

Flúor í beinum íslenskra hrossa

Charlotta Oddsdóttir og Brynja Valgeirsdóttir



Landbúnaðarháskóli Íslands, 2021.

Rit Lbhí nr. 137

ISSN 1670-5785

ISBN 978-9935-512-11-6

Verkefnið var styrkt af: Umhverfisstofnun

Höfundar: Charlotta Oddsdóttir og Brynja Valgeirsdóttir

Ljósmynd á forsíðu: Charlotta Oddsdóttir

Efnisyfirlit

Ágrip.....	2
Inngangur	3
Tilurð og tilgangur rannsóknarinnar	3
Eiginleikar flúors	3
Uppsprettur flúors í umhverfinu.....	4
Uppsprettur flúors í umhverfi grasbíta.....	5
Upptaka og efnaskipti flúors.....	5
Dreifing flúors um líkamann, úthreinsun og uppsöfnun í kölkuðum vefjum.....	6
Áhrif flúoreitrunar á heilsufar.....	7
Áhrif flúoreitrunar á tennur.....	7
Áhrif flúoreitrunar á bein.....	9
Þol dýrategunda fyrir flúor og viðmiðunargildi	10
Viðmiðunargildi fyrir flúor í lofti, vatni og fóðri	10
Efniviður og aðferðir	12
Sýnataka.....	12
Meðhöndlun kjálka.....	13
Efnagreining á flúorinnihaldi.....	14
Tölfræðigreining	14
Niðurstöður	15
Dreifing sýna	15
Styrkur flúors í beinum	15
Áhrif aldurs á styrk flúors.....	16
Áhrif uppruna á styrk flúors.....	18
Flúorstyrkur í hrossum á Vesturlandi.....	19
Umræður.....	21
Ályktanir.....	23
Þakkarorð.....	23
Heimildir.....	24
Viðauki	28

Ágrip

Markmið rannsóknarinnar var að afla viðmiðunargagna um flúorstyrk í beinum hrossa eftir uppruna á landinu og aldri. Safnað var neðri kjálkabeinum úr 223 hrossum sem slátrað var á tímabilinu október 2017 til febrúar 2019. Sýnin voru tekin af fjórum landsvæðum: Suður-, Vestur-, Norður- og Austurlandi og dæmigert úrtak tekið úr fimm aldurshópum: folöld, 1-4 vetra tryppi, 5-12 vetra hross, 13-20 vetra hross og hross yfir 21 vetrar aldri.

Meðalstyrkur flúors í öllum hrossunum var 244 ppm, en 286 ppm í hrossum veturgömlum og eldri en 60 ppm í folöldum. Sýna þessar mælingar fram á lágan flúorstyrk í beinum íslenskra hrossa, en jafnframt að söfnun flúors í hrossabein er háð aldurs- og landsvæðabundnum áhrifum. Hinn lági styrkur flúors í hrossunum gefur ekki ástæðu til þess að ætla að meinafræðilegar breytingar hafi verið til staðar, enda almennt talið að styrkur flúors þurfi að fara yfir 2.000 ppm til þess að hætta verði á breytingum í beinum.

Niðurstöðurnar sýna mun milli landsvæða, þó sá munur sé einungis marktækur milli Suðurlands og Vesturlands þegar hross veturgömul og eldri voru skoðuð. Var meðalstyrkur á Suðurlandi lægstur (226 ppm) en hann var hæstur á Vesturlandi (336 ppm). Meðalstyrkur í folöldum var einnig hæstur á Vesturlandi, marktækt hærrí en á hinum landsvæðunum, en á þeim var ekki marktækur munur innbyrðis. Mikill breytileiki var í flúorstyrk í bæði folöldum, tryppum og fullorðnum hrossum innan Vesturlands, sem bendir til breytilegs umhverfisálags innan svæðisins sem ekki kom fram á hinum svæðunum. Flúorstyrkur var marktækt hærrí í hrossum á Vesturlandi því nær Grundartanga sem þau höfðu alið sinn aldur. Á Suðurlandi er meðalstyrkur flúors í tryppum og fullorðnum hrossum lægri en á öðrum landsvæðum og út frá því má álykta að hrossin á Suðurlandi hafi ekki orðið fyrir umhverfisáhrifum flúors á þessu árabili, þó gosið hafi á svæðinu á þeim tíma sem hrossin lifðu.

Þessar niðurstöður um uppsöfnun flúors í íslenskum hrossum sýna að sauðfé er hentugasta búfjártegundin til vöktunar á umhverfisáhrifum flúors frá álverum.

Inngangur

Tilurð og tilgangur rannsóknarinnar

Vöktun á umhverfisáhrifum flúors hér á landi hefur um árabil falið í sér mælingar á flúorstyrk í beinum sauðfjár og leitt í ljós aldurs- og svæðisbundin áhrif. Ekki hefur áður verið safnað heildstæðu safni sýna úr íslenskum hrossum til þess að afla viðmiðunargagna um flúorstyrk í beinum hrossa eftir uppruna á landinu og aldri. Umhverfisstofnun (Ust), Matvælastofnun (Mast), Tilraunastöð HÍ í meinafræði að Keldum (Keldur) og Landbúnaðarháskóli Íslands (Lbhí) funduðu í því skyni að setja upp verkefnislýsingu fyrir slíka rannsókn og úr varð að Lbhí tók að sér að gera rannsóknina og Ust tók að sér fjármögnun hennar. Verkefnastjóri var Charlotta Oddsdóttir, dýralæknir á Keldum og gestalektor í búvísindum við Lbhí og Brynja Valgeirsdóttir meistaraneimi í búvísindum vann rannsóknina. Auk Charlottu var Sigríður Björnsdóttir sérgreinadýralæknir á Mast leiðbeinandi í verkefninu. Efnagreiningar voru unnar af Ester Ingu Eyjólfsdóttur á Nýsköpunarmiðstöð Íslands.

Rannsókninni var ætlað að svara eftirfarandi spurningum:

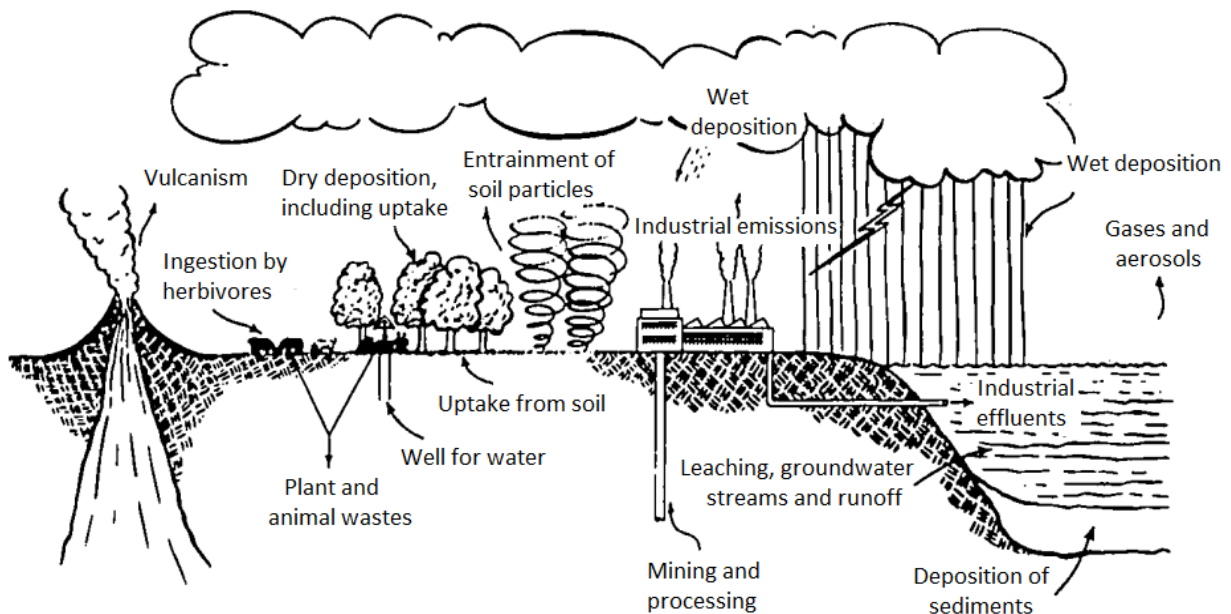
- 1) Hver er meðalstyrkur flúors í kjálkabeinum íslenskra hrossa?
- 2) Hvernig þróast flúorstyrkur í kjálkabeinum íslenskra hrossa með hækkandi aldri?
- 3) Er munur á meðalstyrk flúors í kjálkabeinum íslenskra hrossa eftir landsvæðum?

Eiginleikar flúors

Flúor (F) er eitt algengasta frumefni jarðar. Það er mjög hvarfgjarnt og í náttúrunni finnst það eingöngu í efnasamböndum með öðrum frumefnum (Weinstein og Davison, 2004), t.d. kalsíum, magnesíum og áli. Þess vegna er orðið flúoríð oft frekar notað en flúor. Helstu flúorsambönd sem valdið hafa flúoreitrun í dýrum og mönnum eru vetnisflúoríð, flúorkísilsýra, natríumflúoríð og natríum kísilflúoríð (Ranjan og Ranjan, 2015).

Uppsprettur flúors fyrir dýr og menn geta verið bæði náttúrulegar og iðnaðartengdar (mynd 1), svo sem mengað drykkjarvatn, gróður og fóður, eldfjallaaska, fosfatáburður og útblástur frá iðnaði. Flúor getur meðal annars dreifst og borist með lofti og vatni (Weinstein og Davison, 2004). Til þess að lýsa flutningi flúors í umhverfi og lífverum eru notuð orðin upptaka og aðsog. Upptaka (e. absorption) felur í sér að efnasamband er tekið upp frá einum stað til annars, til dæmis frá meltingarvegi yfir í blóð, eða frá jarðvegi upp í plönturætur. Aðsog (e. adsorption) á sér hins vegar stað þegar efnasamband sest á yfirborð hluta, til dæmis plantna, frá lofttegund eða vökva (McDonald o.fl., 2002).

Flúor í andrúmsloftinu getur ferðast um langan veg fyrir afli loftsveipa og vinda. Styrkur mengandi efna í reykjarmekki minnkar með aukinni fjarlægð frá uppsprettunni, vegna blauts og þurrs áfalls (e. deposition). Blautt áfall fjarlægir mikið magn agna úr mekkinum með regni, úða og snjó. Þurrt áfall á sér stað þegar agnir setjast á yfirborð eða eru teknar upp í blöð plantna um loftaugu. Þegar á heildina er litið fer áfallið eftir því á hvaða formi flúoríðsambandið er (loftkennt eða agnir), eðli plöntublaðanna, vindstyrk, samsetningu agnanna og vætu (Weinstein og Davison, 2004).



Mynd 1 Hringrás flúoríðs og flutningur í umhverfinu. Flúor frá eldgosum og útblæstri iðnaðar fellur ýmist sem þurr eða blautt áfall á yfirborð jarðar, vatns og gróðurs, og getur þannig komist í fóður og drykkjarvatn grasbita. Mynd úr Weinstein & Davison (2004).

Uppsprettur flúors í umhverfinu

Flúormengun í íslensku umhverfi orsakast einkum af eldfjallavirkni annars vegar og iðnaðarstarfsemi hins vegar.

Eldfjallaaska getur falið í sér háan styrk leysanlegs flúors og nær útbreiðslu á stórum landsvæðum þegar eldgos verða (Araya o.fl., 1993). Búpeningur sem lendir í öskufalli er því í mikill hættu á að fá bráða eða langvinna flúoreitrun (Gregory og Neall, 1996). Flúor í eldfjallaösku mengar jökulár, regnvatn, yfirborðsvatn, fóður og grös (Livesey og Payne, 2011). Á Íslandi eru fordæmi fyrir því að þúsundir sauðfjár, nautgripa og hrossa, auk annarra dýra, hafi fallið í tengslum við eldsumbrot sem orðið hafa gegnum aldirnar (Guðmundur Pétursson o.fl., 1984). Þessi fellir var ekki einungis af völdum flúoreitrunar, heldur einnig af völdum annarra eitraðra lofttegunda, horfellis og annarra afleiðinga eldgosa.

Iðnaðarstarfsemi af ýmsum toga losar flúor í útblæstri og frárennsli, svo sem áliðnaður, stáliðja, keramikverksmiðjur og olíuhreinsunarstöðvar (WHO, 1984; Swarup og Dwivedi, 2002). Flúor frá iðnaði getur verið í formi lofttegunda, svo sem vetnisflúoríðs og hexaflúorókísilsýru eða í formi agna, svo sem álflúoríðs, natríumálflúoríðs og kalsíumflúoríðs (WHO, 1984). Flúor frá iðnaði berst aðallega í lofti með ösku, ryki og gufum, sem menga vatn, jarðveg og gróður (Radostits o.fl., 2007).

Á Íslandi eru þrjú starfandi álver. Það elsta er í Straumsvík og var opnað árið 1969, annað er á Grundartanga í Hvalfirði og var sett á stofn árið 1998 og það nýjasta er í Reyðarfirði og opnaði árið 2007. Umhverfissvöktun og eftirlit með flúor hefur verið stundað reglulega á vegum allra þriggja álveranna og mælingar gerðar á andrúmslofti, regnvatni, grösum, laufblöðum, barnálum, grunnvatni

og í sauðfé (Helena Marta Stefánsdóttir, 2016; Páll Agnar Pálsson, 1995; Eva Yngvadóttir o.fl., 2017; Elín Guðmundsdóttir o.fl., 2019).

Uppsprettur flúors í umhverfi grasbíta

Grasbítar taka flúor einkum upp með vatni og fóðri. Flúor berst í grunnvatn vegna vatnsrofs, en magnið fer eftir eðli steindanna og jarðvegsins sem það rennur um, sýrustigi og hitastigi jarðvegsins og eiginleikum vatnsins (Edmunds og Smedley, 1996). Á jarðhitasvæðum þar sem vatn seytlar um granít er flúorstyrkur í vatni jafnan hærri en þar sem það rennur um basalt. Þegar vatnið vinnur í lengri tíma á graníti, við yfir 200°C hita, verður flúorstyrkur mjög hár (Chandrasekhar o.fl., 2015). Þar sem jarðhitavatn hefur verið notað í landbúnaði er hætta á hækkuðu hlutfalli eitraðra efna í plöntuvef, og þar með fóðri grasbíta (Miller o.fl., 1999).

Í skýrslu frá árinu 2010 þar sem efnafræðilegir eiginleikar í íslensku neysluvatni voru skoðaðir, var flúor mældur í borholum og vatnsbólum víða um land. Styrkur flúors í neysluvatni var lægstur 0,015 mg/l í Glerá og hæstur 4,04 mg/l á Flúðum (Anna Margrét Kornelíusdóttir, 2010). Flúor í neysluvatni á Flúðum var þar með talsvert yfir öryggismörkum, sem skv. reglugerð 536/2001 eru 1,5 mg/l, en annars fór styrkur flúors í öðrum vatnsbólum ekki yfir 1,0 mg/l (Anna Margrét Kornelíusdóttir, 2010) og teljast þau því almennt örugg með tilliti til flúorstyrks. Á Íslandi hefur búfé tekið upp flúor við að drekka úr pollum sem flúorrík eldfjallaaska hefur safnast í (Guðmundur Georgsson og Guðmundur Pétursson, 1972).

Plöntur geta verið talsverð uppspretta flúors fyrir grasbíta. Þó svo plöntur geti að litlu leyti tekið flúor úr vatni og jarðvegi (Gritsan o.fl., 1995) og í nokkrum mæli um loftaugu (Baunthiyal og Ranghar, 2014), steðjar grasbítum mest hætta af flúorríku ryki sem berst með loftinu og leggst á yfirborð plantnanna. Flúorstyrkurur í gróðri getur lækkað mjög hratt í rigningu (Guðni Þorvaldsson o.fl., 2011) en einnig ef spreitta er mikil og flúormagnið þynnist þannig út (Vike, 2005).

Upptaka og efnaskipti flúors

Flúormagn í dýrum ákvarðast af ýmsum áhrifapáttum, svo sem inntökuleið í líkamann, fæðusamsetningu, sýrustigi meltingarvegarins og kölkuðum vefjum líkamans (Weinstein og Davison, 2004). Flúor er tekið upp um ýmsa vefi, svo sem meltingarveg, öndunarveg og stundum um húð og slímhúð (Ranjan og Ranjan, 2015). Flutningur flúors yfir himnur í líkamanum fer aðallega fram með flæði vetnisflúoríðs, sem getur farið gegnum frumhimmur hraðar en flúoríðjónin sjálf (Whitford o.fl., 1994).

Allt að 40% flúors sem tekin eru inn með fæðu eru frásoguð í maganum á formi vetnisflúoríðs, sem myndast í súru magainnihaldinu (Buzalaf og Whitford, 2011). Því súrara sem magainnihaldið er, þeim mun meira flúormagn er tekið upp (Weinstein og Davison, 2004). Ef flúor helst í leysanlegu formi í meltingarvegi getur líkaminn tekið upp um 80-90% þess magns sem er innbyrt (Medical Research Council, 2002). Aðrir þættir sem hafa áhrif á upptöku flúors hjá dýrum eru tegund dýrsins, samsetning fóðursins og aldur dýrsins (Weinstein og Davison, 2004). Mest af þeirri flúorupptöku sem ekki gerist í maganum, á sér stað í smápörmunum, sérstaklega hjá einmaga dýrum eins og hrossum og svínum (Whitford, 1989). Jórturdýr taka hins vegar mikið magn upp í vömb og vinstur (Parkins, 1971).

Öndunarfærin eru ekki talin eiga stóran þátt í upptöku hryggdýra á flúor þar sem magnið í andrúmslofti er almennt lítið (Weinstein og Davison, 2004). Flúoríðefnasambönd á gaskenndu formi sem losna í iðnaði eða við eldgos, eru mögulega tekin upp í nokkrum mæli um öndunarfærin (WHO, 2002). Dýr sem hafast við nærri flúormengandi iðnaði eða þar sem eldgos verða, gætu þannig tekið upp flúor um öndunarfæri (Radostits o.fl., 2007).

Dreifing flúors um líkaman, úthreinsun og uppsöfnun í kölluðum vefjum

Ef flúor er tekið upp í blóðrásina hækkar styrkur þess í blóðvökva á fyrstu mínútunum eftir inntöku og nær hámarki á 20-60 mínútum, en fer þó eftir upptökuhraða og einstaklingsbundnum mun á getu nýrna og beina til að fjarlægja það úr blóðrásinni (Whitford, 1994). Flúor dreifist nokkuð jafnt yfir frumuhimnur í mjúkvæfjum, þó í minna mæli til heila og fituvefjar og meira mæli til nýrna (Ranjan og Ranjan, 2015). Flúorstyrkur í blóðvökva er ekki gott lífmerki til marks um flúormengun í umhverfi þar sem margir lífeðlisfræðipættir hafa áhrif á styrkinn, svo sem magn flúors sem hægt er að leysa úr beinvef, hlutfall uppbyggingar og niðurbrots beina, og blóðhreinsun í nýrum (Whitford, 1994).

Flúor skolast út úr líkamanum aðallega með þvagi og er útskolunin lítil í samanburði við hina halógenana (Whitford, 1994). Flúor er tekinn upp í nýrnapiplum með sama ferli og gerist við frásög í maga, þ.e. með flæði vetnisflúoríðs yfir frumuhimnur, og því eru áhrifapættir á sýrustig þvagsins mikilvægir fyrir vefjastyrk flúors (Whitford, 1989).

Flúor hefur mikla sækni í kalsíum og þess vegna binst um helmingur upptekins flúors í kalkaða vefi innan sólarhrings, en það sem gengur af skilast út með þvagi (Weinstein og Davison, 2004). Beininn taka flúor upp úr blóðvökva á meiri hraða en þau taka upp kalsíum (Costeas o.fl., 1971). Þegar flúor er tekið upp í bein eða tannglerung binst það í flúoróapatít-kristöllum sem eru stöðugri en upprunalegu hýdroxíapatít-kristallarnir og þess vegna er aukin beinvefsmyndun eitt einkenni flúoreitrunar (Grynpas, 1990; Farley o.fl., 1983). Um 99% flúors í líkamanum eru bundin kölluðum vefjum, en dreifingin er ekki einsleit innan beina og milli beina, þar sem flúorstyrkur er hærri í frauðbeini en þéttbeini, og hærri í endum og við ytra og innra yfirborð langra beina (Ranjan og Ranjan, 2015; Weatherell o.fl., 1977).

Þegar búpeningur verður fyrir háum styrk flúors á myndunarskeiði tannanna (frá fæðingu og fram á fjórða til fimmta ár) getur tannbein (e. dentine) og glerungur orðið fyrir skemmdum (Shupe o.fl., 1963; Lowder og Mueller, 1998). Hið skemmda tannmót (e. tooth matrix) bindur ekki þau steinefni sem til þarf og þannig myndast skemmdir á yfirborði tannanna (Shupe o.fl., 1963). Þegar tönningur er umbygging og viðgerð á glerungnum ekki möguleg og þess vegna eru þessar skemmdir varanlegar (Kierdorf o.fl., 1999). Dýr sem hafa tekið allar tennur, þar sem glerungurinn hefur myndast að fullu, munu þess vegna ekki fá flúorskemmdir í tennur (Kierdorf o.fl., 1996).

Ólíkt tönnum geta bein safnað upp flúor gegnum lífsskeið dýra og því er flúorstyrkur í ungum dýrum almennt lágur en eykst með hækkandi aldri. Hins vegar verður að hafa í huga að efnaskipti beina eru hraðari í ungum dýrum og þess vegna hafa þau meiri getu til að binda flúor í beinvef ef þau verða fyrir miklu magni flúors á yngri árum (Shupe o.fl., 1963; Kierdorf o.fl., 1995).

Áhrif flúoreitrunar á heilsufar

Bráð flúoreitrun er sjaldgæf og verður ekki nema viðvarandi útsetning fyrir mjög leysanlegum ólífrænum flúoríðsamböndum eigi sér stað, til dæmis við meiriháttar flúorrík eldgos, iðnaðarslys eða inntöku búfjár á fosfatríkum áburði (Livesey og Payne, 2011). Langvinn flúoreitrun er þekktari og verður þegar dýr er útsett fyrir flúor í umhverfi sínu eða fóðri yfir langan tíma, og koma klínísk einkenni ekki í ljós fyrr en að vikum eða mánuðum liðnum (Suttle, 2010).

Bráð flúoreitrun veldur almennri líffærabilun, eitrunarlosti og dauða. Útsetning fyrir flúorsýru getur valdið bráðri eitrun um öndunarveg eða gegnum húð, og orsakað kalsíumpurrð í blóði og þar með dauða innan fárra mínútna. Bráð útsetning fyrir leysanleg flúoríðsambönd um munn, til dæmis með eldfjallaösku, getur orsakað dauða innan 12 klukkustunda (Gregory og Neall, 1996).

Dæmi um bráða flúoreitrun íslensks búfjár þekkjast í tengslum við eldgos, til dæmis úr sögnum af Skaftáreldum 1783-1784 (Sturla Friðriksson, 1983) og Heklugosinu 1970 (Guðmundur Georgsson og Guðmundur Pétursson, 1972). Kindur á beit þar sem aska féll árið 1970 misstu átlýst, lágu fyrir, voru daufar, með blóðlitaðan niðurgang og sumar hóstuðu og voru móðar. Um 3% fullorðinna áa og 8-9% lamba á svæðinu drápu. Áætlað var að féð hefði getað tekið inn nægilegt magn á fyrstu dögum gossins til þess að valda bráðri flúoreitrun (Guðmundur Georgsson og Guðmundur Pétursson, 1972). Í því skyni að meta áhrif flúoreitrunar á sauðfé fóðruðu Jakob Kristinsson o.fl. (1997) lömb á natríumflúoríðmengingu fóðri í 20 vikur, skammtastærðir 5 mg, 10 mg og 15 mg á kg líkamspunga, fimm daga vikunnar. Einkenni sem sáust hjá þeim sem fengu 10 og 15 mg/kg voru niðurgangur, örmögnun og missir á átlýst auk vanþrifa. Lömb sem fengu 5 mg flúors á hvert kg líkamspunga sýndu ekki þessi einkenni. Engar meinafræðilegar breytingar sáust á mjúkvefjum, tönnum eða beinum við krufningu (Jakob Kristinsson o.fl., 1997). Flúorstyrkur í beinum lambanna hækkaði eftir því sem hærri styrkur flúors var gefinn, þau sem fengu 5 mg var á bilinu 3.000-6.000 ppm, en á bilinu 7.000-14.000 í þeim sem fengu 10 og 15 mg/kg.

Fyrstu sjáanlegu merki um langvinna flúoreitrun eru oftast skemmdir á tönnum, en einnig geta sést merki um aflögun beina. Við langvarandi útsetningu fyrir eitruðum skömmtum af flúor geta eitrunaráhrif komið fram í mjúkvefjum og líffærakerfum en viðkvæmust eru lifur, hjarta og nýru, þó þeim áhrifum hafi ekki öllum verið lýst hjá grasbítum (Ranjan og Ranjan, 2015; Perumal o.fl., 2013). Hætta á flúoreitrun fer eftir magni og varanda útsetningarinnar, tegund og aldri dýrs, næringarstigi, lífeðlisfræðilegum þáttum og beitarstjórnun (Weinstein og Davison, 2004).

Áhrif flúoreitrunar á tennur

Flúor hefur um áratuga skeið verið notaðað í litlu magni til þess að vinna gegn tannátu hjá fólki (Dean o.fl., 1956) þar sem það örvar steinefnabindingu í hvítum blettum á tönnum, sem eru fyrstu merki um tannskemmdir, og ver blettina þannig gegn slit (Koulourides o.fl., 1980).

Á hinn bóginn getur skammvinn eða langvarandi útsetning fyrir háum styrk leysanlegra flúoríðsambanda haft áhrif á myndun glerungsins sem verður skellóttur, mislitur og gljúpur (Yan o.fl., 2007). Erfitt getur verið að sjá vægar skemmdir en alvarlegri skemmdir valda litabreytingum á glerungnum, auk þess sem hann verður mýkri en ella, og því koma fram dældir og aukið slit á tönnum. Ef um

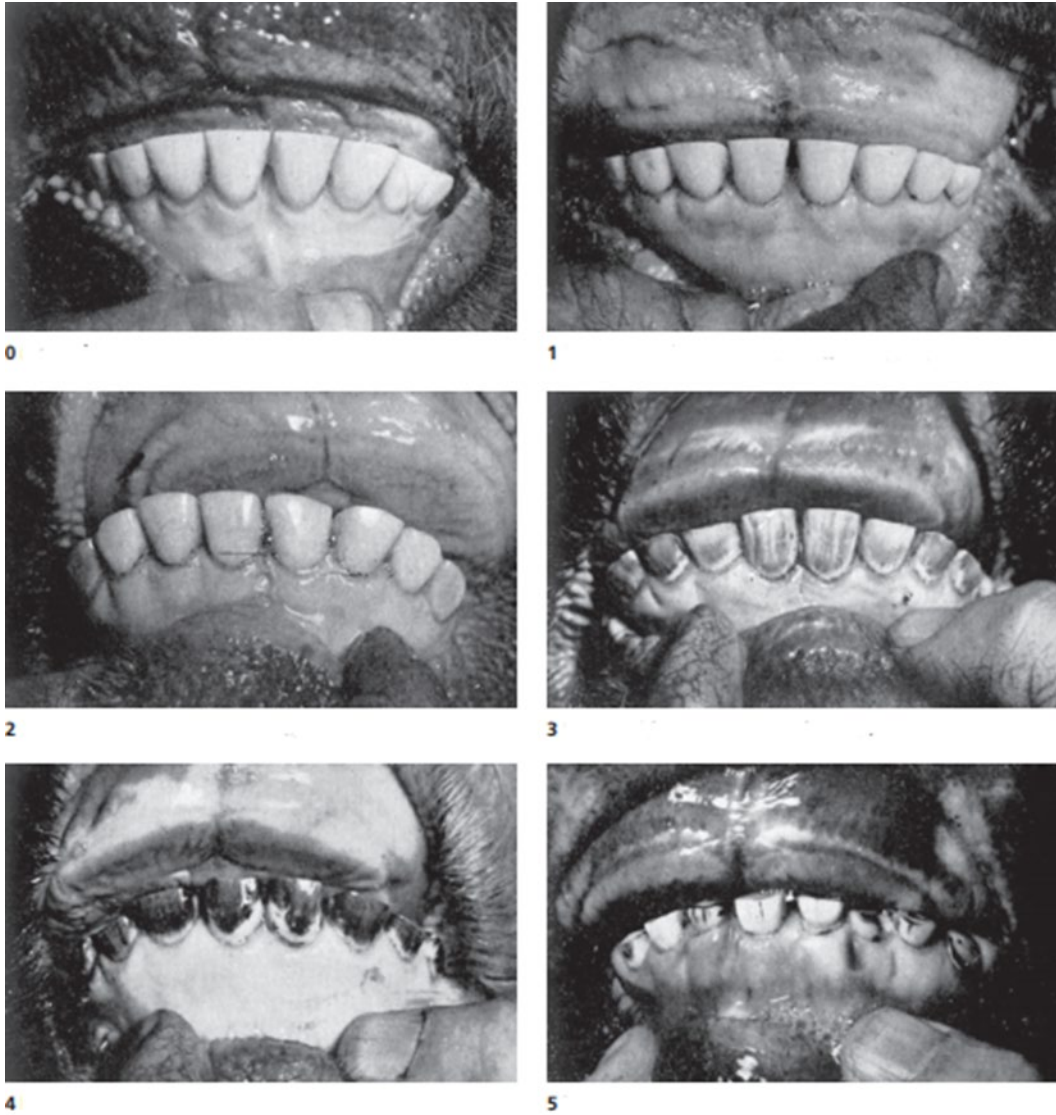
slíkar skemmdir er að ræða á jöxlum getur það komið niður á áti, gripir missa hold og framleiðni afurða minnkar (Ranjan og Ranjan, 2015).

Kierdorf o.fl. (1996) settu upp kerfi (tafla 1) til þess að meta alvarleika tannskemmda hjá evrópskum krónhjörtum. Tannskemmdir í forjöxlum og jöxlum eru metnar á sex stiga kvarða (0-5) og hefur þetta kerfi verið notað til þess að meta áhrif flúors á íslenskt sauðfé (Eva Yngvadóttir o.fl., 2017). Annað kerfi var þróað af Livesey og Payne (2011) þar sem notast var við ljósmyndir af nautgripatönnum til mats á tannskemmdum (mynd 2).

Tafla 1 Matskerfi fyrir tannskemmdir hjá krónhjörtum. Tafla frá Kierdorf o.fl. (1996)

Stig	Eiginleikar tanna
0	Eðlilegt (hvítt og glærleitt) útlit glerungsins. Vegna hörku sinnar myndar glerungurinn greinilega kamba á bitflötum. Lífeðlisfræðilegt, þ.e. aldurstengt slit sést á yfirborði.
1	Einstaka blettir með ógegnsæi og gulum til brúnum mislitunum. Breytingar aðallega bundnar við hnúða á bitflötum, stundum sem láréttar línur.
2	Öll tönnin með ógegnsæjum og mislituðum blæ. Tennur eru lægri en ella og einhverjir glerungskambar eru horfnir.
3	Algjör missir glerungskamba veldur útflöttum bitflötum. Um 5% glerungsyfirborðs tannkrónunnar eru skemmd.
4	Aukið tannslit er svo mikið að tönnin hefur óeðlilega lögun. Milli 5% og 25% af glerungsyfirborði tannkrónunnar eru skemmd.
5	Starfsgeta tannanna óeðlileg vegna mjög aukins slits. Tennur geta brotnað og tapast vegna eyðileggingar á tannslíðri. Yfir 25% glerungsyfirborðs tannkrónunnar eru skemmd.

Tannskemmdir hjá norskum hjartardýrum svo sem litabreytingar, skellur og umframslit á glerungi hafa verið tengdar flúorstyrk yfir 2.000 ppm í kjálkabeini, og sáust oftast hjá hjartardýrum sem höfðust við nærri álverum (Vikøren og Stuve, 1996). Ályktað var að breytingar geti farið að sjást á tönnum krónhjarta þegar uppsöfnun nemur milli 1.000 og 2.000 mg/kg fyrsta eina og hálfra æviárið (Vikøren og Stuve, 1996). Tannskemmdir af völdum flúormengunar á Íslandi tengjast helst eldgosum en þær skemmdir sem sést hafa hjá hrossum, hafa einungis sést hjá þeim sem voru veturgömul eða tveggja vetra þegar eldgos átti sér stað (Guðmundur Georgsson o.fl., 1981), enda gerist þetta eingöngu á myndunarstigi tannanna, áður en þær koma upp.



Mynd 2 Kerfi til mats á áhrifum flúoríðs á framtennur nautgripa. Stig 0 eðlilegar tennur. Stig 1 dreift ógegnsæi glerungs. Stig 2 tannkrónur með vægri mislitun. Stig 3 útflattar tannkrónur og útbreidd mislitun. Stig 4 breytt lögun á tönnum og skýr skellumyndun. Stig 5 mikið slit á tönnum, einhverjar geta verið brotnar. Mynd frá Livesey og Payne (2011).

Áhrif flúoreitrunar á bein

Bein er kvikur vefur sem stöðugt er í endurmótun og umbreytingu út frá breytilegum kalsíumstyrk í blóði, breytingum í aflfræðilegri verkun á viðkomandi bein og fyrir áhrif hormóna sem stýra efnaskiptum hans (Walkley et al., 2007).

Eins og áður kom fram getur flúor breytt uppbyggingu beinvefjarins og valdið verkjum í liðum og beinum, óeðlilegum beinvexti og kölkun á liðböndum sem lýsa sér í þykkun á liðamótum (Choubisa og Choubisa, 2016). Dýr með flúoreitrun í beinum verða þannig stírf og hölt en breytingar í beinvef fara eftir varanda útsetningarinnar, aldri gripanna, gerð beinanna o.fl. (Ranjan og Ranjan, 2015). Þær meinafræðilegu breytingar sem geta sést á beinum eru beinhersli (aukin harka og þéttni beinvefjar), beingaddur (útvöxtur á beini), beinþynning (minni þéttni beinvefjar), beinmeyra (mýking beinvefjar

vegna kalsíumtaps) og beinauki í beinhimnu (stækkun á brjóskþöktum endum beina; Ranjan og Ranjan, 2015). Eins og með langvarandi flúoreitrun í tönnum getur flúoreitrun í beinum minnkað fóðuruþptöku og þannig valdið vanþrifum, afurðatapi og dauða gripanna (Livesey og Payne, 2011).

Rannsóknir á áhrifum eldgosa á búfé á Íslandi hafa snúist um greiningar á tannskemmdum og ekki er mikið til af lýsingum á flúoreitrun í beinum, sem gæti bent til þess að það hafi ekki verið mikið um slíkar breytingar. Í lýsingum á flúoreitrun í sauðfé eftir Heklugosið 1970 kom fram að röntgenmyndir sýndu væga þykkun á beinhimnu beina í fótum undir 2,5% fjárins, en í beinum þeirra gripa greindist sex- til áttfaldur styrkur flúors (Guðmundur Georgsson og Guðmundur Pétursson, 1972).

Breytingum í beinum íslenskra hrossa vegna flúoreitrunar hefur ekki verið lýst. Árið 2011 skoðuðu Ólöf G. Sigurðardóttir og Sigríður Björnsdóttir þrjú fullorðin hross af bæ í Hvalfirði, en eigandi þeirra taldi þau þjást af afleiðingum flúoreitrunar. Klínísk skoðun leiddi í ljós stirðleika og helti auk þykkunar á makka. Röntgenmyndir af fótum hrossanna sýndu stefnubreytingu á hófbeini vegna hófsperru hjá tveimur þeirra en ekki sáust breytingar á beinum hjá neinu þeirra sem samræmdust flúoreitrun. Skoðun á tönnum sýndi að þær báru ekki merki flúoreitrunar. Í kjálkabeinum hrossanna var flúorstyrkur að meðaltali 886 ppm (Ólöf G. Sigurðardóttir og Sigríður Björnsdóttir, 2011a; Ólöf G. Sigurðardóttir og Sigríður Björnsdóttir, 2011b). Svipuð gildi mældust í kjálkum 12 hrossa frá sama bæ árið 2016, 811 ppm að meðaltali (Sigurður Sigurðarson og Jakob Kristinsson, 2016).

Þol dýrategunda fyrir flúor og viðmiðunargildi

Dýrategundir hafa mismikið þol fyrir flúor í umhverfinu og einnig koma til einstaklingsbundnir þættir, fóður og umhverfisþættir. Jórturdýr virðast taka upp flúor hraðar en einmaga dýr svo sem hross og svín (Ranjan og Ranjan, 2015). Nefndar hafa verið fyrir því ýmsar ástæður, svo sem munurinn á sýrustigi í maga dýrategunda, en súrt umhverfi eykur upptöku flúors (McDonald o.fl., 2002; Messer og Ophaug, 1993), og neikvætt kalsíumjafnvægi hjá nautgripum sem leiðir til aukinnar umsetningar á beinvef (Ranjan og Ranjan, 2015). Líklegt er það hafi mikil áhrif að melting jórturdýra felur í sér langvarandi vinnslu á gor í vömbinni, þar sem á sér stað upptaka á efnum svo sem fitusýrum, en rannsóknir hafa sýnt að töf á tæmingu meltu yfir í smágirni eykur upptöku á flúor hjá rottum (Messer og Ophaug, 1991).

Viðmiðunargildi flúoreitrunar út frá flúorstyrk í beinum hrossa eru ekki til en hægt er að notast við áður nefnd gildi Vikøren og Stuve (1996) sem ályktuðu að þegar styrkur flúors í hjartardýrum fer yfir 2.000 ppm, aukast líkurnar á breytingum á beinum. Þessi gildi hafa verið notuð sem viðmið fyrir hámarksgildi flúors í beinum grasbíta (Eva Yngvadóttir o.fl., 2017; Vikøren og Stuve, 1996).

Viðmiðunargildi fyrir flúor í lofti, vatni og fóðri

Loftgæði skulu uppfylla kröfuna um að viðkvæmstu lífverur, svo sem plöntur, bíði ekki skaða af lofttegundum í andrúmsloftinu. Samkvæmt því ætti mánaðarstyrkur flúors í andrúmslofti ekki að fara yfir 0,82 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ að jafnaði (Weinstein og Davison, 2004). Á þynningarsvæðum álvera á Íslandi má flúorstyrkur ekki fara yfir 0,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ vetnisflúoríðs að meðaltali á tímabilinu apríl til september ár hvert samkvæmt reglugerð 787/1999 um loftgæði.

Flúor er í mörgum löndum bætt í drykkjarvatn til þess að bæta tannheilsu og eru örugg gildi talin vera á bilinu 0,7-1,2 mg/l (Dean o.fl., 1956). Á Íslandi er samkvæmt reglugerð 536/2001 um neysluvatn

miðað við 1,5 mg/l, í samræmi við ráðleggingar Alþjóðaheilbrigðisstofnunarinnar um gæði drykkjarvatns (WHO, 2002).

Þol grasbíta fyrir flúor í beitargróðri og fóðri er talið vera 40 mg/kg þurrvigtar yfir 12 mánaða tímabil, fyrir viðkvæmustu tegundir, en 30-35 mg/kg þurrvigtar fyrir minna viðkvæmar tegundir (Weinstein og Davison, 2004). Samkvæmt reglugerð 985/2009 um (46.) breytingu á reglugerð nr. 340/2001 um eftirlit með fóðri, er hámarksinnihald flúors fyrir grasbíta 50 µg/g fóðurs með 12% rakainnihaldi en 30 µg/g fyrir mjólkandi dýr.

Efniviður og aðferðir

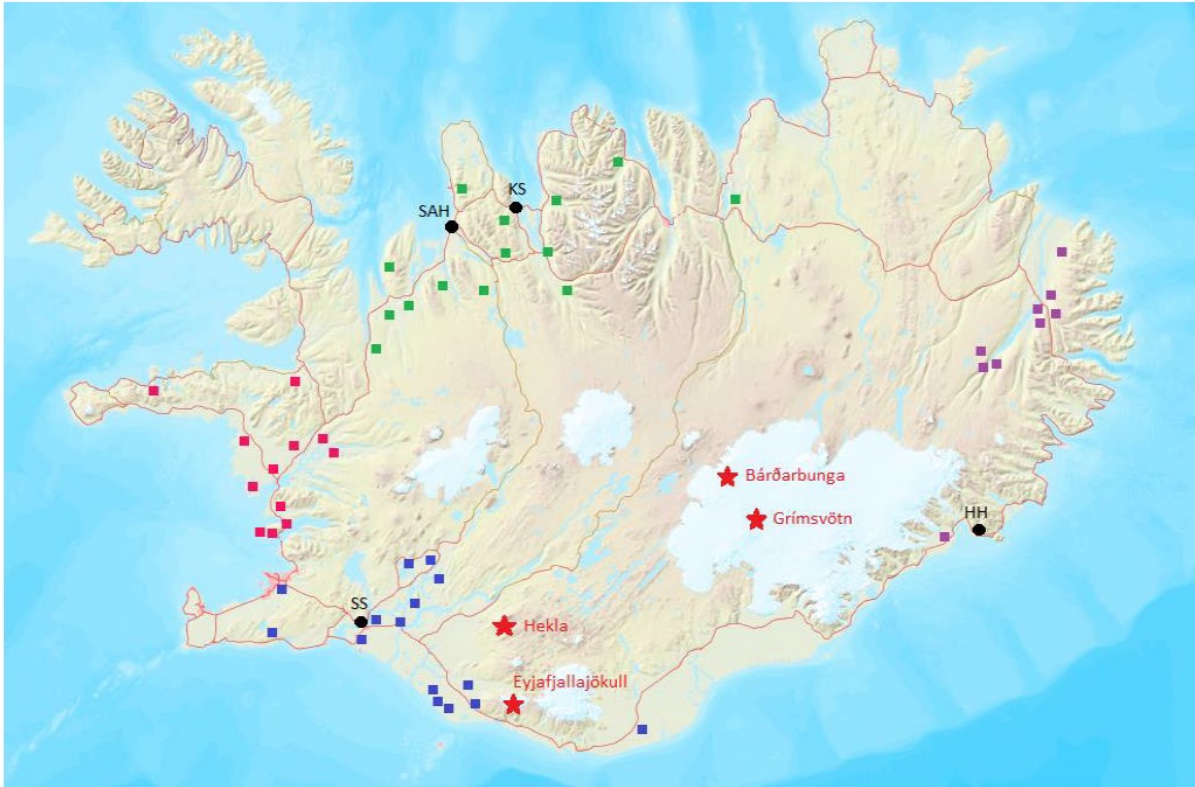
Sýnataka

Neðri kjálkabeinum til greiningar á flúorstyrk var safnað úr 223 hrossum sem slátrað var á tímabilinu október 2017 til febrúar 2019. Sýnin voru tekin af fjórum landsvæðum á Íslandi (Suður-, Vestur-, Norður- og Austurlandi) þar sem búast mátti við breytilegu magni flúors í umhverfi vegna uppspretta af náttúrulegum toga og frá iðnaði. Sýnin fengust á fjórum sláturhúsum (tafla 2, mynd 3), tveimur á Norðurlandi (KS á Sauðárkróki og SAH á Blönduósi) og tveimur á Suðurlandi (SS á Selfossi og Norðlenska á Höfn). Markmiðið var að safna sýnum frá fjórum landsvæðum með eins jafnri dreifingu og hægt var. Einnig var leitast við að fá sem besta aldursdreifingu í eftirtalda fimm aldurshópa: folöld, 1-4 vetra tryppi, 5-12 vetra hross, 13-20 vetra hross og hross yfir 21 vetrar aldri.

Teknar voru saman upplýsingar um hrossin úr WorldFeng, ættbókarskrá íslenska hestsins, en út úr fæðingarnúmeri hrossanna má lesa aldur, kyn og uppruna. Ef frekari upplýsinga var óskað, var haft samband við eiganda eða fyrri eiganda hrossanna.

Tafla 2 Kjálkasýni tekin í sláturhúsum, dagsetning og sýnatökustaður auk fjölda sýna hvern dag.

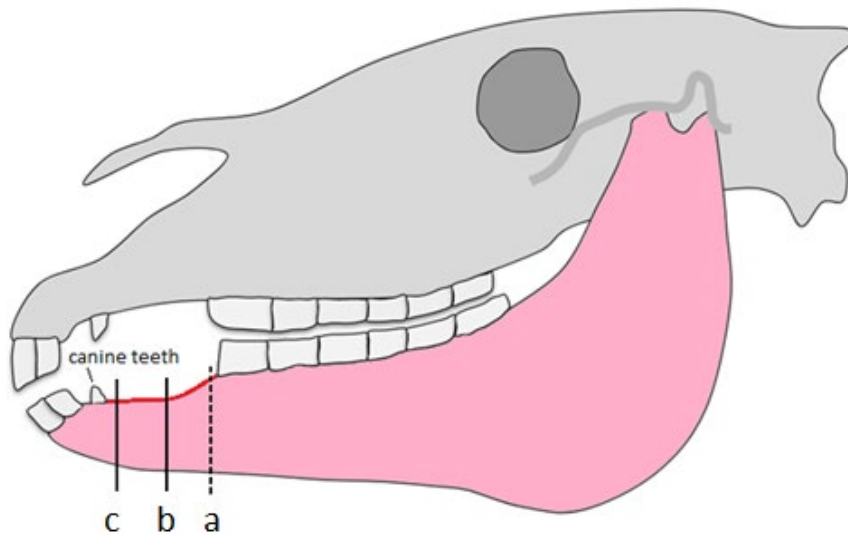
Dagsetning (dd/mm/yy)	Sláturhús	Fjöldi sýna
23/10/17	SAH ehf. Blönduós	21
22/11/17	SS svf. Selfoss	26
05/12/17	Norðlenska ehf. Höfn	8
22/02/18	SS svf. Selfoss	19
17/05/18	SS svf. Selfoss	23
31/05/18	SS svf. Selfoss	3
21/09/18	SS svf. Selfoss	17
26/11/18	KS svf. Sauðárkrókur	38
10/12/18	KS svf. Sauðárkrókur	42
06/02/19	SS svf. Selfoss	8
11/02/19	KS svf. Sauðárkrókur	18
Heildarfjöldi		223



Mynd 3 Uppruni hrossa og fjöldi frá hverju landsvæði. Bláir ferningar tákna hross frá Suðurlandi (52), bleikir ferningar tákna hross frá Vesturlandi (71), grænir ferningar tákna hross frá Norðurlandi (63) og fjólubláir ferningar tákna hross frá Austurlandi (37). Hver ferningur getur táknað fleiri en eitt sýni. Svartir hringir sýna staðsetningu sláturhúsanna fjögurra, SS á Selfossi, SAH á Blönduósi, KS á Sauðárkróki og HH (Norðlenska) á Höfn. Rauðar stjörnur sýna eldfjöll sem gosið hafa síðan 1991. Kortið kemur upprunalega frá Landmælingum Íslands, sótt á vefinn <http://kortasja.lmi.is/> hinn 14. maí 2020 og upplýsingum bætt inn á það.

Meðhöndlun kjálka

Í sláturhúsi var haldið til haga hausum af hrossum sem var slátrað og þeir unnir jafnóðum. Einungis voru tekin 2-3 folöld af hverjum bæ þar sem búast mátti við að flúorstyrkur í mældum folöldum gæfi til kynna flúorupptöku í öðrum folöldum á bænum. Fremsti hluti neðri kjálka var fláður og sagaður af í tannlausa bilinu (mynd 5) með Black & Decker tifsög. Hvert kjálkasýni var sett í rennilásaplastpoka og merkimiði með dagsetningu og raðnúmeri settur í pokann. Sýni hvers dags voru fryst við -20°C þar til síðar. Þegar kom að því að senda sýni í flúorgreiningu voru u.þ.b. 2 cm þykkar sneiðar skornar af hinum frosnu kjálkasýnum með Hitachi sverðsög, eins og sést á mynd 4.



Mynd 4 Sýnataka af hrosskjálkum til flúormælinga. Neðri kjálkinn er bleiklitaður á myndinni og rauð lína sýnir tannlausa bilið. Punktalínan a) sýnir hvar fyrsta sýnið var tekið í sláturhúsi, en þeim sýnum var safnað í -20°C frysti þar til línur b) og c) voru skornar og 2 cm sneiðin þar á milli var tekin til flúormælinga.

Myndin sótt á vefinn https://en.wikipedia.org/wiki/Equine_malocclusion hinn 14. maí og upplýsingum bætt inn á hana.

Efnagreining á flúorinnihaldi

Flúorefnainnihald var greint á Nýsköpunarmiðstöð Íslands. Hver 2 cm kjálkasneið var brennd við 600°C hita og ef tennur voru í öskunni voru þær fjarlægðar. Beinvefurinn var fín malaður og leystur upp í sýru (HNO₃). Lausnin var blönduð TISAB dúalausn og flúor var mælt á magnbundinn hátt með flúorsértæku rafskauti. Þannig fékkst línulegt hlutfall fyrir hvert beinsýni og var flúorstyrkur gefinn upp sem hlutfall af þurrefni (milljónarhluti (parts per million), ppm).

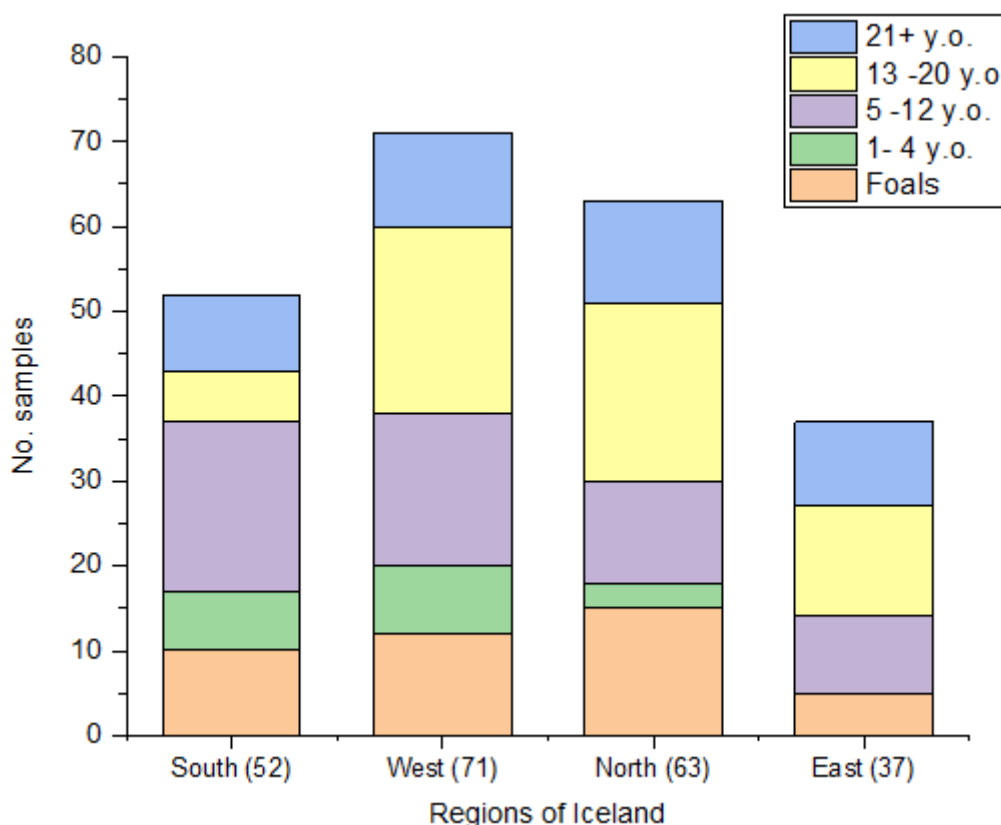
Tölfræðigreining

Meðalflúorstyrkur allra sýna, auk meðalstyrks fyrir hvern aldurshóp og landsvæði fyrir sig, voru reiknuð í Excel töflureikni. Greining með tölfræðilegum aðferðum var gerð með hjálp JMP 14 forritsins. Tvíbreytudreifigreining (two-way ANOVA) var gerð til þess að bera flúorstyrk saman milli aldurshópanna fimm og milli fjögurra landsvæða. Tukey próf var notað til þess að prófa marktækni munar milli hópa með 95% öryggi. Fylgni milli aldurs og flúorstyrks var sýnd með einföldu aðhvarfsgreiningarlíkani fyrir allan hópinn og fyrir hvert landsvæði fyrir sig. Enn fremur var notuð aðhvarfsgreining á fylgni milli flúorstyrks í hrossum frá Vesturlandi og fjarlægðar uppruna þeirra frá iðnaðarsvæðinu á Grundartanga.

Niðurstöður

Dreifing sýna

Í heild söfnuðust 223 sýni úr kjálkabeinum íslenskra hrossa. Sýnafjöldi eftir landsvæðum og aldurshópum er sýndur á mynd 5. Erfiðara reyndist á einhverjum landsvæðum að afla sýna úr vissum aldurshópum. Engin sýni söfnuðust úr 1-4 vetra gömlum tryppum á Austurlandi og söfnuðust í heildina fæst sýni úr þessum aldurshópi, sérstaklega á Norðurlandi. Fá sýni söfnuðust á Suðurlandi úr aldurshópnum 13-20 vetra.



Mynd 5 Sýni tekin úr kjálkabeinum 223 íslenskra hrossa. Fjöldi sýna eftir landsvæðum og aldurshópum. Folöld (foals), tryppi (1-4 vetra/y.o.), 5-12 vetra (y.o.) hross, 13-20 vetra (y.o.) hross og hross 21 vetrar gömul og eldri (21+ y.o.).

Styrkur flúors í beinum

Flúor (F) í 223 kjálkasýnum hrossa veturgamalla og eldri mældist frá 71 ppm F í tveggja vetra gömlu tryppi, til 1.583 ppm F í 25 vetra gamalli hryssu (sjá viðauka). Í sýnum úr folöldum mældist flúor 25-224 ppm. Hross og folöld með lægstu og hæstu flúormælingar voru af Vesturlandi. Þrjú hross voru með flúorgildi hærra en 1.000 ppm F. Þessi þrjú hross voru, auk fyrrnefndrar 25 vetra hryssu, tvö hross einnig af Vesturlandi, 20 vetra geldingur með 1.192 ppm og 14 vetra hryssa með 1.082 ppm F.

Meðalflúorstyrkur allra sýnanna var 244 ± 11.8 ppm (tafla 3). Þegar skoðaðar eru niðurstöður fyrir hvert landsvæði voru hæstu meðaltölin í sýnum frá Vesturlandi og lægstu meðaltalsgildi voru frá Suðurlandi. Það sama mátti segja fyrir meðaltalsgildi hrossa veturgamalla og eldri, en flúorstyrkur í beinum folalda var að meðaltali hæstur á Vesturlandi og lægstur á Norðurlandi.

Tafla 3 Hæstu gildi flúorstyrks (ppm F) í beinum íslenskra hrossa á fjórum landsvæðum, ásamt meðalstyrk og staðalfrávik í öllum aldurshópum, í hrossum veturgömlum og eldri, og í folöldum eingöngu, eftir landsvæðum. Fjöldi sýna í hverjum hópi er í svigum (n).

	Suðurland (n)	Vesturland (n)	Norðurland (n)	Austurland (n)	Landið (n)
Hæsti styrkur flúors, ppm F	377	1583	563	464	1583
Meðalstyrkur flúors allir aldurshópar	182 ± 12 (52)	295 ± 30 (71)	234 ± 17 (63)	248 ± 16 (37)	244 ± 11 (223)
Meðalstyrkur flúors, veturgömul og eldri	226 ± 12 (42)	336 ± 34 (59)	294 ± 15 (48)	270 ± 9 (32)	286 ± 12 (181)
Meðalstyrkur flúors, folöld	47 ± 2 (10)	97 ± 14 (12)	43 ± 3 (15)	49 ± 2 (5)	60 ± 5 (42)

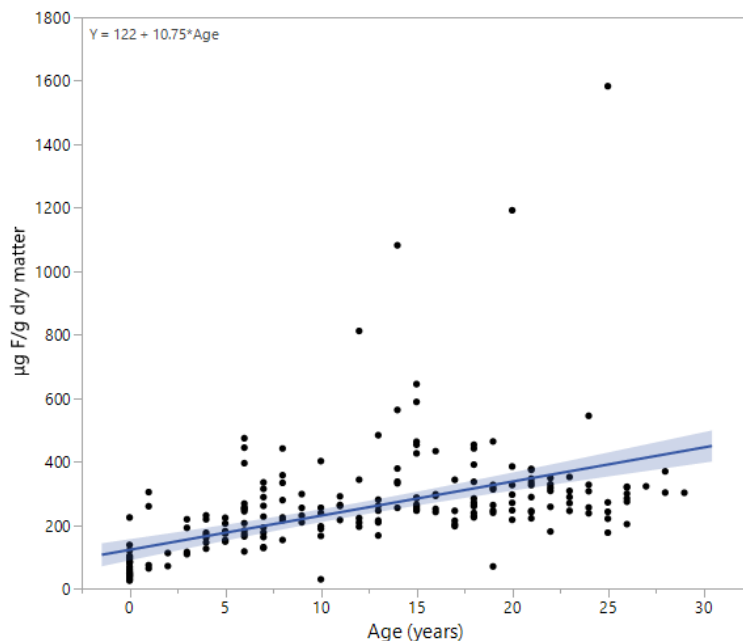
Flúorstyrkur í aldurshópnum fimm, óháð landsvæðum, var lægstur í folöldum og næstlægstur í 1-4 vetra gömlum tryppum (tafla 4). Hæsti meðalstyrkur flúors var í elsta aldurshópnum, 21 vetra gömlum og eldri.

Tafla 4 Hæstu gildi flúorstyrks (ppm F) í beinum íslenskra hrossa í fjórum aldurshópum, ásamt meðalstyrk og staðalfrávik fyrir hvern hóp. Fjöldi sýna í hverjum hópi er í svigum (n).

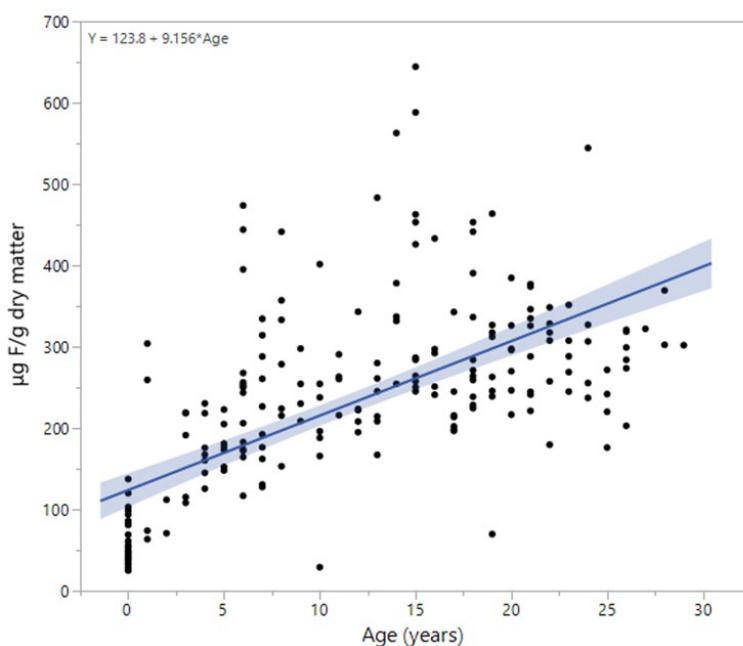
	Folöld (n)	1-4 v. gömul (n)	5-12 v. gömul (n)	13-20 v. gömul (n)	21 v. og eldri (n)
Hæsti styrkur flúors	224	304	812	1192	1583
Meðalstyrkur flúors	60 ± 5 (42)	164 ± 16 (18)	247 ± 15 (59)	334 ± 23 (62)	357 ± 32 (42)

Áhrif aldurs á styrk flúors

Línuleg aðhvarfsgreining var gerð fyrir flúorstyrk og aldur hrossa og sást tölfræðilega marktækt jákvætt samband milli aldurs og flúors í beinum ($P < 0.0001$, $r^2 = 0.268$). Á mynd 6 sést að fjögur hross skáru sig talsvert úr (útlagar), þar sem sýnin úr þeim mældust yfir 800 ppm F. Ákveðið var að gera greininguna einnig án þess að taka þessi fjögur hross með og sést sú greining á mynd 7. Aðhvarfsgreiningin sýndi að þegar útlagarnir fjórir höfðu verið teknir út var enn marktækt jákvætt samband milli aldurs og flúors í beinum ($P < 0.0001$, $r^2 = 0.413$) og var fylgnistuðullinn heldur hærri en áður.

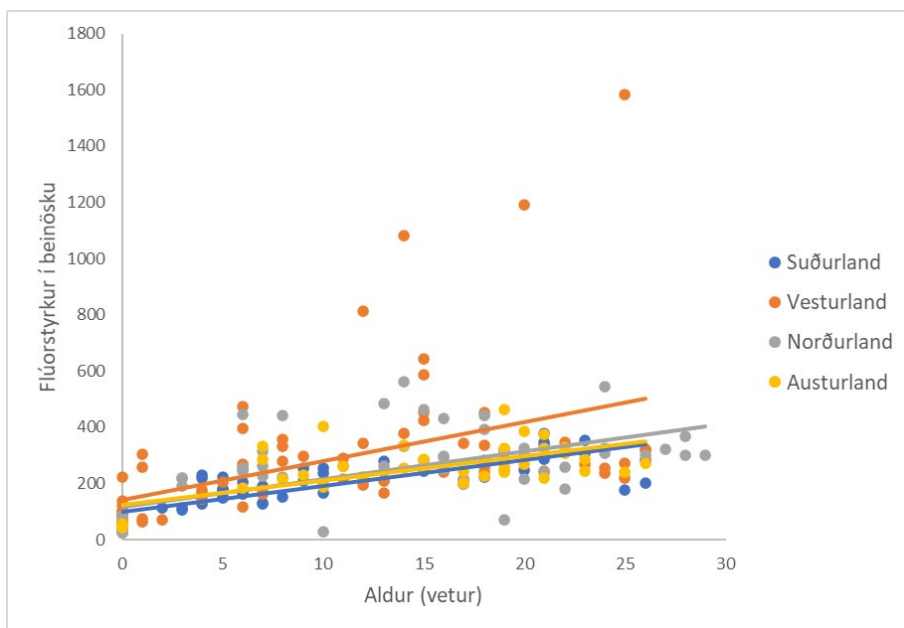


Mynd 6 Línuleg aðhvarfsgreining á sambandi flúorstyrks ($\mu\text{g F/g}$ þurrefnis, ppm) í beinum hrossa og aldurs (age) hrossanna í vetrum, eða árum (years). Myndin sýnir greininguna á öllum sýnum. Aðhvarfslíkanið er efst í vinstra horni myndarinnar.

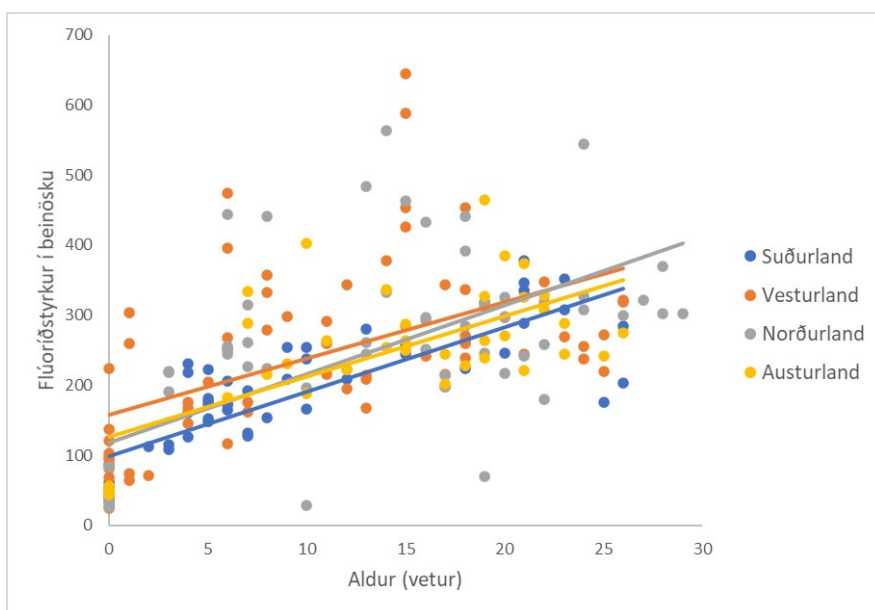


Mynd 7 Línuleg aðhvarfsgreining á sambandi flúorstyrks ($\mu\text{g F/g}$ þurrefnis, ppm) í beinum hrossa og aldurs (age) hrossanna í vetrum, eða árum (years) þegar fjórir útlagar með gildi yfir 800 ppm hafa verið fjarlægðir. Aðhvarfslíkanið er efst í vinstra horni myndarinnar.

Gerð var greining fyrir hvert og eitt landsvæði á fylgni milli aldurs og flúorstyrks, með og án útlaganna fjögurra eins og áður segir (myndir 8 og 9). Á öllum landsvæðum var sem fyrr marktækt jákvætt samband milli aldurs og flúorstyrks ($P < 0.0001$). Hæsti fylgnistuðullinn var fyrir hópinn frá Suðurlandi ($r^2 = 0.675$), þarnaest voru Austurland ($r^2 = 0.449$) og Norðurland ($r^2 = 0.404$). Lægsti fylgnistuðullinn fékkst á Vesturlandi ($r^2 = 0.201$) en hann hækkaði örlítið þegar útlagar voru teknir út ($r^2 = 0.288$), en þeir voru allir frá Vesturlandi.



Mynd 8 Línuleg aðhvarfsgreining á sambandi flúorstyrks (ppm) í beinum hrossa og aldurs hrossanna, skipt eftir fjórum landsvæðum. Myndin sýnir greininguna á öllum sýnum.

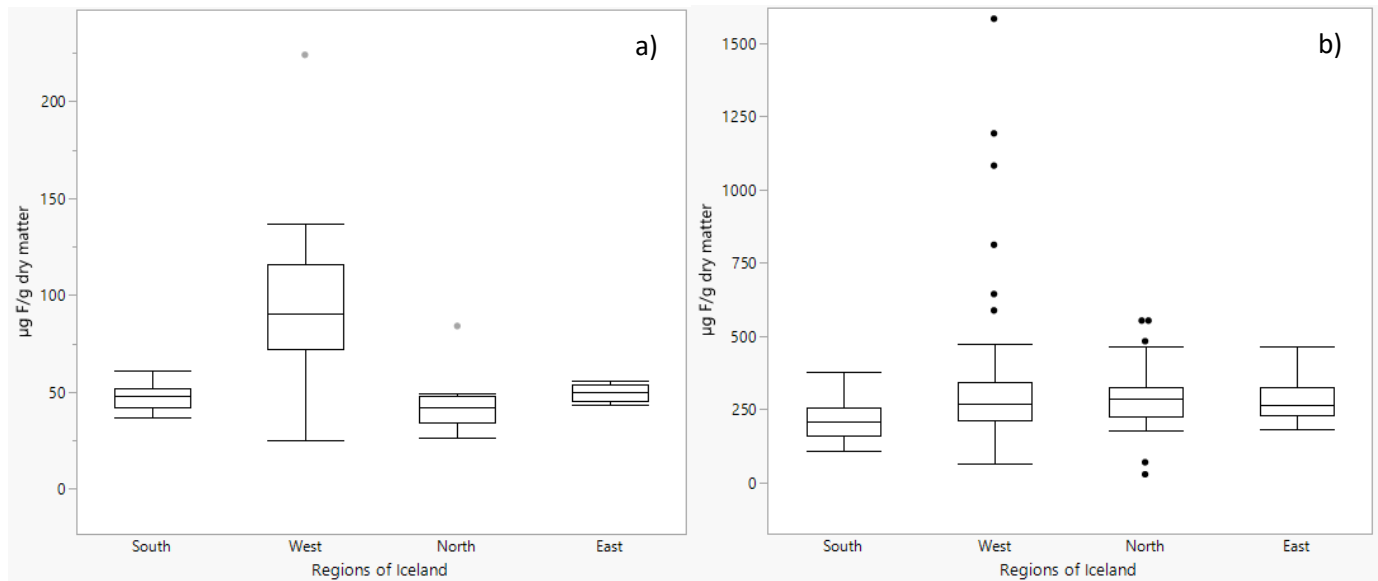


Mynd 9 Línuleg aðhvarfsgreining á sambandi flúorstyrks (ppm) í beinum hrossa og aldurs hrossanna, skipt eftir fjórum landsvæðum eftir að fjórir útlagar með gildi yfir 800 ppm verið fjarlægðir.

Áhrif uppruna á styrk flúors

Dreifigreining var gerð til að kanna muninn á flúorstyrk milli landsvæða. Folaldahópurinn var greindur fyrst og var marktækur munur milli landsvæða. Sýndi Tukey-próf að sá munur orsakaðist af því að folöld frá Vesturlandi greindust með hærri styrk flúors en folöld frá hinum landsvæðunum ($P < 0.0001$, mynd 10a), því ekki greindist munur milli hinna landsvæðanna.

Dreifigreining var einnig gerð á hrossum veturgömlum og eldri, sem sýndi marktækan mun milli landsvæða ($P = 0.0046$, mynd 10b). Tukey-próf sýndi að einungis var marktækur munur á flúorstyrk í hrossum milli Vesturlands og Suðurlands ($P = 0.002$) en ekki var munur á hinum svæðunum.



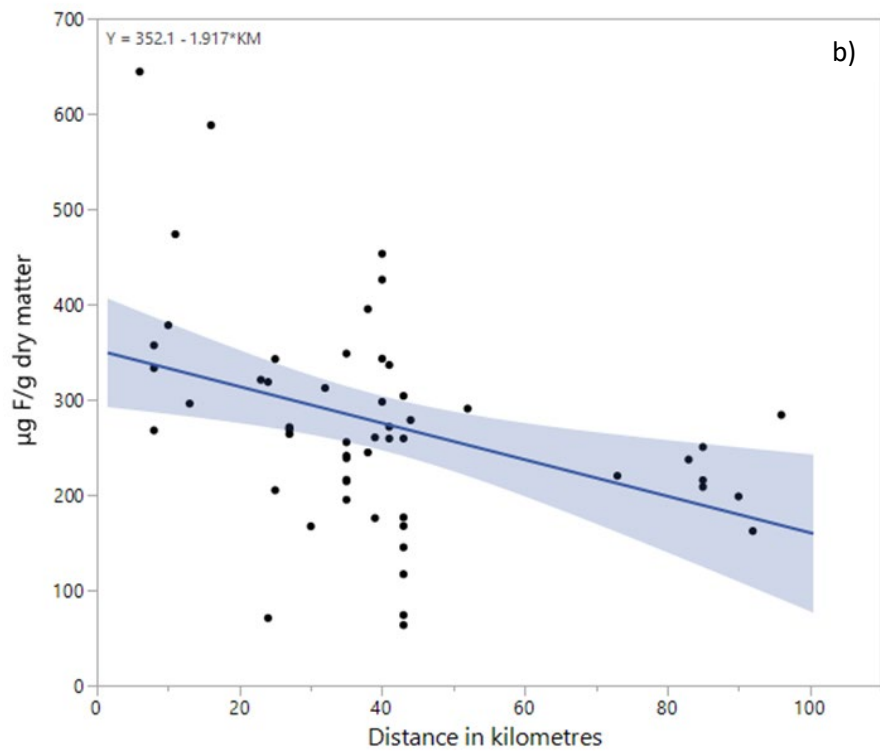
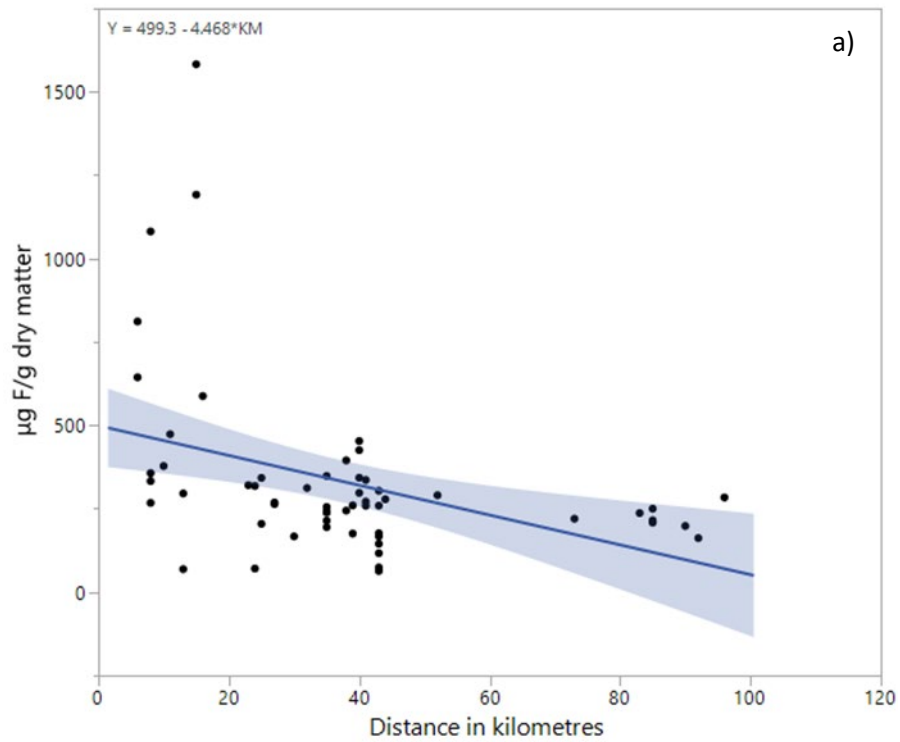
Mynd 10 Styrkur flúors ($\mu\text{g F/g þurrefnis}$) í beinum hrossa eftir uppruna á landinu sett upp í kassarit í a) folöldum og b) veturgömlum hrossum og eldri. Punktur sýna þau gildi sem falla fyrir utan hæstu og lægstu gildi, sýnd með skeggi upp og niður af kössunum.

Flúorstyrkur í hrossum á Vesturlandi

Ástæða þótti til að kanna hvort rekja mætti hærri gildi á Vesturlandi til mengunar frá iðnaðarsvæðinu á Grundartanga. Aðhvarfsgreining var gerð fyrir flúorstyrk í hrossum á Vesturlandi og uppruna þeirra, í fjarlægð frá Grundartanga í kílómetrum (mynd 11a). Folöld voru undanskilin aðhvarfsgreiningunni. Marktæk neikvæð fylgni fannst milli flúorstyrks og fjarlægðar frá Grundartanga ($P = 0.001$, $r_2 = 0.17$). Aðhvarfsgreiningin var einnig gerð eftir að útlagarnir fjórir yfir 800 ppm F voru teknir út, til þess að kanna hvort þeir skekktu fylgnina. Marktæk fylgni var enn til staðar, þó hún væri veikari ($P = 0.042$, $r_2 = 0.14$, mynd 11b).

Einnig var hrossum veturgömlum og eldri á Vesturlandi, skipt upp í upprunahópa eftir fjarlægð frá Grundartanga þannig að hópur eitt var upprunninn innan 30 km frá Grundartanga ($n = 20$), hópur tvö var upprunninn milli 31 og 60 km frá Grundartanga ($n = 31$) og hópur þrjú var upprunninn 61 km eða fjær frá Grundartanga ($n=8$). Dreifigreining sýndi marktækan mun milli hópanna ($P = 0.0011$) og Tukey-próf sýndi að flúorstyrkur í hópi eitt var marktækt hærri en í hópi tvö ($P = 0.0017$) og hópi þrjú.

($P = 0.0162$). Ekki var marktækur munur milli hópa tvö og þrjú. Þegar útlagarnir fjórir voru teknir út og hóparnir bornir saman, fannst enn marktækur munur milli hópanna ($P = 0.021$).



Mynd 11 Aðhvarfsgreining á flúorstyrk og uppruna hrossa á Vesturlandi, veturgamalla og eldri. Myndirnar sýna a) öll hross í aldurshópnum og b) hross í aldurshópnum að frátöldum fjórum útlögum með gildi yfir 800 ppm. Aðhvarfslíkön eru efst í vinstri hornum myndanna.

Umræður

Niðurstöður þessarar rannsóknar eru fyrstar sinnar tegundar, og sýna fram á lágan flúorstyrk í beinum íslenskra hrossa, en jafnframt að söfnun flúors í hrossabein er háð aldurs- og landsvæðabundnum áhrifum. Mikilvægt var fyrir rannsóknina að úrtakið endurspeglaði aldurs- og landsvæðadreifingu hrossa á landinu. Erfitt reyndist að afla sýna í ákveðnum aldurshópum á Austurlandi og engin hross komu til slátrunar frá Vestfjörðum. Vitað var við upphaf rannsóknarinnar að hross á aldrinum 1-4 vetra koma sjaldan í sláturhús og einnig verður að hafa í huga að hrossum er misdreift á landinu. Samkvæmt skráningum á Hagstofu Íslands eru flest hross á Suðurlandi (28.086) og Norðurlandi (23.718). Færri hross finnast á Vesturlandi (9582), Austurlandi (2698) og Vestfjörðum (770). Þegar þetta er haft í huga, er hlutfall sýna af heildarfjölda hrossa á landsvæðunum fullnægjandi, fyrir utan Suðurland og Vestfirði. Þá þarf einnig að hafa í huga að vegna þess hversu treglega flúor safnast upp í hrossum er fátt sem bendir til þess að fleiri sýni hefðu breytt niðurstöðunni, enda ekki mikill breytileiki í flúorstyrk á öðrum svæðum en Vesturlandi.

Hrossin í rannsókninni voru ekki skoðuð sérstaklega með tilliti til breytinga á tönnum eða beinum, enda var klínísk skoðun ekki meðal markmiða rannsóknarinnar. Áberandi flúorbreytingar á framtönnum hefðu sést við sýnatökuna í sláturhúsi, en ákveðið var að ekki skyldi gera formlega skoðun á öllum tanngarðinum. Fullnægjandi skoðun á tönnum hrossa er krefjandi, bæði tímafrek og útheimtir góða þekkingu á myndun tannanna og þroska. Hvað varðar skoðun á beinum er algengast að langvarandi flúoreitrun sýni sig sem beingaddur á leggbeinum og fótabeinum fram- og afturfóta, og slíkar breytingar væru greinilegar við úrbeiningu skrokkanna. Hrossin voru enda öll metin heilbrigð og hæf til slátrunar af eftirlitsdýralæknum. Hinn lági styrkur flúors í hrossunum gefur heldur ekki ástæðu til þess að ætla að meinafræðilegar breytingar hafi verið til staðar.

Hinn lági meðalflúorstyrkur flúors, 244 ppm F að öllum hrossum meðtöldum og 286 ppm F þegar folöld eru undanskilin, reyndist lægri en í þeim fáu rannsóknnum sem áður hafa verið gerðar á afmörkuðum hópum hrossa (345 ppm (Páll A. Pálsson, 1995) og 503 ppm (Sigurður Sigurðarson og Jakob Kristinsson, 2016). Þrjú hross mældust með gildi milli 1.000 og 2.000 ppm, en engin mæld gildi voru yfir 2.000 ppm og því ekki við því að búast að meinafræðilegar breytingar hefðu verið á tönnum eða beinum þessara hrossa, miðað við þau gildi sem notuð eru fyrir grasbíta (Vikøren og Stuve, 1996). Hæsta gildi flúors sem mældist (1.583 ppm F í 25 vetra hrossi) var þó hærra en hæsti styrkur í fyrri rannsóknnum á beinum íslenskra hrossa (926 ppm F (Ólöf G. Sigurðardóttir og Sigríður Björnsdóttir, 2011b) og 1.070 ppm F (Sigurður Sigurðarson og Jakob Kristinsson, 2016). Óvenjulega lág gildi mældust í tveimur fullorðnum hrossum af Norðurlandi, 29 ppm F í 10 vetra geldingi og 70 ppm F í 19 vetra geldingi. Þessi gildi eru á við gildi sem mældust í folöldum og eru þannig óvenjulega lág miðað við þau gildi sem annars mældust í fullorðnum hrossum á svæðinu. Hæsti styrkur flúors hjá folaldi mældist 224 ppm, sem er á við meðaltalið í öllum sýnum í rannsókninni og bendir til mikils umhverfisálags af flúor. Hæstu gildi í öllum aldurshópunum fimm mældust í hrossum af Vesturlandi, sem bendir til þess að meira umhverfisálag sé að finna innan svæðisins en hinna landsvæðanna.

Niðurstöðurnar sýna mun milli landsvæða, þó sá munur sé einungis marktækur milli Suðurlands og Vesturlands þegar hross veturgömul og eldri voru skoðuð. Var meðalstyrkur á Suðurlandi lægstur (226 ppm) en hann var hæstur á Vesturlandi (336 ppm). Meðalstyrkur í folöldum var einnig hæstur á Vesturlandi, marktækt hærra en á hinum landsvæðunum, en á þeim var ekki marktækur munur innbyrðis. Áhugavert var þó að bæði hæstu og lægstu stöku gildi fundust í folöldum á Vesturlandi, sem

bendir til breytilegs umhverfisálags innan svæðisins sem ekki kom fram á hinum svæðunum. Flúorstyrkur var hærri í hrossum á Vesturlandi því nær Grundartanga sem þau höfðu alið sinn aldur. Þetta var marktæk fylgni hvort sem útlagarnir fjórir voru teknir með í greiningunni eða ekki. Áhrif þessara fjögurra hrossa var því ekki sú að valda fylgninni heldur auka marktækni og hallatölu hennar. Ekki er hægt að álykta mikið um þessi fjögur hross en þau voru á aldrinum 12-25 vetra gömul (fædd á árunum 1993-2006) og eru þessi gildi því ekki há jafnvel þó miðað sé við hæstu gildi í sauðfé undir 12 vetra aldri (Eva Yngvadóttir o.fl., 2017). Þau eru þó mun hærri en meðaltalið í þessari rannsókn og ber það vott um að þau hafi orðið fyrir meira flúorálagi en önnur hross í úrtakinu. Uppruni þeirra var á þremur bæjum í 5-12 km fjarlægð í VSV og NV átt frá Grundartanga, og eru þau í takt við þann mikla breytileika í flúorstyrk sem mældist á Vesturlandi.

Á Suðurlandi er meðalstyrkur flúors í tryppum og fullorðnum hrossum lægri en á öðrum landsvæðum, en þetta hefur einnig sést hjá fullorðnu sauðfé þar sem mældist næstlægsti meðalstyrkur flúors á Suðurlandi af landsvæðunum (475 ppm, Charlotta Oddsdóttir o.fl., 2016). Jafnvel þegar skoðaður er aldurshópur 5-12 vetra hrossa á Suðurlandi, sem voru á móttækilegu þroskastigi gagnvart flúor þegar gaus á svæðinu árin 2010 og 2011, er styrkurinn lægri en í sama aldurshópi frá hinum landsvæðunum. Þessi munur er þó einungis marktækur þegar kemur að samanburðinum við jafnaldra frá Vesturlandi. Vitað er að agnir í eldfjallaösku geta borist í háloftunum dögum saman (Durant o.fl., 2010) og gætu þannig fallið hvar sem er á landinu (Sigurður Reynir Gíslason o.fl., 2011a). Greining á efnainnihaldi öskunnar frá Eyjafjallajökli 2010 sýndi að styrkur flúors var yfir hættumörkum í ösku sem féll á Suðurlandi við upphaf gossins (Sigurður Reynir Gíslason o.fl., 2011b) en styrkurinn var þó einungis um þriðjungur þess sem yfirleitt mælist frá Heklu (Níels Óskarsson, 2010), auk þess sem rigning gerði mikið til þess að skola burt flúor á yfirborði plantna (Guðni Þorvaldsson o.fl., 2011). Út frá niðurstöðum rannsóknarinnar má því álykta að hrossin á Suðurlandi hafi ekki orðið fyrir umhverfisáhrifum flúors á þessu árabili, þó gosið hafi á svæðinu.

Þessar niðurstöður á flúorsöfnun í íslenskum hrossum renna stoðum undir að sauðfé sé hentugasta vísitægið til vöktunar á umhverfisáhrifum frá álverum. Sauðfé safnar auðveldlega í sig flúor og er á beit víða um land yfir sumarið. Þau gögn um flúorstyrk í sauðfé sem liggja fyrir úr umhverfisvöktun við álverin þyrfti að greina á sama hátt og gert hefur verið í þessari rannsókn, ef þau henta til slíkrar greiningar. Greining sem þessi gæti gefið nýtsamar upplýsingar um aldurs- og svæðisbundin áhrif á flúorsöfnun í íslensku sauðfé.

Ályktanir

- Meðalstyrkur flúors í kjálkabeinum 223 hrossa á aldrinum 0-29 vetra var lágur, 244 ppm. Lægsti meðalstyrkurinn var hjá folöldum (42 folöld) en sá hæsti var í hópi hrossa 21 vetra gömlum og eldri en í þeim hópi voru 42 hross.
- Styrkur flúors hækkaði með hækkandi aldri, en hækkaði þó hraðast fram til u.þ.b. 15 vetra aldurs.
- Hæsti meðalstyrkur flúors mældist í hrossum frá Vesturlandi, en einnig sáust þar hæstu stöku gildi í öllum aldurshópum.
- Mikill breytileiki í flúorstyrk í hrossum frá Vesturlandi bendir til flúorálags í umhverfinu. Þó voru hæstu gildi á Vesturlandi undir viðmiðunargildum hvað varðar hættu á meinafræðilegum breytingum.
- Á Vesturlandi var marktæk neikvæð fylgni milli flúorstyrks og fjarlægðar uppruna hrossanna frá Grundartanga.
- Sauðfé er hentugasta vísitægund búfjár til vöktunar á umhverfisáhrifum flúors í náttúru Íslands.

Þakkarorð

Stjórnendum og starfsfólki sláturhúsa er þakkað fyrir góð samskipti og lipra aðstoð við sýnatökur. Hrossaeigendum eru þakkaðar veittar upplýsingar um uppruna og sögu hrossanna. Öllum við Landbúnaðarháskóla Íslands og Nýsköpunarmiðstöð Íslands sem komu að framkvæmd verkefnisins er sömuleiðis þakkað.

Heimildir

- Anna Margrét Kornelíusdóttir (2010). *Flokkun vatnsbóla með tilliti til efnafræðilegra eiginleika og fjarlægðar frá sjó*. Háskólinn á Akureyri. Sótt af https://skemman.is/bitstream/1946/5774/1/LOK_amk.pdf.
- Araya, O., Wittwer, F. og Villa A. E. (1993). Evolution of fluoride concentration in cattle and grass following a volcanic eruption. *Veterinary and human toxicology*, 35(5), 437-440.
- Baunthiyal, M. og Ranghar, S. (2014). Physiological and biochemical responses of plants under fluoride stress: an overview. *Fluoride*, 47(4), 287-293.
- Buzalaf, M. A. R. og Whitford, G. M. (2011). Fluoride metabolism. *Monographs in Oral Science*, 20–36.
- Chandrasekhar, V., Chandrasekharam, D., Trupti, G. og Singh, H. K. (2015). Fluoride in geothermal Waters, India. *GRC Transactions*, 39, 447-450.
- Charlotta Oddsdóttir, Guðni Þorvaldsson og Grétar Hrafn Harðarson (2016). Flúor í heysýnum og beinum sauðfjár og hrossa. Rit Landbúnaðarháskóla Íslands nr. 65. Óbirt skýrsla.
- Choubisa, S. L. og Choubisa, D. (2016). Status of industrial fluoride pollution and its diverse adverse health effects in man and domestic animals in India. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(8), 7244–7254.
- Costeas, A., Woodard, H. Q. og Laughlin, J. S. (1971). Comparative Kinetics of Calcium and Fluoride in Rabbit Bone. *Radiation Research*, 46(2), 317.
- Dean, H. T., Arnold, F. A., Jay, P. og Knutson, J. W. (1956). Effect of fluoridated public water supplies on dental caries prevalence. *Public Health Reports*, 71(7), 652-658.
- Durant, A. J., Bonadonna, C. og Horwell, C. J. (2010). Atmospheric and environmental impacts of volcanic particulates. *Elements*, 6(4), 235–240.
- Edmunds, W. M. og Smedley, P. L. (1996). *Groundwater geochemistry and health: an overview*. Geological Society, London, Special Publications, 113(1), 91–105.
- Elín Guðmundsdóttir, Erlín Emma Jóhannsdóttir, Guðrún Óskarsdóttir, Helga Dögg Flosadóttir, Hermann Þórðarson og Kristín Ágústsdóttir (2019). *Alcoa Fjarðaál: Umhverfissvöktun 2018*. Náttúrustofa Austurlands.
- Eva Yngvadóttir, Friðrik K. Gunnarsson, Hlöðver Stefán Þorgeirsson og Snævarr Örn Georgsson (2017). *Umhverfissvöktun iðnaðarsvæðisins á Grundartanga: Niðurstöður ársins 2016*. Efla verkfræðistofa.
- Farley, J. R., Wergedal, J. E. og Baylink, D. J. (1983). Fluoride directly stimulates proliferation and alkaline phosphatase activity of bone-forming cells. *Science*, 222(4621), 330–332.
- Gregory, N. G. og Neall, V. E. (1996). Volcanic hazards for livestock. *Outlook on Agriculture*, 25(2), 123–129.
- Gritsan, N. P., Miller, G. W. og Schumatkov, G. G. (1995). Correlation among heavy metals and fluoride in soil, air and plants in relation to environmental damage. *Fluoride*, 28(4), 180-188.
- Grynepas, M. D. (1990). Fluoride effects on bone crystals. *Journal of Bone and Mineral Research*, 5(1), 169-175.
- Guðmundur Georgsson og Guðmundur Pétursson (1972). Fluorosis of sheep caused by Hekla eruption in 1970. *Fluoride*, 5(2), 58-66.

- Guðmundur Georgsson, Guðmundur Pétursson og Páll Agnar Pálsson (1981). Flúoreitrun í búfé. *Ráðunautafundur*, 4(2), 178-187.
- Guðmundur Pétursson, Páll Agnar Pálsson og Guðmundur Georgsson (1984). Um eituráhrif af völdum Skaftárelda. *Skaftáreldar 1783-1784*, 81-96. Mál og Menning, Reykjavík.
- Guðni Þorvaldsson, Rannveig Guicharnaud og Margrét Ingjaldsdóttir (2011). Flúor í gróðri á öskufallssvæðum sumarið 2010. *Fræðaping landbúnaðarins 2011*, 346-348.
- Helena Marta Stefánsdóttir (2016). *Rannsóknir á flúor í náttúru Íslands – samantekt heimilda*. Rit Landbúnaðarháskóla Íslands nr. 66. Sótt af http://www.lbhi.is/sites/lbhi.is/files/gogn/vidhengi/thjonusta/utgefing_efni/RitLbhi/rit_lbhi_nr_66.pdf.
- Jakob Kristinsson, Eggert Gunnarsson, Þorkell Jóhannesson, Páll A. Pálsson og Hörður Þormar (1997). Experimental fluoride poisoning in Icelandic sheep. *Búvísindi*, 11, 107-112.
- Kierdorf, U., Kierdorf, H., Erdelen, M og Machoy, Z. (1995). Mandibular bone fluoride accumulation in wild red deer (*Cervus elaphus* L.) of known age. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 110A(4), 299-302.
- Kierdorf, H., Kierdorf, U., Sedlacek, F. og Erdelen, M. (1996). Mandibular bone fluoride levels and occurrence of fluoride induced dental lesions in populations of wild red deer (*Cervus elaphus*) from central Europe. *Environmental Pollution*, 93(1), 75-81.
- Kierdorf, H., Kierdorf, U. og Sedlacek, F. (1999). Monitoring regional fluoride pollution in the Saxonian Ore mountains (Germany) using the biomarker dental fluorosis in roe deer (*Capreolus capreolus* L.). *Science of the Total Environment*, 232(3), 159-168.
- Koulourides, T., Keller, S. E., Manson-Hing, L. og Lilley, V. (1980). Enhancement of fluoride effectiveness by experimental cariogenic priming of human enamel. *Caries Research*, 14(1), 32-39.
- Livesey, C. og Payne, J. (2011). Diagnosis and investigation of fluorosis in livestock and horses. *In practice* 33(9), 454-461.
- Lowder, M. Q. og Mueller, P. O. E. (1998). Dental embryology, anatomy, development, and aging. *Veterinary clinics of North America: Equine Practice*, 14(2), 227-245.
- McDonald, P., Edwards, R. A., Greenhalgh, J. F. D. og Morgan, C. A. (2002). *Animal nutrition* (6. útgáfa). Edinburgh: Pearson.
- Medical Research Council. (2002). *Working group report: Water fluoridation and health*. Medical Research Council.
- Messer, H. H. og Ophaug, R. (1991). Effect of delayed gastric emptying on fluoride absorption in the rat. *Biological Trace Element Research*, 31(3), 305-315.
- Messer, H. H. og Ophaug, R. H. (1993). Influence of gastric acidity on fluoride absorption in rats. *Journal of Dental Research*, 72(3), 619-622.
- Miller, G. W., Shupe, J. L. og Vedina, O. T. (1999). Accumulation of fluoride in plants exposed to geothermal and industrial water. *Fluoride*, 32(2), 74-83.
- Níels Óskarsson (2010, mars). Mæling á flúor í ösku frá Eyjafjallajökli. Sótt af <https://www.mast.is/is/um-mast/frettir/frettir/maeling-a-fluor-i-osku-fra-eyjafjallajokli>.

- Ólöf G. Sigurðardóttir og Sigríður Björnsdóttir (2011a). *Rannsóknir á þremur hrossum frá Kúludalsá*. Tilraunastöð HÍ á Keldum & Matvælastofnun. Sótt af <https://www.mast.is/static/files/Uploads/document/Skyrslur/SkyrslaRannsokna3hrossumKuludala.pdf>.
- Ólöf G. Sigurðardóttir og Sigríður Björnsdóttir (2011b). Flúor í kjálkabeinum hrossa [rannsóknarniðurstöður]. Nýsköpunarmiðstöð Íslands. Sótt af <https://www.mast.is/static/files/Uploads/document/Skyrslur/FluornidurstodurNyskopunarmidstod%20mars2012.pdf>.
- Parkins, F. M. (1971). Active F- transport: Species and age effects with rodent intestine, in vitro. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Biomembranes*, 241(2), 507–512.
- Páll Agnar Pálsson (1995). Flúormengun og álver: Flúormagn í dýrabeinum í grennd við álverið í Straumsvík árin 1967-1991. *Búnaðarrit*, 1, 245-258.
- Perumal, E., Paul, V., Govindarajan, V. og Panneerselvam, L. (2013). A brief review on experimental fluorosis. *Toxicology Letters*, 223(2), 236-251.
- Radostits, O. M., Gay, C. C., Hinchcliff, K. W. og Constable, P. D. (2007). *Veterinary medicine: A textbook of the diseases of cattle, sheep, pigs, goats and horses* (10. útgáfa). London: WB Saunders Company Ltd.
- Ranjan, R. og Ranjan, A. (2015). *Fluoride toxicity in animals*. New York: Springer.
- Shupe, J. L., Miner, M. L & Greenwood, D. A. (1963). Clinical and pathological aspects of fluorine toxicosis in cattle. *Utah Agricultural Experiment Station Journal Paper*, 360.
- Sigurður Reynir Gíslason, S. R., Alfredsson, H. A., Eiríksdóttir, E. S., Hassenkam, T. og Stipp, S. L. S. (2011a). Volcanic ash from the 2010 Eyjafjallajökull eruption. *Applied Geochemistry*, 26, 188-190.
- Sigurður Reynir Gíslason, Hassenkam, T., Nedel, S., Bovet, N., Eiríksdóttir, E. S., Alfredsson, H. A. og Stipp, S. L. S. (2011b). Characterization of Eyjafjallajökull volcanic ash particles and a protocol for rapid risk assessment. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(18), 7307–7312.
- Sigurður Sigurðarson og Jakob Kristinsson (2016). *Veikindi hrossa á Kúludalsá: Áfangaskýrsla*. Atvinnuvega- og nýsköpunarráðuneytið. Sótt af <https://www.stjornarradid.is/media/atvinnuvegaraduneyti-media/media/Acrobat/Kuludalsarhross-skyrsla-SS-JK.pdf>.
- Sturla Friðriksson (1983). Fluoride problems following volcanic eruptions. Í: *Fluorides. Effects on Vegetation, Animals and Humans. Proceedings of an International Symposium on fluorides at Utah State University, Logan, Utah, USA, May 24–27 1982*. Paragon Press Inc., Salt Lake City, Utah: 339–344.
- Suttle, N. F. (2010). *Mineral nutrition of livestock* (4. útgáfa). Cambridge MA: CABI Publishing.
- Swarup, D. og Dwivedi, S. K. (2002). Environmental pollution and effects of lead and fluoride on animal health. New Dehli: I.C.A.R.
- 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, and Soil Pollution*, 160, 145-159.
- Vikøren, T. og Stuve, G. (1996). Fluoride exposure in cervids inhabiting areas adjacent to aluminium smelters in Norway. II. Fluorosis. *Journal of Wildlife Diseases*, 32(2), 181-189.
- Walkley, C. R., Shea, J. M., Sims, N. A., Purton, L. E. og Orkin, S. H. (2007). Rb regulates interactions between hematopoietic stem cells and their bone marrow microenvironment. *Cell*, 129(6), 1081-1095.

- Weatherell, J. A., Deutsch, D., Robinson, C. og Hallsworth, A. S. (1977). Assimilation of fluoride by enamel throughout the life of the tooth. *Caries Research*, 11(1), 85–115.
- Weinstein, L. H. og Davison, A. W. (2004). *Fluorides in the environment: Effects on plants and animals*. Wallingford, Oxfordshire: CABI.
- Whitford, G. M. (1989). *The Metabolism and Toxicity of Fluoride*. Basel: Karger.
- Whitford, G. M. (1994). Intake and metabolism of fluoride. *Advances in Dental Research*, 8(1), 5-14.
- Whitford, G. M., Bawden, J.W., Bowen, W.H., Brown, L.J., Ciardi, J.E., Clarkson, T.W..... og Zero, D.T. (1994). Report for Working Group I: Strategies for improving the assessment of fluoride accumulation in body fluids and tissues. *Advances in Dental Research*, 8(1), 113-115.
- WHO. (1984). *Fluorine and fluorides. Environmental health criteria 36*. World Health Organization, Geneva.
- WHO. (2002). *Fluorides. Environmental health criteria 227*. World Health Organization, Geneva.
- Yan, Q., Zhang, Y., Li, W., og DenBesten, P. K. (2007). Micromolar Fluoride Alters Ameloblast Lineage Cells in vitro. *Journal of Dental Research*, 86(4), 336–340).

Viðauki

Niðurstöður mælinga á flúorefnainnihaldi í kjálkabeinum 223 íslenskra hrossa

*Aldurshópar eru fimm: Folöld (1), 1-4 vetra gömul (2), 5-12 vetra gömul (3), 13-20 vetra gömul (4) og 21 vetra gömul og eldri (5).

**Kyn hrossanna: hryssur (kvk) og hestar (kk). Kyn var ekki skráð fyrir folöld

Landsvæði	Aldurshópur *	Aldur í vetrum	Flúorstyrkur (ppm)	Kyn**
Suðurland	1	0	37	
Suðurland	1	0	40	
Suðurland	1	0	43	
Suðurland	1	0	48	
Suðurland	1	0	48	
Suðurland	1	0	48	
Suðurland	1	0	48	
Suðurland	1	0	51	
Suðurland	1	0	54	
Suðurland	1	0	61	
Suðurland	2	3	108	kk
Suðurland	2	2	112	kk
Suðurland	2	3	115	kvk
Suðurland	2	4	126	kvk
Suðurland	3	7	128	kvk
Suðurland	3	7	131	kk
Suðurland	3	5	148	kk
Suðurland	3	5	152	kvk
Suðurland	3	8	153	kk
Suðurland	2	4	160	kk
Suðurland	3	6	164	kk
Suðurland	3	10	166	kk
Suðurland	3	6	172	kk
Suðurland	3	5	173	kk
Suðurland	3	6	174	kk
Suðurland	5	25	176	kk
Suðurland	3	5	177	kk
Suðurland	3	5	181	kvk
Suðurland	3	7	192	kvk
Suðurland	5	26	203	kvk
Suðurland	3	6	206	kk
Suðurland	3	12	208	kk
Suðurland	3	9	209	kk

Landsvæði	Aldurshópur *	Aldur í vetrum	Flúorstyrkur (ppm)	Kyn**
Suðurland	2	4	218	kk
Suðurland	3	5	223	kk
Suðurland	4	18	224	kvk
Suðurland	2	4	230	kk
Suðurland	3	10	238	kk
Suðurland	4	15	245	kvk
Suðurland	4	20	246	kk
Suðurland	3	9	254	kvk
Suðurland	3	10	254	kvk
Suðurland	4	15	257	kk
Suðurland	4	13	280	kk
Suðurland	5	26	284	kvk
Suðurland	5	21	288	kvk
Suðurland	5	23	308	kk
Suðurland	4	19	318	kvk
Suðurland	5	21	335	kvk
Suðurland	5	21	346	kvk
Suðurland	5	23	352	kvk
Suðurland	5	21	377	kk
Vesturland	1	0	25	
Vesturland	1	0	45	
Vesturland	2	1	64	kk
Vesturland	1	0	69	
Vesturland	2	2	71	kvk
Vesturland	2	1	74	kk
Vesturland	1	0	81	
Vesturland	1	0	86	
Vesturland	1	0	87	
Vesturland	1	0	94	
Vesturland	1	0	99	
Vesturland	1	0	103	
Vesturland	3	6	117	kk
Vesturland	1	0	120	
Vesturland	1	0	137	
Vesturland	2	4	145	kk
Vesturland	3	7	162	kk
Vesturland	2	4	167	kk
Vesturland	4	13	167	kk
Vesturland	2	4	176	kk
Vesturland	3	7	176	kk
Vesturland	3	12	195	kvk
Vesturland	4	17	198	kk
Vesturland	3	5	205	kvk

Landsvæði	Aldurshópur *	Aldur í vetrum	Flúorstyrkur (ppm)	Kyn**
Vesturland	4	13	208	kvk
Vesturland	4	13	214	kvk
Vesturland	3	11	216	kvk
Vesturland	4	17	216	kk
Vesturland	5	25	220	kvk
Vesturland	1	0	224	kk
Vesturland	5	24	237	kk
Vesturland	4	18	239	kvk
Vesturland	4	16	241	kk
Vesturland	5	21	245	kk
Vesturland	3	6	250	kvk
Vesturland	5	24	255	kk
Vesturland	2	1	259	kk
Vesturland	4	18	259	kk
Vesturland	3	11	260	kk
Vesturland	4	18	264	kvk
Vesturland	3	6	268	kk
Vesturland	5	23	269	kvk
Vesturland	4	18	271	kvk
Vesturland	5	25	272	kk
Vesturland	3	8	279	kk
Vesturland	4	15	284	kk
Vesturland	3	11	291	kk
Vesturland	5	20	296	kk
Vesturland	3	9	298	kk
Vesturland	2	1	304	kk
Vesturland	4	19	312	kvk
Vesturland	5	26	319	kvk
Vesturland	5	26	321	kk
Vesturland	3	8	333	kvk
Vesturland	4	18	336	kvk
Vesturland	3	12	343	kvk
Vesturland	4	17	343	kk
Vesturland	5	22	348	kvk
Vesturland	3	8	357	kk
Vesturland	4	14	378	kk
Vesturland	3	6	395	kk
Vesturland	4	15	426	kk
Vesturland	4	15	453	kvk
Vesturland	4	18	453	kvk
Vesturland	3	6	474	kvk
Vesturland	4	15	588	kk
Vesturland	4	15	644	kk

Landsvæði	Aldurshópur *	Aldur í vetrum	Flúorstyrkur (ppm)	Kyn**
Vesturland	3	12	812	kk
Vesturland	4	14	1082	kvk
Vesturland	4	20	1192	kk
Vesturland	5	25	1583	kvk
Norðurland	1	0	26	
Norðurland	1	0	29	
Norðurland	3	10	29	kk
Norðurland	1	0	33	
Norðurland	1	0	34	
Norðurland	1	0	37	
Norðurland	1	0	38	
Norðurland	1	0	41	
Norðurland	1	0	42	
Norðurland	1	0	42	
Norðurland	1	0	44	
Norðurland	1	0	48	
Norðurland	1	0	48	
Norðurland	1	0	48	
Norðurland	1	0	49	
Norðurland	4	19	70	kk
Norðurland	1	0	84	
Norðurland	5	22	180	kk
Norðurland	2	3	191	kvk
Norðurland	3	10	196	kk
Norðurland	4	17	197	kk
Norðurland	4	17	214	kvk
Norðurland	4	20	217	kvk
Norðurland	2	3	218	kk
Norðurland	2	3	219	kvk
Norðurland	3	12	223	kvk
Norðurland	3	8	224	kvk
Norðurland	3	7	227	kvk
Norðurland	5	21	241	kvk
Norðurland	3	6	244	kvk
Norðurland	4	13	245	kvk
Norðurland	4	19	246	kvk
Norðurland	4	16	251	kvk
Norðurland	3	6	253	kvk
Norðurland	3	6	256	kvk
Norðurland	5	22	258	kk
Norðurland	3	7	261	kvk
Norðurland	4	13	261	kvk
Norðurland	4	18	284	kvk

Landsvæði	Aldurshópur *	Aldur í vetrum	Flúorstyrkur (ppm)	Kyn**
Norðurland	4	16	292	kvk
Norðurland	4	16	297	kvk
Norðurland	4	20	298	kk
Norðurland	5	26	299	kvk
Norðurland	5	28	302	kvk
Norðurland	5	29	302	kvk
Norðurland	5	24	307	kvk
Norðurland	3	7	314	kvk
Norðurland	4	19	317	kvk
Norðurland	5	22	318	kvk
Norðurland	5	27	322	kk
Norðurland	4	20	326	kvk
Norðurland	5	24	327	kvk
Norðurland	4	14	332	kvk
Norðurland	5	28	369	kk
Norðurland	4	18	391	kvk
Norðurland	4	16	433	kvk
Norðurland	3	8	441	kk
Norðurland	4	18	441	kvk
Norðurland	3	6	444	kvk
Norðurland	4	15	463	kvk
Norðurland	4	13	483	kvk
Norðurland	5	24	544	kk
Norðurland	4	14	563	kvk
Austurland	1	0	43	
Austurland	1	0	47	
Austurland	1	0	50	
Austurland	1	0	51	
Austurland	1	0	56	
Austurland	3	6	183	kk
Austurland	3	10	188	kk
Austurland	4	17	202	kk
Austurland	3	8	215	kk
Austurland	5	21	221	kvk
Austurland	3	12	222	kk
Austurland	4	18	228	kk
Austurland	3	9	230	kk
Austurland	4	19	239	kk
Austurland	5	25	242	kvk
Austurland	4	17	245	kk
Austurland	5	23	245	kvk
Austurland	4	15	250	kvk
Austurland	4	14	254	kvk

Landsvæði	Aldurshópur *	Aldur í vetrum	Flúorstyrkur (ppm)	Kyn**
Austurland	3	11	263	kk
Austurland	4	19	263	kvk
Austurland	4	15	264	kk
Austurland	5	20	270	kk
Austurland	5	26	274	kvk
Austurland	4	15	287	kk
Austurland	3	7	288	kk
Austurland	5	23	288	kvk
Austurland	5	22	308	kvk
Austurland	5	21	326	kk
Austurland	4	19	327	kvk
Austurland	5	22	328	kk
Austurland	3	7	334	kk
Austurland	4	14	337	kk
Austurland	5	21	374	kvk
Austurland	4	20	385	kvk
Austurland	3	10	402	kvk
Austurland	4	19	464	kvk