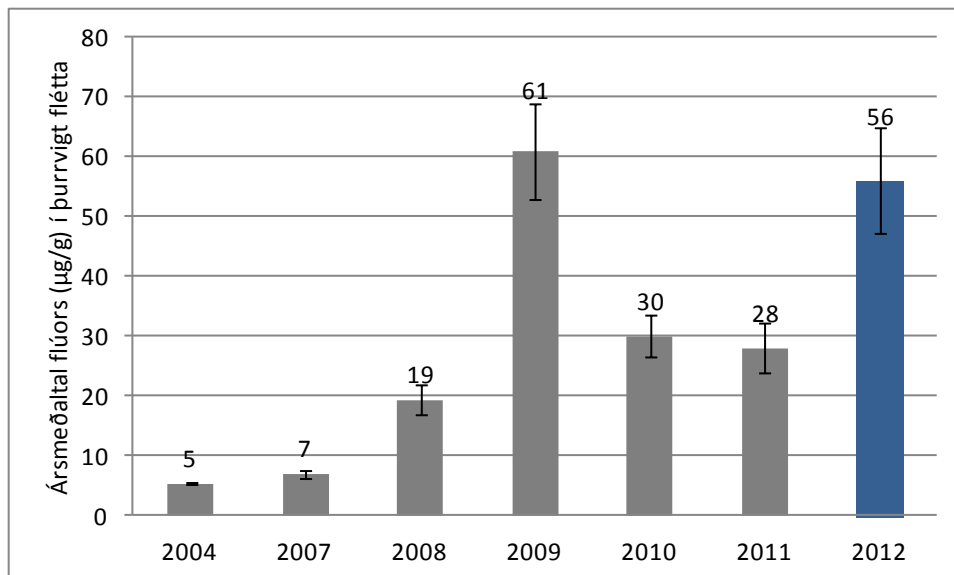


Mynd 30. Sýnatökustaðir flétta í Reyðarfirði og styrkur flúors í júlí 2012 (©Landmælingar Íslands, leyfi nr. L05040009).



Mynd 31. Dreifingarmynstur flúors í fléttum frá árinu 2004 (bakgrunnsgildi) til ársins 2012. 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.

Öll fléttusýni nema tvö höfðu hærri gildi árið 2012 en árið 2011. Meðalstyrkur flúors í fléttum árið 2012 var marktækt hærri en árið 2011 ($P < 0,001$) sem og bakgrunnsgildin frá 2004 ($P < 0,001$) (Mynd 32). Í viðauka 7 má sjá mynd sem sýnir styrk flúors á öllum sýnatökustöðum flétta frá árinu 2004.

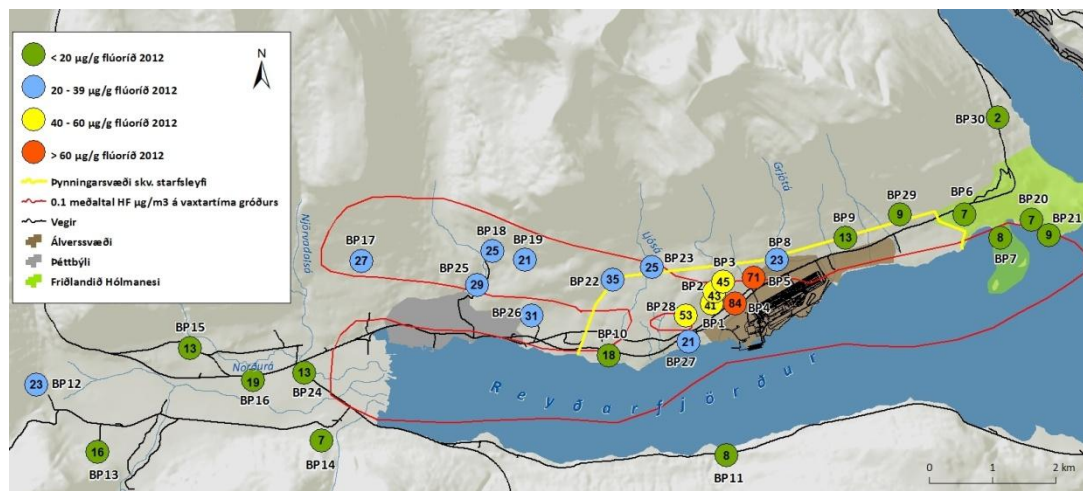


Mynd 32. Ársmeðaltal flúors í fléttusýnum (ásamt staðalskekkju) árin 2004 til 2012 í Reyðarfirði. Gögnin eru byggð á 28-30 sýnum ár hvert.

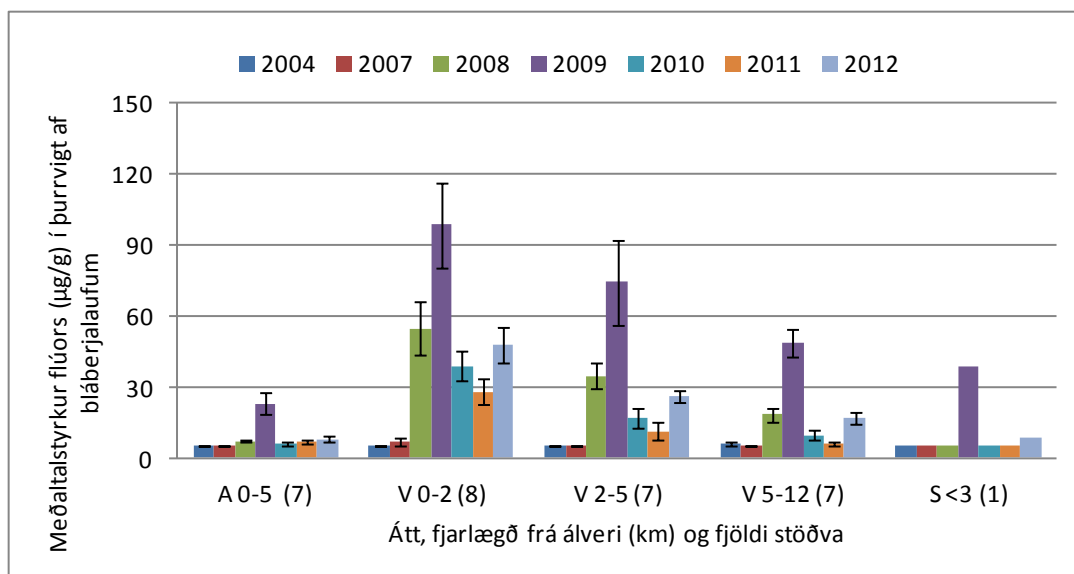
3.2.4 Bláberjalyng

Blöðum bláberjalyngs (*Vaccinium uliginosum*) var safnað dagana 4., 5., 9., og 10. júlí 2012, á sama tíma og fléttum og mosa á 30 sýnatökustöðum í Reyðarfirði (Mynd 33). Styrkur flúors var mældur í öllum sýnunum.

Styrkur flúors í laufum bláberjalyngs mældist frá 2 - 84 µg/g. Dreifingarmynstur flúors í bláberjalyngi var með svipuðum hætti og í öðrum gróðursýnum, þ.e. hæstu gildin mældust næst álveri og féll styrkurinn til vesturs og austurs (Mynd 33 og Mynd 34).

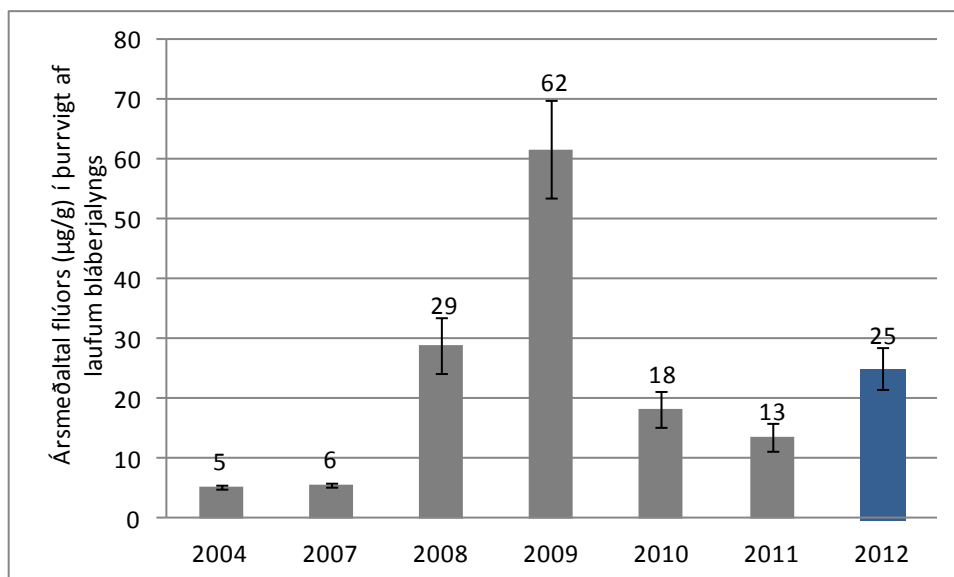


Mynd 33. Sýnatökustaðir bláberjalyngs í Reyðarfirði og styrkur flúors í júlí 2012 (©Landmælingar Íslands, leyfi nr. L05040009).



Mynd 34. Dreifingarmynstur flúors í bláberjalaufum frá árinu 2004 (bakgrunnsgildi) til ársins 2012. 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.

Ársmeðaltal flúors í laufum bláberjalyngs árið 2012 var hærra en árið 2011 (Mynd 35). Tölfræðilegur samanburður árána 2011 og 2012 sýndi að meðalstyrkur flúors var marktækt hærri árið 2012 ($P < 0,005$). Í viðauka 7 má sjá mynd sem sýnir styrk flúors í laufum bláberjalyngs á öllum sýnatökustöðum frá árinu 2004.



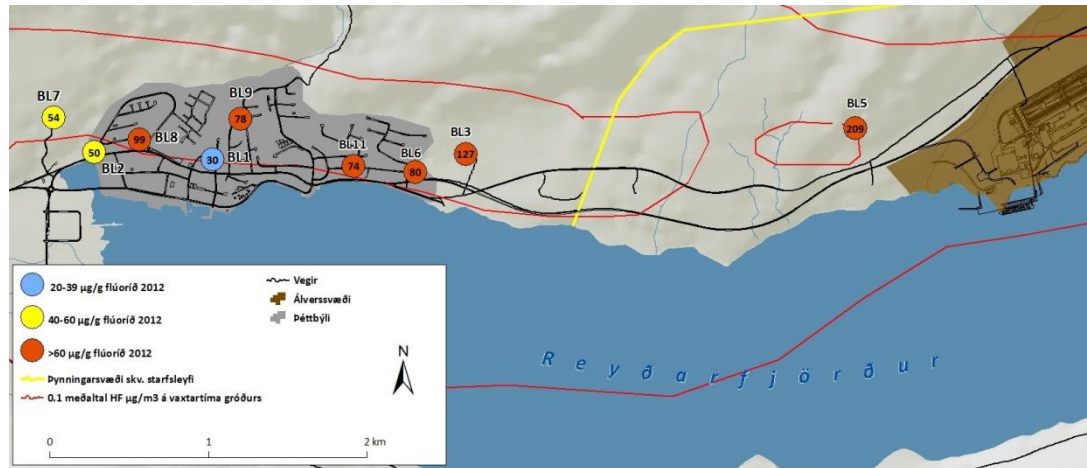
Mynd 35. Meðaltalsgildi flúors í bláberjalyngi (ásamt staðalskekkju) árin 2004 til 2011 í Reyðarfirði. Gögnin eru byggð á 30 sýnum ár hvert.

3.2.5 Reyniviður

Blöðum reynitrijáa (*Sorbus sp.*) var safnað á níu sýnatökustöðum 13. ágúst 2012 (Mynd 36).

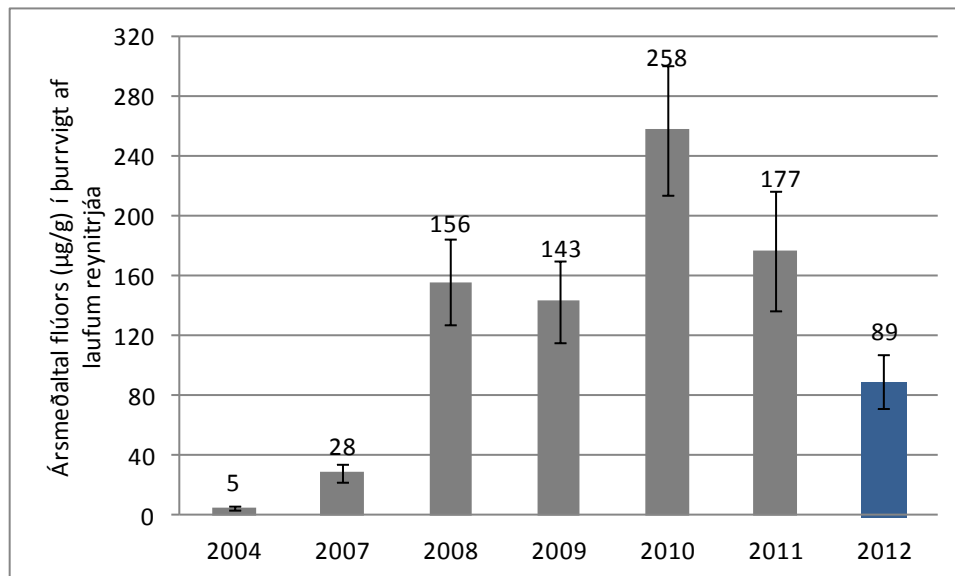
Styrkur flúors í reynivið mældist frá 30-209 µg/g og mældust hæstu gildin næst álverinu á sýnatökustöðum BL5, sem er í skógræktarreit rétt ofan álversins og BL3

sem er staðsettur á Teigagerði. Lægsta gildið mældist í sýni BL1, 30 µg/g en það er í þéttbýlinu á Reyðarfirði (Mynd 36).



Mynd 36. Sýnatökustaðir á laufblöðum reynitrjáa í Reyðarfirði og styrkur flúors í laufi í ágúst 2012 (©Landmælingar Íslands, leyfi nr. L05040009).

Ársmeðaltal flúors í reynilaufum lækkaði milli árána 2011 og 2012 og var um marktæka breytingu til lækkunar að ræða ($P < 0,001$) (Mynd 37). Mun minni breytileiki var í sýnum tekin árið 2012 en 2011. Gildin árið 2012 voru marktækt hærri en bakgrunnsgildin frá 2004 ($P < 0,001$). Í viðauka 8 má sjá mynd sem sýnir styrk flúors í laufum reyniviðs á öllum sýnatökustöðum frá árinu 2004.



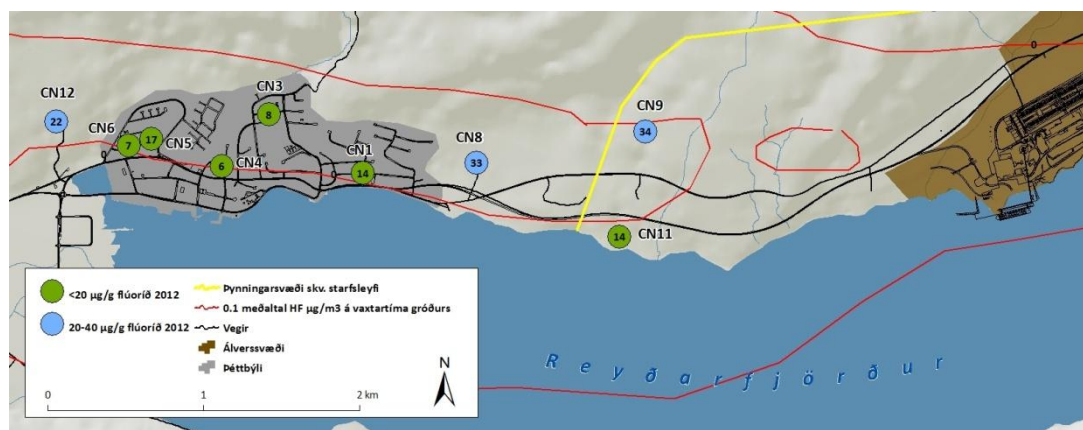
Mynd 37. Ársmeðaltal flúors í laufblöðum reynitrjáa (ásamt staðalskekkju) árin 2004 til 2012 í Reyðarfirði. Gögnin eru byggð á 10 sýnum árin 2004-2009, en 9 sýnum árin 2010-2012.

Styrkur flúors í reynilaufum hefur aldrei verið jafn lágur frá því að álver hóf starfsemi sína fyrir utan fyrsta rekstrarár álversins árið 2007. Lækkun á styrk flúors í reynilaufum milli árána 2011 og 2012 er ekki ljós en veðurfarslegir þættir eins og vindátt og úrkoma geta haft áhrif en einnig hversu langt er liðið á sumarið þegar sýnataka er framkvæmd.

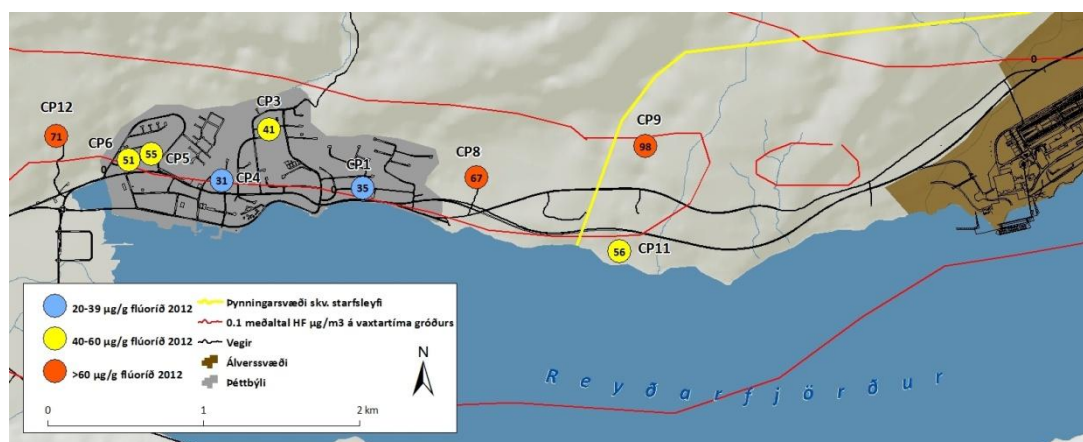
3.2.6 Barrnálar

Barrnálum var einnig safnað á níu söfnunarstöðum þann 20. september 2012. Bæði var safnað nývöxnum nálum (vexti ársins 2012, táknað CN) og nálum sem uxu árið á undan (vexti ársins 2011, táknað CP). Styrkur flúors var mældur í öllum sýnum.

Styrkur flúors í nývöxnu barri mældist frá 6 µg/g til 34 µg/g. Lægsta gildið mældist á sýnatökustað CP4 en hæsta gildið á sýnatökustað CP9. Styrkur flúors í fyrra árs barrnálum mældist frá 31 µg/g til 98 µg/g. Líkt og í nývöxnum barrnálum mældist lægsta gildið á sýnatökustað CP4 og hæsta gildið á sýnatökustað CP9 (Mynd 38 og Mynd 39).

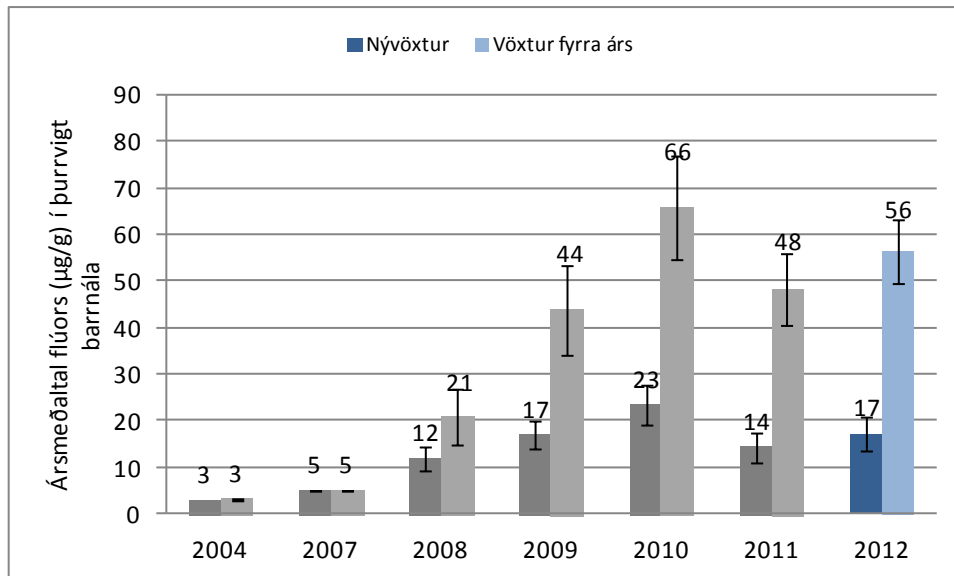


Mynd 38. Sýnatökustaðir barrnála í Reyðarfirði og styrkur flúors í nývöxnum barrnálum í september 2012 (©Landmælingar Íslands, leyfi nr. L05040009).



Mynd 39. Sýnatökustaðir barrnála í Reyðarfirði og styrkur flúors í barrnálum frá fyrra ári (2011), safnað í september 2012 (©Landmælingar Íslands, leyfi nr. L05040009).

Meðaltalstyrkur flúors í barrnálum árið 2012 var örlítið herra en árið 2011, bæði í nálum fyrra árs og fyrir nývaxnar nálar (Mynd 40, bls. 47). Ekki var þó um marktæka breytingu að ræða ($P=0,065$ nálar fyrra árs og $P=0,156$ nývaxnar nálar). Í viðauka 8 má sjá mynd sem sýnir styrk flúors í barrnálum á öllum sýnatökustöðum frá árinu 2004.



Mynd 40. Ársmeðaltal flúors í barnnálum (ásamt staðalskekkju) árin 2004 til 2012 í Reyðarfirði. Gögnin eru byggð á 10 sýnum árin 2004-2009, en 9 sýnum árið 2010, 2011 og 2012. 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 nalar fara að myndast að vori og fram á veturinn. Flúor safnast fyrir í nálum og styrkurinn eykst milli ára þannig að eldri nalar mælast alltaf með meiri styrk en yngri nalar.

Dreifingarmynstur flúors í barnnálum sumarið 2012 er með svipuðu móti og árið 2011. Hæstu gildin mælast rétt vestan álvers og fara svo lækkandi þegar komið er inn í þéttbýlið en hækka svo aftur í vestasta hluta þéttbýlisins og við Kollaleiru.

3.2.7 Rabarbari

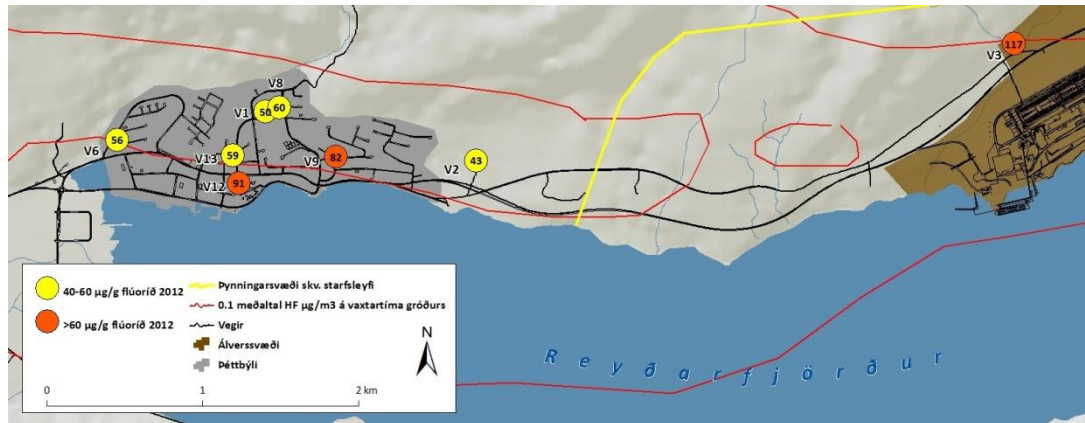
Rabarbara, bæði stilkum og blöðum, var safnað á 8 sýnatökustöðum, hálfsmánaðarlega frá júní til ágúst. Alls var 94 sýnum safnað í sex söfnunarferðum³. Í einni sýnatökuferð var ekki hægt að safna sýnum af sýnatökustað V1 þar sem búið var að taka allan rabarbarann. Flúor var mælt í öllum sýnum. Þungmálmarnir 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. 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. Niðurstöður allra efnagreininga á rabarbarasýnum árið 2012 má sjá í Viðauka 9.

Styrkur flúors í blöðum og stilkum rabarbara

Styrkur flúors í laufblöðum rabarbara mældist frá 19-235 µg/g. Hæsti styrkur flúors í rabarbarablöðum mældist fyrri hluta ágúst á sýnatökustað V3 sem er við Sómastaði, en lægsti styrkur flúors mældist seinni hluta júní og fyrri hluta júlí á sýnatökustöðum V13 og V2 en þeir eru inn í bænum á Reyðarfirði. Flúor í stilkum mældist frá 0-10 µg/g. Hæsta gildið mældist seinni hluta ágúst á sýnatökustað V3

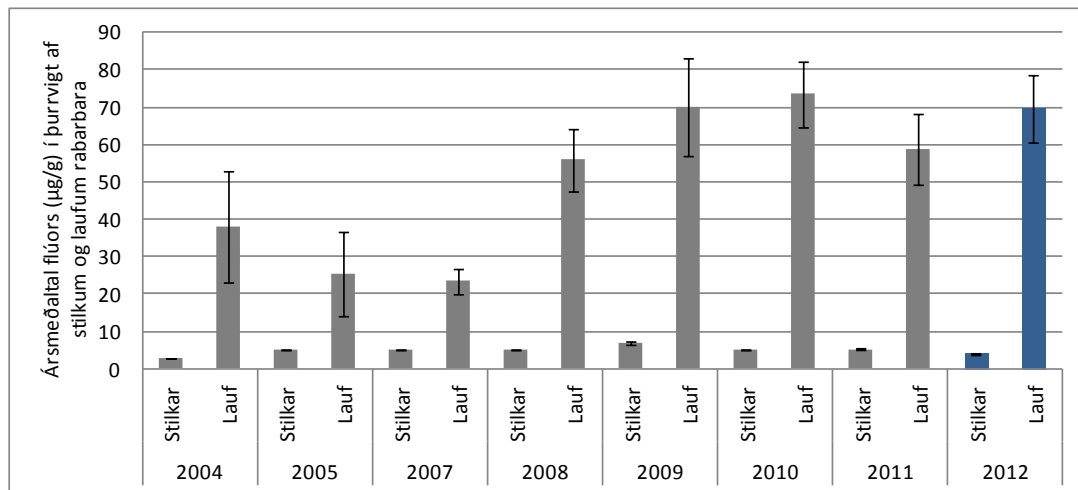
³ Dagana 8. og 22. júní, 6. og 19. júlí og 3. og 17. ágúst.

við Sómastaði. Þessi niðurstaða undirstrikar þá staðreynd að þó að það mælist há gildi í blöðum rabarbara mælast lág gildi í stilkunum (Mynd 42). Ekki eru til nein viðmið hér á landi um hámarksstyrk flúors í grænmeti sem ætlað er til manneldis.



Mynd 41. Sýnatökustaðir rabarbara í Reyðarfirði og meðaltal flúors í laufum frá júní til ágúst sumarið 2012 (©Landmælingar Íslands, leyfi nr. L05040009).

Ársmeðaltal flúors í laufblöðum rabarbara hækkaði milli áráanna 2011 og 2012 en var svipað og árin 2009 og 2010. Hæst var meðaltalsgildi flúors í laufum sem voru innan þyningarsvæðis álversins skv. starfsleyfi (Mynd 41).



Mynd 42. Ársmeðaltal flúors í þurrvigt af rabarbara árin 2004 til 2012 í Reyðarfirði. Gögn eru byggð á 94 sýnum í sex sýnatökufurðum árin 2007-2012 en 10 sýnum árin 2004 og 2005.

Þungmálmur í rabarbarablöðum

Styrkur kvikasilfers var undir greiningarmörkum í rabarbaralaufum eða $< 0,002$ mg/kg nema í sýni V1 þar mældist hann $0,004$ mg/kg. Styrkur arsens var frá $<0,006$ - $0,013$ mg/kg. Styrkur kopars mældist frá $0,49$ - $0,79$ mg/kg sumarið 2012. Hann var hæstur á sýnatökustað V12 og lægstur á sýnatökustað V1. Báðir þessir sýnatökustaðir eru inni í bænum á Reyðarfirði. Styrkur sinks mældist frá $2,4$ mg/kg til $17,9$ mg/kg. Hann var hæstur á sýnatökustað V1 inn í bænum á Reyðarfirði en lægstur á sýnatökustað V6 sem er einnig inn í bænum. Styrkur kadmíums mældist lágur í öllum sýnum eða frá $0,006$ - $0,065$ mg/kg. Hæsti styrkur kadmíums mældist á sýnatökustað V1 inn í bænum á Reyðarfirði og lægsti styrkurinn á sýnatökustað V3 sem er við Sómastaði. Nær öll sýnin mældust með blý undir greiningarmörkum eða $< 0,06$ mg/kg einungist tvö sýni mældust með hærri styrk en það. Þetta voru sýni

V12 en styrkur blýs mældis í því sýni 0,17 mg/kg og V13 sem mældist með styrk 0,04 mg/kg. Fjögur sýni mældust með styrk króms undir greiningarmörkum eða < 0,04 mg/kg en hæsti styrkur af krómi mældist 0,09 mg/kg á sýnatökustað V1 sem er inn í bænum. Styrkur nikkels mældist síðan frá 0,24-0,57 mg/kg. Hæsti styrkurinn mældist á sýnatökustað V6 sem er inni í bænum á Reyðarfirði (Tafla 8). Hægt er að sjá staðsetningar sýnatökustaða á mynd 41.

Tafla 8. Styrkur þungmálma (mg/kg blautvigt) í rabarbarablöðum árið 2012.

Sýni	As ug/g	Cd ug/g	Cr ug/g	Cu ug/g	Hg ug/g	Ni ug/g	Pb ug/g	Zn ug/g
V1-812-2-Rabarbara blöð	0,007	0,065	0,09	0,49	0,004	0,27	< 0,06	17,9
V2-812-2-Rabarbara blöð	< 0,006	0,043	0,06	0,57	< 0,002	0,32	< 0,06	9,9
V3-812-2-Rabarbara blöð	< 0,006	0,006	0,06	0,52	< 0,002	0,49	< 0,06	2,7
V6-812-2-Rabarbara blöð	< 0,006	0,012	< 0,04	0,62	< 0,002	0,57	< 0,06	2,4
V8-812-2-Rabarbara blöð	< 0,006	0,018	< 0,04	0,71	< 0,002	0,38	< 0,06	3,9
V9-812-2-Rabarbara blöð	0,012	0,055	< 0,04	0,59	< 0,002	0,37	< 0,06	14,0
V12-812-2-Rabarbara blöð	0,013	0,021	0,07	0,79	< 0,002	0,35	0,17	8,8
V13-812-2-Rabarbara blöð	0,013	0,019	< 0,04	0,64	< 0,002	0,24	0,04	7,2
Meðaltal ársins 2012	0,009	0,030	0,05	0,62	0,002	0,37	0,07	8,34

Þungmálmar í rabarbarastilkum

Styrkur arsens var í öllum sýnum undir greiningarmörkum eða < 0,006 mg/kg og einnig styrkur króms < 0,04 mg/kg. Styrkur kvikasilfurs var undir greiningarmörkum í 6 sýnum en mældist með styrk 0,002 mg/kg á sýnatökustað V9 og 0,006 mg/kg á sýnatökustað V12 en báðir sýnatökustaðirnir eru inn í bænum á Reyðarfirði. Styrkur kadmíums mældist undir greiningarmörkum eða < 0,002 mg/kg á sýnatökustað V6 til 0,028 mg/kg á sýnatökustað V2 sem er á Teigagerði. Kopar mældist frá 0,18 mg/kg til 0,38 mg/kg hæstur var styrkurinn á sýnatökustað V12, inn í bænum. Styrkur nikkels mældist með styrk frá 0,08 mg/kg á sýnatökustöðum V2 og V13 til 0,39 á sýnatökustöðum V1 og V8 (Tafla 8). Styrkur blýs var undir greiningarmörkum í öllum sýnum nema V12 og V13. Á sýnatökustað V12 mældist styrkur blýs 0,09 mg/kg en á sýnatökustað V13 sem er inn í bænum var lang hæsti styrkurinn eða 0,60 mg/kg. Styrkur sinks mældist síðan frá 1,57 mg/kg til 7,96 mg/kg í rabarbara stilkum hæstur á sýnatökustað V2 á Teigagerði. Staðsetningu sýnatökustaða má sjá á mynd 41.

Tafla 9. Styrkur þungmálma (mg/kg blautvigt) í rabarbarastilkum árið 2012.

Sýni	As ug/g	Cd ug/g	Cr ug/g	Cu ug/g	Hg ug/g	Ni ug/g	Pb ug/g	Zn ug/g
V1-812-2-Rabarbara stilkar	< 0,006	0,009	< 0,04	0,37	< 0,002	0,39	< 0,06	2,78
V2-812-2-Rabarbara stilkar	< 0,006	0,028	< 0,04	0,30	< 0,002	0,08	< 0,06	7,96
V3-812-2-Rabarbara stilkar	< 0,006	0,004	< 0,04	0,22	< 0,002	0,10	< 0,06	2,60
V6-812-2-Rabarbara stilkar	< 0,006	< 0,002	< 0,04	0,34	< 0,002	0,24	< 0,06	1,57
V8-812-2-Rabarbara stilkar	< 0,006	0,002	< 0,04	0,27	< 0,002	0,39	< 0,06	1,72
V9-812-2-Rabarbara stilkar	< 0,006	0,012	< 0,04	0,35	0,002	0,19	< 0,06	3,12
V12-812-2-Rabarbara stilkar	< 0,006	0,004	< 0,04	0,38	0,006	0,21	0,09	4,02
V13-812-2-Rabarbara stilkar	< 0,006	0,002	< 0,04	0,18	< 0,002	0,08	0,60	2,84
Meðaltal ársins 2012	< 0,006	0,008	< 0,04	0,30	0,002	0,21	0,34	3,33

Öll sýni mældust með lágan styrk þungmálma bæði í rabarbarablöðum og stilkum. Uppruni þungmálma í rabarbarablöðum og stilkum er óljós. Engar vísbendingar eru um að hærri styrkur þungmálma mælist nær álveri.

Reglugerð nr. 265/2010 um hámarksgildi fyrir tiltekin aðskotaefni í matvælum skilgreinir hámarksgildi blýs og kadmíums 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 rabarbara stilkum mældist yfir þeim viðmiðunum árið 2012.

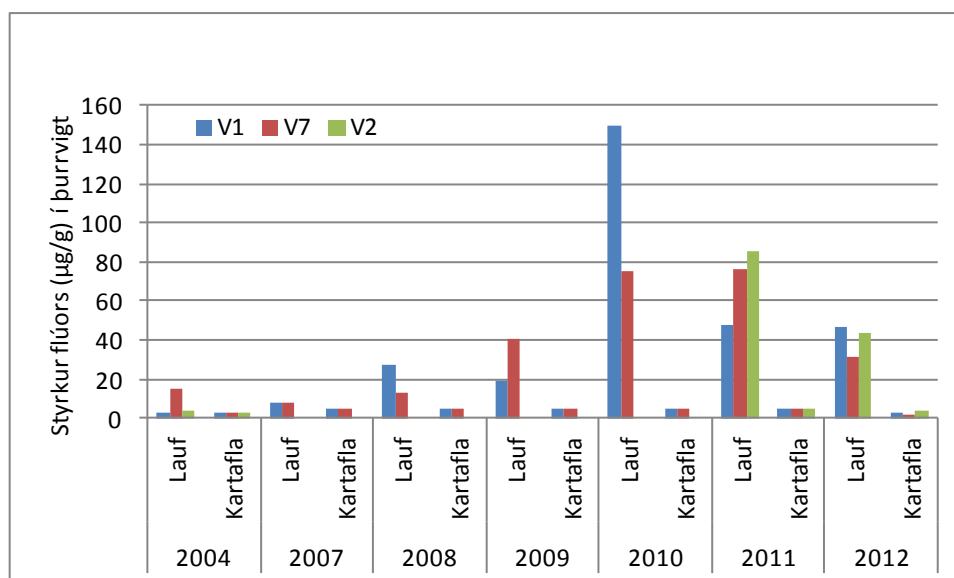
3.2.8 Kartöflur og grænmeti

Kartöflugrösurn og kartöflurn var safnað einu sinni á þremur sýnatökustöðum þann 29. ágúst 2012. Alls var 6 sýnum af kartöflum og laufblöðum þeirra safnað í einni sýnatökufærð. Sýnum af kartöflum var skipt í tvennt, annars vegar voru sýni þar sem kartöflur voru afhýddar og hins vegar þar sem kartöflur voru með hýðinu á. Einnig var einu sýni af grænkáli safnað þann 29. ágúst um leið og kartöflum. Styrkur flúors og þungmálmarnir kopar (Cu), sink (Zn), arsen (As), kadmíum (Cd), blý (Pb), króm (Cr), nikkell (Ni) og kvikasilfur (Hg) var mælt í öllum sýnum.

Vegna viðbótarannsóknna á matjurtum í Reyðarfirði var sýnum af blaðsalati, graslauk og hindberjum safnað inn í bænum á Reyðarfirði þann 8. október 2012. Einnig var repju, byggi og höfrum safnað frá Áreyjum sama dag.

Flúor

Styrkur flúors í kartöflugrösurn mældist 46 $\mu\text{g/g}$ á sýnatökustað V1, 32 $\mu\text{g/g}$ á sýnatökustað V7 og 43 $\mu\text{g/g}$ á sýnatökustað V2. Styrkur flúors í kartöflugrösurn var lægri á öllum sýnatökustöðum árið 2012 en 2011. Eins og fyrri ár var styrkur flúors í kartöflum lágur, eða 2, 3 og 4 $\mu\text{g/g}$ í þeim þremur sýnum sem tekin voru (Mynd 43). Sama gildir um afhýddar kartöflur þar voru gildin í öllum tilvikum lág, eða 3 $\mu\text{g/g}$.



Mynd 43. Styrkur flúors í kartöflum og kartöflugrösurn á þremur söfnunarstöðum sumrin 2004, 2011 og 2012 en tveimur söfnunarstöðum 2007-2010.

Líkt og með rabarbarann má sjá að þó að styrkur flúors mælist hár í kartöflugrösurn er styrkurinn lágur í kartöflunum sjálfum.

Styrkur flúors í grænkáli mældist 16 $\mu\text{g/g}$ og var bakgrunnsgildi árið 2004 $<3 \mu\text{g/g}$. Styrkur flúors í graslauk mældist 15 $\mu\text{g/g}$ og 13 $\mu\text{g/g}$ í blaðsalati, enginn flúor mældist í hindberjum. Styrkur flúors í korni sem ræktað voru eftirfarandi: repja 0,9 $\mu\text{g/g}$, hafrar

0,7 µg/g og bygg 0,3 µg/g. Samantekt á niðurstöðum á matjurtum í Reyðarfirði má finna í viðauka 15.

EKKI eru til nein viðmið hér á landi um hámarksstyrk flúors í grænmeti sem ætlað er til mannefdis.

Hámarksgildi fyrir bæði kadmíum og blý í stöngul- og rótargrænmeti er 0,1 mg/kg (µg/g) í blautvigt. Ekkert sýni af kartöflum mældist yfir þeim viðmiðunum árið 2012 né sýni af grænkáli.

Pungmálmar

EKKI reyndist unnt að greina þungmálma í sýni V1 fyrir kartöflugrös. Styrkur blýs mældist undir greiningarmörkum í kartöflugrösum og kartöflum með og án hýðis eða < 0,1 mg/kg. Styrkur kadmíums mældist undir greiningarmörkum í kartöflum án hýðis eða < 0,004 mg/kg. Kadmíum mældist einnig undir greiningarmörkum í kartöflum með hýði nema í sýni V7 en það sýni mældist með styrk kadmíums 0,024 mg/kg. Styrkur króms mældist einnig undir greiningarmörkum bæði í kartöflum með og án hýðis en það mældist í kartöflugrösum 0,10 og 0,14 mg/kg. Styrkur kopars í kartöflugrösum mældist 0,39 mg/kg á sýnatökustað V7 en 2,25 á sýnatökustað V2 sem er á Teigagerði. Styrkur kvikasilfurs var undir greiningarmörkum í kartöflugrösum og í nær öllum sýnum af kartöflum með og án hýðis. Styrkur nikkels í kartöflugrösum mældist 1,19 mg/kg á sýnatökustað V2 og 0,12 mg/kg á sýnatökustað V7. Í kartöflum með hýði mældist nikkel frá 0,24 mg/kg til 0,94 hæst á sýnatökustað V7. Í kartöflum án hýðis var styrkurinn lægri. Styrkur þungmálma mældist lægri í öllum sýnum þar sem kartöflur voru afhýddar nema þó ekki styrkur sinks (Tafla 10).

Styrkur þungmálma í grænkáli mældist í nær öllum tilvikum undir greiningarmörkum nema ekki kopar, nikkel og sink (Tafla 10). Staðsetningu sýnatökustaða á kartöflum og grænkáli má sjá á mynd 42.

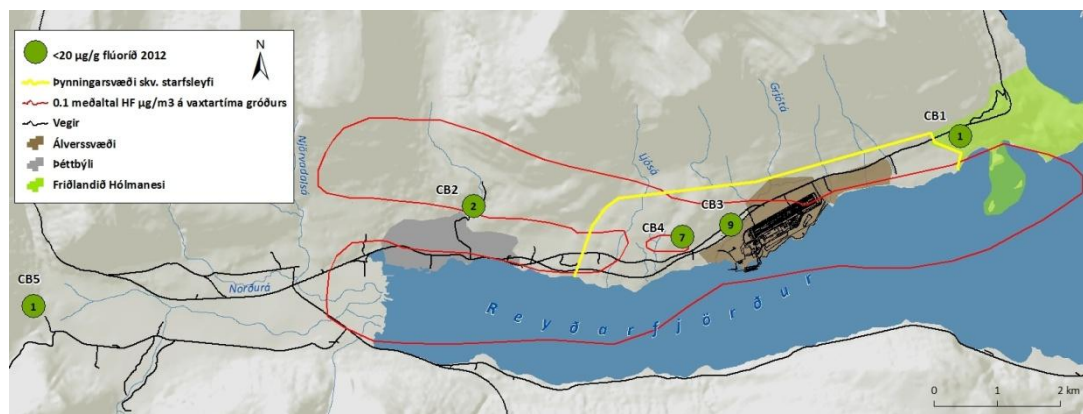
Tafla 10. Styrkur þungmálma (mg/kg blautvigt) í kartöflugrös, kartöflum með og án hýðis og grænkáli árið 2012.

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Sýni	ug/g	ug/g	ug/g	ug/g	ug/g	ug/g	ug/g	ug/g
V1-812-Kartöflugras	x	x	x	x	x	x	x	x
V2-812-Kartöflugras	0,021	0,083	0,10	2,25	<0,004	1,19	<0,1	4,06
V7-812-Kartöflugras	0,017	<0,004	0,14	0,39	<0,004	0,12	<0,1	1,37
V1-812-Kartafla með hýði	<0,02	<0,004	<0,1	2,46	0,007	0,32	<0,1	5,20
V2-812-Kartafla með hýði	<0,2	<0,06	<0,1	0,8	<0,04	0,24	<0,1	2,40
V7-812-Kartafla með hýði	0,024	0,024	<0,1	2,29	<0,004	0,94	<0,1	2,79
Meðaltal ársins 2012	0,024	0,024	<0,1	1,86	0,01	0,50	<0,1	3,46
V1-812-Kartafla án hýðis	<0,02	<0,004	<0,1	2,86	<0,004	0,55	<0,1	6,62
V2-812-Kartafla án hýðis	<0,02	<0,004	<0,1	0,97	0,006	0,25	<0,1	2,22
V7-812-Kartafla án hýðis	0,02	<0,004	<0,1	0,83	<0,004	0,21	<0,1	2,12
Meðaltal ársins 2012	0,02	<0,004	<0,1	1,55	0,01	0,34	<0,1	3,65
V2-812-Grænkál	<0,01	<0,05	<0,08	0,3	<0,03	0,11	<0,1	1,31

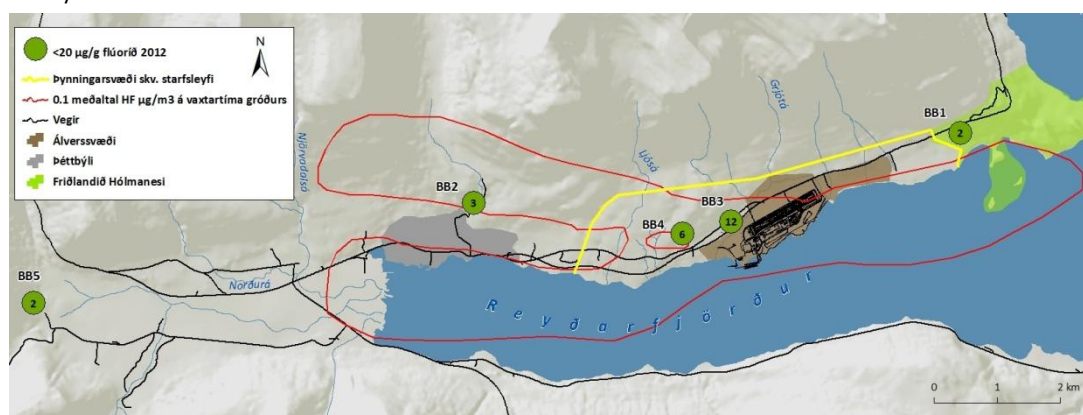
3.2.9 Bláber og krækiber

Bláberjum og krækiberjum var safnað einu sinni á 5 sýnatökustöðum þann 29. ágúst 2012. Staðsetningarnar eru þær sömu og hjá bláberjalyngi (Mynd 33).

Styrkur flúors í krækiberjum mældist frá 2-12 $\mu\text{g/g}$ og í bláberjum frá 1-9 $\mu\text{g/g}$. Hæstu gildin í bláberjum og krækiberjum mældust á sama stað, þ.e. rétt fyrir ofan álverið (CB3 og BB3). Lægstu gildin í krækiberjum mældust á sýnatökustað CB1 og CB5. Þar voru einnig lægstu gildin í bláberjum (Mynd 44 og Mynd 45).



Mynd 44. Styrkur flúors í krækiberjum á 5 sýnatökustöðum í Reyðarfirði sumarið 2012. Tekið var eitt sýni á hverri stöð.



Mynd 45. Styrkur flúors í bláberjum á 5 sýnatökustöðum í Reyðarfirði sumarið 2012. Tekið var eitt sýni á hverri stöð.

Styrkur flúors í blöðum bláberjalyngs reyndist töluvert hærri en gildin í bláberjum á sömu stöðum. Ein hæstu gildi ársins í bláberjalyngi mældust á sömu stöðum og berjasýnin BB3 og BB4⁴. Þessar niðurstöður eru í samræmi við erlendar athuganir sem og athuganir í Reyðarfirði undanfarin ár, þ.e. jafnvel þó að styrkur flúors í andrúmslofti og blöðum plantna sé hár þá innihalda ávextir, fræ og rætur lág gildi (Náttúrustofa Austurlands 2012, Weinstein og Davison 2004).

3.2.10 Hey

Grunnrannsóknir á heyi og öðru fóðri sem búfénaði í Reyðarfirði er gefið voru framkvæmdar árið 2006 og hefur áframhaldandi vöktun staðið síðan þá. Sýni hafa

⁴ Sömu sýnatökustaðir og BP4 og BP28 fyrir bláberjalyng.

verið tekin af heyi sem sett er út fyrir hross yfir vetrarmánuðina (vetrarheyi) til að kanna hvort flúor safnist upp í því.

Vegna hárra gilda sem mældust í heyi sem gefið var hrossum úti veturinn 2009 voru frekari rannsóknir gerðar á því árið 2010-2011. Niðurstöður þeirrar vöktunar má sjá í skýrslu sem Náttúrustofa Austurlands gaf út (Kristín Ágústsdóttir, 2011).

Þar sem styrkur flúors í grasi mældist hár sumarið 2012 óskaði Alcoa Fjarðaál eftir því við Náttúrustofu Austurlands að stofan framkvæmdi viðbótarrannsóknir á heyi sem hirt var í Reyðarfirði sumarið 2012.

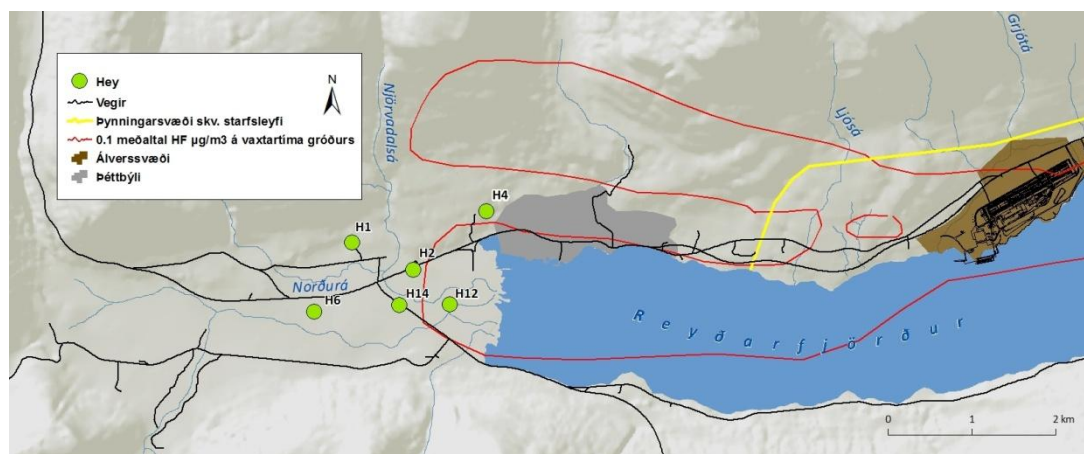
Heysýnum var safnað dagana 27. nóvember og 11. desember 2012. Alls var átta sýnum safnað (Mynd 46). Sýni H6, H2a, H2b og WH1 voru tekin úr heyrúllum úti en sýni H4, H14, H12 og H1 voru tekin úr heyrúllum inni.

Styrkur flúors mældist frá 11-34 µg/g í heyi sem hirt var sumarið 2012 og ætlað var til gjafar veturinn 2012-2013. Eitt sýni (WH1) var tekið af heyi sem hirt var sumarið 2011 og mældist mun lægri styrkur flúors í því sýni (Tafla 11).

Tafla 11. Niðurstöður mælinga á styrk flúors (µg/g) í heyi sem hirt var í Reyðarfirði sumrin 2011 og 2012. Miðað er við 12% rakainnihald sýnis.

Heysýni	Dags. sýnatöku	Flúorstyrkur µg/g*	Ætlað til fóðrunar á	Hvenær hirt
WH1	27.11.2012	6	Hrossum	2011
H6	27.11.2012	33	Hrossum	2012
H2a	27.11.2012	17	Hrossum	2012
H2b	27.11.2012	12	Hrossum	2012
H4	27.11.2012	20	Hrossum	2012
H14	27.11.2012	17	Sauðfé	2012
H12	27.11.2012	11	Sauðfé	2012
H1	11.12.2012	34	Hrossum	2012

*Miðað er við 12% rakainnihald sýnis.



Mynd 46. Staðsetning á tünnum sem heysýni voru tekin af í nóvember og desember í Reyðarfirði 2012.

Samkvæmt reglugerð um eftirlit með fóðri nr. 340/2001 sem í gildi er á Íslandi er hámarksstyrkur flúors í heilfóðri fyrir sauðfé og nautgripi 50 µg/g en 30 µgF/g fyrir mjólkandi ær. Hámarksstyrkur fyrir annan búfénað og þar á meðal hross er 150 µg/g í þessari reglugerð. Styrkur flúors í heyi fór í tveimur tilvikum yfir gildi fyrir mjólkandi ær, í sýni H6 og H1, en það hey var ætlað til að fóðra hross. Styrkur flúors fór ekki í neinu tilviki yfir viðmið fyrir hross (Tafla 11).

3.3 Sjónræn skoðun á gróðri

Eins og fram hefur komið berst flúor inn í laufblöð um loftop á yfirborði laufblaða. Inni í laufblaðinu leysist flúor upp í vatni og berst með því til jaðra blaðsins þar sem það safnast fyrir og ferðast ekki frekar um laufblað plöntunnar.

Ef styrkur flúors verður mikill 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. Þegar laufblað verður endurtekið fyrir háum styrk flúors yfir vaxtartímann getur það valdið röð dökkra strika í laufblaðinu. Svo getur farið að dauði vefurinn þorni og detti af laufblaðinu sem veldur því að lögun blaðsins verður einkennileg, einkum fremst. Almennu eru ung blöð í þroska mun viðkvæmari fyrir flúor en eldri fullþroskuð blöð. Þannig getur sama plantan sýnt mjög ólík einkenni, háð því á hvaða þroskastigi blöðin eru þegar þau verða fyrir flúormengun (Weinstein og 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 og Davison 2004).

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

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

Hafa bera í huga að mörg önnur atriði í umhverfinu geta valdið stressi í plöntum sem eru mjög líkar flúorskemmdum, t.d. salt, þurrkur, frost og vatnsskortur.

Hér er gerð grein fyrir mögulegum einkennum flúorskemmda á plöntum í Reyðarfirði sumarið 2012.

3.3.1 Sjaldgæfar tegundir

Sjónrænt mat á heilbrigði fimm sjaldgæfra plöntutegunda sem vaxa í Reyðarfirði var gert 6. júlí 2012. Þær sjaldgæfu tegundir sem fundist hafa í Reyðarfirði eru:

- Aronsvöndur (*Erysimum hieraciifolium*) 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 á válista, giljaflækja og þyrnirós (Hörður Kristinsson o.fl. 2007, Náttúrufræðistofnun 1996).

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

Allar fimm tegundirnar voru heilbrigðar og ekki hægt að sjá að þeim stafi sérstök hætta af starfsemi álvers eða framkvæmdum því tengdu, né heldur sýndu þær einkenni flúorskemmda (Mynd 47). Líkt og fyrri ár er vaxtarstað giljaflækju og fuglaertu ógnað af ágengum tegundum, kerfli (*Myrrhis odorata*) og njóla (*Rumex longifolius*) og var nýbúið að slá vaxtarstað þeirra þegar athugun fór fram. Einnig er mikið um túnfífil (*Taraxacum* spp) í giliinu þar sem þessar tegundir vaxa.



Mynd 47. Samsett mynd. Vaxtarstaður giljaflækju og fuglaertu (efst til vinstri), aronsvöndur (til hægri), þyrnirós (neðst til vinstri) og stóriburkni (neðst til hægri) sumarið 2012.

3.3.2 Garðaplöntur og tré

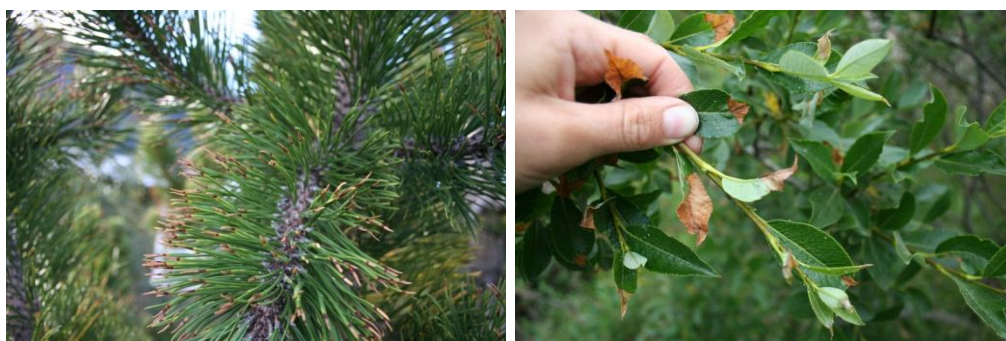
Undanfarin ár hefur helst mátt greina skemmdir á garðagróðri sem eru taldar vera af völdum flúors í næsta nágrenni við álverið, einkum á trjám við Teigagerði og við Framnes (Náttúrustofa Austurlands 2012, Náttúrustofa Austurlands 2011).

Garðagróður í þéttbýlinu á Reyðarfirði og í trjáræktarsvæðum milli álversins og bæjarins var skoðaður þann 13. ágúst og 9. september 2012. Gróður var ljósmyndaður og skoðaður til að leita ummerkja um skemmdir á plöntuvef af völdum flúors.

Mjög þurr var framan af sumri í Reyðarfirði og bar gróður þess merki.

Fyrir ofan álverið sást einkenni flúorskemmda á birki (*Betula nana*). Um 10% laufblaða á öllum birkiplöntum sýndu merki flúorskemmda. Blöðin voru kúpt og dauður vefur (e. necrosis) var á enda blaðanna. Einnig voru jaðrar blaða gulir (e. chlorosis). Þessi einkenni voru mest áberandi á ungum laufblöðum, enda eru þau viðkvæmari fyrir flúor.

Við Framnes, rétt vestan álversins sást einkenni flúorskemmda á sigurskúf (*Chamaenerion angustifolium*), ætihvönn (*Angelica archangelica*), furu (*pinus sp.*), ösp (*Populus sp.*), reynivið (*Sorbus sp.*) og víði (*Salix spp.*). Einkenni flúorskemmda á plöntunum var dauður vefur á blaðendunum/nálum sem var afmarkaður með dökku bandi frá heilbrigða vefnum. Einnig bar á gulnun (chlorosis) í jöðrum blaðanna.



Mynd 48. Mögulegar flúorskemmdir í gróðri í Reyðarfirði. Furu (*Pinus sp.*) við í trjáræktareit (t.v.) og víðir (*Salix sp.*) við Andapoll (t.h.) .

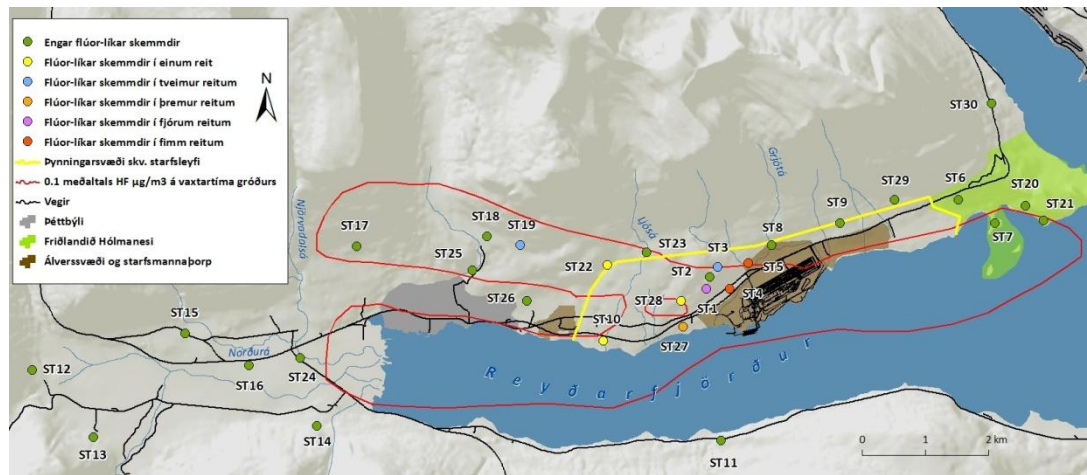
Við Teigagerði voru aspir með kúpt blöð og dauðan vef á framoddum, nokkuð dæmigerð einkenni flúorskemmda. Merki um flúorskemmdir á smáblöðum reynitrjáa sást einnig við Teigagerði sem og í kirkjugarðinum utan við bæinn.

Inn í bænum á Reyðarfirði sást flúor skemmdir á Íris (*Iris sp.*) líkt og undanfarin ár. Einnig sást skemmdir á furu á nokkrum stöðum í trjáræktareitum og í bænum. Skemmdir á víði sást inn í bænum (Mynd 48).

3.3.3 Gróður í rannsóknarreitum

Villtur gróður í 150 rannsóknarreitum á 30 vistfræðistöðvum í Reyðarfirði var skoðaður dagana 4., 5., 9., og 10. júlí 2012 (Mynd 49). Reitir voru ljósmyndaðir og ummerkja um mögulegar skemmdir á plöntuvef af völdum flúors leitað. Almennt var gróður í nokkuð góðu ásigkomulagi en einkenni sem líkjast skemmdum af völdum flúors fundust á 9 stöðum og voru allar stöðvarnar, nema ein, innan þynningarsvæðis álversins (Mynd 49).

Einkenni sást aðallega á bláberjalyngi (*Vaccinium uliginosum*), fjalldrapa (*Betula nana*) og víði (*Salix sp.*). Blaðendar voru dauðir (necrosis) og í sumum tilfellum sást gulur litur á blöðum. Vaxtarlag laufblaða var einnig einkennilegt í nokkrum reitum innan þynningarsvæðis, laufblöðin voru kúpt og endar rúnaðir. Helst mátti greina flúor lík einkenni á nýjum laufblöðum. Á svæðum næst álveri mátti greina dauðan mosa.



Mynd 49. Rannsóknastöðvar í Reyðarfirði. Sýnilegar skemmdir á gróðri sem líktust flúor-skemmdum sáust á 8 stöðvum sumarið 2012 (©Landmælingar Íslands, leyfi nr. L05040009).

Líkt og fyrri ár sáust ýmiss konar skemmdir á gróðri af völdum annarra þátta s.s. skordýra og sveppasýkinga.

3.3.4 Fléttur og mosar

Frá árinu 2005 hefur verið fylgst með fléttum og mosum í föstum reitum á steinum og klöppum í Reyðarfirði. Reitirnir hafa verið ljósmyndaðar til að fylgjast með breytingum á þekju þeirra.

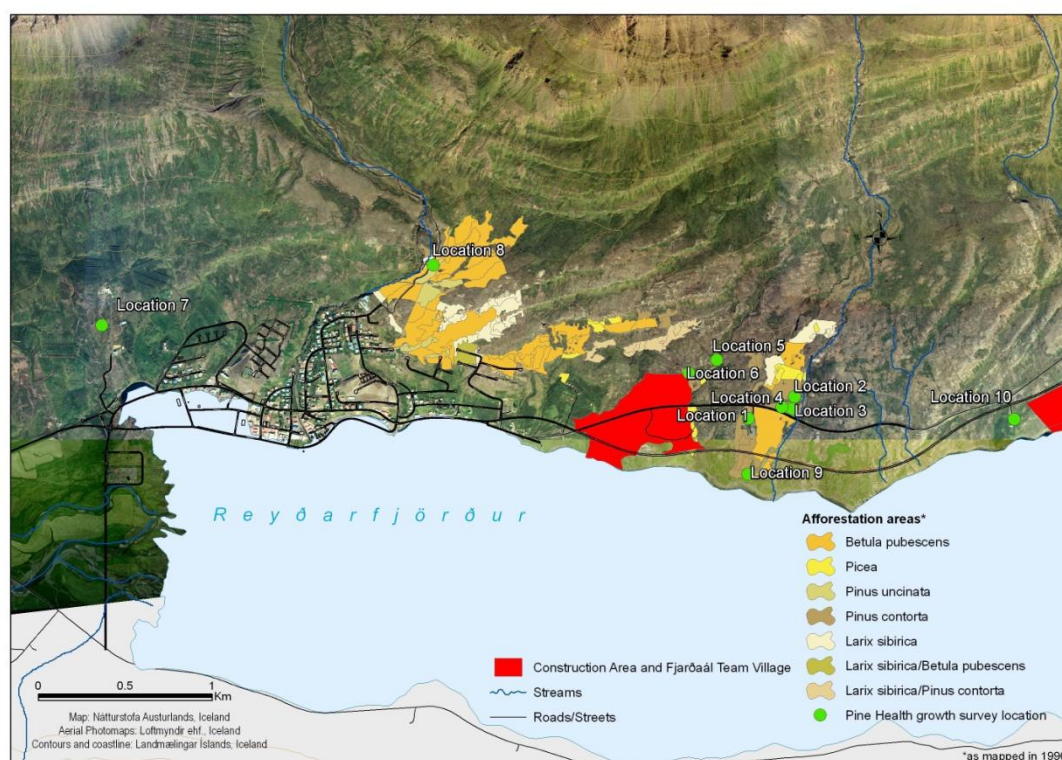
Engar greinanlegar breytingar voru á þekju mosa og fléttna í reitum milli ára.

Ljósmyndir af öllum fléttureitum árið 2012 er að finna á geisladiski sem fylgir þessari skýrslu. Yfirlit yfir myndir er að finna í Viðauka 14.

3.4 Trjávöxtur

Furutegundir (*Pinus* sp) eru taldar viðkvæmar fyrir flúor. Þolmörk viðkvæms gróðurs s.s. furutrjáa gagnvart loftbornu flúori (HF) 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 minni vexti (Weinstein og Davison 2004, R. Liteplo of. 2002, Ongstad o.fl. 1994).

Í Reyðarfirði hefur furutrjám verið plantað á nokkrum stöðum á afmörkuðum svæðum. Mest er af stafafuru (*Pinus contorta*) í skógræktarreitum en einnig er bergfura (*P. uncinata*) á Framnesi (staðsetning 10) og víðar. Staðsetningu trjámæltreita má sjá á Mynd 50 ásamt yfirliti yfir þekju og tegundasamsetningu skógræktarreita á Reyðarfirði.



Mynd 50. Staðsetning 10 trjámæltreita í Reyðarfirði og tegundir trjáa sem finnast í þeim. Kortlagning skógræktarsvæðis var gerð af Skógræktarfélagi Íslands (©Landmælingar Íslands, leyfi nr. L05040009).

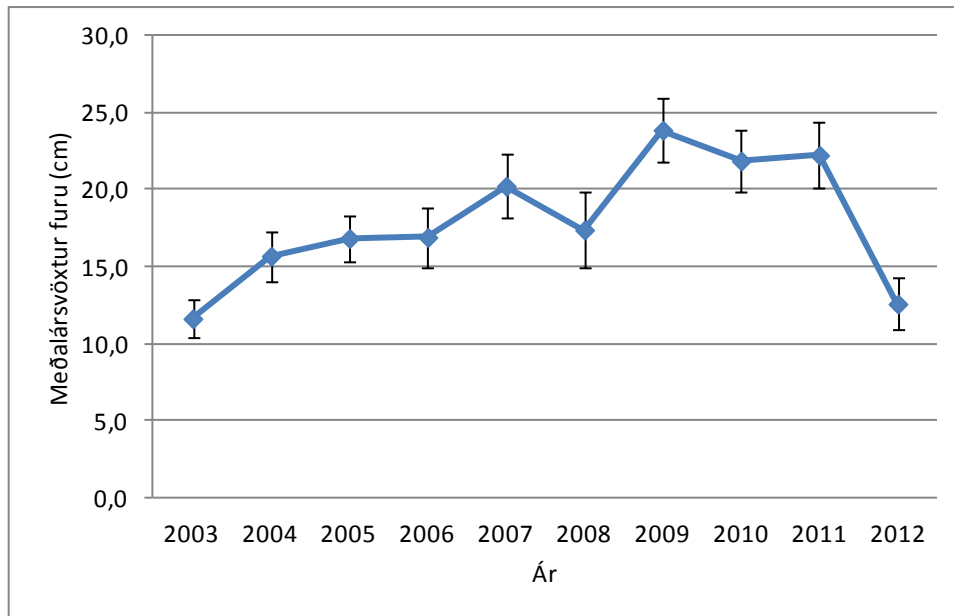
Árið 2005 voru gerðar frumathuganir á vexti furu (*Pinus* sp) í 10 trjáræktarreitum í Reyðarfirði. Toppssprotar voru mældir með tommustokk. Tíu tré voru mæld í trjáræktarreit 1-9 en 8 í trjáræktarreit 10 eða samtals 98 tré. Öll tré voru staðsett með gps tæki og merkt með númeri og borða til að hægt væri að finna þau aftur.

Mælingar voru síðan endurteknaðar 2009 og 2011. Árið 2012 voru mælingar framkvæmdar 9. og 18. september. Hægt er að bera saman vöxt furu fyrir og eftir að álver hóf rekstur því þegar fyrstu mælingar voru gerðar árið 2005 var mældur vöxtur aftur til ársins 2003 og árið 2009 var vöxtur árána 2006, 2007, 2008 og 2009 mældur. Árið 2011 var síðan vöxtur 2009, 2010 og 2011 mældur og árið 2012 var vöxtur 2010, 2011 og 2012 mældur.

Meðalvöxtur vaxtarsprota stafafuru (*P. contorta*) í trjáræktarreitum árið 2012 var 9-23 cm (staðsetningar 1-9) og 11,3 cm hjá bergfuru (*P. uncinata*) (staðsetning 10). Vöxturinn var minni í öllum trjáræktarreitum stafafuru árið 2012 heldur en 2011. Mestur var munurinn á vexti í trjáræktarreit 7 sem er hjá Kollaleiru en minnstur var munurinn í trjáræktarreit 3 sem er staðsettur á skilgreindu skógræktarsvæði vestan álversins (Tafla 12 og Mynd 50). Fram að þessu hefur ársvöxtur furu mælst meiri eftir að álver Alcoa Fjarðaáls hóf starfsemi sína og ekki hægt að sjá að álverið hafi haft hamlandi áhrif á vöxt furutrjáa (Erlín Emma Jóhannsdóttir o.fl. 2012). Ársvöxturinn 2012 er hins vegar mun minni heldur en síðustu ár eða um 13 cm sem er um helmingi minni vöxtur heldur en árið 2011 sem var um 22 cm (Mynd 51). Niðurstöður allra mælinga fyrir hvert tré má finna í Viðauka 12 .

Tafla 12. Meðalvöxtur vaxtarsprota (cm) á stafafuru (staðsetning 1-9) og bergfuru (staðsetning 10) frá árinu 2003-2012 í tíu trjáræktarreitum í Reyðarfirði. Staðalskekkja meðaltalanna segir til um breytileika í vexti fyrir hverja staðsetningu.

Staðsetning		2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
1	Meðalvöxtur	9,4	14,0	12,8	15,2	18,3	12,5	18,6	20,8	18,9	12,2
	Staðalskekkja	1,1	1,5	1,1	2,2	2,2	2,3	3,1	2,4	2,3	2,0
2	Meðalvöxtur	18,0	17,3	16,7	16,67	24,10	17,4	18,8	15,35	13,75	8,9
	Staðalskekkja	1,8	2,1	1,7	1,70	1,63	1,9	1,72	2,17	2,53	1,9
3	Meðalvöxtur	12,1	14,6	15,5	15,9	21,0	14,7	16	17,9	16,0	11,6
	Staðalskekkja	1,1	1,8	1,2	2,3	1,4	1,8	2,13	1,7	2,1	1,8
4	Meðalvöxtur	10,8	11,5	15,9	17,06	21,57	15,12	28,8	24,9	23,5	10,2
	Staðalskekkja	1,4	1,2	1,3	1,99	1,13	1,64	1,4	0,8	1,5	1,3
5	Meðalvöxtur	13,3	12,5	17,7	18,3	18,8	20,6	26,5	25,7	28,4	13,8
	Staðalskekkja	1,3	1,1	2,2	1,7	2,6	2,3	1,7	2,0	1,5	1,7
6	Meðalvöxtur	9,1	14,0	14,6	15,1	16,4	15,5	26,7	22,2	23,7	10,9
	Staðalskekkja	1,1	2,0	1,5	2,6	2,4	2,4	2,2	1,7	2,0	1,0
7	Meðalvöxtur	11,5	14,8	21,4	19,3	15,7	20,1	28,2	27,0	29,5	12,0
	Staðalskekkja	1,3	1,3	1,5	1,9	2,8	3,5	2,3	2,5	1,9	1,3
8	Meðalvöxtur	14,8	21,4	20,2	18,2	24,2	21,2	19,6	14,1	15,1	11,2
	Staðalskekkja	0,9	1,4	1,3	1,2	2,7	3,8	1,5	1,1	1,4	1,4
9	Meðalvöxtur	14,9	21,1	17,0	16,5	22,3	19,5	31,9	29,1	31,4	22,6
	Staðalskekkja	1,3	2,0	1,3	1,7	1,5	2,9	2,8	3,8	3,9	3,0
10	Meðalvöxtur	7,3	9,4	10,9	6,8	9,0	5,9	13,1	12,1	9,2	11,3
	Staðalskekkja	0,7	0,6	0,6	0,6	0,9	0,6	0,8	0,6	0,5	0,8
Meðaltal staðsetninga 1-9		11,6	15,7	16,8	16,9	20,2	17,4	23,9	21,9	22,2	12,6



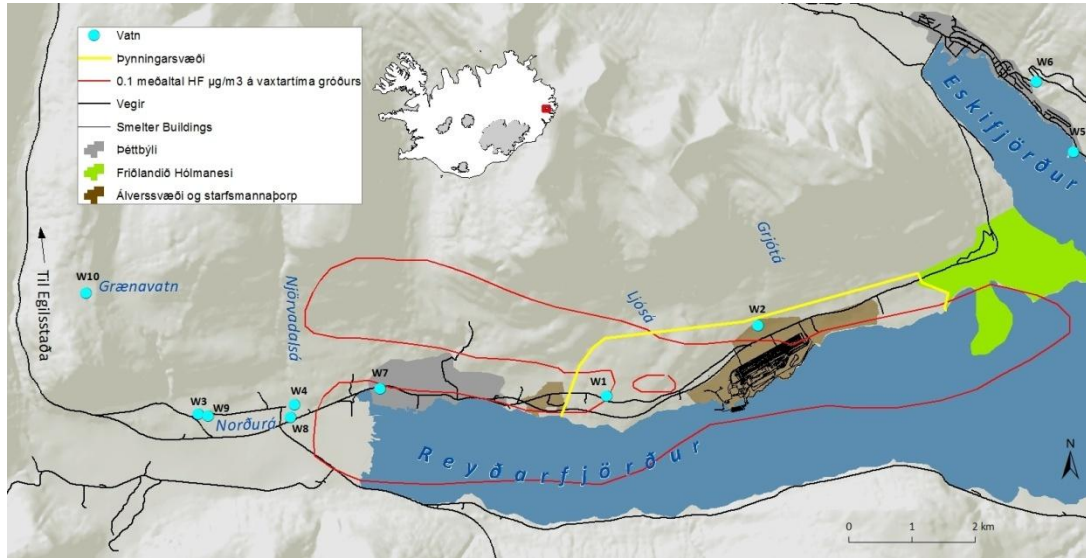
Mynd 51. Meðalársvöxtur stafafuru (*P. contorta*) í 9 trjásmælireitum í Reyðarfirði tímabilið 2003-2012.

Eins og fram hefur komið var mjög þurrviðrasamt í Reyðarfirði sumarið 2012 og ekki hægt að útiloka að það hafi valdið því að vöxtur furutrjáa hafi verið mun minni en árið á undan. Ekki er þó heldur hægt að útiloka að flúor hafi haft hamlandi áhrif á vöxt furutrjáa í Reyðarfirði árið 2012.

4 Yfirborðsvatn

4.1 Inngangur

Sýni voru tekin á 10 sýnatökustöðum úr fjórum ám (W1-W4), fjögur sýni af drykkjarvatni (W5-W9) og eitt sýni úr vatni (Grænavatn, W10) (Mynd 52). Sýni voru tekin 4 sinnum yfir árið á stöðum W1-W9, þann 30. janúar, 23. apríl, 11. júlí og 8. október en tvisvar á stað W10, 11. júlí og 8. október. Í öllum sýnamengjum var mælt sýrustig (pH) og basarýmd (alkalinity), styrkur flúors og styrkur brennisteins hjá Efnagreiningum, Nýsköpunarmiðstöð Íslands. Auk þess var ákvarðaður styrkur fjölringa arómatískra vetniskolefna (polycyclic aromatic hydrocarbons, PAH) í sýnum sem tekin voru í október. PAH mælingar voru framkvæmdar hjá Eurofins GfA Lab Service GmbH í Þýskalandi. Niðurstöður efnamælinga í vatnssýnum má finna í Viðauka 13.

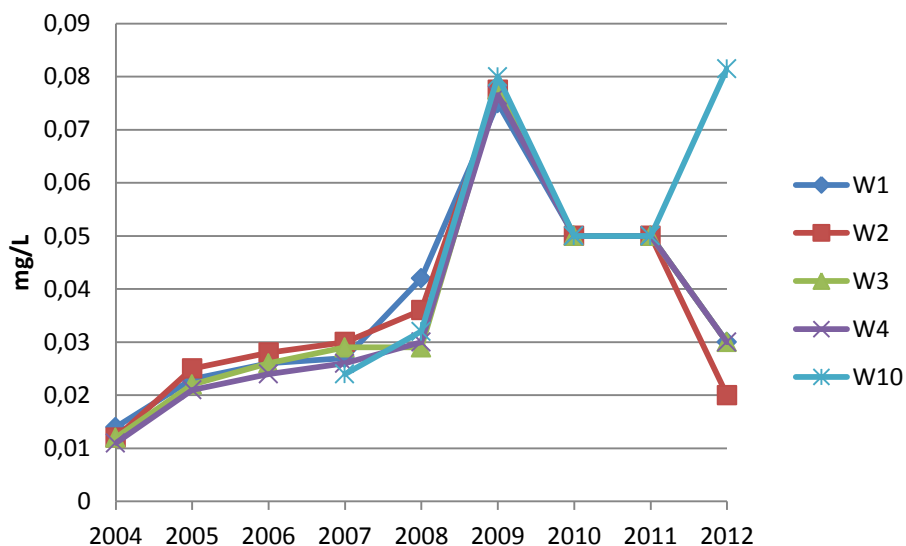


Mynd 52. Sýnatökustaðir vatnssýna.

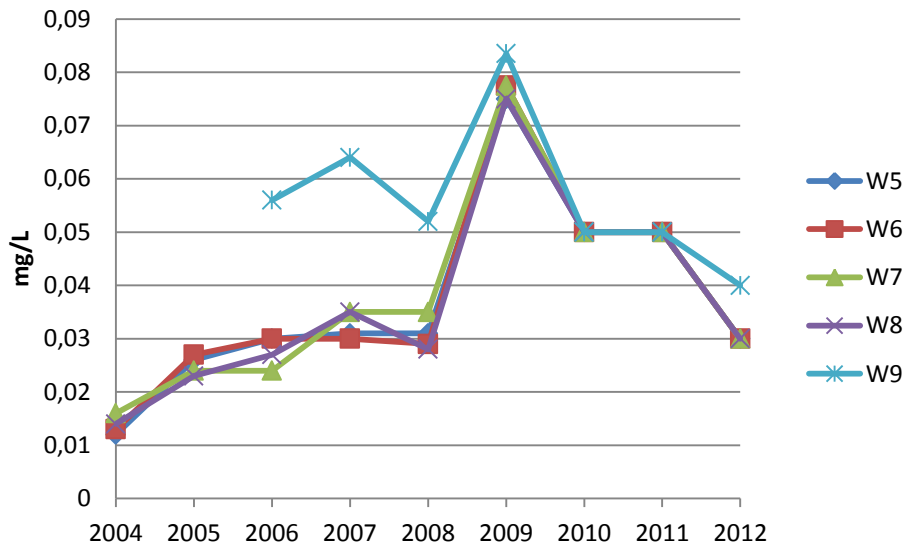
4.2 Niðurstöður

4.2.1 Flúor

Samkvæmt reglugerð 536/2001 er hámarksgildi fyrir flúorinnihald neysluvatn 1,5 mg/L. Heildarársmeðal flúors í vatni fyrir árið 2012 er 0,03 mg/L. Meðaltal fyrir árvatn (W1-W4) er einnig 0,03 mg/L en var 0,05 mg/L fyrir árið 2011 en nokkur hækkun mældist í Grænavatni (W10), frá 0,05 mg/L árið 2011 í 0,08 mg/L fyrir árið 2012. Þessi hækkun kemur aðallega fram í sýni tekið í júlí (sjá viðauka 13) og er í samræmi við hækkun á styrk flúors í regnvatni yfir sumarið. Ársmeðaltal fyrir neysluvatn (W5-W9) mældist 0,04 mg/L en var árið 2011 0,05 mg/L. Á Mynd 53 og Mynd 54 má sjá styrk flúors í vatni fyrir árin 2004 til 2012.



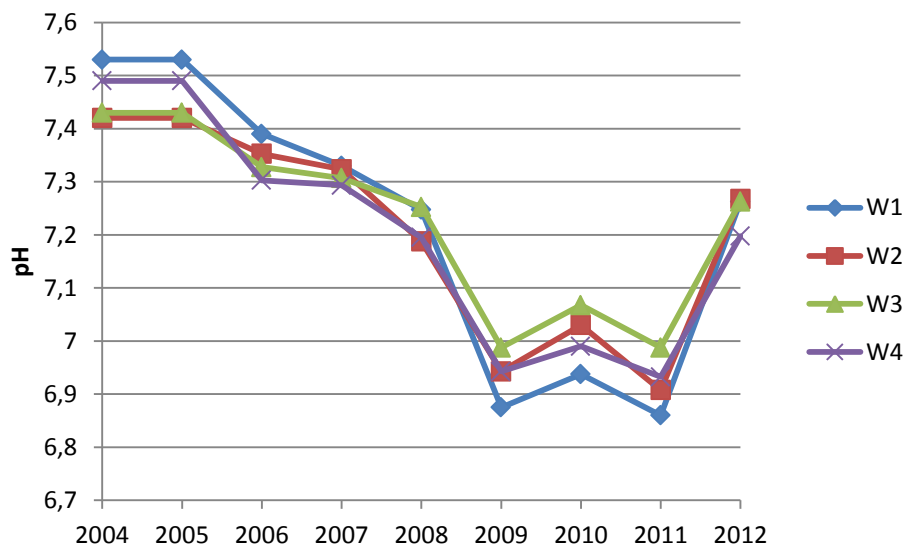
Mynd 53. Fylgni ársmeðaltals af styrk flúors í árvatnsýnum og Grænavatni fyrir árin 2004-2012.



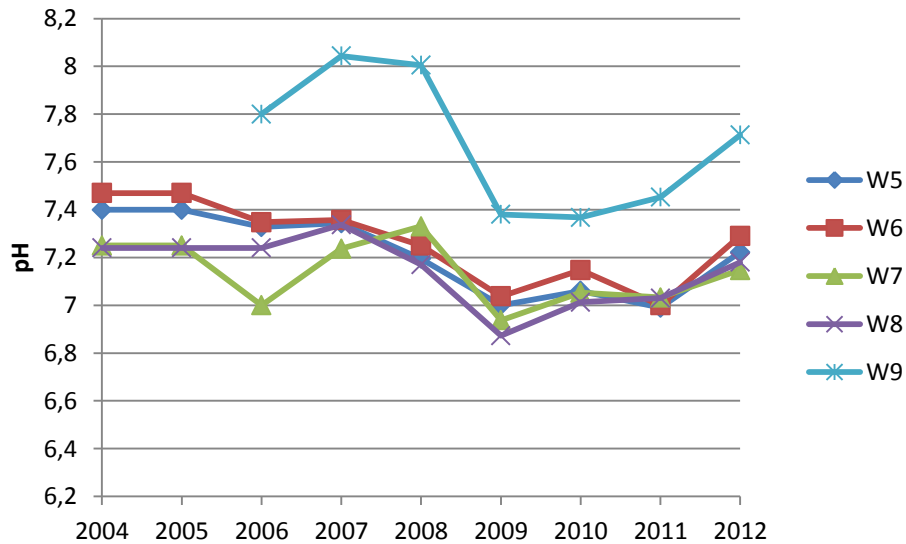
Mynd 54. Fylgni ársmeðaltals af styrk flúors í neysluvatni fyrir árin 2004-2012.

4.2.2 Sýrustig (pH)

Í reglugerð um neysluvatn (reglugerð 536/2001) er tekið fram að neysluvatn skuli hafa pH gildi á bilinu 6,5 til 9,5. Heildarársmeðaltal sýrustigs vatns árið 2012 var 7,30, sem er talsverð breyting frá árinu 2011 þegar meðaltalið mældist 7,06. Hæst mældist ársmeðaltalið í Grænavatni (W10), 7,33 og lægst í W7 eða 7,15. Ársmeðaltal sýrustigs í ám (W1-W4) var 7,25 og í neysluvatni (W5-W9) 7,31, sem í báðum tilvikum er hækkun frá 2011 (6,92 og 7,07). Þó að nokkur hækkun sé í sýrustigi á öllum stöðvum frá fyrra ári eru engin gildi utan þeirra marka sem áður hafa mælst (Mynd 55).



Mynd 55. Fylgni ársmeðaltals af sýrustigi í árvatnsýnum fyrir árin 2004-2012.



Mynd 56. Fylgni ársmeðaltals af sýrustigi í neysluvatni fyrir árin 2004-2012.

4.2.3 Fjölhringa arómatísk vetniskolefni (PAH efni)

Í reglugerð um neysluvatn (reglugerð 536/2001) er gefið hámarksgildið 0,10 µg/L þar sem viðmiðunargildið er summa af styrk efnasambandana benzo(b)flúoranten, benzo(k)flúoranten, benzo(ghi)perylene og indeno(1,2,3-cd)pyren. Sýni fyrir sýnatökustaði W1, W4 og W6 töpuðust í flutningum og voru því ekki greind. Ársmeðaltal fyrir viðmiðunargildið er <0,00793 µg/L, meðaltal í ám (W2 og W3) er <0,00780 og í Grænavatni (W10) <0,00792. Ársmeðaltal í neysluvatni (W5, W7-W9) er <0,00790. Öll efni mældust undir magngreiningarmörkum og því eru tölurnar gefnar upp sem <X (minna en). PAH-efni greindust ekki í neinum sýnum árið 2011. Niðurstöður fyrir heildarmagn PAH efna fyrir árin 2006-2012 má sjá í töflu 13.

Tafla 13. Heildarmagn PAH efna.

Ár	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	W9	W10
2006	0,1	0,26	0,25	0,53	0,09	0,13	0,11	0,24	0,69	
2007	1,19	0	0,14	0	0,11	0,12	0,11	0,17	0,15	0,63
2008	0,46	0,08	7,88	0,09	0,08	0,08	0,14	0,09	0,07	8,83
2009	0	2,37	0,05	0	0	0	0	0	0	0
2010	0,16	4,61	0,07	1,53	0,13	0,09	0,09	0,09	0,09	0,12
2011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	*	<0,0796	<0,0607	*	<0,0618	*	<0,0578	<0,0588	<0,0549	<0,145

4.2.4 Súlfat og basarýmd

Styrkur súlfats lækkaði lítillega frá árinu 2011, bæði í árvatni og neysluvatni (Tafla 14).

Tafla 14. Styrkur slúlfats (mg/L) í vatnsýnum árin 2010-2012.

	2010	2011	2012
Árvatn	0,35	0,36	0,31
Neysluvatn	0,43	0,47	0,39

Basarýmd (alkalinity) vatnssýna lækkaði lítilega miðað við árið 2012, bæði í árvatni og neysluvatni (Tafla 15).

Tafla 15. Basarýmd (mg CaCO₃/L) vatnsýna árin 2010-2012.

	2010	2011	2012
Árvatn	15,3	16,3	13,0
Neysluvatn	20,9	22,3	18,2

5 Samantekt

Í þessum kafla eru dregnar saman helstu niðurstöður umhverfisvöktunarinnar sem og niðurstöður vegna viðbótarrannsókna í Reyðarfirði sem eru jafnframt birtar í Viðauka 15 sem er prentaður í viðauka skýrslu.

5.1 Loftgæði

5.1.1 Svifryk

Svifryk mældist aldrei yfir heilsuverndarmörkum á árinu 2012. Niðurstöður gefa til kynna að ekki er um eina meginuppsprettu ryks í Reyðarfirði að ræða.

5.1.2 Brennisteinstvíoxíð

Meðaltal brennisteinstvíoxíðs árið 2012 er hærra en meðaltal ársins 2011. Meginbreyta í áhrifum á meðaltal brennisteinstvíoxíðs er vindstyrkur, en mældur styrkur brennisteinstvíoxíðs er yfirleitt í öfugu hlutfalli við vindstyrk og eru mæligildi jafnan hæst frá og með apríl og út ágúst þegar hægviðri eru algeng. Enginn dagur fer þó yfir gróðurverndarmörk né klukkustund yfir heilsuverndarmörk.

5.1.3 Flúor í lofti (HF)

Flúor í lofti (HF) mælist hærra árið 2012 en 2011 en fer þó aldrei yfir viðmiðunarmörk ($0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$) fyrir gaskenndan flúor á tímabilinu apríl-september utan þynningarsvæðis. Gaskenndur flúor fer þó einu sinni yfir þau mörk en innan þynningarsvæðis.

5.1.4 Fjölhringa arómatísk vetniskolefni (PAH)

Styrkur fjölhringa arómatískra vetniskolefna var lægri árið 2012 en 2011. BaP mældust undir umhverfismörkum sem sett eru í reglugerð 420/2008.

5.1.5 Efnainnihald í úrkomu

Nokkur súrnun í úrkomu hefur átt sér stað á síðustu árum og raunar verið viðvarandi frá upphafi rekstrar álfersins. Það er líklegt að súrnunin tengist auknum styrk brennisteinstvíoxíðs og koltvíoxíðs. Í ár hækkaði hins vegar sýrustig í úrkomu.

Flúorgildi í úrkomu hækka verulega að meðaltali milli ára. Tveir mánuðir, júní og ágúst mælast sérstaklega háir, en engrar úrkomu varð vart í júlí. Víst er að ástæða hækkunar á þessu tímabili er bilun í lofthreinsivirki Fjarðaáls. Fjögur mæligildi valda þessari hækkun, mælingar á stöð 1-3 í júní og mæling á stöð 2 í ágúst. Það má reyndar búast við hækkun yfir sumartímann, sem má að mestu leyti rekja til hægviðris, en þessi gildi eru töluvert umfram það. Að öðru leyti eru flúorgildi í úrkomu eðlileg.

Brennisteinn í úrkomu hækkar svolítið að meðaltali árið 2012 samanborið við 2011. Mæligildi á stöð 2 og 4 lækka lítillega en hækka meira en því nemur á stöð 1 og 3. Þokkaleg fylgni er milli mælds brennisteinstvíoxíðs í lofti og brennisteins í úrkomu og eru mæligildi hærri í hægu veðri yfir sumarið og einnig undir lok ársins.

5.2 Gróður

5.2.1 Styrkur flúors í gróðri

Ársmeðaltal flúors í öllum gróðursýnum var hærra árið 2012 en 2011 nema í laufblöðum reyniviðar. Marktæk breyting til hækkunar var á gildi flúors í grassýnum, mosa, fléttum og bláberjalyngi. Marktæk lækkun var hins vegar á styrk flúors í laufum reyniviðar á milli ára. Breytingar í öðrum gróðursýnum reyndust ekki marktækar.

Styrkur flúors í rabarbarastilkum, kartöflum og berjum var í öllum tilfellum mun lægri heldur en styrkurinn í laufblöðum á sömu stöðum og af sömu plöntum. Þetta sýnir að þó styrkur flúors í andrúmslofti og í blöðum plantna sé hár, þá innihalda ávextir, fræ og rætur mun lægri styrk flúors. Þessar niðurstöður eru í samræmi við eldri rannsóknir (Weinstein og Davison 2004, Náttúrustofa Austurlands 2012, 2011, 2010, 2009, 2008).

Skynsamlegt er þó að skola ber sem týnd eru innan þynningarsvæðis álversins áður en þeirra er neytt.

5.2.2 Dreifing flúors frá álveri

Þrátt fyrir að styrkur flúors hafi verið breytilegur eftir tegundum þá var dreifingarmynstrið mjög sambærilegt á milli tegunda og skýrist styrkurinn aðallega af ríkjandi vindáttum, nálægð við álver og landslagi. Flúor dreifist frá uppruna meðfram hlíðum norðan megin til vesturs með ríkjandi vindátt. Styrkurinn fór lækkandi, mismikið þó eftir tegundum, þegar innar dró. Í öllum gróðursýnum mældist styrkur flúors lægstur í Hólmanesfriðlandi austan við álverið og sunnan fjarðar. Þetta er í samræmi við fyrri niðurstöður sem og erlendar rannsóknir sem sýnt hafa fram á að styrkur flúors er hæstur undan ríkjandi vindátt næst mengunarvaldi (Vike og Hábjorg 1995, Náttúrustofa Austurlands 2012, 2011, 2010, 2009).

Dreifing og styrkur flúors í gróðri sumarið 2012 er ekki í samræmi við loftdreifingarspá sem unnin var fyrir álverið í Reyðarfirði (EarthTech 2006). Ekki er vitað hversu langt flúorinn barst inn í Fagradal og inn Þórdalsheiði. Dreifingarspáin fyrir $0,1 \mu\text{g F/m}^3$ á vaxtartíma gróðurs gerði ráð fyrir að mörkin næðu vestur fyrir þéttbýlið og að fjarðarbotni (t.d Mynd 23, bls. 37).

5.2.3 Styrkur þungmálma í rabarbara og kartöflum

Uppruni þungmálma í rabarbara og kartöflum er óljós og eru engar vísbendingar um að hærri styrkur þungmálma mælist nær álveri. Öll sýni af grænmeti voru undir viðmiðum sem gefin eru fyrir kadmíum og blý árið 2012.

5.2.4 Sjónræn skoðun á gróðri

Undanfarin ár hefur helst mátt greina skemmdir af völdum flúors í næsta nágrenni álversins. Mögulegar skemmdir af völdum flúors sáust á gróðri í Reyðarfirði á nokkrum stöðum og í meiri fjarlægð heldur en undanfarin ár. Skemmdir sáust á laufum reyniviðar, á garðaplöntum og trjám við Framnes sem er innan þynningarsvæðis en einnig í skógræktarreitum og inni í bænum á Reyðarfirði.

Flúorskemmdir voru einnig greindar í móum í Reyðarfirði en aðallega innan þynningarsvæði.

Vöxtur furutrjáa í trjáræktarreitum var mun minni nú heldur en síðustu ár og gæti það stafað af hærri styrk loftborins flúors heldur en 2011.

5.3 Grasbítar

5.3.1 Styrkur flúors í fóðri búfánaðar

Meðalstyrkur flúors í grasi á vaxtartíma er notaður sem vísir fyrir búfé, því það verður fyrir áhrifum af langvarandi neyslu flúors í fóðri. Styrkur flúors í grasi norðvestan og vestan álvers í Reyðarfirði sumarið 2012 var yfir íslenskum viðmiðunarmörkum flúors í fóðri fyrir sauðfé en undir viðmiðum sunnan fjarðar og austan álvers.

Styrkur flúors í heyi sem safnað var annars vegar í október og hins vegar í nóvember fór aldrei yfir íslensk viðmið fyrir hross. Aftur á móti var styrkur flúors í heyi af tveimur túnum yfir viðmiðunarmörkum sem í gildi eru á Íslandi fyrir mjólkandi ær. Það hey var ætlað til fóðrunar á hrossum. Full ástæða er til að fylgjast áfram með styrk flúors í heyi til að koma í veg fyrir að búfánaði sé gefið fóður með of háu flúor innihaldi.

Vert er að benda á að þó að viðmiðunarmörk flúors í fóðri fyrir hross á Íslandi séu hærri en fyrir sauðfé og kýr eru sumir þeirrar skoðunar að þolmörk þessara dýrategunda séu sambærileg. Í ljósi þess að hrossum er beitt á afmörkuð svæði er mikilvægt að fylgjast vel með styrk flúors í grasi í nágrenni beitarsvæða þeirra til að koma í veg fyrir að þau verði fyrir langvarandi neyslu flúors.

5.3.2 Styrkur flúors í kjálkum sauðfjár

Styrkur flúors í kjálkum úr sauðfé sem gekk í Reyðarfirði sumarið 2012 var almennt hátt bæði í fullorðnu fé sem og lömbum. Ekki sást þó breytingar á tönnum eða kjálkabeinum sem bentu til flúoreitrunar. Ekki sást heldur skemmdir á tönnum hrossa. Vert er að benda á að oft líður langur tími áður en áhrif flúormengunar í fóðri koma fram í tönnum dýra.

5.3.3 Önnur dýr

Umhverfisvöktun álvers Alcoa Fjarðaláls við Reyðarfjörð nær aðeins til valinna lífvera. Fjölmargar aðrar lífverur finnast í grennd við álverið. Má þar nefna hreindýr auk fjölda tegunda fugla, smádýra og plantna sem geta ýmist verið bundnar við land, ferskvatn eða sjó. Áhrif flúors á margar þessara tegunda hafa lítið verið könnuð hér á landi.

Gerðar voru mælingar á styrk flúors í kjálkabeinum hreindýra í grunnrannsóknnum álvers Alcoa Fjarðaáls. Um 150 hreindýr héldu sig í Reyðarfirði í árslok 2012 og fram í byrjun árs 2013, aðallega á svæðinu frá Áreyjum og austur í Eskifjörð. Nokkrum sinnum sást til hreindýra utan þess tíma skv. dagbók um hagagöngu hreindýra árið 2012 (Náttúrustofa Austurlands, óbirt). Meðalstyrkur flúors í mosa og fléttum var yfir viðmiðunarmörkum fyrir nautgripi, eða 129 µg/g í mosa og 56 µg/g í fléttum. Ekki er með öllu ljóst hver heildar styrkur flúors í fæðu hreindýra sem héldu sig í

Reyðarfirði í árslok 2012 var. Hreindýr bíta þó á víðfeðmum svæðum þannig að langtíma styrkur flúors í fæðu þeirra ætti að vera lægri en sá styrkur sem var að mælast í gróðri í Reyðarfirði sumarið 2012. Langtímaáhrif flúors á hreindýr eru ekki ljós og er vert að fylgjast með styrk flúors í fæðu þeirra og afla upplýsinga um ferðir þeirra áfram.

Gæsir eru dæmi um fugla sem bíta gras og geta orðið fyrir áhrifum af völdum flúors en viðmið flúors í fóðri fyrir t.d alifugla eru mun hærri heldur en mældist í grasi í Reyðarfirði sumarið 2012.

5.4 Yfirborðsvatn

Engar stórvægilegar breytingar urðu á þeim gildum sem mæld voru í vatnsýnum árið 2012 miðað við fyrri ár. Helst mætti nefna að styrkur flúors í Grænavatni hækkaði nokkuð frá árinu 2011, ólíkt gildum fyrir aðra sýnatökustaði sem allir sýndu lækkun frá árinu 2011. Þessi hækkun kemur aðallega fram í sýni sem tekið var í júlí en styrkurinn lækkaði svo aftur í sýni sem tekið var í október. Þetta er í samræmi við mikla hækkun í flúor styrk í regni í júní og ágúst, auk þess að Grænavatn er staðsett undan ríkjandi vindátt frá iðnaðarsvæðinu. Ástæða þess að þessi aukning mælist ekki í ánum á sama svæði er líklega vegna söfnunaráhrifa sem getur gætt í vötnum, sérstaklega yfir sumarið þegar uppgufun er meiri. Sýrustig hækkaði á öllum sýnatökustöðum en mældist þó innan þeirra marka sem mælist hafa á fyrri árum. Þau PAH efni sem reglugerð segir til um að fylgjast skuli með voru á mörkum þess að vera greinanleg á öllum sýnatökustöðum og styrkur annarra PAH efna var einnig lágur. Lítil breyting varð á mældum gildum fyrir styrk súlfats og basarýmd.

6 Lokaorð

Hækkuð gildi flúors í gróðursýnum milli áranna 2011 og 2012 eru rakin til hærri styrks flúors í lofti sem og veðurfarslegra þátta eins og lítillar úrkomu sumarið 2012 í Reyðarfirði. Hærri styrkur flúors í lofti árið 2012 miðað við árið á undan er rakinn til bilunar í þurrhrensivirki álversins.

Breytilegur styrkur flúors í mismunandi tegundum gróðurs verður ekki skýrður öðruvísi en með samspili margra ólíkra þátta, s.s. upptöku og losun ólíkra tegunda, veðurfarslegum þáttum og tímasetningu söfnunar.

Þar sem styrkur flúors í grasi var yfir viðmiðunum fyrir sauðfé og nautgripi norðvestan álvers er full ástæða til að fylgjast áfram með búfénaði í Reyðarfirði, sérstaklega ungvíði frá sumrinu 2012.

7 Heimildir

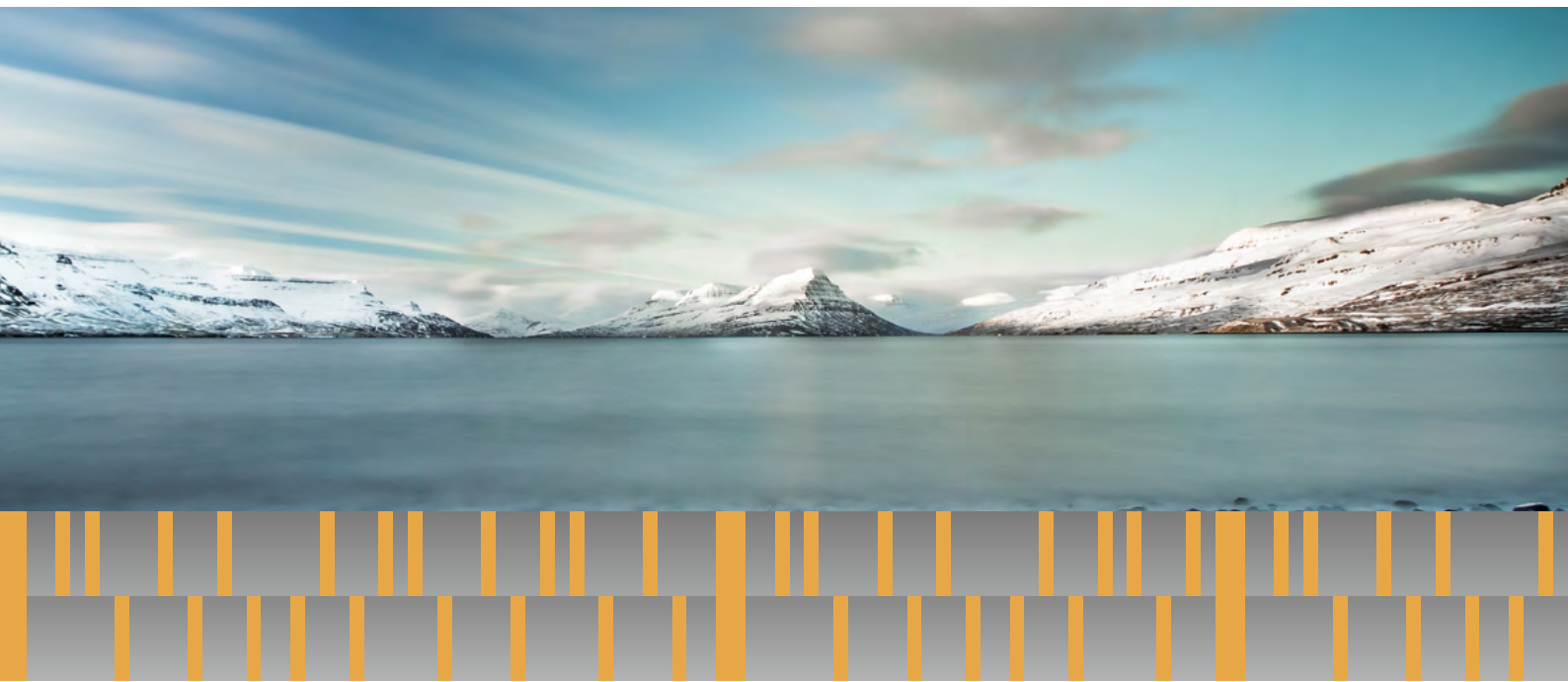
- Alcoa Fjarðaál (2011). *Vöktunaráætlun. Álver Alcoa Fjarðaáls Reyðarfirði. Útbúið fyrir Umhverfisstofnun*. Reyðarfjörður: Alcoa Fjarðaál.
- Chris Livesey & Jo Payne (2011). *Diagnosis and investigation of fluorosis in livestock and horses*. In *Practice* vol 33, bls 454-461.
- Davison, A.W. & Weinstein, 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 (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.
- 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.
- EarthTech (2006). *Assessment of Air Quality Impacts of Emissions from the Alcoa Aluminium Plant in Reyðarfjörður, Iceland*.
- Efnagreining, Nýsköpunarmiðstöð Íslands (2012). *Mælingar fyrir Veðurstofu Íslands, SO₂ safnað á síur*.
- European food safety authority (2010). *Statement of EFSA on the possible risks for public and animal health from the contamination of the feed and food chain due to possible ash-fall following the eruption of the Eyjafjallajökull volcano in Iceland - urgent advice 1*. Parma:Italy
- Erlín Emma Jóhannsdóttir, Kristín Ágústsdóttir og Alan W. Davison (2012). *Umhverfisvöktun í Reyðarfirði 2011. Gróður og yfirborðsvatn*. Unnið fyrir HRV. Neskaupstaður: Náttúrustofa Austurlands.
- Erlín Jóhannsdóttir og Kristín Ágústsdóttir (2008). *External Environmental Monitoring. Fjarðaál-Alcoa Smelter Reyðarfjörður. Summary of activities in 2007 by Náttúrustofa Austurlands*. Neskaupstaður: Náttúrustofa Austurlands.
- 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.
- Hermann Þórðarsson (2012). *Viðhald og kvörðun loftmælingastöðva. Skýrsla vor og haust*. Nýsköðunarmiðstöð Íslands, 6EM12011.

- Hörður Kristinsson (2010). *Íslenska plöntuhandbókin, blómplöntur og byrkningar* (3. útgáfa). Reykjavík: Mál og menning.
- Hörður Kristinsson, Eva G. Þorvaldsdóttir og Björgvin Steindórsson (2007). *Vöktun válistaplantna 2002-2006*. Reykjavík: Náttúrufræðistofnun Íslands.
- Kristín Ágústsdóttir (2011). *Álver Alcoa Fjarðaáls. Flúoríð í „vetrarheyi“*. Neskaupstaður: Náttúrustofa Austurlands.
- Kristín Ágústsdóttir (2007). *External Environmental Monitoring. Fjarðaál-Alcoa Smelter Reyðarfjörður. Summary of NA activities in 2006*. Neskaupstaður: Náttúrustofa Austurlands.
- Landmælingar Íslands. *IS50v kortagrunnur 1:50.000*. Útgáfa 1.1 ©Landmælingar Íslands, leyfi nr. L05040009.
- National Research Council (2005). Fluorine. In: *Mineral tolerance of animals*, 2nd ed. National academy of sciences, National academies press. bls 154-181.
- Náttúrufræðistofnun Íslands (1996). *Válisti 1. Plöntur*. Reykjavík: Náttúrufræðistofnun Íslands.
- Náttúrufræðistofnun Íslands (2006). *Plöntuvefsjá*. Skoðað í febrúar 2012 á <http://vefsja.ni.is/website/plontuvefsja/>
- Náttúrustofa Austurlands (2012). *Hagaganga hreindýra 2012*. Óútgefin gögn.
- Ongstad, L., C. I. Stoll & T. Aasland (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. 96 bls.
- Ospar commission(2001). *Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)*. Ospar priority substance series.
- Reglugerð um hámarksgildi fyrir tiltekin aðskotaefni í matvælum nr. 265/2010.
- Reglugerð um eftirlit með fóðri nr. 340/2001.
- Reglugerð um neysluvatn nr. 536/2001.
- Reglugerð um brennisteinsdíoxíð, köfnunarefnisdíoxíð og köfnunarefnisoxíð, bensen, kolsýringu, svifryk og blý í andrúmslofti nr. 251/2002
- Reglugerð um arsen, kadmíum, kvikasilfur, nikkell og fjölhringa arómatísk vetniskolefni í andrúmslofti nr. 410/2008.
- Retec (2006). *External Environmental Monitoring Baseline Survey. Fjarðaál Smelter Project. Reyðarfjörður*. IS BECH1-18321-640 45 pp. +Appendices.
- R. Liteplo, R. Gomes, P. Hower & H. Malcolm (2002). *Fluorides. Environmental Health Criteria 227*. World Health Organization.
- Sigurður H. Magnússon og Björn Thomas (2007a). *Heavy metals and sulphur in mosses around the aluminum smelter site in Reyðarfjörður in 2005*. Reykjavík: Náttúrufræðistofnun Íslands.

- Sigurður H. Magnússon og Björn Thomas (2007b). *Heavy metals and sulphur in mosses around the aluminium smelter in Straumsvík in 2005*. Reykjavík: Náttúrufræðistofnun Íslands.
- 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 febrúar 2012 á http://www.ust.is/library/Skrar/Atvinnulif/Starfsleyfi/Starfsleyfi-i-gildi/alver/Alcoa_Fjardaal_2026.pdf
- Veðurstofa Íslands (2012). Skoðað í mars og apríl 2012 á <http://www.vedur.is/vedur/vedurfar/manadayfirlit/>.
- 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.
- 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.
- 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.

NÁTTÚRUSTOFA AUSTURLANDS

Mýrargötu 10 • 740 Neskaupstaður • Sími 477-1774 • Fax 477-1923 • Netfang: na@na.is
Tjarnarbraut 39B • 700 Egilsstaðir • Sími: 471-2813 og 471-2774 • www.na.is



Alcoa Fjarðaál

