



Þungmálmar og brennisteinn í mosa á Íslandi 1990-2010 Áhrif iðjuvera

Sigurður H. Magnússon

**Unnið fyrir Rio Tinto Alcan á Íslandi hf., Norðurál
ehf., Elkem Ísland ehf. og Alcoa Fjarðaál**



Þungmálmar og brennisteinn í mosa á Íslandi 1990-2010: áhrif iðjuvera

Sigurður H. Magnússon

Unnið fyrir Rio Tinto Alcan á Íslandi hf., Norðurál ehf., Elkem
Ísland ehf. og Alcoa Fjarðaál


NÍ-13003 Garðabær, apríl 2013



NÁTTÚRUFRÆÐISTOFNUN ÍSLANDS

Mynd á kápu: Séð yfir iðnaðarsvæðið á Grundartanga úr hlíðum Akraffalls. Í forgrunni er sýnatökustaður G8. Ljósmynd. Sigurður H. Magnússon, 1. september 2010.

ISSN 1670-0120

	Urriðaholtsstræti 6-8 212 Garðabæ Sími 590 0500 Fax 590 0595 http://www.ni.is ni@ni.is	Borgum við Norðurlóð 602 Akureyri Sími 460 0500 Fax 460 0501 http://www.ni.is nia@ni.is
Skýrsla nr. NI-13003	Dags, Mán, Ár Apríl 2013	Dreifing Opin
Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill Þungmálmur og brennisteinn í mosa á Íslandi 1990-2010: áhrif iðjuvera	Upplag 40	
	Fjöldi síðna 90	
	Kort / Mælikvarði	
	Verknúmer 3158 Málsnúmer 2013040018	
Höfundar Sigurður H. Magnússon		
Unnið fyrir Rio Tinto Alcan á Íslandi hf. í Straumsvík, Norðurál ehf. á Grundartanga, Elkem Ísland ehf. á Grundartanga og Alcoa Fjarðaál Reyðarfirði.		
Samvinnuaðilar Umhverfis- og auðlindaráðuneyti, atvinnuvega- og nýsköpunarráðuneyti, Vegagerðin, Landsvirkjun og Umhverfisstofnun.		
Útdráttur <p>Hér á landi hefur frá árinu 1990 verið fylgst með magni þungmálma í tildurmosa, <i>Hylocomium splendens</i>, á fimm ára fresti. Þessar rannsóknir eru hluti af evrópsku vöktunarverkefni sem m.a. er ætlað að fylgjast með loftborinni mengun. Frá upphafi hefur styrkur Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, V og Zn verið mældur víðs vegar um land og frá 1995 einnig As, Hg og S. Árið 2000 var vöktunin færð út og aukin við álverið í Straumsvík og í Reyðarfirði og árið 2005 einnig á Grundartanga. Meginmarkmið vöktunarinnar er að fylgjast með styrk efnanna hér á landi, lýsa dreifingu þeirra, kanna breytingar sem verða milli ára og meta mengun í nágrenni iðjuveranna.</p> <p>Niðurstöður fyrir tímabilið 1990-2010 sýna að styrkur As hefur hækkað en styrkur S, Cd og Pb hefur lækkað. Styrkur annarra efna hefur verið breytilegur á milli ára (Hg, Cr, Fe, Ni, V, Zn) eða staðið í stað (Cu). Mikill munur er á styrk flestra efna eftir svæðum; yfirleitt lægstur á Vestfjörðum og Norðvesturlandi. Eftir útbreiðslu og uppruna má skipta efnunum í þrjú meginflokkka: a) As, Ni og S sem öll berast frá iðjuverunum og sum að hluta frá eldvirkni og jarðhitasvæðum, b) Cr, Cu, Fe og V sem eiga uppruna að mestu úr áfoki og c) Cd, Pb, Zn og Hg sem berast hingað um langan veg og/eða frá þéttbýlissvæðum hér á landi. Starfsemi iðjuveranna hækkar styrk Pb og Cd staðbundið og líklega einnig styrk Cr, Cu, Fe og V. Við Straumsvík hækkar iðnaðarstarfsemi austan álversins styrk flestra efna, einkum þó Zn og Pb.</p> <p>Út frá mældum styrk voru fundin bakgrunnsgildi og reiknaðir mengunarstuðlar fyrir einstök efni á landinu. Samkvæmt þeim er mengun As og Ni vegna iðjuvera nokkur við verksmiðjurnar í Reyðarfirði og á Grundartanga en veruleg við Straumsvík. Brennisteinsmengun við iðnaðarsvæðin þrjú telst engin eða aðeins vísbending um mengun.</p> <p>Suðaustan við álverið í Straumsvík er styrkur Cr, Cu, Cd og Zn það hár að mengun telst veruleg. Blýmengun er þar enn hærri, eða mjög mikil. Þessi há styrkur er aðallega rakinn til iðnaðarstarfsemi austan við álverið.</p> <p>Við sýnatöku árið 2010 varð vart við skemmdir á mosa á sunnanverðu landinu sem að mestu eru raktar til goss í Eyjafjallajökli fyrr á árinu. Mosaskemmdir við Reyðarfjörð eru hins vegar raktar til mengunar frá álverinu.</p>		
Lykilorð Vöktun, þungmálmur, brennisteinn, álver, járnblendi, ákoma, mengun, bakgrunnsgildi, mengunarstuðull, tildurmosi, <i>Hylocomium splendens</i> .	Yfirfarið MH	

EFNISYFIRLIT

1 INNGANGUR	7
2 RANNSÓKNASVÆÐI	8
3 AÐFERÐIR	9
3.1 Söfnun, hreinsun og efnagreining sýna	9
3.2 Straumsvík	11
3.3 Grundartangi	11
3.4 Reyðarfjörður	12
3.5 Jarðvarmavirkjanir	13
3.6 Skemmdir á mosa	13
4 ÚRVINNSLA	14
4.1 Bakgrunnsgildi	14
4.2 Mengunarstuðull	14
4.3 Kortlagning	14
4.4 Tölfræðileg úrvinnsla og framsetning gagna	15
5 NIÐURSTÖÐUR	15
5.1 Bakgrunnsgildi	15
5.2 Útbreiðsla efna á landsvísu og breytingar með tíma	16
5.3 Áhrif iðjuvera á styrk efna	36
5.3.1 Samband efnastyrks og fjarlægðar frá iðjuverum	36
5.3.2 Styrkur efna í nágrenni iðjuvera og helstu breytingar milli ára	38
5.4 Klasagreining	60
5.5 Mosaskemmdir sumarið 2010	60
6 UMRÆÐA	62
6.1 Arsen, nikkell og brennisteinn	62
6.2 Króm, kopar, járn og vanadín	65
6.3 Kadmín, kvikasilfur, blý og sink	65
6.4 Áhrif eldgosa og iðnaðarmengunar á mosa	66
7 LOKAORÐ	67
7.1 Útbreiðsla efna	67
7.2 Breytingar með tíma	67
7.3 Mengun við iðjuver	68
7.4 Skemmdir á mosa	68
7.5 Ályktanir	68
8 ÞAKKIR	69
9 HEIMILDIR	70
8 VIÐAUKAR	75
1. viðauki. Styrkur þungmálma og brennisteins í mosa.	75
2. viðauki. Ljósmyndir af mosaskemmdum.	87

1 INNGANGUR

Þungmálmar finnast víða í náttúrunni og eru sumir þeirra nauðsynlegir lífverum. Þeir geta hins vegar haft eiturverkanir, jafnvel í mjög lágum styrk (Harmens o.fl. 2008). Í Evrópu má rekja helstu uppsprettur þungmálma til iðnaðar af ýmsu tagi, mannvirkjagerðar, raforku- og varmavera, samgangna, vinnslu og hreinsunar jarðolíu, notkunar fosfóraburðar í landbúnaði o.fl. (Harmens o.fl. 2008).

Mælingar á efnum í mosa hafa um árabil verið notaðar til að fylgjast með loftmengun. Aðferðin var fyrst þróuð í Svíþjóð á sjöunda áratug síðustu aldar (Rühling og Tyler 1968, Tyler 1970) og hefur síðan verið notuð víða um lönd. Mosar eru sérstaklega hentugir til vöktunar á þungmálmamengun, einkum þeir sem mynda breiður. Eins og aðrir mosar eru þeir rótalausir, hafa ekki vel þróað hlífðarlag og taka til sín næringarefni að mestu úr andrúmslofti og úrkomu. Yfirborð blaða er mikið miðað við rúmmál og vefir þeirra hleypa greiðlega inn málmjónum úr úrkomu og frá loftbornum ögnum sem á þá setjast. Þeir hafa greið jónskipti við umhverfið og geta bundið mikið af mengunarefnum (Fernandez o.fl. 2002). Sýnt hefur verið fram á að við vöktun mengunar má nota mosa með góðum árangri til að safna upp efnum sem berast að með ójöfnum eða árstíðabundnum hætti (Gonçalves o.fl. 1994). Slíka toppa er oft erfitt og kostnaðarsamt að fanga og greina með beinum efnamælingum.

Frá árinu 1990 hefur á fimm ára fresti verið fylgst með magni þungmálma í mosa hér á landi. Þessar rannsóknir eru hluti af vöktunarverkefni (ICP Vegetation) sem mörg Evrópuríki taka þátt í og miðar að því að finna uppsprettur mengunar og fylgjast með breytingum sem verða (Harmens o.fl. 2008). Hér á landi hefur tildurmosi, *Hylocomium splendens* (Hedw.) Schimp., verið notaður við vöktunina en hann er breiðumyndandi og myndar afmarkaða árssprota. Tildurmosi hefur reynst hentugur til vöktunar á þungmálmum (Berg og Steinnes 1997). Frá upphafi mælinga árið 1990 hefur styrkur **Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, V** og **Zn** í mosanum verið mældur hér á landi og frá 1995 einnig **As, Hg** og **S**. Gögn eru send í sameiginlegan gagnagrunn sem nú er varðveittur í Englandi. Þar er unnið úr þeim og niðurstöður fyrir Evrópu í heild gefnar út (Rühling o.fl. 1992, Rühling og Steinnes 1998, Harmens o.fl. 2008).

Á undanförunum áratugum hefur stóriðja aukist verulega hér á landi. Reistar hafa verið þrjár álverksmiðjur; í Straumsvík, á Grundartanga og í Reyðarfirði. Á Grundartanga starfar auk þess járnblendiverksmiðja. Framleiðsla verksmiðjanna hefur aukist á síðustu árum og áform eru um að auka við iðnrekstur af þessu tagi. Með aukinni iðnaðarstarfsemi má reikna með að losun loftmengandi efna fari vaxandi. Þekkt er erlendis að loftmengun getur valdið tjóni á gróðri í nágrenni álvera (Vike og Håbjørg 1995, Vike 1999, Real o.fl. 2003, Aboal o.fl. 2008) en meðal mengunarefna frá álverum eru flúor, ál, PAH (e. Polycyclic aromatic hydrocarbons), þungmálmar og brennisteinn (Knutzen 1995, Mankovska og Steinnes 1995, Vike 2005, Sigurður H. Magnússon og Björn Thomas 2007a, Grænt bókhald 2010: Norðurál Grundartangi ehf., Rodriguez o.fl. 2012, Alcan á Íslandi hf. 2011). Hér á landi hafa orðið nokkrar breytingar á gróðri við álverið í Straumsvík sem m.a. hafa verið raktar til mengunar af völdum brennisteinsdíoxíðs en þó sérstaklega til flúormengunar sem var allmikil á fyrstu árum álversins (Hörður Kristinsson 1998).

Niðurstöður mælinga á mosa árin 1990 og 1995 bentu til þess að magn nokkurra þungmálma, einkum As, Pb, Hg og Ni, væri hærra í nágrenni álversins í Straumsvík en víðast annars staðar á landinu (Rühling o.fl. 1992, Rühling og Steinnes 1998). Í ljósi þessa var ákveðið árið 2000 að samhliða söfnun mosa á landsvísu yrði einnig safnað á fleiri stöðum en áður í

nágrenni álversins í Straumsvík (Sigurður H. Magnússon 2002a). Þá var einnig ákveðið að taka nokkur sýni í nágrenni fyrirhugaðs álvers í Reyðarfirði (Sigurður H. Magnússon 2002b). Þessar viðbótarrannsóknir voru hugsaðar sem upphaf vöktunar á þungmálmum á þessum stöðum. Rannsóknirnar voru unnar í samráði við Íslenska álfélagið og Reyðarál sem stóðu straum af viðbótarkostnaði við þær. Árið 2005 voru þessar mælingar endurteknaðar auk þess sem sams konar rannsóknir hófust á Grundartanga í Hvalfirði í samráði við Norðurál og Elkem Ísland. Sumarið 2010 voru vöktunarmælingar endurteknaðar vítt og breitt um landið og einnig á öllum þremur iðnaðarsvæðunum; í Straumsvík, á Grundartanga og í Reyðarfirði.

Meginmarkmið verkefnisins er að nota fyrirbyggjandi gögn um styrk þungmálma og brennisteins í mosa hér á landi til að lýsa dreifingu þeirra á landinu og á iðnaðarsvæðunum þremur, að kanna breytingar með tíma og meta mengun af völdum þessara efna í nágrenni iðjuveranna.

2 RANNSÓKNASVÆÐI

Rannsókn á magni þungmálma í mosa nær til meginhluta landsins en við söfnun var leitast við að fá upplýsingar um styrk efna sem víðast af landinu. Veðurfarslegar aðstæður eru því misjafnar á söfnunarstöðunum, t.d. hvað varðar úrkomu, hita, berggrunn og gróður.

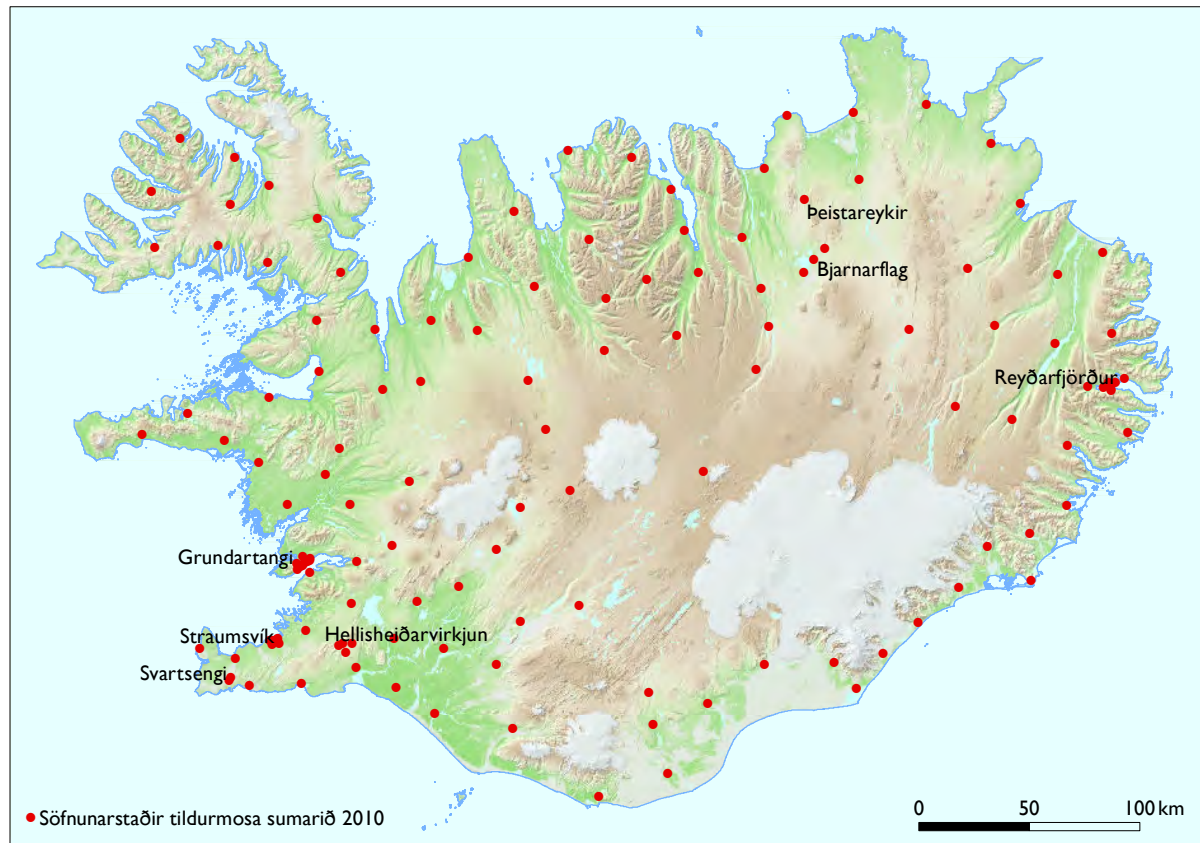
Við iðjuverin í Straumsvík, á Grundartanga og í Reyðarfirði eru veðurfarslegar aðstæður einnig nokkuð misjafnar. Iðjuverin eru öll nálægt sjó og öll neðan 20 m hæðar.

Iðjuverin eru misgömul en elst er álverið í Straumsvík. Framleiðsla áls hófst þar árið 1969 og var hún í byrjun 33.000 tonn. Álverið var síðan stækkað og árið 1980 var framleiðslan komin í um 100.000 tonn. Á árunum 1995-1997 var álverið stækkað enn frekar og var framleiðslugetan aukin í 162.000 tonn (Rio Tinto Alcan). Árið 2010 var framleiðsla verksmiðjunnar í Straumsvík komin í 190.000 tonn (Alcan á Íslandi hf. 2011).

Næst í aldursröðinni er verksmiðja Elkem Ísland (áður Íslenska járnblendifélagið) á Grundartanga en það var gangsett árið 1979. Framleitt var kísiljárn (e. ferrosilicon) FeSi75, sem inniheldur um 76% kísil (Si) og 22% járn (Fe), en afgangurinn er ál (Al), kalsín (kalsíum; Ca) og ýmis snefilefni (Jón Hálfðanarson 2003). Í byrjun voru tveir ofnar í verksmiðjunni og var framleiðslugetan í fyrstu um 60.000 tonn en hún var fljótlega aukin í 72.000 tonn. Þriðji ofninn var svo tekinn í notkun árið 1999 og er framleiðslugeta verksmiðjunnar nú um 120.000 tonn (Elkem Ísland).

Álverið á Grundartanga tók til starfa í júní 1998. Framleiðslugeta þess var í fyrstu 60.000 tonn á ári en árið 2001 var hún aukin í 90.000 tonn. Árið 2006 var hún aukin í 220.000 tonn og í 260.000 tonn ári síðar (Norðurál). Árið 2010 var framleiðslan 276.000 tonn (Grænt bókhald 2011: Norðurál Grundartangi ehf.).

Yngst verksmiðjanna og jafnframt sú stærsta er álver Alcoa Fjarðaáls í Reyðarfirði sem tók til starfa í apríl 2007 en það ár voru framleidd þar 35.000 tonn af áli (Grænt bókhald 2007: Alcoa Fjarðaál sf.). Ári síðar var verksmiðjan komin í fullan rekstur en leyfileg framleiðsla var samkvæmt starfsleyfi 346.000 tonn af áli á ári. Árið 2010 var álframleiðsla um 353.000 tonn en þá hafði framleiðsluleyfið verið aukið í 360.000 tonn á ári (Grænt bókhald 2010: Alcoa Fjarðaál sf.).



1. mynd. Sýnatökustaðir tildurmosa sumarið 2010.

3 AÐFERÐIR

3.1 Söfnun, hreinsun og efnagreining sýna

Sýni af tildurmosa, *Hylocomium splendens*, hafa verið tekin á fimm ára fresti víðs vegar um landið, fyrst árið 1990. Þegar sýnatökustaðir voru valdir var leitast við að fá upplýsingar sem víðast af landinu. Tildurmosi er þó fremur sjaldgæfur á hálendinu, einkum innan gosbeltisins (Flóra Íslands). Af þessum sökum og vegna útbreiðslu jökla eru sýnatökustaðir hlutfallslega fáir á hálendi landsins. Yfir helmingur sýna hefur verið tekinn neðan 100 m hæðar yfir sjó (1. mynd) en ofan við 500 m hefur aðeins verið safnað á fjórum stöðum.

Árið 2000 var ákveðið að afla nánari upplýsinga um styrk efna við álverið í Straumsvík og í nágrenni fyrirhugaðs álvers í Reyðarfirði. Voru þá lögð út sérstök mælismið frá miðju veranna og sýni tekin í mismunandi fjarlægð frá þeim (Sigurður H. Magnússon 2002ab). Árið 2005 var hið sama gert við iðjuverin á Grundartanga (Sigurður H. Magnússon og Björn Thomas 2007b).

Öll árin hefur sýnum verið safnað samkvæmt leiðbeiningum sem gefnar hafa verið út um verkefnið (ICP Vegetation Coordination Centre 2010). Sýnum skal t.d. safnað á opnu landi þar sem áhrifa úrkomu sem fallið hefur af trjám og runnum er lítið. Sýnum hefur verið safnað á tímabilinu frá 25. júní til 6. október.

Á hverjum sýnatökustað voru tekin 5-10 hlutsýni á um 50×50 m svæði og var þeim slegið saman í eitt samsýni (≈2-3 lítrar að rúmmáli). Væri mjög lítið af mosa var safnað á stærra svæði. Sýnin voru sett í plastpoka og geymd uns heim var komið. Fyrstu árin voru sýnatökustaðir merktir á

kort og þeim lýst svo unnt væri að finna þá síðar. Eftir að GPS-tæknin kom til sögunnar voru hnit tekin á sýnatökustað, í miðju þess svæðis sem safnað var á. Á hverjum stað var aðstæðum lýst lauslega, mældur halli lands og hallastefna með einföldum hallamæli (áttavita) og ríkjandi háplöntutegundir skráðar. Hin síðari ár hafa ljósmyndir einnig verið teknar á hverjum stað. Sýni hafa ávallt verið tekin á sömu stöðum væri þess nokkur kostur. Vegna breytinga á landnýtingu, svo sem vegna nýrra vega, golfvalla, ræktunar eða breyttra beitarháttá, var í sumum tilvikum nauðsynlegt að hætta söfnun og/eða taka sýni á nýjum stað.

Árið 2010 var ekki unnt að taka sýni í Skógum undir Eyjafjöllum. Þar var allur mosi kominn á kaf undir ösku frá Eyjafjallajökli sem gaus fyrr á því ári. Á einum stað (G4) við álverið á Grundartanga var tildurmosi einnig horfinn en í staðinn var þar tekið sýni af hraungambra, *Racomitrium lanuginosum* (Hedw.) Brid. (3. mynd).

Við heimkomu voru sýni fryst og geymd þannig fram að hreinsun sem fór fram veturinn eftir sýnatöku. Sýni voru þídd við herbergishita fyrir hreinsun. Vaxtarsproti nýliðins sumars var þá slitinn frá en vaxtarsprotar þriggja ára þar á undan teknir til efnagreiningar. Sprotarnir voru settir í bréfpoka og þurrkaðir við herbergishita. Þurrkuð sýnin voru síðan send til Vistfræðistofnunar háskólans í Lundi í Svíþjóð sem hefur annast allar efnagreiningar. Frá upphafi mosarannsóknanna hefur styrkur Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, V og Zn verið mældur í öllum sýnum (1. tafla). Árið 1995 var magn Co, Mn, Mo, As, Hg og S mælt í 30 sýnum. Frá árinu 2000 hefur styrkur As, Hg og S verið mældur í öllum sýnum sem tekin hafa verið.

Við efnagreiningu voru sýni fyrst þurrkuð við 40 °C og síðan soðin í sterkri saltþéturssýru. Efnagreining fór síðan fram með ICP-MS eða ICP-ES tækni (2. tafla).

1. tafla. Yfirlit yfir þau frumefni sem mæld hafa verið í mosasýnum á Íslandi árin 1990-2010. × tákna að mælt hafi verið í öllum sýnum.

Frumefni	1990	1995	2000	2005	2010
As		30	×	×	×
Cd	×	×	×	×	×
Co*		30			
Cr	×	×	×	×	×
Cu	×	×	×	×	×
Fe	×	×	×	×	×
Hg		30	×	×	×
Mn*		30			
Mo*		30			
Ni	×	×	×	×	×
Pb	×	×	×	×	×
S		30	×	×	×
V	×	×	×	×	×
Zn	×	×	×	×	×
Heildarfjöldi sýna	106	110	127	138	147

* Árið 1995 var styrkur Co, Mn og Mo mældur í 30 sýnum. Ekki er gerð grein fyrir niðurstöðum þeirra mælinga í þessari skýrslu.

Söfnun sýna og öll meðferð þeirra var unnin með plasthönskum eða hönd stungið í plastpoka þegar sýnin voru meðhöndluð til þess að forðast beina snertingu við mosann og til að hamla gegn því að aðskotaefni bærust í hann.

3.2 Straumsvík

Við upphaf mælinga árið 1990 var eitt mosasýni tekið í nágrenni við álverið í Straumsvík (90A) (2. mynd). Við mælingar árin 1990 og 1995 komu fram vísbendingar um að styrkur nokkurra efna væri þar hærrí en víðast annars staðar á landinu (Sigurður H. Magnússon 2002a). Til að kanna þetta nánar voru árið 2000 valdir 10 sýnatökustaðir til viðbótar á fjórum mælisniðum í nágrenni álversins og hefur mosa verið safnað þar síðan á alls 11 stöðum á fimm ára fresti (2. mynd). Næst álverinu var mjög lítið um tildurmosa og því var ekki unnt að safna nær verinu en í 1000-1100 m fjarlægð. Miðað var við að taka sýni í 1100, 1700 og 2500 m fjarlægð. Það reyndist ekki mögulegt í öllum tilfellum því að mosinn fannst ekki alls staðar þar sem ætlunin var að safna honum. Sýni voru því tekin eins nálægt fyrirhuguðum stað og unnt var. Sýnatökustaðirnir 10 voru valdir í samráði við Guðrúnu Þóru Magnúsdóttur starfsmanns álversins. Við endurtekna sýnatöku árin 2005 og 2010 voru sýni tekin á sömu stöðum.

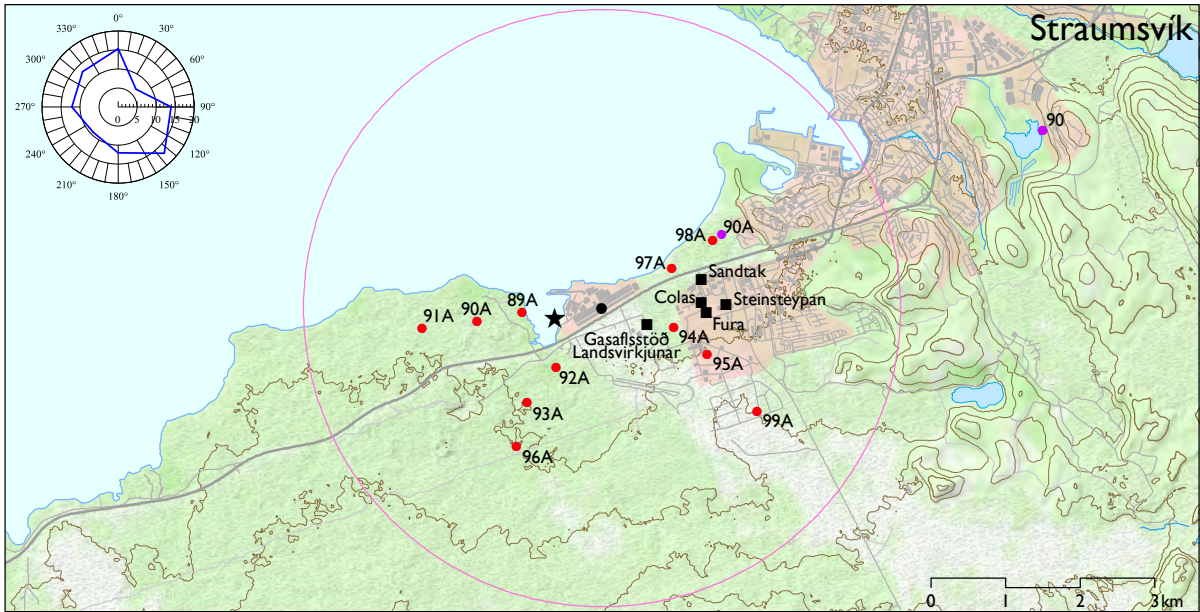
3.3 Grundartangi

Þegar mælingar á þungmálmum hófust árið 1990 voru sýni tekin á fjórum stöðum í nágrenni (<6 km) Grundartanga, þ.e. við Eyri í Kjós, austan við Kjalardal, á Katanesi og við Galtalæk (3. mynd). Árið 2000 var sýni einnig tekið á fjórða staðnum, skammt frá Mörk. Árið 2005 var ákveðið í samráði við starfsmenn iðjuveranna á Grundartanga að fjölga sýnum til þess að fylgjast betur með styrk efna á svæðinu. Tveir af fyrri sýnatökustöðum höfðu þá skemmst, þ.e. staðurinn við Katanes sem var kominn undir álver og sá við Galtalæk sem fór undir nýjan veg. Árið 2005 voru því valdir níu nýir vöktunarstaðir, þ.e. G1-G8 og nýr staður valinn við Galtalæk (3. mynd). Árið 2010 var síðan bætt við einum stað við eyðibýlið Fornabæ (G9) norðvestur af Galtarholti.

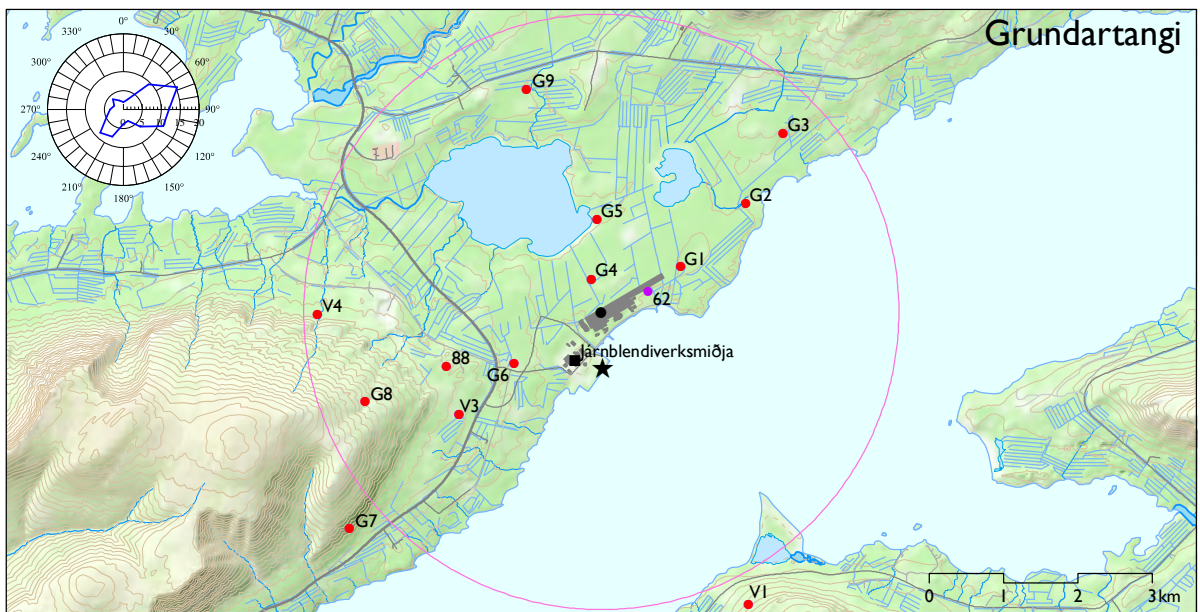
2. tafla. Yfirlit yfir greiningaraðferðir og greiningarmörk.

Efni	Greiningaraðferð					Greiningarmörk 2010 mg/kg
	1990	1995	2000	2005	2010	
As		ICP MS	ICP MS	ICP MS	ICP MS	0,05
Cd	ICP ES	ICP ES	ICP MS	ICP MS	ICP MS	0,002
Cr	ICP ES	ICP ES	ICP ES	ICP MS	ICP ES	0,02
Cu	ICP ES	ICP ES	ICP ES	ICP ES	ICP ES	0,01
Fe	ICP ES	ICP ES	ICP ES	ICP ES	ICP ES	1
Hg		ICP MS	ICP MS	ICP MS	ICP MS	0,005
Ni	ICP ES	ICP ES	ICP MS	ICP MS	ICP ES	0,1
Pb	ICP ES	ICP ES	ICP MS	ICP MS	ICP MS	0,05
S		ICP ES	ICP ES	ICP ES	ICP ES	1
V	ICP ES	ICP ES	ICP MS	ICP MS	ICP ES	0,05
Zn	ICP ES	ICP ES	ICP ES	ICP ES	ICP ES	0,1

ICP ES Inductively coupled plasma, emission spectrometry. ICP MS Inductively coupled plasma, mass spectrometry.



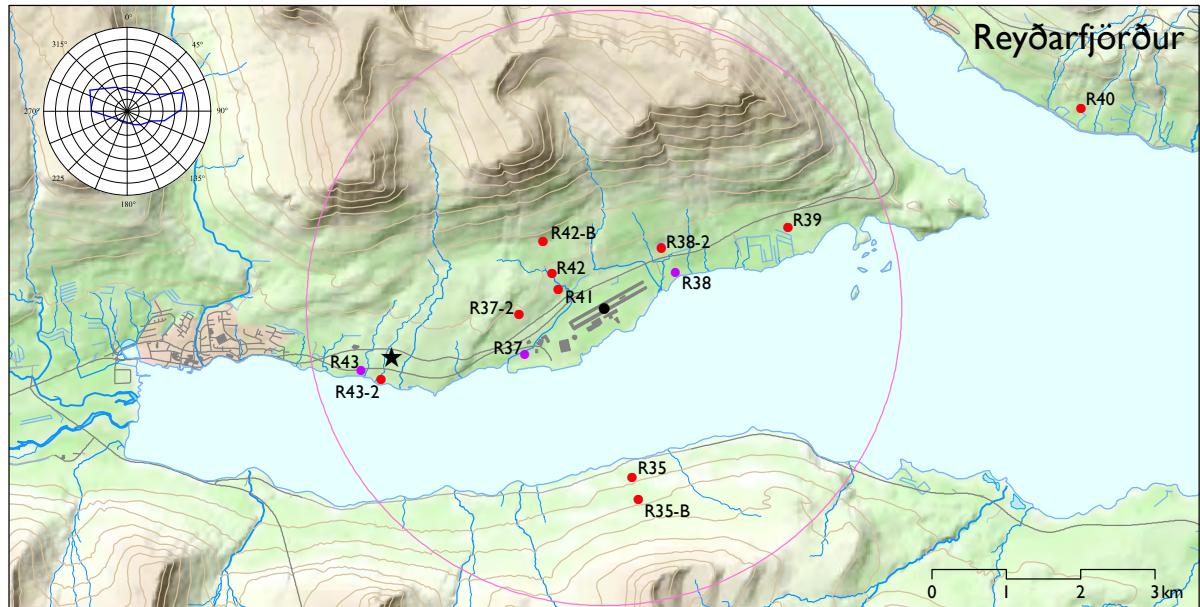
2. mynd. Yfirlit yfir sýnatökustaði mosa við álverið í Straumsvík árið 2010. Aflagðir staðir eru merktir með dökkrauðum lit. Sýnd er hlutfallsleg tíðni vindstefnu við álverið tímabilið maí-ágúst árin 2002-2010. Staðsetning veðurstöðvar er sýnd með svartri stjörnu. Hringferill afmarkar það svæði sem er innan við 4 km frá miðju álvers.



3. mynd. Yfirlit yfir sýnatökustaði mosa við iðnaðarsvæðið á Grundartanga 2010. Aflagðir staðir eru merktir með dökkrauðum lit. Staðsetning járnblendiverksmiðju og álvers er sýnd með svörtum punktum. Sýnd er tíðni vindstefnu reiknað sem meðaltal fyrir apríl-október árin 2007-2010. Staðsetning veðurstöðvar er táknud með svartri stjörnu. Hringferill afmarkar það svæði sem er innan við 4 km frá miðju álvers.

3.4 Reyðarfjörður

Árin 1990 og 1995 var mosa safnað á einum stað í Reyðarfirði, þ.e. við Seljateig sem er um 10 km vestan við álverið sem risið er. Árið 2000 var ákveðið að fjölga sýnum og hefja kerfisbundnar mælingar á þungmálmum í firðinum. Við val á stöðum var miðað við líklega dreifingu efna frá álveri og að þau spönnuðu sem stærstan fallanda út frá því (4. mynd). Allir nýir sýnatökustaðir voru valdir í samráði við Valgeir Kjartansson, þáverandi starfsmann Reyðaráls hf.



4. mynd. Yfirlit yfir sýnatökustaði mosa við álverið í Reyðarfirði árið 2010. Aflagðir staðir eru merktir með dökkrauðum lit. Sýnd er tíðni vindstefnu á veðurstöð 2 árið 2010. Staðsetning hennar er táknúð með svartri stjörnu. Hringferill afmarkar það svæði sem er innan við 4 km frá miðju álvers.

Sýni voru tekin á tveimur sniðum, þ.e. frá fjarðarbotni og út með firðinum og síðan þvert á það (4. mynd). Árið 2000 voru tekin sex sýni á langsníðinu en þrjú á þversniðinu. Árið 2005 var bygging álversins hafin og höfðu þá þrjár sýnatökustaðir frá árinu 2000 skemmst vegna framkvæmda. Tveir þeirra voru nálægt verksmiðjunni (R37 og R38) en einn hafði farið undir veg (R43). Árið 2005 voru því valdir þrjár nýir staðir (R43-2, R37-2, R38-2) en auk þess var tveimur bætt við, öðrum sunnan fjarðar (R35-b) og hinum norðan (R42-b). Árið 2005 voru mælistaðir í firðinum því alls 11 og var sýnataka endurtekin á þeim öllum árið 2010.

3.5 Jarðvarmavirkjanir

Sumarið 2010 voru sýni tekin á nokkrum nýjum stöðum í nágrenni jarðvarmavirkjana og þar sem fyrirhugað er að reisa slíkar virkjanir. Var það gert til þess að kanna hugsanleg áhrif þeirra á styrk þungmálma í mosa. Tekin voru sýni við Hellisheiðarvirkjun, við Svartsengi, á Þeistareykjum og í nágrenni Bjarnarflags (1. mynd).

3.6 Skemmdir á mosa

Þegar sýnum var safnað sumarið 2010 var gosi í Eyjafjallajökli nýlokið. Því mátti búast við að tildurmosi hefði eitthvað skemmst, einkum í nágrenni eldfjallsins. Við sýnatöku var því leitað að skemmdum þar sem safnað var og þær metnar grófluga í eftirfarandi flokka:

1. Engar skemmdir - ekki sjáanlegar skemmdir á mosa.
2. Litlar skemmdir - blöð og greinar dökkar. Skemmdir litlar að umfangi.
3. Nokkrar skemmdir - blöð og greinar dökkar líkt og þær hefðu brunnið. Skemmdir allvíða að finna á hverjum stað.
4. Miklar skemmdir - mosi annaðhvort horfinn undir ösku eða dauður á blettum. Blöð og greinar dökkar líkt og þær hefðu brunnið. Víðast hvar þó einhver lifandi mosi til staðar.

4 ÚRVINNSLA

4.1 Bakgrunnsgildi

Við mat á bakgrunnsgildum einstakra frumefna var notuð svokölluð 2-sigma-aðferð (Matschullat o.fl. 2000). Hún byggist á því að fyrst er reiknað út meðaltal og staðalfrávik fyrir gagnasafn viðkomandi efnis. Öllum gildum sem eru hærri eða lægri en tvær staðalfrávikseiningar frá meðaltali er þá sleppt. Sami útreikningur er þá endurtekinn fyrir þau gildi sem eftir standa. Þetta er síðan endurtekið uns öll gildi liggja innan ± 2 staðalfrávikseininga frá meðaltali. Bakgrunnsgildi er lokameðaltal $+2$ staðalfrávikseiningar fyrir viðkomandi efni (3. tafla).

Við útreikningana var öllum gildum hvers efnis frá öllum árum slegið saman. Þannig fengust 628 gildi fyrir Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, V og Zn en þessi efni hafa verið mæld frá 1990. Fyrir As, Hg og S fengust hins vegar alls 442 gildi en þessi efni hafa verið mæld frá 1995. Aðferðinni var beitt á hvert efni fyrir sig.

4.2 Mengunarstuðull

Fyrir hvert efni var fundinn svokallaður mengunarstuðull MS (e. contamination factor CF) samkvæmt skilgreiningum Fernandez o.fl. (2002) en mengunarstuðull er hlutfallið á milli styrks efnis í sýni og bakgrunnsgildis viðkomandi efnis.

Mengunarstuðull MS = styrkur í sýni/bakgrunnsgildi efnis

Við mat á mengun var notaður sex flokka kvarði sem Fernandez og félagar (2002) hafa sett fram:

1. flokkur	$MS \leq 1$	<i>engin mengun</i> (e. no contamination)
2. flokkur	$1 < MS \leq 2$	<i>visbending um mengun</i> (e. suspected contamination)
3. flokkur	$2 < MS \leq 3,5$	<i>lítilsháttar mengun</i> (e. slight contamination)
4. flokkur	$3,5 < MS \leq 8$	<i>nokkur mengun</i> (e. moderate contamination)
5. flokkur	$8 < MS \leq 27$	<i>veruleg mengun</i> (e. serious contamination)
6. flokkur	$27 < MS$	<i>mjög mikil mengun</i> (e. extremely serious contamination)

4.3 Kortlagning

Við kortlagningu á styrk efna á landinu voru gögn lesin inn í forritið *ArcMap*. Punktur með styrk hvers efnis og fyrir hvert ár voru settir í sérstaka skrá og eins konar hæðarlíkan búið til með „Topo2Raster“ í „ArcMap-Spatial Analyst“. Í stað hæðargildis var notaður mældur styrkur frumefnis og var eitt líkan búið til fyrir hvert efni og ár. Útmörk líkansins voru u.þ.b. 50 km frá ystu annesjum. ISN-hnit þeirra voru: vestur 195757, norður 735782, austur 803241 og suður 276994. Stærð myndeyninga í líkönum fyrir landið allt var 1000×1000 m en 100×100 m í líkönum fyrir nærsvæði iðjuvera. Líkönin voru síðan lituð eftir jafngildislínum samkvæmt reiknuðum mengunarstuðlum (3. tafla).

4.4 Tölfræðileg úrvinnsla og framsetning gagna

Samband styrks efna og fjarlægðar frá iðjuverum var kannað með línulegri aðhvarfsgreiningu á \log_{10} umbreytt gildi. Þetta var reiknað út fyrir hvert iðjuver og þau sýni sem safnað var í minna en 35 km fjarlægð frá iðjuveri. Sambandið var reiknað út sérstaklega fyrir hvert ár.

Breytingar á styrk efna milli ára utan iðnaðarsvæðanna (>4 km frá næsta iðjuveri) voru metnar með fjölþáttafervikagreiningu fyrir endurmælingar (e. MANOVA repeated measures) á \log_{10} umbreytt gildi. Í þessa greiningu voru aðeins notuð sýni sem tekin höfðu verið á sömu stöðum öll árin. Frá upphafi (1990-2010) hefur styrkur Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, V og Zn verið mældur endurtekið á alls 69 stöðum. Hin efnin þrjú, þ.e. As, Hg og S, hafa hins vegar aðeins verið mæld frá 1995, samtals á 20 stöðum öll árin.

Breytingar á styrk efna milli árána 2005 og 2010 og milli svæða, þ.e. Reyðarfjarðar (n=9), Grundartanga (n=10), Straumsvíkur (n=11) og lands utan iðnaðarsvæða (n=104), voru kannaðar með fjölþátta fervikagreiningu fyrir endurmælingar (e. MANOVA repeated measures) á \log_{10} umbreytt gildi. Breytingar milli ára á einstökum svæðum voru einnig kannaðar með fervikagreiningu fyrir þöruð gildi eftir \log_{10} umbreytingu.

Dreifing og breytingar á styrk efna fyrir landið allt eru sýndar í skýrslunni á kortum fyrir Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, V og Zn árin 1990, 2000 og 2010 og árin 2000 og 2010 fyrir As, Hg og S. Þá voru einnig gerð kort fyrir hvert iðnaðarsvæði sem sýna dreifingu efna árið 2010.

Til þess að kanna hvaða efni hefðu svipaða útbreiðslu á landinu árið 2010 var gerð klasagreining á styrk efna eftir stöðum. Notuð var stigskipt, tvíhliða (e. two way clustering) Ward aðferð og gildi stöðluð við greininguna.

Tölfræðigreiningar voru unnar með forritinu JMP 9.01 frá SAS (SAS Institute Inc. 2010).

5 NIÐURSTÖÐUR

5.1 Bakgrunnsgildi

Bakgrunnsgildi eru eðlilega mjög misjöfn eftir frumefnum þar sem mældur styrkur þeirra í mosa er afar ólíkur (3. tafla). Hæst er það fyrir járn (Fe), um 5000 mg/kg, en bakgrunnsgildi er einnig allhótt fyrir brennistein (S), eða 723 mg/kg. Lægstu bakgrunnsgildi eru hins vegar fyrir kvikasilfur (Hg), arsen (As) og kadmín (Cd) sem öll eru undir 0,2 mg/kg.

3. tafla. Bakgrunnsgildi (MS × 1) fyrir einstök efni í mosa á Íslandi reiknuð út frá öllum sýnum sem mæld hafa verið árin 1990-2010 reiknuð samkvæmt 2-sigma-aðferð. Innan sviga er fjöldi sýna sem liggur að baki útreikningunum. Mengunarstuðull (MS) er hlutfallið á milli styrks efnis og bakgrunnsgildis. Mengunarflokkar eru samkvæmt tillögum Fernandez og félagi (Fernandez o.fl. 2002).

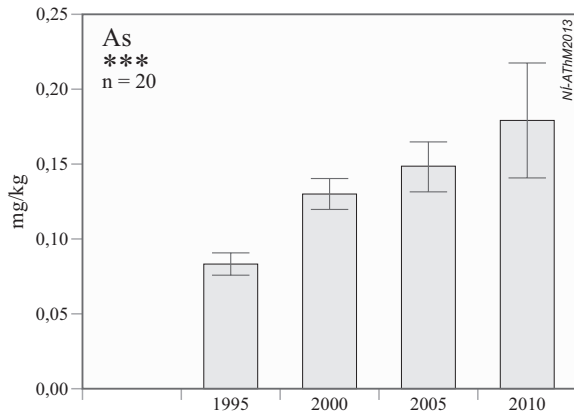
	Mengunarstuðull (mg/kg)						
	MS × 1	MS × 2	MS × 3,5	MS × 8	MS × 27		
As (442)	0,16	0,32	0,56	1,28	4,34		
Cd (628)	0,076	0,152	0,265	0,606	2,045		
Cr (628)	3,24	6,47	11,33	25,90	87,40		
Cu (628)	11,09	22,18	38,81	88,70	299,37		
Fe (628)	4999	9999	17.498	39.996	134.985		
Hg (442)	0,07	0,14	0,24	0,56	1,87		
Ni (628)	4,71	9,42	16,49	37,70	127,22		
Pb (628)	1,73	3,46	6,06	13,85	46,74		
S (442)	722	1.445	2.529	5.780	19.507		
V (628)	19,17	38,33	67,08	153,33	517,48		
Zn (628)	27,55	55,10	96,42	220,39	743,81		

5.2 Útbreiðsla efna á landsvísu og breytingar með tíma

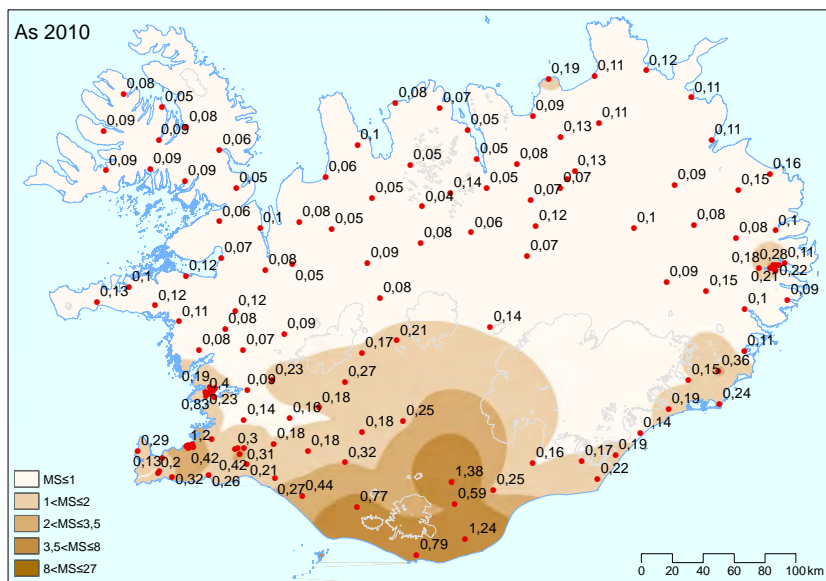
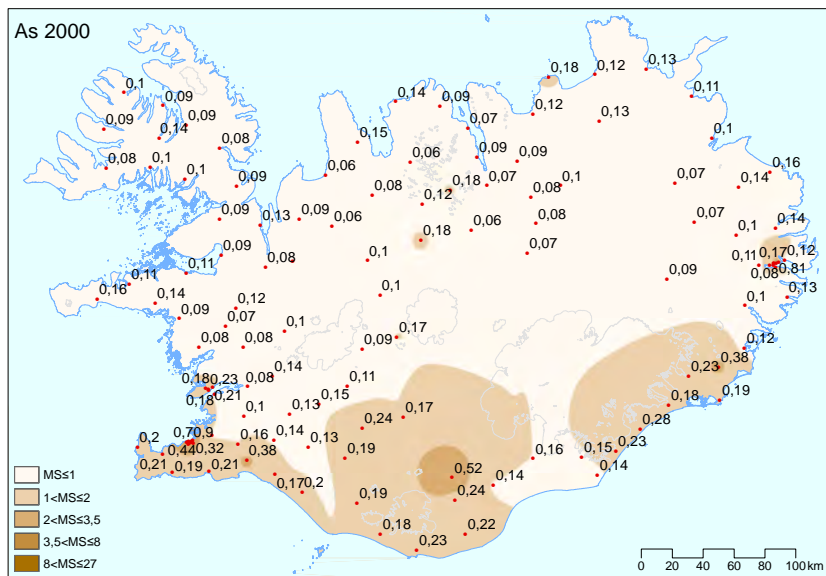
Arsen (As)

Marktækur munur var á styrk arsens á milli ára í þeim sýnum sem tekin voru utan iðnaðarsvæða (>4 km), $F(1,744; 33,134) = 9,638$; $p=0,0008$ (G-G epslilon 0,58). Styrkur arsens var lægstur árið 1995 (0,083 mg/kg; n=20) þegar efnið var fyrst mælt en hefur síðan hækkað nokkuð jafnt á milli ára og var orðinn um tvöfalt hærri árið 2010 (0,179 mg/kg, n=20) (5. mynd).

Verulegur munur var á styrk arsens eftir landshlutum. Hann var lægstur á Vestfjörðum og Norðvesturlandi en hæstur á sunnanverðu landinu, einkum á svæðinu umhverfis Mýrdalsjökul og Eyjafjallajökul og í nágrenni Reykjavíkur (6. mynd). Samkvæmt reiknuðum mengunarstuðlum telst mengun á þessum svæðum vera *nokkur* árið 2010. Á kortunum kemur einnig fram að styrkur efnisins er allhár í nágrenni iðnaðarsvæðanna í Straumsvík, á Grundartanga og í Reyðarfirði (6. mynd).



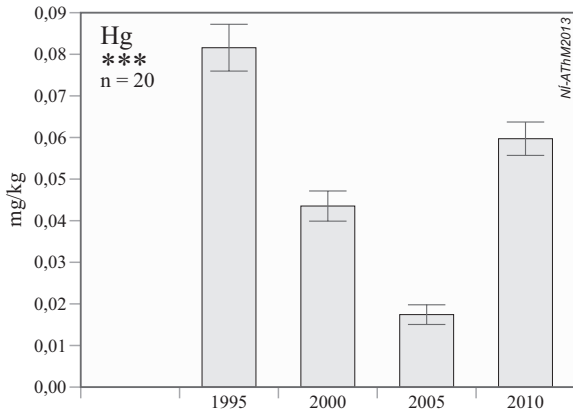
5. mynd. Meðalstyrkur (mg/kg) arsens (As) í mosa 1995-2010 utan (>4 km) iðnaðarsvæða. Sýni voru tekin á sömu stöðum öll árin, n = 20. Lóðrétt strik tákna staðalskekkju. Marktækur munur er: *** = $p < 0,001$.



6. mynd. Styrkur (mg/kg) arsens (As) í mosa árið 2000 og 2010. Mismunandi litir sýna mengunarflokka byggða á reiknuðum mengunarsuðlum (MS), sjá 3. töflu..

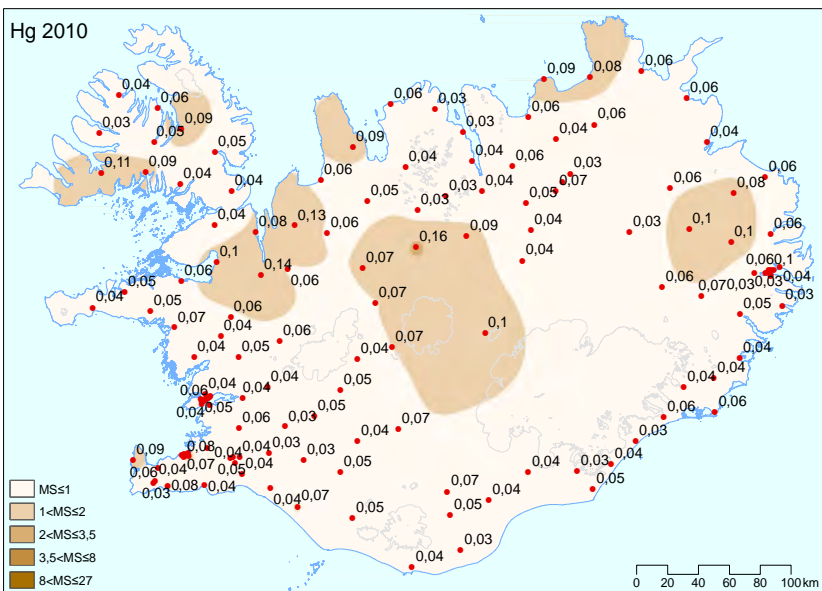
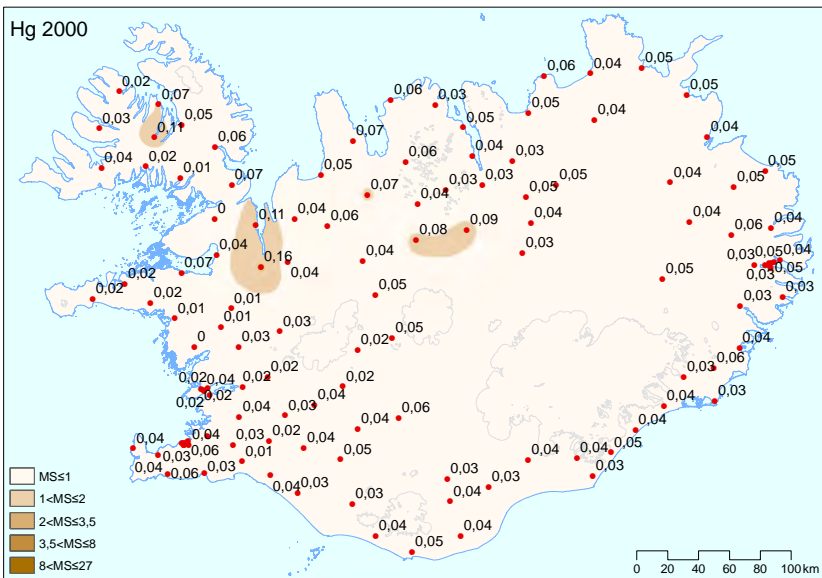
Kvikasilfur (Hg)

Samanburður á sýnum sem tekin voru á sömu stöðum öll árin utan iðnaðarsvæða (>4 km) sýndi marktækan mun á styrk kvikasilfurs á milli ára, $F(1,869; 35,519) = 59,156$; $p < 0,0001$ (G-G epslilon 0,62) (7. mynd). Styrkur kvikasilfurs var hæstur árið 1995 (0,082 mg/kg; $n=20$) en lækkaði talsvert til 2005. Mæling árið 2010 sýnir hins vegar að styrkur kvikasilfurs hefur hækkað á ný.



Utan iðnaðarsvæða var styrkur kvikasilfurs árin 2000 og 2010 svipaður alls staðar á landinu og samkvæmt reiknuðum mengunarstuðlum flokkast mengun yfirleitt sem *engin* eða *vís-bending um mengun* (8. mynd).

7. mynd. Meðalstyrkur (mg/kg) kvikasilfurs (Hg) í mosa 1995-2010 utan (>4 km) iðnaðarsvæða. Sýni voru tekin á sömu stöðum öll árin, $n = 20$. Lóðrétt strik tákna staðalskekkju. Marktækur munur: *** = $p < 0,001$.

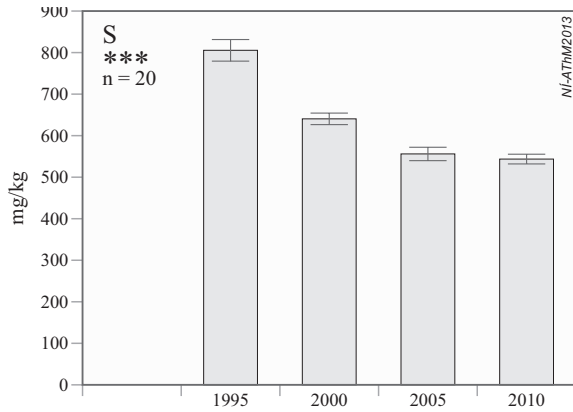


8. mynd. Styrkur (mg/kg) kvikasilfurs (Hg) í mosa árin 2000 og 2010. Mismunandi litir sýna mengunarflokka byggða á reiknuðum mengunarstuðlum (MS), sjá 3. töflu.

Brennisteinn (S)

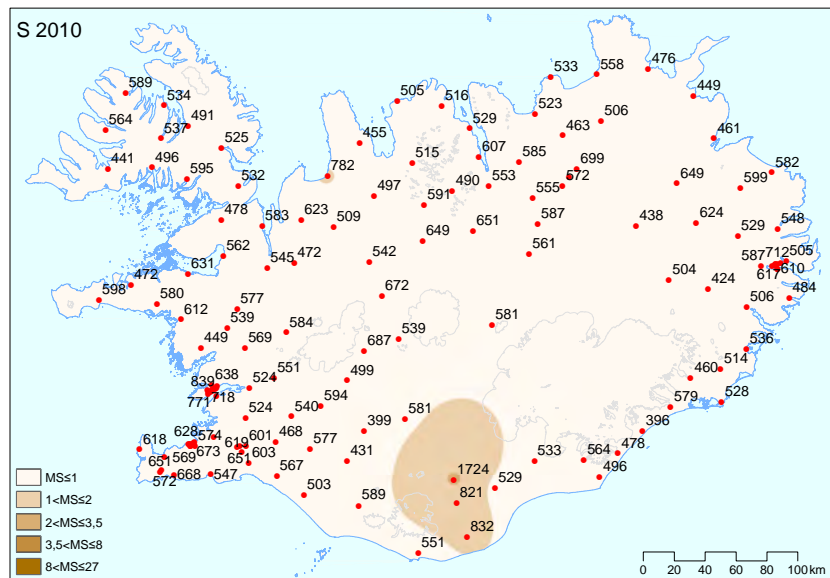
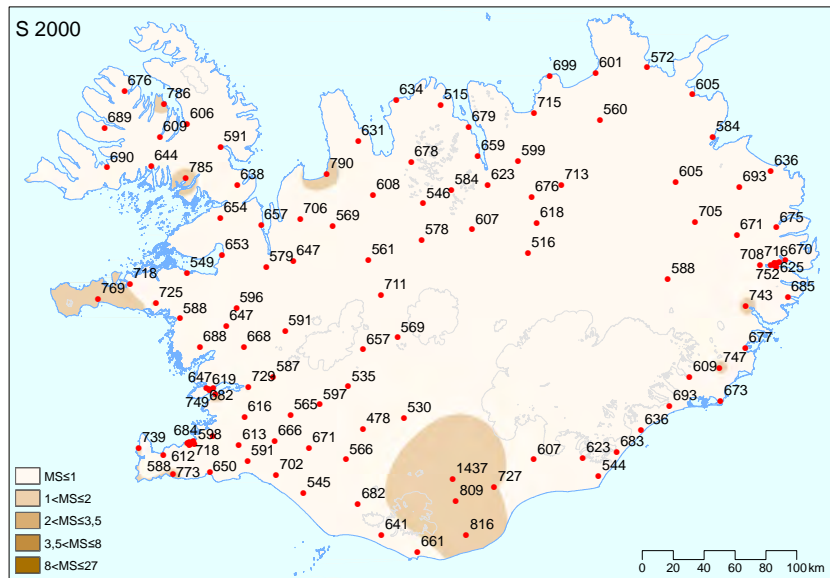
Samanburður á sýnum utan iðnaðarsvæða (>4 km) sýndi marktækan mun á styrk brennisteins á milli ára, $F(2,92; 55,54) = 55,37; p < 0,0001$ (9. mynd). Styrkur brennisteins var hæstur árið 1995 (805,5 mg/kg) en hefur heldur farið lækkandi og var svipaður árin 2005 og 2010.

Styrkur brennisteins í mosa er nokkuð jafn um landið (10. mynd). Þó er hann einna hæstur austan Mýrdalsjökuls en öll ár hefur styrkur brennisteins mælst hlutfallslega hár á því svæði.



Miðað við reiknaða mengunarstuðla er mengun af völdum brennisteins lítil á landinu. Aðeins sýni tekið við Syðri-Ófæru við Skaftá flokkast í þriðja flokk, þ.e. mengun telst þar *lítillsháttar*.

9. mynd. Meðalstyrkur (mg/kg) brennisteins (S) í mosa 1995-2010 utan (>4 km) iðnaðarsvæða. Sýni voru tekin á sömu stöðum öll árin, n = 20. Lóðrétt strik tákna staðalskekkju. Marktækur munur: *** = $p < 0,001$.

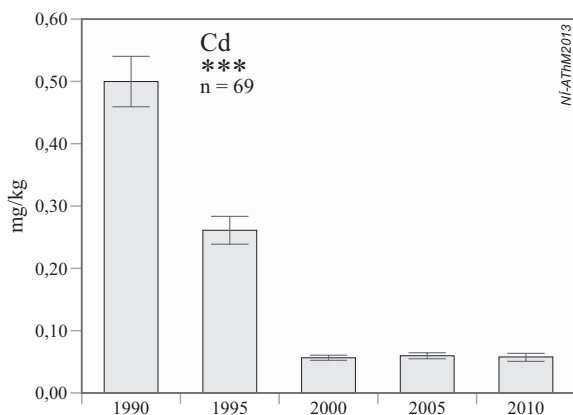


10. mynd. Styrkur (mg/kg) brennisteins (S) í mosa árið 2000 og 2010. Mismunandi litir sýna mengunarflokka byggða á reiknuðum mengunarstuðlum (MS), sjá 3. töflu.

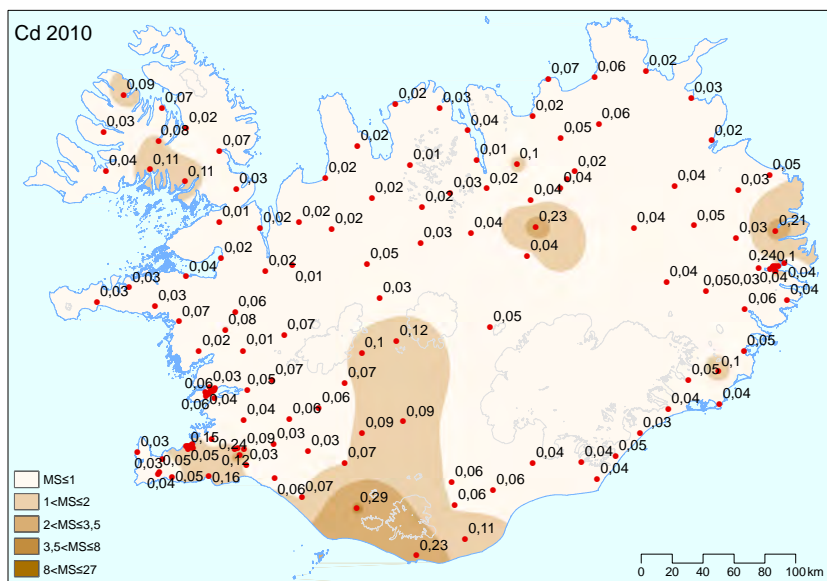
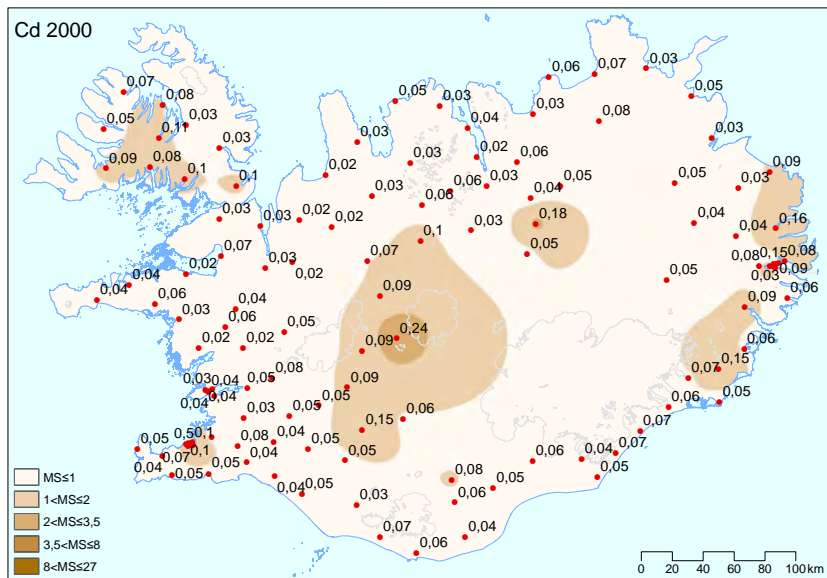
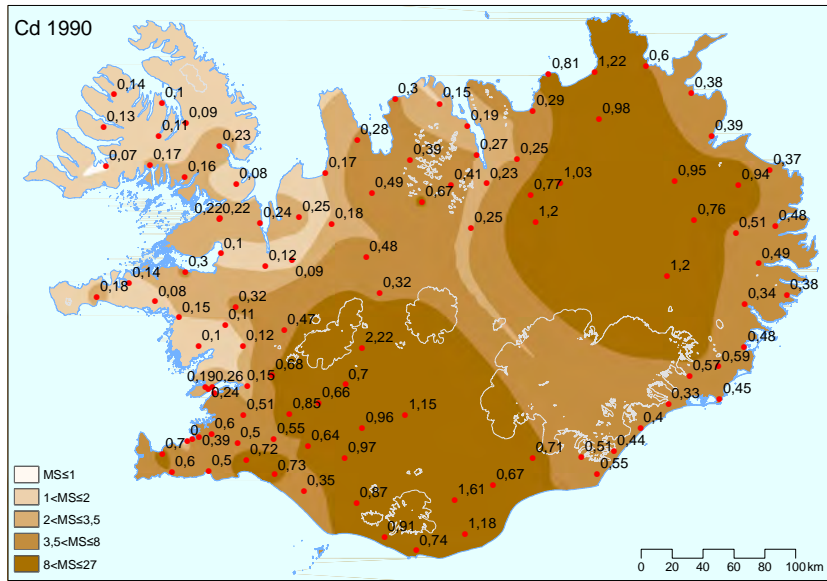
Kadmín (Cd)

Samanburður á sýnum sem tekin voru utan iðnaðarsvæðanna (>4 km) sýndi að marktækur munur var á styrk kadmíns á milli ára, $F(2,68; 182,46) = 51,63$; $P < 0,0001$ (G-G epslilon 0,67) (11. mynd). Styrkurinn var langhæstur árið 1990 (0,500 mg/kg) en lækkaði síðan verulega til 2000 (0,567 mg/kg) og hefur verið svipaður síðan.

Þau ár sem styrkur kadmíns mældist hæstur (1990 og 1995) var styrkur efnisins mjög misjafn eftir svæðum. Lægstur var hann á Vestfjörðum og Norðvesturlandi en langhæstur á suðausturluta landsins, einkum innan gosbeltisins (12. mynd). Eftir að styrkurinn lækkaði er ekki að sjá stórkostlegan mun á milli landsvæða. Miðað við reiknaða mengunarstuðla var styrkur kadmíns árið 1990 það hár að mengun telst hafa verið *veruleg* á stórum svæðum á gosbeltinu (12. mynd). Við Hvítárnes mældist styrkurinn það hár (2,22 mg/kg) að hann flokkast sem *mjög mikil mengun*.



11. mynd. Meðalstyrkur (mg/kg) kadmíns (Cd) í mosa 1990-2010 utan (>4 km) iðnaðarsvæða. Sýni voru tekin á sömu stöðum öll árin, $n = 69$. Lóðrétt strik tákna staðalskekkju. Marktækur munur: *** = $p < 0,001$.

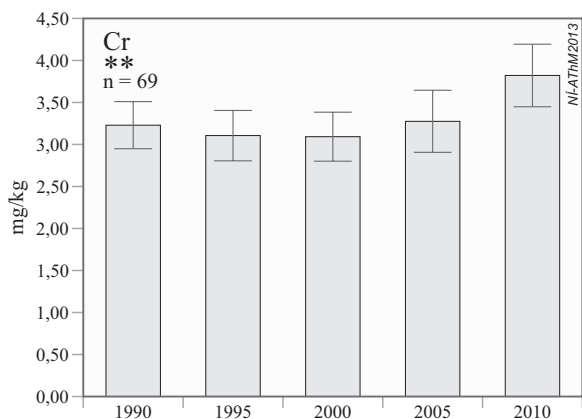


12. mynd. Styrkur (mg/kg) kadmíns (Cd) í mosa árin 1990, 2000 og 2010. Mismunandi litir sýna mengunarflokka byggða á reiknuðum mengunarsuðlum (MS), sjá 3. töflu.

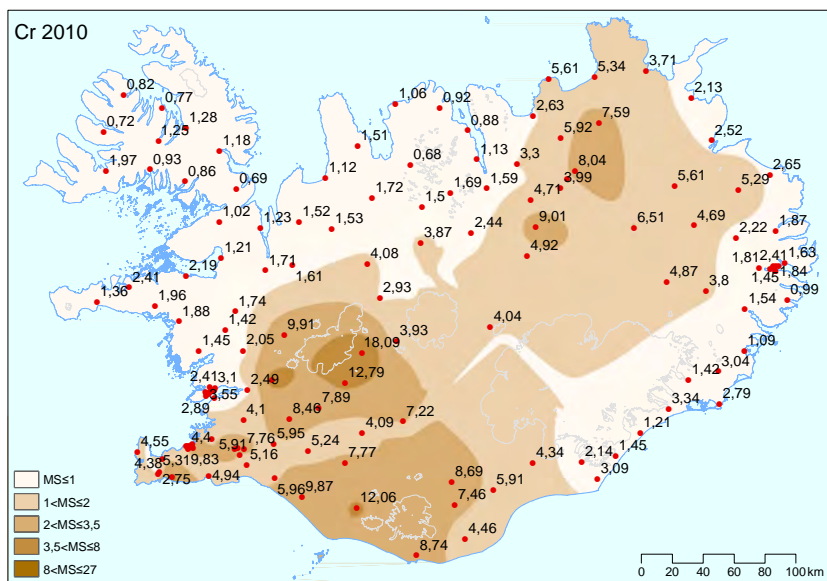
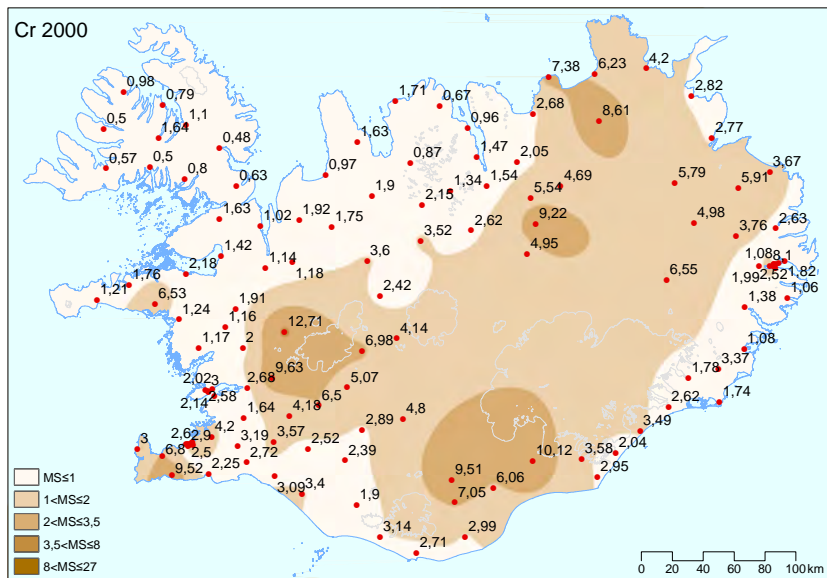
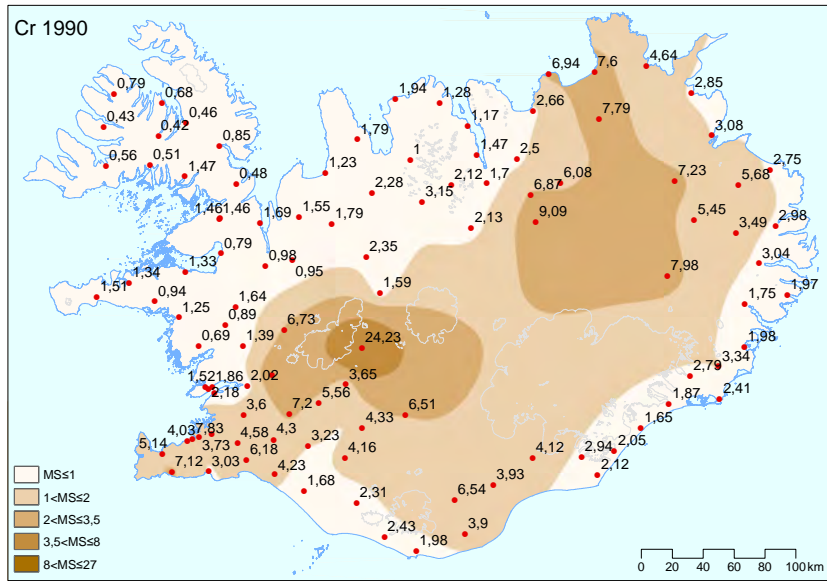
Króm (Cr)

Samanburður þeirra sýna sem tekin voru utan iðnaðarsvæðanna (>4 km) sýnir marktækan mun á styrk króms á milli ára, $F(3; 17) = 5,32$; $p=0,0012$ (G-G epslilon 0,79) (13. mynd). Fyrstu árin, þ.e. 1990-2005, var styrkur króms í mosa svipaður, eða að meðaltali 3,09-3,28 mg/kg, en árið 2010 var hann talsvert hærri eða 3,82 mg/kg ($n=69$).

Mikill munur er á styrk króms eftir landsvæðum. Langsamlega lægstur er styrkurinn á Vestfjörðum en hæstur á gosbeltinu, einkum umhverfis Langjökul, á Norðausturlandi og árið 2010 einnig við Mýrdalsjökul (14. mynd). Miðað við reiknaða mengunarstuðla flokkast hæstu gildin sem *nokkur mengun*.



13. mynd. Meðalstyrkur (mg/kg) króms (Cr) í mosa 1990-2010 utan (>4 km) iðnaðarsvæða. Sýni voru tekin á sömu stöðum öll árin, $n = 69$. Lóðrétt strik tákna staðalskekkju. Marktækur munur: ** = $p < 0,01$.

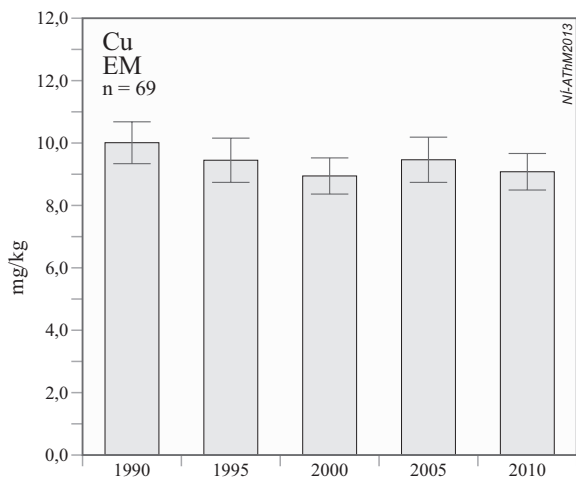


14. mynd. Styrkur (mg/kg) króms (Cr) í mosa árin 1990, 2000 og 2010. Mismunandi litir sýna mengunarflokka byggða á reiknuðum mengunarsuðlum (MS), sjá 3. töflu.

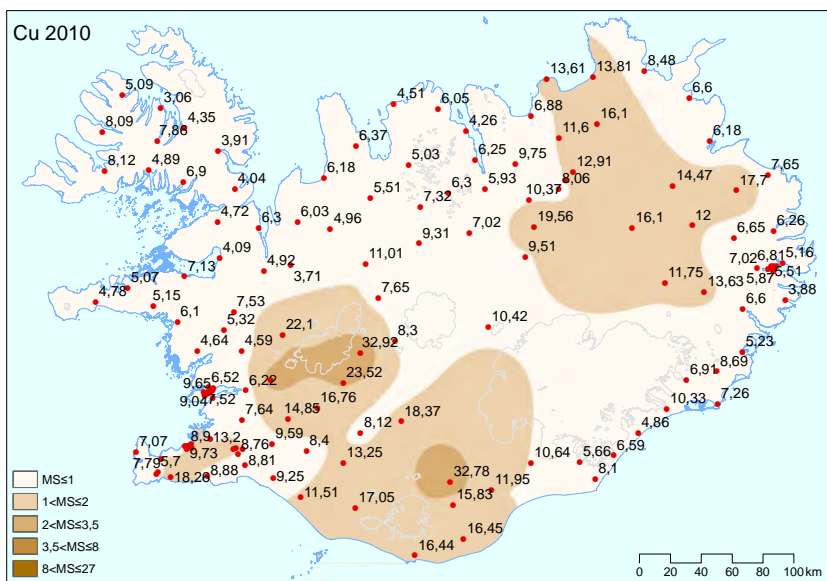
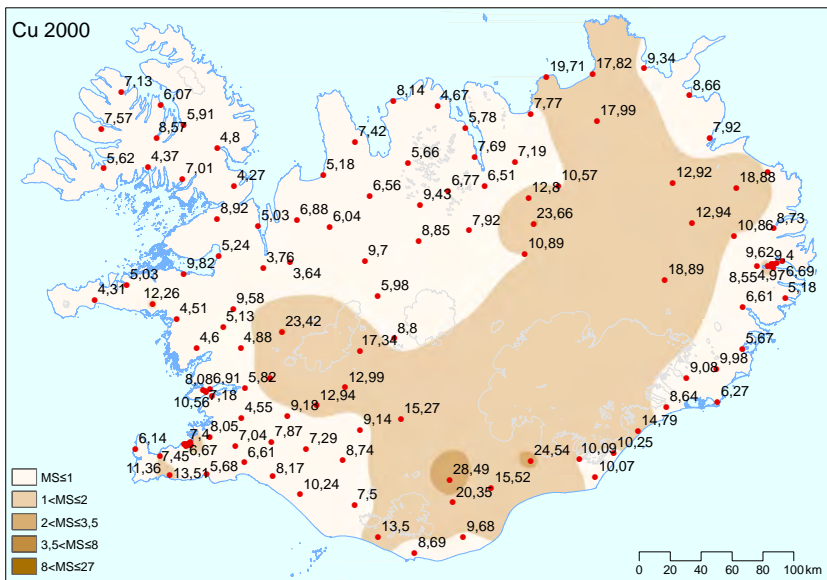
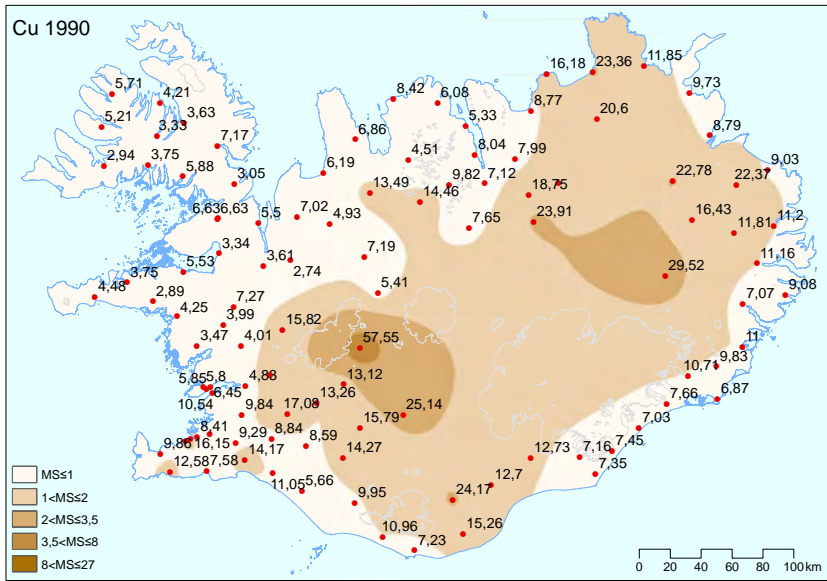
Kopar (Cu)

Samanburður á þeim sýnum sem tekin voru utan iðnaðarsvæðanna (>4 km) gaf ekki marktækan mun á styrk kopars á milli ára, $F(3,23; 219,43) = 0,96$; $p=0,417$ (G-G epslilon 0,81) (15. mynd).

Dreifing kopars í mosa er þó mjög misjöfn eftir landshlutum. Lægstur er styrkurinn á Vestfjörðum og Norðvesturlandi en hæstur innan gosbeltisins, einkum við Langjökul og austan Mýrdalsjökuls (16. mynd). Samkvæmt reiknuðum mengunarstuðlum falla hæstu gildin í fjórða flokk, þ.e. kallast *nokkur mengun*.



15. mynd. Meðalstyrkur (mg/kg) kopars (Cu) í mosa 1990-2010 utan (>4 km) iðnaðarsvæða. Sýni voru tekin á sömu stöðum öll árin, $n = 69$. Lóðrétt strik tákna staðalskekkju. EM = ekki marktækur munur.

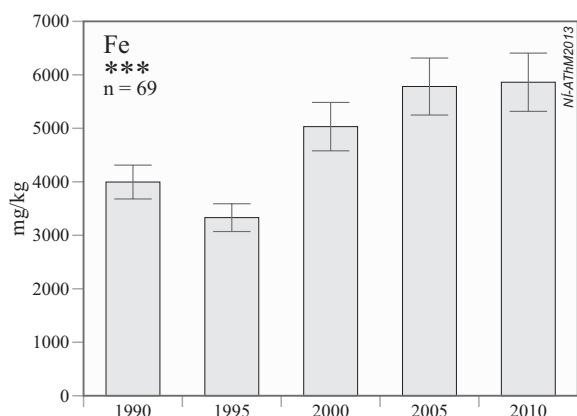


16. mynd. Styrkur (mg/kg) kopars (Cu) í mosa árin 1990, 2000 og 2010. Mismunandi litir sýna mengunarflokka byggða á reiknuðum mengunarsuðlum (MS), sjá 3. töflu.

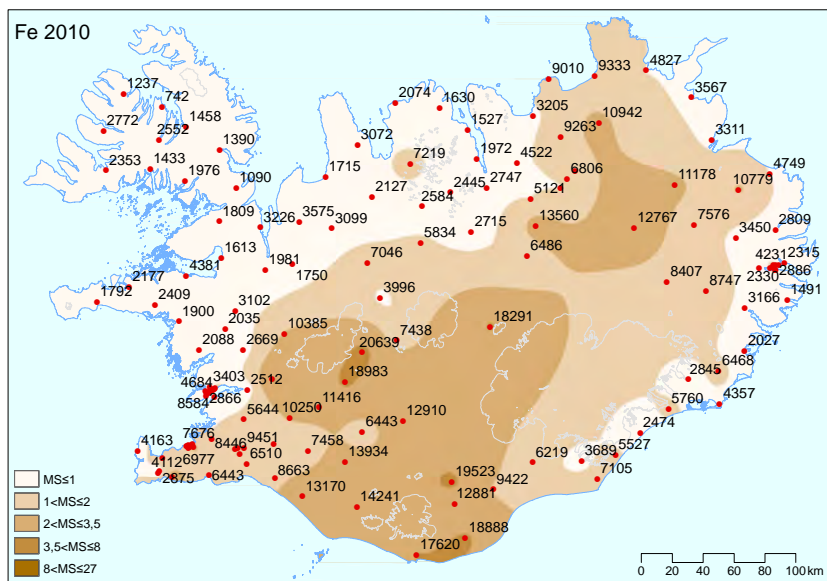
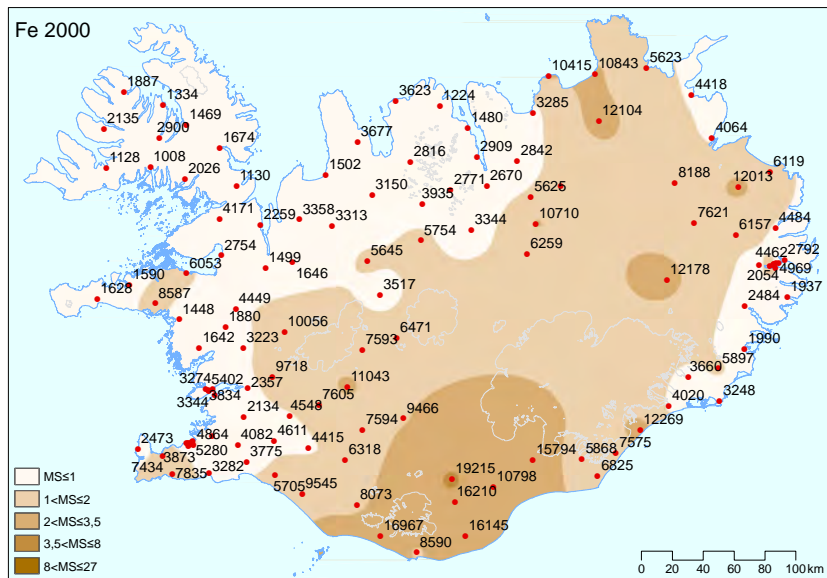
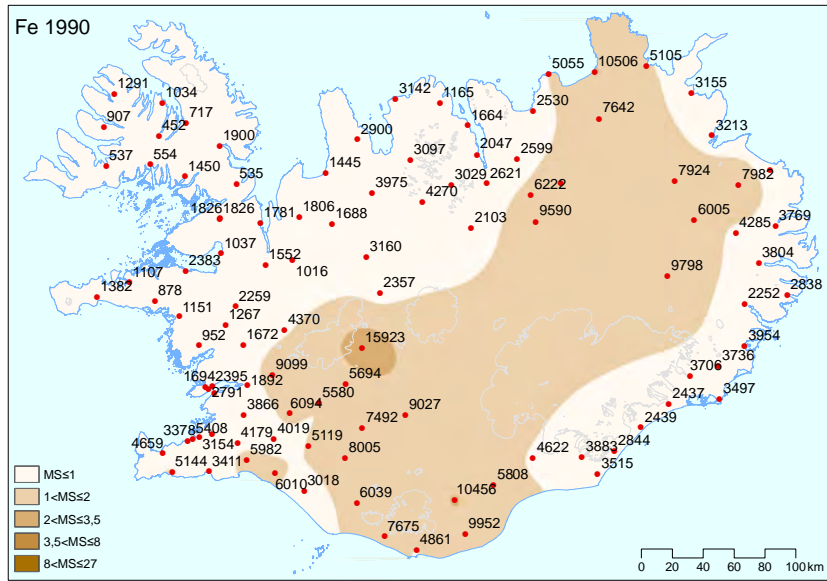
Járn (Fe)

Marktækur munur var á styrk járnس utan iðnaðarsvæða á milli ára, $F(3,51; 238,40) = 40,22$; $p < 0,0001$ (G-G epslilon 0,88) (17. mynd). Árin 1990 og 1995 var styrkur járnس að meðaltali svipaður, eða 3894 og 3466 mg/kg. Styrkur járnس árin 2000-2010 var að meðaltali talsvert hærri, eða á bilinu 5311-6167 mg/kg.

Mikill munur var á styrk járnس í mosa eftir landsvæðum. Lægstur var styrkurinn á Vestfjörðum og Norðvesturlandi en hæstur á gosbeltinu, einkum í nágrenni Langjökuls og milli Mýrdalsjökuls og Vatnajökuls. Hæstu gildin sem mældust eru með mengunarstuðul 4 sem telst *nokkur mengun* (18. mynd).



17. mynd. Meðalstyrkur (mg/kg) járnس (Fe) í mosa 1990-2010 utan (>4 km) iðnaðarsvæða. Sýni voru tekin á sömu stöðum öll árin, $n = 69$. Lóðrétt strik tákna staðalskekkju. Marktækur munur: *** = $p < 0,001$.

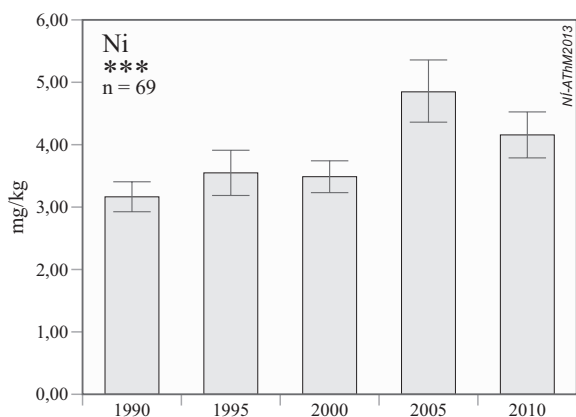


18. mynd. Styrkur (mg/kg) járn (Fe) í mosa árin 1990, 2000 og 2010. Mismunandi litir sýna mengunarflokka byggða á reiknuðum mengunarsuðlum (MS), sjá 3. töflu.

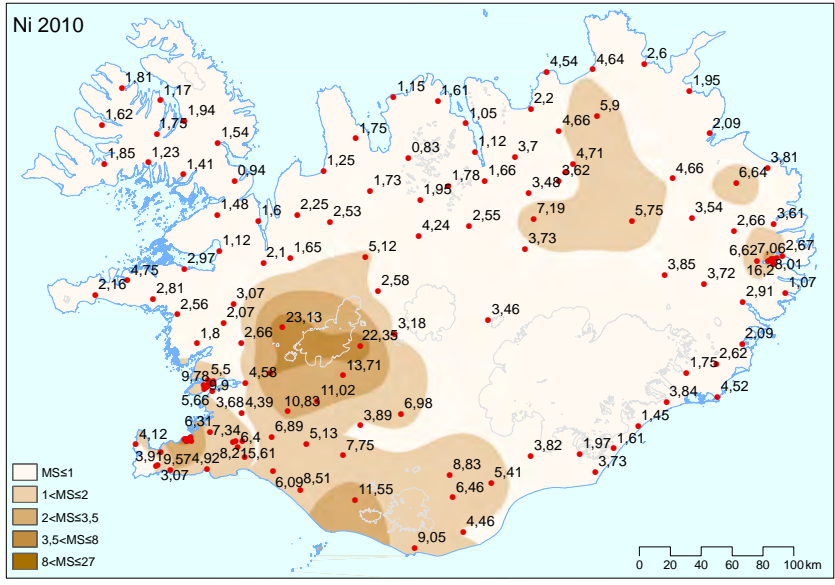
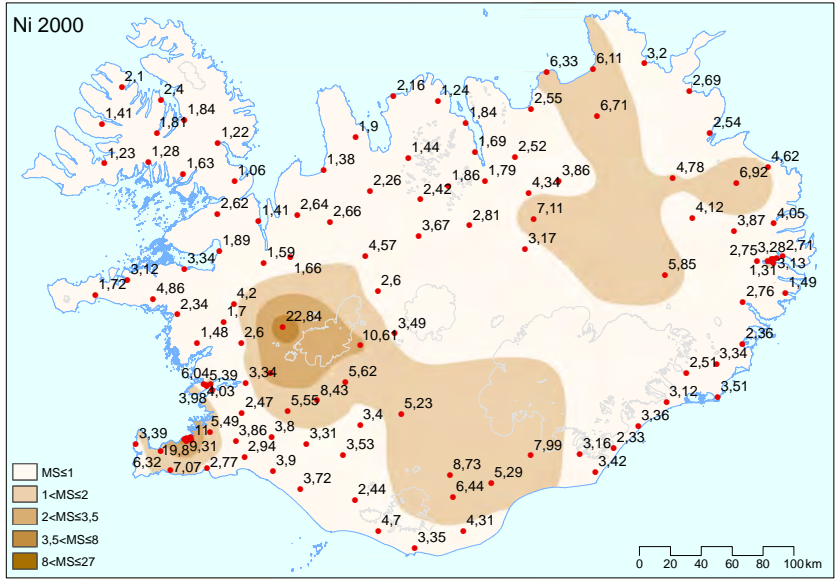
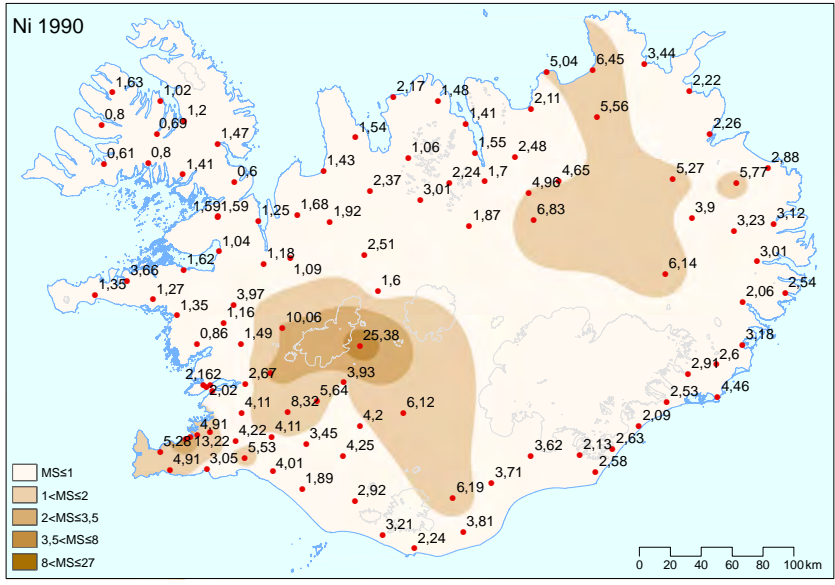
Nikkel (Ni)

Samanburður á þeim sýnum sem mæld voru öll árin utan iðjuvera (>4 km) sýndi að marktækur munur var á styrk nikkels á milli ára, $F(3,05; 207,27) = 16,73$; $p < 0,0001$ (G-G epslilon 0,76) (19. mynd). Árin 1990-2000 var styrkur nikkels að meðaltali svipaður, eða 3,16-3,55 mg/kg. Árin 2005 og 2010 var hann hins vegar talsvert hærri, eða 4,85 og 4,16 mg/kg.

Mikill munur var á styrk nikkels eftir landsvæðum (20. mynd). Lægstur var hann að jafnaði á Vestfjörðum og Norðvesturlandi. Hæstur er hann hins vegar umhverfis Langjökul en þar hefur styrkur nikkels mælst hér frá upphafi mælinga. Af dreifingarkortum má sjá að styrkur nikkels er talsvert hár á Reykjanesskaga, einkum í nágrenni höfuðborgarinnar. Þá kemur einnig fram að styrkur nikkels hefur hækkað með tíma við Grundartanga og við Reyðarfjörð á Austurlandi (20. mynd). Á þeim svæðum sem styrkur nikkels er einna hæstur eru sýnin í 4. mengunarflokki sem telst vera nokkur mengun (3. tafla) og enn hærri í nágrenni álversins í Straumsvík árið 2010, þ.e. í 5. mengunarflokki sem telst *veruleg* mengun.



19. mynd. Meðalstyrkur (mg/kg) nikkels (Ni) í mosa 1990-2010 utan (>4 km) iðnaðarsvæða. Sýni voru tekin á sömu stöðum öll árin, $n = 69$. Lóðrétt strik tákna staðalskekku. Marktækur munur: *** = $p < 0,001$.



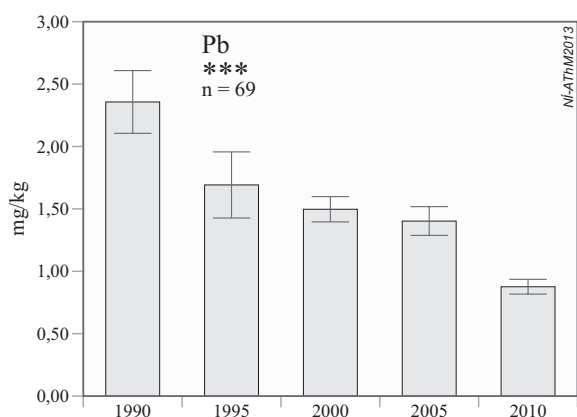
20. mynd. Styrkur (mg/kg) nikkels (Ni) í mosa árin 1990, 2000 og 2010. Mismunandi litir sýna mengunarflokka byggða á reiknuðum mengunarsuðlum (MS), sjá 3. töflu.

Blý (Pb)

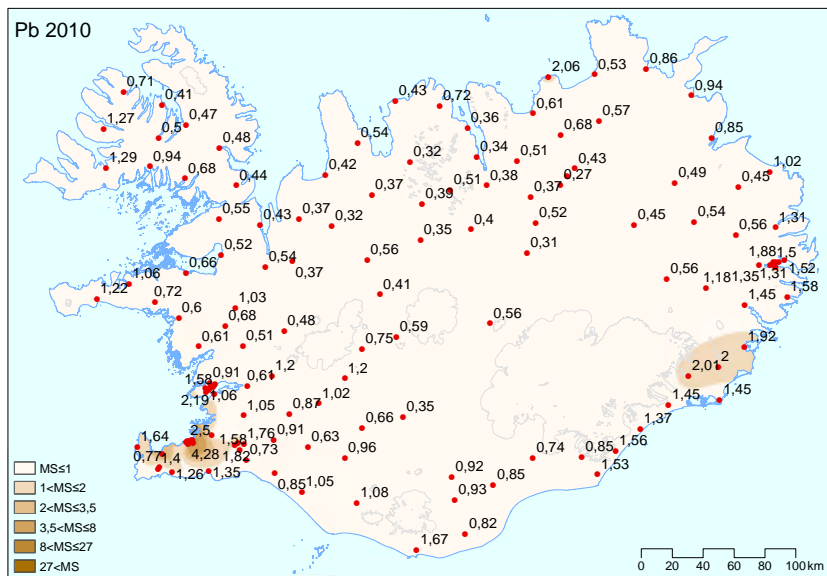
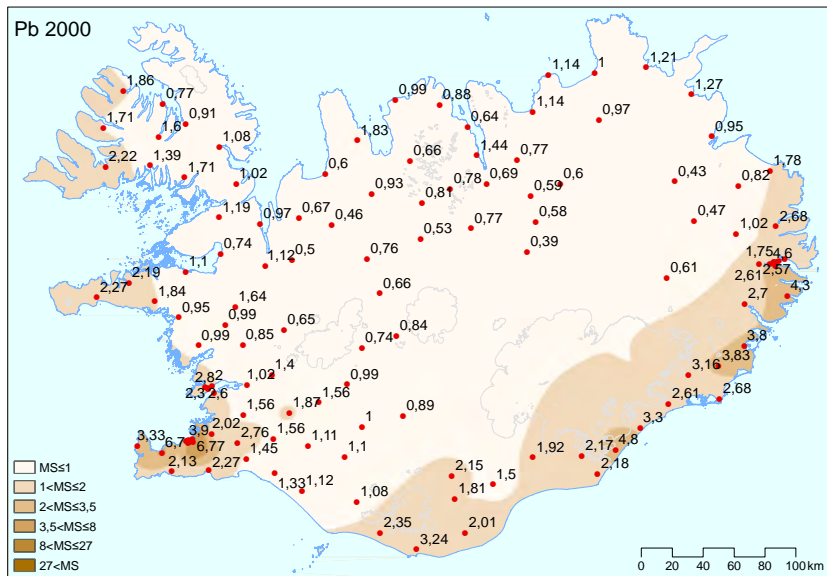
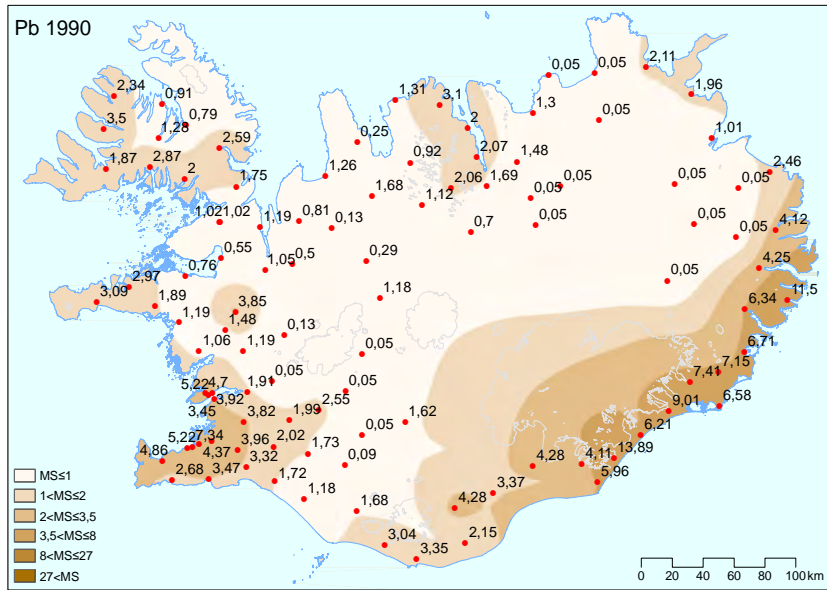
Niðurstöður mælinga á sýnum sem tekin voru utan iðnaðarsvæðanna sýna að marktækur munur var á styrk blýs á milli ára, $F(2,06; 140,4) = 8,07$; $p=0,0004$ (G-G epslilón 0,52) en styrkur efnisins hefur farið lækkandi frá því mælingar hófust (21. mynd). Árið 1990 var meðalstyrkur blýs 2,36 mg/kg en var orðinn 0,88 mg/kg árið 2010 og hafði því lækkað um meira en helming á þessum tíma.

Styrkur blýs var mjög misjafn eftir landsvæðum (22. mynd). Árið 1990 var styrkurinn einna hæstur á Suðausturlandi og í nágrenni Reykjavíkur. Árið 2000 var mynstrið svipað nema hvað styrkur efnisins hafði greinilega lækkað á suðaustanverðu landinu. Þessi tilhneiging hefur síðan haldið áfram þótt árið 2010 megi enn sjá heldur hærri gildi á þessu svæði en víðast annars staðar. Svipaðar breytingar má einnig merkja á höfuðborgarsvæðinu þótt þær séu ekki eins áberandi.

Miðað við reiknaða mengunarstuðla hefur mengun af völdum blýs verið *nokkur* á þeim svæðum þar sem styrkurinn hefur verið einna hæstur. Á nokkrum stöðum flokkast mengunin þó sem *veruleg* eins og við Kvísker árið 1990, við Vogastapa 1995 og við Straumsvík 1995-2005 og sem *mjög mikil* við Straumsvík árið 2010.



21. mynd. Meðalstyrkur (mg/kg) blýs (Pb) í mosa 1990-2010 utan (>4 km) iðnaðarsvæða. Sýni voru tekin á sömu stöðum öll árin, $n = 69$. Lóðrétt strik tákna staðalskekku. Marktækur munur: *** = $p < 0,001$.

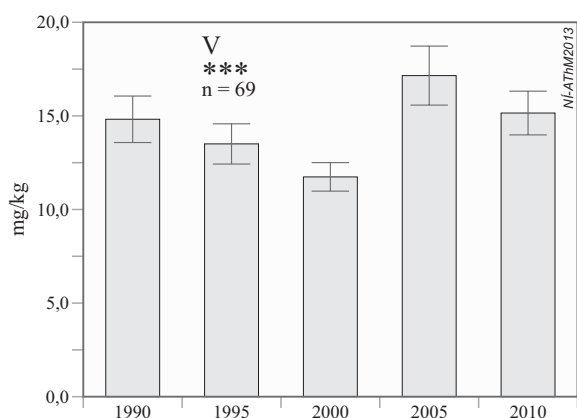


22. mynd. Styrkur (mg/kg) blýs (Pb) í mosa árin 1990, 2000 og 2010. Mismunandi litir sýna mengunarflokka byggða á reiknuðum mengunarsuðlum (MS), sjá 3. töflu.

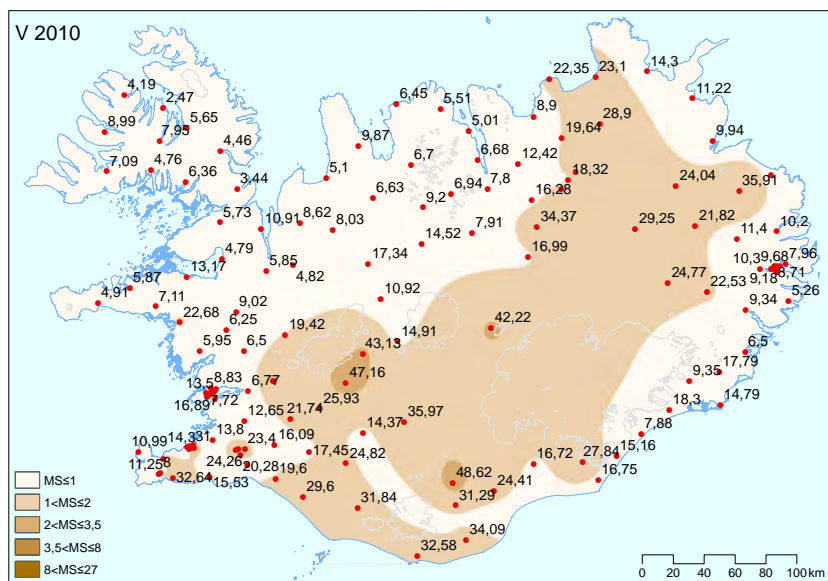
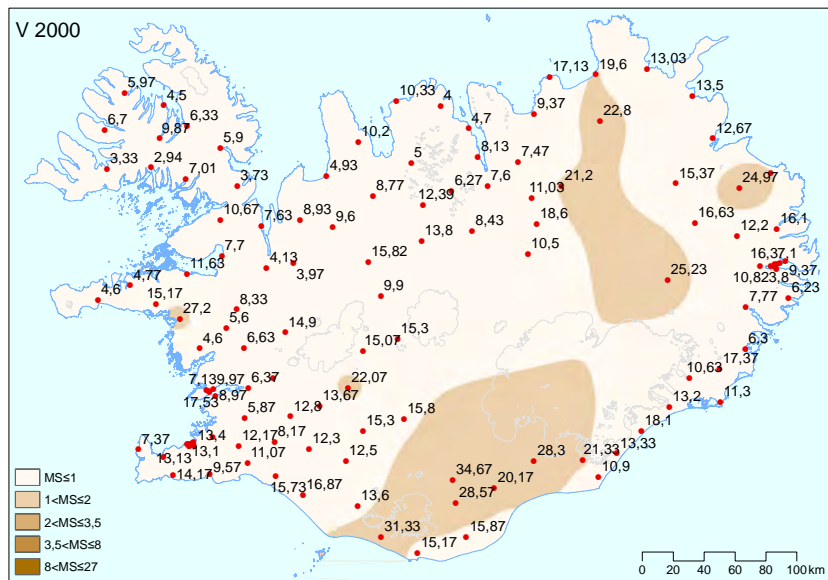
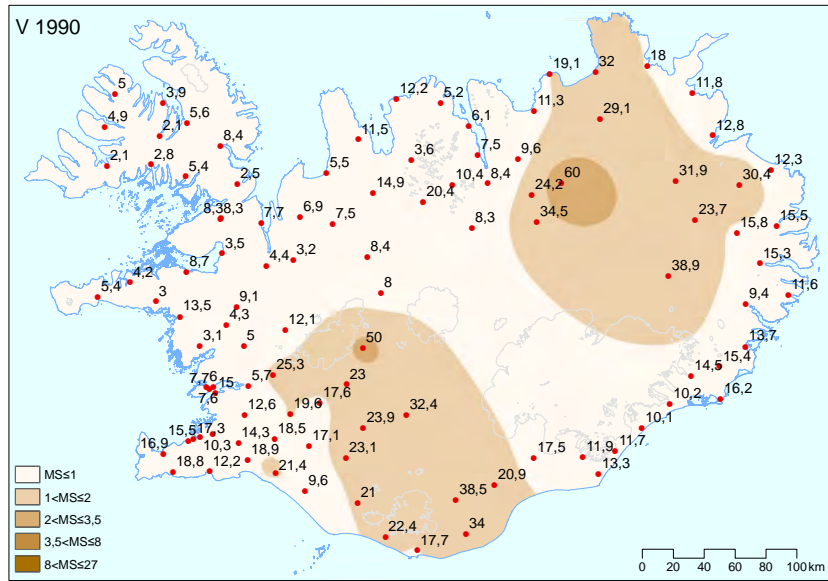
Vanadín (V)

Utan iðnaðarsvæða (>4 km) var marktækur munur á styrk vanadíns á milli ára, $F(4; 65) = 9,24$; $p < 0,0001$ (23. mynd). Greinilega leitni var ekki að sjá með tíma. Styrkur vanadíns var að jafnaði lægstur árið 2000 en hæstur árið 2005 (11,74 mg/kg; 17,15 mg/kg, $n=69$).

Styrkur vanadíns er mjög misjafn eftir svæðum; langlægstur á Vestfjörðum og Norðvesturlandi en hæstur á gosbeltinu (24. mynd). Samkvæmt reiknuðum mengunarstuðlum flokkast hæstu gildin í þriðja flokk sem telst *smávægileg mengun*. Á þessu er þó ein undantekning því að styrkur í sýni teknu við Syðri-Ófæru við Skaftá árið 2005 var 77,07 mg/kg sem fellur í fjórða mengunarflokk (*nokkur mengun*).



23. mynd. Meðalstyrkur (mg/kg) vanadíns (V) í mosa 1990-2010 utan (>4 km) iðnaðarsvæða. Sýni voru tekin á sömu stöðum öll árin, $n = 69$. Lóðrétt strik tákna staðalskekkju. Marktækur munur: *** = $p < 0,001$.

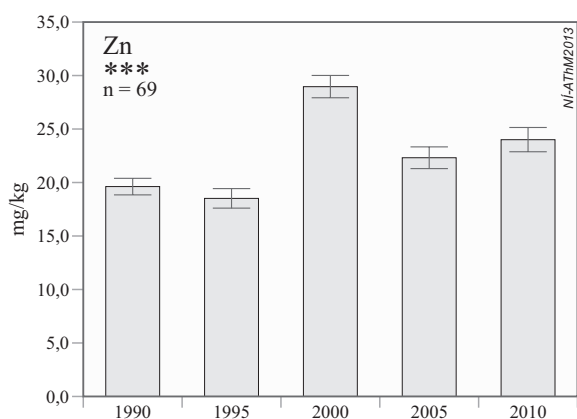


24. mynd. Styrkur (mg/kg) vanadíns (V) í mosa árin 1990, 2000 og 2010. Mismunandi litir sýna mengunarflokka byggða á reiknuðum mengunarsuðlum (MS), sjá 3. töflu.

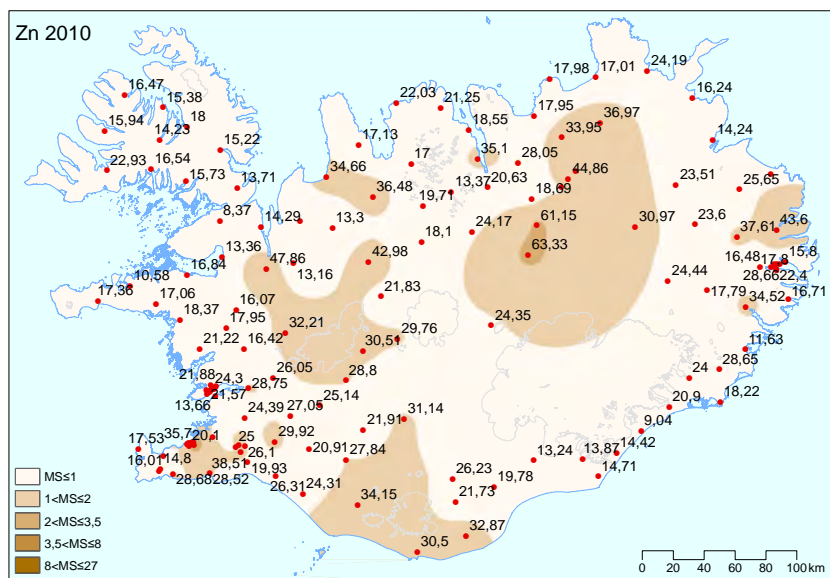
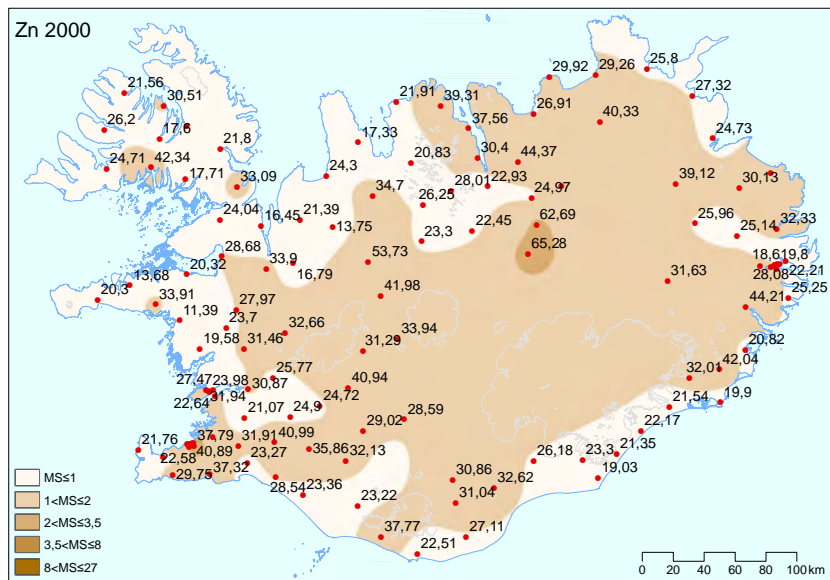
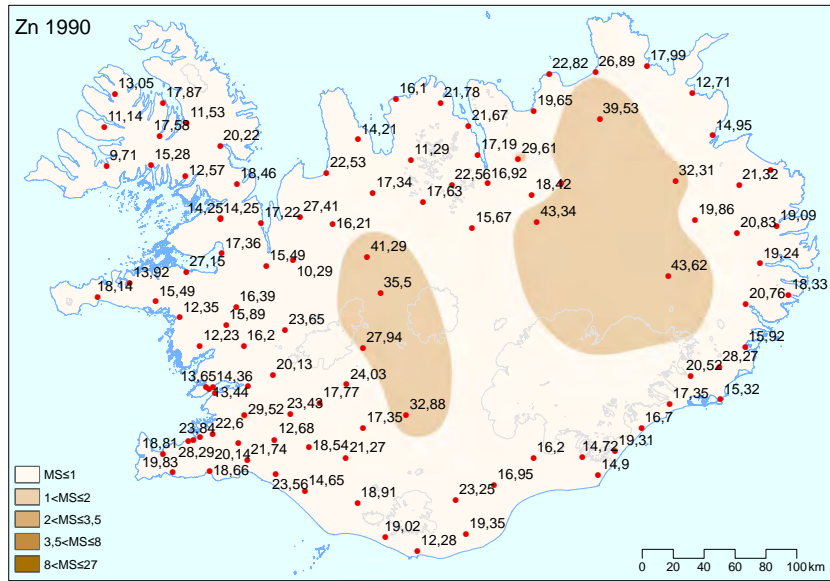
Sink (Zn)

Samanburður á sýnum sem tekin voru utan iðnaðarsvæðanna (>4 km) sýndi að marktækur munur var á styrk sinks á milli ára, $F(4; 65) = 42,01$; $p < 0,0001$ (25. mynd). Skýra leitni með tíma var ekki að sjá. Að jafnaði var styrkur sinks lægstur árið 1995 (18,52 mg/kg) en hæstur árið 2000 (28,96 mg/kg).

Nokkur breytileiki er á styrk sinks eftir landsvæðum því að hann er heldur hærri innan gosbeltisins en víðast annars staðar (26. mynd). Af útbreiðslukortum má einnig sjá að í nágrenni þéttbýlisins á suðvesturhorni landsins er styrkur sinks hlutfallslega hár, einkum hin síðari ár. Miðað við reiknaða mengunarstuðla er sinkmengun víðast hvar lítil á landinu. Á þessu er undantekning því að styrkur sinks í nokkrum sýnum í nágrenni Straumsvíkur er það hár að mengun flokkast þar sem *nokkur* og upp í það að vera *veruleg*.



25. mynd. Meðalstyrkur (mg/kg) sinks (Zn) í mosa 1990-2010 utan (>4 km) iðnaðarsvæða. Sýni voru tekin á sömu stöðum öll árin, $n = 69$. Lóðrétt strik tákna staðalskekkju. Marktækur munur: *** = $p < 0,001$.



26. mynd. Styrkur (mg/kg) sinks (Zn) í mosa árin 1990, 2000 og 2010. Mismunandi litir sýna mengunarflokka byggða á reiknuðum mengunarsuðlum (MS), sjá 3. töflu.

5.3 Áhrif iðjuvera á styrk efna

5.3.1 Samband efnastyrks og fjarlægðar frá iðjuverum

Niðurstöðurnar sýna að styrkur nokkurra efna breytist marktækt með fjarlægð frá iðjuverum. Í þeim tilvikum hækkar styrkurinn eftir því sem nær þeim kemur (4. tafla).

Greiningin sýnir að það eru einkum arsen, nikkell og blý sem tengjast sterkt iðjuverunum. Bæði í Straumsvík og á Grundartanga var styrkur arsens marktækt hærri við iðjuverin árið 2000 og eftir það. Tekið skal fram að fyrir 2000 voru mælingar of fáar við verin til þess að hægt væri að reikna sambandið út. Í Reyðarfirði var styrkur arsens marktækt hærri við iðjuverið árið 2010. Hvað varðar nikkell var þetta samband marktækt í Straumsvík öll þau ár sem mælingar hafa verið gerðar, eða frá 1990. Á Grundartanga var sambandið marktækt árið 2005 og 2010 en í Reyðarfirði aðeins við síðustu mælingu, þ.e. árið 2010. Blý virðist einnig tengjast iðjuverunum þótt sambandið sé ekki eins sterkt og fyrir arsen og nikkell. Í Straumsvík er marktækt samband á milli fjarlægðar og styrks blýs öll árin nema árið 1995. Á Grundartanga er þetta samband marktækt árið 2000 og 2010 en í Reyðarfirði aðeins árið 2010.

Nokkur önnur efni sýna marktæka breytingu á styrk eftir fjarlægð frá iðjuveri. Marktækt samband er milli fjarlægðar og styrks kadmíns bæði í Straumsvík (2000, 2005 og 2010) og á Grundartanga (2010). Svipaða sögu er að segja um kopar sem breyttist marktækt eftir fjarlægð í Straumsvík (2010) og á Grundartanga (2000 og 2010). Styrkur brennisteins er sömuleiðis nokkuð tengdur fjarlægð frá iðjuverum en marktækt samband fjarlægðar og styrks kom fram á Grundartanga (2005 og 2010) og í Reyðarfirði (2010).

Ekkert marktækt samband var hins vegar að finna á milli fjarlægðar frá iðjuveri og styrks þriggja efna, þ.e. króms, járns og kvikasilfurs (4. tafla).

4. tafla. Samband styrks efna í mosa og fjarlægðar frá iðjuverum metið með línulegri aðhvarfsgreiningu, reiknuð á \log_{10} -umbreytt gildi. Í greininguna voru tekin öll sýni sem voru innan við 35 km frá viðkomandi iðjuveri. Marktækt samband er: *** = $P < 0,001$; ** = $P < 0,01$; * = $P < 0,05$; EM = ekki marktækt. Tölur innan sviga tákna fjölda sýna.

Efni	Svæði	1990	1995	2000	2005	2010
As	Straumsvík	(0)	(2)	- *** (17)	- *** (18)	- *** (23)
	Grundartangi	(0)	(2)	- ** (10)	- *** (17)	- *** (18)
	Reyðarfjörður	(0)	(2)	EM (13)	EM (15)	- ** (15)
Cd	Straumsvík	EM (7)	EM (8)	- * (17)	- ** (18)	- * (23)
	Grundartangi	EM (10)	EM (10)	EM (10)	EM (17)	- ** (18)
	Reyðarfjörður	EM (5)	EM (5)	EM (13)	EM (15)	EM (15)
Cr	Straumsvík	EM (8)	EM (8)	EM (17)	EM (18)	EM (23)
	Grundartangi	EM (10)	EM (10)	EM (10)	EM (17)	EM (18)
	Reyðarfjörður	EM (5)	EM (5)	EM (13)	EM (15)	EM (15)
Cu	Straumsvík	EM (8)	EM (8)	EM (17)	EM (18)	- * (23)
	Grundartangi	EM (10)	EM (10)	- * (10)	EM (17)	- * (18)
	Reyðarfjörður	EM (5)	EM (5)	EM (13)	EM (15)	EM (15)
Fe	Straumsvík	EM (8)	EM (8)	EM (17)	EM (18)	EM (23)
	Grundartangi	EM (10)	EM (10)	EM (10)	EM (17)	EM (18)
	Reyðarfjörður	EM (5)	EM (5)	EM (13)	EM (15)	EM (15)
Hg	Straumsvík	(0)	(2)	EM (17)	EM (18)	EM (23)
	Grundartangi	(0)	(2)	EM (10)	EM (17)	EM (18)
	Reyðarfjörður	(0)	(2)	EM (13)	EM (15)	EM (15)
Ni	Straumsvík	- * (8)	- * (8)	- *** (17)	- *** (18)	- *** (23)
	Grundartangi	EM (10)	EM (10)	EM (10)	- * (17)	- ** (18)
	Reyðarfjörður	EM (5)	EM (5)	EM (13)	EM (15)	- ** (15)
Pb	Straumsvík	- * (8)	EM (8)	- * (17)	- * (18)	- ** (23)
	Grundartangi	EM (10)	EM (10)	- ** (10)	EM (17)	- ** (18)
	Reyðarfjörður	EM (5)	EM (5)	EM (13)	EM (15)	- * (15)
S	Straumsvík	(0)	(2)	EM (17)	EM (18)	EM (23)
	Grundartangi	(0)	(2)	EM (10)	- *** (17)	- ** (18)
	Reyðarfjörður	(0)	(2)	EM (13)	EM (15)	- ** (15)
V	Straumsvík	EM (8)	EM (8)	- ** (17)	EM (18)	EM (23)
	Grundartangi	EM (10)	EM (10)	EM (10)	EM (17)	EM (18)
	Reyðarfjörður	EM (5)	EM (5)	EM (13)	EM (15)	EM (15)
Zn	Straumsvík	EM (8)	- ** (8)	EM (17)	- *** (18)	- ** (23)
	Grundartangi	EM (10)	EM (10)	EM (10)	EM (17)	EM (18)
	Reyðarfjörður	EM (5)	EM (5)	EM (13)	EM (15)	EM (15)

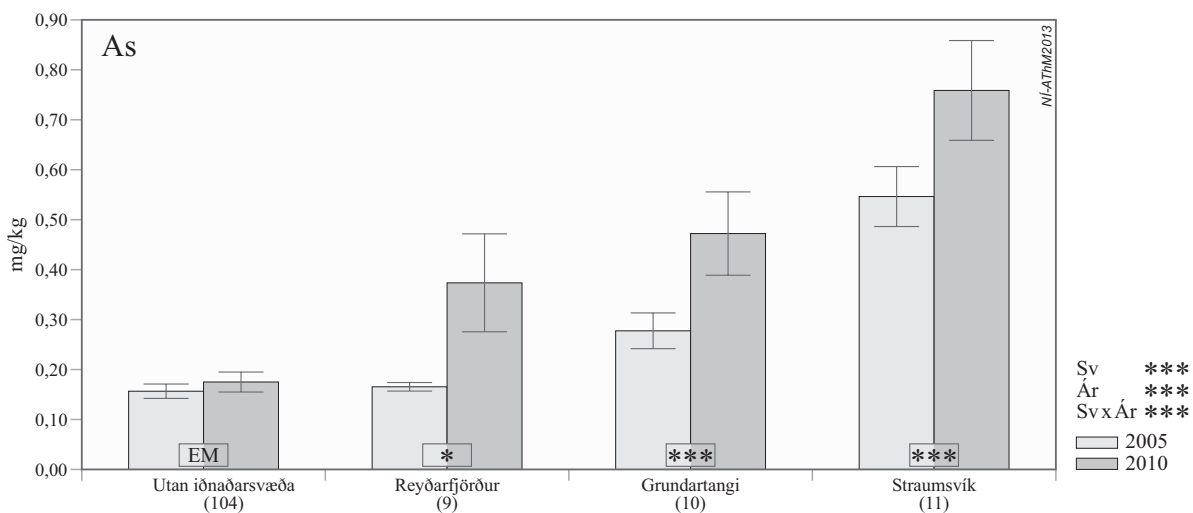
5.3.2 Styrkur efna í nágrenni iðjuvera og helstu breytingar milli ára

Arsen (As)

Samanburður á styrk arsens eftir svæðum og milli árána 2005 og 2010 sýnir marktækan mun bæði á milli svæða og ára en einnig var marktækt samspil á milli þessara þátta (27. mynd). Árið 2005 var styrkur arsens svipaður í Reyðarfirði ($0,17 \pm 0,03$ mg/kg) og á landinu í heild utan iðnaðarsvæðanna ($0,16 \pm 0,15$ mg/kg) en hann var það ár talsvert hærri á Grundartanga ($0,28 \pm 0,11$ mg/kg) og þó einkum í Straumsvík ($0,55 \pm 0,20$ mg/kg). Árið 2010 hafði styrkur arsens hækkað verulega við öll iðjuverin en þó hlutfallslega mest við álverið í Reyðarfirði.

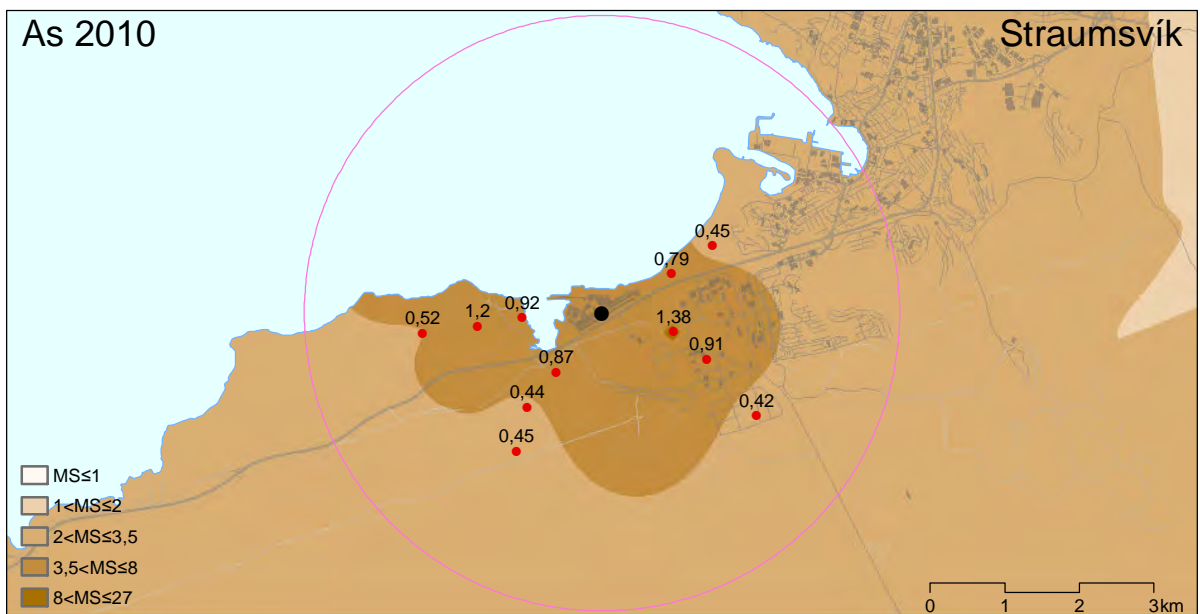
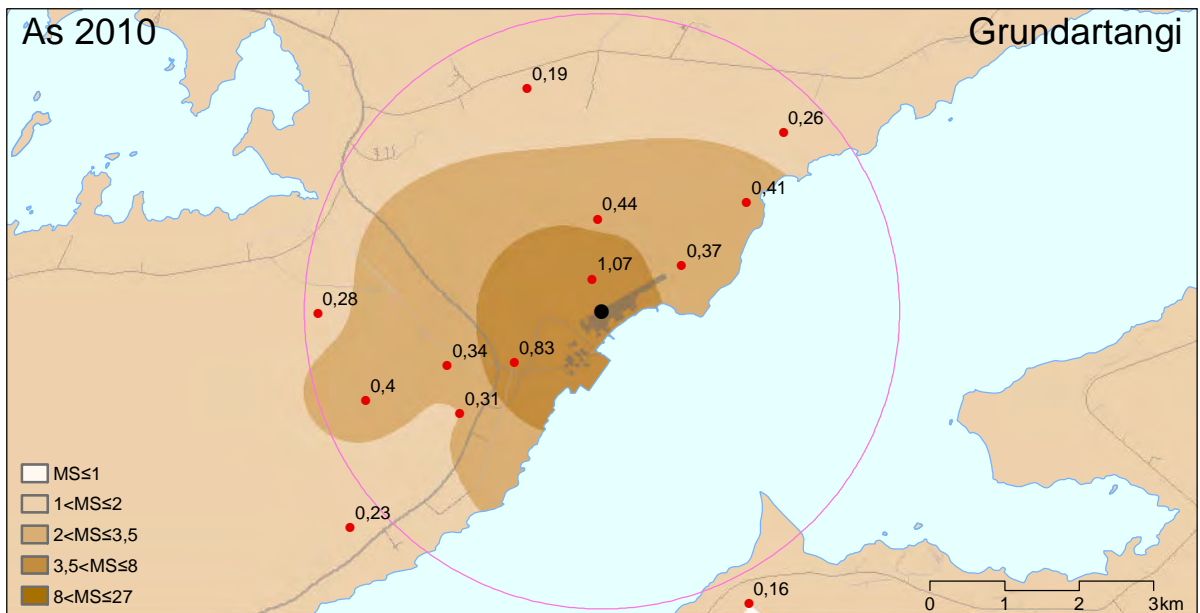
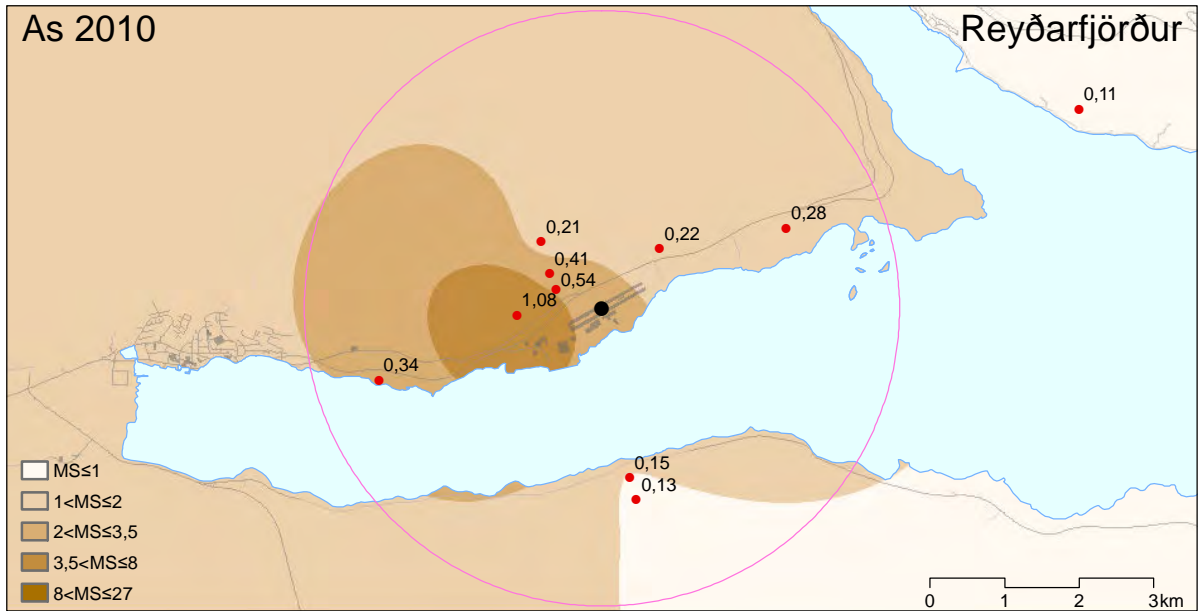
Kort yfir styrk arsens í nágrenni iðjuveranna árið 2010 sýnir svipaða dreifingu við þau öll (28. mynd). Styrkurinn er að jafnaði hæstur næst verksmiðjunum en lækkar síðan er fjær dregur. Í Reyðarfirði er dreifingin nokkuð skekkt miðað við verksmiðjuna en styrkur arsens var hæstur í sýni um 1,1 km norðvestur af henni ($1,08$ mg/kg). Bæði á Grundartanga og í Straumsvík lækkar styrkurinn nokkuð jafnt til allra átta út frá verksmiðjunum.

Miðað við reiknuð bakgrunnsgildi flokkast mengun af völdum arsens í Reyðarfirði víðast hvar sem *lítillsháttar* (28. mynd). Næst verksmiðjunni og þó einkum norðvestur af henni er styrkur efnisins það hár að mengunin telst *nokkur*. Í nágrenni verksmiðjanna á Grundartanga er styrkur efnisins í mosa heldur hærri en í Reyðarfirði en næst þeim flokkast mengun sem *nokkur* eða *lítillsháttar*. Útbreiðslukort fyrir arsen við Straumsvík sýnir að í nágrenni álversins er styrkurinn talsvert hærri en á hinum stöðunum en næst álverinu flokkast mengun sem *smávægileg* eða *nokkur* og á einum stað suðaustan við verið telst hún *veruleg*.



27. mynd. Styrkur (mg/kg) arsens (As) í mosa árið 2005 og 2010 utan iðnaðarsvæða (>4 km) og við iðnaðarsvæðin í Reyðarfirði, á Grundartanga og við Straumsvík. Lóðrétt strik tákna staðalskekku. Niðurstöður samanburðar svæða (Sv), ára (Ár) og samspils svæða og ára (Sv x Ár) eru sýndar t.h. Niðurstöður samanburðar milli ára fyrir einstök svæði eru neðst á sulum. Innan sviga er fjöldi sýna. Marktækur munur: *** = $p < 0,001$, * = $p < 0,05$, EM = ekki marktækt.

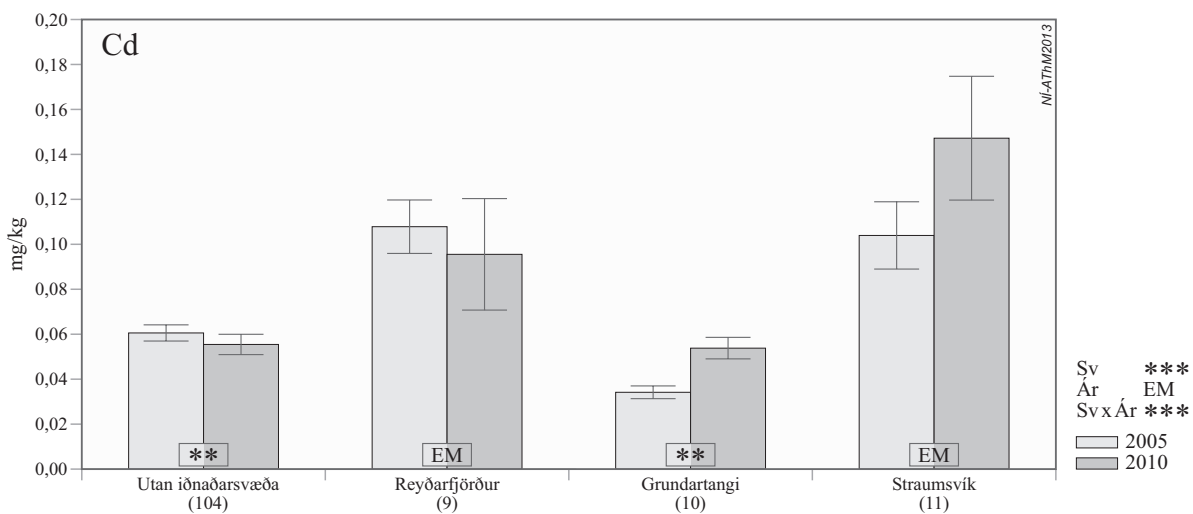
28. mynd (til hægri). Styrkur (mg/kg) arsens (As) í mosa árið 2010 við iðjuverin í Reyðarfirði, á Grundartanga og í Straumsvík. Mismunandi litir sýna mengunarflokka byggða á reiknuðum mengunarsuðlum (MS), sjá 3. töflu.



Kadmín (Cd)

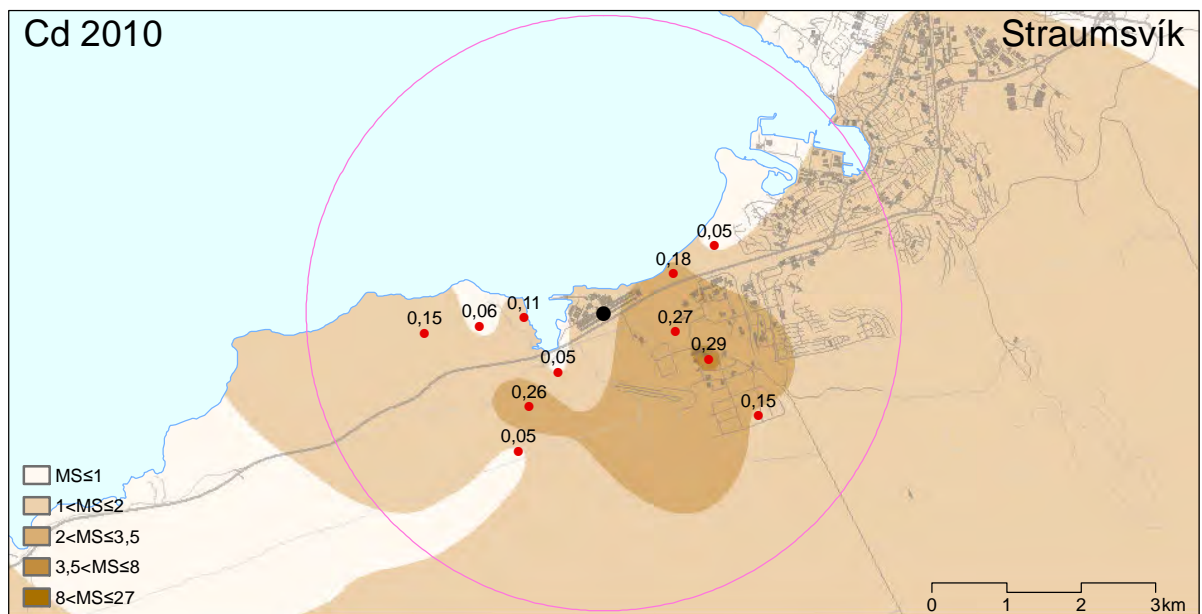
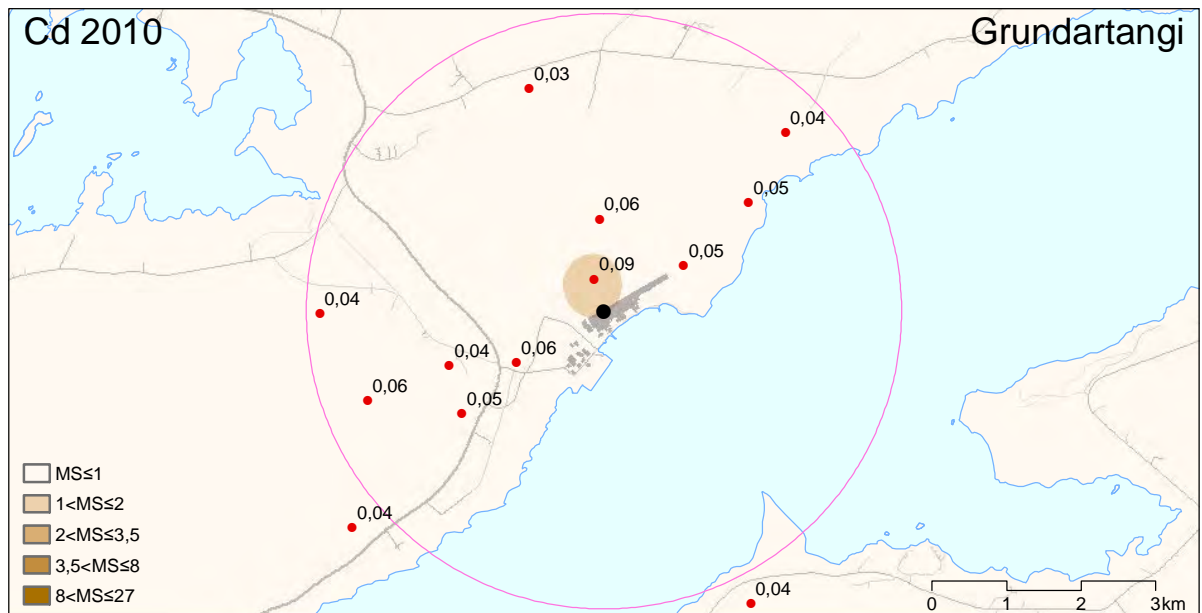
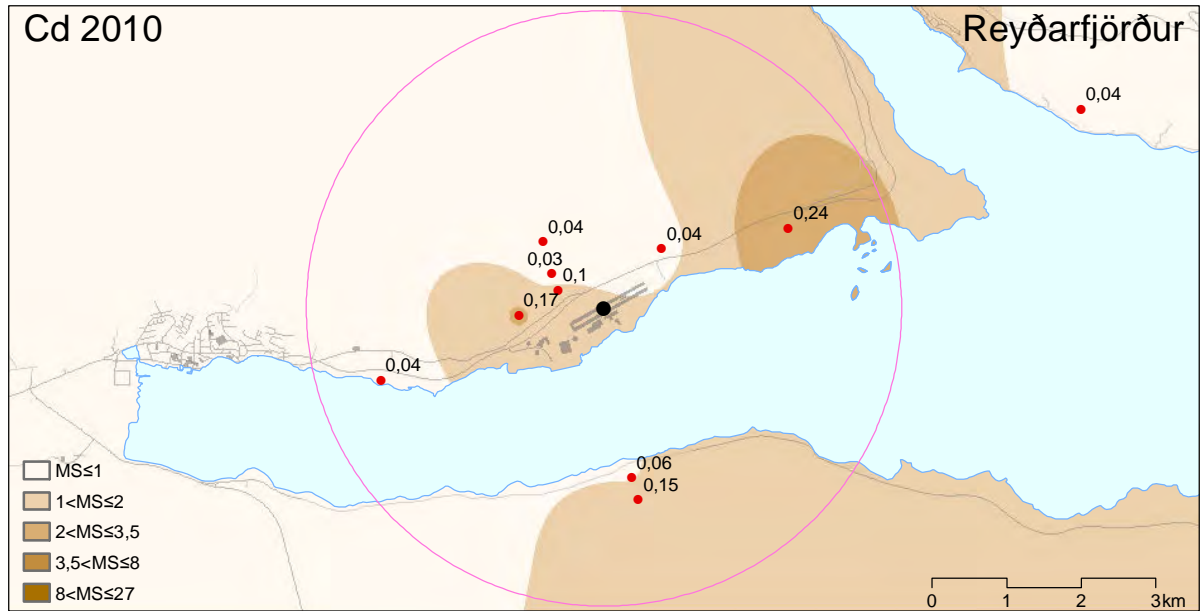
Samanburður á styrk kadmíns eftir svæðum og milli ára 2005 og 2010 sýndi marktækan mun milli svæða en ekki milli ára. Samspil svæða og ára var aftur á móti marktækt (29. mynd). Í nágrenni iðjuveranna var styrkur kadmíns að meðaltali hæstur í Reyðarfirði og í Straumsvík en lægstur á Grundartanga bæði 2005 og 2010. Styrkur kadmíns lækkaði marktækt utan iðnaðarsvæða frá 2005 til 2010 en hækkaði hins vegar á þessum tíma á Grundartanga. Á öðrum svæðum urðu ekki marktækar breytingar á milli ára.

Kort yfir styrk kadmíns við iðjuverin sýna að efnið er nokkuð jafndreift í nágrenni veranna. Þó má greina örlítið hærri styrk í sýnum sem safnað var suðaustaustan við álverið í Straumsvík en annars staðar við verin (30. mynd). Miðað við reiknaða mengunarstuðla er mengun af völdum kadmíns hvergi meiri en í þriðja flokki, þ.e. *lítillsháttar mengun*.



29. mynd. Styrkur (mg/kg) kadmíns (Cd) í mosa árið 2005 og 2010 utan iðnaðarsvæða (>4 km) og við iðnaðarsvæðin í Reyðarfirði, á Grundartanga og við Straumsvík. Lóðrétt strik tákna staðalskekkju. Niðurstöður samanburðar svæða (Sv), ára (Ár) og samspils svæða og ára (Sv x Ár) eru sýndar t.h. Niðurstöður samanburðar milli ára fyrir einstök svæði eru neðst á sulum. Innan sviga er fjöldi sýna. Marktækur munur: *** = $p < 0,001$, ** = $p < 0,01$, EM = ekki marktækt.

30. mynd (til hægri). Styrkur (mg/kg) kadmíns (Cd) í mosa árið 2010 við iðjuverin í Reyðarfirði, á Grundartanga og í Straumsvík. Mismunandi litir sýna mengunarflokka byggða á reiknuðum mengunarstuðlum (MS), sjá 3. töflu.

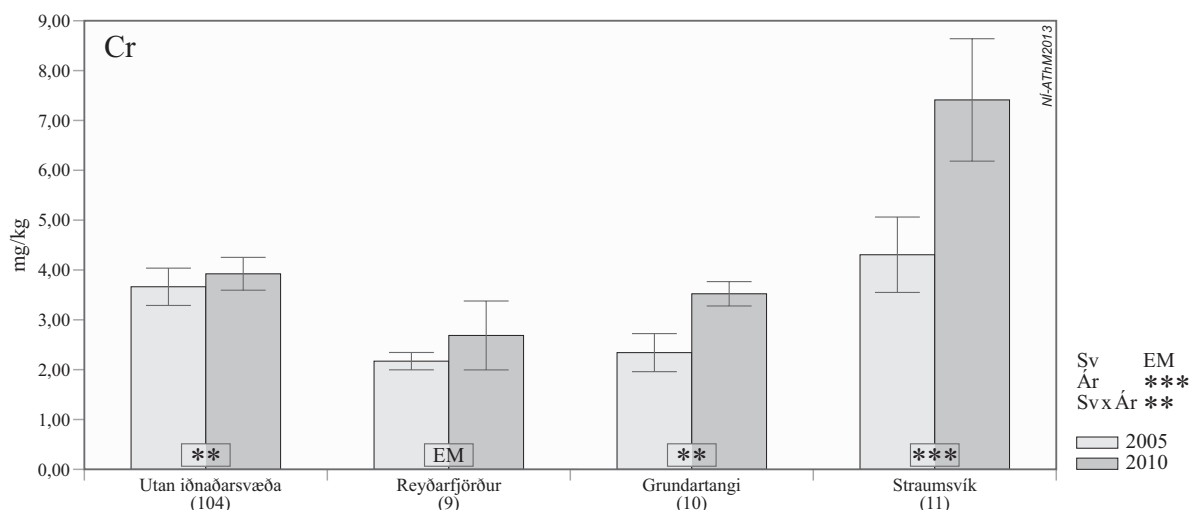


Króm (Cr)

Við samanburð á styrk króms í mosa milli svæða árin 2005 og 2010 kom ekki fram marktækur munur á svæðum en aftur á móti var marktækur munur á árum og á samspili milli svæða og ára (31. mynd). Í Straumsvík og á Grundartanga reyndist styrkur króms vera marktækt hærri árið 2010 en 2005. Ekki kom fram marktækur munur milli ára fyrir Reyðarfjörð.

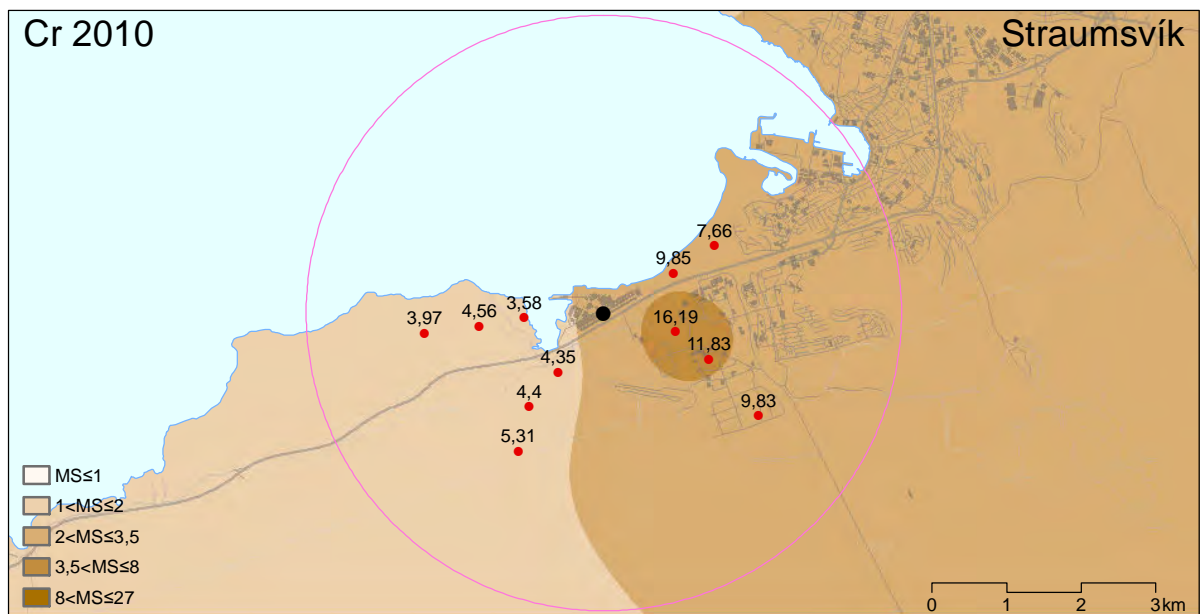
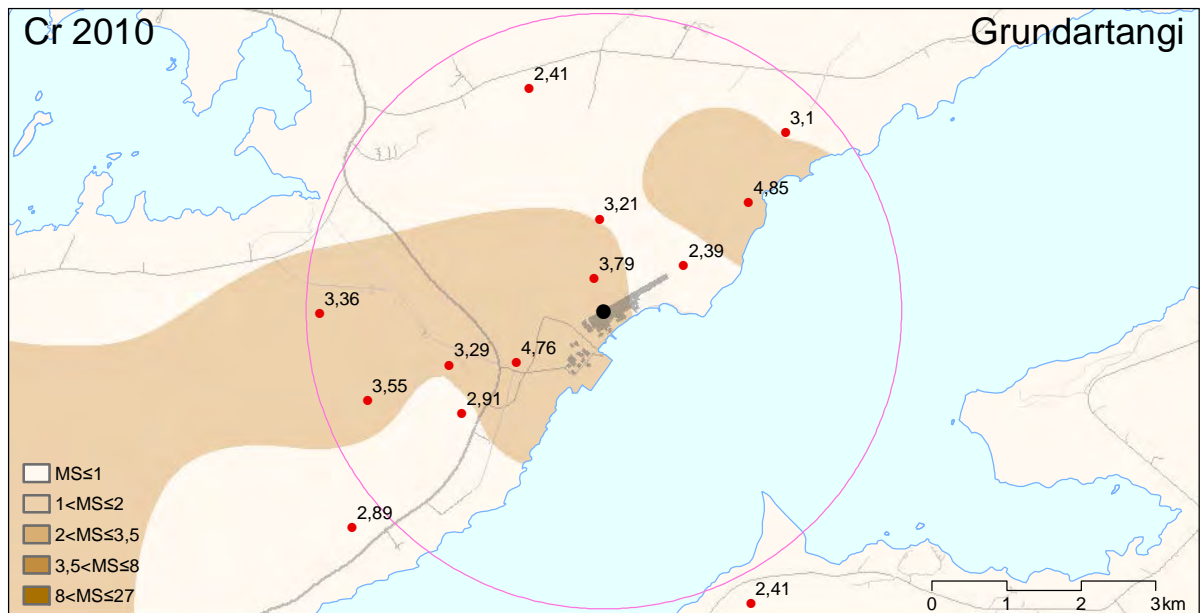
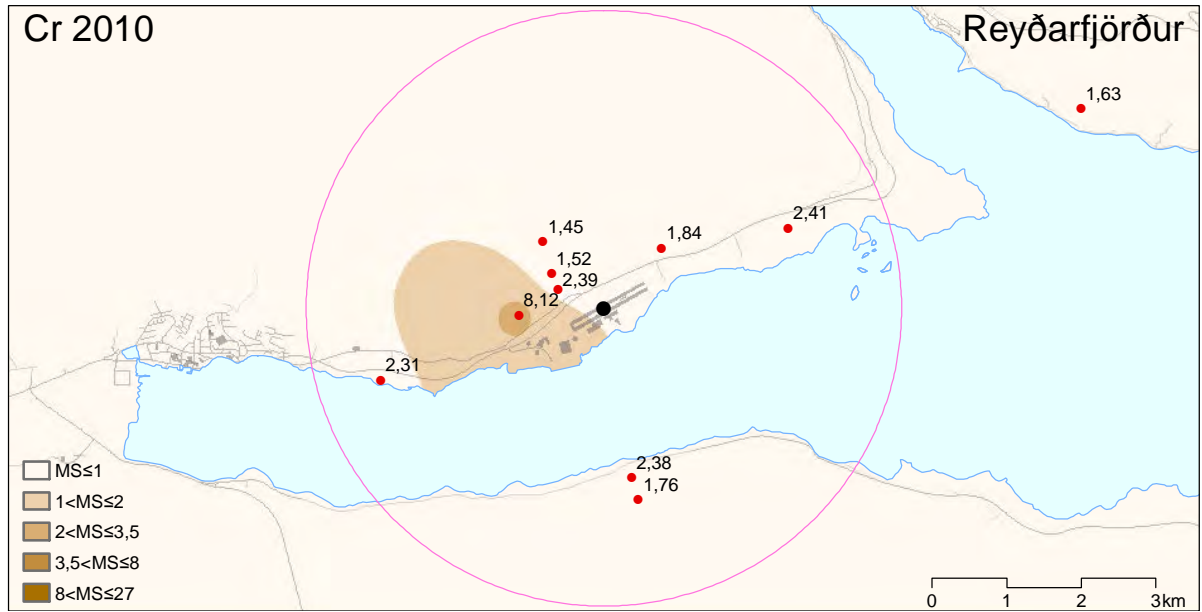
Niðurstöður mælinga árið 2010 í Reyðarfirði sýndu að styrkur króms var hæstur norðvestur af álverinu (8,12 mg/kg) en lækkaði þaðan yfirleitt til allra átta (32. mynd). Á Grundartanga er ekki að sjá greinilegt mynstur í styrk efnisins við verksmiðjurnar. Við Straumsvík var verulegur munur á styrk króms og var hann talsvert hærri austan við verksmiðjuna en vestan hennar. Hæstur styrkur (11,83-16,19 mg/kg) mældist í sýnum sem tekin voru 1-1,5 km suðaustan við verið.

Miðað við reiknaða mengunarstuðla er styrkur króms í Reyðarfirði yfirleitt það lágur að hann fellur í lægstu mengunarflokkana (32. mynd). Hæsta gildið norðvestur af verinu er í þriðja mengunarflokki, *smávægileg mengun*. Við Grundartanga eru öll sýnin í tveimur lægstu flokkunum, þ.e. *engin mengun* eða *vísbinding um mengun*. Við álverið í Straumsvík er styrkur króms það hár að sýnin austan við álverið falla í mengunarflokka 3-4 sem *smávægileg mengun* eða *nokkur mengun*.



31. mynd. Styrkur (mg/kg) króms (Cr) í mosa árið 2005 og 2010 utan iðnaðarsvæða (>4 km) og við iðnaðarsvæðin í Reyðarfirði, á Grundartanga og við Straumsvík. Lóðrétt strik tákna staðalskekkju. Niðurstöður samanburðar svæða (Sv), ára (Ár) og samspils svæða og ára (Sv x Ár) eru sýndar t.h. Niðurstöður samanburðar milli ára fyrir einstök svæði eru neðst á sulum. Innan sviga er fjöldi sýna. Marktækur munur: *** = $p < 0,001$, ** = $p < 0,01$, EM = ekki marktækt.

32. mynd (til hægri). Styrkur (mg/kg) króms (Cr) í mosa árið 2010 við iðjuverin í Reyðarfirði, á Grundartanga og í Straumsvík. Mismunandi litir sýna mengunarflokka byggða á reiknuðum mengunarstuðlum (MS), sjá 3. töflu.

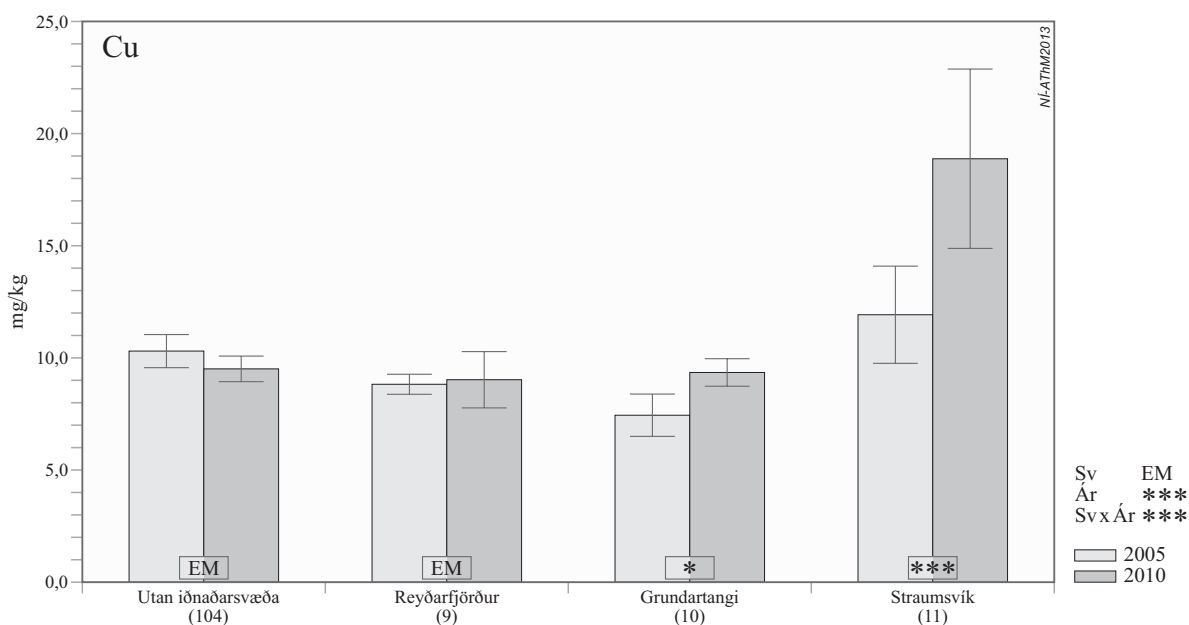


Kopar (Cu)

Samanburður á styrk kopars við iðjuverin og utan þeirra árin 2005 og 2010 sýndi ekki marktækan mun á svæðum en marktækur munur var hins vegar á milli ára. Samspil ára og svæða var marktækt (33. mynd) sem þýðir að styrkur kopars hafði breyst mismikið eftir svæðum. Utan iðnaðarsvæða og í Reyðarfirði breyttist styrkur kopars í mosa ekki marktækt frá 2005 til 2010. Marktæk aukning varð hins vegar á Grundartanga og við Straumsvík á milli ára.

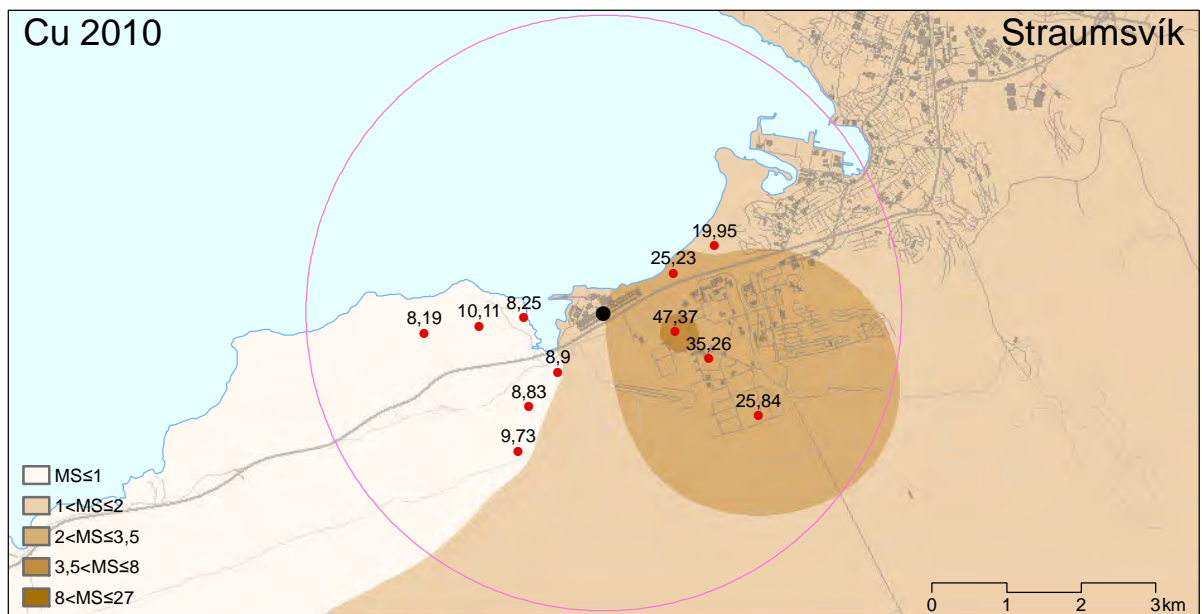
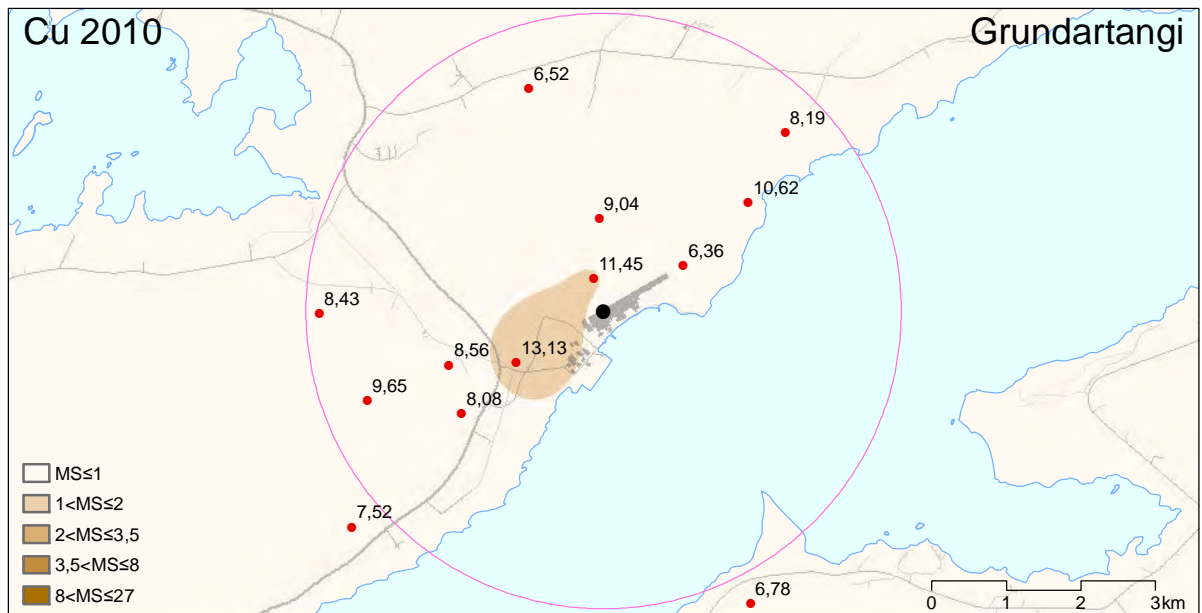
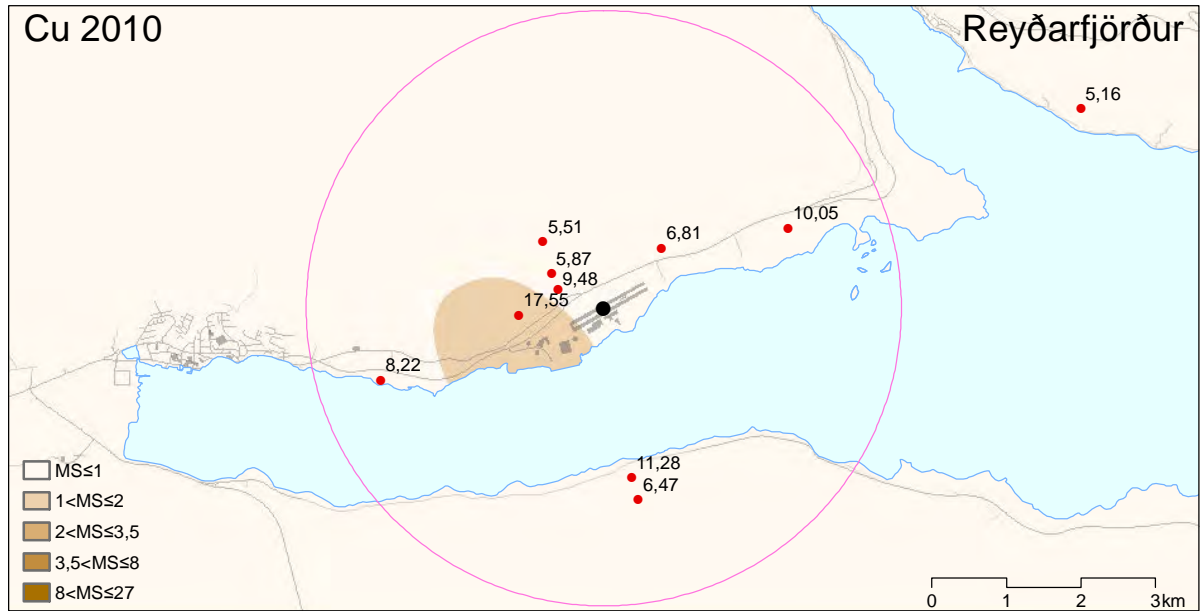
Dreifing kopars í mosasýnum við iðnaðarsvæðin þrjú er mjög misjöfn. Í Reyðarfirði er ekki að sjá mikil áhrif á styrk kopars sem tengist álverinu (34. mynd). Hæsta gildi kopars er þó norðvestur af verksmiðjunni (17,55 mg/kg) og styrkur lækkar yfirleitt með aukinni fjarlægð. Á Grundartanga er styrkur kopars hæstur um 1 km norðvestan við verksmiðjurnar (13,13 mg/kg) en annars er styrkur kopars nokkuð svipaður í næsta nágrenni þeirra. Í Straumsvík var styrkur kopars mjög mishár í nágrenni álversins. Hann var langhæstur (25,23-47,43 mg/kg) í sýnum sem tekin voru 1,0-2,5 km austan og suðaustan við verið en mun lægri vestan þess (34. mynd).

Samkvæmt reiknuðum mengunarstuðlum er mengun af völdum kopars mjög misjöfn á iðnaðarsvæðunum. Í Reyðarfirði og á Grundartanga var styrkur kopars í mosa árið 2010 alls staðar í tveimur lægstu mengunarflokkunum, þ.e. annaðhvort *engin mengun* eða *vísbinding um mengun*. Í Straumsvík var þessu öðru vísi varið því austur af verksmiðjunni var styrkur kopars það hár að þar flokkast mengun sem *nokkur* eða *veruleg* (34. mynd).



33. mynd. Styrkur (mg/kg) kopars (Cu) í mosa árið 2005 og 2010 utan iðnaðarsvæða (>4 km) og við iðnaðarsvæðin í Reyðarfirði, á Grundartanga og við Straumsvík. Lóðrétt strik tákna staðalskekkju. Niðurstöður samanburðar svæða (Sv) ára (Ár) og samspils svæða og ára (Sv x Ár) eru sýndar t.h. Niðurstöður samanburðar milli ára fyrir einstök svæði eru neðst á sulum. Innan sviga er fjöldi sýna. Marktækur munur: *** = $p < 0,001$, * = $p < 0,05$, EM = ekki marktækt.

34. mynd (til hægri). Styrkur (mg/kg) kopars (Cu) í mosa árið 2010 við iðjuverin í Reyðarfirði, á Grundartanga og í Straumsvík. Mismunandi litir sýna mengunarflokka byggða á reiknuðum mengunarstuðlum (MS), sjá 3. töflu.

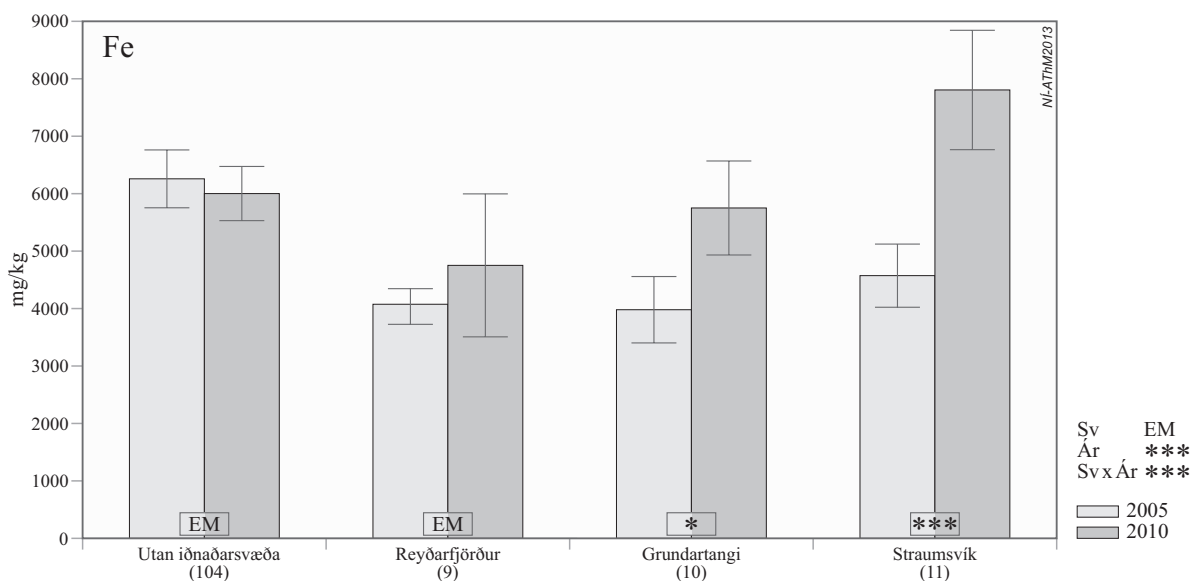


Járn (Fe)

Samanburður á styrk járn í mosa við iðjuverin og utan þeirra árin 2005 og 2010 sýndi ekki marktækan mun á svæðum en marktækur munur var hins vegar á milli ára. Samspil ára og svæða var marktækt (35. mynd). Á landinu utan iðnaðarsvæða varð ekki marktæk breyting á styrk járn frá 2005 til 2010 og sama var að segja um sýni í Reyðarfirði. Á Grundartanga og við Straumsvík jókst styrkur járn hins vegar marktækt á þessum tíma.

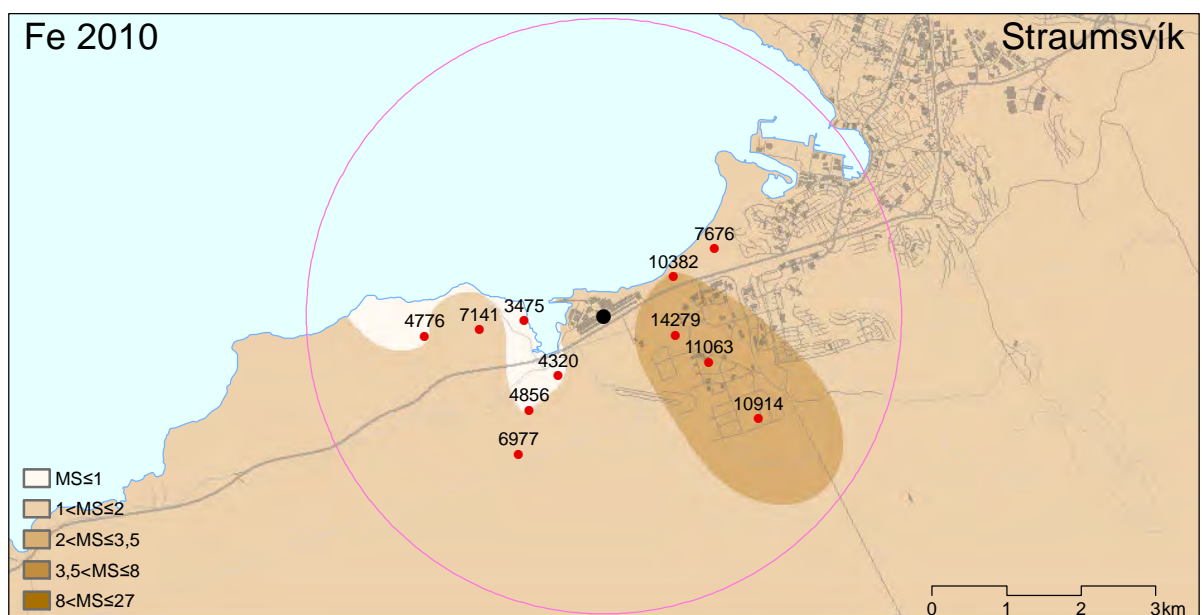
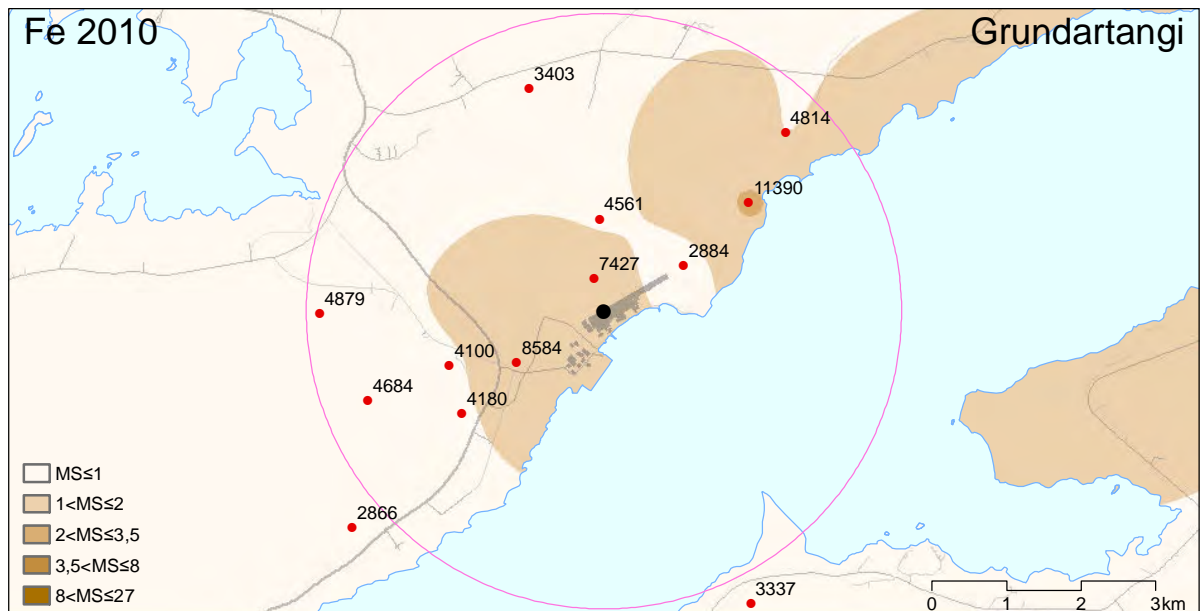
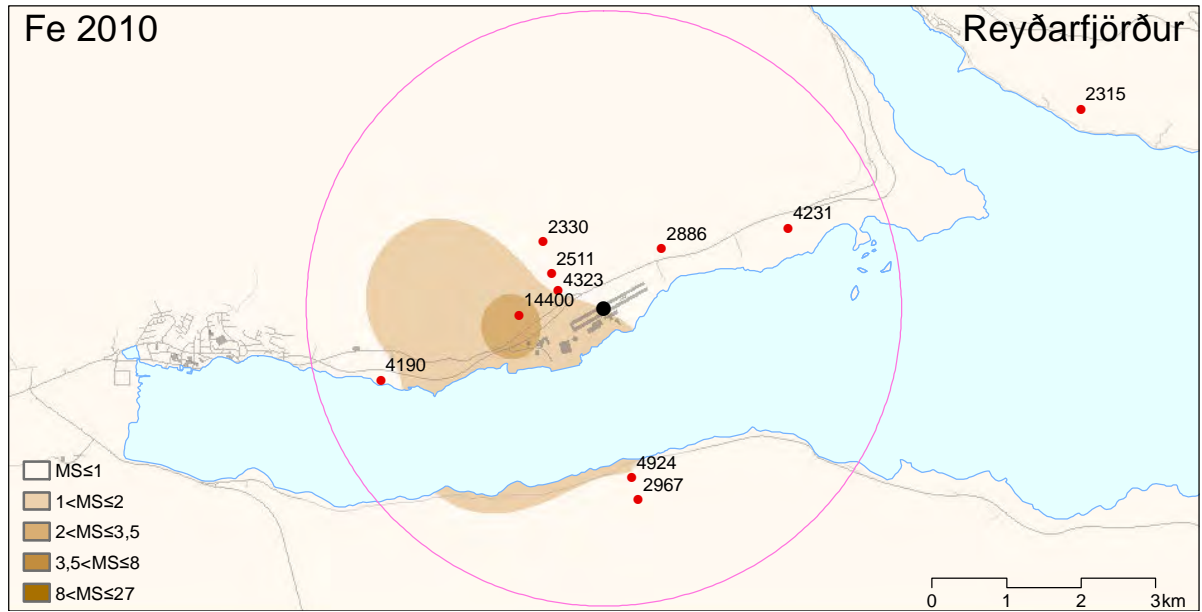
Dreifing járn í mosa er misjöfn á iðnaðarsvæðunum þremur. Í Reyðarfirði er styrkur járn hæstur í sýni sem tekið var um 1,1 km norðvestan við álverið (14.400 mg/kg) og styrkur efnisins lækkar yfirleitt innan fjarðarins með aukinni fjarlægð þaðan (36. mynd). Á Grundartanga er hæsta gildið um 2,4 km norðaustan við verksmiðjurnar en ekki er um greinilegan fallanda með aukinni fjarlægð frá þeim að ræða. Í Straumsvík eru hæstu gildin (10.382-14.279 mg/kg) austan og suðaustan við álverið í 1-2,5 km fjarlægð (36. mynd).

Miðað við reiknaða mengunarstuðla flokkast styrkur járn í mosa í Reyðarfirði árið 2010 í þrjú flokka (36. mynd). Í stærstum hluta fjarðarins telst mengun lítil. Aðeins í einu sýni, sem tekið var um 1100 m vestan við verksmiðjuna er styrkur járn það hár að mengun telst *smávægileg*. Á Grundartanga er svipaða sögu að segja. Þar var styrkur járn nánast alls staðar í tveimur lágstu flokkunum. Eitt sýni um 2 km norðaustan við verksmiðjurnar flokkast sem *smávægileg mengun*. Við Straumsvík er nokkuð annað uppi á teningnum því að styrkur járn er í nágrenni versins víðast í 2. mengunarflokki og suðaustur af verinu lenda þrjú sýni flokknum *smávægileg mengun*.



35. mynd. Styrkur (mg/kg) járn (Fe) í mosa árið 2005 og 2010 utan iðnaðarsvæða (>4 km) og við iðnaðarsvæðin í Reyðarfirði, á Grundartanga og við Straumsvík. Lóðrétt strik tákna staðalskekku. Niðurstöður samanburðar svæða (Sv) ára, (Ár) og samspils svæða og ára (Sv x Ár) eru sýndar t.h. Niðurstöður samanburðar milli ára fyrir einstök svæði eru neðst á sulum. Innan sviga er fjöldi sýna. Marktækur munur: *** = $p < 0,001$, * = $p < 0,05$, EM = ekki marktækt.

36. mynd (til hægri). Styrkur (mg/kg) járn (Fe) í mosa árið 2010 við iðjuverin í Reyðarfirði, á Grundartanga og í Straumsvík. Mismunandi litir sýna mengunarflokka byggða á reiknuðum mengunarstuðlum (MS), sjá 3. töflu.

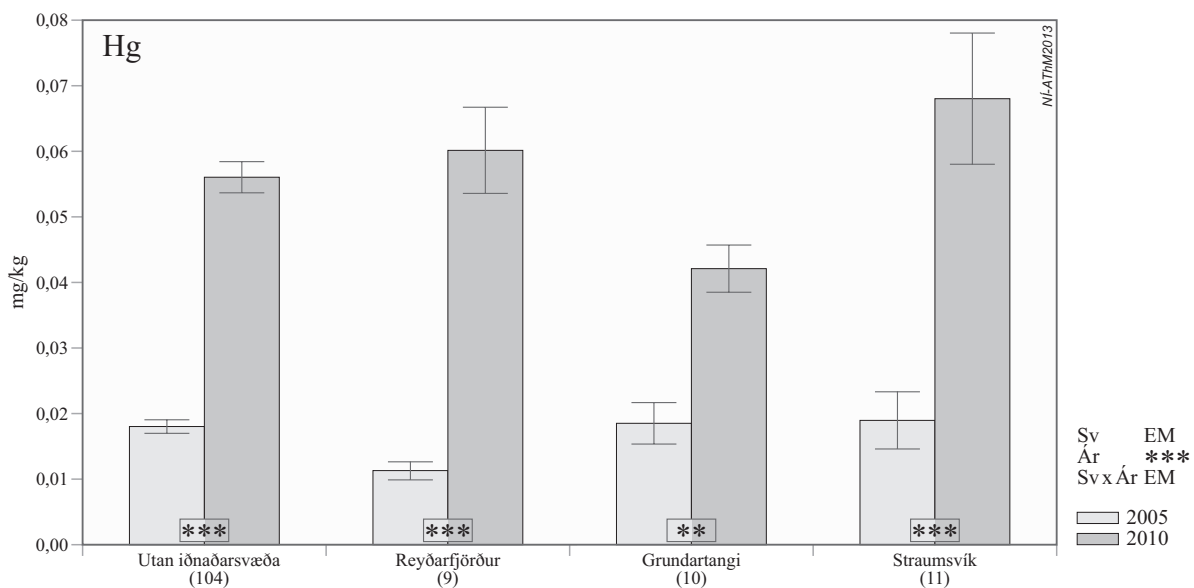


Kvikasilfur (Hg)

Samanburður á styrk kvikasilfurs við iðjuverin og á landinu í heild utan þeirra árin 2005 og 2010 gaf ekki marktækan mun milli svæða en mikill munur var á milli ára (37. mynd). Á öllum svæðunum var styrkur kvikasilfurs tvöfalt hærri eða meiri árið 2010 en 2005.

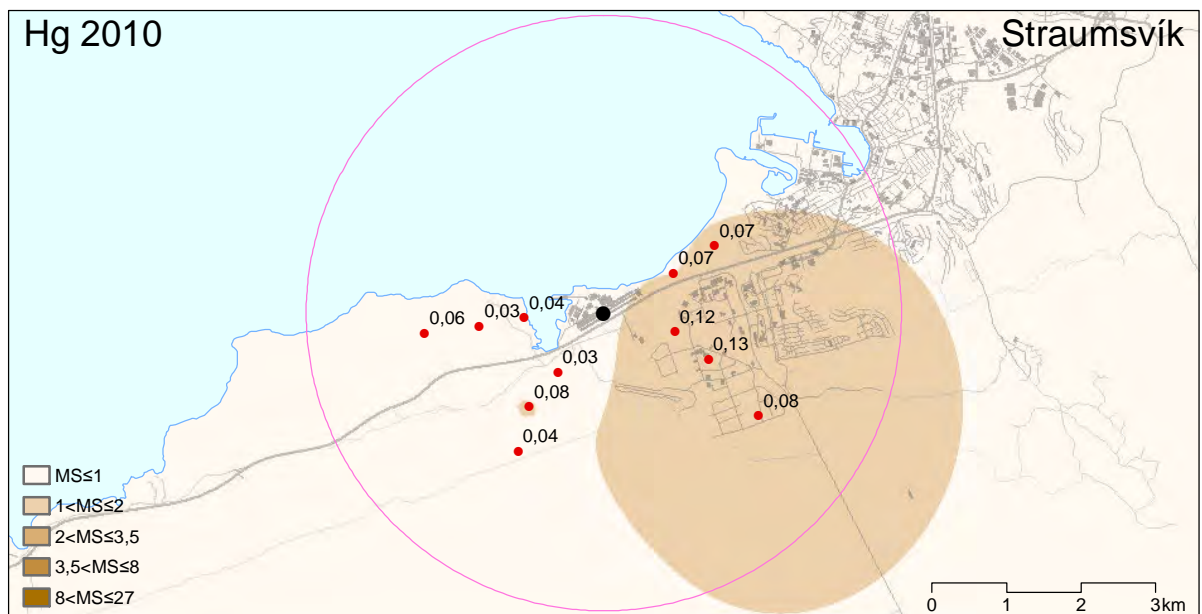
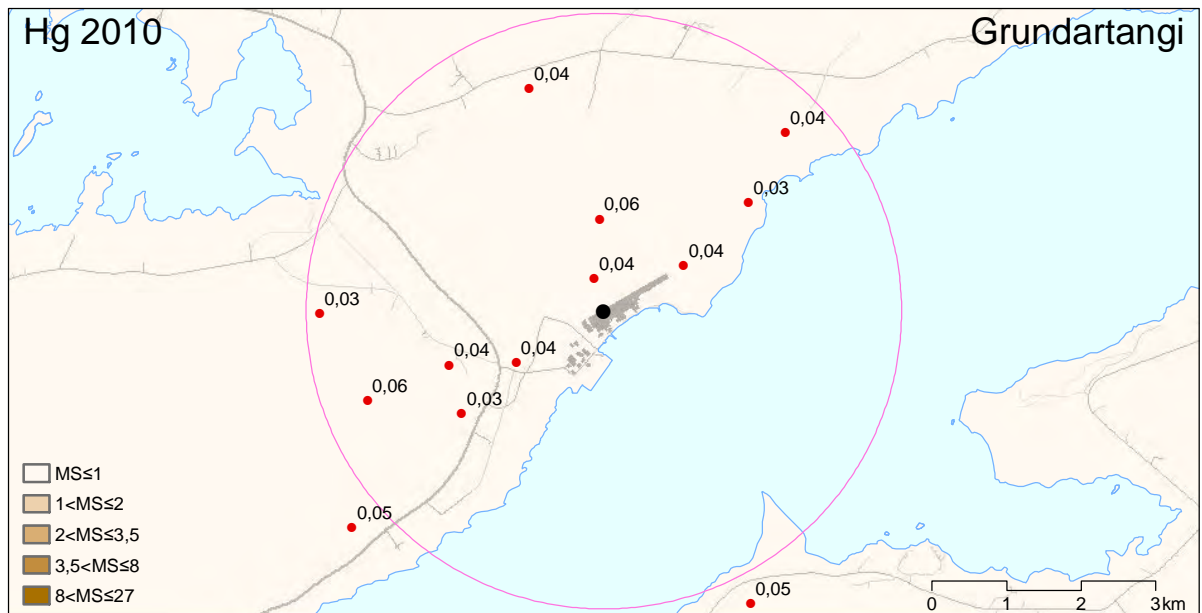
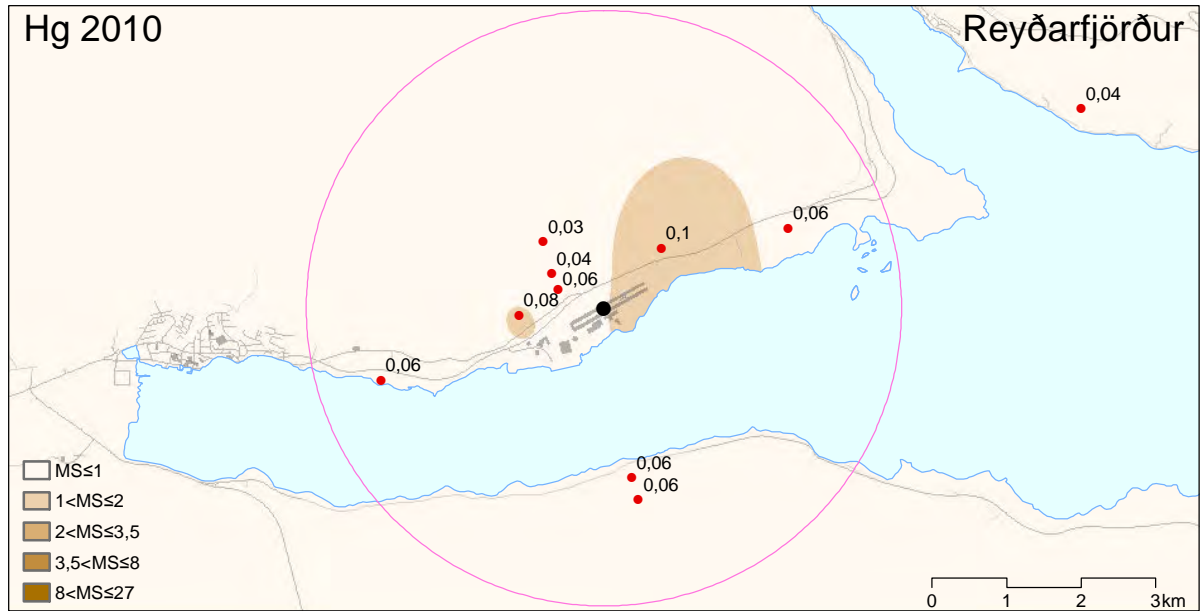
Styrkur kvikasilfurs árið 2010 í Reyðarfirði og á Grundartanga gefur ekki til kynna mikinn mun innan svæðanna. Í Straumsvík var styrkur kvikasilfurs hins vegar nokkuð hærri austur af álverinu en annars staðar í nágrenninu (38. mynd).

Miðað við reiknaða mengunarstuðla var mengun af völdum kvikasilfurs á öllum iðnaðarsvæðunum í tveimur lágstu mengunarflokkunum, þ.e. *engin* eða að *vísbending er um mengun* (38. mynd).



37. mynd. Styrkur (mg/kg) kvikasilfurs (Hg) í mosa árið 2005 og 2010 utan iðnaðarsvæða (>4 km) og við iðnaðarsvæðin í Reyðarfirði, á Grundartanga og við Straumsvík. Lóðrétt strik tákna staðalskekkju. Niðurstöður samanburðar svæða (Sv), ára (Ár) og samspils svæða og ára (Sv x Ár) eru sýndar t.h. Niðurstöður samanburðar milli ára fyrir einstök svæði eru neðst á sulum. Innan sviga er fjöldi sýna. Marktækur munur: *** = $p < 0,001$, EM = ekki marktækt.

38. mynd (til hægri). Styrkur (mg/kg) kvikasilfurs (Hg) í mosa árið 2010 við iðjuverin í Reyðarfirði, á Grundartanga og í Straumsvík. Mismunandi litir sýna mengunarflokka byggða á reiknuðum mengunarstuðlum (MS), sjá 3. töflu.

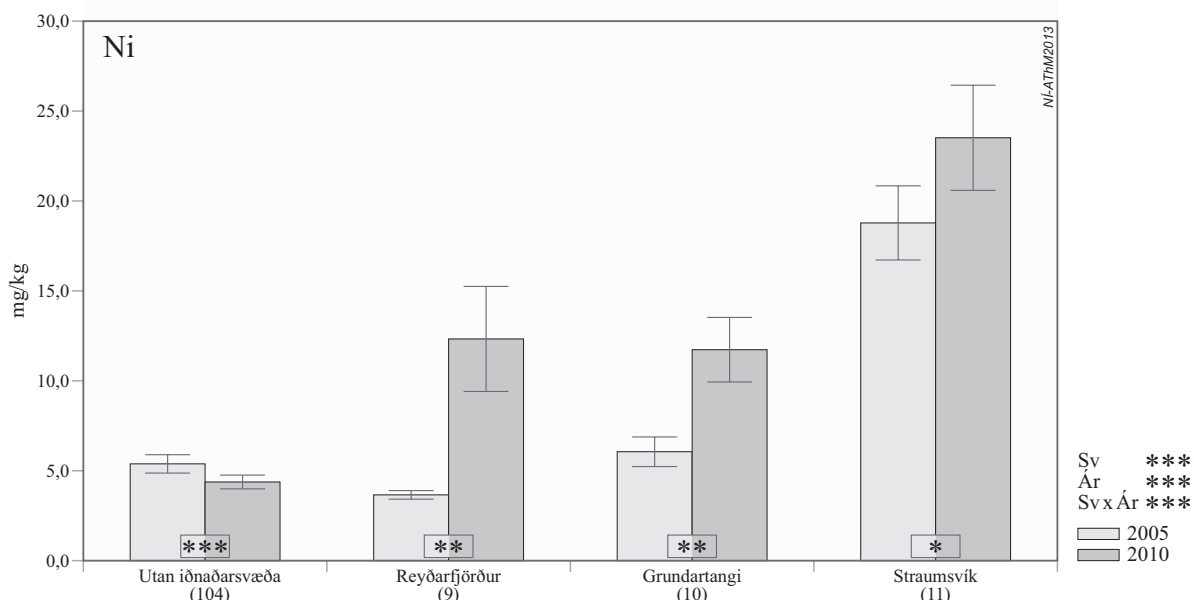


Nikkel (Ni)

Samanburður á styrk nikkels í mosa við iðnaðarsvæðin og á landinu í heild utan þeirra árin 2005 og 2010 sýndi marktækan mun milli svæða og ára (39. mynd). Samspil milli þessara þátta var einnig marktækt sem þýðir að styrkur hafði breyst mismikið eftir svæðum. Árið 2005 var styrkur nikkels hæstur í Straumsvík (18,78±6,83 mg/kg) og sama var uppi á teningnum árið 2010 (23,51±9,70 mg/kg); bæði árin mun hærri en á hinum iðnaðarsvæðunum tveimur. Þá kemur einnig fram að styrkur nikkels lækkaði marktækt frá 2005 til 2010 á landinu utan iðnaðarsvæðanna en hækkaði hins vegar við öll iðjuverin á sama tíma, mest þó í Reyðarfirði (39. mynd).

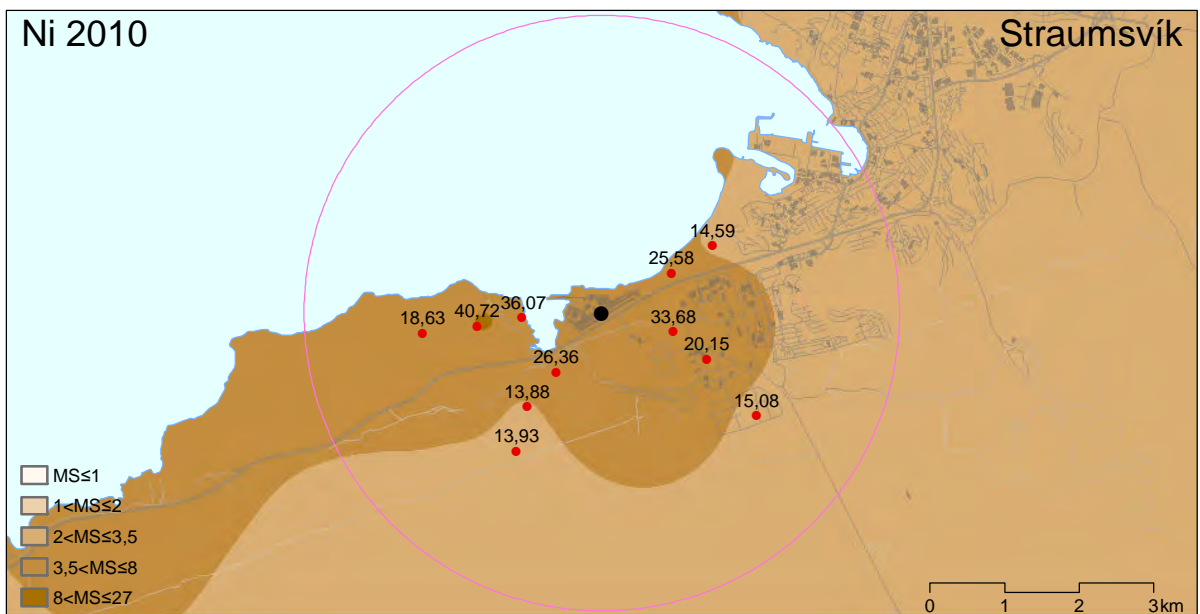
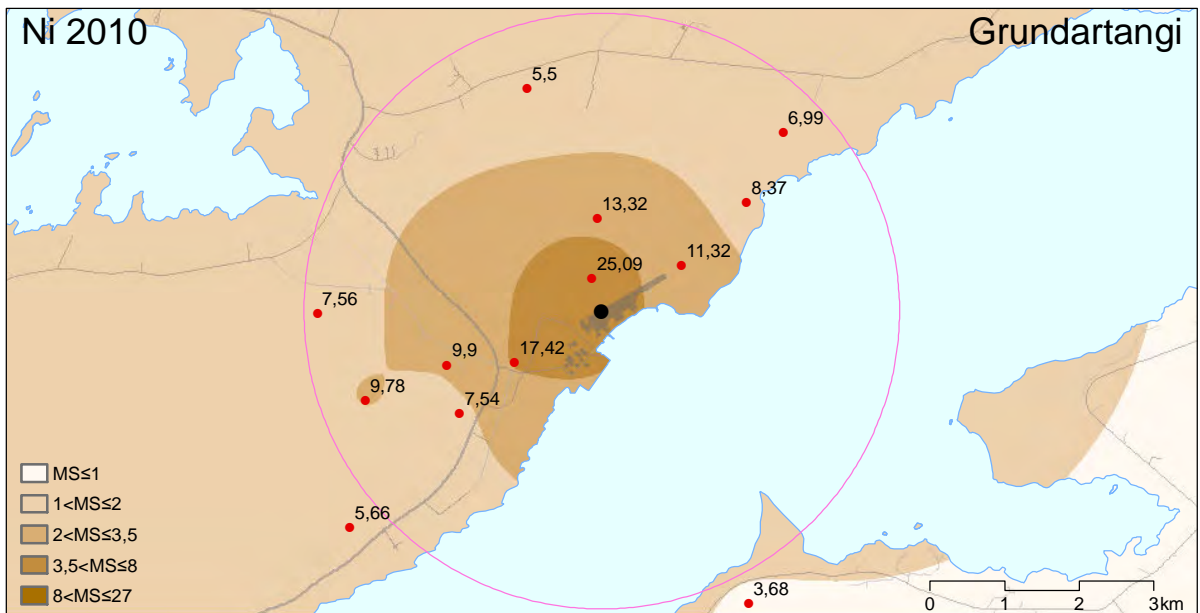
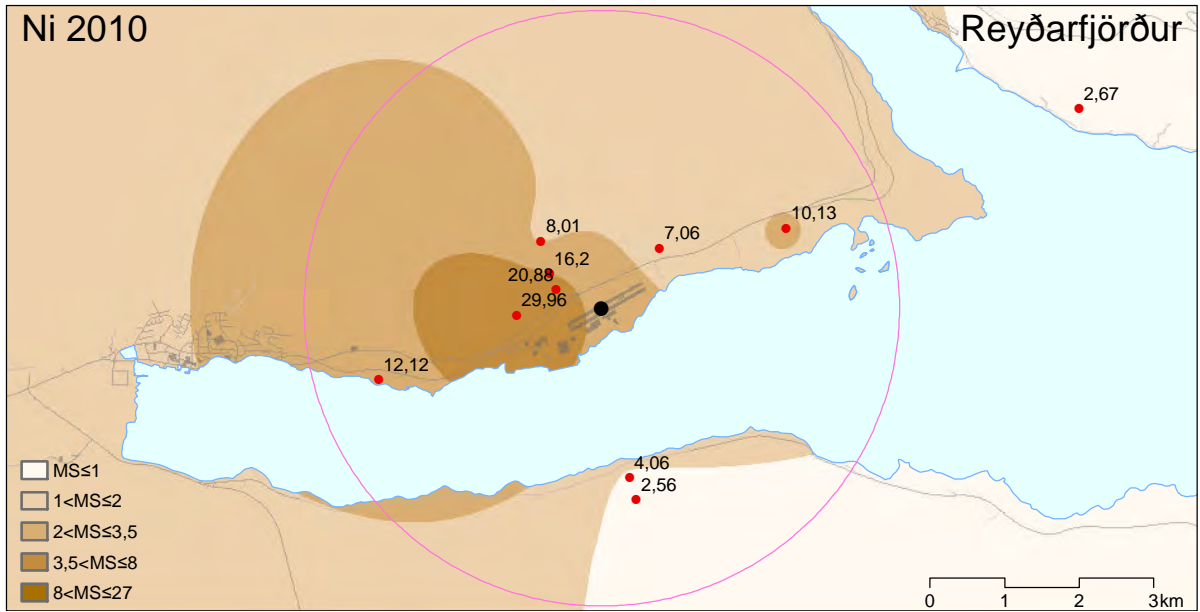
Árið 2010 var dreifingarmynstur nikkels svipað við öll iðjuverin (40. mynd). Styrkur var á öllum svæðum hæstur næst verksmiðjunum en lækkaði með aukinni fjarlægð. Í Reyðarfirði var dreifingin skekkt og var styrkur nikkels hæstur í sýni um 1,1 km vestur af verksmiðjunni (29,96 mg/kg). Á Grundartanga og í Straumsvík var dreifingarmynstrið hins vegar svipað til allra átta. Á Grundartanga var hæsta gildið 25,09 mg/kg en í Straumsvík 42,72 mg/kg.

Miðað við reiknaða mengunarstuðla flokkast styrkur nikkels í Reyðarfirði árið 2010 í fjóra mengunarflokka (40. mynd). Utarlega í firðinum telst mengun *engin* en vestan við verksmiðjuna er hún á allstóru svæði í 3.-4. mengunarflokki, þ.e. *smávægileg mengun* eða *nokkur mengun*. Á Grundartanga var styrkur nikkels í nágrenni iðjuveranna víðast hvar í öðrum mengunarflokki en næst verksmiðjunum var styrkur það hár að mengun flokkast sem *smávægileg* eða *nokkur*. Í nágrenni álversins í Straumsvík flokkast öll sýni í 3-5. mengunarflokk. Mengun af völdum nikkels telst því vera *smávægileg* upp í það að vera *veruleg* (40. mynd).



39. mynd. Styrkur (mg/kg) nikkels (Ni) í mosa árið 2005 og 2010 utan iðnaðarsvæða (>4 km) og við iðnaðarsvæðin í Reyðarfirði, á Grundartanga og við Straumsvík. Lóðrétt strik tákna staðalskekku. Niðurstöður samanburðar svæða (Sv), ára (Ár) og samspils svæða og ára (Sv x Ár) eru sýndar t.h. Niðurstöður samanburðar milli ára fyrir einstök svæði eru neðst á sulum. Innan sviga er fjöldi sýna. Marktækur munur: *** = $p < 0,001$, ** = $p < 0,01$, * = $p < 0,05$, EM = ekki marktækt.

40. mynd (til hægri). Styrkur (mg/kg) nikkels (Ni) í mosa árið 2010 við iðjuverin í Reyðarfirði, á Grundartanga og í Straumsvík. Mismunandi litir sýna mengunarflokka byggða á reiknuðum mengunarstuðlum (MS), sjá 3. töflu.

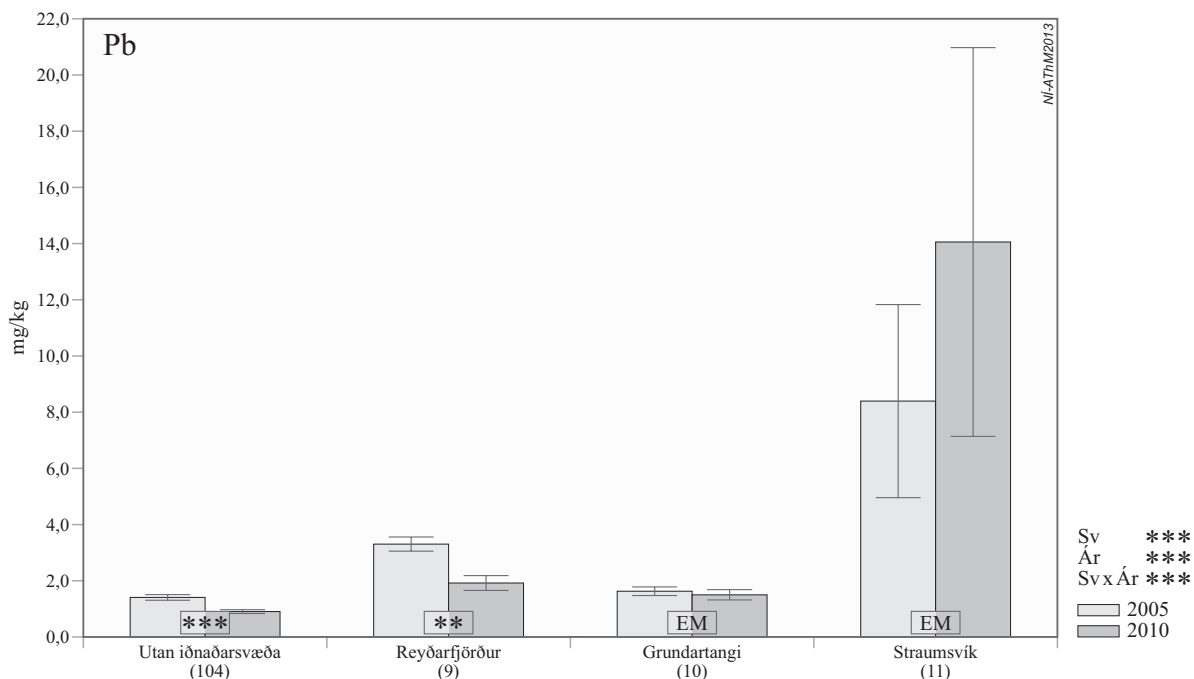


Blý (Pb)

Samanburður á styrk blýs í mosa við iðnaðarsvæðin og utan þeirra árin 2005 og 2010 sýndi marktækan mun á milli svæða og ára (41. mynd). Samspil milli svæða og ára var einnig marktækt. Á iðnaðarsvæðunum þremur var styrkur blýs að jafnaði langhæstur við Straumsvík. Styrkur blýs lækkaði marktækt frá 2005 til 2010 á landsvísu utan iðnaðarsvæða og í Reyðarfirði en hvorki urðu marktækar breytingar á styrk kvikasilfurs milli ára á Grundartanga né í Straumsvík (41. mynd).

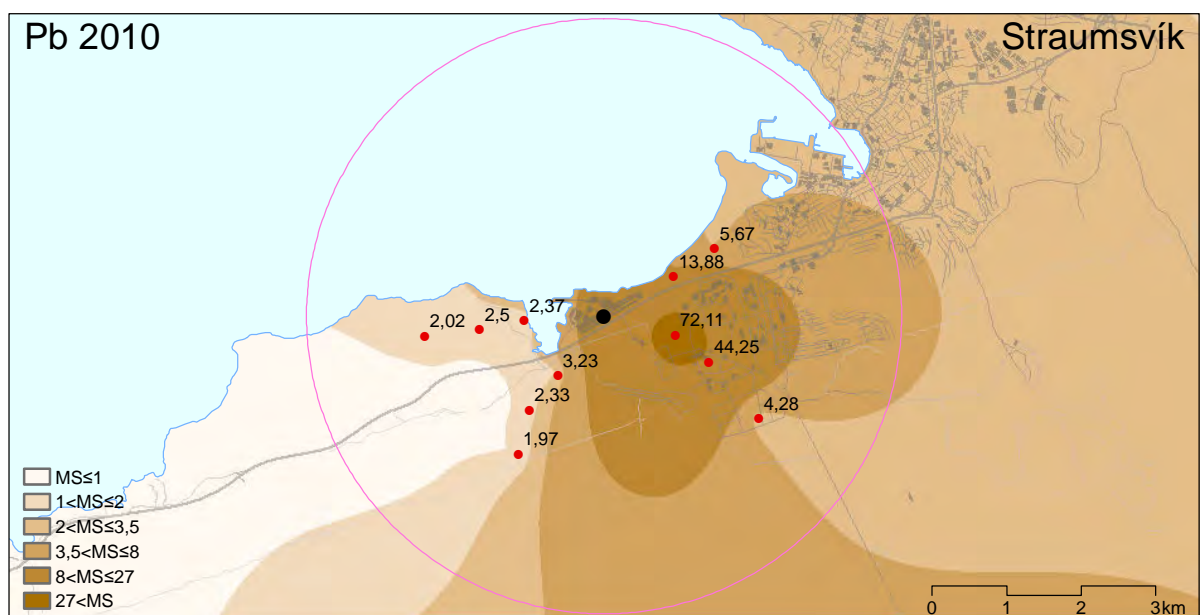
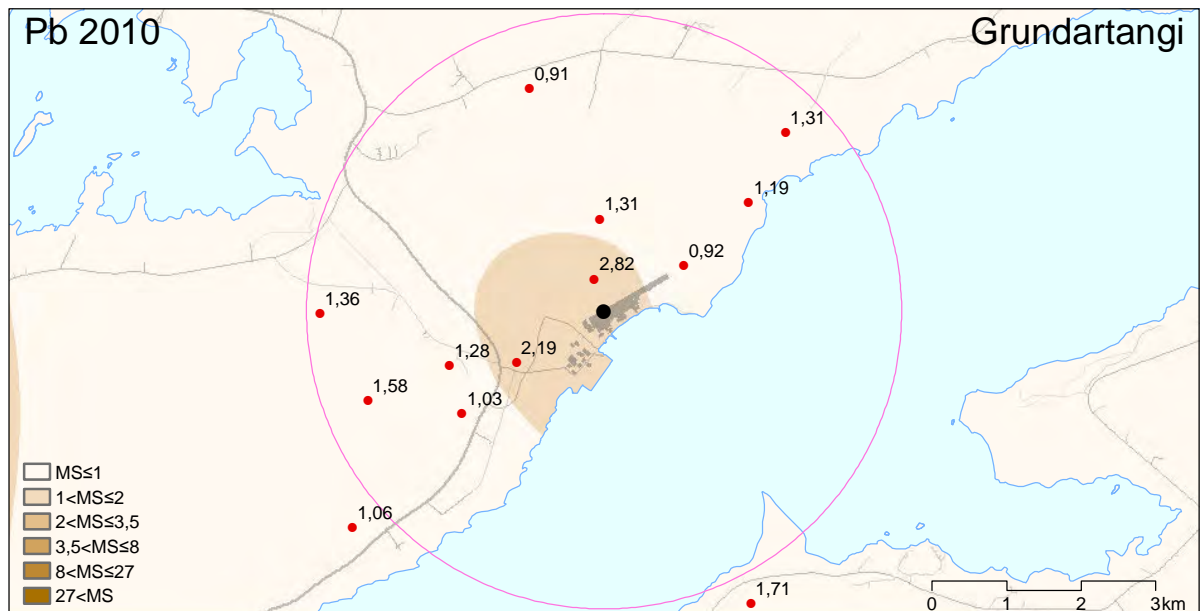
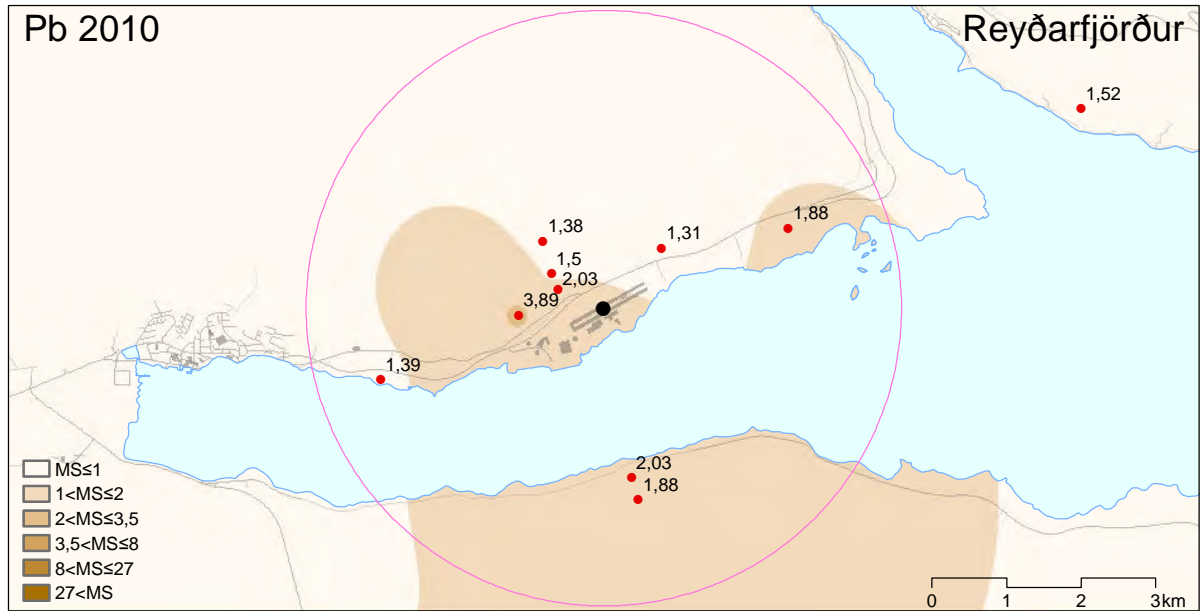
Útbreiðslumynstur blýs í nágrenni iðjuveranna árið 2010 sýnir að styrkur efnisins er yfirleitt hæstur næst þeim en fellur síðan með aukinni fjarlægð (42. mynd). Bæði í Reyðarfirði og á Grundartanga eru þessi áhrif mjög væg. Í Straumsvík er þungamiðja dreifingar um það bil 1-2 km austan við álverið en þar voru tvö hæstu gildin 44,25 mg/kg og 72,11 mg/kg. Þaðan fellur styrkurinn bratt til allra átta og var hann lægstur um 2 mg/kg 2-2,5 km vestan og suðvestan við álverið.

Miðað við reiknaða mengunarstuðla er mengun af völdum blýs afar misjöfn á iðnaðarsvæðunum. Bæði í Reyðarfirði og á Grundartanga er mengun lítil því að öll sýni falla þar í lægstu mengunarflokkana tvo (42. mynd). Í Straumsvík gegnir öðru máli því að þar er styrkur blýs sums staðar það hár að mengunin flokkast á allstóru svæði suðaustan við álverið sem *veruleg* og á einum stað fer hún í hæsta flokk sem telst *mjög mikil* mengun (42. mynd).



41. mynd. Styrkur (mg/kg) blýs (Pb) í mosa árið 2005 og 2010 utan iðnaðarsvæða (>4 km) og við iðnaðarsvæðin í Reyðarfirði, á Grundartanga og við Straumsvík. Lóðrétt strik tákna staðalskekkju. Niðurstöður samanburðar svæða (Sv), ára (Ár) og samspils svæða og ára (Sv x Ár) eru sýndar t.h. Niðurstöður samanburðar milli ára fyrir einstök svæði eru neðst á sulum. Innan sviga er fjöldi sýna. Marktækur munur: *** = $p < 0,001$, ** = $p < 0,01$, EM = ekki marktækt.

42. mynd (til hægri). Styrkur (mg/kg) blýs (Pb) í mosa árið 2010 við iðjuverin í Reyðarfirði, á Grundartanga og í Straumsvík. Mismunandi litir sýna mengunarflokka byggða á reiknuðum mengunarstuðlum (MS), sjá 3. töflu.

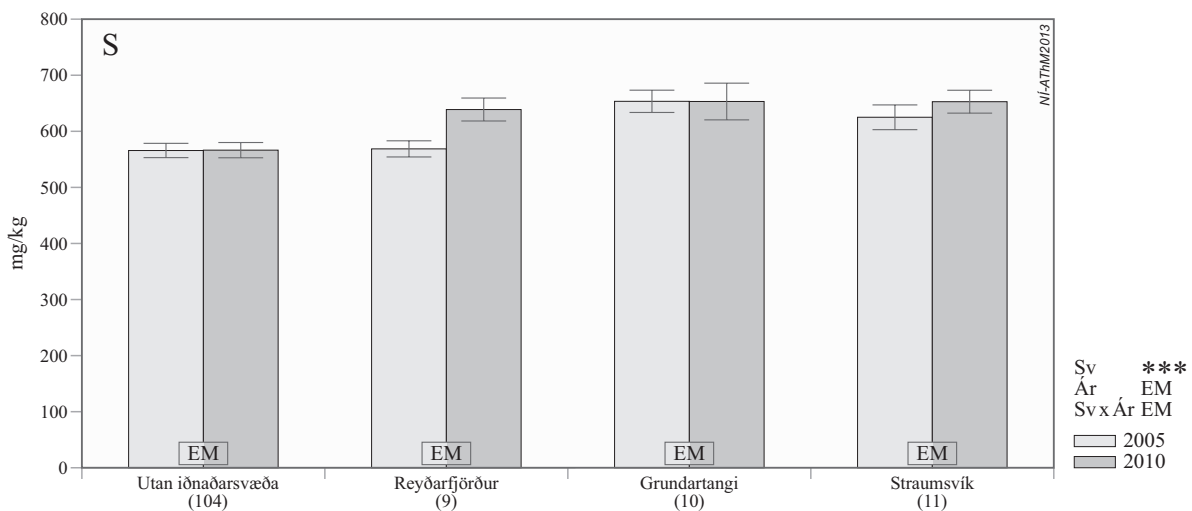


Brennisteinn (S)

Samanburður á styrk brennisteins í mosa í nágrenni iðjuveranna og á landsvísu utan þeirra árin 2005 og 2010 sýndi marktækan mun á milli svæða en ekki á milli ára. Samspil milli svæða og ára var ekki marktækt (43. mynd). Að jafnaði var styrkur brennisteins hærri á iðnaðarsvæðunum en utan þeirra.

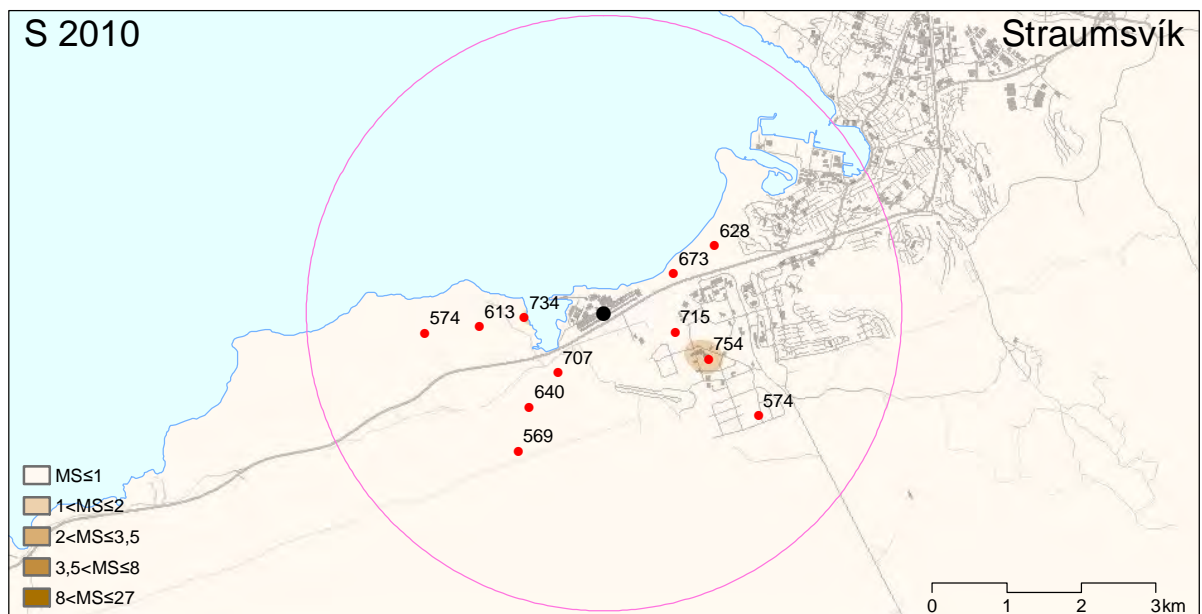
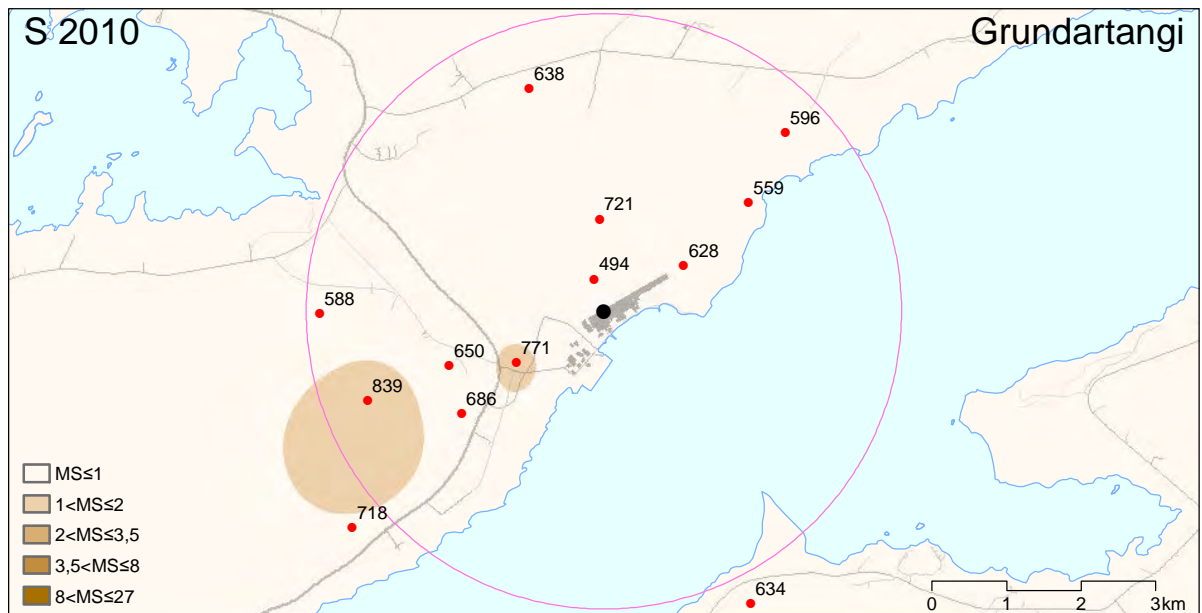
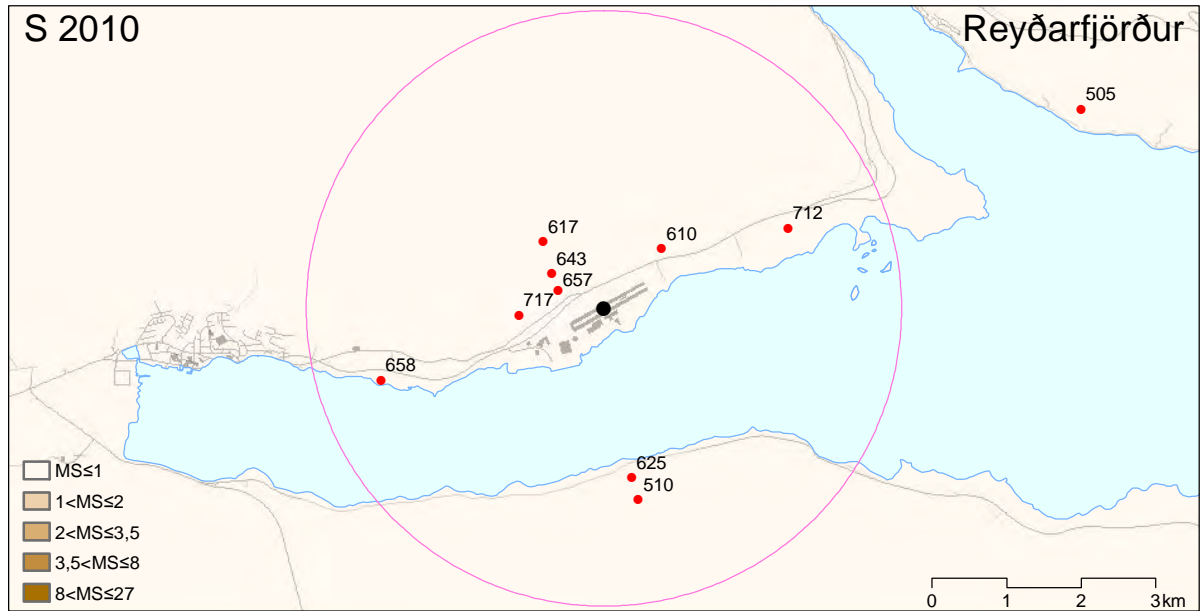
Útbreiðslumynstur brennisteins árið 2010 í nágrenni iðjuveranna er misjafnt eftir svæðum (44. mynd). Í Reyðarfirði var styrkur brennisteins nokkuð jafn næst verksmiðjunni en var hæstur um 1,1 km vestan við hana (717 mg/kg) og í sýni sem tekið var um 2,7 km austan hennar (712 mg/kg). Styrkurinn var síðan talsvert lægri þegar kemur út að Ljósá (505 mg/kg) sem er um 7 km utan við verksmiðjuna og að Seljateig (586 mg/kg) sem er um 10 km innar í firðinum. Næst verksmiðjunum á Grundartanga er dreifingarmynstur brennisteins ekki mjög skýrt. Einna hæstur er styrkurinn suðvestur af verksmiðjunum uppi í hlíðum Akrafjallsins (650-839 mg/kg) en lægstur (494 mg/kg) í sýni sem tekið var skammt norðan við þær. Í Straumsvík var styrkur brennisteins hæstur næst verksmiðjunni en lækkaði síðan með aukinni fjarlægð.

Þegar miðað er við reiknaða mengunarstuðla fyrir brennistein er mengun á öllum svæðunum lítil. Í Reyðarfirði eru öll gildi í lægsta mengunarflokki, *engin mengun*, en á Grundartanga og í Straumsvík eru þau í tveimur lægstu flokkunum (44. mynd).



43. mynd. Styrkur (mg/kg) brennisteins (S) í mosa árið 2005 og 2010 utan iðnaðarsvæða (>4 km) og við iðnaðarsvæðin í Reyðarfirði, á Grundartanga og við Straumsvík. Lóðrétt strik tákna staðalskekkju. Niðurstöður samanburðar svæða (Sv), ára (Ár) og samspils svæða og ára (Sv x Ár) eru sýndar t.h. Niðurstöður samanburðar milli ára fyrir einstök svæði eru neðst á sulum. Innan sviga er fjöldi sýna. Marktækur munur: *** = $p < 0,001$, EM = ekki marktækt.

44. mynd (til hægri). Styrkur (mg/kg) brennisteins (S) í mosa árið 2010 við iðjuverin í Reyðarfirði, á Grundartanga og í Straumsvík. Mismunandi litir sýna mengunarflokka byggða á reiknuðum mengunarstuðlum (MS), sjá 3. töflu.

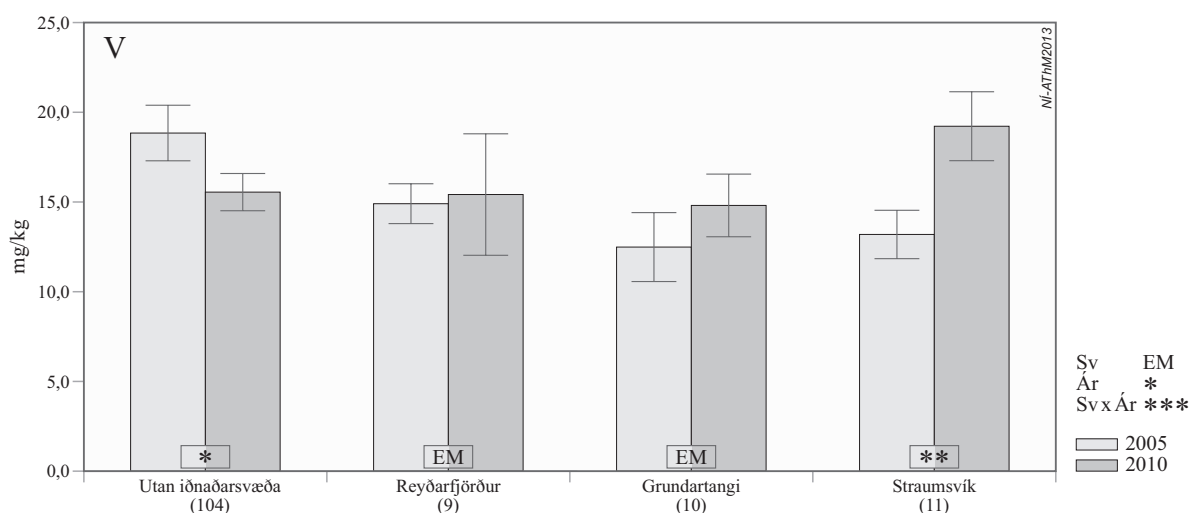


Vanadín (V)

Samanburður á styrk vanadíns í mosa í nágrenni iðjuveranna og utan þeirra árin 2005 og 2010 sýndi ekki marktækan mun á milli svæða en aftur á móti á milli ára. Samspil svæða og ára var einnig marktækt (45. mynd). Utan iðnaðarsvæða lækkaði styrkur vanadíns marktækt frá 2005 til 2010 en hækkaði hins vegar í Straumsvík. Engin marktæk breyting varð á milli ára á hinum svæðunum tveimur.

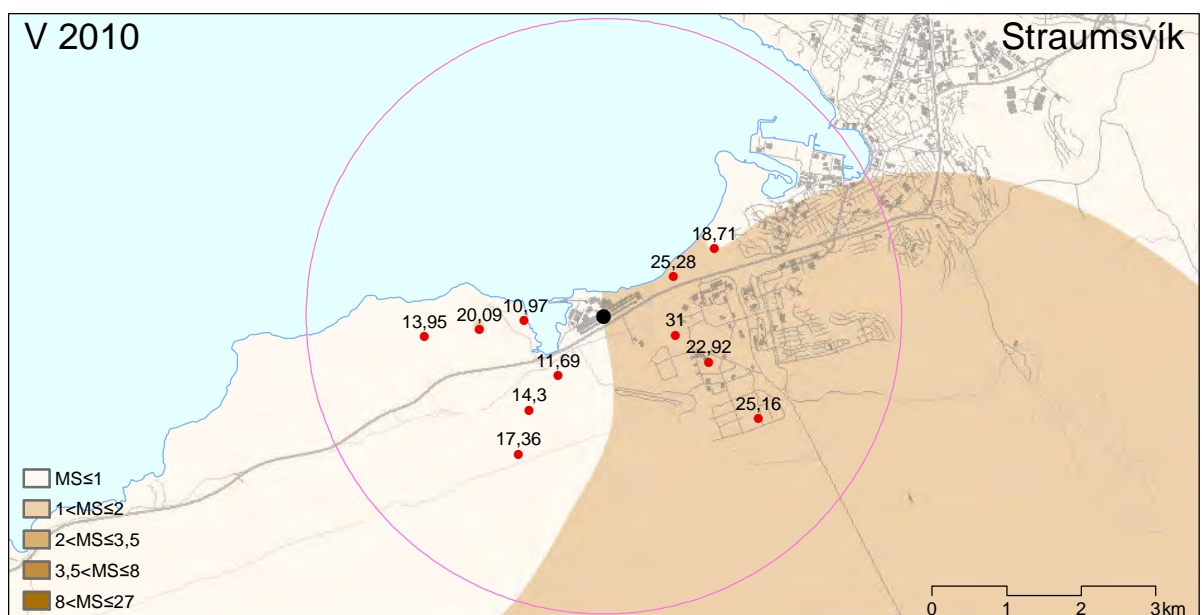
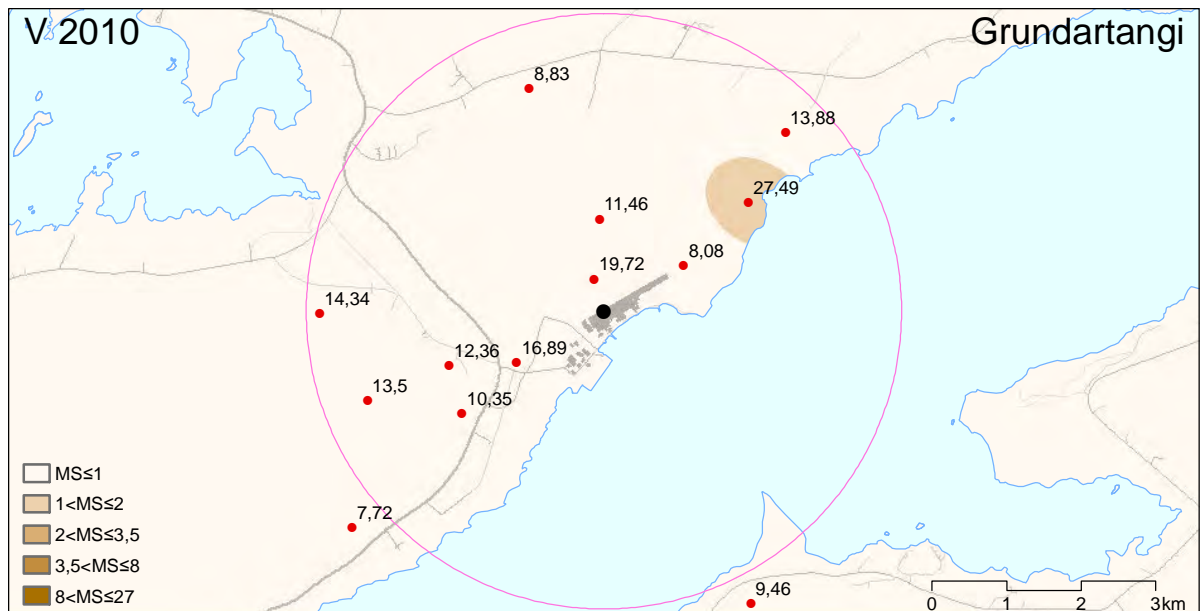
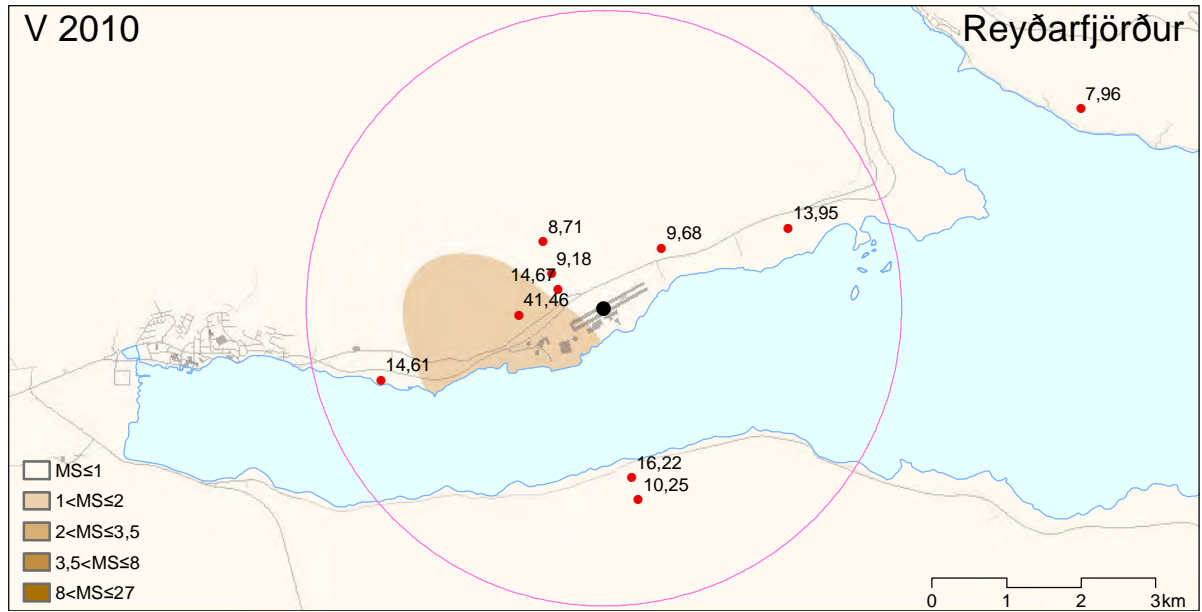
Í Reyðarfirði var styrkur vanadíns árið 2010 hæstur (41,46 mg/kg) í sýni um 1,1 km vestan við verksmiðjuna en lækkaði þaðan innan fjarðar yfirleitt til allra átta (46. mynd). Í nágrenni verk-smiðjanna á Grundartanga var styrkur vanadíns allbreytilegur en ekki var að sjá þar greinilegt útbreiðslumynstur. Við Straumsvík var útbreiðslumynstur vanadíns ekki heldur mjög greinilegt en styrkur þess var þó hæstur austan og suðaustan við álverið, alls staðar yfir 22 mg/kg.

Miðað við reiknaða mengunarstuðla telst mengun vegna vanadíns frekar lítil á öllum iðnaðarsvæðunum þremur (46. mynd). Bæði á Grundartanga og í Straumsvík falla öll sýni í tvo lægstu mengunarflokkana en í Reyðarfirði er eitt sýni í þriðja mengunarflokki; *lítillsháttar mengun*.



45. mynd. Styrkur (mg/kg) vanadíns (V) í mosa árið 2005 og 2010 utan iðnaðarsvæða (>4 km) og við iðnaðarsvæðin í Reyðarfirði, á Grundartanga og við Straumsvík. Lóðrétt strik tákna staðalskekkju. Niðurstöður samanburðar svæða (Sv), ára (Ár) og samspils svæða og ára (Sv x Ár) eru sýndar t.h. Niðurstöður samanburðar milli ára fyrir einstök svæði eru neðst á sulum. Innan sviga er fjöldi sýna. Marktækur munur: *** = $p < 0,001$, ** = $p < 0,01$, * = $p < 0,05$, EM = ekki marktækt.

46. mynd (til hægri). Styrkur (mg/kg) vanadíns (V) í mosa árið 2010 við iðjuverin í Reyðarfirði, á Grundartanga og í Straumsvík. Mismunandi litir sýna mengunarflokka byggða á reiknuðum mengunarstuðlum (MS), sjá 3. töflu.

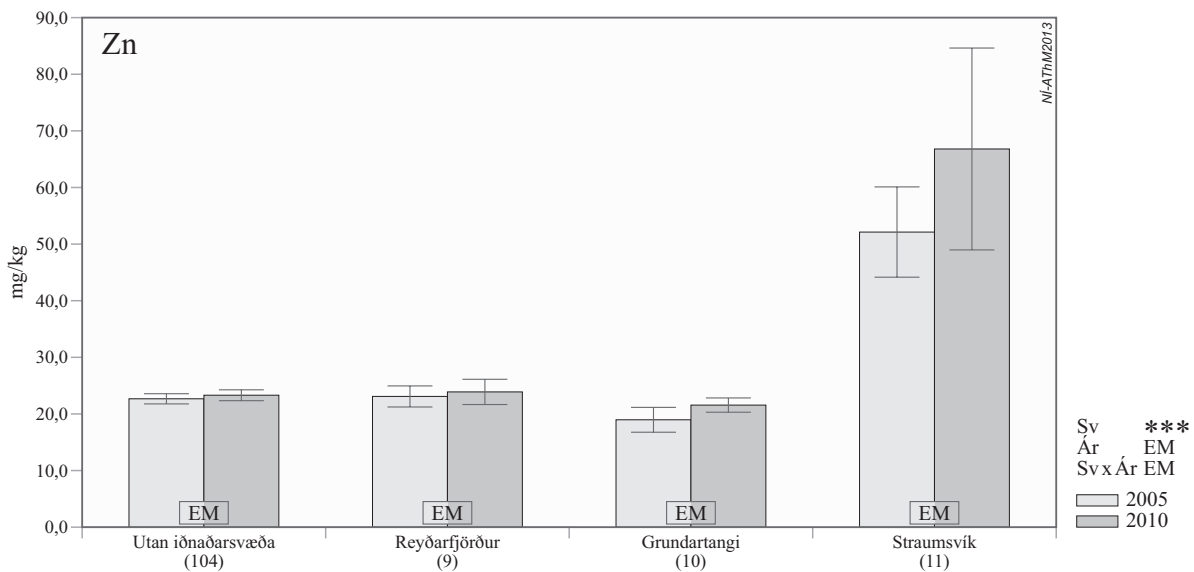


Sink (Zn)

Við samanburð á styrk sinks í mosa í nágrenni iðjuveranna og utan þeirra árin 2005 og 2010 kom fram marktækur munur á svæðum en hvorki milli ára né á samspili þessara þátta (47. mynd). Bæði árið 2005 og 2010 var styrkur sinks meira en tvöfalt hærri við Straumsvík en annars staðar.

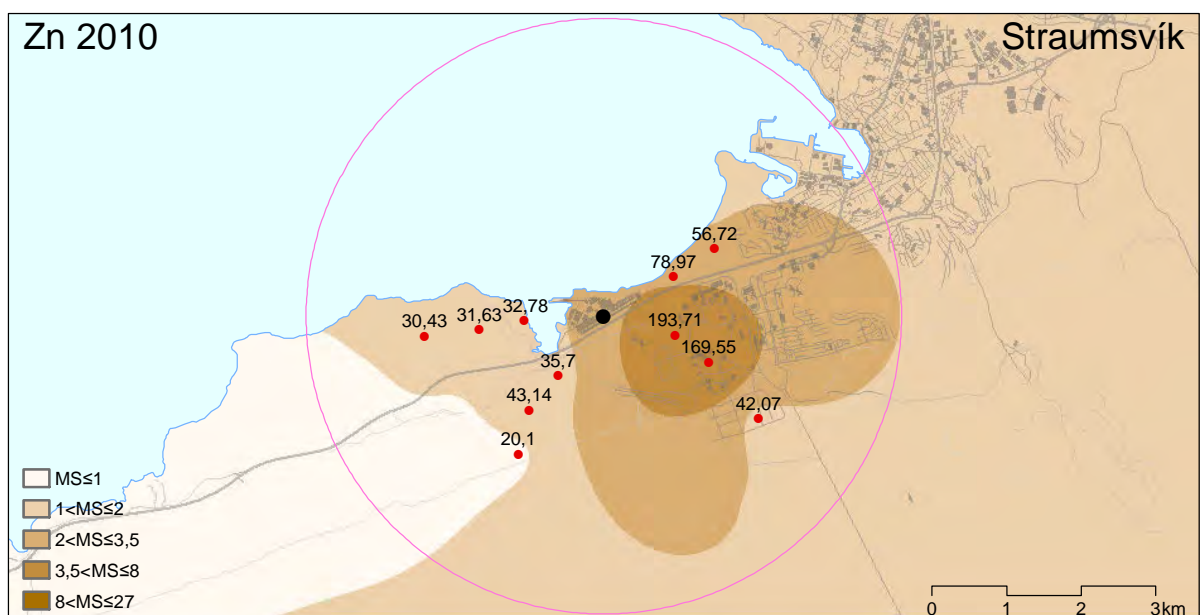
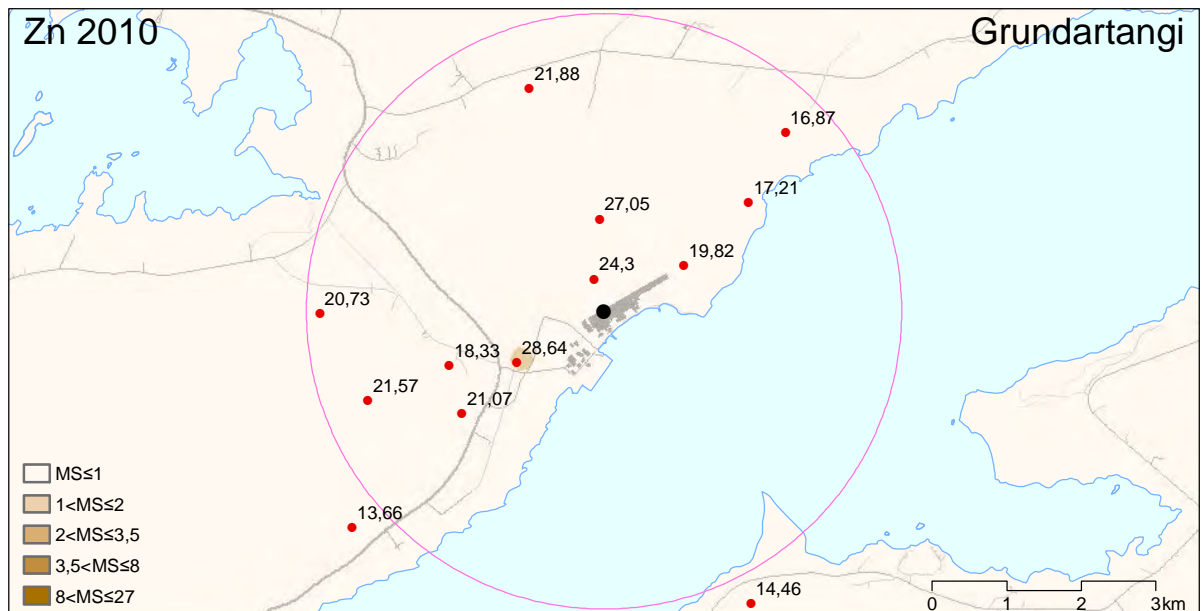
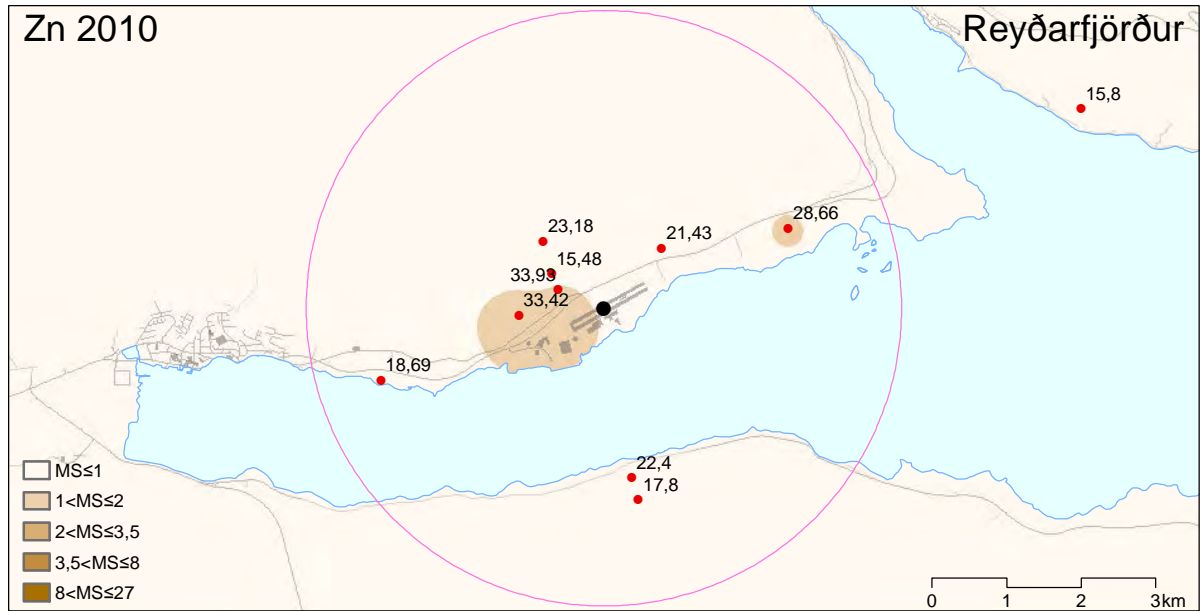
Í Reyðarfirði var styrkur sinks með þeim hætti að ekki var auðvelt að greina þar sterkt útbreiðslumynstur. Þó var styrkurinn einna hæstur norðvestan við verksmiðjuna (≈ 33 mg/kg) og í nágrenni hennar en talsvert lægri bæði við Ljósá um 7 km utar í firðinum (15,8 mg/kg) og við Seljateig (16,48 mg/kg) um 10 km innan við verksmiðjuna (48. mynd). Á Grundartanga var styrkur sinks hæstur vestan og norðan við verksmiðjurnar og lækkaði síðan að jafnaði með aukinni fjarlægð. Í Straumsvík var greinilegt útbreiðslumynstur því að þar var styrkur sinks langhæstur (170-190 mg/kg) 1-2 km suðaustur af verinu en lækkaði þaðan að jafnaði til allra átta (48. mynd).

Samkvæmt mengunarstuðlum telst sinkmengun árið 2010 vera lítil bæði í Reyðarfirði og á Grundartanga, en á báðum þessum stöðum flokkast öll sýni í tvo lægstu mengunarflokkana (48. mynd). Í Straumsvík er mengun hins vegar talsvert meiri því að þar er hún *nokkur* suðaustan við verið.



47. mynd. Styrkur (mg/kg) sinks (Zn) í mosa árið 2005 og 2010 utan iðnaðarsvæða (>4 km) og við iðnaðarsvæðin í Reyðarfirði, á Grundartanga og við Straumsvík. Lóðrétt strik tákna staðalskekkju. Niðurstöður samanburðar svæða (Sv), ára (Ár) og samspils svæða og ára (Sv x Ár) eru sýndar t.h. Niðurstöður samanburðar milli ára fyrir einstök svæði eru neðst á sulum. Innan sviga er fjöldi sýna. Marktækur munur: *** = $p < 0,001$, EM = ekki marktækt.

48. mynd (til hægri). Styrkur (mg/kg) sinks (Zn) í mosa árið 2010 við iðjuverin í Reyðarfirði, á Grundartanga og í Straumsvík. Mismunandi litir sýna mengunarflokka byggða á reiknuðum mengunarstuðlum (MS), sjá 3. töflu.



5.4 Klasagreining

Með klasagreiningunni flokkuðust sýnatökustaðirnir 147 árið 2010 fyrst í tvo meginflokka (49. mynd). Annars vegar voru 109 staðir (klasar 1 og 2), aðallega af Vestfjörðum, Norðvesturlandi, með ströndum norðaustanlands, á Suðausturlandi, á láglendi Suðurlands og svæði með ströndum á Reykjanesskaga til Borgarfjarðar. Hins vegar voru 38 staðir (klasar 3-6) sem eru í meginatriðum á gosbeltinu og við iðnaðarsvæðin þrjú. Nánari greining skiptir þessum meginflokkum frekar niður. Þar kemur m.a. fram að sýni tekið við Syðri-Ófæru í Skaftártungu hefur mikla sérstöðu (klasi 5) og skilst frá öllum öðrum sýnum og sömuleiðis tveir staðir suðaustan við álverið í Straumsvík (94A og 95A) (49. mynd). Auk þess flokkast saman sýni (klasi 4) sem öll voru tekin nálægt iðnaðarsvæðunum þremur, í Straumsvík (91A, 90A, 89A, 92A) á Grundartanga (G4, G6) og í Reyðarfirði (R41).

Klasagreiningin flokkar efnin í þrjá meginflokka. Í þeim fyrsta eru arsen, nikkell og brennisteinn, í öðrum eru króm, kopar, járn og vanadín og í þeim þriðja kadmín, blý, sink og kvikasilfur (49. mynd).

5.5 Mosaskemmdir sumarið 2010

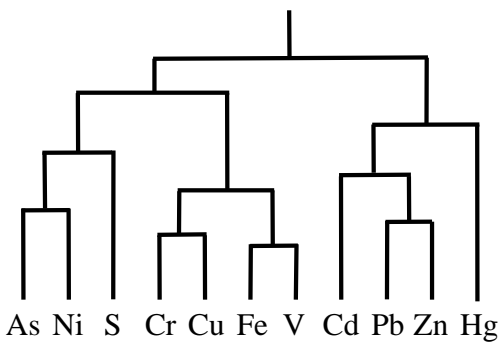
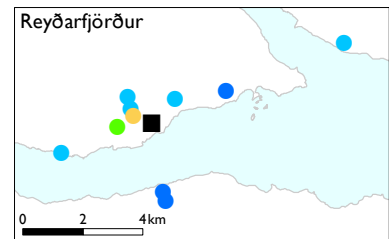
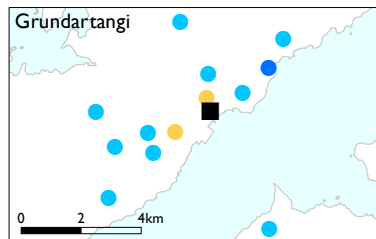
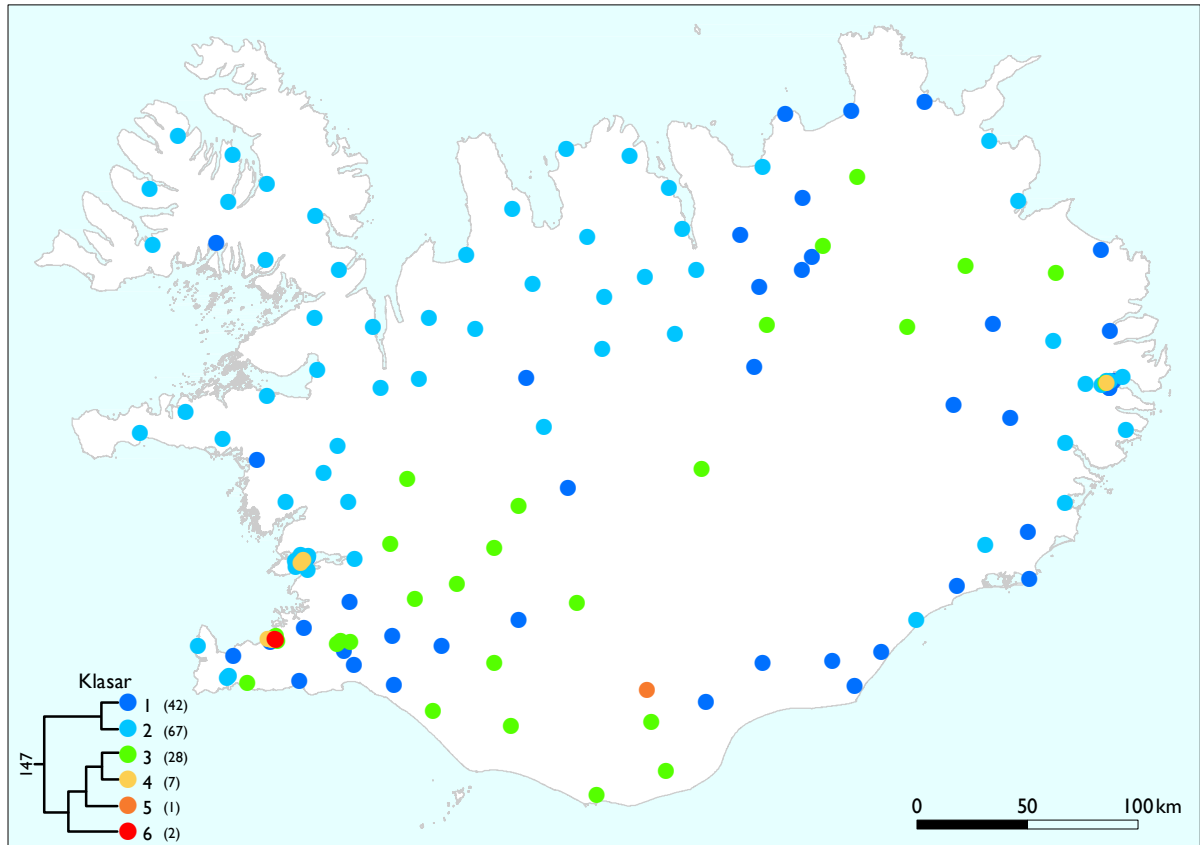
Við sýnatöku árið 2010 varð vart við skemmdir á tildurmosa á allmörgum stöðum. Skemmdir voru einkum tvenns konar. Annars vegar voru skemmdir sem orðið höfðu við að mosinn hafði beinlínis farið á kaf í ösku frá Eyjafjallajökli sem gosið hafði fyrr á árinu. Í öskunni voru leifar af mosa en blöð og greinar svartar og brunnar. Þar sem mosinn náði upp úr öskunni var hann sums staðar byrjaður að vaxa. Hins vegar voru skemmdir sem lýstu sér með því að blöð og greinar mosans voru gráar eða svartar líkt og þær hefðu sviðnað (1.-4. ljósmynd í 2. viðauka). Þessar skemmdir voru yfirleitt bundnar við brúnir þúfna eða bríkur en heilbrigðan mosa að finna annars staðar.

Mosaskemmdir voru bundnar við tvö svæði; annars vegar allbreitt beltí á sunnanverðu landinu sem náði frá Fagurhólsmýri í austri að Grundartanga í vestri og hins vegar afmarkað svæði við Reyðarfjörð (50. mynd). Skemmdirnar voru mismiklar og fundust bæði í nágrenni iðjuveranna og utan þeirra.

Í nágrenni verksmiðjanna á Grundartanga var mosi skemmdur á þremur stöðum af tólf, þ.e. við Mörk (88) og Gröf (G7) sem eru 2200 og 4500 m frá álverinu og nokkuð uppi í Akrafjalli og síðan á stað G4 sem er um 500 m vestan við álverið (50. mynd). Á öllum þessum stöðum voru skemmdir *miklar*. Á stað G4 var tildurmosinn t.d. nánast horfinn og hraungambri sem þar óx einnig skemmdur.

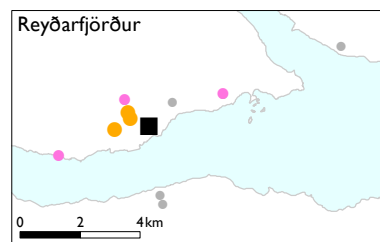
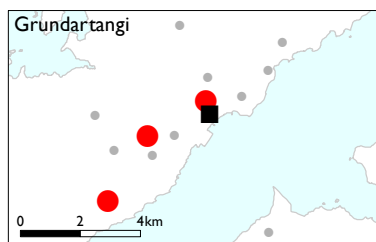
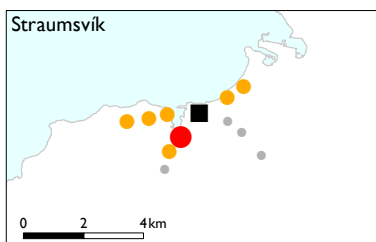
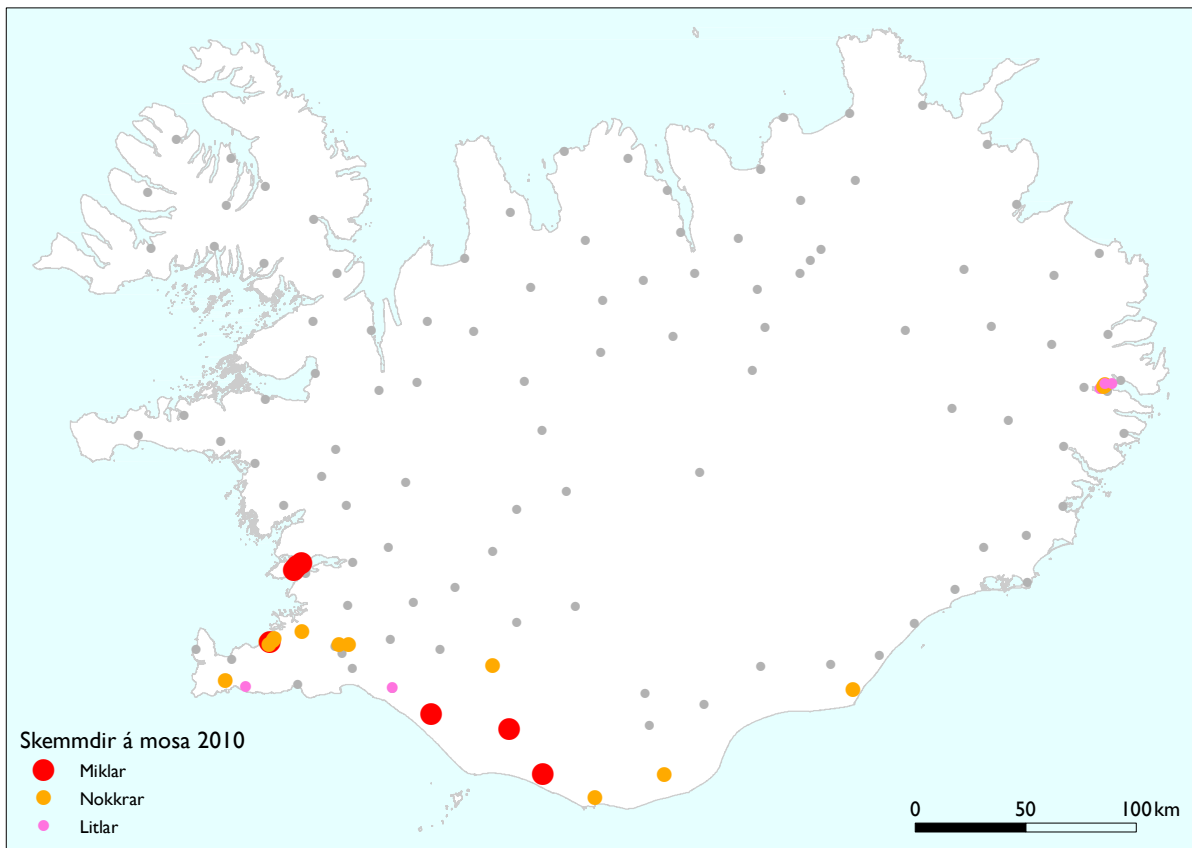
Við álverið í Straumsvík var mosi skemmdur á sjö stöðum af ellefu og töldust skemmdirnar alls staðar *nokkrar* (89A, 90A, 91A, 93A, 97A, 98A) nema við Gerði (92A) þar sem þær reyndust *miklar*. Allir þessir staðir eru annaðhvort vestan eða suðvestan við álverið eða norðaustur af því (50. mynd).

Utan iðnaðarsvæðanna á Suður- og Suðvesturlandi varð vart við mosaskemmdir á nokkrum stöðum. Mestu skemmdirnar voru við Skóga undir Eyjafjöllum en þar var mosinn horfinn undir ösku, en einnig í Háamúla í Fljótshlíð og norðan við Þykkvabæ. *Nokkrar* skemmdir voru einnig á mosa við Fagurhólsmýri, Holt í Álftaveri, Vík í Mýrdal, Haukadal á Rangárvöllum, á Hellisheiði, við Rauðhóla við Reykjavík og við Svartsengi (50. mynd). Annars staðar á Suður- og Suðvesturlandi voru skemmdir minni.



49. mynd. Niðurstöður klasagreiningar á styrk frumefna í mosa árið 2010 fyrir sýnatökustaði og frumefnin 11. Á litlu myndunum er sýnd flokkun sýna við einstök iðnaðarsvæði. Sjá einnig umfjöllun í texta.

Við Reyðarfjörð voru skemmdir á tildurmosa skráðar á sex stöðum sem allir eru norðan fjarðar í minna en 4 km fjarlægð frá miðju álversins (50. mynd). Skemmdirnar voru mestar næst álverinu (R37-2, R42, R41) og voru þar skráðar sem *nokkrar* (50. mynd). Skemmdir fundust á þremur stöðum til viðbótar en töldust þar *litlar* (R43-2, R42-B, R39). Í Reyðarfirði varð einnig vart við skemmdir á öðrum mosategundum. Talsverðar skemmdir voru t.d. á bleytubura, *Sphagnum teres* (Schimp.) Ångstr., um 850 m norðvestan við verksmiðjuna (R42) (5.-6. ljósmynd í 2. viðauka). Einnig fannst skemmdur hraungambri, *Racomitrium lanuginosum*, við sýnatökustað R37-2 (8. ljósmynd í 2. viðauka).



50. mynd. Útbreiðsla mosaskemmda sumarið 2010. Á litlu myndunum er sýnd staðsetning skemmda við einstök iðnaðarsvæði.

6 UMRÆÐA

6.1 Arsen, nikkell og brennisteinn

Þegar litið er til styrks efna í mosa á landinu öllu og við iðjuverin kemur í ljós að arsen, nikkell og brennisteinn hafa áþekka dreifingu (49. mynd). Það er greinilegt að öll dreifast þau í nokkrum mæli frá álverum. Fyrri niðurstöður hafa sýnt þetta (Sigurður H. Magnússon 2002a, Sigurður H. Magnússon og Björn Thomas 2007a, Sigurður H. Magnússon og Björn Thomas 2007b) og þær sem hér eru birtar gera það einnig (sjá t.d. 1. viðauka).

Arsen

Af niðurstöðum má ráða að helstu uppsprettur arsens í mosa hér á landi megi rekja til gosvirkni, álvera og jarðhitasvæða. Hár styrkur arsens í mosa árið 2010 á suðurhluta landsins, með þungamiðju austur af Mýrdalsjökli, fellur vel að því svæði þar sem öskufall var hvað mest og yfir 0,01 cm eftir gosið í Eyjafjallajökli vorið 2010 (Magnús T. Guðmundsson o.fl. 2012). Áhrif á styrk arsens í mosa virðast þó ná talsvert lengra frá jöklinum (6. mynd). Reikna má með að aukinn styrkur arsens á þessu svæði sé af völdum gossins en þekkt er að efnið losnar í talsverðum mæli í eldgosum (Signorelli 1997, Pokrovski o.fl. 2002).

Álverin eru einnig uppsprettur arsenmengunar því niðurstöðurnar sýna að styrkur arsens við verin hækkar marktækt eftir því sem nær þeim dregur (4. tafla, 28. mynd). Á iðnaðarsvæðunum hefur styrkur arsens hækkað verulega frá 2005. Hann er langhæstur við álverið í Straumsvík en þar flokkast arsenmengun sem *veruleg* á einum stað árið 2010 (28. mynd). Það er svipað og hæst mældist á áhrifasvæði Eyjafjallajökuls (6. mynd). Við iðjuverin er styrkur arsens lægstur í Reyðarfirði. Reikna má með að hann eigi eftir að hækka þar á komandi árum en álver hafði aðeins verið starfrækt í þrjú ár þegar sýnin voru tekin 2010.

Jarðhitasvæði eru einnig þekktar uppsprettur arsens (Tyrovola og Nikolaidis 2009, Bergur Sigfusson o.fl. 2011) og vitað er að við virkjun jarðgufu dreifist arsen út í andrúmsloft (Hrefna Kristmannsdóttir og Halldór Ármannsson 2003). Við Kolviðarhól, í næsta nágrenni Hellsheiðarvirkjunar, hækkaði styrkur arsens frá 2005 til 2010 verulega, eða úr 0,17 í 0,36 mg/kg og allhár styrkur arsens mældist árið 2010 í þremur öðrum sýnum (0,30-0,42 mg/kg) í nágrenni virkjunarinnar (6. mynd) sem sýnir að þörf er á að fylgjast vel með styrk efnisins þar á komandi árum.

Á landinu öllu hefur styrkur arsens farið hækkandi frá 1995 en það ár var efnið fyrst mælt (5. mynd). Sama þróun hefur verið við iðjuverin nema hvað þar hefur styrkur hækkað enn meira (27. mynd). Í Evrópu er þessu öfugt farið því að þar hefur styrkur arsens lækkað á sama tíma (Harmens o.fl. 2008, Harmens o.fl. 2013). Ekki er ljóst hvað veldur hækkun hér á landi öll árin. Gosið í Eyjafjallajökli hefur þó greinilega haft mikið að segja um styrk efnisins árið 2010. Álverin hafa einnig ákveðin áhrif til hækkunar þótt þau séu staðbundnari og líklegt er að svipað gildi um jarðvarmavirkjanir.

Í samanburði við meginland Evrópu var styrkur arsens í mosa hér á landi árið 2010 þó frekar lágur, einkum ef miðað er við suðausturluta álfunnar þ.e. Makedóníu, Rúmeníu og Búlgaríu. Hér á landi var styrkur þó hærri en annars staðar á Norðurlöndum (Harmens o.fl. 2013).

Nikkel

Hár styrkur nikkels í mosa er greinilega tengdur ákveðnum svæðum á landinu. Öll árin hefur styrkur verið hár í nágrenni Langjökuls (20. mynd) sem líklega tengist efnasamsetningu bergs þar. Niðurstöðurnar sýna einnig að styrkur nikkels hækkar í nágrenni álveranna (4. tafla, 40. mynd). Þessi áhrif komu fram í Straumsvík strax árið 1990, árið 2005 á Grundartanga og 2010 í Reyðarfirði (4. tafla) sem endurspeglar nokkurn veginn aldur verksmiðjanna. Styrkur nikkels er hæstur við álverið í Straumsvík og telst nikkelmengun samkvæmt reiknuðum stuðlum vera þar *veruleg* á einum stað árið 2010.

Hér á landi hækkaði styrkur nikkels í mosa á svæðum fjarri iðjuverunum frá 1990 til 2005 (19. mynd). Á meginlandi Evrópu var þessu öfugt farið því að þar lækkaði styrkur nikkels á sama tíma um 20% (Harmens et al. 2010). Frá 2005 til 2010 hefur styrkur nikkels haldið áfram að lækka í Evrópu (Harmens o.fl. 2013) og einnig hér á landi nema í nágrenni álveranna (39. mynd). Styrkur nikkels í mosa hér á landi er nokkuð hár miðað við meginland Evrópu. Árið 2010 var Ísland í þriðja sæti af 23 löndum þegar þeim var raðað eftir miðgildi á styrk nikkels í mosa (Harmens o.fl. 2013). Aðeins í Úkraínu og Albaníu var styrkurinn hærri. Ástæða svo hárra gilda á Íslandi þarf ekki endilega að stafa af mengun heldur getur ryk og áfoksefni ráðið miklu um styrk sumra þungmálma í mosa (Steinnes 1995, de Caritat o.fl. 2001, Reimann o.fl. 2001). Uppblástur og áfok hafa verið hér viðvarandi um aldir (Olafur Arnalds 2010, Arnalds o.fl. 2013). Ekki er að sjá að gosið í Eyjafjallajökli á vormánuðum 2010 hafi haft mikil áhrif á styrk nikkels í mosa (20. mynd).

Brennisteinn

Brennisteinn hefur verið mældur í mosa hér á landi síðan 1995. Frá þeim tíma hefur styrkur efnisins farið lækkandi utan iðnaðarsvæða (9. mynd). Niðurstöðurnar sýna einnig lítinn breytileika á styrk efnisins á landinu. Sérstakar uppsprettur brennisteins koma ekki fram með skýrum hætti (10. mynd). Brennisteinn hefur þó öll árin mælst tiltölulega hár austan við Mýrdalsjökul, þ.e. í sýnum frá Syðri-Ófæru, Gröf í Skaftártungu og við Holt í Álftaveri (10. mynd). Allir þessir staðir eru nálægt farvegum Skaftárhlaupa sem hugsanlega skýrir þessi háu gildi en gera má ráð fyrir að í hlaupum losni talsvert af brennisteini út í umhverfið.

Við eldgos losnar yfirleitt mikið af brennisteini út í andrúmsloft (Thordarson o.fl. 2001, Flaathen og Gislason 2007). Því kemur nokkuð á óvart að áhrifa goss í Eyjafjallajökli á vormánuðum 2010 skuli ekki hafa gætt meira í sýnum árið 2010 (10. mynd). Hvorki er að sjá hærri styrk brennisteins nálægt eldfjallinu né hækkun á landsvísu á milli 2005 og 2010 (10. og 43. mynd). Magn SO_2 sem losnaði í gosinu í Eyjafjallajökli er talið hafa verið frekar lítið (Walker o.fl. 2012). Gosmökkurinn náði upp í um 8 km hæð og vegna norðlægra og vestlægra átta dreifðust gosefnin (lofttegundir og aska) mest á haf út (Stohl o.fl. 2011, Magnús T. Gudmundsson o.fl. 2012, Walker o.fl. 2012). Þetta gæti að einhverju leyti skýrt lítil áhrif af gosinu á styrk brennisteins í mosa. Einnig er hugsanlegt að uppsöfnun brennisteins í mosa sé ekki mjög mikil og að hún mælist því ekki í verulegu magni nema við nokkuð stöðuga ákomu efnisins.

Í nágrenni iðjuveranna reyndist styrkur brennisteins yfirleitt hærri en á svæðum utan þeirra (4. tafla, 43. mynd) sem kemur ekki á óvart því að öll losa þau umtalsvert magn af brennisteini. Árið 2010 losaði álverið í Straumsvík 2.586 tonn af SO_2 (Ingólfur Kristjánsson, munnl. upplýsingar 22. mars 2013), álverið á Grundartanga 3.092 tonn (Grænt bókhald 2010: Norðurál Grundartangi ehf.) og álverið í Reyðarfirði 4.343 tonn (Grænt bókhald 2010: Alcoa Fjarðaál sf.) á meðan járnblendiverksmiðjan losaði 2.368 tonn (Skýrsla um grænt bókhald 2010: Elkem Ísland ehf.). Árið 2005 var losun frá þessum verksmiðjum eftirfarandi: Straumsvík 2477 tonn, álverið á Grundartanga 779 tonn og járnblendið á Grundartanga 2640 tonn. Álverið í Reyðarfirði var þá ekki tekið til starfa.

Dreifing brennisteins við iðjuverin er nokkuð önnur en fyrir arsen og nikkell sem álverksmiðjurnar losa einnig út í umhverfið. Þannig er styrkur brennisteins ekki ætíð hæstur allra næst verksmiðjunum. Bæði árið 2005 og 2010 var styrkur brennisteins á Grundartanga t.d. einna hæstur uppi í Akrafjalli (Sigurður H. Magnússon og Björn Thomas 2007b) sem gæti stafað af hitahvörfum.

Þótt ekki hafi í þessari rannsókn verið gerð sérstök úttekt á áhrifum jarðhitasvæða og jarðvarmavirkjana á styrk brennisteins í mosa eru vísbendingar um að þau séu nokkur. Við Kolviðarhól, sem er aðeins um 800 m norðan við Hellisheiðarvirkjun, mældist styrkur brennisteins 613 og 540 mg/kg árin 2000 og 2005 en var 779 mg/kg árið 2010, þremur og hálfu ári eftir að virkjunin tók til starfa. Árið 2010 voru tekin nokkur viðbótarsýni við jarðhitasvæði á Norðausturlandi. Þar reyndist hæstur styrkur brennisteins á því landsvæði vera 699 mg/kg um 1,5 km norðan við hverasvæðið við Námaskarð (10. mynd).

Í Evrópu var brennisteinn ekki mældur kerfisbundið í mosa fyrr en árið 2010 og þá aðeins í átta löndum. Miðað við þær mælingar er styrkur hvergi lægri en hér á landi (Harmens o.fl. 2013). Rétt er að geta þess að aðferðin sem notuð var við greiningu á brennisteini í mosa (sýni soðið í HNO_3 og greint með ICP-ES tækni) hefur reynst nokkuð áreiðanleg við greiningu á brennisteini í plöntum (Poykio o.fl. 2000).

6.2 Króm, kopar, járn og vanadín

Króm, kopar, járn og vanadín sýna öll svipað dreifingarmynstur hér á landi en styrkur þeirra í mosa var áberandi hér á gosbeltinu (14., 16., 18., 24. og 49. mynd). Rannsóknir hafa sýnt að uppsöfnun efna í mosa fer mjög eftir ákomu loftborinna agna og því geta áfoksefni úr jarðvegi og berggrunni á gróðurlitlum svæðum hækkað styrk þeirra verulega (Berg o.fl. 1995, Reimann o.fl. 2001, Poikolainen o.fl. 2004). Hár styrkur króms, kopars, vanadíns og þó einkanlega járn í mosa á gosbeltinu endurspeglar miklu frekar mikið áfok en að um raunverulega mengun sé að ræða. Ætla má að styrkur járn í mosa hér á landi sé ágætur mælikvarði á áfok því að góð samsvörun er milli járn í mosa og áfoks eins og það hefur verið metið (Olafur Arnalds 2010). Styrkur járn í mosa bendir til að áfok á landinu hafi frekar aukist eftir 1995 (17. mynd). Kann það að koma nokkuð á óvart í ljósi þess að gróður hefur víða verið í sókn hér á landi hin síðari ár (Borgþór Magnússon o.fl. 2006, Sigurður H. Magnússon og Kristbjörn Egilsson 2008, Náttúrufræðistofnun Íslands 2011). Hins er að geta að vegna hlýnandi loftslags hefur snjóhula á láglandi minnkað á sama tíma (Veðurstofa Íslands) og ætla má að það eigi einnig við um hálendið. Minni snjóhula þýðir að lítt gróið land er lengur opið fyrir rofi sem verður við frostlyftingu, vatns- og vindrof. Af því leiðir að áfok eykst.

Niðurstöðurnar sýna nokkuð háan styrk ofangreindra efna suðaustan við álverið í Straumsvík árið 2010 (32., 34., 36. og 46. mynd). Á Grundartanga og í Reyðarfirði er hækkun mun minni. Því er hugsanlegt að á öllum stöðunum valdi verksmiðjurnar eða starfsemi sem þeim fylgir nokkurri hækkun þessara efna. Þó skal tekið fram að í Reyðarfirði var dreifingarmynstur þessara málma svipað í firðinum árið 2005. Þá var verksmiðjan í byggingu og vel mögulegt að rask sem fylgdi framkvæmdunum hafi hækkað styrk þessara efna (Sigurður H. Magnússon og Björn Thomas 2007c).

Mun hærri styrkur um 1-2,5 km suðaustur af verksmiðjunni í Straumsvík en á hinum stöðunum verður hins vegar ekki rakinn til álverksmiðjunar einnar. Frekar má ætla að þessa hækkun megi rekja til iðnaðarstarfsemi sem þarna er skammt frá og væntanlega einnig til byggðar sem hefur þéttst á þessu svæði á undanförunum árum. Hvað varðar þessa fjóra tilteknu málma, króm, kopar, járn og vanadín, er líklegast að mengin uppspretta þeirra við Straumsvík sé málmvinnsla fyrirtækisins Furu sem hefur um árabil unnið þar brotamálma (Sigurður H. Magnússon 2002a, Sigurður H. Magnússon og Björn Thomas 2007a). Miðað við reiknaða stuðla er mengun suðaustur af álverinu í Straumsvík áhyggjuefni. Þar er mengun það mikil af völdum króms og kopars að hún telst *veruleg* (32. og 34. mynd).

Vegna þess að málmur í þessum flokki eru hluti af áfoksefnum hér á landi er samanburður við styrk þeirra í mosa í Evrópu ekki raunhæfur. Þó skal þess getið að árið 2010 var meðalstyrkur króms og kopars hér á landi sá sjötti hæsti í 24 Evrópuríkjum (Harmens o.fl. 2013). Vegna áfoksins er styrkur járn og vanadíns það hár hér á landi að þessi efni eru ekki tekin með í útreikninga í sameiginlegum skýrslum þungmálmaverkefnisins í Evrópu (Harmens o.fl. 2008, Harmens o.fl. 2013) nema í undantekningartilfellum (Harmens o.fl. 2007).

6.3 Kadmín, kvikasilfur, blý og sink

Árið 2010 höfðu kadmín, kvikasilfur, blý og sink svipað útbreiðslumynstur á landinu (49. mynd klasagreining, 12., 8., 22. og 26. mynd) og því má ætla að uppsprettur þeirra séu nokkuð líkar. Styrkur efnanna hafði þó breyst mikið frá því að fyrst var farið var að vakta þau. Árið 1990 var styrkur kadmíns á Íslandi hár fyrir utan Vesturland og Vestfirði (11. og 12. mynd). Þá var

styrkur kadmíns í Skandinavíu miklu lægri en hér. Sambærilegar tölur og á Íslandi var þá helst að finna í Suðaustur-Evrópu (Harmens o.fl. 2008). Ástæður þessara háu gilda á Íslandi eru ekki ljósar. Á þessum tíma var brennsla á sorpi og öðrum úrgangi helsta uppspretta kadmínmengunar í Evrópu en kadmín kemur einnig frá ýmiss konar iðnaði og fosfóraburði o.fl. (Harmens o.fl. 2008). Hugsanlegt er að loftborin mengun eigi einhvern hlut að máli hér á landi en þekkt er að kadmín getur borist í lofti um langan veg (Poikolainen o.fl. 2004). Frá 1990 hefur styrkur kadmíns lækkað mikið hér á landi (11. mynd) og sama hefur gerst á meginlandi Evrópu þótt lækkunin þar sé miklu minni (Harmens o.fl. 2008).

Miðað við niðurstöðurnar eru uppsprettur blýs í meginatriðum tvær, þ.e. annars vegar utan Íslands og hins vegar þéttbýli innanlands, einkum á suðvesturhorni landsins (22. mynd). Árið 1990 var styrkur blýs áberandi hár á Suðausturlandi sem skýra má með aðflutningi með úrkomu en þetta er úrkomumesta svæði landsins og liggur næst meginlandi Evrópu. Allhár styrkur blýs við þéttbýlið í Reykjavík árið 1990 má að mestu rekja til umferðar ökutækja en á þeim tíma var blýi enn blandað í bensín. Frá 1990 hefur styrkur blýs lækkað á stærstum hluta landsins, þó einna minnst á suðvesturhorninu (22. mynd). Lækkunin kemur ekki á óvart því að eftir að hætt var að blanda blýi í bensín hefur styrkur þess í umhverfinu lækkað verulega á meginlandi Evrópu (Harmens o.fl. 2008). Rétt er að taka fram að í samanburði við meginland Evrópu er styrkur blýs í mosa hér á landi víðast hvar mjög lágur. Árið 2010 var hann hvergi lægri en hér á landi (Harmens o.fl. 2013).

Styrkur kvikasilfurs og sinks utan iðnaðarsvæða hefur verið breytilegur milli ára og afmarkaðar uppsprettur þessara efna utan iðnaðarsvæða eru ekki greinilegar (8. og 26. mynd). Ástæður hækkunar á styrk kvikasilfurs nánast alls staðar á landinu frá 2005 til 2010 eru ekki ljósar en vitað er að kvikasilfur getur borist í lofti um langan veg (Poikolainen o.fl. 2004). Miðað við meginland Evrópu er meðalstyrkur kvikasilfurs hér á landi miðlungi hár en meðalstyrkur sinks hér árið 2010 var talsvert undir meðaltali ríkja á meginlandinu (Harmens o.fl. 2013).

Áhrif iðjuvera á styrk kadmíns, kvikasilfurs, blýs og sinks eru yfirleitt lítil (30., 38., 42. og 48. mynd). Við iðjuverin á Grundartanga og í Reyðarfirði virðast áhrif á styrk kadmíns og kvikasilfurs vera hverfandi. Hins vegar koma þar fram væg áhrif til hækkunar á styrk blýs og sinks. Hvað varðar Straumsvík gegnir öðru máli. Þar mælist hækkun á öllum þessum málum um 1-2 km suðaustur af álverinu, einkum á styrk sinks og þó sérstaklega blýs. Miðað við niðurstöður frá Grundartanga og Reyðarfirði og staðsetningu mengunarsvæðis við Straumsvík eru hverfandi líkur á að þessi efni komi að ráði frá álverinu. Hins vegar er sennilegt að þau hafi borist frá iðnaði sem er þarna skammt frá, svo sem málmvinnslu, sinkhúðun o.fl. (Sigurður H. Magnússon og Björn Thomas 2007a). Styrkur blýs er þarna það hár að mengun er í hæsta flokki, þ.e. *mjög mikil mengun* (42. mynd). Til samanburðar má geta að árið 2010 fundust hærri gildi en þetta aðeins í sýnum frá Búlgaríu, Póllandi, Rúmeníu og Slóveníu (Harmens o.fl. 2013). Þennan háa styrk við Straumsvík verður að taka alvarlega einkum í ljósi þess að mörg önnur efni eru þar í háum styrk.

6.4 Áhrif eldgosa og iðnaðarmengunar á mosa

Útbreiðsla mosaskemmda á Suðurlandi sumarið 2010 bendir til þess að þær megi að verulegu leyti rekja til gossins í Eyjafjallajökli fyrr á árinu. Skemmdirnar voru mestar næst eldfjallinu (50. mynd) þar sem öskufall var mest (Magnús T. Gudmundsson o.fl. 2012). Þær náðu hins vegar talsvert langt út fyrir það svæði og voru t.d. áberandi við iðjuverin á Grundartanga og í Straumsvík og raunar einnig við Hellisheiðarvirkjun og við Svartsengi og fundust einnig víðar.

Verulegar skemmdir á mosa við iðjuver og jarðvarmavirkjanir verða ekki eingöngu raktar til þeirra heldur er líkleggra að þetta séu samverkandi áhrif goss og iðjuvera. Rétt er að taka fram að aska og mistur barst langt út fyrir meginöskufallssvæðið til vesturs yfir þetta svæði 4. júní 2010 (Veðurstofa Íslands 2010).

Í Reyðarfirði varð vart við skemmdir á mosa norðvestan og vestan við álverið. Telja verður afar ólíklegt að þær stafi af gosinu í Eyjafjallajökli. Sennilegra er að þær séu af völdum álversins því að þær voru mestar þar sem styrkur efna svo sem arsens, nikkels og brennisteins var hæstur en öll þessi efni koma frá verksmiðjunni (28., 40. og 44. mynd).

Ekki er ljóst hvaða efni hafa valdið skemmdum á mosa sumarið 2010. Líklegt er að um samverkandi áhrif nokkurra efna sé að ræða. Þar kemur arsen til greina en einnig flúor og hugsanlega brennisteinn. Öll þessi efni losna í eldgosum (Signorelli 1997, Cronin o.fl. 2000, Thordarson o.fl. 2001), myndast í iðjuverunum (Mankovska og Steinnes 1995, Grænt bókhald 2010: Norðurál Grundartangi ehf., Alcan á Íslandi hf. 2011) og geta haft eituráhrif á plöntur (Cronin o.fl. 2000, Cape o.fl. 2003, Pisani o.fl. 2011).

Athuganir á mosaskemmdum benda til þess að mikill munur sé á þoli þeirra þriggja tegunda sem skoðaðar voru gagnvart mengun. Þar virðist hraungambri, *Racomitrium lanuginosum*, vera þolnastur, næst komi tildurmosi, *Hylocomium splendens*, en minnst þol hafi bleytuburinn, *Sphagnum teres*. Hvað varðar bleytuburann er þekkt að mosar af ættkvíslinni *Sphagnum* eru mjög viðkvæmir gagnvart rykmengun (Farmer 1993).

7 LOKAORÐ

7.1 Útbreiðsla efna

Samkvæmt niðurstöðum má skipta frumefnunum 11 sem mæld voru í þrjá meginflokka eftir útbreiðslu og uppruna.

Í fyrsta flokki eru arsen, nikkell og brennisteinn sem öll losna frá iðjuverunum sem valda töluverðri hækkun á styrk þeirra í næsta nágrenni. Arsen tengist auk þess eldvirkni en nikkell berggrunni á vissum svæðum og brennisteinn jarðhitasvæðum.

Í öðrum flokki eru króm, kopar, járn og vanadín sem öll eiga uppruna sinn að stórum hluta í áfoki. Ætla má að starfsemi iðjuveranna auki einnig nokkuð á styrk þeirra staðbundið. Við Straumsvík hefur iðnaðarstarfsemi önnur en álverið veruleg áhrif til hækkunar á styrk þessara efna.

Í þriðja flokki eru kadmín, kvikasilfur, blý og sink sem að öllum líkindum berast hingað í nokkrum mæli erlendis frá. Á síðari árum hafa efnin verið nokkuð jafndreifð um landið. Starfsemi iðjuveranna hækkar styrk blýs og kadmíns í nokkrum mæli staðbundið. Við Straumsvík hefur önnur iðnaðarstarfsemi en álversins hækkað styrk allra þessara efna verulega, einkum sinks og blýs.

7.2 Breytingar með tíma

Talsverð hækkun hefur orðið á styrk arsens á landinu frá því farið var að mæla það árið 1995. Við iðjuverin hefur styrkurinn hækkað enn meira. Styrkur nikkels á landinu hefur verið breytilegur

milli ára. Frá 2005 til 2010 hefur hann yfirleitt lækkað en aukist verulega í nágrenni iðjuvera á sama tíma. Styrkur brennisteins í mosa hefur yfirleitt lækkað á landinu frá 1995 en fremur lítið breyst við iðjuverin.

Styrkur efna sem að mestu eiga uppruna sinn í áfoki, þ.e. króms, kopars, járns og vanadíns, hefur yfirleitt verið breytilegur eftir árum á landinu. Við iðjuverin í Straumsvík og á Grundartanga hefur styrkur þeirra hækkað hin síðari ár sem að hluta til má rekja til iðnaðarstarfsemi á þessum stöðum.

Frá því farið var að mæla þungmálma í mosa árið 1990 hefur styrkur kadmíns og blýs lækkað verulega á landinu. Hvað varðar blý er það að líkindum afleiðing þess að hætt var að nota það sem íblöndunarefni í eldsneyti. Á þessum tíma hefur styrkur kvikasilfurs og sinks verið breytilegur eftir árum á landinu án þess að um sérstaka leitni sé að ræða. Síðustu fimm árin hefur kvikasilfur þó hækkað bæði utan iðnaðarsvæðanna og í nágrenni þeirra.

7.3 Mengun við iðjuver

Náttúrlegt bakgrunnsgildi efnis er það gildi sem er ríkjandi við eðlilegar aðstæður á viðkomandi svæði án umtalsverðra áhrifa af mannlegum athöfnum (Carballeira o.fl. 2002). Þar eð reiknaðir mengunarstuðlar byggjast á bakgrunnsgildum má gera ráð fyrir að þeir komi að góðu gagni við að flokka mengun og finna menguð svæði.

Af þeim efnum sem ótvírætt koma frá álverum (As, Ni, S) er mengun af völdum arsens og nikkels *nokkur* við verksmiðjurnar í Reyðarfirði og á Grundartanga. Við álverið í Straumsvík er mengun af völdum þessara efna *veruleg* sem þýðir að þar er styrkur 8-27 falt grunnildið þar sem hæst er. Mengun af völdum brennisteins við iðnaðarsvæðin þrjú er samkvæmt mengunarstuðlum *engin* eða aðeins *vísbinding um mengun*.

Króm, kopar, kadmíum og sink mælast öll í það háum styrk við iðnaðarsvæðið 1-2 km suðaustan við álverið í Straumsvík að mengun af þeirra völdum telst *veruleg*. Blýmengun er þar enn hærri, eða *mjög mikil*, sem er yfir 27 falt grunnildið.

7.4 Skemmdir á mosa

Skemmdir sem fram komu á mosa sumarið 2010 á Suður- og Suðvesturlandi má að stórum hluta rekja til eldgossins í Eyjafjallajökli fyrr á árinu. Skemmdir á mosa við iðnaðarsvæðin á Grundartanga, í Straumsvík og við jarðvarmavirkjanir á Hellisheiði og Svartsengi verða þó ekki eingöngu raktar til gossins heldur er líklegra að þar komi fram samverkandi áhrif goss og iðjuvera. Mosaskemmdir sem fram komu við álverið í Reyðarfirði má að öllum líkindum rekja til mengunar af völdum þess.

7.5 Ályktanir

Mengun af völdum þungmálma við iðjuverin er misjöfn, minnst í Reyðarfirði en langmest við Straumsvík. Allhár styrkur sumra efna eins og arsens og nikkels ásamt skemmdum á mosa sumarið 2010 við iðjuverin kallar á að vel sé fylgst með styrk þeirra og að gróðurbreytingar vaktaðar.

Mjög hár styrkur flestra efna um 1-2 km suðaustan við álverið í Straumsvík er áhyggjuefni en þar skammt frá er rekinn iðnaður sem greinilega mengar meira en álverið.

8 ÞAKKIR

Verkefnið hefur verið fjármagnað af ýmsum aðilum í gegnum árin, m.a. Rannsóknastofnun landbúnaðarins, Náttúrufræðistofnun Íslands, Norrænu ráðherranefndinni, umhverfis- og auðlindaráðuneyti, atvinnuvega- og nýsköpunarráðuneyti, Vegagerðinni, Landsvirkjun, Umhverfisstofnun, Alcan á Íslandi, Alcoa Fjarðaáli í Reyðarfirði, Norðuráli og Elkem Ísland á Grundartanga o.fl.

Margir hafa komið að vinnu við verkefnið. Árin 1990 og 1995 var það unnið á Rannsóknastofnun landbúnaðarins en eftir það á Náttúrufræðistofnun Íslands. Ýmsir starfsmenn þessara stofnana hafa einnig komið að verkefninu. Starfsmenn iðjuveranna í Straumsvík, á Grundartanga og í Reyðarfirði hafa veitt ýmsar gagnlegar upplýsingar. Ber sérstaklega að nefna Guðrúnu Þóru Magnúsdóttur hjá Alcan á Íslandi og Magnús Frey Ólafsson vegna fyrirtækjanna á Grundartanga. Ýmsir starfsmenn annarra stofnana hafa látið upplýsingar í té sem nýst hafa við verkefnið svo og ýmsir landeigendur eða umsjónarmenn lands. Hreinsun sýna frá árunum 2000, 2005 og 2010 var unnin af starfsfólki á Fræðasetrinu í Sandgerði. Efnagreiningar hafa öll árin verið unnar á Vistfræðideild háskólans í Lundi í Svíþjóð.

Að gerð þessarar skýrslu hafa auk höfundar unnið Hans H. Hansen sem teiknaði kort, Anette Meyer sem teiknaði flestar myndir. Hólmgeir Björnsson og Heiða María Sigurðardóttir veittu ráð við tölfræðilega úrvinnslu. Borgþór Magnússon og Ásdís B. Stefánsdóttir lásu yfir handrit.

Öllum sem styrkt hafa verkefnið fjárhagslega eða lagt því lið með öðrum hætti eru færðar bestu þakkir.

9 HEIMILDIR

- Aboal, J.R., J.A. Couto, J.A. Fernandez og A. Carballeira 2008. Physiological responses to atmospheric fluorine pollution in transplants of *Pseudoscleropodium purum*. *Environmental Pollution* 153: 602-609.
- Alcan á Íslandi hf. 2011. *Sjálfbærnisráðgjafi ISAL 2010*. Alcan á Íslandi. Hafnarfjörður: Alcan á Íslandi hf. http://www.riotinto.com/documents/ISAL_Sustainable_development_report_2010_Icelandic.pdf [skoðað 22.4.2013]
- Arnalds, O., E.F. Thorarinsdóttir, J. Thorsson, P.D. Waldhauserova og A.M. Agustsdóttir 2013. An extreme wind erosion event of the fresh Eyjafjallajökull 2010 volcanic ash. *Scientific Reports* 3: 1257. DOI: 10.1038/srep01257
- Berg, T og E. Steinnes 1997. Use of mosses (*Hylocomium splendens* and *Pleurozium schreberi*) as biomonitors of heavy metal deposition: from relative to absolute deposition values. *Environmental Pollution* 98: 61-71.
- Berg, T., O. Røyset, E. Steinnes og M. Vadset 1995. Atmospheric trace element deposition: principal component analysis of ICP-MS data from moss samples. *Environmental Pollution* 88: 67-77.
- Bergur Sigfusson, Sigurdur Reynir Gislason og Andrew A Meharg 2011. A field and reactive transport model study of arsenic in a basaltic rock aquifer. *Applied Geochemistry* 26: 553-564.
- Borgþór Magnússon, Björn H. Barkarson, Bjarni E. Guðleifsson, Bjarni P. Maronsson, Starri Heiðmarsson, Guðmundur A. Guðmundsson, Sigurður H. Magnússon og Sigrúður Jónsdóttir 2006. Vöktun á ástandi og líffræðilegri fjölbreytni úthaga 2005. *Fræðaping landbúnaðarins 2006*: 221-233.
- Cape, J.N., D. Fowler og A. Davison 2003. Ecological effects of sulfur dioxide, fluorides, and minor air pollutants: recent trends and research needs. *Environment International* 29: 201-211.
- Carballeira, A., J.A. Couto og J.A. Fernandez 2002. Estimation of background levels of various elements in terrestrial mosses from Galicia (NW Spain). *Water, Air, and Soil Pollution* 133: 235-252.
- Cronin, S.J., V. Manoharan, M.J. Hedley og P. Loganathan 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: 295-321.
- de Caritat, P., C. Reimann, I. Bogatyrev, V. Chekushin, T.E. Finne, J.H. Halleraker, G. Kashulina, H. Niskavaara, V. Pavlov og M. Äyräs 2001. Regional distribution of Al, B, Ba, Ca, K, La, Mg, Mn, Na, P, Rb, Si, Sr, Th, U and Y in terrestrial moss within a 188,000 km² area of the central Barents region: influence of geology, seaspray and human activity. *Applied Geochemistry* 16: 137-159.
- Elkem Ísland. <http://www.jarnblendi.is> [skoðað 20.2.2013]
- Farmer, A.M. 1993. The effects of dust on vegetation – a review. *Environmental Pollution* 79: 63-75.
- Fernandez, J.A., A. Ederra, E. Núñez, J. Martínez-Abaigar, M. Infante, P. Heras, M. J. Elías, V. Mazimpaka og A. Carballeira 2002. Biomonitoring of metal deposition in northern Spain by moss analysis. *Science of the Total Environment* 300: 115-127.

- Flaathen, T.K. og S.R. Gislason 2007. The effect of volcanic eruptions on the chemistry of surface waters: the 1991 and 2000 eruptions of Mt. Hekla, Iceland. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 164: 293-316.
- Flóra Íslands. *Tildurmosi*. <http://floraislands.is/MOSAR/hylocspl.html> [skoðað 22.4.2013]
- Gonçalves, E.P.R., H.M.V.M. Soares, R.A.R. Boaventura, A.A.S.C. Machado og J.C.G. Esteves da Silva 1994. Seasonal variations of heavy metals in sediments and aquatic mosses from the Cávado River Basin (Portugal). *Science of the Total Environment* 142: 143-156.
- Grænt Bókhald 2007: Alcoa Fjarðaál sf.* 2008. http://www.ust.is/library/Skrar/Graent-bokhald/2007/Alcoa_Fjardaral_graent_bokhald_2007.pdf [skoðað 22.4.2013]
- Grænt bókhald 2010: Alcoa Fjarðaál sf.* 2011. http://www.ust.is/library/Skrar/Graent-bokhald/2010/Alcoa_graent_bokhald_2010.pdf [skoðað 22.4.2013]
- Grænt bókhald 2010: Norðurál Grundartangi ehf.* 2011. http://ust.is/library/Skrar/Graent-bokhald/2010/Nor%C3%B0ural_Graent_bokhald_2010.pdf [skoðað 22.4.2013]
- Grænt bókhald 2011: Norðurál Grundartangi ehf.* 2012. http://www.ust.is/library/Skrar/Graent-bokhald/2011/Nor%C3%B0ural_Graent_bokhald_2011.pdf [skoðað 22.4.2013]
- Harmens, H., D.A. Norris, G.R. Koerber, A. Buse, E. Steinnes og A. Rühling. 2007. Temporal trends in the concentration of arsenic, chromium, copper, iron, nickel, vanadium and zinc in mosses across Europe between 1990 and 2000. *Atmospheric Environment* 41: 6673-6687.
- Harmens, H., D. Norris and the participants of the moss survey 2008. *Spatial and temporal trends in heavy metal accumulation in mosses in Europe (1990-2005)*. Bangor: ICP Vegetation Programme Coordination Centre, Centre for Ecology and Hydrology.
- Harmens, H, D.A. Norris, E. Steinnes, E. Kubin, J. Piispanen, R. Alber, Y. Aleksiyenak, O. Blum, M. Coskun, M. Dam, L. de Temmerman, J.A. Fernandez, M. Frolova, M. Frontasyeva, L. González-Miqueo, K. Grodzinska, Z. Jeran, S. Korzekwa, M. Krmar, K. Kvietkusr, S. Leblond, S. Liiv, S.H. Magnusson, B. Mankovska, R. Pesch, A. Rühling, J.M. Santamaria, W. Schröder, Z. Spiric, I. Suchara, L. Thoni, V. Urumov, L. Yurukova og H.G. Zechmeister 2010. Mosses as biomonitors of atmospheric heavy metal deposition: spatial patterns and temporal trends in Europe. *Environmental Pollution* 158: 3144-3156.
- Harmens, H., D. Norris, G. Mills and the participants of the moss survey 2013. *Heavy metals and nitrogen in mosses: spatial patterns in 2010/2011 and long-term temporal trends in Europe*. Bangor: ICP Vegetation Programme Coordination Centre, Centre for Ecology and Hydrology.
- Hrefna Kristmannsdóttir og Halldór Ármannsson 2003. Environmental aspects of geothermal energy utilization. *Geothermics* 32: 451-461.
- Hörður Kristinsson 1998. Gróðurbreytingar við álverið í Straumsvík. *Náttúrufræðingurinn* 67: 241-254.
- ICP Vegetation. *Major results*. http://icpvegetation.ceh.ac.uk/major_results/heavy_metals.html [skoðað 22.4.2013]
- ICP Vegetation Coordination Centre 2010. *Heavy Metals in European Mosses: 2010 Survey. Monitoring manual*. Bangor: ICP Vegetation Coordination Centre. http://icpvegetation.ceh.ac.uk/manuals/documents/uneceheavymetalsmossmanual2010popsadaptdfinal_220510_.pdf [skoðað 22.4.2013]

- Jón Hálfðanarson 2003. Hvað er járnblendi og hvernig er það framleitt? *Vísindavefurinn* <http://visindavefur.hi.is/svar.php?id=3924> [skoðað 20.2.2013]
- Knutzen, J. 1995. Effects on marine organisms from polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and other constituents of waste water from aluminium smelters with examples from Norway. *Science of the Total Environment* 163: 107-122.
- Magnús T. Gudmundsson, Thorvaldur Thordarson, Ármann Höskuldsson, Guðrún Larsen, Halldór Björnsson, Fred J Prata, Björn Oddsson, Eyjólfur Magnússon, Thórdís Högnadóttir, Guðrún Nína Petersen, Chris L. Hayward, John A. Stevenson og Ingibjörg Jónsdóttir 2012. Ash generation and distribution from the April-May 2010 eruption of Eyjafjallajökull, Iceland. *Scientific Reports* 2: 572. 1-12. DOI: 10.1038/srep00572
- Mankovska, B. og E. Steinnes 1995. Effects of pollutants from an aluminum reduction plant on forest ecosystems. *Science of the Total Environment* 163: 11-23.
- Matschullat, J., R. Ottenstein og C. Reimann. 2000. Geochemical background – can we calculate it? *Environmental Geology* 39: 990-1000.
- Náttúrufræðistofnun Íslands 2011. *Gervitungl greina verulega aukningu gróðurs á Íslandi*. <http://www.ni.is/frettir/nr/13534> [skoðað 23.4.2013]
- Norðurál. *Saga Norðuráls*. <http://www.nordural.is/islenska/fyrirtaekid/saga-fyrirtaekisins> [skoðað 20.2.2013]
- Olafur Arnalds 2010. Dust sources and deposition of aeolian materials in Iceland. *Icelandic Agricultural Sciences* 23: 3-21.
- Pisani, T., S. Munzi, L. Paoli, M. Backor og S. Loppi 2011. Physiological effects of arsenic in the lichen *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr. *Chemosphere* 82: 963-969.
- Poikolainen, J, E. Kubin, J. Piispanen og J. Karhu 2004. Atmospheric heavy metal deposition in Finland during 1985-2000 using mosses as bioindicators. *Science of the Total Environment* 318: 171-185.
- Pokrovski, G.S, I.V. Zakirov, J. Roux, D. Testemale, J-L. Hazemann, A.Y. Bychkov og G.V. Golikova 2002. Experimental study of arsenic speciation in vapor phase to 500°C: implications for As transport and fractionation in low-density crustal fluids and volcanic gases. *Geochimica Et Cosmochimica Acta* 66: 3453-3480.
- Poykio, R., H. Torvela, P. Peramaki, T. Kuokkanen og H. Ronkkomaki 2000. Comparison of dissolution methods for multi-element analysis of some plant materials used as bioindicator of sulphur and heavy metal deposition determined by ICP-AES and ICP-MS. *Analisis* 28: 850-854.
- Real, C., J.R. Aboal, J.A. Fernandez og A. Carballeira 2003. The use of native mosses to monitor fluorine levels and associated temporal variations in the vicinity of an aluminium smelter. *Atmospheric Environment* 37 (22): 3091-3102.
- Reimann, C., H. Niskavaara, G. Kashulina, P. Filzmoser, R. Boyd, T. Volden, O. Tomilina og I. Bogatyrev 2001. Critical remarks on the use of terrestrial moss (*Hylocomium splendens* and *Pleurozium schreberi*) for monitoring of airborne pollution. *Environmental Pollution* 113: 41-57.
- Rio Tinto Alcan. *Upphafid*. <http://www.riotintoalcan.is/?pageid=27> [skoðað 20.2.2013]
- Rodriguez, J.H., E.D. Wannaz, M.J. Salazar, M.L. Pignata, A. Fangmeier og J. Franzaring 2012. Accumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons and heavy metals in the tree

- foliage of *Eucalyptus rostrata*, *Pinus radiata* and *Populus hybridus* in the vicinity of a large aluminium smelter in Argentina. *Atmospheric Environment* 55: 35-42.
- Rühling, Å. og G. Tyler 1968. An ecological approach to the lead problem. *Botaniska Notiser* 122: 248-342.
- Rühling, Å., B. Brumelis, N. Goltsova, K. Kvietkus, E. Kubin, S. Liiv, S. Magnusson, A. Mäkinen, K. Pilegaard, L. Rasmussen, E. Sander og E. Steinnes 1992. Atmospheric heavy metal deposition in Northern Europe 1990. *NORD* 1992: 12, 41 bls.
- Rühling, Å. og E. Steinnes 1998. Atmospheric heavy metal deposition in Europe 1995-1996. *NORD* 1998:15, 66 bls.
- SAS Institute Inc. 2010. *Using JMP 9*. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Signorelli, S. 1997. Arsenic in volcanic gases. *Environmental Geology* 32: 239-244.
- Sigurður H. Magnússon 2002a. Þungmálmur í mosa í nágrenni álversins í Straumsvík árið 2000. Náttúrufræðistofnun Íslands, NÍ-02010. Reykjavík: Náttúrufræðistofnun Íslands.
- Sigurður H. Magnússon 2002b. Þungmálmur í mosa í nágrenni fyrirhugaðs álvers í Reyðarfirði árið 2000. Náttúrufræðistofnun Íslands, NÍ-02011. Reykjavík: Náttúrufræðistofnun Íslands.
- Sigurður H. Magnússon og Björn Thomas 2007a. *Heavy metals and sulphur in mosses around the aluminium smelter in Straumsvík in 2005*. Náttúrufræðistofnun Íslands, NÍ-07003. Reykjavík: Náttúrufræðistofnun Íslands.
- Sigurður H. Magnússon og Björn Thomas 2007b. *Heavy metals and sulphur in mosses at Grundartangi in 2005*. Náttúrufræðistofnun Íslands, NÍ-07004. Reykjavík: Náttúrufræðistofnun Íslands.
- Sigurður H. Magnússon og Björn Thomas 2007c. *Heavy metals and sulphur in mosses around the aluminium smelter site in Reyðarfjörður in 2005*. Náttúrufræðistofnun Íslands, NÍ-07005. Reykjavík: Náttúrufræðistofnun Íslands.
- Sigurður H. Magnússon og Kristbjörn Egilsson 2008. *Gróðurbreytingar við Lagarfljót 1976-1994*. Náttúrufræðistofnun Íslands, NÍ-98002. Unnið fyrir RARIK ohf. Reykjavík: Náttúrufræðistofnun Íslands.
- Skýrsla um grænt bókhald 2010: Elkem Ísland ehf.* 2011. http://ust.is/library/Skrar/Graent-bokhald/2010/Elkem_graent_bokhald_2010.pdf [skoðað 22.4.2013]
- Steinnes, E. 1995. A critical evaluation of the use of naturally growing moss to monitor the deposition of atmospheric metals. *Science of the Total Environment* 160/161:243-249.
- Stohl, A., A.J. Prata, S. Eckhardt, L. Clarisse, A. Durant, S. Henne, N.I. Kristiansen, A. Minikin, U. Schumann og P. Seibert 2011. Determination of time and height resolved volcanic ash emissions and their use for quantitative ash dispersion modeling: the 2010 Eyjafjallajökull eruption. *Atmos. Chem. Phys* 11: 4333-4351.
- Thordarson, T., D.J. Miller, G. Larsen, S. Self og H. Sigurdsson 2001. New estimates of sulfur degassing and atmospheric mass-loading by the 934 AD Eldgjá eruption, Iceland. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 108: 33-54.
- Tyler G. 1970. Moss analysis – a method for surveying heavy metal deposition. Í Englund, H.M og W.T. Berry, ritstj. *Proceedings of the second international clean air congress*. New York: Academic Press.

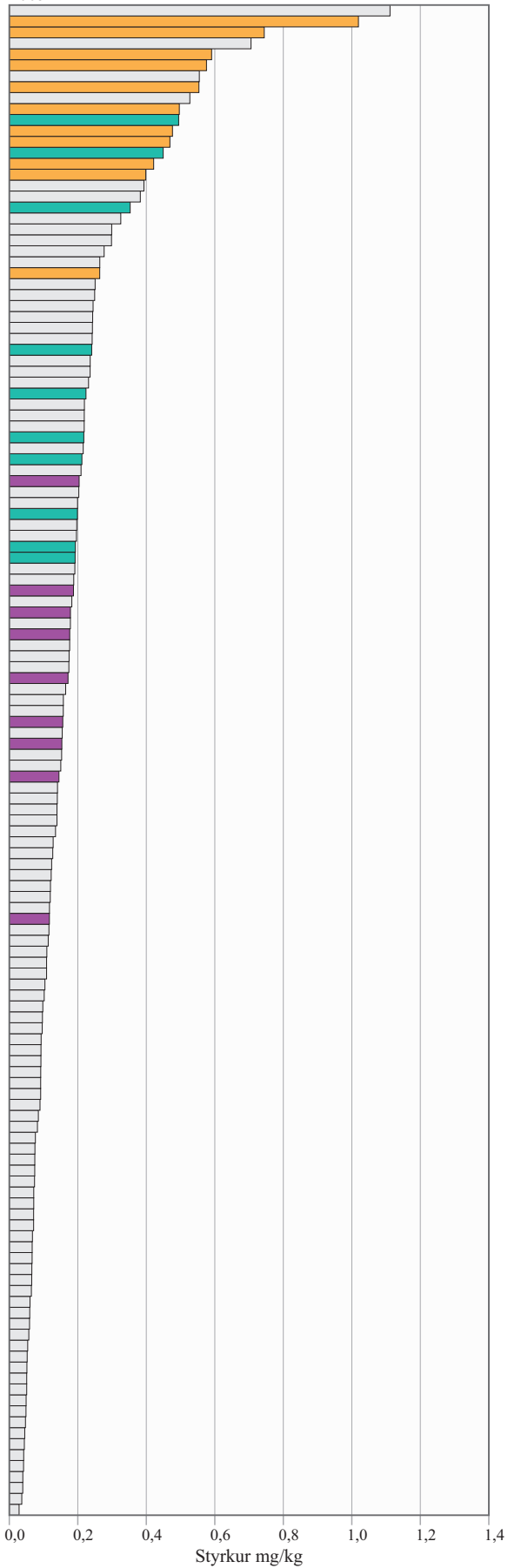
- Tyrovola, K. og N.P. Nikolaidis 2009. Arsenic mobility and stabilization in topsoils. *Water Research* 43: 1589-1596.
- Veðurstofa Íslands. Snjóhula 1925 til 2006. <http://www.vedur.is/loftslag/loftslag/fra1800/Snjohula> [skoðað 23.4.2013]
- Veðurstofa Íslands 2010. *Eldsumbrot í Eyjafjallajökli*. <http://www.vedur.is/skjalftar-og-eldgos/frodleikur/greinar/nr/1863> [skoðað 30.3.2013]
- Vike, E. 1999. Air-pollutant dispersal patterns and vegetation damage in the vicinity of three aluminium smelters in Norway. *Science of the Total Environment* 236: 75-90.
- Vike, E. 2005. Uptake, deposition and wash off of fluoride and aluminium in plant foliage in the vicinity of an aluminium smelter in Norway. *Water, Air, and Soil Pollution* 160: 145-159.
- Vike, E. og A. Håbjørg 1995. Variation in fluoride content and leaf injury on plants associated with three aluminium smelters in Norway. *Science of the Total Environment* 163: 25-34.
- Walker, J.C., E. Carboni, A. Dudhia og R.G. Grainger 2012. Improved detection of sulphur dioxide in volcanic plumes using satellite-based hyperspectral infrared measurements: application to the Eyjafjallajökull 2010 eruption. *Journal of Geophysical Research* 117: D00U16.

8 VIÐAUKAR

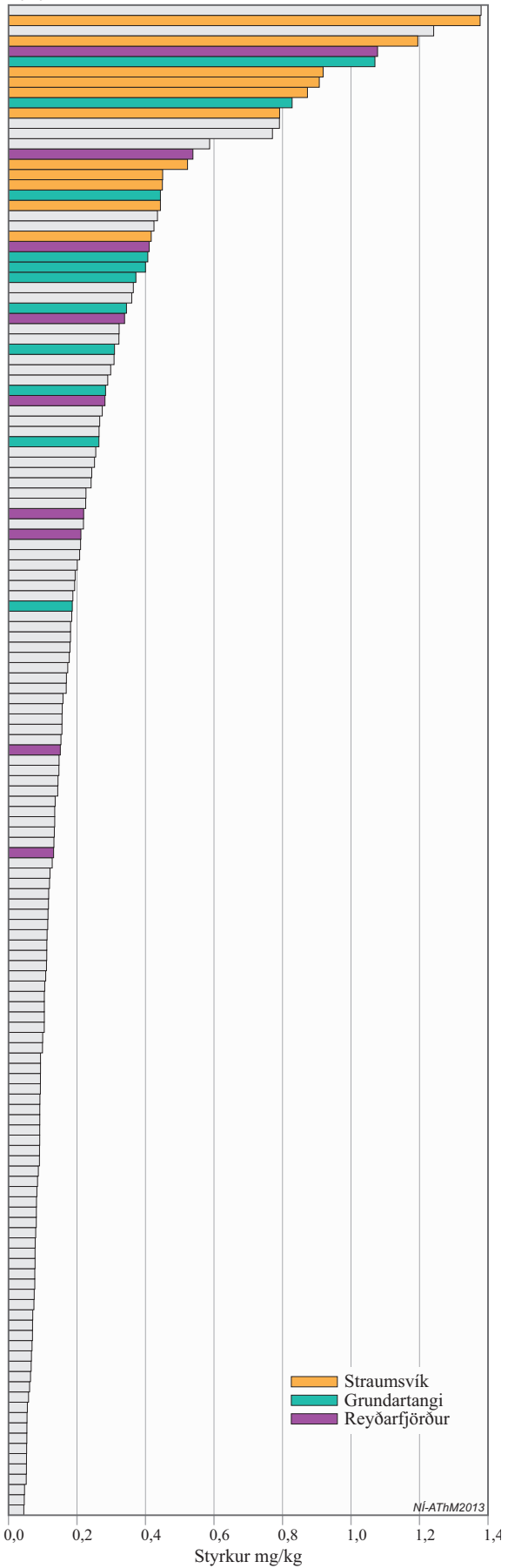
1. viðauki. Styrkur þungmálma og brennisteins í mosa sem safnað var árin 2005 og 2010. Sýnum er raðað eftir magni viðkomandi efnis. Sýnum sem safnað var í nágrenni verksmiðjanna (<4 km) eru merkt með mismunandi litum.

Arsen (As)

2005



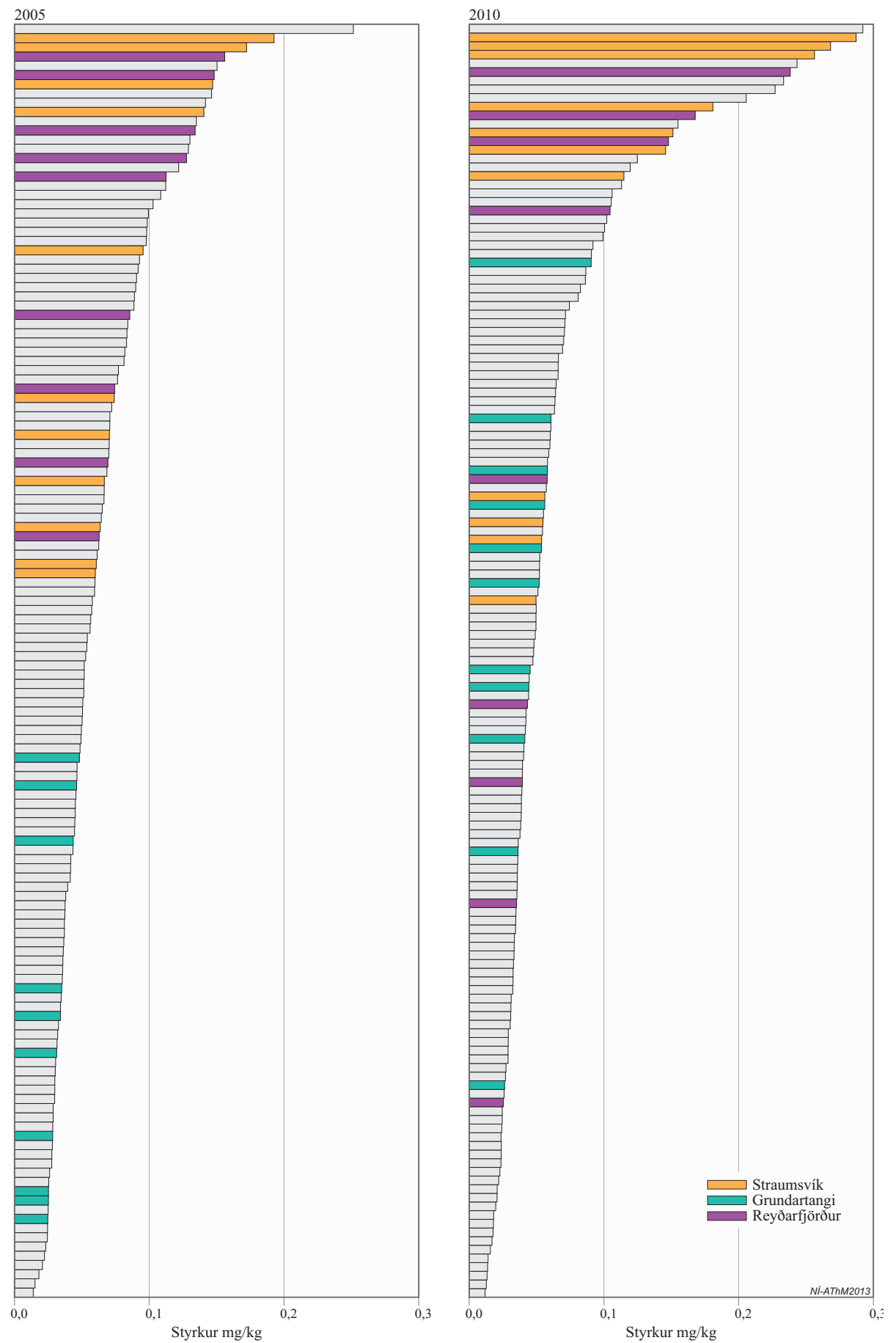
2010



■ Straumsvík
■ Grundartangi
■ Reyðarfjörður

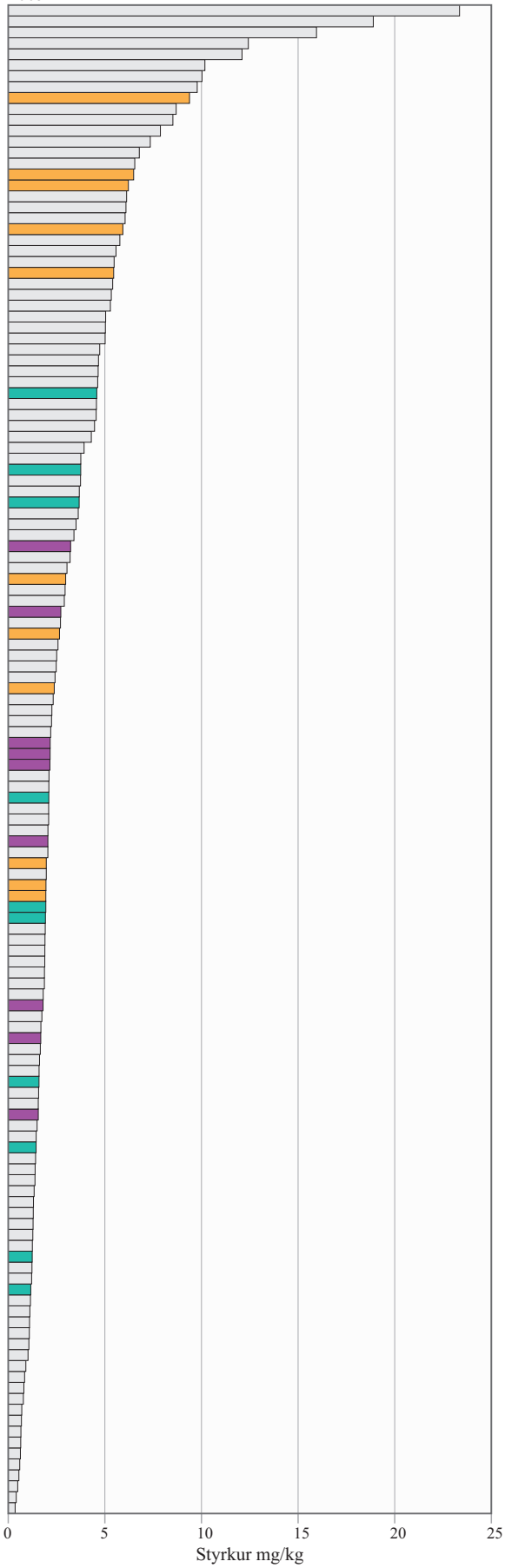
Ni-ATHM2013

Kadmín (Cd)

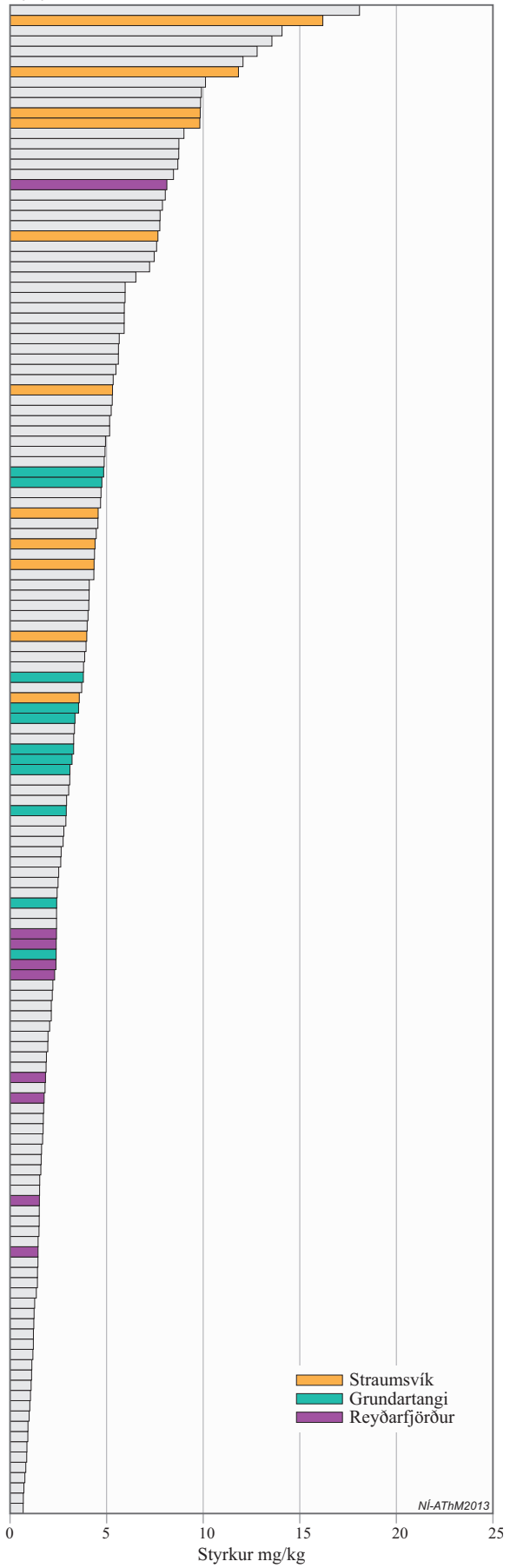


Króm (Cr)

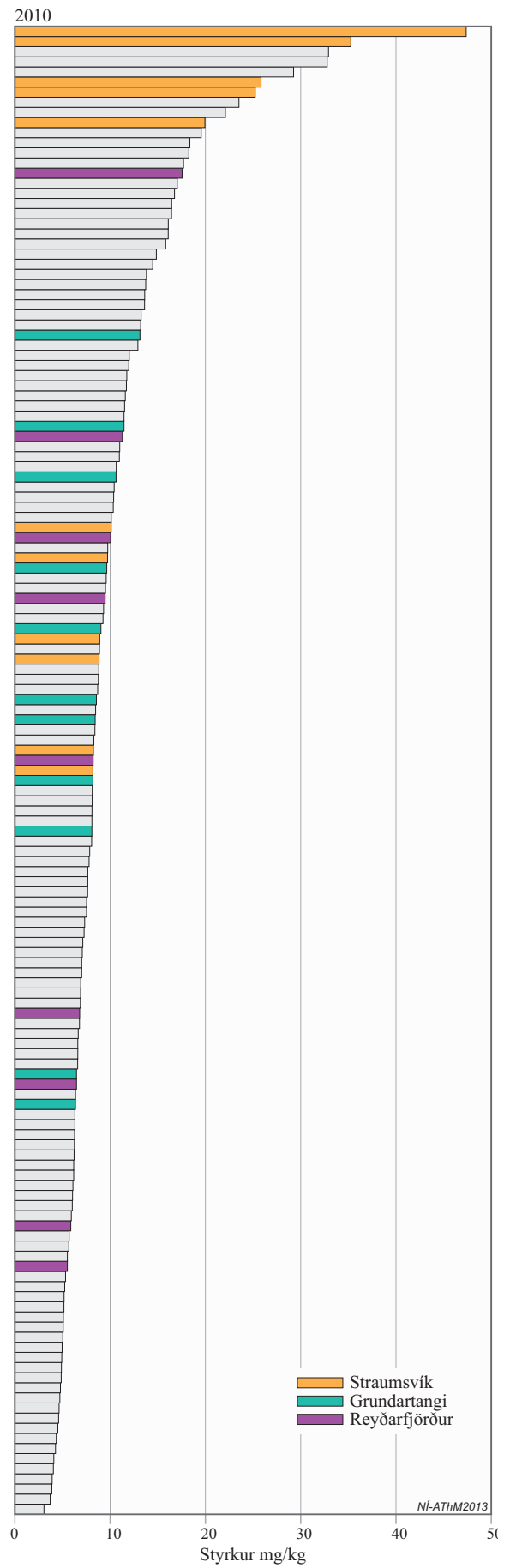
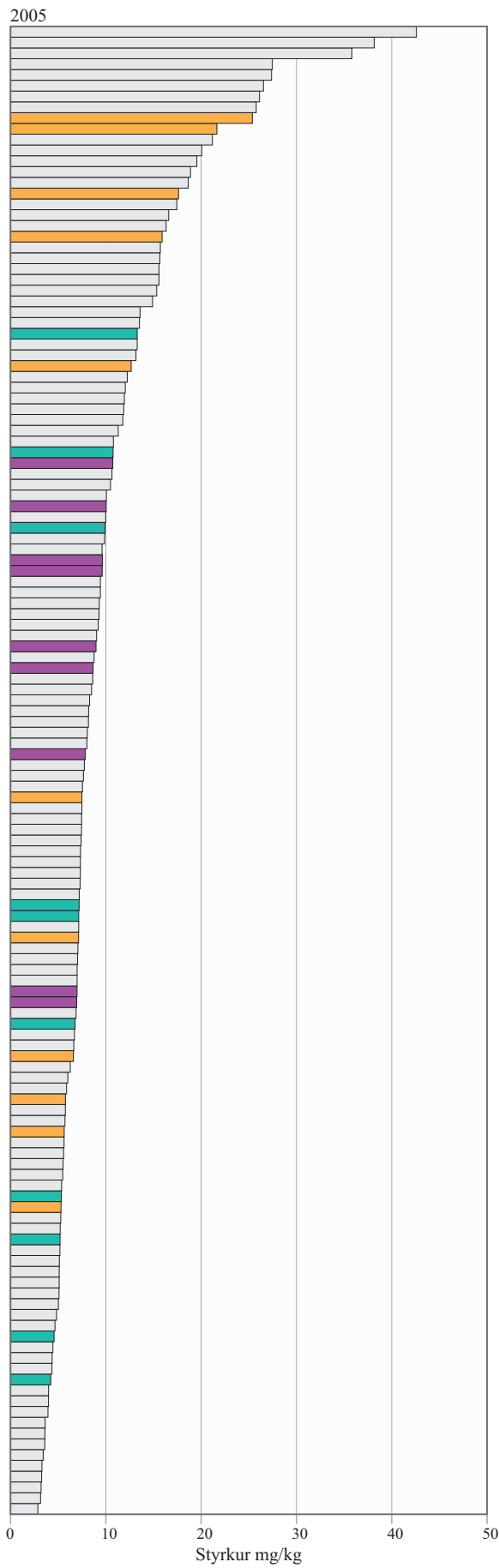
2005



2010

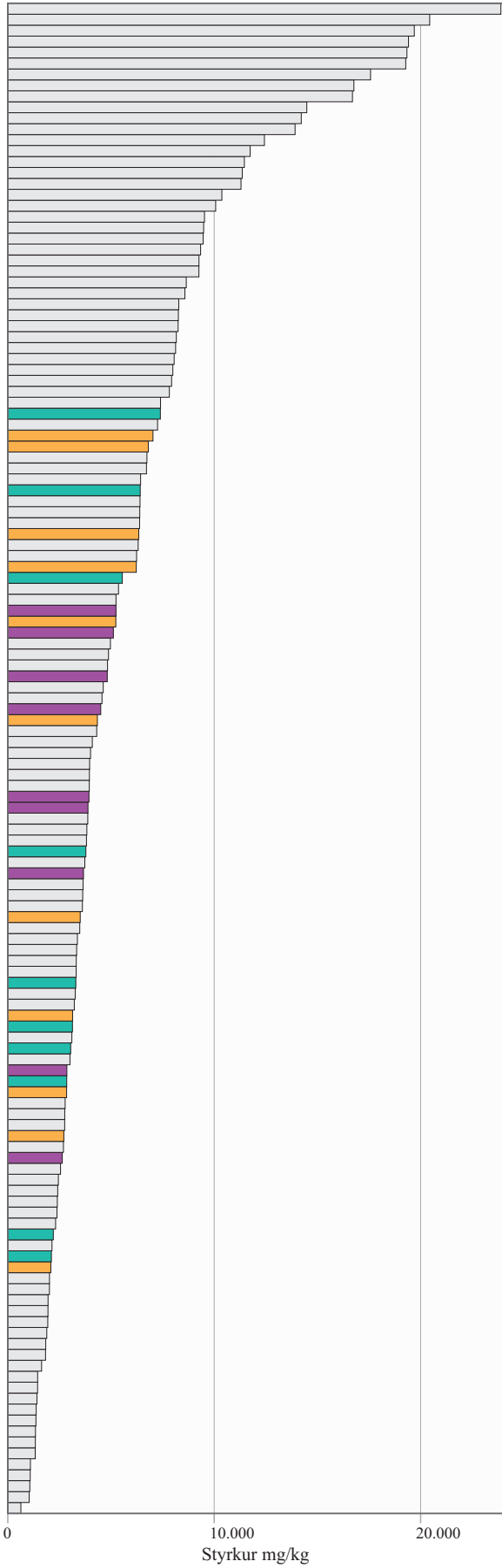


Kopar (Cu)

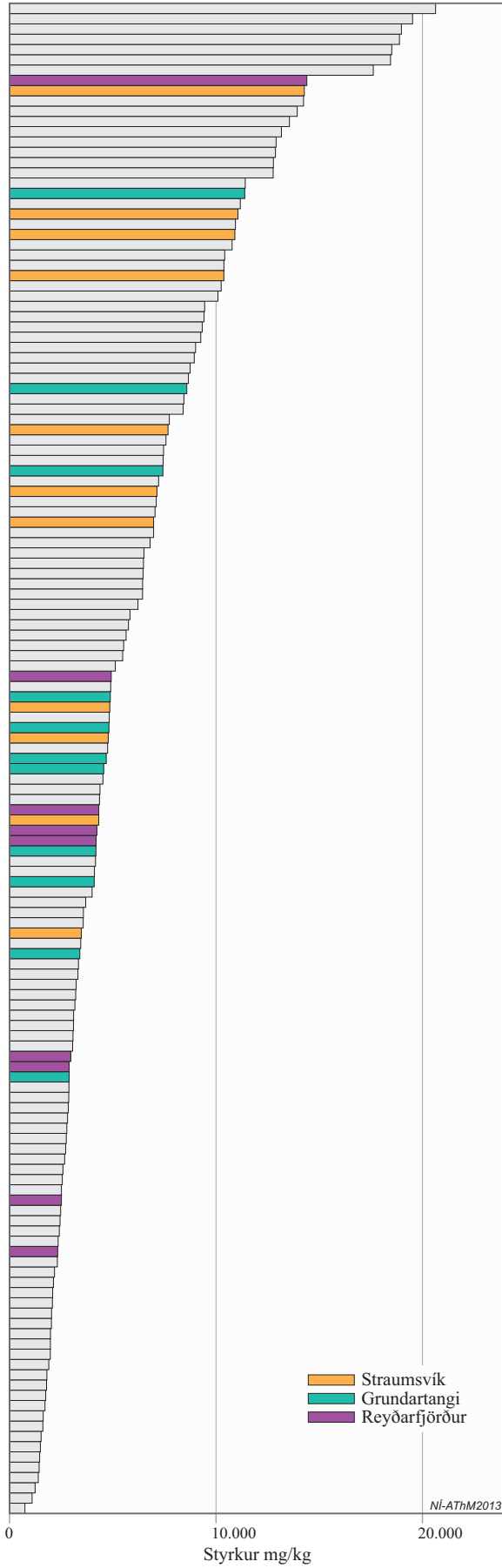


Járn (Fe)

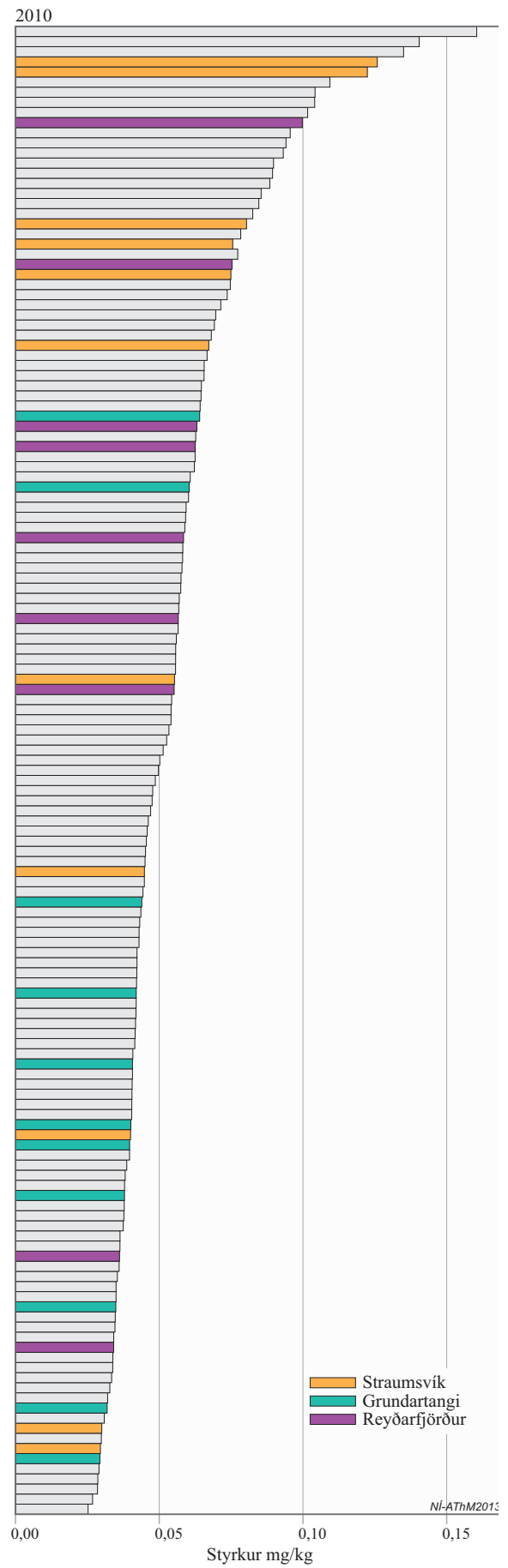
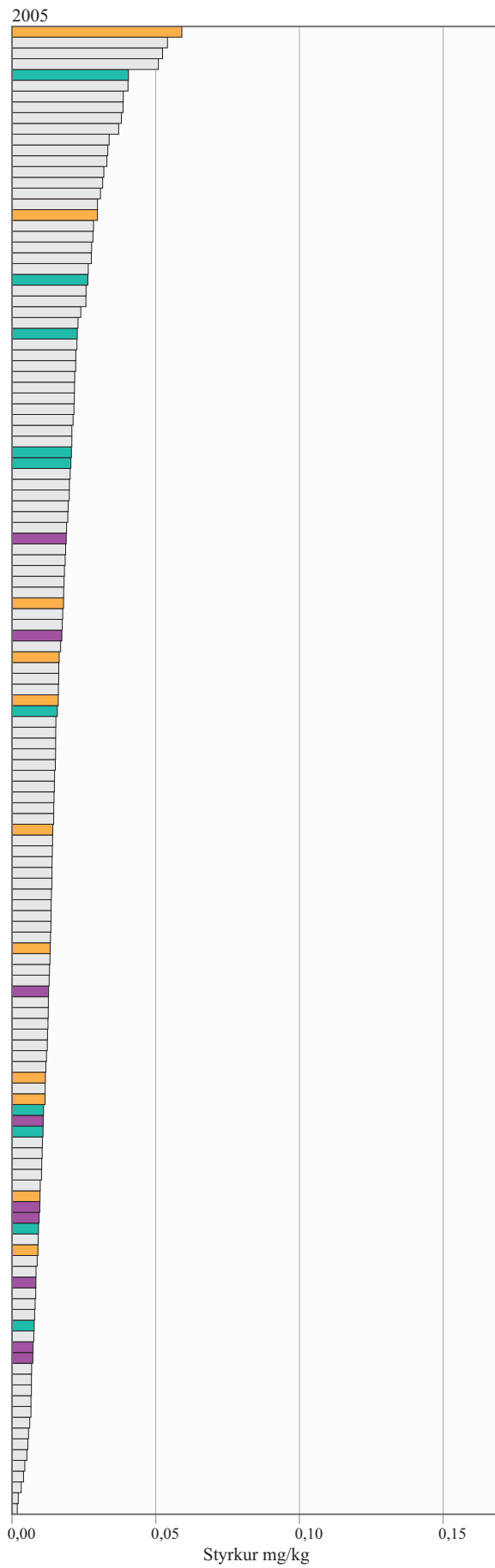
2005



2010

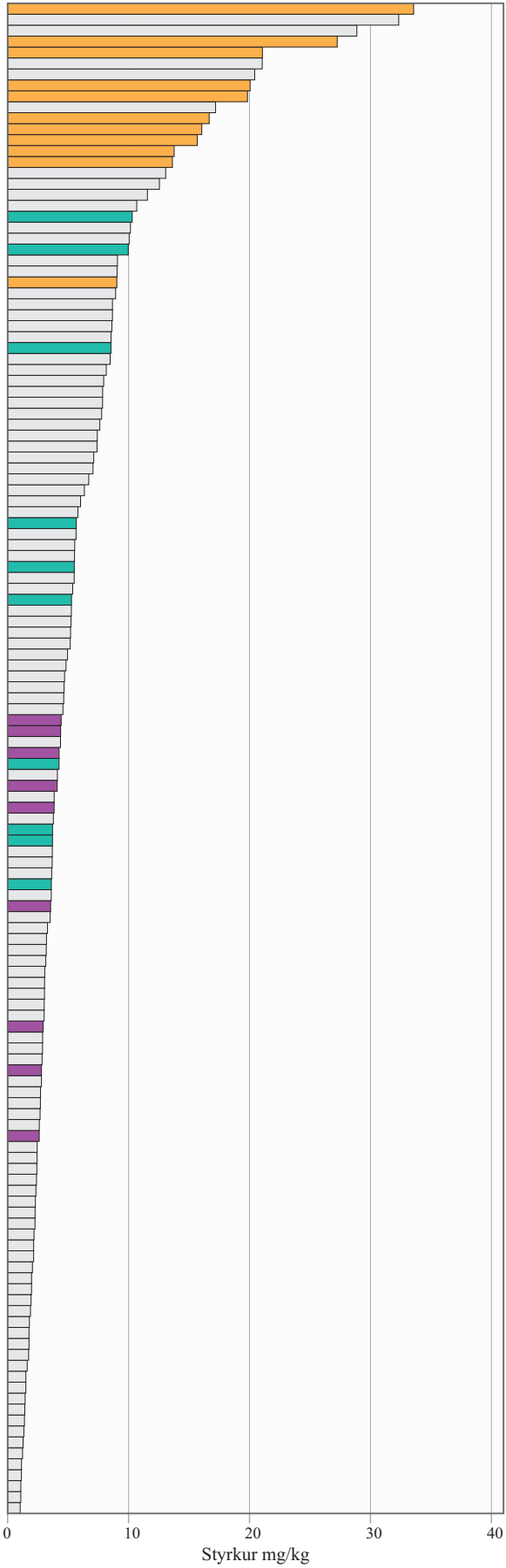


Kvikasilfur (Hg)

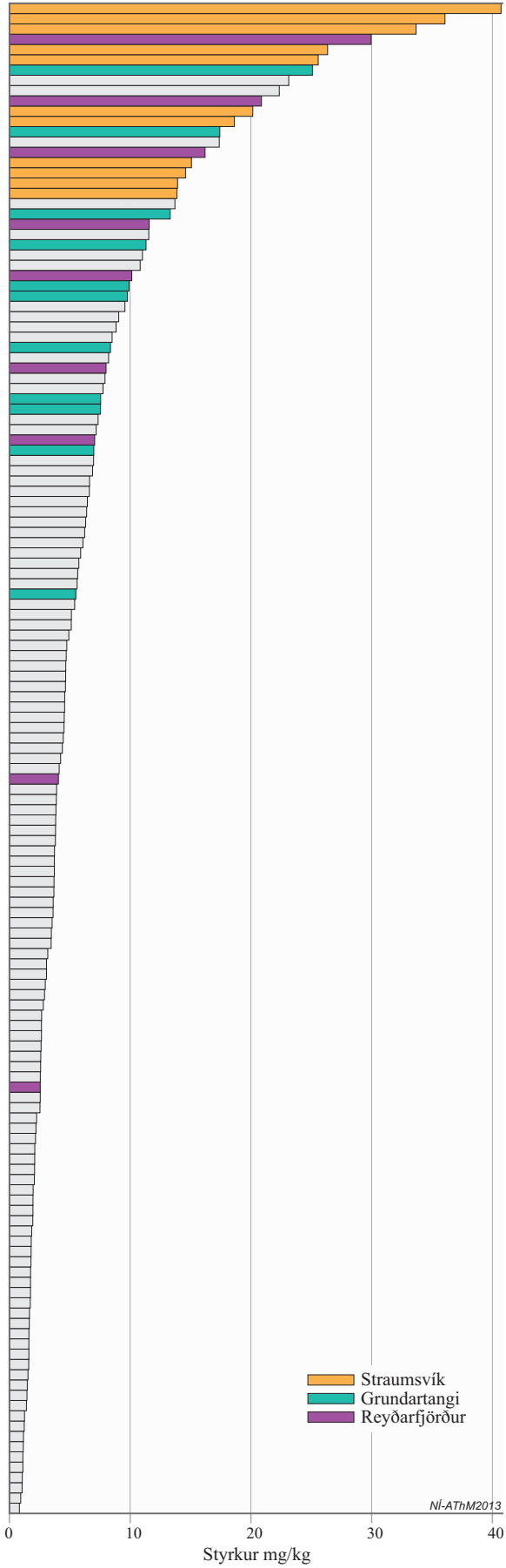


Nikkel (Ni)

2005

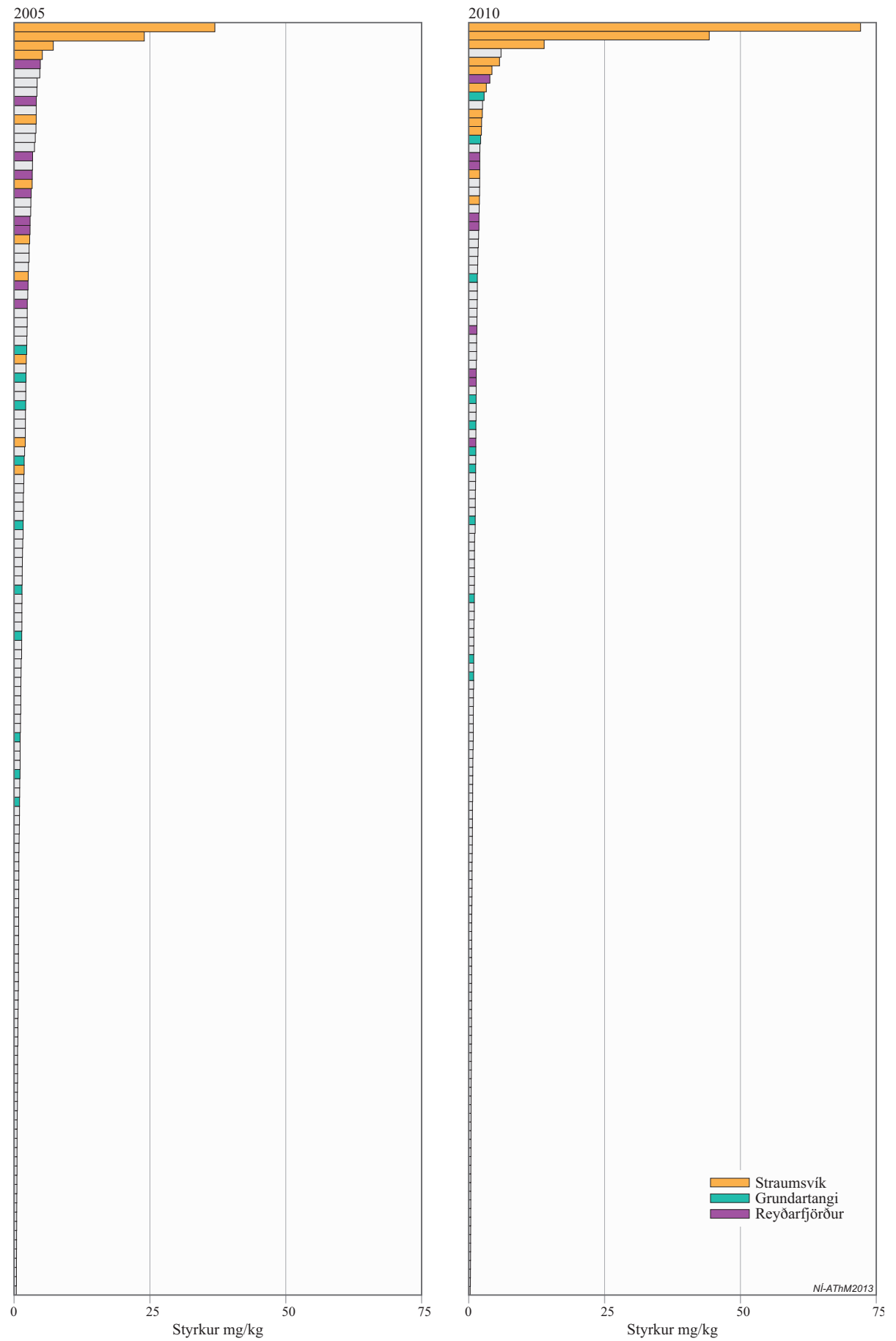


2010



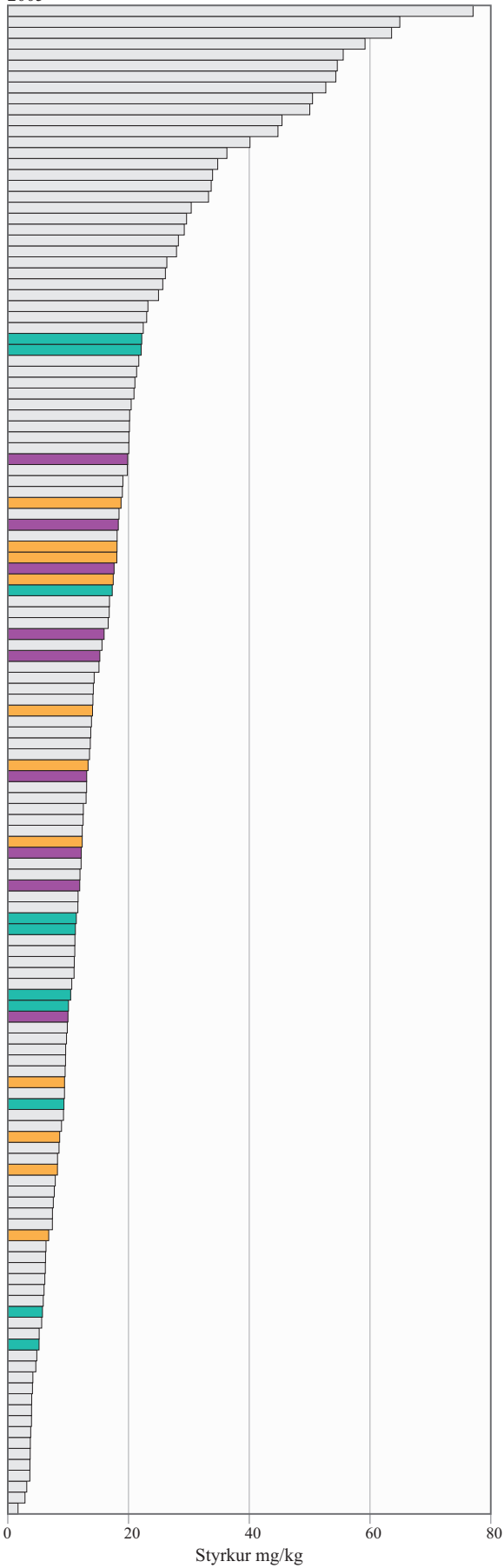
Ni-ATHM2013

Blý (Pb)

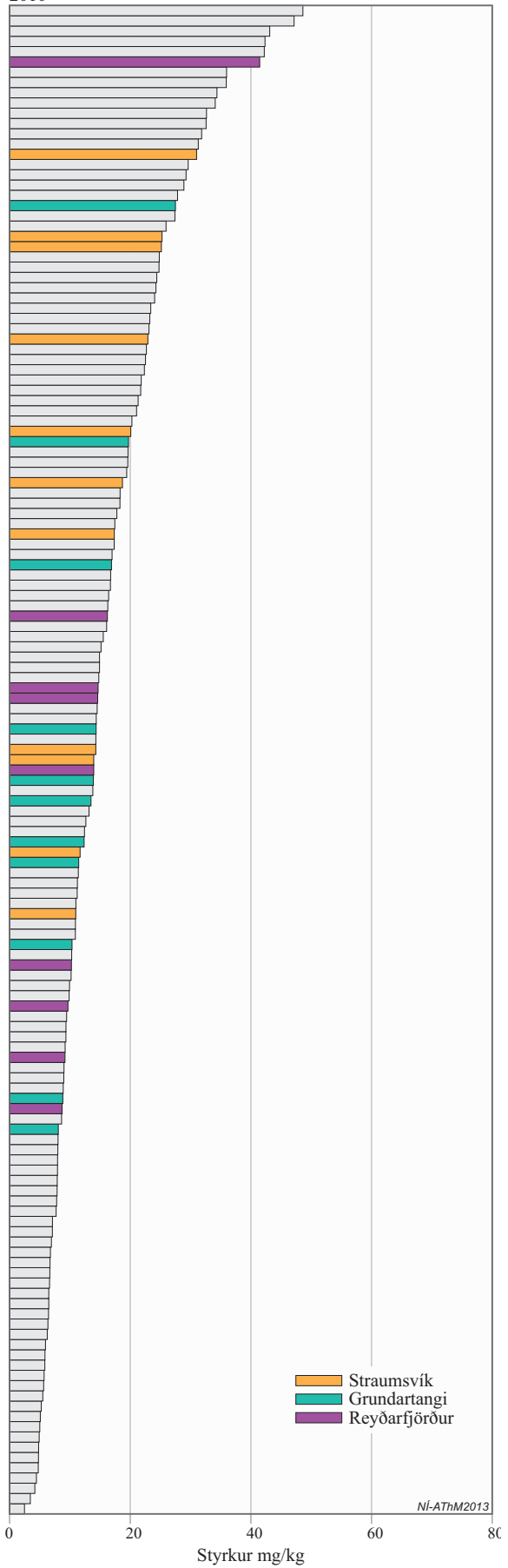


Vanadín (V)

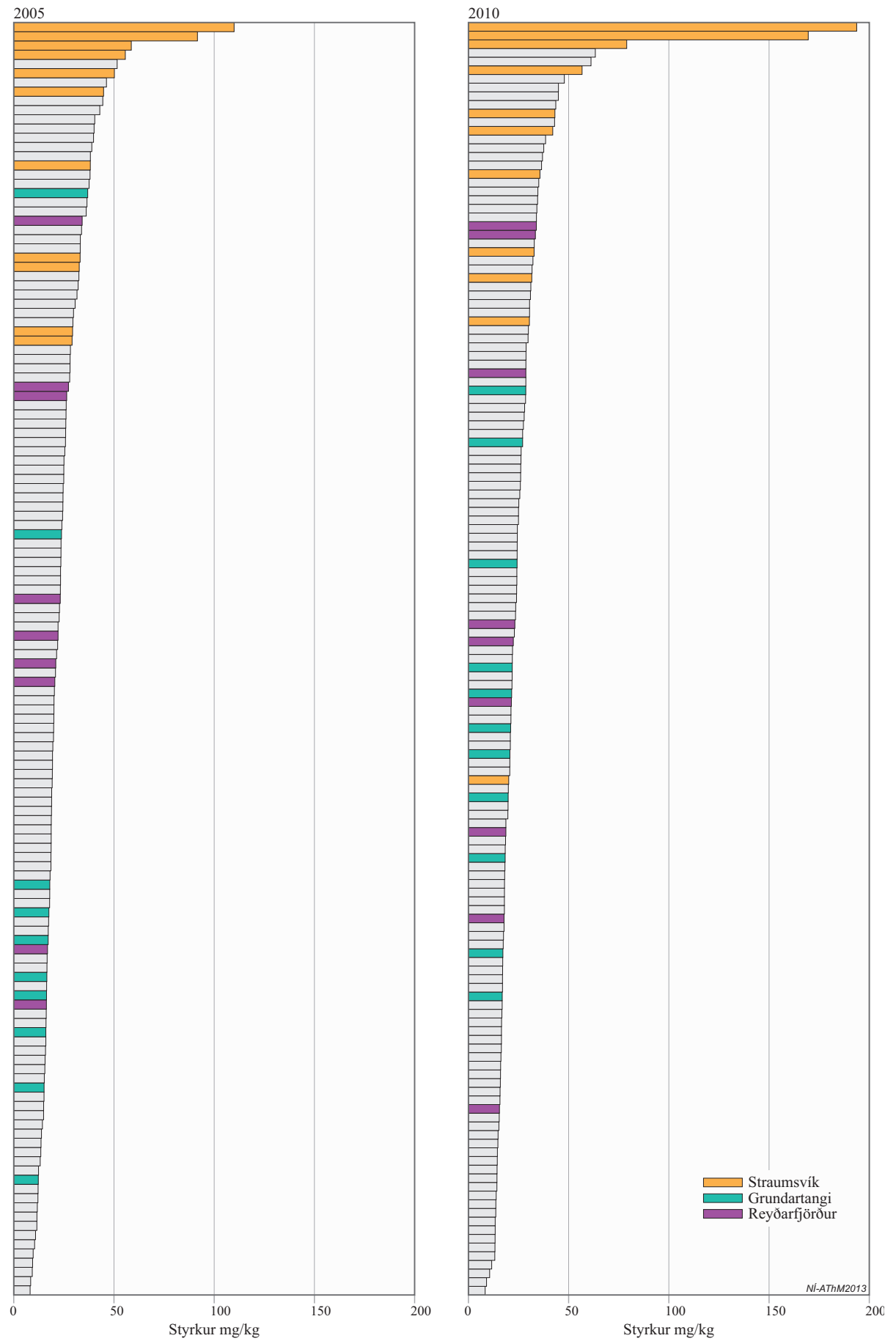
2005



2010

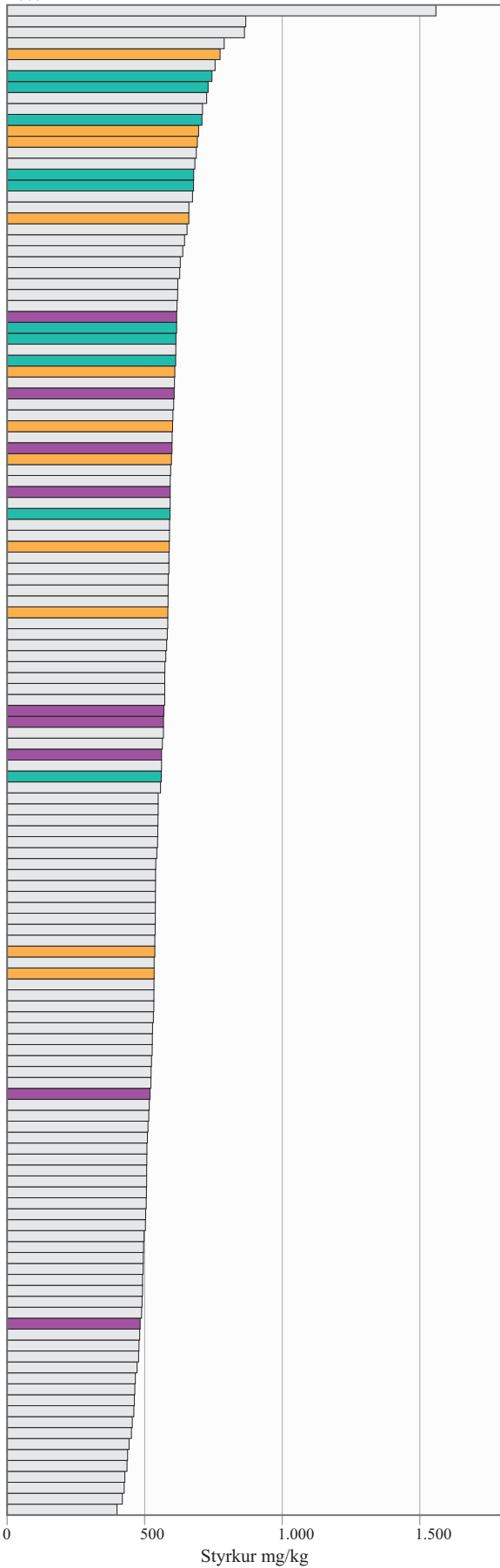


Sink (Zn)



Brennisteinn (S)

2005



2010



Straumsvík
Grundartangi
Reyðarfjörður

NÍ-ATHM2013

2. viðauki. Ljósmyndir af mosaskemmdum.



1. ljósmynd. Skemmdur tildurmosi við Háamúla í Fljótshlíð. Blöð og greinar eru svartar og liflausar. Ljós. Sigurður H. Magnússon 17. ágúst 2010.



2. ljósmynd. Skemmdur tildurmosi á Baðsvöllum við Svartsengi á Reykjanesskaga. Blöð og greinar eru svartar og liflausar. Ljós. Sigurður H. Magnússon 30. ágúst 2010.



3. ljósmynd. Skemmdur tildurmosi, *Hylocomium splendens*, í mosaríku graslendi við Gerði í Straumsvík (staður 92A). Ljós. Sigurður H. Magnússon 2. september 2010.



4. ljósmynd. Skemmdur tildurmosi í mosaríku graslendi við Rauðhóla við Reykjavík. Dauður mosi myndar afmarkaðar svartar skellur. Utan þeirra er mosinn að mestu heill. Ljós. Sigurður H. Magnússon 14. september 2010.



5. Ljósmynd. Mosaskemmdir um 850 m norðvestan við álverksmiðjuna í Reyðarfirði (staður R42). Mosinn bleytuburi, *Sphagnum teres*, er talsvert skemmdur, efstu blaðhvirfingar dauðar og blaðgræna að mestu horfin. Ljós. Sigurður H. Magnússon 19. ágúst 2010.



6. Ljósmynd. Mosaskemmdir um 850 m norðvestan við álverksmiðjuna í Reyðarfirði (staður R42). Bleytuburi, *Sphagnum teres*, t.v. heilbrigður grænn mosi með eðlilegum greinum en t.h. er skemmdur mosi, blöð eru grá og sinlituð. Ljós. Sigurður H. Magnússon 19. ágúst 2010.



7. Ljósmynd. Skemmdur tildurmosi, *Hylocomium splendens*, í mólendi um 1100 m vestan við álverksmiðjuna í Reyðarfirði (staður R37-2). Blöð skemmd og greinar svartar. Ljós. Sigurður H. Magnússon 20. ágúst 2010.



8. Ljósmynd. Skemmdur hraungamri, *Racomitrium lanuginosum*, um 1100 m vestan við álverksmiðjuna í Reyðarfirði (staður R37-2). Blöð skemmd og greinar svartar. Ljós. Sigurður H. Magnússon 20. ágúst 2010.