

Rannsóknir á flúor
í náttúru Íslands
- samantekt heimilda -

Helena Marta Stefánsdóttir

Rannsóknir á flúor
í náttúru Íslands
- samantekt heimilda -

Helena Marta Stefánsdóttir

Verkefnið var fjármagnað af Norðuráli

Febrúar 2016
Landbúnaðarháskóli Íslands,

Efnisyfirlit

1. Inngangur.....	2
2. Hvað er flúor?	3
3. Uppspretta flúors	3
4. Flúormengun af völdum eldgosa á Íslandi.....	4
5. Flúormengun fylgjandi álframleiðslu.....	5
6. Flúor í jarðvegi	7
7. Almenn áhrif flúors á plöntur	7
8. Áhrif flúors á dýr.....	10
9. Rannsóknir á flúor	12
9.1. Fléttur:.....	12
9.2. Mosi.....	12
9.3. Gras, hey:.....	12
9.4. Tré:	13
9.4.1. Birki:.....	13
9.4.2. Fura:.....	13
9.4.3. Reynir:.....	13
9.4.4. Greni:	13
9.5. Dýr:.....	14
9.5.1. Sauðfé:.....	14
9.5.2. Nautgripir:.....	15
9.5.3. Hestar:	15
9.5.4. Hreindýr:.....	15
9.5.5. Kettir:.....	15
9.5.6. Hvalir:.....	15
9.5.7. Kjúklingar:.....	15
10. Heimildaskrá:.....	16
Viðauki	17

1. Inngangur

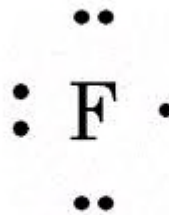
Þetta rit er samantekt á þeim rannsóknum sem gerðar hafa verið á áhrifum flúors á lífríki Íslands. Athuganir á magni flúors í umhverfinu og í ýmsum lífverum hafa verið gerðar reglulega í kjölfar eldgosa og í umhverfi álvera sem reist hafa verið hér á landi síðastliðna áratugi. Þetta rit stiklar á stóru í niðurstöðum á þessum rannsóknum en er einnig samantekt á heimildum sem fjalla um rannsóknir á flúor í umhverfinu og er ætlað að auðvelda frekari rannsóknir, úrvinnslu og heimildavinnu í verkefnum sem tengjast flúorrannsóknum hjá Landbúnaðarháskóla Íslands. Þetta er því lifandi gagnagrunnur sem hægt er að bæta við eftir því sem á líður og fleiri heimildir líta dagsins ljós. Ritið er því engan veginn tæmandi fyrir þá vitneskju sem til er í heiminum yfir rannsóknir á flúor í náttúrunni og í lífríki Íslands.

Flúor finnst víða í náttúrunni, í jarðvegi, plöntum og dýrum. Það er talið vera nauðsynlegt ýmsum lífverum en aðeins í litlu magni (Cronin, Manoharan, Hedley, & Loganathan, 2000). Þegar styrkur þess í vefjum lífveru fer upp fyrir ákveðin mörk, sem eru misjöfn eftir tegundum, veldur það eitrunaráhrifum. Það er misjafnt eftir heimshlutum og aðstæðum á hverjum stað hver helsta uppspretta flúors er í umhverfinu en það getur verið í grunnvatni (Indlandi, Ástralíu og Afríku), í ryki frá veðrun kletta og grjóts (Afríka) eða vegna eldgosa og öskufalls sem þeim fylgja (Íslandi) (Cronin et al., 2000). Á Íslandi eru flúoreitranir af völdum eldgosa þekktar frá örófi alda og er fyrst til þess vitnað í skrifum frá 1693 þegar Oddur Eiríksson og Benedikt Pétursson lýstu tannskemmdum í búfénaði og tengdu þær við öskufall úr eldgosu í Heklu það sama ár (Fridriksson, 1983). Með auknum umsvifum mannsins á jörðinni hafa áhrifasvæði flúors í heiminum stækkað. Með aukinni stóriðju, svo sem framleiðslu áburðar, áls, stáls, múrsteina og glers hefur flúormengun aukist til muna (Cronin et al., 2000; Weinstein & Davison, 2004). Nýjum stóriðjuframkvæmdum héraendis, eða áformum um þær, fylgir óvissa um áhrif mengunar á lífríkið. Mikilvægt er að kanna hver staða flúors er í lífríkinu á landsvísu, óháð því hver uppspretta flúorsins er. Til þess að hægt sé að meta áhrifin af breytingum, t.d. með aukinni stóriðju eða miklu öskufalli í kjölfar eldgoss, eru á náttúruna þarf að vita hver upphafspunkturinn er. Einnig er mikilvægt að vita hver þolmörk hinna ýmsu tegunda í náttúru Íslands eru gagnvart flúor svo hægt sé að gera ráðstafanir til að forðast eitranir af völdum aukins magns flúors í náttúrunni. Með þessari stuttu skýrslu er ætlunin að taka saman þær rannsóknir sem gerðar hafa verið hér á landi með tengingu við önnur lönd og hvaða mörk hafa verið sett sem þolmörk hinna ýmsu tegunda í gegnum tíðina. Samantektinni lauk 2012 en skýrslan kemur nú út í ritröð Lbhí.

2. Hvað er flúor?

Flúor er níunda frumefnið í lotukerfinu og er táknað með tölustafnum F. Hreint flúorgas hefur daufgulan lit og er það þá yfirleitt tvö flúoratóm sem bindast saman, F₂. Flúor flokkast sem halógeni og er það léttast efna í þeim flokki. Flúor er mjög hvarfgjarnt frumefni og mjög neikvætt hlaðið og á því auðvelt með að bindast flestum öðrum efnum (öllum nema súrefni og nitri). Af þessum ástæðum finnst það ekki sjálfstætt í umhverfinu heldur er bundið öðrum efnisatómum. Flúor bundið vetni (HF) er mjög algengt form flúors og er það á þessu formi mikið notað í iðnaði. HF er litlaust efni eða rjúkandi vökvi (sýra) og mjög ertandi. Lykt finnst af efninu í styrkleikanum 30-130 µg/m³.

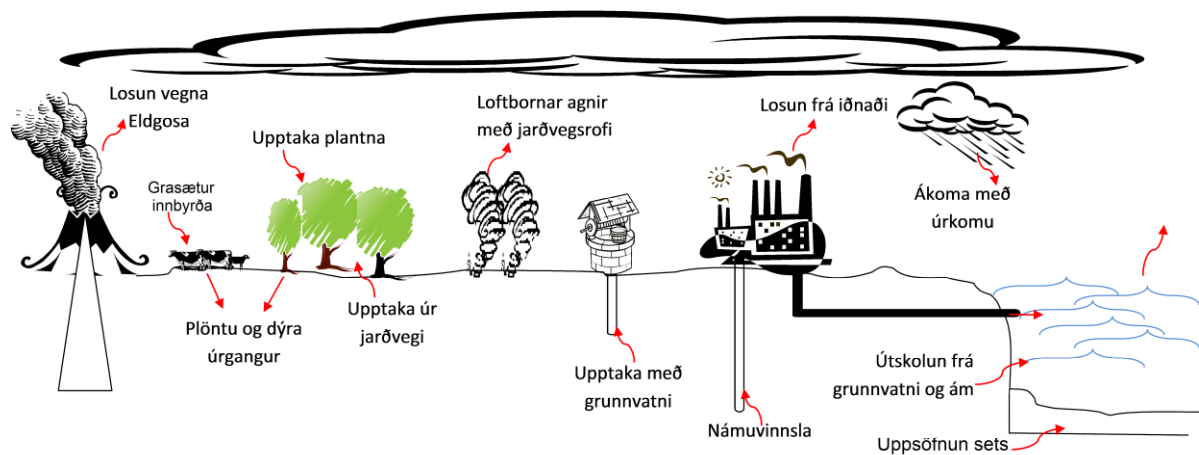
Periodic Table of the Elements																	
1																	2
3	4											9	10				
11	12											17	18				
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	
87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	



Mynd 1: Staðsetning flúors í lotukerfinu og atómbýgging þess. Punktarnir umhverfis stafinn F tákna dreifingu rafeinda umhverfis kjarna efnisins.

3. Uppspretta flúors

Eftirfarandi samantekt byggir á kafla 1 í (Weinstein & Davison, 2004). Flúor finnst víða í náttúrunni og er talinn vera eitt af 17 algengustu efnum í jarðskorpunni. Mikið er um að flúor sé bundið í steinefnum eða steindum í jarðskorpunni. Meginuppspretta flúors í lífhvolfinu eru yfirborð og útfellingar í grjóti, sem hluti af jarðvegi og í hafinu. Flúor í jarðvegi er til kominn vegna veðrunar á bergi og frá úrgangi örvera, dýra og plantna. Flúor getur einnig borist í jarðveg úr andrúmslofti eða með flóði en slíkar útfellingar aukast ef iðnaður er nálægt. Mun meira er af flúor í jarðvegi sem inniheldur hátt hlutfall leirs en í sendnum jarðvegi. Magn flúors í grunnvatni fer eftir jarðfræði, efnafræði, eðlisfræðilegum einkennum og veðurfari svæðisins. Almennt séð er magn flúors meira í lindum og vatni í brunnum heldur en í yfirborðsvatni stöðuvatna og lækja. Magn flúors er yfirleitt meira í sjó en í ferskvatni. Eldfjöll, jarðsprungur og jarðhitakerfi umhverfis þau eru helsta uppspretta flúors í andrúmsloftinu en skógareldar, brunni á timbri og uppgufun úr sjónum eru einnig mikilvægar uppsprettur. Flúor sem á uppruna sinn í eldfjöllum er í mestum styrk í ákveðnum radíus kringum uppsprettuna en minnkar hratt þegar lengra er farið frá henni. Magn flúors í andrúmsloftinu hefur aukist mikið eftir að maðurinn hóf hina ýmsu iðnaðarframleiðslu. Helsta uppspretta flúors í andrúmslofti sem rekja má til iðnaðar eru: 1) framleiðsla áburðar, 2) álbræðsla, 3) bensínframleiðsla, 4) framleiðsla og meðhöndlun glers, 5) framleiðsla múrsteina, flísa, sements og leirmuna, 6) járn- og stál framleiðsla og 7) kolabruni.



Mynd 2: Uppspretta, flutningur og hreyfing flúors í umhverfinu (endurunnin eftir (Weinstein & Davison, 2004))

4. Flúormengun af völdum eldgosa á Íslandi

Flúor getur verið í ýmsum efnasamböndum á yfirborði ösku, þau algengustu eru CaF_2 , CaSiF_6 , NaF og AlF_3 . NaF og CaSiF_6 eru fremur auðleysanleg og eru því tekin fyrir upp af lífverum. Flúorsambönd sem eru auðleysanleg berast auðveldlega með vatni í jarðveginn og þar getur hann myndað torleysanleg sambönd við leirsteindir og lífræn efni. Flúor binst fast í íslenskum eldfjallajarðvegi (Andosols) vegna sterkrar bindigetú. Færanleiki flúors er líka misjafn í jarðvegi og er hann meiri í súrum jarðvegi ($\text{pH} < 5$) (efnasamband með kalsíum, CaF_2) en í basískum ($\text{pH} 5.5-7$) (efnasamband við ál, AlF_3).

Dreifing ösku í kjölfar eldgosa er misjöfn eftir umfangi og gerð eldgossins og veðráttu meðan á gosinu stendur. Í Heklugosinu 1970 lagðist aska yfir um 22 þúsund km^2 og var magn ösku um 1-10 tonn á hektara (Sturla Friðriksson, 1981). Í ösku frá þessu gosi var flúormagn hennar fyrsta dag eldgossins um 2000 ppm sunnanlands og 1400 ppm norðanlands af uppleysanlegum flúor. Hálfum mánuði síðar hafði magn flúors í öskunni svo minnkað niður í 1/10 af upphaflegum styrkleika.

Í Heklugosinu 1970 mældist flúor í ösku allt að 2000 ppm en styrkleiki þess minnkaði niður í 1-2% af upphaflegu magni á um 3 vikum (Guðmundur Georgsson, Guðmundur Pétursson, & Páll A. Pálsson, 1981). Gras sem var að hefja vöxt þegar Heklugosið varð 1970 mældist með 1-10 þúsund ppm flúors af þurrefni fyrstu daga gossins. Flúormagnið minnkaði svo ört og hafði lækkað í 1/100 af upphaflegu magni nokkrum mánuðum síðar, en það er svipað og mælst hefur í gróðri á þessum svæðum almennt (Sturla Friðriksson, 1981). Flúor í vatni hefur einnig verið mældur og reyndist magn flúors í pollum vera 4-70 ppm fyrstu vikuna eftir að gosið í Heklu hófst árið 1970. Í rennandi yfirborðsvatni voru svo hæstu flúorgildin um 10 ppm á fyrsta degi eldgossins og lækkuðu svo hratt eftir það (Guðmundur Georgsson et al., 1981). Í Heimaeyjargosinu 1973 barst flúor með ösku yfir lágsveitir Suðurlands um vorið eftir að gosið varð, en flúormagn í ösku að Skammadalshóli í Mýrdal, í febrúar, var 3000 ppm (Einar H Einarsson, 1974). Í Heklugosinu 1980 barst flúor með ösku frá eldstöðvunum og var magn flúor 1500-2000 ppm í finni ösku (Sturla Friðriksson, 1981). Í Heklugosinu 1980 féll aska á um 17 þúsund km^2 svæði og barst askan í norður. Eftir því sem fjær dró eldgosinu varð askan finni og öskulagið þynnra. Tjónið af völdum þess goss var þó mest af völdum vikurs sem lagðist yfir

gróðurlendi Sölvahrauns og nýgræðing á Landmannafrétti og sunnanverðum Gnúpverjafrétti (Sturla Friðriksson, 1981).

Eftir eldgosíð í Eyjafjallajökli árið 2010 voru gerðar rannsóknir á styrkleika flúors í ýmsum gróður- og jarðvegssýnum. Þeir staðir sem sýni voru tekin meðan á eldgosinu stóð voru af tónum við Álftaversafleggjara, Butru, Efri-Ey, Efsta-Grund, Giljur, Hraungerði, Hlíð, Raufarfell, Seljavelli, Seljavallaheiði, Sólheimahjáleigu, Núp, Voðmúlastaði og Þorvaldseyri. Þá kom í ljós að stór hluti þess flúoríðs sem situr á yfirborði öskukorna var ásogaður á yfirborð torleystra járnhýdroxíða og skolast ekki af við fyrstu rigningu og var minnihluti flúorsins á vatnsleysanlegu formi (40%) (Rannveig Anna Guicharnaud, Bergur Sigfússon, & Páll Kolka, 2011). Einnig kom í ljós að jarðvegur undir Eyjafjallajökli bindur flúor helst á yfirborð lífrænna efnasambanda. Mælingar bentu svo til þess að á yfirborði öskunnar var flúor bundinn á yfirborði járnhýdroxíða en þá skolast flúorinn ekki auðveldlega af yfirborðinu nema talsverð breyting verði á sýrustigi vatnsins (Rannveig Anna Guicharnaud et al., 2011). Þar sem jarðvegurinn undir Eyjafjöllum er heldur súr og inniheldur hátt hlutfall lífrænna agna hefur hann mikla bindigetú við flúor og skolast flúorinn því að öllum líkindum hægt út í grunnvatn og því ólíklegt að styrkleiki flúorsins í grunnvatni nái hættulegum gildum. Heildarstyrkur flúors meðan á gosinu stóð fór aldrei yfir 200 mg/kg en það er undir hættumörkum í jarðvegi (Rannveig Anna Guicharnaud et al., 2011).

5. Flúormengun fylgjandi álframleiðslu

Við framleiðslu áls eru notuð áloxíð/súrál (Al_2O_3) sem leyst er upp í bráðnu krýólíti (Na_3AlF_6) í svokölluðum rafgreiningakerum þar sem kolaskaut mynda anóðu og katóðu. Katóðan er kolaklæðning innan á kerjunum en anóðan er kolablokk sem gengur ofan í fljótandi efnið í kerinu. Súrál klofnar í hreint ál (Al) og súrefni (O_2) sem binst kolefni við bruna kolefnisrafskautsins og verður þá CO_2 (Þór Tómasson & Hörður Þormar, 1998). Við framleiðsluna losnar svo flúor úr krýólítinu og gengur í samband við vetni (HF) (Páll A Pálsson, 1995). Ef breyting verður á spennu keranna geta einnig myndast kolflúorsambönd (CF_4 og C_2F_6) sem valda sterkum gróðurhúsaáhrifum. Það er nauðsynlegt að hefta útgufun slíkra efnasambanda út í andrúmsloftið til að koma í veg fyrir dreifingu þessara mengunarefna út í andrúmsloftið.

Miklar rannsóknir hafa verið gerðar á svæðunum í kringum álverin sem reist hafa verið hér á landi (Friðrik Pálmason, Gunnar Guðmundsson, & Jóhannes Sigvaldason, 1985; Hörður Kristinsson, 1998; María Sigurðardóttir, 2012; Páll A Pálsson, 1995; Þór Tómasson & Hörður Þormar, 1998). Einnig hafa álverin kostað umfangsmiklar árlegar vaktanir á mengunarpáttum í nágrenni iðjuveranna og eru margar skýrslur sem hafa komið út síðastliðin ár (Elkem, 2009, 2010; Elkem et al., 2011; Elkem, Yngvadóttir, Gunnarsson, Ingólfssdóttir, & Höskuldsson, 2012; Hönnun, 2003, 2004, 2005). Í þeim skýrslum hefur komið fram að

- Andrúmsloft: loftgæðamælingar á Stekkjarási árið 2008 undir viðmiðunarmörkum og ársmeðaltal heildarflúors hærra 2008 en árið á undan. Árin 2009, 2010 og 2011 voru mælingarnar einnig undir viðmiðunarmörkum.
- Úrkoma: ársmeðaltal flúors í úrkomu lægra 2008 en árið áður en svipaður og komandi ár, 2009, 2010 og 2011.

- Gras: meðaltal flúors í grasi voru árin 2008-2011, innan marka sem talin eru þolmörk gagnvart flúor í vef og innan þeirra marka sem talin eru vera þolmörk sauðfjár gagnvart flúor í fóðri (30 µg/g). Árið 2010 mældist marktækt hærri styrkur í grasinu miðað við styrk sem mældur var 1997.
- Lauf: Meðaltöl flúors í laufi birkis og reyndist innan þeirra marka sem talin eru vera þolmörk lauftrjáa gagnvart flúor í vef miðað við mælingar árin 2008-2011. Styrkur flúors í laufinu árið 2009 var marktækt hærri en mælt hafði árið 1997.
- Barr: meðalstyrkur flúors í tveggja ára barri mældist hærri árið 2008 en árið á undan. Marktæk hærri styrkur flúors mældist árið 2010 en 1997 í eins árs barri norðan Hvalfjarðar.
- Sauðfé:
 - lömb: styrkur flúors í lömbum var lægra árið 2008 en haustið á undan og minni breytileiki í mæligildum og vöru öll mæligildi í lömbum undir þeim mörkum sem hætta er talin vera á tannskemmdum (miðað við norska rannsókn á dádýrum). Árin 2009-2011 var styrkur flúors undir þeim mörkum sem talin eru valda hættu á tannskemmdum hjá fénu. Árið 2010 var hins vegar meðalstyrkur flúors í kjálkum lambanna marktækt hærri en mældist árið 1997 og marktækt lægra en mældist árið 2007.
 - eldra fé: meðaltal flúors í kjálkum kinda var yfir mörkum þar sem hætta er talin vera á tannskemmdum í eldra fé frá fjórum bæjanna sem rannsakaðir voru. Flúor í kjálkum var yfir mörkum sem talin eru vera þolmörk gagnvart flúor í fóðri. Mælingar á nokkrum kindum sem sýndu vott af flúormengunareinkennum á tönnum voru 2700-2950 µg/g. Árið 2009 mældist styrkur flúors í sex kindum yfir þolmörkum grasbíta. Þetta orsakaði breytingar í framtönnum en flúorskaðinn á tönnum hefur ekki verið staðfestur. Árið 2010 mældist meðalstyrkur flúors í beinösku kinda yfir mörkum sem talin eru orsaka tannskemmdir. Skoðun dýralæknis á kjálkum og tönnum fjárs sýndi slit á tönnum, upplitun og tannlos hjá fullorðnu fé. Einnig var þá nokkur rýrnun beina og þykkun í kjálkabeini en var ekki metið sem greinilegt samband til flúormagns í beinum. Árið 2011 mældist styrkur flúors í kjálkabeinum fullorðins fjár einnig yfir mörkum sem talin eru valda tannskemmdum (í dádýrum í Noregi). Skoðun dýralæknis leiddi hins vegar í ljós að ekki var greinilegt samband á milli tannheilsu og styrk flúors í kjálkabeinum gripanna.
- Ferskvatn: Styrkur flúoríðs í Urriðaá sýndi litla breytingu frá árinu áður og hefur ávalt mælt innan leyfilegs hámarksstyrks í neysluvatni árin 2008-2011 (1500 µg/l í reglugerð nr. 319/1995).
- Hross: rannsóknir árið 2011 gáfu ekki til kynna vísbendingar um að veikindi hrossa á bænum Kúludalsá í Hvalfirði mætti rekja til flúormengunar eða þungmálma frá iðjuverunum á Grundartanga.

Mengunarmælingar á Hvaleyrarholti sem gerðar voru 1994-1995 sýndu að magn flúors í ryki var að meðaltali 0,05 µg/m³, hámarksflúoríð var um 0,09 µg/m³ sem er allt undir viðmiðunarmörkum (0,3 µg/m³) (Þór Tómasson & Hörður Þormar, 1998).

6. Flúor í jarðvegi

Fáar rannsóknir hafa verið gerðar á magni flúors í jarðvegi hér á landi. Flúor berst í jarðveg eftir þremur leiðum: með því að skolast af yfirborði ösku með úrkomu, að setjast á yfirborð jarðvegs sem þurr ákoma (dry deposition) eða með flúormenguðum plöntuleifum. Þegar flúor hefur borist í jarðveginn er færanleiki hans misjafn eftir eðliseiginleikum jarðvegsins. Magn leirsteinda og lífræns efnis skiptir miklu máli varðandi það hve vel jarðvegurinn heldur í flúorinn. Flúor getur einnig verið vatnsleysanlegur og skolast þar með auðveldlega um jarðvegslög í grunnvatn eða er tekinn upp af plöntum (Rannveig Anna Guicharnaud et al., 2011)

Flúor finnst náttúrulega í jarðvegi á mismunandi formum, t.d. í steindum eins og apatít ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$), flúorít (CaF_2), cryolite (Na_3AlF_6) og tópas ($\text{Al}_2(\text{SiO}_4)\text{F}_2$) en einnig bundinn í ýmsum leirsteindum (Cronin et al., 2000).

Flúor getur almennt bundist mjög fast í eldfjallajarðvegi (Andosols) þar sem bindigeta hans er mjög sterk (Delmelle, Delfosse, & Delvaux, 2003)

Sýrustig í jarðvegi skiptir miklu máli varðandi færanleika flúors í jarðveginum (Wenzel & Blum, 1992). Þegar sýrustigið í jarðveginum er hátt (pH 5,5-7) gengur flúor yfirleitt í samband við kalsíum (CaF_2) og er leysni flúors þá mjög lítil, og minnst við sýrustig 7 (Arnesen, 1997). Þegar sýrustig jarðvegsins er undir 5 (<pH 5) gengur flúor í efnasamband við ál (AlF_3) en í því efnasambandi er leysni og færanleiki flúors í jarðvegi töluverður (Wenzel & Blum, 1992).

Með ákveðnum aðferðum er hægt að greina hvernig flúor er bundinn í jarðvegi. Með því að skola jarðvegssýni með oxalati má mæla flúor bundið í ferrihýdríti og allófani og með því að skola með pýrófosfatlausn má finna magn þess flúors sem bundið er í lífrænum efnasamböndum (Rannveig Anna Guicharnaud et al., 2011)

Mælingar sem gerðar voru á magni flúors í jarðvegi í kjölfar eldgossins í Eyjafjallajökli 2010 sýndu að flúor var yfirleitt bundinn lífrænum efnasamböndum en hann fannst einnig bundinn allófansteindum og járnhýdroxíðum. Þar sem jarðvegur er sendinn virtist flúor vera að mestu vatnsleysanlegur.

7. Almenn áhrif flúors á plöntur

Upptaka flúors:

Flúor er ekki talinn nauðsynlegur plöntum og ef mikill flúor berst í plöntur geta áhrif hans verið skaðleg fyrir plöntuna (Sturla Friðriksson, 1971). Magn flúors í grasi fylgir breytingum á flúormagni í lofti (Friðrik Pálmason et al., 1985). Plöntur taka upp flúor í lofti um varaopin á blöðum plantnanna en einnig í gegnum yfirhúð þeirra og eru dæmi um að plöntur taki á nóttunni upp allt að 40% þess magns flúors sem plantan tekur upp að degi til, þegar varaopin eru opin (Friðrik Pálmason et al., 1985). Plöntur taka einnig upp flúor um rætur sem skiptir yfirleitt minna máli í heildarupptökunni nema þeim mun meira magn sé af leysanlegum flúor í jarðveginum (Friðrik Pálmason et al., 1985). Þegar plöntur taka upp flúor um rætur er flúorið yfirleitt í sambandi við ál, AlF_3 , þar sem sýrustig í kringum ræturnar er lægra en jarðvegur umhverfis plöntuna (Lavelle & Spain, 2005). Við lækandi sýrustig verður flúorsambandið meira færanlegt og því aðgengilegra til upptöku og því eykst upptaka plöntunnar. Flúor getur einnig aukið leysni áls í jarðveginum en með aukinni leysni áls tekur plantan meira upp af áli (Arnesen, 1997) sem getur haft áhrif á katjónaupptöku í rótum, sem veldur minnkun á upptöku næringarefna í plöntunni (Lavelle & Spain, 2005). Það er einkum tvennt sem hefur áhrif á

lækkun á magni flúors í gróðri: úrkoma og spretta. Í úrkomu skolast flúor af gróðrinum og ef grasspretta er góð þynnist flúor sem plönturnar hafa tekið upp mjög hratt í aukinni uppskeru (Guðni Þorvaldsson, Rannveig Guicharnaud, & Margrét Ingjaldsdóttir, 2011). Samband flúors í plöntum við tímalengd mengunar var háð styrk flúors í lofti og því hvort mengunin var samfelld eða rofin með hléum (Friðrik Pálmason et al., 1985). Hraði flúorsöfnunar fer minnkandi með þroska plantna og góð vaxtarskilyrði draga úr hraða flúorupptöku (Friðrik Pálmason et al., 1985). Hægfara flúoreitrun kemur fram hjá plöntum með gulnun blaða, annað hvort koma fram grængulir blettir eða blöðin blikna alveg. Oft kemur eitrunin til með að draga úr vexti (Friðrik Pálmason et al., 1985). Bráð flúoreitrun birtist hins vegar í næringarskorti af ýmsu tagi og kemur fram sem gulnun, visnun, blaðdrep eða afskræmdur vöxtur (Friðrik Pálmason et al., 1985). Gott er að hafa einhverjar einkennistegundir til að fylgjast með flúoreitrunum, það er plöntur sem eru næmari en margar aðrar fyrir þessum þáttum. Sem dæmi um plöntur sem eru mjög næmar fyrir flúormengun eru garðalúpínur, garðanellikur og þrenningarfjólur en einnig ýmsar garðaplöntur (Friðrik Pálmason et al., 1985). Við flúormengun yfir ákveðin mörk, geta orðið skemmdir á blöðum plantnanna sem rýra gildi skrautjurta og grænmetis, hvort sem skemmdirnar draga úr vexti og uppskeru eða ekki. Í rannsókn sem gerð var í Þýskalandi (Guderian, van Hauts og Stratmann, 1969, rit á þýsku) sem lýst er í (Friðrik Pálmason et al., 1985) visnuðu blaðbroddar ýmissa grastegunda lítið eitt þegar flúormagn í grasi var 282-582 ppm F í þurrefni en áhrif á grasvöxt voru lítil sem engin. Í tilrauninni kom fram að eitrunaráhrif eru mismunandi eftir plöntutegundum og bitna mjög á sumum tegundum, eins og græn fóðurhöfrum og rauðsmára á meðan lítil einkenni og áhrif koma fram á vallarfoxgrasi og hvítsmára. Einnig virtist mun minna af flúor finnast í vallarfoxgrasi og axhnoðapunti en í öðrum grastegundum, eins og hávingli og rýgresi í mengunartilraunum (Friðrik Pálmason et al., 1985). Upptaka plantna á flúor úr jarðvegi virðist ekki vera tengd magni flúors í jarðveginum heldur veltur það á jarðvegsgerð, pH, lífrænu efni og magni Ca og P í jarðveginum (Cronin et al., 2000).

Styrkur flúors:

Eðlilegt magn flúors í plöntum er á bilinu 2-20 ppm flúors (Friðrik Pálmason et al., 1985). Samkvæmt norskum stöðlum eru þolmörk gróðurs gagnvart gaskenndum flúor, miðað við langtímaáhrif, fyrir fléttur, mosa og barrtré $>0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lauftré $>0,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, og grös $>2-3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ((Ongstad, Stoll, & Aasland, 1994) vitnað til í (Hönnun, 2003)). Eðlilegur styrkur flúors í a) grænmeti er 0,3-10 ppm F, b) kartöflum er allt að 22 ppm og c) rófum <40 ppm, en yfir því magni fara að sjást skemmdir á blöðum þeirra (Sturla Friðriksson, 1971). Eðlilegt magn í grasi og smára virðist vera 1-13 eða jafnvel 10-30 ppm og margar grastegundir þola flúor vel (Sturla Friðriksson, 1971). Eðlilegt flúormagn í barrtrjám er talið 2,4-6,3 ppm en skemmdir koma fram við 15-20 ppm af flúor í barrnálam á fyrsta ári hjá rauðgreni (Sturla Friðriksson, 1971).

Tafla 1: Flokkun plantna eftir næmni þeirra fyrir flúor í umhverfinu.

Mjög næmar/næmar plöntur eða plöntuhlutar	Miðlungsnæmar plöntur	Lítt næmar eða ónæmar	Heimild
Ungar furunálar Ungar byggplöntur Bláber Hélunjóli Haugarif	Hafrar (ungar pl.) Þroskað bygg Smárattegundir Blæösp Víðitegundir Tómataplöntur Fjólutegundir	Birkitegundir Ribstegundir Kartöflur Káltegundir Gulrætur	(Friðrik Pálmason et al., 1985)
Gladíolur Poinsettia Begóníur Gerbera Dagljiljur Páskaljiljur	Nellikur	Riddarastjarna Krísur Gloxínía	(Friðrik Pálmason et al., 1985)
Grastegundir (<i>Graminaceae</i>) Súrur (<i>Polygonacea</i>) Beiki (<i>Carpinus betulus</i>) Iris (<i>Iris germanica</i>) Axhnoðapuntur (<i>Dactylis glomerata</i>)		Varablóm (<i>Labiatae</i>) Körfublóm (<i>Compositae</i>) Ertublóm (<i>Papilionaceae</i>) Krossblóm (<i>Cruciferae</i>) Sveipjurtir (<i>Umbelliferae</i>)	(Friðrik Pálmason et al., 1985)
Gladiolur Ungar furunálar (<i>Pinus sp</i>) Túlípanar Lerki (<i>Larix sp</i>) Perikum (<i>Hypericum sp</i>) Maís Sorghum Milokorn Jarðaber			(Friðrik Pálmason et al., 1985)
Hvítmosi	Polytrichum		(Paterson & Kenworthy, 1981)

Nokkrar staðreyndir um mismunandi næmni plantna við flúor: 1) Tegundir af liljuætt (túlípanar, fresíur ofl.) eru mjög næmar fyrir flúor. Gladíolur hafa oft verið notaðar til þess að fylgjast með loftgæðum. 2) Mörg barrtré, Douglas greni og lerki eru mjög næm fyrir flúormengun meðan nálarnar eru í vexti, en eftir það eru þau miðlungsnæm eða þolin. 3) breiðblaða trjategundir eins og hlynur, eik, beyki, birki og linditré eru miðlungsnæmar eða fremur þolinar fyrir flúormengun. 4) Skrauttré og runnar eins og hagþorn, kínerskur álmur o.fl. eru í meðallagi þolin eða þolin. 5) Ýmsar tegundir grænmetis og nytjajurta (tómatar, baunir, salat, belgjurtir og kornategundir) eru í meðallagi næmar til þolnar. 6) Mörg aldirtré og berjarunnar eru næm (t.d. bláber) en aðrar tegundir eru miðlungi næmar til þolnar (brómber, epli og perur) (Weinstein 1977, vitnað til í (Friðrik Pálmason et al., 1985)).

Fundist hefur jákvætt samband milli þurrkþols plantna og þols gagnvart loftmengun þannig að t.d. grenitré sem eru þurrkþolin virðast þola flúormengun betur en þau tré sem ekki þola mikinn þurrk (Rohmeder og Schönborn, 1965, tilvitnun hjá Weinstein, og Mc Cune 1979, í (Friðrik Pálmason et al., 1985)). Með auknum lofthita og loftraka virðast skemmdir af völdum flúors fara vaxandi (Weinstein

og Cune 1979 í (Friðrik Pálmason et al., 1985)). Flúor getur bundist kalsíum og öðrum jákvætt hlöðnum jónum eins og magnium og mangan í plöntum (Friðrik Pálmason et al., 1985)

Samkvæmt því sem Sturla Friðriksson og félagar í flúormarkanevnd Iðnaðarráðuneytisins halda fram eru birki, hlynur, beiki og linditré talin frekar viðkvæm fyrir flúoráhrifum en víðir, elri og eik talin tiltölulega harðgerð gagnvart flúor (Sturla Friðriksson, 1971) sem er ekki alveg í takt við það sem sagt er í (Friðrik Pálmason et al., 1985) sjá töflu 1.

Flúormengun sökum eldgosa:

Eftir Heimaeyjargosið 1973 bar nokkuð á flúorskemmdum á barrtrjám og mosa í sveitum á Suðurlandi (Skammdalshóli) en flúormagnið var orðið eðlilegt um 2 mánuðum eftir að fyrstu flúormengunar gætti (Sturla Friðriksson, 1981). Einnig komu fram skemmdir á barrnálum trjáa, tæpum mánuði eftir að gosið í Heimaey hófst. Í gróðursýnum frá Kerlingafjöllum sem tekin voru á fyrstu dögum eldgossins í Heklu 1980 mældist magn flúors um 1000 ppm og á Hveravöllum mældist magnið 600 ppm (Sturla Friðriksson, 1981). Þar sem gosið hófst eftir að meirihluta vaxtartíma plantnanna var lokið var sennilega lítið af flúor tekinn upp af blöðum plantnanna en breið og loðin blöð reyndust hafa mest flúormagn vegna þess að mikil aska loddi við yfirborð þeirra (Sturla Friðriksson, 1981). Í kjölfar eldgossins í Heimaey, 1973 sýndu ungar rauðgreniplöntur meiri barrskemmdir en sitkagreni en úttekt var gerð í Mýrdal (Einar H Einarsson, 1974). Áhrif á ýmsar plöntutegundir voru metnar í þessari rannsókn á sjónrænan hátt en ekki með vísindalegum mælingum.

Flúormengun sökum álvera:

Rannsóknir í kjölfar byggingar álversins í Straumsvík gáfu til kynna að a) skemmdir koma helst fram á hæðum í umhverfinu, t.d. á klettum, dröngum, hæðum eða á trjám, en síður á flatlendi, b) skemmdir koma helst fram á þeirri hlið kletta, hæða eða trjáa sem snýr að álverinu og er áveðurs fyrir vinda þaðan, c) skemmdir koma mest fram í stefnu ríkjandi vindáttar frá verinu, d) skemmdir koma helst fram á mosum og fléttum, þ.e. gróðri sem tekur vatn og næringarefni úr loftinu en ekki jarðveginum og safnar upp mengunarefnum ár frá ári og loks e) einstakar tegundir mosa, fléttna og blómplantna svara áhrifum loftmengunar á mjög mismunandi vegu og því er tilgangslítið að taka til samanburðar mælingar á grasi, mosum eða fléttum ef ekki er fullljóst að um sambærilegar tegundir sé að ræða (Hörður Kristinsson, 1998). Nálægt álverum, þar sem stöðug flúorákoma getur verið getur þetta magn þó verið þó nokkuð í jarðvegi og ber því að taka með í reikninginn (Lavelle & Spain, 2005).

8. Áhrif flúors á dýr

Flúor finnst ávallt í einhverju magni í fóðri grasbíta og er því tekinn upp í líkamann. Ef flúormagn fer upp fyrir ákveðin þolmörk hefur líkaminn ekki undan að losa sig við þetta aukna flúormagn en alla jafna er því skilað út úr líkamanum með þvagi, svita og saur. Þolmörk dýra eru oft háð breytilegum þáttum eins og aldri, fóðri, nyt og burðartíma skepnunnar (Páll A Pálsson, 1995).

Sjúkdómar í búfé í kjölfar eldgosa hafa lengi verið þekktir hérlendis. Fyrstu lýsingar á eitrunum í búfé vegna gosösku voru skráðar í annálum frá 1694. Einkennum í búfé var lýst (Oddur Eiríksson - Fitjaannáll og Benedikt Pétursson-Hestannáll) og þau tengd öskufalli úr Heklugosi sem varð 1693. Þar er tannskemmdum í ungu sauðfé, nautgripum og hrossum lýst en í dag vitum við að þessar skemmdir stafa af flúormagni í eldfjallaösku. Tannskemmdum í búpeningi var einnig lýst ítarlega eftir gosið í Lakagígum 1783 og var þá fyrst minnst á misslit í jöklum, en það var nefnt gaddur (Magnús Stephensen og Hannes Finnsson). Í kjölfar Heklugossins 1845 var svo fleiri eitrunareinkennum lýst,

þ.m.t. breytingum á beinum, en síðar var sýnt fram á að flúor væri orsakavaldur þessara breytinga á beinunum með efnagreiningu en það var gert með því að framkalla svipuð einkenni í beinvexti með því að fódra fé á heyi viðbættu NaF (Guðmundur Georgsson et al., 1981). Í kjölfar Heklugossins 1947 var í fyrsta sinn mögulegt að mæla flúormagn í gosösku, vatni og gróðri. Þá fundust einkenni langvinnrar flúoreitrunar í sauðfé á bæjum í grennd við Heklu og tókst þá Birni Sigurðssyni og Páli Pálssyni að sýna fram á að orsakavaldurinn var í öskunni. Viðmiðanir sem hafa verið notaðar hér á landi er varðar uppsafnaðan flúor í sauðfé eru í raun staðlar fyrir dádýr í Noregi og hefur þetta verið heimfært og notað töluvert. Tölurnar eru fengnar úr Ongstad et al 1994 (Hönnun, 2003). Samkvæmt norskum stöðlum eru þolmörk búfjár gagnvart flúor í fæðu, 40 µg/g fyrir kálfa, ≤30 µg/g fyrir mjólkurkúr og 30-50 µg/g fyrir sauðfé og geitur (Hönnun, 2003). Jórturdýr eru talin viðkvæmst fyrir flúoreitrun og eru lægstu þolmörk fyrir nautgripi um 25-30 ppm í þurrefni fóðurs en þó er algengt að mörkin séu sett við 30-50 ppm (Sturla Friðriksson, 1971)

Tannskemmdir af völdum flúoreitrunar hafa verið flokkaðar í 5 flokka (National Research Council (US). Committee on Animal Nutrition. Subcommittee on Fluorosis., 1974).

1. Eðlilegt (e. Normal): mjúk áferð, hálfgegnsær, hvítleitur glerungur, eðlilegt lag á tönnum
2. Hugsanlegt (e. Questionable Effect): lítilsháttar frávik frá eðlilegu, ekki greinileg orsök, gæti haft bletti á glerungnum en ekki blettóttur
3. Lítið (e. Slight Effect): örlítið af blettum á glerung, tennur gætu verið blettóttar en ekki meira eyddar en venjulega
4. Miðlungs (e. Moderate Effect): greinilega blettóttar, stór hluti kalkaður glerungur eða blettif yfir heildar tennur, tennur meira eyddar en venjulegt geti talist.
5. Greinileg (e. Marked Effect): greinilega blettóttar, vanþroski vefja, kölkun tanna, holóttur glerungur, mikið eyddar.
6. Alvarleg (e. Severe Effect): greinilega blettóttar, vanþroski vefja, kölkun tanna, holóttur glerungur, mikið eyddar og geta verið aflitaðar.

Það sem hefur áhrif á flúorþol búfjár (Friðrik Pálmason et al., 1985)

1. Form flúors í fóðri: Natríumflúoríð er auðleyst og mjög virkt form flúors en algengasti flúorgjafi í fóðri nautgripa eru fóðursölt, þar sem flúorinn er í tengslum við fosföt.
2. Mótverkandi sölt: Kalk dregur úr áhrifum flúors til tannskemmda. Álsúlfat dregur úr flúorsöfnun í beinum, er þó ekki talið vænleg lausn þar sem álsölt draga úr nýtingu fosfórs í fóðri.
3. Næringarástand gripa, tengsl við flúor eru óljós.
4. Sveiflur í flúormagni: sveiflur í flúormagni í fóðri hafa meiri áhrif en ef flúormagnið í fóðrinu er jafnt allan tímann.
5. Aldur gripa: Þolmörk eru yfirleitt miðuð við lífstíð. Því eru þolmörk fyrir sláturlömb og alikálfa hærri en fyrir ásetningsgripi til undaneldis og mjólkurkúr.
6. Ættgengir eiginleikar: Ættstofnar með mikinn vaxtarhraða þola minni flúorstyrk í fóðri en seinvaxnari gripir.

Tafla 2: Þolmörk búfjár gagnvart flúor í fóðri (Suttie, 1983)

Búfénaður	Þrif, ppm F	Mörk fyrir einkenni
Ungnaut og kvígur	40	30
Mjólkurkýr og naut	50	40
Eldiskálfar	100	
Sláturlömb	150	
Ær	60	
Hross	60	40
Sláturgrísir	150	
Gyltur	150	
Eldiskjúklingar	300	
Varphænur	400	

9. Rannsóknir á flúor

9.1. Fléttur:

Mælingar voru gerðar á magni flúors á klapparsamfélögum í námunda við álverið á Grundartanga (Starrí Heiðmarsson & Hörður Kristinsson, 2007). Í rannsókninni kom fram að magn flúors var töluvert hærra í grennd við iðnaðarsvæðið heldur en á viðmiðunarsvæðinu og var mestur flúor um 213 ppm sem mældist í snepaskóf (flétta) í 1 km fjarlægð frá iðnaðarsvæðinu og hafði magnið aukist til muna á 3 árum (frá fyrri rannsóknum).

9.2. Mosi:

Um og eftir 1980 var fylgst með hvort sýnilegar skemmdir væru á gróðri í kringum álverið í Straumsvík og sáust þá vægar skemmdir sem lýstu sér í því að hraungambri sviðnaði og varð svartur á þeirri hlið sem snéri að álverinu (Hörður Kristinsson, 1998). Greinilegt er að mosar og fléttur eru viðkvæmari fyrir flúormengun en annar gróður og algengt er að háplöntur eins og krækilyng taki yfir þar sem mosinn hefur sviðnað og er að víkja. Mikill munur var á þekju krækilyngs í 300 m og 2 km fjarlægð frá álverinu (Hörður Kristinsson, 1998).

Flúorþol virðist tengt frumuveggjum eða frumuhimnum mosa þar sem þolnar mosategundir safna flúor í frumuveggi í meiri mæli en óþolnar/næmar en í henni urðu frumuhimnu lekar og kalíum streymdi út úr frumunum (Friðrik Pálmason et al., 1985)

9.3. Gras, hey:

Meðaltöl mælinga sem gerðar voru 1968-1970 við Straumsvík gáfu gildi milli 2,6-11,9 ppm og var hækkunin þó nokkur milli ára en sýnin voru tekin á stöðum sem voru innan við 12 km fjarlægð frá álverinu í Straumsvík. Viðmiðunarstaðir gáfu svo gildi milli 3,7-8,3 (Iðnaðarráðuneytið, Pétur Sigurjónsson, Aksel Lydersen, Ernst Bosshard, & R Sulzberger, 1970). Niðurstöður nefndarinnar gefa einnig til kynna aukningu flúormagns með tímanum frá því að álverið í Straumsvík hóf starfssemi auk þess sem fjarlægð frá álverinu er mikilvægur þáttur (Iðnaðarráðuneytið et al., 1970). Eftir Heklugosið 1970 bar nokkuð á brúnum blaðoddum og víða kom drep í framanverð blöð (Sturla Friðriksson, 1981).

Flúormagn í grasi mældist um 4300 ppm í upphafi eldgoss í Heklu 1970 en eftir 5-6 vikur var magnið komið niður fyrir 30 ppm (Guðmundur Georgsson et al., 1981).

Á ómenguðum stöðum á Suðvesturlandi, sem notaðir hafa verið til samanburðar við gildi frá menguðum stöðum var styrkur flúors um 4,2 ppm F í grasi og heyi (Friðrik Pálmason et al., 1985).

Í kjölfar eldgossins í Heimaey árið 1973 voru gerðar (nokkrum mánuðum síðar) mælingar á grassýnum frá Skammadalshóli í Mýrdal og mældist magn flúors á bilinu 7-123 ppm (Einar H Einarsson, 1974).

9.4. Tré:

Í rannsóknum sem flúormarkanevnd tók saman var magn flúors í trjásýnum við Straumsvík 1968-1970 4,2-12,9 ppm í skoluðum sýnum (Iðnaðarráðuneytið et al., 1970). Niðurstöður í sömu rannsókn sýna greinilega aukningu flúormagns nálægt álverinu auk þess sem flúormagnið hækkaði því nær álverinu sem komið var (Iðnaðarráðuneytið et al., 1970).

Á ómenguðum stöðum á Suðvesturlandi, sem notaðir hafa verið til samanburðar við gildi frá menguðum stöðum var flúorinnihald um 2,5 ppm í barrnálum og 4,6 ppm í laufblöðum á árunum 1969-1982 (Friðrik Pálmason et al., 1985).

9.4.1. Birki:

Engar sjáanlegar skemmdir voru á laufi með 100 ppm flúors í Noregi. Ef magnið er komið upp í 900 ppm að hausti má sjá mikla áverka, en plönturnar þó ennþá lifandi (Iðnaðarráðuneytið et al., 1970). Niðurstöður mælinga á flúormagni í birkilaufi sýndu 1,6-36,5 ppm á árabílinu 1968-1970 í námunda við álverið í Straumsvík eftir að það hóf starfssemi (Iðnaðarráðuneytið et al., 1970).

Næst hæsta flúorgildi í plöntum í Hvalfirði sem fannst í umhverfissvöktun á vegum Norðuráls var í laufi af birki að hausti 2002 og var magnið þá 23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Hönnun, 2003).

9.4.2. Fura:

Ef magn flúors í nálum trjána er um 50-60 ppm sjást engar skemmdir (Iðnaðarráðuneytið et al., 1970). Í mælingum sem gerðar voru í námunda við álverið í Straumsvík á árabílinu 1968-1970 var 2,3-4,5 ppm.

9.4.3. Reynir:

Magn flúors í blöðum reynitrjáa var á bilinu 1,9-27,6 ppm á tímabilinu 1968 og 1970 og var magn flúors minna því lengra sem komið var frá álverinu í Straumsvík (Iðnaðarráðuneytið et al., 1970)

Hæsta flúorgildi í plöntum í Hvalfirði sem fannst í umhverfissvöktun á vegum Norðuráls var í laufi af reynivið að hausti 2002 og var magnið þá 32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Hönnun, 2003).

9.4.4. Greni:

Magn flúors í barrnálum grenitrjáa var á bilinu 1,6-5,8 ppm (Iðnaðarráðuneytið et al., 1970).

9.5. Dýr:

9.5.1. Sauðfé:

Í beinösku sláturlamba sem ekki höfðu orðið fyrir neinni óeðlilegri flúormengun sumarlangt var magn flúors um 180-200 ppm, bein veturgamalla kinda innihéldu 560 ppm og bein fullorðinna kinda 830 ppm (Páll A Pálsson, 1995). Eftir að álverið í Straumsvík var tekið í notkun var magn flúors í kjálkum sláturlamba mjög hátt, eða 650-2150 ppm og í fullorðnum kindum frá bæjum í grennd álversins 3500-6000 ppm sem er mun hærra en eðlilegt getur talist (Páll A Pálsson, 1995). Sauðfé þolir um 50-75% meira magn flúors en nautgripir án þess að talið sé að það skaði það, þ.e. ca. 75-100 ppm.

Bráð flúoreitrun: Í Heklugosinu 1970 var nokkuð af fé útivið sem sýndi einkenni lystarleysis, slens, þróttleysis og doða. Auk þess báru þau einkenni eins og breytilega helti, blóðlitaða skitu, hósta og mæði. Einhverjar fóru einnig úr reyfinu. Athugun á blóði sýndi minnkun í kalki og í þvagi var algennt að flúormagn væri um 30-60 ppm fyrstu vikurnar (gildi hærri en 10 ppm benda til að bein séu mettuð af flúor). Um 3% alls fjár og 8-9% lamba á öskufallssvæðinu drápust úr bráðri flúoreitrun (Guðmundur Georgsson et al., 1981).

Hægfare flúoreitrun: með því að fylgjast með tönnum og beinum sauðfjárins var hægt að greina hægfare flúoreitrun í sauðfénu. Við slátrun kom í ljós að lömb voru með flúormagn að meðaltali 698 ppm (eðlilegt 116), veturgamalt sauðfé 1683 (eðlilegt 560) og fullorðið 1329 (eðlilegt 830 ppm). Þessar niðurstöður eru í samræmi við það sem áður var talið, að ungvíði safni flúor hraðar í bein en eldra eða fullvaxið fé (Guðmundur Georgsson et al., 1981).

Árið 1980 voru þolmörk flúor í fóðri ungra nautgripa í Bandaríkjunum sett við 40 ppm F. Ef magn flúors er lægra ætti það ekki að valda afurðatjóni eða draga úr þrifum gripanna, þó getur það valdið breytingum á tönnum og jafnvel beinum. Þess má geta að hægt er að greina breytingar í tönnum við hvaða flúormagn sem er umfram það venjulega 5-10 ppm Flúors í fóðrinu (Suttie 1983). Þó eru skiptar skoðanir um hvort mörkin eigi að vera enn lægri en 40 ppm (Friðrik Pálmason et al., 1985).

Í rannsókn sem gerð var að Hesti í Borgarfirði árin 1988 og 1989 var magn flúors í blóðplasma skoðað. Verulegur munur fannst á magni flúoríðs eftir árstíðum en hún var á bilinu 12-31 ng/ml í sumargengnu fé en 80-330 ng/ml í vetrarfóðruðu fé en mikill munur var á magni flúors í vetrarfóðruðu fé eftir því hvort það fékk fiskimjöl sem fóðurbæti eða ekki. Magn flúoríðs í heyinu var 0,7 µg/g, 61 µg/g í fóðurbætinum, 0,05 µg/ml í drykkjarvatninu og 229 µg/g í fiskimjölinu (Jakob Kristinsson, Eggert Gunnarsson, Þorkell Jóhannesson, Páll A Pálsson, & Hörður Þormar, 1991).

Þol sauðfjár gagnvart flúoríði var kannað í rannsókn þar sem 6-8 mánaða gömlum gimbrum var gefið inn tiltekið magn af flúoríði sem var í formi natríumflúoríðs 5 daga vikunnar í 20 vikur. Þær fengu misstóra skammta af flúor, 0, 5, 10 eða 15 mg/kg. Þær kindur sem fengu 10 og 15 mg/kg skammtana sýndu einkenni flúoreitrunar meðan þær voru á lífi en enginn marktækur munur var á milli skepnanna hvað varðar innri líffæri, bein eða tennur. Einkenna flúoreitrunar varð ætíð vart þegar þéttni þess í plasma var umfram 860 ng/ml. Þó svo gaddur sé gott einkenni um síðkomna flúoreitrun er hann of síðkominn til að hafa forvarnargildi. Ef flúor í plasma fer umfram 860 ng/ml má búast við einkennum flúoreitrunar (Jakob Kristinsson, Eggert Gunnarsson, Þorkell Jóhannesson, Páll A. Pálsson, & Hörður Þormar, 1997)

9.5.2. Nautgripir:

1968-1971 var ákvarðað flúormagn í kjálkum mjólkurkúa og var mikill munur eftir aldri, fóðrun og dvalarstað. Magn flúors var mælt 800-2755 ppm á Álftanesi, í Borgarfirði, Skagafirði og A-Skaftafellssýslu (Páll A Pálsson, 1995). Skaðleysismörk fóðurs fyrir nautgripi eru 50-60 ppm flúors í heyi og grasi (Iðnaðarráðuneytið et al., 1970). Flúormarkanefndin birti samantekt á þeim þolmörkum sem þau fundu í heiminum og í töflu 3 má sjá þau mörk sem notuð eru hér á landi.

Tafla 3: Viðmiðunarmörk á magni flúors í fóðri og hver einkenni við mismunandi styrkleika eru hjá mjólkurkúm.

Flúor í fóðri ppm F	Einkenni hjá mjólkurkúm (úr Suttie, 1969 í (Friðrik Pálmason et al., 1985))
20-40	Dílamyndun á tönnum
40-50	Miklir tanndílar og glerungur eyðist. Breytingar á beinum. Flúor í þvagi um 25 ppm
>50	Helti, minnkandi mjólkurnyt, flúor í beinum yfir 5000 ppm á 5 árum

Í Heklugosinu 1970 virtust nautgripir sleppa alveg við bráða og hægfara flúoreitrun en kýrnar voru allar innanhúss þegar gosið varð og voru á gjöf þar til flúormagn í gróðri var komið niður fyrir hættumörk (Guðmundur Georgsson et al., 1981).

9.5.3. Hestar:

Lítið er vitað um bráða flúoreitrun í hrossum en í kjölfar Heklugossins 1970 var nokkuð um það að hross fundust dauð á víðavangi á gossvæðinu (Guðmundur Georgsson et al., 1981). Einnig fannst nokkuð af tannskemmdum í hrossum um 3 árum eftir gos og voru tannskemmdir þó nokkrar á Norðurlandi en fundust einnig á Suðurlandi. Tannskemmdir fundust helst í hrossum sem höfðu verið 1-2 vetra þegar gosið átti sér stað og var meira um það að yngri hrossin fengu fyrstu framtennur upp skemmdar en þau eldri fengu 2. framtennur upp skemmdar og var einungis hluti tannkrónunnar skemmdur (Guðmundur Georgsson et al., 1981). Árið 1967 mældust að meðaltali 345 ppm flúors í kjálkum fullorðinna hesta í Mosfellssveit (Páll A Pálsson, 1995).

9.5.4. Hreindýr:

Flúormagn í kjálkaösku var 1980 ppm í dýrum sem höfðu verið á Austurlandi í 4 ár og í Hafnarfirði í 3 ár. Magn flúors í kjálkaösku tveggja gamalla tarfa af Austurlandi var 440-470 ppm (Páll A Pálsson, 1995).

9.5.5. Kettir:

Kettir virðast þola flúor betur en grasbítar þar sem bein úr, að því er virtist heilbrigðum ketti, innihélt 15.000 ppm en hann hafði dvalist í álverinu í átta ár. Flúormagn í tveim gömlum köttum í Reykjavík reyndist vera 970-1640 ppm (Páll A Pálsson, 1995).

9.5.6. Hvalir:

1983 voru tekin sýni úr háþornum nítján langreyða og var meðalmagn flúors í öskunni 8605 ppm (hæsta gildi 12700 ppm) (Páll A Pálsson, 1995).

9.5.7. Kjúklingar:

Sýni voru tekin 1976-1977 á kjúklingabúi í námunda við álverið í Straumsvík og var flúormagn í beinösku lærleggja kjúklinga 1736 ppm samanborið við 1206 ppm úr kjúklingum frá Kjalarnesi (Páll A Pálsson, 1995).

10. Heimildaskrá:

- Arnesen, A. K. M. (1997). Availability of fluoride to plants grown in contaminated soils. *Plant and Soil*, 191, 13-25.
- Cronin, S. J., Manoharan, V., Hedley, M. J., & Loganathan, P. (2000). Fluoride: A review of its fate, bioavailability, and risks of fluorosis in grazed-pasture systems in New Zealand. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 43(3), 295-321.
- Delmelle, P., Delfosse, T., & Delvaux, B. (2003). Sulfate, chloride and fluoride retention in Andosols exposed to volcanic acid emissions. *Environmental Pollution*, 126(2003), 445-457.
- Einar H Einarsson. (1974). Áhrif flúors frá Heimaeyjargosinu 1973 á gróður á svæðinu frá Eystri-Rangá að Mýrdalssandi. *Ársrit ræktunarfélags Norðurlands*, 71, 96-103.
- Elkem. (2009). *Iðnaðarsvæðið á Grundartanga: Niðurstöður umhverfsvöktunar fyrir rekstrarárið 2008*: Norðurál, Elkem og Mannvit.
- Elkem. (2010). *Iðnaðarsvæðið á Grundartanga: Niðurstöður umhverfsvöktunar fyrir rekstrarárið 2009*: Norðurál, Elkem og Mannvit.
- Elkem, Ingólfssdóttir, G. M., Yngvadóttir, E., Gunnarsson, F. K., Bjarnadóttir, H. J., Árnason, Ó., et al. (2011). *Umhverfsvöktun iðjuveranna á Grundartanga 2010*: Norðurál, Elkem og Efla.
- Elkem, Yngvadóttir, E., Gunnarsson, F. K., Ingólfssdóttir, G. M., & Höskuldsson, P. (2012). *Umhverfsvöktun iðnaðarsvæðisins á Grundartanga: Niðurstöður fyrir árið 2011*: Norðurál, Elkem og Mannvit.
- Fridriksson, S. (1983). Fluoride problems following volcanic eruptions. In J. L. Shupe, H. B. Peterson & N. C. Leone (Eds.), *Fluorides. Effects on vegetation, animals and humans*. Salt Lake City, Utah: Paragon Press, Inc.
- Friðrik Pálmason, Gunnar Guðmundsson, & Jóhannes Sigvaldason. (1985). *Áhrif loftmengunar frá álveri við Dysnes í Eyjafirði á gróður og búfénað. Fylgirit: Áhrif flúors í lofti á gróður og búfénað*. Reykjavík Iðnaðarráðuneytið.
- Guðmundur Georgsson, Guðmundur Pétursson, & Páll A. Pálsson. (1981). Flúoreitrun í búfé. *Ráðunautafundur*(1981), 178-187.
- Guðni Þorvaldsson, Rannveig Guicharnaud, & Margrét Ingjaldsdóttir. (2011). Flúor í gróðri á öskufallssvæðum sumarið 2010. *Fræðaging Landbúnaðarins*, 8, 346-348.
- Hönnun. (2003). *Iðnaðarsvæðið á Grundartanga og umhverfi þess: Niðurstöður umhverfsvöktunar 2002*. Reykjavík.
- Hönnun. (2004). *Iðnaðarsvæðið á Grundartanga og umhverfi þess: Niðurstöður umhverfsvöktunar árið 2003*. Reykjavík.
- Hönnun. (2005). *Iðnaðarsvæðið á Grundartanga og umhverfi þess: Niðurstöður umhverfsvöktunar árið 2004*. Reykjavík.
- Hörður Kristinsson. (1998). Gróðurbreytingar við álverið í Straumsvík. *Náttúrufræðingurinn*, 67(3-4), 241-254.
- Iðnaðarráðuneytið, Pétur Sigurjónsson, Aksel Lydersen, Ernst Bosshard, & R Sulzberger. (1970). *Skýrsla haustið 1970: Niðurstöður flúorrannsóknna*. Reykjavík: Iðnaðarnáðuneytið.
- Jakob Kristinsson, Eggert Gunnarsson, Þorkell Jóhannesson, Páll A Pálsson, & Hörður Þormar. (1991). Blood plasma levels of fluoride in Icelandic sheep. *Icelandic Agricultural Science*, 5(1991), 81-85.
- Jakob Kristinsson, Eggert Gunnarsson, Þorkell Jóhannesson, Páll A. Pálsson, & Hörður Þormar. (1997). Experimental fluoride poisoning in Icelandic sheep. *Icelandic Agricultural Science*, 11(1997), 107-112.
- Lavelle, P., & Spain, A. V. (2005). *Soil Ecology*. Dordrecht: Springer.
- María Sigurðardóttir. (2012). *Flúormengun í gróðursýnum frá álverinu í Straumsvík*. Háskólinn á Akureyri.
- National Research Council (US). Committee on Animal Nutrition. Subcommittee on Fluorosis. (1974). *Effects of fluorides in animals*. Washington D.C. : National Academies.

- Ongstad, L., Stoll, C. I., & Aasland, T. (1994). *The Norwegian aluminium industry and the local environment. Project to study the effects of industrial emission from primary aluminium plants in Norway - Summary report*
- Paterson, D., & Kenworthy, J. B. (1981). An investigation of the effects of fluoride on selected moss species. *Proceedings - Easter School in Agricultural Science, University of Nottingham, 1981*(31), 486-488.
- Páll A Pálsson. (1995). Flúormengun og álver: Flúormagn í dýrabeinum í grennd við álverið í Straumsvík árin 1967-1991. *Búnaðarritið* 245-258.
- Rannveig Anna Guicharnaud, Bergur Sigfússon, & Páll Kolka. (2011). Flúorstyrkur og hegðun í jarðvegi undir Eyjafjallajökli. *Fræðaping Landbúnaðarins, 8*, 56-60.
- Starri Heiðmarsson, & Hörður Kristinsson. (2007). *Gróðurbreytingar á klapparsamfélögum við Hvalfjörð 1997-2006*.
- Sturla Friðriksson. (1971). *Skýrsla flúormarkanefndar sumarið 1971 I*. Reykjavík: Iðnaðarráðuneytið.
- Sturla Friðriksson. (1981). Áhrif gjósku á gróður. *Ráðunautafundur*(1981), 174-177.
- Suttie, J. W. (1983). The influence of nutrition and other factors on fluoride tolerance. In J. L. Shupe, H. B. Peterson & N. C. Leone (Eds.), *Fluorides. Effects on vegetation, animals and humans*. Salt Lake City, Utah: Paragon Press, Inc.
- Weinstein, L. H., & Davison, A. (2004). *Fluorides in the Environment: Effects on Plants and Animals*. UK CABI Publishing.
- Wenzel, W. W., & Blum, W. E. H. (1992). Fluorine speciation and mobility in F-contaminated soils. *Soil Science, 153*(5), 357-364.
- Þór Tómasson, & Hörður Þormar. (1998). Loftborin mengun frá álverinu í Straumsvík. *Náttúrufræðingurinn, 67*(3-4), 233-240.

Viðauki**Tilvitnun****Áhrif****Titill greinar****Label****Flúor og jarðvegur**

Cronin et al, 2000	Álver, eldgos, áburður	Fluoride: A review of its fate, bioavailability, and risks of fluorosis in grazed-pasture systems in New Zealand	F1005
Bellomo et al, 2003	Eldgos	Volcanogenic fluorine in rainwater around active degassing volcanoes: Mt. Etna and Stromboli Island, Italy	F1010
Guicharnaud et al, 2011	Eldgos	Flúorstyrkur og hegðun í jarðvegi undir Eyjafjallajökli	F1013
Arnesen et al, 1995	Álver	Aluminium-smelters and fluoride pollution of soil and soil solution in Norway	F1020
Arnesen et al, 1998	Álver	Effect of fluoride pollution on pH and solubility of Al, Fe, Ca, Mg, K and organic matter in soil from Årdal (western Norway)	F1026
Bellomo et al, 2007	Eldgos	Environmental impact of magmatic fluorine emission in the Mt. Etna area	F1027
Delmelle et al, 2003	Eldgos	Sulfate, chloride and fluoride retention in Andosols exposed to volcanic acid emissions	F1030
Gisiger, 1970		Determination of threshold limit values for fluoride in cattle	F1033
Arnesen, 1997		Availability of fluoride to plants grown in contaminated soils	F1054
Wenzel and Blum, 1992	Álver	Fluorine speciation and mobility in F-contaminated soils	F1055
Davison, 1983		Uptake, transport and accumulation of soil and airborne fluorides by vegetation	F1073
Guicharnaud, 2010	Eldgos	Sýnataka - leiðbeiningar	F1076
Lavelle and Spain, 2005	Bók	Soil Ecology	F1095
Weinstein and Davison, 2004	Bók	Fluorides in the Environment	F1096

Flúor og fléttur/mosar

Heiðmarsson & Kristinsson, 2007	Álver	Gróðurbreytingar á klapparsamfélögum við Hvalfjörð 1997-2006	F1001
Cronin and Sharp, 2002	Eldgos	Environmental impacts on health from continuous volcanic activity at Yasur (Tanna) and Ambrym, Vanuatu	F1028
Friðriksson, 1971	Álver	Skýrsla Flúormarkanefndar sumarið 1971 I.	F1056
Paterson and Kenworthy, 1981		An investigation of the effects of fluoride on selected moss species	F1083
Weinstein and Davison, 2004	Bók	Fluorides in the Environment	F1096

Flúor og plöntur/gróður

Cronin et al, 2000	Álver, eldgos, áburður	Fluoride: A review of its fate, bioavailability, and risks of fluorosis in grazed-pasture systems in New Zealand	F1005
Hornvedt, 1995	Álver	Fluoride uptake in conifers related to emissions from aluminium smelters in Norway	F1015
Þorvaldsson et al, 2011	Eldgos	Flúor í gróðri á öskufallssvæðum sumarið 2010	F1016
Sturla Friðriksson, 1981	Eldgos	Áhrif gjósku á gróður	F1017
Franzaring et al, 2006	Álver	Environmental monitoring of fluoride emissions using precipitation, dust, plant and soil samples	F1018
Vike, 1999	Álver	Air-pollutant dispersal patterns and vegetation damage in the vicinity of three aluminium smelters in Norway	F1019
Kristinsson, 1998	Álver	Gróðurbreytingar við álverið í Straumsvík	F1025
Bellomo et al, 2007	Eldgos	Environmental impact of magmatic fluorine emission in the Mt. Etna area	F1027
Cronin and Sharp, 2002	Eldgos	Environmental impacts on health from continuous volcanic activity at Yasur (Tanna) and Ambrym, Vanuatu	F1028
Pálmason et al, 1985	Álver	Áhrif loftmengunar frá álveri við Dysnes í Eyjafirði á gróður og búfænað. Fylgirit: Áhrif flúors í lofti á gróður og búfænað	F1031
Horner and Bell, 1995		Effects of fluoride and acidity on early plant growth	F1036
Stevens et al 2000		Effect of fluoride supply on fluoride concentrations in five pasture species: Levels required to reach phytotoxic or potentially zootoxic concentrations in plant tissue	F1046

Elkem, 2009	Álver	Iðnaðarsvæðið á Grundartanga - niðurstöður umhverfisvöktunar fyrir rekstrarárið 2008	F1049
Elkem, 2010	Álver	Iðnaðarsvæðið á Grundartanga - niðurstöður umhverfisvöktunar fyrir rekstrarárið 2009	F1050
Elkem, 2011	Álver	Umhverfisvöktun iðjuveranna á Grundartanga 2010	F1051
Elkem, 2012	Álver	Umhverfisvöktun iðnaðarsvæðisins á Grundartanga: Niðurstöður fyrir árið 2011	F1052
Weinstein and Davison, 2003		Native plant species suitable as bioindicators and biomonitors for airborne fluoride	F1053
Arnesen, 1997		Availability of fluoride to plants grown in contaminated soils	F1054
Friðriksson, 1971	Álver	Skýrsla Flúormarkanefndar sumarið 1971 I.	F1056
Friðriksson, 1971a	Álver	Skýrsla Flúormarkanefndar sumarið 1971 II.	F1057
Weinstein, 1983		Effects of fluorides on plants and plant communities: an overview	F1059
Miller et al, 1983		Basic metabolic and physiologic effects of fluorides on vegetation	F1062
Leece and Scheltema, 1983	Álver	Effects of fluoride emissions from industry on the fluoride concentration of grape leaves (<i>Vitis vinifera</i> L.) in New South Wales	F1064
MacLean, 1983		Factors that modify the response of plants to fluoride	F1065
Fridriksson, 1983	Eldgos	Fluoride problems following volcanic eruptions	F1067
Hill and Pack, 1983		Effects of atmospheric fluoride on plant growth	F1068
Edmunds, 1983		Effects of fluoride on plant-insect interactions	F1070
Davison, 1983		Uptake, transport and accumulation of soil and airborne fluorides by vegetation	F1073
Guicharnaud, 2010	Eldgos	Sýnataka - leiðbeiningar	F1076
Loganathan et al 2001		Fluoride accumulation in pasture forages and soils following long-term applications of phosphorus fertilisers	F1081
Einarsson, 1974	Eldgos	Áhrif Flúors frá Heimaeyjargosinu 1973 á gróður á svæðinu frá Eystri-Rangá að Mýrdalssandi	F1082
Jónsdóttir, 2001	Álver	Gróðurlendi á áhrifasvæðum álvers í Reyðarfirði með 280.000 og 420.000 tonna ársframleiðslu	F1089
Neild et al, 1998	Eldgos	Impact of a Volcanic Eruption on Agriculture and Forestry in New Zealand	F1091
Weinstein and Davison, 2004	Bók	Fluorides in the Environment	F1096

Flúor og fóður

Sigurðarson, 2002	Eldgos	Áhrif eldgosa á dýr	F1004
Cronin et al, 2000	Álver, eldgos, áburður	Fluoride: A review of its fate, bioavailability, and risks of fluorosis in grazed-pasture systems in New Zealand	F1005
Cronin et al, 2003	Eldgos	Environmental hazards of fluoride in volcanic ash: a case study from Ruapehu volcano, New Zealand	F1011
Pálmason et al , 1985	Álver	Áhrif loftmengunar frá álveri við Dysnes í Eyjafirði á gróður og búfænað. Fylgirit: Áhrif flúors í lofti á gróður og búfænað	F1031**
Gisiger, 1970		Determination of threshold limit values for fluoride in cattle	F1033
Inkielewicz et al, 2003		Determination of fluoride in soft tissues	F1037
Mackowiak et al 2003		Biogeochemistry Of Fluoride In A Plant-solution System	F1041
Friðriksson, 1971a	Álver	Skýrsla Flúormarkanefndar sumarið 1971 II.	F1057
Friðriksson, 1983	Eldgos	Fluoride problems following volcanic eruptions	F1067
Ammerman and Henry, 1983		Effects of fluorides on animals: dietary and mineral supplement considerations	F1069
Loganathan et al 2001		Fluoride accumulation in pasture forages and soils following long-term applications of phosphorus fertilisers	F1081
Weinstein and Davison, 2004	Bók	Fluorides in the Environment	F1096

Flúor og búfænaður/húsdýr

Sigurðarson, 2002	Eldgos	Áhrif eldgosa á dýr	F1004
Cronin et al, 2000	Álver, eldgos, áburður	Fluoride: A review of its fate, bioavailability, and risks of fluorosis in grazed-pasture systems in New Zealand	F1005
Pálsson, 1995	Álver	Fluormengun og álver, flúormagn í dýrabeinum í grennd við álverið í Straumsvík árin 1967-1991	F1006
Iðnaðarráðuneytið 1970		Skýrsla haustið 1970: Niðurstöður flúorrannsóknna	F1009*

Cronin et al, 2003	Eldgos	Environmental hazards of fluoride in volcanic ash: a case study from Ruapehu volcano, New Zealand	F1011
Gregory and Neall, 1996	Eldgos	Volcanic hazards for livestock	F1012
Coote et al, 1997	Eldgos	Uptake of fluoride into developing sheep teeth, following the 1995 volcanic eruption of Mt Ruapehu, New Zealand	F1021
Georgsson et al 1921	Eldgos	Flúoreitrun í búfé	F1022
Pálmason et al , 1985	Álver	Áhrif loftmengunar frá álveri við Dysnes í Eyjafirði á gróður og búfénað. Fylgirit: Áhrif flúors í lofti á gróður og búfénað	F1031
Gisiger, 1970		Determination of threshold limit values for fluoride in cattle	F1033
Kristinsson et al, 1991		Blood plasma levels of fluoride in Icelandic sheep	F1039
Kristinsson et al, 1997		Experimental fluoride poisoning in Icelandic sheep	F1040
Rubin et al, 1994	Eldgos	Evaluating a Fluorosis Hazard after a Volcanic Eruption	F1044
Elkem, 2009	Álver	Iðnaðarsvæðið á Grundartanga - niðurstöður umhverfisvöktunar fyrir rekstrarárið 2008	F1049
Elkem, 2010	Álver	Iðnaðarsvæðið á Grundartanga - niðurstöður umhverfisvöktunar fyrir rekstrarárið 2009	F1050
Elkem, 2011	Álver	Iðnaðarsvæðið á Grundartanga - niðurstöður umhverfisvöktunar fyrir rekstrarárið 2010	F1051
Elkem, 2012	Álver	Iðnaðarsvæðið á Grundartanga - niðurstöður umhverfisvöktunar fyrir rekstrarárið 2011	F1052
Friðriksson, 1971a	Álver	Skýrsla Flúormarkanefndar sumarið 1971 II.	F1057
Suttie, 1983		The influence of nutrition and other factors on fluoride tolerance	F1058
Taves et al, 1983		Inorganic fluoride concentrations in human and animal tissues	F1060
Shupe and Olson, 1983		Clinical and pathological aspects of fluoride toxicosis in animals	F1061
Fejerskov et al, 1983		Pathogenesis and biochemical findings of dental fluorosis in various species	F1066
Fridriksson, 1983	Eldgos	Fluoride problems following volcanic eruptions	F1067
Ammerman and Henry, 1983		Effects of fluorides on animals: dietary and mineral supplement considerations	F1069
Georgsson and Pétursson, 1972	Eldgos	Fluorosis of sheep caused by the hekla eruption in 1970	F1072
Suttie, 1969		Air Quality Standards for the Protection of Farm Animals from Fluorides	F1075
Guicharnaud, 2010	Eldgos	Sýnataka - leiðbeiningar	F1076
Gunnarsson, 2010	Eldgos	Áhrif öskufalls á búpening	F1077
Krook and Justus, 2006		Fluoride Poisoning of horses from atificially fluoridated drinking water	F1078
Shupe, 1980	Eldgos	Clinicopathology Features of Fluoride Toxicosis in Cattle	F1080

Loganathan et al 2001		Fluoride accumulation in pasture forages and soils following long-term applications of phosphorus fertilisers	F1081
Livesey and Payne, 2011		Diagnosis and investigation of fluorosis in livestock and horses	F1090
National Research Council, 1974		Effects of fluorides in animals	F1094
Weinstein and Davison, 2004	Bók	Fluorides in the Environment	F1096

Flúor og villt dýr

Pálsson, 1995	Álver	Flúormengun og álver, flúormagn í dýrabeinum í grennd við álverið í Straumsvík árin 1967-1991	F1006
Suttie et al, 1987	Álver	Effects of fluoride emissions from a modern primary aluminum smelter on a local population of white-tailed deer (<i>Odocoileus virginianus</i>)	F1048
Eanes, 1983		Effect of fluoride on mineralization of teeth and bones	F1074
Weinstein and Davison, 2004	Bók	Fluorides in the Environment	F1096

Flúor og vatn

Fawel et al, 2006		Fluoride in Drinking-water	F1003
Cronin et al, 2000	Álver, eldgos, áburður	Fluoride: A review of its fate, bioavailability, and risks of fluorosis in grazed-pasture systems in New Zealand	F1005
Cronin and Sharp, 2002	Eldgos	Environmental impacts on health from continuous volcanic activity at Yasur (Tanna) and Ambrym, Vanuatu	F1028
Elkem, 2009	Álver	Iðnaðarsvæðið á Grundartanga - niðurstöður umhverfisvöktunar fyrir rekstrarárið 2008	F1049
Elkem, 2010	Álver	Iðnaðarsvæðið á Grundartanga - niðurstöður umhverfisvöktunar fyrir rekstrarárið 2009	F1050
Elkem, 2011	Álver	Iðnaðarsvæðið á Grundartanga - niðurstöður umhverfisvöktunar fyrir rekstrarárið 2010	F1051
Elkem, 2012	Álver	Iðnaðarsvæðið á Grundartanga - niðurstöður umhverfisvöktunar fyrir rekstrarárið 2011	F1052
Guicharnaud, 2010	Eldgos	Sýnataka - leiðbeiningar	F1076
Weinstein and Davison, 2004	Bók	Fluorides in the Environment	F1096

Flúor og menn

Cerklewski, F. L. (1997)		Fluoride bioavailability - Nutritional and clinical aspects	F1008
Cronin and Sharp, 2002	Eldgos	Environmental impacts on health from continuous volcanic activity at Yasur (Tanna) and Ambrym, Vanuatu	F1028
Ozsvath, 2009	Yfirlit	Fluoride and environmental health: a review	F1043
Rubin et al, 1994	Eldgos	Evaluating a Fluorosis Hazard after a Volcanic Eruption	F1044
Friðriksson, 1971a	Álver	Skýrsla Flúormarkanefndar sumarið 1971 II.	F1057
Taves et al, 1983		Inorganic fluoride concentrations in human and animal tissues	F1060
Fejerskov et al, 1983		Pathogenesis and biochemical findings of dental fluorosis in various species	F1066
Weinstein and Davison, 2004	Bók	Fluorides in the Environment	F1096

Flúor og frumur

Barbier et al, 2010		Molecular mechanisms of fluoride toxicity	F1002
Fejerskov et al, 1983		Pathogenesis and biochemical findings of dental fluorosis in various species	F1066
Weinstein and Davison, 2004	Bók	Fluorides in the Environment	F1096

Flúor og vatnadýr (þörungar, hryggleysingjar og fiskar)

Camargo, 2003		Fluoride toxicity to aquatic organisms: a review.	F1007
Weinstein and Davison, 2004	Bók	Fluorides in the Environment	F1096

Flúor í lofti

Tómasson og Þormar, 1998	Álver	Loftborin mengun frá álverinu í Straumsvík	F1024
Cronin and Sharp, 2002	Eldgos	Environmental impacts on health from continuous volcanic activity at Yasur (Tanna) and Ambrym, Vanuatu	F1028

Pálmason et al , 1985	Álver	Áhrif loftmengunar frá álveri við Dysnes í Eyjafirði á gróður og búfénað. Fylgirit: Áhrif flúors í lofti á gróður og búfénað	F1031
Pálmason et al , 1985	Álver	Áhrif loftmengunar frá álveri við Dysnes í Eyjafirði á gróður og búfénað. Fylgirit: Áhrif flúors í lofti á gróður og búfénað	F1031
Gisiger, 1970		Determination of threshold limit values for fluoride in cattle	F1033
Elkem, 2009	Álver	Iðnaðarsvæðið á Grundartanga - niðurstöður umhverfisvöktunar fyrir rekstrarárið 2008	F1049
Elkem, 2010	Álver	Iðnaðarsvæðið á Grundartanga - niðurstöður umhverfisvöktunar fyrir rekstrarárið 2009	F1050
Elkem, 2011	Álver	Iðnaðarsvæðið á Grundartanga - niðurstöður umhverfisvöktunar fyrir rekstrarárið 2010	F1051
Elkem, 2012	Álver	Iðnaðarsvæðið á Grundartanga - niðurstöður umhverfisvöktunar fyrir rekstrarárið 2011	F1052
Weinstein and Davison, 2003		Native plant species suitable as bioindicators and biomonitors for airborne fluoride	F1053
McCune, 1983		Interaction of fluorides with other air pollutants	F1063
Hill and Pack, 1983		Effects of atmospheric fluoride on plant growth	F1068
Óskarsson, 1980	Eldgos	The interaction between volcanic gases and tephra: fluorine adhering to tephra of the 1970 Hekla eruption	F1071
Suttie, 1969		Air Quality Standards for the Protection of Farm Animals from Fluorides	F1075
Guicharnaud, 2010	Eldgos	Sýnataka - leiðbeiningar	F1076
Hönnun, 2001	Álver	Iver í Reyðarfirði - Mat á umhverfisáhrifum	F1087
Hönnun, 2006	Álver	Iðnaðarsvæðið á Grundartanga og umhverfi þess - niðurstöður umhverfisvöktunar	F1088
Weinstein and Davison, 2004	Bók	Fluorides in the Environment	F1096
Reyðarálf Hf, 2001		Aluminium plant in Reyðarfjörður	F1097

Flúor og jarðfræði

Óskarsson, 1981	Eldgos	The chemistry of Icelandic lava incrustations and the latest stages of degassing	F1084
Thordarson et al, 1996	Eldgos	Sulfur, chlorine, and fluorine degassing and atmospheric loading by the 1783-1784 AD Laki (Skaftár Fires) eruption in Iceland	F1085
Gudmundsson et al, 2008	Eldgos	Volcanic hazards in Iceland	F1086
Thorarinsson, 1979	Eldgos	On the Damage Caused by Volcanic Eruptions with Special Reference to Tephra and Gases	F1092
Cronin et al, 2004	Eldgos	Environmental hazards of fluoride in volcanic ash: a case study from Ruapehy volcano, New Zealand	F1093
Weinstein and Davison, 2004	Bók	Fluorides in the Environment	F1096

* Ekki ber að taka mark á þessari skýrslu heldur nota frekar niðurstöður nefndarinnar frá 1971 (Sturla Friðriksson 1971).

Ágreiningur varð um málið (sjá betur í skýrslu Alþingis: <http://www.alþingi.is/altext/91/s/pdf/0510.pdf>)

** gildi innan og utan mengunarsvæðisins