

**Þungmálmar í mosa í nágrenni
álversins í Straumsvík árið 2000**

Sigurður H. Magnússon

Unnið fyrir Íslenska álfélagið hf.

NÍ-02010

Reykjavík, maí 2002



NÁTTÚRUFRAEÐISTOFNUN ÍSLANDS

ENGLISH SUMMARY

HEAVY METAL DEPOSITION IN THE VICINITY OF THE ALUMINIUM SMELTER IN STRAUMSVÍK, ICELAND

As a part of a joint moss survey in Europe the atmospheric heavy metal deposition in Iceland has been monitored by a moss technique at a five year interval since 1990. This technique is based on the fact that most mosses receive their nutrients primarily through dust-fall and precipitation. By measuring the concentration of heavy metals in the moss it is possible to characterise regional atmospheric deposition pattern of the metals and to indicate the location of important pollution sources.

During the summer of 2000 the moss species *Hylocomium splendens* was sampled in Iceland at 116 different sites throughout the country. Eleven additional samples were taken near the aluminium smelter at Straumsvík in order to study if and how the smelter affected the concentration of heavy metals in the surrounding area. The Icelandic Aluminium Company at Straumsvík participated in the project and funded part of it.

Mosses were sampled along four transects with sampling points ca 1100, 1700 and 2500 m from the center of the smelter. The samples were analysed for As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb, V, Zn and S by ICP technique.

For comparison all the moss samples collected throughout the country were divided into three classes a) <3 km, b) 3–100 km and c) >100 km from the smelter. Comparison were also made on data from a similar study performed during the summer of 2000 around 5 Norwegian aluminium smelters commissioned by the Norwegian Pollution Control Authority.

The results of the chemical analysis show that concentration of As, Ni, S, Cd, Cu, Pb and Zn is higher near the aluminium smelter at Straumsvík than in most other parts of the country. The distribution pattern of heavy metals in the Straumsvík area strongly indicates that the smelter is a relatively strong local source for As, Ni and S. On the other hand the increase in Cd, Cu, Pb and Zn is not likely to be related to the factory. The small industries later established in the area are probably the main sources of these metals.

ÁGRIP

Hér á landi hefur farið fram vöktun á þungmálmum í andrúmslofti frá árinu 1990 með því að mæla magn þeirra í mosa. Mælingarnar sem eru endurtekningar á fimm ára fresti eru liður í fjölþjóðlegu verkefni þar sem megintilgangurinn er að fylgjast með loftborinni mengun af völdum þungmálma og að finna helstu uppsprettur hennar. Aðferðin byggist á því að þurrlandismosar fá mestan hluta næringar sinnar með úrkomu og ryki sem á þá fellur. Þungmálmar safnast fyrir í mosanum og því endurspeglar magn málmanna hreinleika þess andrúmslofts sem um mosann hefur leikið.

Sumarið 2000 sá Náttúrufræðistofnun Íslands um þessar rannsóknir í samvinnu við Hollustuvernd ríkisins o.fl. Alls var safnað 116 sýnum af tildurmosa (*Hylocomium splendens*) víðs vegar um land. Einnig voru tekin 11 sýni við álverið í Straumsvík til að kanna hvort álbræðslan hefði áhrif á magn þungmálma í sínu næsta umhverfi. Íslenska álfélagið tók þátt rannsókninni og greiddi hluta af þeim viðbótarkostnaði sem þessu fylgdi.

Sýni af mosa voru tekin á fjórum sniðum í um 1100, 1700 and 2500 m fjarlægð frá miðju álversins. Af mosanum voru teknir til greiningar árssprotar þriggja síðustu ára, þeir þurrkaðir við 40°C og styrkur As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb, V, Zn og S ákvarðaður með ICP tækni.

Við úrvinnslu voru notaðar niðurstöður úr þeim sýnum sem safnað var á landinu öllu og styrkur þungmálma kannaður eftir fjarlægð frá álveri a) < 3 km, b) 3–100 km og c) >100 km. Niðurstöður frá Straumsvík voru einnig bornar saman við samsvarandi gögn sem safnað hefur verið við fimm norsk álver.

Niðurstöðurnar sýna að styrkur As, Ni, S, Cd, Cu, Pb og Zn er hærri í nágrenni álversins í Straumsvík en annars staðar á landinu. Dreifingarmynstur þungmálma við álverið bendir eindregið til þess að frá því berist talsvert af As, Ni og S. Hinsvegar er ólíklegra að tiltölulega hár styrkur Cd, Cu, Pb og Zn í nágrenni versins tengist álbræðslunni. Útbreiðsla þeirra bendir frekar til þess að þau berist út í umhverfið frá þeirri iðnaðarstarfsemi sem stunduð er skammt suðaustur af álverinu.

EFNISYFIRLIT

ENGLISH SUMMARY	2
ÁGRIP	3
1 INNGANGUR	6
2 FRAMKVÆMD	7
3 ÚRVINNSLA	10
4 NIÐURSTÖÐUR OG UMRÆÐA	10
4.1 Arsen (As)	10
4.2 Kadmíum (Cd)	11
4.3 Króm (Cr)	11
4.4 Kopar (Cu)	15
4.5 Járn (Fe)	15
4.6 Kvikasilfur (Hg)	18
4.7 Nikkel (Ni)	18
4.8 Blý (Pb)	21
4.9 Vanadíum (V)	21
4.10 Sink (Zn)	24
4.11 Brennisteinn (S)	24
5 LOKAORÐ	27
5.1 Þakkir	27
6 HEIMILDIR	29
1. VIÐAUKI. Magn mældra efna í mosa sem safnað var víðsvegar um land sumarið 2000	30

TÖFLUR

1. tafla. Staðsetning og helstu einkenni á mosasöfnunarstöðum við álverið í Straumsvík	8
2. tafla. Yfirlit yfir helstu fyrirtæki og starfsemi næst álverinu í Straumsvík	28

MYNDIR

1. mynd. Álverið í Straumsvík og nánasta umhverfi þess. Sýndir eru þeir staðir þar sem tildurmosa var safnað árið 2000 til mælinga á þungmálmum og staðsetning nokkurra fyrirtækja	7
2. mynd. (A) Styrkur arsens í mosa ($\mu\text{g/g}$) í mismunandi fjarlægð frá álverinu í Straumsvík, (0–3 km, 3–100 km og >100 km). (B) Styrkur arsens við álverið í Straumsvík	12
3. mynd. (A) Styrkur kadmíums í mosa ($\mu\text{g/g}$) í mismunandi fjarlægð frá álverinu í Straumsvík, (0–3 km, 3–100 km og >100 km). (B) Styrkur kadmíums við álverið í Straumsvík	13
4. mynd. (A) Styrkur króms í mosa ($\mu\text{g/g}$) í mismunandi fjarlægð frá álverinu í Straumsvík, (0–3 km, 3–100 km og >100 km). (B) Styrkur króms við álverið í Straumsvík	14
5. mynd. (A) Styrkur kopars í mosa ($\mu\text{g/g}$) í mismunandi fjarlægð frá álverinu í Straumsvík, (0–3 km, 3–100 km og >100 km). (B) Styrkur kopars við álverið í Straumsvík	16
6. mynd. (A) Styrkur járn í mosa ($\mu\text{g/g}$) í mismunandi fjarlægð frá álverinu í Straumsvík, (0–3 km, 3–100 km og >100 km). (B) Styrkur járn við álverið í Straumsvík	17
7. mynd. (A) Styrkur kvikasilfurs í mosa ($\mu\text{g/g}$) í mismunandi fjarlægð frá álverinu í Straumsvík, (0–3 km, 3–100 km og >100 km). (B) Styrkur kvikasilfurs við álverið í Straumsvík	19
8. mynd. (A) Styrkur nikkels í mosa ($\mu\text{g/g}$) í mismunandi fjarlægð frá álverinu í Straumsvík, (0–3 km, 3–100 km og >100 km). (B) Styrkur nikkels við álverið í Straumsvík	20

9. mynd. (A) Styrkur blýs í mosa ($\mu\text{g/g}$) í mismunandi fjarlægð frá álverinu í Straumsvík, (0–3 km, 3–100 km og >100 km). (B) Styrkur blýs við álverið í Straumsvík 22
10. mynd. (A) Styrkur vanadíums í mosa ($\mu\text{g/g}$) í mismunandi fjarlægð frá álverinu í Straumsvík, (0–3 km, 3–100 km og >100 km). (B) Styrkur vanadíums við álverið í Straumsvík 23
11. mynd. (A) Styrkur sinks í mosa ($\mu\text{g/g}$) í mismunandi fjarlægð frá álverinu í Straumsvík, (0–3 km, 3–100 km og >100 km). (B) Styrkur sinks við álverið í Straumsvík 25
12. mynd. (A) Styrkur brennisteins í mosa ($\mu\text{g/g}$) í mismunandi fjarlægð frá álverinu í Straumsvík, (0–3 km, 3–100 km og >100 km). (B) Styrkur brennisteins við álverið í Straumsvík 26

1 INNGANGUR

Þungmálmar finnast í náttúrunni í litlum mæli, svo sem í lofti, jarðvegi, vatni og lífverum. Margir þeirra eru nauðsynlegir lífsstarfsemi en hafa hinsvegar eiturverkanir fari styrkur þeirra yfir ákveðin mörk. Vegna aukinna umsvifa mannsins hefur styrkur þungmálma í umhverfinu aukist verulega frá því sem áður var, einkum vegna margs konar iðnaðar svo sem málmvinnslu og brennslu kola og olíu. Þungmálmar í andrúmslofti berast frá uppsprettum með úrkomu og ryki. Stórar agnir falla til jaðrar skammt frá uppsprettunni en smáert ryk og efnasambönd geta borist langt frá mengunarstað.

Árið 1980 hófu Svíar og Danir samvinnu um mælingar á þungmálmum í mosasýnum til þess að fylgjast með magni þeirra í umhverfinu (Rühling o.fl. 1987). Vöktun þungmálma með mosaaðferðinni byggir á því að þurrlandismosar, einkum þeir sem mynda breiður, fá mestan hluta næringar sinnar með úrkomu og ryki sem á þá fellur. Þungmálmar safnast fyrir í mosanum og því endurspeglar magn málmanna hreinleika þess andrúmslofts sem um mosann hefur leikið.

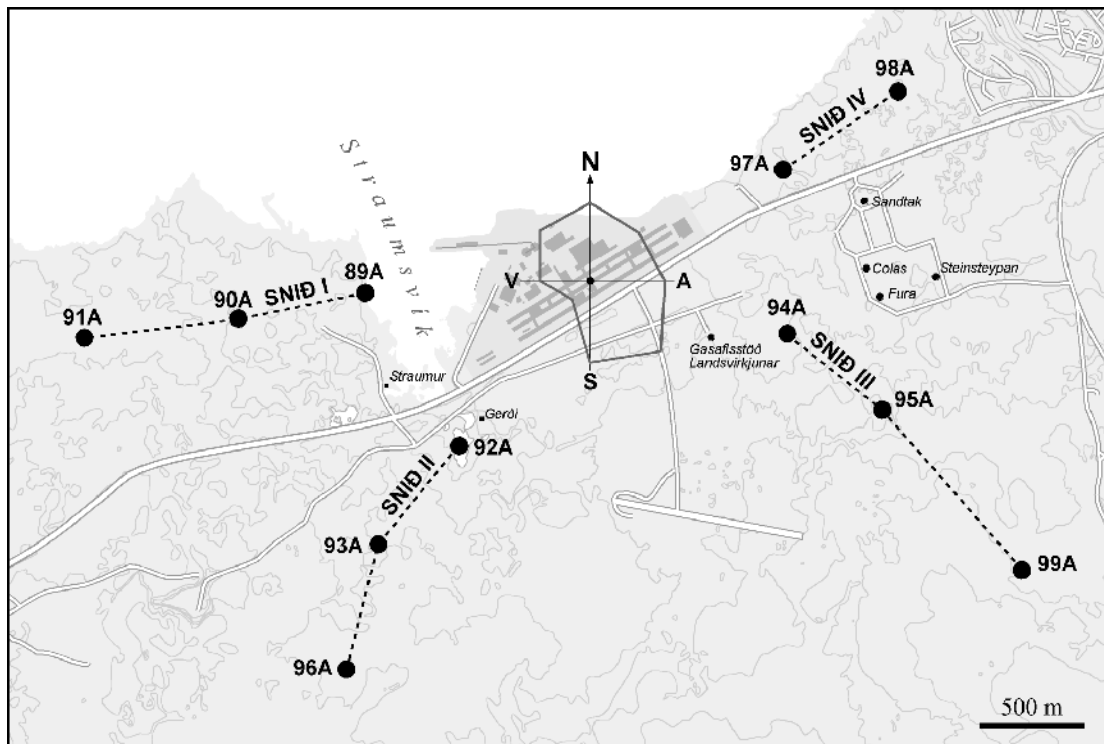
Í framhaldi af þessum rannsóknum hófust síðan árið 1985 skipulegar mælingar á þungmálmum í mosa í Danmörku, Finnlandi, Noregi, Svíþjóð og víðar (Rühling o.fl. 1987). Þessum mælingum sem unnar voru á vegum Norrænu ráðherranefndarinnar hefur verið haldið áfram á fimm ára fresti og hafa stöðugt fleiri lönd í Evrópu bæst í hóp þeirra sem fylgjast með þungmálmamengun með þessum hætti (Rühling o.fl. 1992, Rühling og Steinnes 1998). Árið 1990 tók Ísland fyrst fullan þátt í verkefninu en þá var sýnum af tildurmosa (*Hylocomium splendens*) í fyrsta skipti safnað um allt land. Tildurmosi hefur afmarkaða ársprotta sem er mikilvægur eiginleiki þegar mæla skal uppsöfnun máлма yfir ákveðið tímabil. Með því að efnagreina t.d. ársprotta síðasta árs má fá upplýsingar um loftmengun á því ári (Borgþór Magnússon og Sigurður H. Magnússon 1993). Söfnum mosasýna og mælingar á þungmálmum voru síðan endurteknar 1995 og 2000. Í fyrstu tvö skiptin sá Rannsóknastofnun landbúnaðarins um framkvæmd verksins en árið 2000 var það unnið á Náttúrufræðistofnun Íslands í samvinnu við Hollustuvernd ríkisins o.fl.

Við mælingar árin 1990 og 1995 komu fram vísbendingar um að magn nokkurra þungmálma, einkum As, Pb, Hg og Ni, sé hærra í nágrenni álversins í Straumsvík en víðast annars staðar á landinu (Rühling o.fl. 1992, Rühling o.fl. 1987). Til þess að kanna hvort þetta ætti við rök að styðjast var ákveðið að samhliða söfnun á mosa til þungmálmamælinga á landsvísu sumarið 2000 yrði mosa safnað á fleiri stöðum í nágrenni álversins en áður hafði verið gert. Var um það samið að Íslenska álfélagið tæki þátt í þeim viðbótarkostnaði sem þessu fylgdi svo sem sýnatöku, flokkun sýna, efnagreiningu og úrvinnslu. Þessar viðbótarupplýsingar við álverið gera það að verkum að nákvæmari mynd fæst af loftmengun í nágrenni höfuðborgarinnar en annars hefði fengist. Mælingar á landsvísu gefa hinsvegar mikilvægar upplýsingar um magn þungmálma almennt á Íslandi og eru því nauðsynlegar þegar meta skal áhrif álversins á þungmálmamengun. Því má segja að bæði þessi verkefni njóti góðs hvort af öðru.

Í þessari skýrslu er greint frá helstu niðurstöðum mælinga á þungmálmum við álverið í Straumsvík. Magn efna við álverið er borið saman við það sem mældist í sýnum annars staðar af landinu. Einnig er styrkur þungmálma í Straumsvík borinn saman við styrk þeirra í nágrenni fimm norskra álvera en árið 2000 var mosasýnum safnað þar á sama hátt og gert var hér á landi (Steinnes o.fl. 2001).

2 FRAMKVÆMD

Unnið var að söfnun sýna dagana 5.–6. október árið 2000. Frá álverinu voru lögð út fjögur snið, I–IV (1. mynd). Fyrsta sniðið var lagt út í vesturátt neðan þjóðveggar út á svokölluð Hraun. Annað sniðið var lagt út ofan þjóðveggar til suðvesturs og er stefna þess nokkurnveginn frá miðju verksmiðjunnar um Gerði í átt til eyðibýlisins Lónkots-sels. Þriðja sniðið var einnig lagt út ofan þjóðveggar um það bil til suðausturs miðað við norðausturenda verksmiðjunnar. Fjórða og síðasta sniðið var síðan lagt út til norðausturs neðan þjóðveggar í átt til Hafnarfjarðar og hefur það u.þ.b. sömu stefnu og kerskálar álversins. Næst álverinu var afar lítið af tildurmosa og því var ekki unnt að safna honum nær verksmiðjunni en í 1000–1100 m fjarlægð. Miðað var við að á hverju sniði væru tekin þrjú sýni í um 1100, 1700 og 2500 m fjarlægð frá miðju verksmiðjunnar. Þetta reyndist ekki hægt í öllum tilfellum vegna þess að mosinn fannst ekki alls staðar þar sem sýnataka var fyrirhuguð. Sýni var þá tekið eins nálægt fyrirhuguðum stað og mögulegt var. Vegna nálægðar við Hafnarfjörð voru aðeins tekin tvö sýni á IV. sniði. Snið þetta liggur um svæði sem gert hefur verið að golfvelli og var sýnum safnað á óröskuðu landi á milli ræktaðara svæða.



1. mynd. Álverið í Straumsvík og nánasta umhverfi þess. Sýndir eru þeir staðir þar sem tildurmosa var safnað árið 2000 til mælinga á þungmálmum og staðsetning nokkurra fyrirtækja sem hafa með höndum starfsemi sem hugsanlega getur valdið þungmálmamengun í nágrenni versins (sjá einnig 2. töflu). Einnig er sýnd hlutfallsleg tíðni vinda við álverið tímabilið maí–ágúst árin 1997–1999 (Iðntæknistofnun 1999). – *Figure 1. The aluminium smelter site in Straumsvík and adjacent area. Location of transects and points where moss samples were collected in 2000 for determination of heavy metals. The location of other main industrial activities in the area is also shown and the relative frequency of wind from May to August in 1997–1999.*

1. tafla. Staðsetning og helstu einkenni á mosasöfnunarstöðum við álverið í Straumsvík.–
Table 1. Location and main characteristics of the sampling sites near the aluminium smelter in Straumsvík.

Snið	Númer	Fjarlægð frá miðju álvers	Halli°./ Hallastefna	Landgerð	Ríkjandi háplöntegundir
<i>Transect</i>	<i>No.</i>	<i>Distance from centre of smelter m</i>	<i>Slope°/ direction</i>	<i>Vegetation type</i>	<i>Dominant vascular plants</i>
I	89A	1100	4/NA	Graslendi á hrauni	<i>Agrostis capillaris</i> , <i>Anthoxanthum odoratum</i> , <i>Festuca vivipara</i> , <i>Galium boreale</i> .
I	90A	1750	1/A	Graslautir í gamburmosa-hrauni	<i>Agrostis capillaris</i> , <i>Festuca vivipara</i> , <i>Trisetum spicatum</i> , <i>Anthoxanthum odoratum</i> .
I	91A	2500	2/A	Runnaheiði með gamburmosa	<i>Empetrum nigrum</i> , <i>Festuca richardsonii</i> , <i>Festuca vivipara</i> , <i>Trisetum spicatum</i> .
II	92A	1100	4/N	Graslendi	<i>Agrostis capillaris</i> , <i>Festuca vivipara</i> , <i>Galium boreale</i> , <i>Galium verum</i> .
II	93A	1700	4/N	Graskennd runnaheiði með gamburmosa	<i>Agrostis capillaris</i> , <i>Empetrum nigrum</i> , <i>Festuca vivipara</i> , <i>Deschampsia flexuosa</i> .
II	96A	2300	1/NA	Runnaheiði með gamburmosa	<i>Empetrum nigrum</i> , <i>Calluna vulgaris</i> , <i>Deschampsia flexuosa</i> , <i>Agrostis capillaris</i> .
III	94A	980	1/V	Runnaheiði með gamburmosa	<i>Empetrum nigrum</i> , <i>Calluna vulgaris</i> , <i>Arctostaphylos uva-ursi</i> , <i>Deschampsia flexuosa</i> .
III	95A	1450	0	Runnaheiði með gamburmosa	<i>Calluna vulgaris</i> , <i>Empetrum nigrum</i> , <i>Arctostaphylos uva-ursi</i> , <i>Betula pubescens</i> .
III	99A	2500	0	Gamburmosaheiði með runnum	<i>Calluna vulgaris</i> , <i>Betula pubescens</i> , <i>Empetrum nigrum</i> , <i>Arctostaphylos uva-ursi</i> .
IV	97A	1000	1/NV	Graslautir í gamburmosa-hrauni	<i>Empetrum nigrum</i> , <i>Calluna vulgaris</i> , <i>Festuca vivipara</i> , <i>Deschampsia flexuosa</i> .
IV	98A	1650	2/SA	Graslautir í gamburmosa-hrauni	<i>Agrostis capillaris</i> , <i>Kobresia myosuroides</i> , <i>Galium boreale</i> , <i>Empetrum nigrum</i> .

Á hverjum stað voru tekin 5–10 smásýni á um 50 x 50 m svæði og þeim síðan slegið saman í eitt samsýni og sett í plastpoka. Næst álverinu á sniði III var nauðsynlegt að safna á mun stærra svæði því þar var mjög lítið af tildurmosa. Fannst hann þar eingöngu í lögðum og í mjög litlu magni. Á þessum stað var mosa því safnað á um 70 x 100 m spildu. Stærð samsýnis var um 2 l. Staðsetning var ákvörðuð með GPS-tæki og var þá miðað við miðju þess svæðis sem safnað var á. Á hverjum stað var aðstæðum lýst lauslega, mældur halli lands og hallastefna með einföldum hallamæli

(áttavita) og teknar ljósmyndir af flestum stöðum. Gróðri var einnig lýst, m.a. skráðar helstu ríkjandi tegundir háplantna (1. tafla).

Að lokinni sýnatöku voru sýnin fryst. Þau voru síðan geymd frosin fram í byrjun mars árið 2001 en þá voru þau þídd við herbergishita og tiltekinn hluti mosans, þ.e. vöxtur árána 1997–1999 tekinn til efnagreininga. Var það gert þannig að vaxtarsproti sumarsins 2000 var fyrst slitinn af en næstu þrjú árssprotar teknir og settir í bréfpoka. Pokarnir voru síðan þurrkaðir við herbergishita. Eftir hreinsun voru sýnin send til Vistfræðistofnunar Lundarháskóla í Svíðþjóð þar sem þau voru efnagreind. Alls voru mæld 11 efni, þ.e. As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb, V, Zn og S. Efnagreiningum var lokið í maí 2001. Söfnun sýna og öll meðferð þeirra var unnin með plasthönskum til þess að forðast að aðskotaefni bærust í þau. Fyrir efnagreiningu voru sýnin þurrkuð við 40°C. Þá voru 1,5 g af mosa soðin í sterkri saltpéturssýru og efni greind með ICP tækni.

Tekið skal fram að sá hluti mosasýnanna sem af gekk var settur í bréfpoka, þurrkaður og komið fyrir í geymslu. Sýnin má því nota til frekari mælinga síðar ef ástæða þykir til.

3 ÚRVINNSLA

Til þess að kanna áhrif álversins í Straumsvík á magn þungmálma voru sýnin sem safnað var sumarið 2000 aðgreind í þrennt eftir fjarlægð, þ.e. a) minna en 3 km fjarlægð frá álveri, b) 3–100 km fjarlægð frá verinu og c) >100 km fjarlægð. Fyrir hvert þessara svæða var reiknað meðaltal og staðalskekkja fyrir styrk einstakra efna. Til samanburðar var unnið með niðurstöður úr rannsókn Steinnes o.fl. (2001) en í henni var magn þungmálma kannað við norsk iðnver, þar á meðal fimm álver. Fundin voru meðaltöl ásamt staðalskekkju einstakra málma í nágrenni (1–10 km fjarlægð) norsku álveranna, þ.e. í Lista, Høyanger, Årdal, Sunndal og Mosjøen. Einnig var fundið hámark og lágmark bakgrunnsgilda fyrir hvert álver.

Til þess að sýna dreifingu málma í næsta nágrenni (<3 km) álversins í Straumsvík voru einnig teiknuð kort sem sýna þá staði þar sem sýni voru tekin og styrk einstakra efna á hverjum stað.

4 NIÐURSTÖÐUR OG UMRÆÐA

Við túlkun niðurstaðana er rétt að hafa í huga að algengasta vindáttin við Straumsvík mánuðina maí–ágúst (meginvaxtartími gróðurs) þau ár sem mosamælingin nær til, þ.e. á árunum 1997–1999 er til suðausturs en sjaldnast hefur blásið til suðvesturs (1. mynd). Ef álverið er meginuppspretta þeirra efna sem mæld voru má reikna með einna mestum styrk suðaustur af verinu en minnstum til suðausturs.

4.1 Arsen (As)

Niðurstöðurnar sýna að magn arsens er talsvert hærra í tildurmosa í nágrenni álversins í Straumsvík en annars staðar á landinu (2. mynd). Að meðaltali var styrkur þess næst álverinu (<3,0 km) 0,55 µg/g. Annars staðar á suðvesturhorni landsins (3–100 km) var styrkurinn að meðaltali 0,18 µg/g en á öðrum svæðum 0,14 µg/g. Sé miðað við allt landið voru alls 15 sýni með yfir 0,29 µg/g og voru öll sýnin sem tekin voru við álverið, 11 talsins, í þeim flokki (1. viðauki). Á öllum sniðum er styrkur arsens hæstur næst álverinu en magn efnisins minnkar mikið þegar farið er frá því. Í 2,5 km fjarlægð mældist magn þess aðeins nokkru hærra en almennt gerist á landinu. Dreifing arsens í mosa við álverið bendir eindregið til þess að efnið eigi rætur að rekja til versins.

Niðurstöður á þungmálmum við álver í Noregi benda í sömu átt (2. mynd). Við öll norsku álverin nema álverið í Lista var styrkur arsens hærra en bakgrunnsgildin gefa til kynna.

Styrkur arsens við álverið í Straumsvík er hærra en almennt gerist á hinum Norðurlöndunum. Samkvæmt mosamælingum í Evrópu frá árunum 1995–1996 er styrkur arsens í Danmörku, Noregi, Svíþjóð og Finnlandi t.d. víðast hvar undir 0,4 µg/g (Rühling og Steinnes 1998). Hærra gildi er samt að finna á allmörgum stöðum sem þá tengist yfirleitt einhverskonar iðnaðarstarfsemi. Má t.d. nefna að hæstu gildin sem mældust í Danmörku (1,18 µg/g), Noregi (2,85 µg/g), Svíþjóð (3,12 µg/g) og Finnlandi (1,07 µg/g) eru öll hærra en hæsta gildið við Straumsvík (0,90 µg/g). Sunnar í álfunni er styrkur efnisins yfirleitt hærra en á Norðurlöndum. Hæsti styrkur við Straumsvík er t.d. aðeins brot af því sem hæst mældist í Rúmeníu (17,6 µg/g) og á Bretlandseyjum (8,10 µg/g) en í þessum tilfellum er aðallega um að ræða áhrif frá málmbræðslu og brennslu á kolum (Rühling og Steinnes 1998). Miðað við ofan-

greindar upplýsingar er ljóst að álverið í Straumsvík hefur hækkað magn arsens í mosa töluvert en styrkurinn er þó langt undir því sem finna má víða í Evrópu.

4.2 Kadmíum (Cd)

Næst álverinu í Straumsvík (<3 km) mældist styrkur Cd í mosa 0,07 µg/g til 0,50 µg/g. Að meðaltali er mun meira af kadmíum við álverið en annars staðar á landinu (3. mynd). Þegar útbreiðsla efnisins við álverið er skoðuð kemur fram að langmest er af kadmíum í sýnum sem tekin voru á sniði III um 1000–1500 m suðaustur af verinu (3. mynd). Útbreiðsla kadmíums í mosa bendir því ekki eindregið til að efnið komi frá álverinu sjálfu heldur virðist það allt eins eiga upptök sín á svæðinu suðaustan við það.

Mælingar á þungmálmum við norsk álver sýna að yfirleitt er nokkru meira af kadmíum í nágrenni veranna en bakgrunnsgildin sýna, sem bendir til þess að um nokkur áhrif geti verið að ræða (3. mynd).

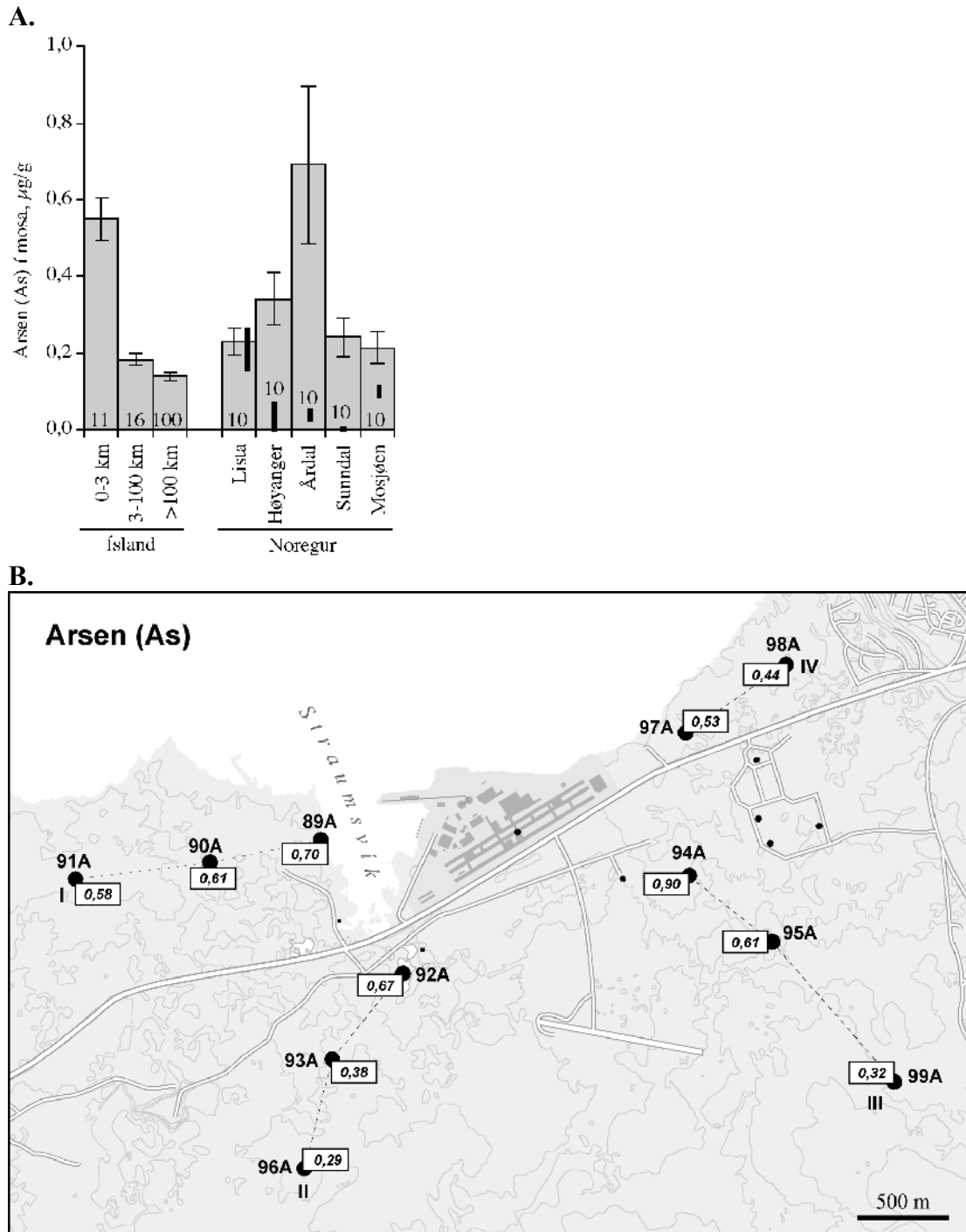
Samanburður við mosamælingar í Evrópu frá árunum 1995–1996 sýnir að hæstu gildin (0,48 og 0,50 µg/g) við Straumsvík eru talsvert hærri en almennt er að finna á hinum Norðurlöndunum en þar er styrkur kadmíums yfirleitt undir 0,3 µg/g (Rühling og Steinnes 1998). Styrkur efnisins við Straumsvík var hinsvegar langtum lægri en hæstu gildin sem mældust í einstökum löndum, svo sem í Rúmeníu (8,40 µg/g) og í Hollandi (5,85 µg/g) en þessi gildi eru talin tengjast brennslu og iðnaði.

4.3 Króm (Cr)

Styrkur króms var að meðaltali nokkru hærri við álverið í Straumsvík (5,21 µg/g) en annars staðar á suðvesturhorni landsins (3,40 µg/g) eða á svæðum utan þess (3,18 µg/g). Niðurstöður mælinga við álverið sýna að styrkur króms er langhæstur um 1000–1500 m suðaustur af álverinu en þar mældist hann 10,28 og 9,77 µg/g (4. mynd). Á sniði IV, þ.e. neðan þjóðveggar milli álversins og Hafnarfjarðar var styrkur króms einnig hlutfallslega hár eða 8,05 og 6,72 µg/g. Suðvestur og vestur af álverinu var styrkurinn hinsvegar mun lægri eða á bilinu 2,50–3,28 µg/g sem er svipað og víðast hvar á landinu. Miðað við þetta er líklegra að aukið magn króms í mosa megi frekar rekja til starfsemi suðaustur af verinu en til álversins sjálfs.

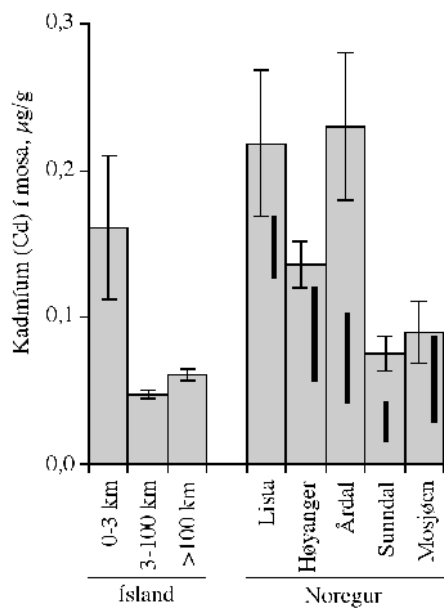
Mælingar við norsku álverin benda ekki til þess að þau hafi veruleg áhrif á styrk króms í mosa. Þó eru bakgrunnsgildi í öllum tilfellum nokkru lægri en í sýnum sem tekin voru í nágrenni álveranna (4. mynd).

Þegar styrkur króms við Straumsvík er borinn saman við gildi úr mosamælingum annars staðar úr Evrópu frá árunum 1995–1996 kemur fram að hæstu gildin við álverið (9,77 og 10,28 µg/g) eru talsvert hærri en almennt gerist í Norður-Evrópu en þar var styrkur efnisins yfirleitt undir 3,0 µg/g. Svo há gildi eins og fundust suðaustur af álverinu er yfirleitt ekki að finna nema í nágrenni mengandi iðnaðarstarfsemi svo sem eins og við járnkrómbræðsluna í Mo í Rana í Noregi og við stálver í Finnlandi (Rühling og Steinnes 1998). Tekið skal fram að á þessum stöðum mældist styrkur króms langtum hærri en við Straumsvík.

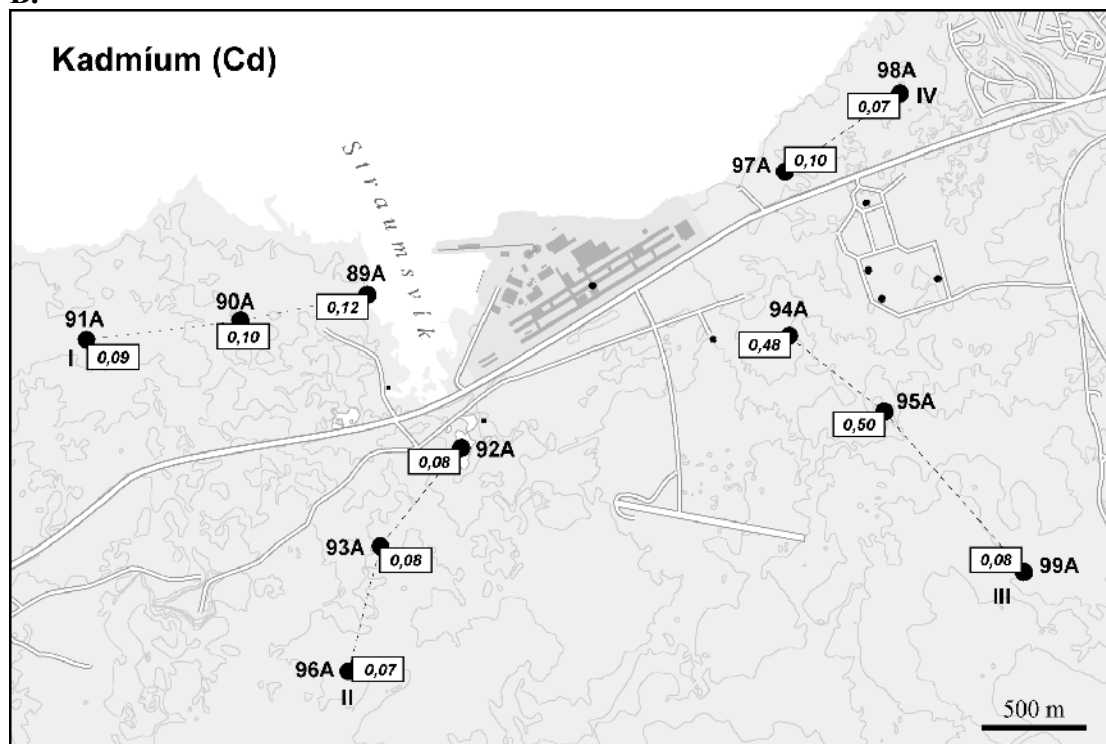


2. mynd. (A) Styrkur arsens í mosa ($\mu\text{g/g}$) í mismunandi fjarlægð frá álverinu í Straumsvík, (0–3 km, 3–100 km og >100 km). Til samanburðar er sýndur styrkur arsens við (1–10 km) fimm norsk álver, Lista, Høyanger, Årdal, Sunndal og Mosjøen. Lóðréttar grannar línur tákna staðalskekkju en lóðréttar breiðar línur tákna hámark og lágmark bakgrunnsgilda við norskum verin. Tölur tákna fjölda sýna í hverjum flokki. (B) Styrkur arsens við (< 3 km) álverið í Straumsvík. – Figure 2. (A) Arsenic (As) in moss ($\mu\text{g/g}$) and change with distance from the aluminium smelter in Straumsvík (0–3 km, 3–100 km and >100 km). For comparison the concentration of arsenic close to (1–10 km) five Norwegian aluminium smelters, Lista, Høyanger, Årdal, Sunndal and Mosjøen, is given. Vertical narrow lines indicate standard error, bold vertical lines indicate lowest and highest background values for the Norwegian smelters. Number of samples behind each average is given by a number within the bars. (B) Arsenic in moss along sampling transects close to the aluminium smelter in Straumsvík (< 3 km).

A.

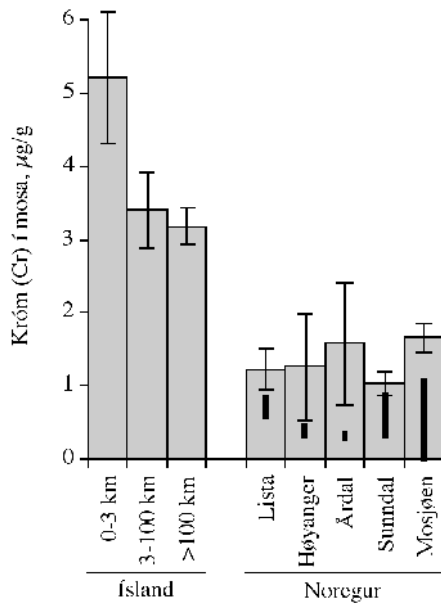


B.

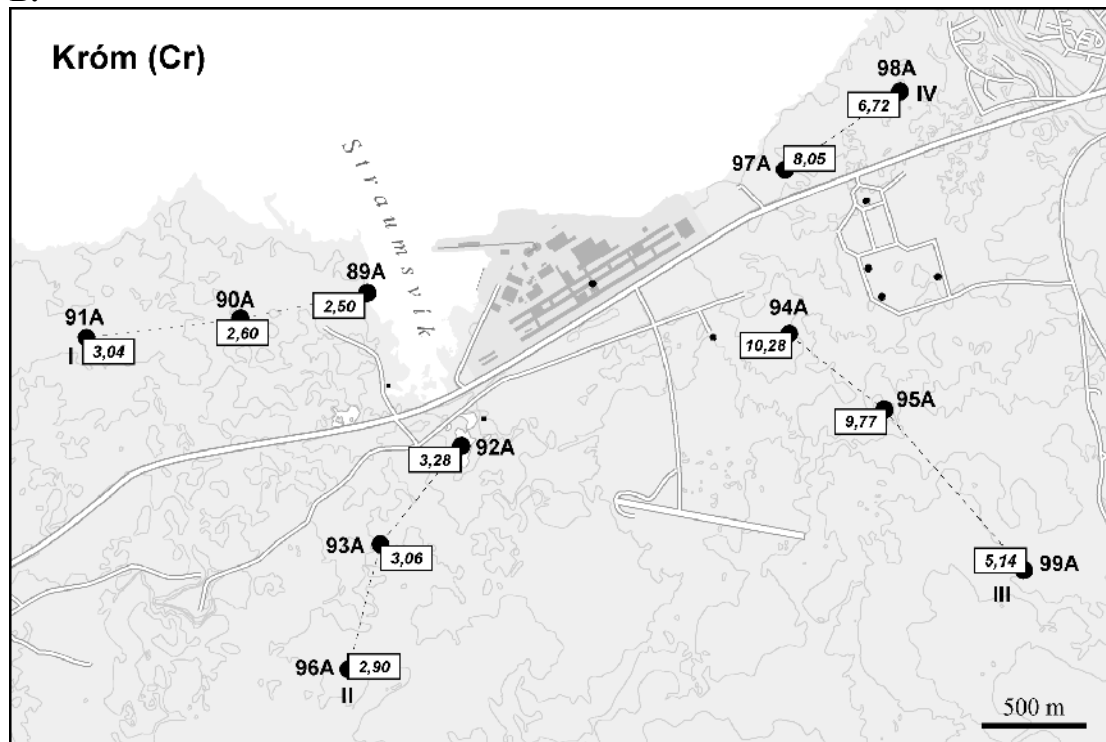


3. mynd. (A) Styrkur kadmíums í mosa ($\mu\text{g/g}$) í mismunandi fjarlægð frá álverinu í Straumsvík, (0–3 km, 3–100 km og >100 km). Til samanburðar er sýndur styrkur kadmíums við (1–10 km) fimm norsk álver. Nánari skýringar sjá 2. mynd. (B) Styrkur kadmíums við álverið í Straumsvík. – Figure 3. (A) Cadmium (Cd) in moss ($\mu\text{g/g}$) and change with distance from the aluminium smelter in Straumsvík (0–3 km, 3–100 km and >100 km). For comparison the concentration of cadmium close to (1–10 km) five Norwegian aluminium smelters is given. See Fig. 2 for further explanations. (B) Cadmium in moss along sampling transects close to the aluminium smelter in Straumsvík.

A.



B.



4. mynd. (A) Styrkur króms í mosa ($\mu\text{g/g}$) í mismunandi fjarlægð frá álverinu í Straumsvík, (0–3 km, 3–100 km og >100 km). Til samanburðar er sýndur styrkur króms við (1–10 km) fimm norsk álver. Nánari skýringar sjá 2. mynd. (B) Styrkur króms við álverið í Straumsvík. – Figure 4. (A) Chromium (Cr) in moss ($\mu\text{g/g}$) and change with distance from the aluminium smelter in Straumsvík (0–3 km, 3–100 km and >100 km). For comparison the concentration of chromium close to (1–10 km) five Norwegian aluminium smelters is given. See Fig. 2 for further explanations. (B) Chromium in moss along sampling transects close to the aluminium smelter in Straumsvík.

4.4 Kopar (Cu)

Að meðaltali var styrkur kopars hærri við álverið í Straumsvík (14,29 $\mu\text{g/g}$) en annars staðar á suðvesturhorni landsis (7,79 $\mu\text{g/g}$) eða á svæðum utan þess (9,83 $\mu\text{g/g}$) (5. mynd). Við álverið var styrkur kopars hæstur á sniði III suðaustur af álverinu (35,81 og 33,75 $\mu\text{g/g}$) og voru það hæstu gildin sem mældust á landinu (1. viðauki). Allhár styrkur mældist einnig neðan vegar milli álversins og Hafnarfjarðar, 17,29 og 15,71 $\mu\text{g/g}$. Suðvestur og vestur af álverinu var styrkur kopars 6,67–7,74 $\mu\text{g/g}$ eða svipaður og víðast á suðvesturhorninu.

Niðurstöður mælinga við norsk álver sýna að styrkur kopars er í flestum tilfellum nokkru hærri í nágrenni veranna en bakgrunnsgildin sýna. Munurinn er þó yfirleitt frekar lítill (5. mynd).

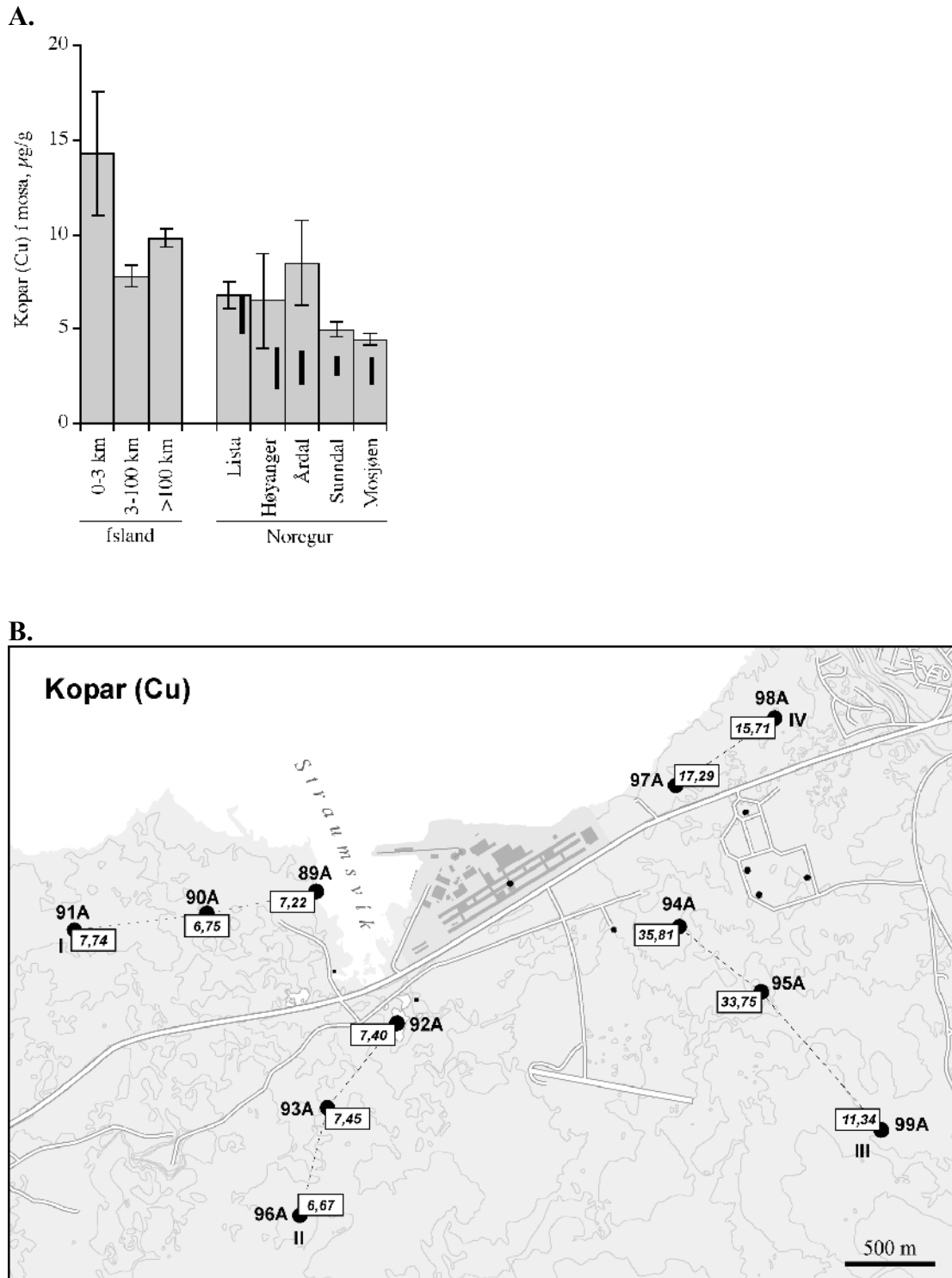
Miðað við niðurstöður norsku mælinganna er því vel hugsanlegt að eitthvert magn kopars berist frá álverum út í andrúmsloftið. Niðurstöður við Straumsvík benda hinsvegar ekki til þess því útbreiðslumynstur kopars er verulega frábrugðið útbreiðslumynstri arsens, nikkels og brennisteins sem öll tengjast álverinu með sterkum hætti (2., 8. og 12. mynd).

Samanburður á magni kopars þar sem mest mældist suðaustur af álverinu (33,75 og 35,81 $\mu\text{g/g}$) og sýnum úr evrópsku mosarannsókninni frá árunum 1995–1996 sýnir að við álverið er talsvert hærri styrkur en almennt gerist í Danmörku, Noregi, Svíþjóð og Finnlandi en þar er hann yfirleitt undir 8,0 $\mu\text{g/g}$ (Rühling og Steinnes 1998). Í Mið-Evrópu er hann yfirleitt undir 12 $\mu\text{g/g}$. Hæstu gildin við Straumsvík eru hinsvegar langtum lægri en það sem hæst mældist í einstökum löndum, svo sem í Búlgaríu (205 $\mu\text{g/g}$), Póllandi (650 $\mu\text{g/g}$) og Rúmeníu (234 $\mu\text{g/g}$) en svo há gildi tengjast yfirleitt kopar- eða námuiðnaði.

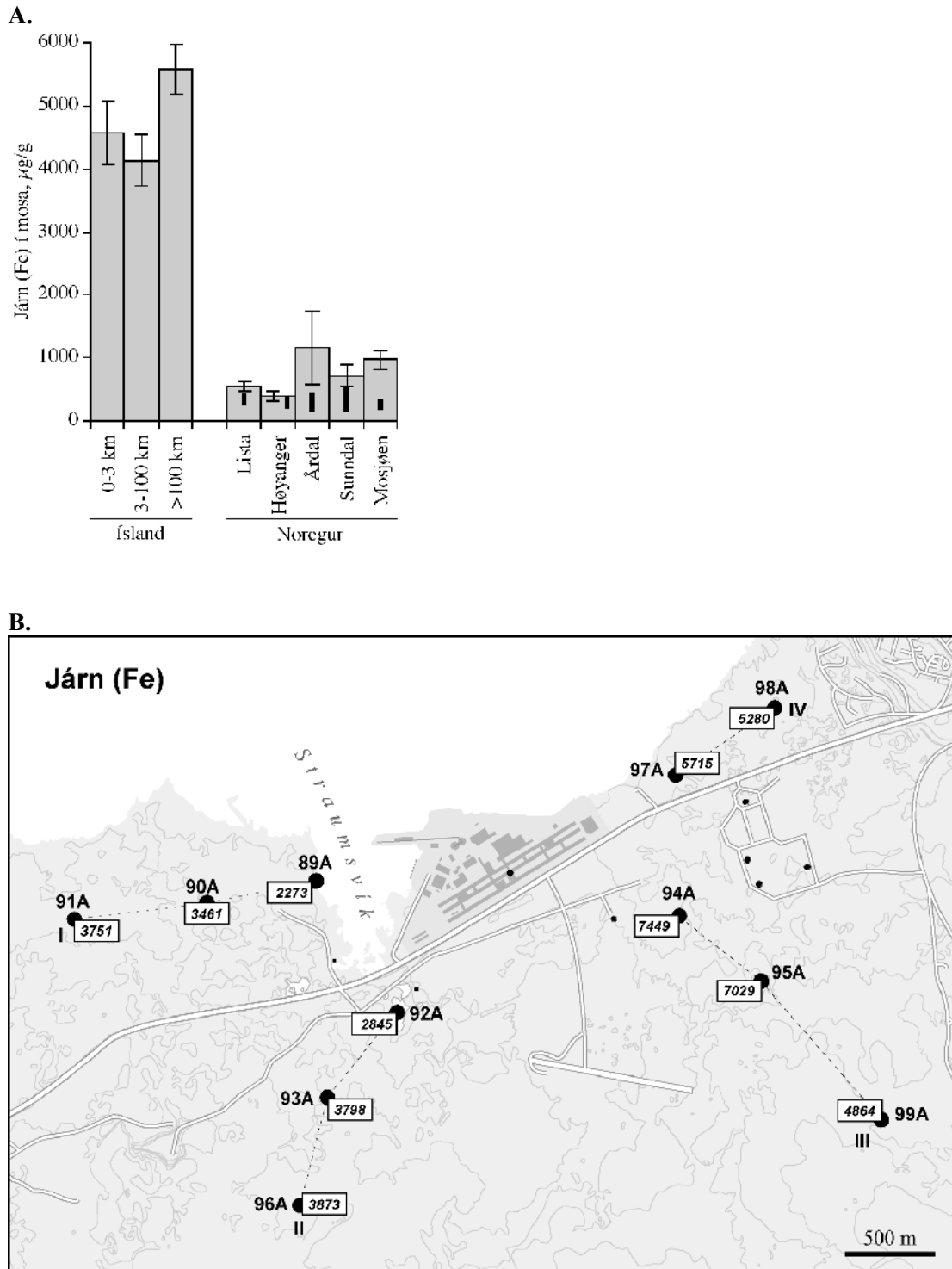
4.5 Járn (Fe)

Að meðaltali var styrkur járnsmá við álverið svipaður (4576 $\mu\text{g/g}$) og annars staðar á suðvesturhorni landsins (4141 $\mu\text{g/g}$) eða á þeim svæðum sem fjær liggja (5579 $\mu\text{g/g}$) (6. mynd). Þótt styrkur járnsmá í mosa við álverið sé alls ekki áberandi hár gefur útbreiðsla þess til kynna að um nokkra hækkun geti verið að ræða austur af álverinu sem hugsanlega má að rekja til þeirrar starfsemi sem þar fer fram. Hinsvegar er ekki líklegt að hækkunina megi rekja til álversins sjálfs.

Mælingar í nágrenni álvera í Noregi gefa áþekka niðurstöðu en styrkur járnsmá var þar svipaður eða nokkru hærri en bakgrunnsgildin (6. mynd). Rétt er að benda á að styrkur járnsmá á Íslandi er að meðaltali mun hærri en annars staðar í Evrópu. Þannig má víðast hvar hér á landi finna járnstyrk í mosa sem annars staðar í Evrópu finnst aðeins þar sem um töluverða járnsmá er að ræða eða jarðvegsryk (Rühling og Steinnes 1998). Hár styrkur járnsmá íslenskum mosa má að öllum líkindum rekja til áfoks sem endurspeglar hátt járninnihald í berggrunni og gosefnum.



5. mynd. (A) Styrkur kopars í mosa ($\mu\text{g/g}$) í mismunandi fjarlægð frá álverinu í Straumsvík, (0–3 km, 3–100 km og >100 km). Til samanburðar er sýndur styrkur kopars við (1–10 km) fimm norsk álver. Nánari skýringar sjá 2. mynd. (B) Styrkur kopars við álverið í Straumsvík. – Figure 5. (A) Copper (Cu) in moss ($\mu\text{g/g}$) and change with distance from the aluminium smelter in Straumsvík (0–3 km, 3–100 km and >100 km). For comparison the concentration of copper close to (1–10 km) five Norwegian aluminium smelters is given. See Fig. 2 for further explanations. (B) Copper in moss along sampling transects close to the aluminium smelter in Straumsvík.



6. mynd. (A) Styrkur járns í mosa ($\mu\text{g/g}$) í mismunandi fjarlægð frá álverinu í Straumsvík, (0–3 km, 3–100 km og >100 km). Til samanburðar er sýndur styrkur járns við (1–10 km) fimm norsk álver. Nánari skýringar sjá 2. mynd. (B) Styrkur járns við álverið í Straumsvík. – *Figure 6. (A) Iron (Fe) in moss ($\mu\text{g/g}$) and change with distance from the aluminium smelter in Straumsvík (0–3 km, 3–100 km and >100 km). For comparison the concentration of iron close to (1–10 km) five Norwegian aluminium smelters is given. See Fig. 2 for further explanations. (B) Iron in moss along sampling transects close to the aluminium smelter in Straumsvík.*

4.6 Kvikasilfur (Hg)

Mælingar á mosa sýna lítinn mun á magni kvikasilfurs við álverið samanborið við önnur svæði á landinu (7. mynd). Við álverið var styrkur þess að meðaltali 0,036 µg/g (0,018–0,066). Annars staðar á suðvesturhorni landsins var styrkurinn að meðaltali 0,036 µg/g en utan þessara svæða var hann 0,044 µg/g. Sé sýnum raðað eftir styrk kemur einnig fram að styrkur kvikasilfurs er ekki hærri við álverið en annars staðar á landinu (1. viðauki). Ekkert bendir því til þess að kvikasilfur berist að ráði frá álverinu í Straumsvík.

Niðurstöður norsku mælinganna benda í svipaða átt en þar var lítill munur á bakgrunnsgildum og þeim sem mæld voru í nágrenni álveranna (7. mynd).

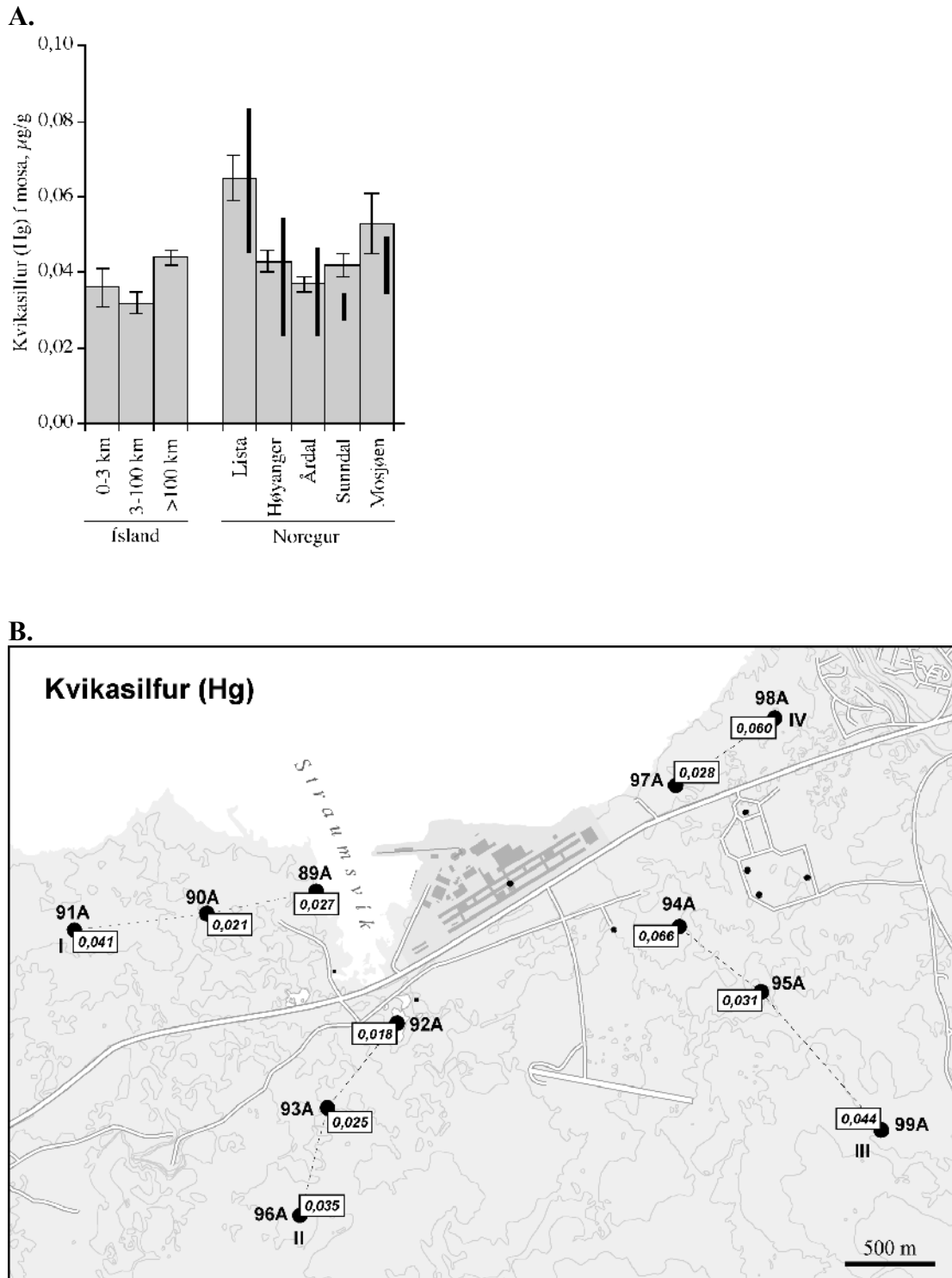
Rétt er að geta þess að magn kvikasilfurs í mosa hér á landi er svipað og mælst hefur víðast hvar annars staðar á Norðurlöndum (Rühling og Steinnes 1998).

4.7 Nikkel (Ni)

Við álverið í Straumsvík var styrkur nikkels í mosa að meðaltali miklu hærri en annars staðar á landinu (8. mynd). Innan 3 km fjarlægðar frá verinu var styrkur nikkels að meðaltali 14,35 µg/g en annars staðar á suðvesturhorni landsins reyndist hann vera 4,24 µg/g. Utan suðvesturhornins var styrkurinn að meðaltali 3,70 µg/g. Munur milli svæða kemur einnig vel í ljós ef sýnum er raðað eftir magni (1. viðauki). Sé miðað við allt landið voru t.d. 14 sýni sem mældust með yfir 9,0 µg/g af nikkel. Í þeim hópi voru öll sýnin (11) sem tekin voru við álverið og þau fimm sýni sem innihéldu mest af nikkel voru öll tekin við Straumsvík. Á öllum sniðum (I–IV) er styrkur nikkels hæstur næst verinu og lækkar þegar fjær dregur. Útbreiðslumynstur nikkels við álverið er mjög svipað og útbreiðslumynstur arsens og brennisteins (2. og 12. mynd). Niðurstöður mælinga við álverið benda því eindregið til að hækkað magn nikkels í mosa við álverið megi rekja til verksmiðjunnar.

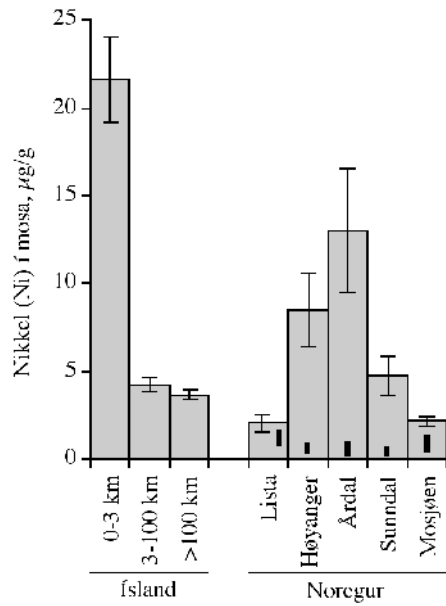
Niðurstöður mælinga á nikkel í mosa við norsk álver eru mjög svipaðar og fengust við Straumsvík að því leyti að magn nikkels er mun hærra í nágrenni veranna en bakgrunnsgildin gefa til kynna (8. mynd). Athygli vekur að við Straumsvík er magn nikkels mun hærra en við flest norsku álverin. Aðeins álverið í Árdal kemst nálægt álverinu í Straumsvík að þessu leyti. Að hluta til getur ástæðan verið sú að sýnin við Straumsvík eru öll tekin í minna en 3 km fjarlægð frá verinu en norsku sýnin innan 10 km. Árdal er talinn vera einna mengaðastur af þeim stöðum sem kannaðir voru í norsku rannsókninni og er það m.a. rakið til þess að staðurinn er umlukin háum fjöllum (Steinnes o.fl. 2001).

Styrkur nikkels við Straumsvík (hæsta gildi 33,3 µg/g) er allhár borinn saman við styrk annars staðar í Evrópu en um stærsta hluta Norður Evrópu er styrkur nikkels í mosa samkvæmt mosamælingum frá 1995–1996 undir 2 µg/g. Aðeins í Búlgaríu (45,9 µg/g), Niðurlöndum (61,0 µg/g), Noregi (235 µg/g), Portúgal (44,4 µg/g) og á Kólaskaga í Rússlandi (135 µg/g) er að finna hærri gildi en í Straumsvík (Rühling og Steinnes 1998). Í þessum löndum er hár styrkur einkum rakinn til ýmiss konar iðnaðar, svo sem málmiðnaðar, kolaorkuvera, olíuiðnaðar eða þar sem bergtegundin serpentín finnst á yfirborði.

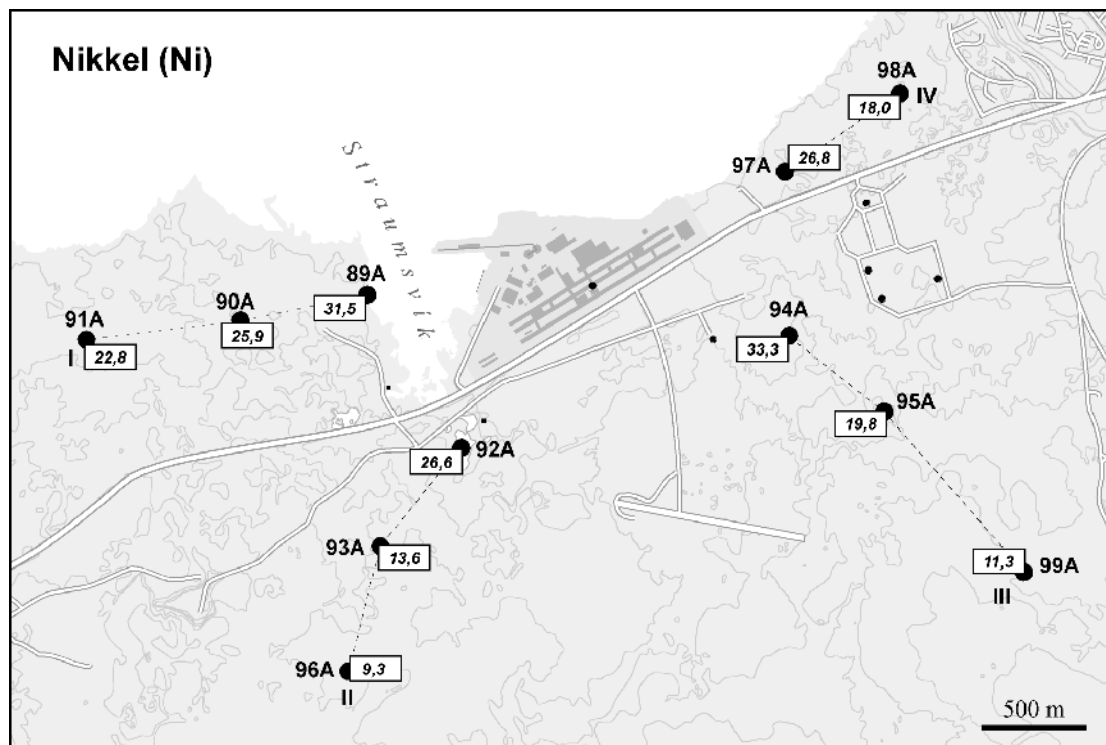


7. mynd. (A) Styrkur kvikasilfurs í mosa ($\mu\text{g/g}$) í mismunandi fjarlægð frá álverinu í Straumsvík, (0–3 km, 3–100 km og >100 km). Til samanburðar er sýndur styrkur kvikasilfurs við (1–10 km) fimm norsk álver. Nánari skýringar sjá 2. mynd. (B) Styrkur kvikasilfurs við álverið í Straumsvík. – Figure 7. (A) Mercury (Hg) in moss ($\mu\text{g/g}$) and change with distance from the aluminium smelter in Straumsvík (0–3 km, 3–100 km and >100 km). For comparison the concentration of mercury close to (1–10 km) five Norwegian aluminium smelters is given. See Fig. 2 for further explanations. (B) Mercury in moss along sampling transects close to the aluminium smelter in Straumsvík.

A.



B.



8. mynd. (A) Styrkur nikkels í mosa ($\mu\text{g/g}$) í mismunandi fjarlægð frá álverinu í Straumsvík, (0–3 km, 3–100 km og >100 km). Til samanburðar er sýndur styrkur nikkels við (1–10 km) fimm norsk álver. Nánari skýringar sjá 2. mynd. (B) Styrkur nikkels við álverið í Straumsvík. – Figure 8. (A) Nickel (Ni) in moss ($\mu\text{g/g}$) and change with distance from the aluminium smelter in Straumsvík (0–3 km, 3–100 km and >100 km). For comparison the concentration of nickel close to (1–10 km) five Norwegian aluminium smelters is given. See Fig. 2 for further explanations. (B) Nickel in moss along sampling transects close to the aluminium smelter in Straumsvík.

4.8 Blý (Pb)

Mikill munur var á magni blýs í mosa á þeim svæðum sem borin voru saman (9. mynd). Að meðaltali var styrkur þess 11,74 µg/g í nágrenni álversins. Annars staðar á suðvesturhorni landsins var þessi tala 2,36 µg/g. Utan suðvesturshorsins var styrkur efnisins að meðaltali 1,60 µg/g. Við álverið var styrkur blýs mjög misjafn. Mest var af blýi í mosa á sniði III suðaustur af álverinu í um 1000 og 1500 m fjarlægð, eða 45,7 og 37,9 µg/g. Þessi sýni eru mjög frábrugðin öðrum sýnum því þau höfðu að geyma rúmlega fimmfalt meira af blýi en þau sýni sem næst þeim voru í röðinni (1. viðauki). Með aukinni fjarlægð frá þessu svæði (1000–1500 m suðaustur af álverinu) dregur úr styrk efnisins. Útbreiðslumynstur í mosanum í nágrenni álversins bendir því ekki til þess að mikið af blýi komi frá álverinu sjálfu heldur er líklegra að uppsprettunnar sé að leita til svæðisins suðaustur af verinu.

Niðurstöður frá Noregi eru svipaðs eðlis og fengust við Straumsvík því þau benda ekki til að frá álverum berist mikið af blýi en við flest verin voru bakgrunnsgildi svipuð þeim sem fengust í nágrenni þeirra (9. mynd).

Samkvæmt niðurstöðum úr mosarannsókninni frá 1995–1996 er styrkur blýs á stórum svæðum í norðurhluta Noregs, Svíþjóðar og Finnlands undir 5 µg/g en hann eykst að jafnaði þegar sunnar dregur í álfunni (Rühling og Steinnes 1998). Því vekur það nokkra athygli hversu hár styrkurinn er suðaustur af álverinu í Straumsvík en hann er þar hærri en mældist hæst í Finnlandi (19,2 µg/g), Svíþjóð (28,5 µg/g), Danmörku (23,0 µg/g) og Færeyjum (10,3 µg/g) en lægri en í Noregi (59,4 µg/g). Á ýmsum stöðum í suður Evrópu eru hinsvegar dæmi um miklu hærri styrk blýs í mosa svo sem í Búlgaríu (443 µg/g), Rúmeníu (231 µg/g) og Póllandi (270 µg/g) en þessi háu gildi tengjast öll iðnaðarstarfsemi.

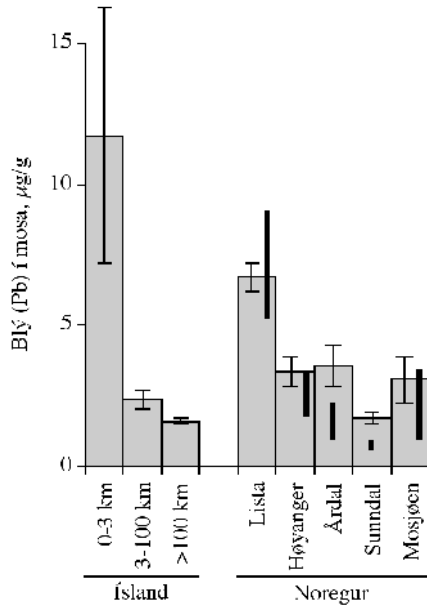
4.9 Vanadíum (V)

Styrkur vanadíums var að meðaltali svipaður á svæðunum þremur sem borin voru saman (10. mynd). Við álverið var styrkurinn að meðaltali 14,35 µg/g en annars staðar á suðvesturhorni landsins var hann 10,64 µg/g. Á svæðum utan suðvesturhornsins var meðaltalið 12,66 µg/g. Næst álverinu var styrkur vanadíums í mosa svipaður. Nokkur hækkun virðist þó vera austur og suðaustur af álverinu en hæstu gildin sem mældust voru á sniði III í um 1000 (19,07 µg/g) og 1500 m fjarlægð (17,58 µg/g).

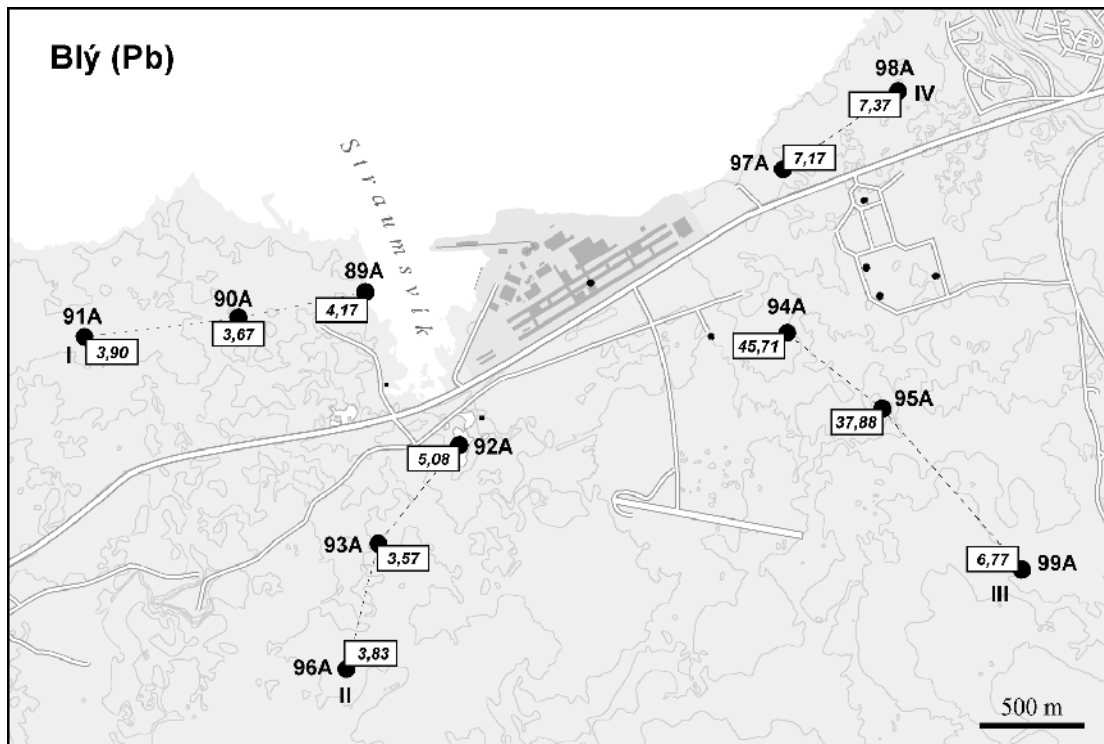
Tekið skal fram að niðurstöður fyrri mælinga á magni vanadíums í mosa sýna að styrkur efnisins er að meðaltali talsvert hár á Íslandi samanborið við meginland Evrópu. Einnig er ljóst að hér á landi er styrkurinn hæstur innan gosbeltisins sem líklega má rekja til áfoks (Rühling o.fl. 1992, Rühling og Steinnes 1998)

Mælingar á þungmálmum í mosa við álver í Noregi benda sterklega til þess að vanadíum berist út í andrúmsloftið frá álverum (Steinnes o.fl. 2001) en í flestum tilvikum eru bakgrunnsgildi í Noregi mun lægri en þau sem mældust í nágrenni veranna (10. mynd). Að þetta skuli ekki koma fram með skýrum hætti við Straumsvík gæti stafað af háum grunnildum á Íslandi sem valda því að viðbót frá verinu veldur hlutfallslega lítilli hækkun á styrk efnisins.

A.

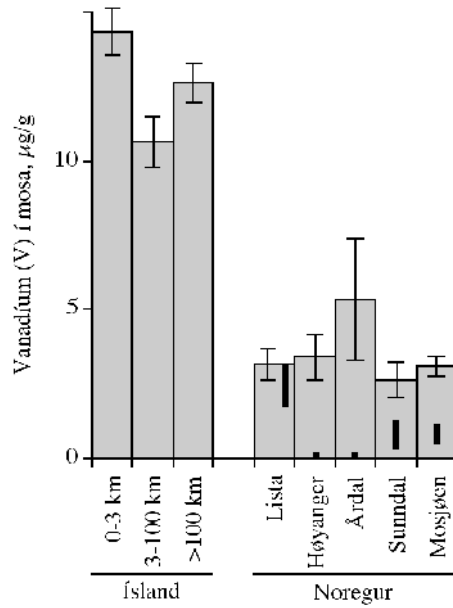


B.

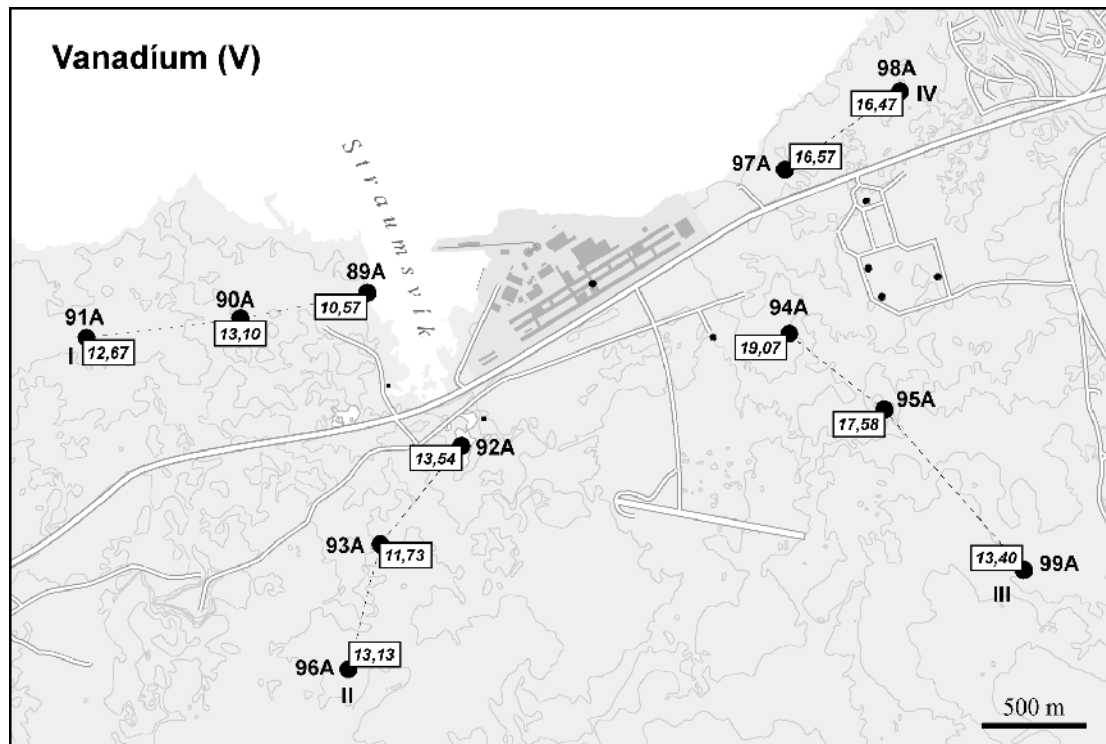


9. mynd. (A) Styrkur blýs í mosa ($\mu\text{g/g}$) í mismunandi fjarlægð frá álverinu í Straumsvík, (0–3 km, 3–100 km og >100 km). Til samanburðar er sýndur styrkur blýs við (1–10 km) fimm norsk álver. Nánari skýringar sjá 2. mynd. (B) Styrkur blýs við álverið í Straumsvík. – *Figure 9. (A) Lead (Pb) in moss ($\mu\text{g/g}$) and change with distance from the aluminium smelter in Straumsvík (0–3 km, 3–100 km and >100 km). For comparison the concentration of lead close to (1–10 km) five Norwegian aluminium smelters is given. See Fig. 2 for further explanations. (B) Lead in moss along sampling transects close to the aluminium smelter in Straumsvík.*

A.



B.



10. mynd. (A) Styrkur vanadíums í mosa ($\mu\text{g/g}$) í mismunandi fjarlægð frá álverinu í Straumsvík, (0–3 km, 3–100 km og >100 km). Til samanburðar er sýndur styrkur vanadíums við (1–10 km) fimm norsk álver. Nánari skýringar sjá 2. mynd. (B) Styrkur vanadíums við álverið í Straumsvík. – Figure 10. (A) Vanadium (V) in moss ($\mu\text{g/g}$) and change with distance from the aluminium smelter in Straumsvík (0–3 km, 3–100 km and >100 km). For comparison the concentration of vanadium close to (1–10 km) five Norwegian aluminium smelters is given. See Fig. 2 for further explanations. (B) Vanadium in moss along sampling transects close to the aluminium smelter in Straumsvík.

4.10 Sink (Zn)

Styrkur sinks í mosa var að meðaltali hærri við álverið (74,14 µg/g) en á suðvesturhorni landsins (29,01 µg/g) eða á þeim svæðum sem fjær eru (28,32 µg/g) (11. mynd). Breytileikinn við álverið er þó mjög mikill, eða frá 22,6–246,0 µg/g en samkvæmt niðurstöðunum er þungamiðja dreifingarinnar suðaustur af verinu.

Þegar niðurstöður mælinga á sinki við norsk álver eru skoðaðar kemur fram að bakgrunnsgildi fyrir sink eru mjög svipuð og þau sem mæld voru í nágrenni álveranna (11. mynd).

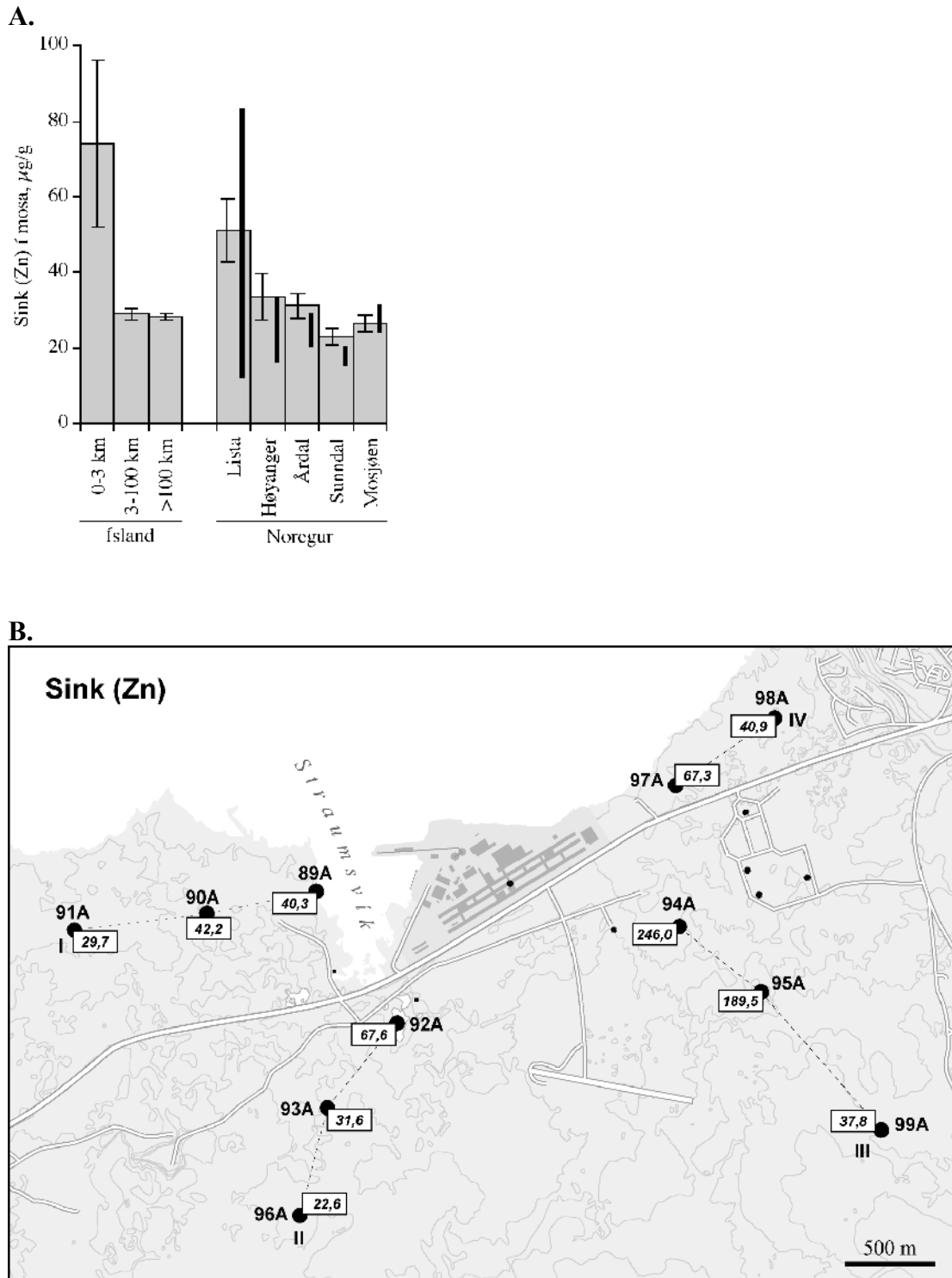
Miðað við niðurstöðurnar frá Straumsvík og frá Noregi er því ekki líklegt að frá álverum berist mikið af sinki út í andrúmsloftið. Í Straumsvík bendir útbreiðslumynstrið hinsvegar til þess að uppsprettu efnisins sé að leita suðaustur af verinu.

Samkvæmt niðurstöðum úr mosarannsókninni frá 1995–1996 eru bakgrunnsgildi fyrir sink í Danmörku, Noregi, Svíþjóð og Finnlandi og í Suður-Evrópu víðast hvar undir 80 µg/g (Rühling og Steinnes 1998). Því vekur það nokkra athygli hversu há gildi mældust í sýnum suðaustur af álverinu í Straumsvík. Styrkurinn þar (246 µg/g) var t.d. hærri en hæst mældist í Finnlandi (137 µg/g), Svíþjóð (206 µg/g), Danmörku (126 µg/g) og Færeyjum (21,6 µg/g) en lægri en í Noregi (603 µg/g) þar sem hæsta gildið tengist sinkbræðslunni í Odda.

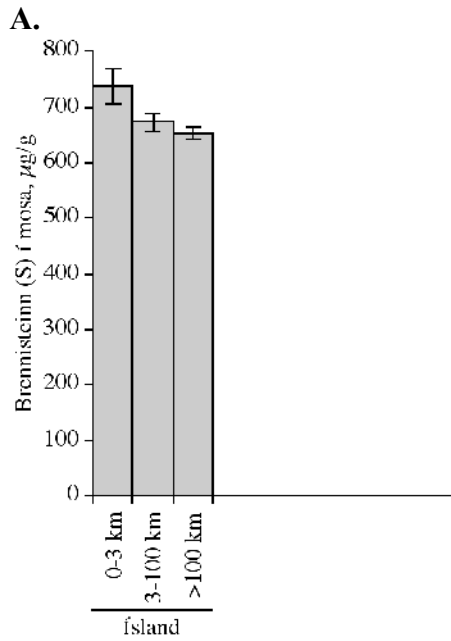
4.11 Brennisteinn (S)

Styrkur brennisteins í mosa var að meðaltali nokkru hærri við álverið (737 µg/g) en annars staðar á suðvesturhorni landsins (673 µg/g) eða á þeim svæðum sem fjær liggja (653 µg/g) (12. mynd). Þegar útbreiðslumynstur brennisteins við álverið er skoðað kemur í ljós að á hverju sniði er styrkur brennisteins hæstur næst álverinu en hann minnkar síðan með aukinni fjarlægð. Útbreiðslumynstur brennisteins bendir því til þess að aukið magn brennisteins í mosa megi rekja til álversins. Þetta kemur ekki á óvart því frá álverinu losnar talsvert af SO₂ (Þór Tómasson og Hörður Þormar 1998).

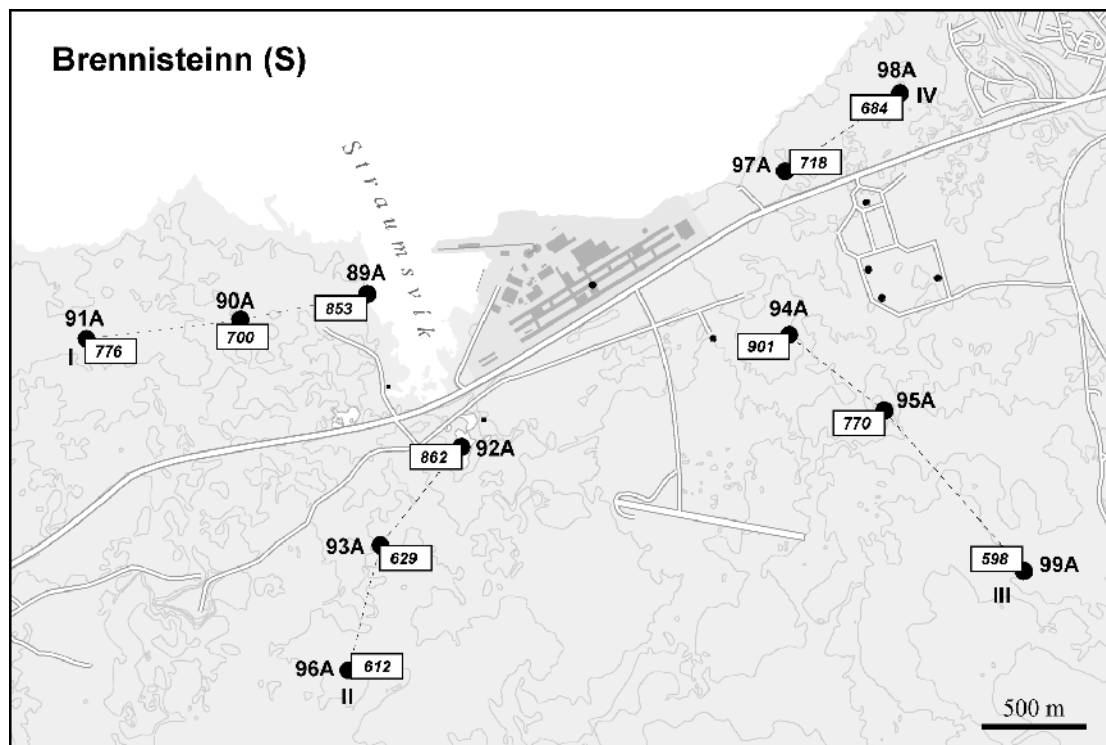
Í norsku rannsókninni var brennisteinn ekki mældur svo samanburður er ekki mögulegur.



11. mynd. (A) Styrkur sinks í mosa ($\mu\text{g/g}$) í mismunandi fjarlægð frá álverinu í Straumsvík, (0–3 km, 3–100 km og >100 km). Til samanburðar er sýndur styrkur sinks við (1–10 km) fimm norsk álver. Nánari skýringar sjá 2. mynd. Nánari skýringar sjá 2. mynd. (B) Styrkur sinks við álverið í Straumsvík. – Figure 11 (A) Zinc (Zn) in moss ($\mu\text{g/g}$) and change with distance from the aluminium smelter in Straumsvík (0–3 km, 3–100 km and >100 km). For comparison the concentration of zinc close to (1–10 km) five Norwegian aluminium smelters is given. See Fig. 2 for further explanations. (B) Zinc in moss along sampling transects close to the aluminium smelter in Straumsvík.



B.



12. mynd. (A) Styrkur brennisteins í mosa ($\mu\text{g/g}$) í mismunandi fjarlægð frá álverinu í Straumsvík, (0–3 km, 3–100 km og >100 km). (B) Styrkur brennisteins við álverið í Straumsvík. – Figure 12. (A) Sulphur (S) in moss ($\mu\text{g/g}$) and change with distance from the aluminium smelter in Straumsvík (0–3 km, 3–100 km and >100 km). See Fig. 2 for further explanations. (B) Sulphur in moss along sampling transects close to the aluminium smelter in Straumsvík.

5 LOKAORÐ

Niðurstöður efnamælinga á mosasýnum sem safnað var sumarið 2000 við álverið í Straumsvík og annars staðar á landinu sýna að styrkur arsens, nikkels, brennisteins, kadmíums, kopars, blýs og sinks er hærri í nágrenni álversins í Straumsvík en víðast annars staðar á landinu. Útbreiðslumynstur efnanna við álverið bendir til þess að frá því berist talsvert af arseni, nikkeli og brennisteini en ólíklegra er að hin efnin komi í miklu magni frá starfsemi álversins. Útbreiðsla þeirra bendir frekar til þess að þau berist út í umhverfið frá þeirri atvinnustarfsemi sem stunduð er skammt suðaustur af álverinu (2. tafla). Á þessu stigi er ekki unnt að segja til um hvað ræður þar mestu en styrkur þeirra, einkum kadmíums, blýs og sinks er af þeirri stærðargáðu að vert er að kanna uppruna þeirra nánar.

Á grundvelli þeirra niðurstaðna sem hér eru birtar er ekki unnt að fullyrða hvort þeir þungmálmur sem mældir voru hafi skaðleg áhrif á náttúru eða á heilsu manna í nágrenni álversins (sjá t.d. Steinnes o.fl. 2001). Samanburður á styrk þungmálma í Straumsvík og annars staðar í Evrópu sýnir hinsvegar að styrkur sumra þeirra eins og nikkels og sinks er það hár að líklegt er að þeir hafi áhrif á lífríki í nágrenni versins. Einkum á þetta við um svæðið skammt suðaustur af verinu en þar var styrkur flestra efna hæstur. Í þessu sambandi er rétt að benda á að á þessu svæði var mjög lítið af tildurmosa og óx hann þar eingöngu í lægðum. Við svipaða staðhætti annars staðar var hann hinsvegar mun útbreiddari og alls ekki bundin við lægðir.

Á undanförunum áratugum hafa orðið töluverðar gróðurbreytingar suðaustur af álverinu í Straumsvík sem m.a. hafa verið raktar til mengunar af völdum brennisteinsdíoíðs og þó einkum til flúormengunar (Hörður Kristinsson 1998). Miðað við þær niðurstöður sem hér eru birtar er líklegt að breytingarnar séu ekki einungis af völdum brennisteins og flúors heldur megi að hluta til rekja þær til þungmálmamengunar.

5.1 Þakkir

Sýnatökustaðir voru valdir í samráði við Guðrúnu Þóru Magnúsdóttur. Hreinsun sýna fór fram á Fræðasetrinu í Sandgerði. Lovísa Ásbjörnsdóttir teiknaði kort. Borgþór Magnússon og Álfheiður Ingadóttir lásu yfir handrit. Öllum eru færðar þakkir fyrir.

2. tafla. Yfirlit yfir helstu fyrirtæki og starfsemi næst álverinu í Straumsvík. Mögulegt er að sum þeirra losi þungmálma út í andrúmsloft (sjá einnig 1. mynd). – *Table 2. Other main industrial companies close to the aluminium smelter in Straumsvík. Some of them may be sources of atmospheric heavy metal pollution, (see also Fig 1).*

Fyrirtæki <i>Company</i>	Staðsetning <i>Location</i>	Lýsing <i>Description</i>	Líkleg losun <i>Type of possible discharge</i>
	Miðja svæðis um 600 m suður af álveri	Stórt geymslusvæði fyrir bílhra o.fl. ¹⁾	Óþekkt
Landsvirkjun	Um 600 m suðaustan við álver	Gasafsstöð ¹⁾	Óþekkt
Fura ehf málm-endurvinnsla	Um 1400 m austan við álver	Brotajárnsvinnsla starfrækt frá 1989, brotajárn tætt niður ²⁾	Málmryk
Malbikunarstöðin Hlaðbær Colas	Um 1350 m austan við álver	Malbikunarstöð starfrækt frá 1987 ³⁾	Steinryk bæði af innlendu basalti og innfluttu graníti ³⁾
Stein- steypan ehf	Um 1650 m austan við álver	Steypustöð starfrækt frá maí 1995 ⁴⁾	Sementsryk og steinryk
Sandtak sandblástur	Um 1400 m austan vð álver	Sandblásturfyrirtæki starfrækt frá 1996 en auk sandblásturs hefur þar einnig verið unnið að sinkhúðun ⁵⁾	Steinryk, ryk af gamalli málningu, sink

¹⁾ Sigurður Haraldsson, munnl. uppl. 2002, ²⁾ Haraldur Ólafsson, munnl. uppl. 2002,

³⁾ Sigurður Sigurðsson, munnl. uppl. 2002, ⁴⁾ Hannes Sigurgeirsson, munnl. uppl. 2002,

⁵⁾ Einar Einarsson, munnl. uppl. 2002.

6 HEIMILDIR

- Borgþór Magnússon og Sigurður H. Magnússon, 1993. Umhverfisvöktun: Þungmálmar í mosum á Íslandi og á meginlandi Norður-Evrópu. Ráðunautafundur 1993, bls. 60 – 71.
- Hörður Kristinsson, 1998. Gróðurbreytingar við álverið í Straumsvík. Náttúrufræðingurinn 67: 241–254.
- Iðntæknistofnun, 1999. Fluorine investigation in the vicinity of ISAL. Skýrsla unnin af Iðntæknistofnun fyrir ÍSAL, 39 bls.
- Rühling, Å., L. Rasmussen, K. Pilegaard, A. Mäkinen og E. Steinnes, 1987. Survey of atmospheric heavy metal deposition in the Nordic countries in 1985 – monitored by moss analysis. *NORD* 1987: 21, 44 bls.
- 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.
- Steinnes, E., T. Berg, T.E. Sjøbakk og M. Vadset, 2001. Nedfall av tungmetaller rundt utvalgte norske industrier, studert ved analyse av mose. Statlig program for forurensningsovervåkning. Rapport 831/01, 70 bls.
- Þór Tómasson og Hörður Þormar, 1998. Loftborin mengun frá álverinu í Straumsvík. Náttúrufræðingurinn 67: 233–240.

1. VIÐAUKI

Magn mældra efna í mosa sem safnað var víðsvegar um land sumarið 2000. Sýnum er raðað eftir magni viðkomandi efnis. Sýni sem safnað var í nágrenni álversins í Straumsvík (<3 km) eru sýnd dekkri en þau sem safnað var lengra frá. – *Appendix 1. Concentration of heavy metals in 127 moss samples collected throughout Iceland in 2000, shown in a descending order. Samples taken near (<3 km) the aluminium smelter in Straumsvík are shown in dark gray.*

