

# IÐNAÐARSVÆÐIÐ Á GRUNDARTANGA OG UMHVERFI ÞESS

NIÐURSTÖÐUR UMHVERFISVÖKTUNAR  
2002

LOKASKÝRSLA



MARS 2003

**1** HÖNNUN

## SAMANTEKT

### ANDRÚMSLOFT

Efna- og rykmælingar í lofti á Stekkjarási árið 2002 sýndu að allir mæliþættir voru undir viðmiðunarmörkum í starfsleyfi utan þynningarsvæðis. Álverið er meginuppspretta flúors, en SO<sub>2</sub> kemur að 2/3 hlutum frá járblendinu. Magn flúors var svipað og haustið 2001, en minnkaði um haustið. Meðaltal gaskennds SO<sub>2</sub> á Stekkjarási var mjög svipað og næstu tvö ár á undan. Ársmeðaltal heildar SO<sub>2</sub> mældist þó nokkru hærra og felst aukningin einkum í rykbundnum brennisteini. Magn svifryks mældist nokkru meira á Stekkjarási árið 2002 en árin á undan, en þó vel undir viðmiðunarmörkum fyrir ársmeðaltal. Skýringin er sú að mun þurrviðrasamara var árið 2002, sem er jafnan til aukningar svifryks í lofti. Magn flúors og brennisteins í úrkomu mældist í minna lagi miðað við árin á undan.

### GRÓÐUR

Magn flúors í grasi, laufi og barri á vöktunarsvæðinu árið 2002 var innan þeirra marka sem skaðað getur slíkan gróður og innan þolmarka viðkvæmustu grasbíta. Útblástur frá iðnaðarsvæðinu virðist því ekki trufla vöxt eða skaða gras, lauf eða barr innan vöktunarsvæðisins.

### FERSKVATN

Niðurstöður vöktunar árið 2002 sýna enga glögga breytingu á efna- og eðlisþáttum straumvatna frá árunum á undan. Mælingarnar sýna að SO<sub>2</sub> frá iðjuverunum á Grundartanga fellur ekki sem súrt regn á vöktunarsvæðinu.

### BÚFÉ

Í vöktun sauðfjár árið 2002 sáu engar glöggar flúorskemmdir á tönnum og kjálkum. Grunsamlegar breytingar sáu á tönnum 1-3ja vetra dýra í vettvangsskoðun að vori á Skipanesi og Katanesi, en um haustið sáu þær ekki lengur. Magn flúors í höfuðbeinum var meira en árin á undan í lömbum frá Litlu Fellsöxl og Kirkjubóli, og í fullvaxta fé frá Skipanesi. Styrkur flúors var þó yfirleitt innan skaðsemismarka fyrir búfé.

## EFNISYFIRLIT

1	INNGANGUR.....	1
2	SKILGREININGAR OG ORÐSKÝRINGAR.....	2
3	ANDRÚMSLOFT .....	3
3.1	HELSTU NIÐURSTÖÐUR .....	3
3.2	NIÐURSTÖÐUR EINSTAKRA MÆLIÞÁTTA.....	4
3.2.1	FLÚOR (F).....	4
3.2.2	BRENNISTEINSTVÍOXÍÐ (SO <sub>2</sub> ) .....	6
3.2.3	SVIFRYK (PM <sub>10</sub> ).....	8
3.2.4	EFNAINNIHALD Í ÚRKOMU.....	9
3.3	HEIMILDIR .....	12
4	GRÓÐUR .....	13
4.1	HELSTU NIÐURSTÖÐUR .....	13
4.2	EFNAMÆLINGAR Í GRÓÐRI.....	14
4.2.1	FLÚOR Í GRÓÐRI.....	14
4.3	HEIMILDIR .....	16
5	FERSKVATN.....	17
5.1	HELSTU NIÐURSTÖÐUR .....	17
5.2	NIÐURSTÖÐUR EINSTAKRA MÆLIÞÁTTA.....	18
5.2.1	LEIÐNI .....	18
5.2.2	SÝRUSTIG .....	18
5.2.3	BRENNISTEINN .....	18
5.2.4	FLÚOR .....	19
5.2.5	KLÓR.....	19
5.3	HEIMILDIR .....	19
6	BÚFÉ.....	25
6.1	HELSTU NIÐURSTÖÐUR .....	25
6.2	SAUÐFÉ.....	26
6.2.1	ÁSTAND TANNA OG MAGN FLÚORS .....	26
6.3	HEIMILDIR .....	28

# 1 INNGANGUR

Norðurál og Íslenska járnblendifélagið hafa síðastliðin fjögur ár unnið eftir áætlun um umhverfisvöktun á og í nágrenni Grundartanga í Hvalfirði, sem er samþykkt af Hollustuvernd ríkisins og gildir til ársins 2009. Ýmsar umhverfisrannsóknir fóru fram fyrir tíma járnblendiverksmiðjunnar árin 1975-1978 og áður en starfsemi álversins hófst eða frá júní 1997 til júní 1999. Ofangreind vöktunaráætlun tók þá við.

## Meginniðurstöður umhverfisvöktunar á og í nágrenni Grundartanga árið 2002:

Allir umhverfisþættir voru undir viðmiðunarmörkum í starfsleyfi utan þynningarsvæðis. Framleiðsluaukning álversins sumarið 2001 endurspeglast að jafnaði í umhverfinu.

Í skýrslu þessari eru teknar saman helstu niðurstöður umhverfisvöktunar árið 2002 og þær bornar saman við niðurstöður fyrri ára og viðmiðunarmörk í starfsleyfi þar sem það á við. Í **töflu 1.1** er yfirlit yfir vöktunina og helstu niðurstöður árið 2002.

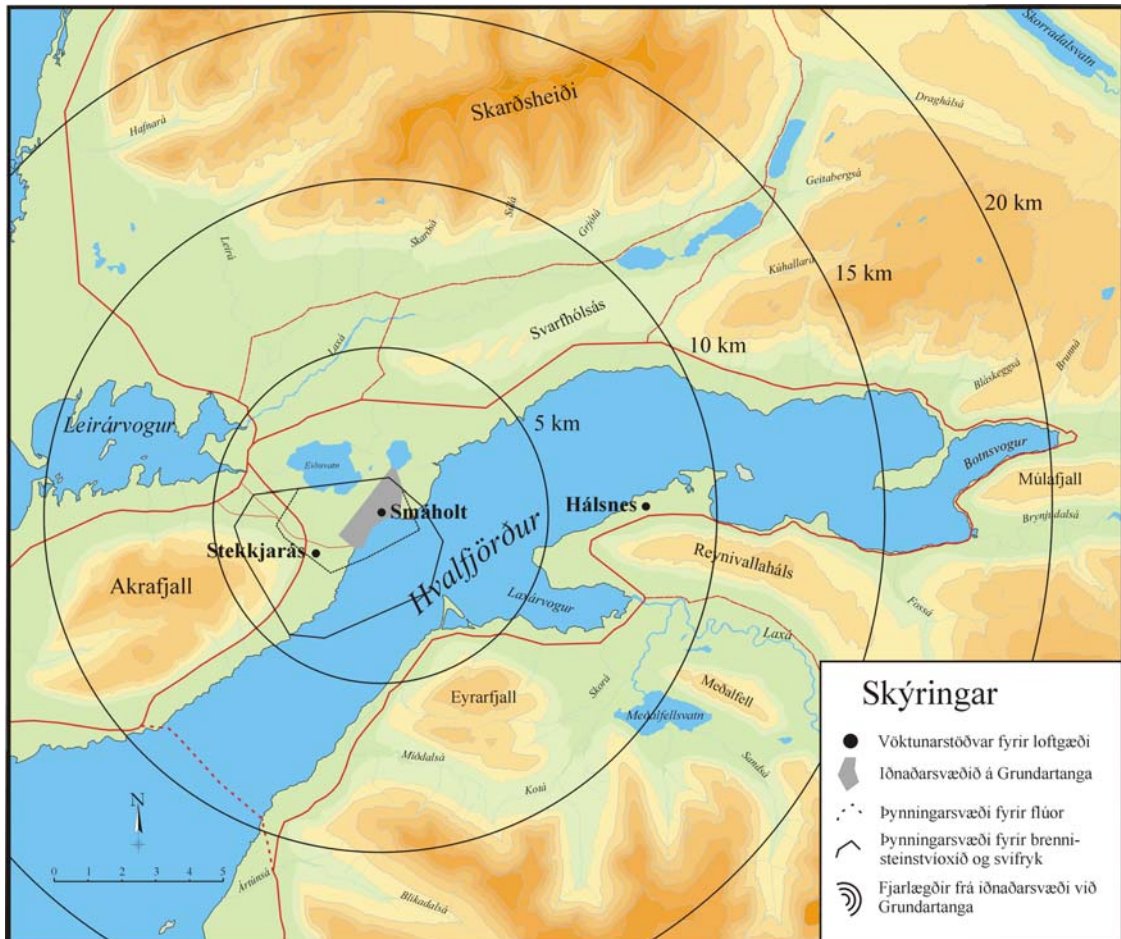
**Tafla 1.1** Yfirlit yfir umhverfisvöktun á og í nágrenni Grundartanga árið 2002 og helstu niðurstöður.

	Loftgæði	Gróður	Árvatn	Sauðfé
<b>Mæliþættir</b>	Andrúmsloft: Svifryk Brennisteinstvíoxíð í lofti og ryki. Flúor í lofti og ryki. Regnvatn: Sýrustig, flúor, klór, sulfat, natrium og nítrat.	Flúor í grasi, laufi og barri.	Sýrustig [pH] Leiðni Flúor [F] Súlfat [SO <sub>4</sub> ] Klór [Cl]	Ástand tanna og beina. Flúor í beinum.
<b>Mælistaðir</b>	Stekkjjarás	Stekkjjarás Fannahlíð Fellsaxlarkot Félagsgarður Fossbrekka Reynivellir	Laxá Urriðaá Kalmansá Fossá Berjadalsá	12 bæir (sjá mynd 6.1).
<b>Rannsóknar- aðilar</b>	Iðntæknistofnun	Iðntæknistofnun	Iðntæknistofnun	Tilraunastöð HÍ í meinafræðum á Keldum. Iðntæknistofnun
<b>Helstu niðurstöður</b>	Allir þættir vel undir viðmiðunarmörkum utan þynningarsvæðis og almennt lægri styrkur efna en árin 1998 og 1999. Meðaltal heildar flúors var aðeins hærra árið 2002 en árin tvö á undan. Á Stekkjarási var magn þess í lofti svipað og haustið 2001.	Magn flúors í grasi, laufi og barri vel undir viðmiðunarmörkum á öllum mælistöðvum. Magn flúors í slíkum gróðri var í nokkuð góðu samræmi við magn þess í lofti.	Litlar breytingar á mæliþáttum í ferskvatni frá árunum á undan.	Vöktun gaf ekki til kynna flúorskemmdir á tönnum og kjálkum. Grunnsamlegar breytingar á tönnum ungra dýra um vorið ekki sjáanlegar um haustið. Magn flúors í höfuðbeinum var hærra en árin á undan í lömbum frá Litlu Fellsöxl og Kirkjubóli og í ám frá Skipanesi.

## 2 SKILGREININGAR OG ORÐSKÝRINGAR

<b>Cl</b>	Efnatákn klórs.
<b>F</b>	Efnatákn flúors.
<b>N</b>	Efnatákn köfnunarefnis (nitur).
<b>NO<sub>3</sub></b>	Efnatákn köfnunarefnisþríoíðs.
<b>pH</b>	Mæligildi fyrir sýrustig.
<b>S</b>	Efnatákn brennisteins.
<b>SO<sub>2</sub></b>	Efnatákn brennisteinstvíoíðs.
<b>SO<sub>4</sub></b>	Efnatákn súlfats.
<b>Viðmiðunarmörk</b>	Mörk sem yfirvöld mengunarvarna setja sem hámark á magni tiltekins efnis vegna gróðurs, dýra eða fólks.
<b>Þynningarsvæði</b>	Svæði þar sem þynning mengunar á sér stað og eftirlitsaðilar samþykkja að mengun megi vera yfir viðmiðunarmörkum.
<b>µ</b>	Míkró, einn milljónasti ( $10^{-6}$ ) úr grammi.
<b>µm</b>	Míkrómetri, einn milljónasti ( $10^{-6}$ ) úr m/einn þúsundasti úr mm.
<b>µg/m<sup>3</sup></b>	Styrkur efnis af heildarrúmmáli lofts.
<b>µS/sm</b>	Leiðni vatns á hvern sm.
<b>mg/m<sup>2</sup></b>	Ákoma efna í úrkomu á flatareiningu.
<b>µg/L</b>	Styrkur efnis á líter.
<b>mg/L</b>	Styrkur efnis á líter.
<b>µg/g</b>	Styrkur efnis á þyngdareiningu.

### 3 ANDRÚMSLOFT



Mynd 3.1 Staðsetning vöktunarstöðva fyrir loftgæði í Hvalfirði.

#### 3.1 HELSTU NIÐURSTÖÐUR

Uppspretta og dreifing efna: Árið 2002 voru ríkjandi vindáttir á Grundartanga svipaðar og árin á undan, en þó var austanátt óvenju ríkjandi þetta ár. Um vorið og fyrri hluta sumars var norðaustanátt ríkjandi, í júlí og ágúst austan og suðvestanáttir og með haustinu austan og suðaustanáttir. Austan- og norðaustanáttir dreifa útblæstri frá iðnaðarsvæðinu út á sjó en suðsuðvestanátt inn með strönd Hvalfjarðar. Vindátt getur haft veruleg áhrif á söfnun ryks og mengunarefna á vöktunarstöðvunum hverju sinni.

Flúor og brennisteinstvíoxíð (SO<sub>2</sub>) í lofti: Á mynd 3.1 má sjá staðsetningu vöktunarstöðva fyrir loftgæði. Iðnaðarsvæðið er meginupspretta flúors og SO<sub>2</sub>. Flúor kemur frá álverinu og SO<sub>2</sub> að um 2/3 hlutum frá járnblendinu. Árið 2002 var andrúmsloft og úrkoma eingöngu vaktad á Stekkjarási. Meðaltal heildar flúor var aðeins hærra árið 2002 en árin tvö á undan. Magn heildar flúors var svipað og haustið 2001, þegar framleiðsluaukning álversins endurspegladist í lofti á vöktunarstöðvunum, en minnkaði þó að jafnaði um haustið (mynd 3.5).

Meðaltal gaskennds brennisteins á Stekkjarási var mjög svipað og næstu tvö ár á undan. Ársmeðaltal heildar SO<sub>2</sub> mældist þó nokkru hærra og fólst aukningin einkum í rykbundnum brennisteini.

Svifryk: Meginuppspretta svifryks árið 2002 var utan iðnaðarsvæðisins eins og áður. Ársmeðaltalið á Stekkjarási var heldur hærra en árið á undan, en þó vel undir viðmiðunarmörk fyrir ársmeðaltal. Árið 2002 var mun þurrviðrasamara en árið 2001, sem er jafnan til aukningar svifryks í lofti.

Úrkoma: Magn flúors og brennisteins (sem súlfat, SO<sub>4</sub>) í úrkomu á Stekkjarási mældist nokkru minna en árið 2001, eða í minna lagi miðað við mælingar frá upphafi vöktunar. Mikill breytileiki einkennir úrkomumælingar. Sýrustig var frábrugðið mælingum fyrri ára þar sem pH gildi voru yfirleitt hærri.

## 3.2 NIÐURSTÖÐUR EINSTAKRA MÆLIÞÁTTA

### 3.2.1 FLÚOR (F)

Í **töflu 3.1** er ársmeðaltal heildar flúors (gaskenndur og í ryki) í lofti árin 1997-2002 á Stekkjarási, og 1997-2001 á Hálsnesi og Smáholti (sjá einnig á **mynd 3.2**).

**Tafla 3.1** Ársmeðaltal heildar flúors (µg/m<sup>3</sup>) á vöktunarstöðvunum 1997-2002, ásamt staðalfrávikum mánaðarlegra mælinga. Sýnt er meðaltal rekstrarmánaða Norðurláls árið 1998. Vöktunartímabilið er ekki það sama öll árin.

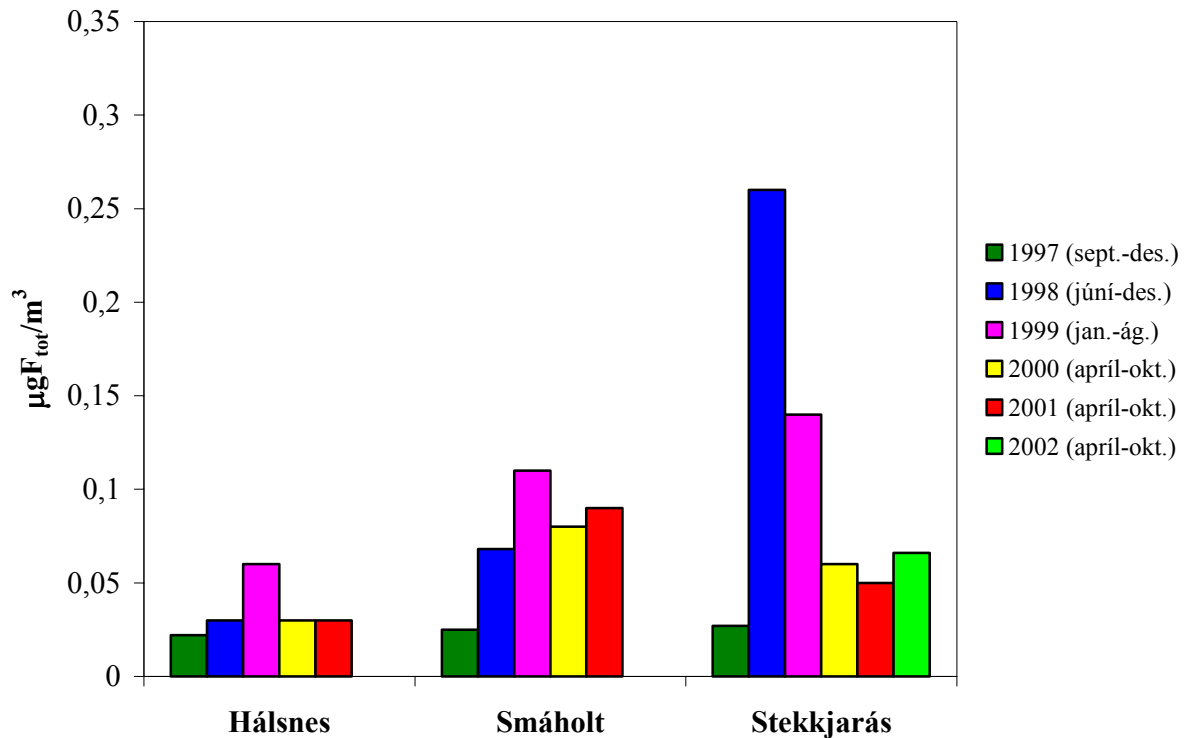
Ár (vöktunarmán.)	Stekkjars	Hálsnes	Smáholt
1997 (sept.-des.)	0,03 ± 0,01	0,02 ± 0,005	0,02 ± 0,006
1998 (júni.-des.)	0,26 ± 0,16	0,03 ± 0,012	0,07 ± 0,04
1999 (jan.-ágúst)	0,14 ± 0,07	0,06 ± 0,08	0,11 ± 0,14
2000 (apríl-okt.)	0,06 ± 0,07	0,03 ± 0,01	0,08 ± 0,05
2001 (apríl-okt.)	0,05 ± 0,03	0,03 ± 0,02	0,09 ± 0,07
2002 (apríl-okt.)	0,07 ± 0,03	-	-

Á **mynd 3.4** eru sýnd ársmeðaltöl gaskennds flúors (HF) fyrir sama tímabil á sömu stöðum. Frá upphafi mælinga hefur styrkur gaskennds flúors ekki farið yfir viðmiðunarmörk fyrir vaxtartíma gróðurs (0,3 µg/m<sup>3</sup> utan þynningarsvæðis yfir 6 mánuði). Árið 2002 var ársmeðaltal heildar flúors á Stekkjarási aðeins hærra en árið á undan<sup>1</sup>. Vor og sumar 2002 mældist styrkur heildar flúors á Stekkjarási svipaður og haustið 2001, en að jafnaði minni um haustið (**mynd 3.3**). Losun heildar flúors frá álveri Norðurláls, frá hreinsivirki og kerskálum, jókst um 20 % við framleiðsluaukningu álversins um 30.000 tonn sumarið 2001<sup>2</sup> og má því búast við að loftborinn flúor aukist í

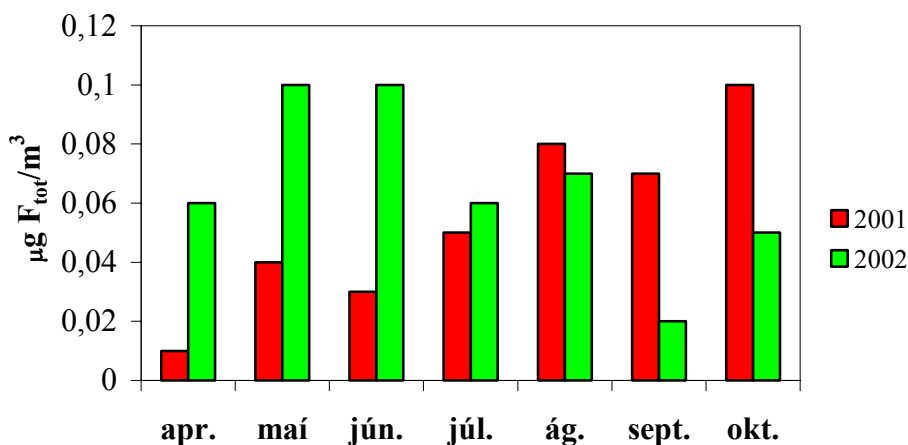
<sup>1</sup> Hermann Þórðarson og Hörður Þormar, 2003.

<sup>2</sup> Upplýsingar frá Halldóri Guðmundssyni, feb. 2003, um losun flúors frá Norðurláli 2001 og 2002.

nágrenni álversins. Tíð suðaustanátt haustið 2002 gæti síðan hafa orsakað lægri mæligildi flúors á Stekkjarási um haustið. Mesti styrkur flúors og brennisteins í lofti mælist á Stekkjarási í norðaustan- eða austanáttum. Árið 2002 endurspegladist magn loftborins flúors í gróðri.

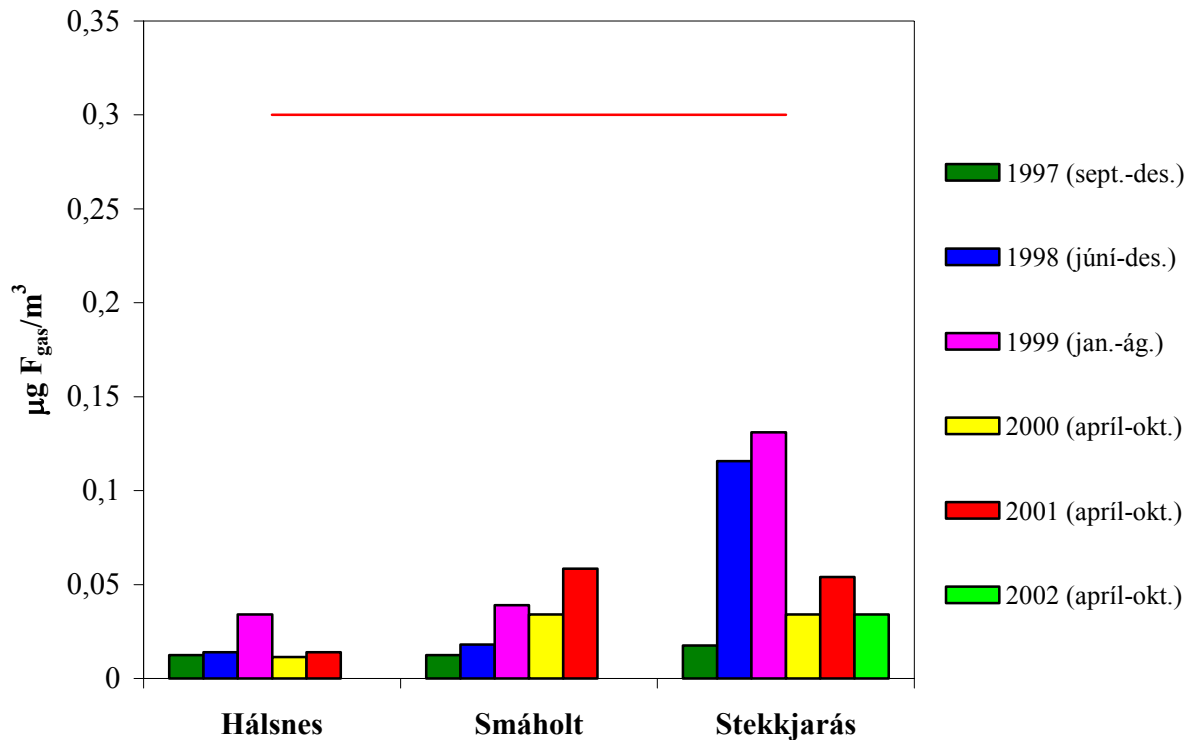


**Mynd 3.2** Ársmeðaltöl heildar flúors ( $F_{tot}$ ) á vöktunarstöðvunum 1997-2002 (eingöngu safnað á Stekkjarási 2002). Sýnt er meðaltal rekstrarmánaða Norðuráls árið 1998.



**Mynd 3.3** Mánaðarmeðaltöl heildar flúors á Stekkjarási, apríl – október, árin 2001 og 2002.





**Mynd 3.4** Ársmeðaltöl gaskennds flúors á vöktunarstöðvunum 1997-2002. Sýnt er meðaltal rekstrarmánaða Norðuráls árið 1998. Viðmiðunarmörk gaskennds flúors á vaxtartíma gróðurs (0,3 µg/m<sup>3</sup>) utan þynningarsvæðis eru sýnd með rauðri línu.

### 3.2.2 BRENNISTEINSTVÍOXÍÐ (SO<sub>2</sub>)

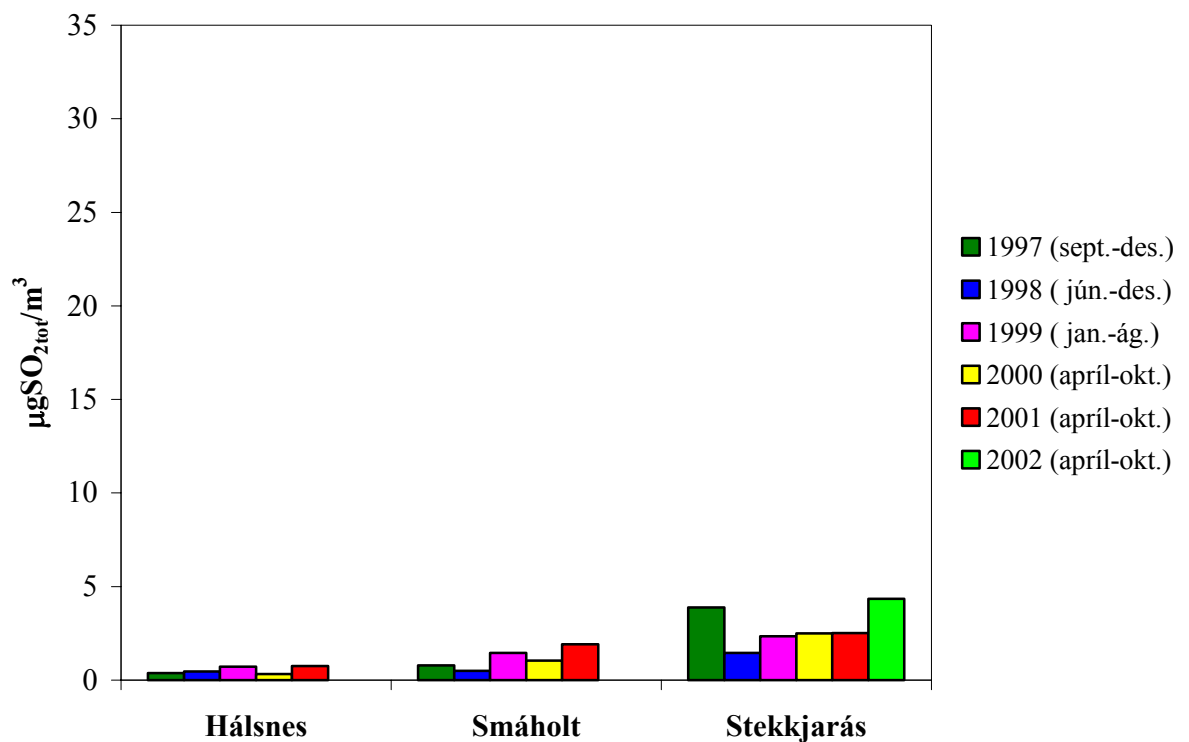
**Tafla 3.2** sýnir ársmeðaltal mælinga á heildar SO<sub>2</sub> (gaskennds og í ryki) undanfarin sex ár á Stekkjarási og árin 1997-2001 á Hálsnesi og Smáholti (sjá einnig á mynd 3.5).

**Tafla 3.2** Ársmeðaltal heildar SO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>) á vöktunarstöðvum 1997-2002, ásamt staðalfrávikum mælinga. Vöktunartímabilið er ekki það sama öll árin.

Ár (vöktunarmán.)	Stekkjars	Hálsnes	Smáholt
1997 (sept.-des.)	3,9 ± 2,1	0,4 ± 0,3	0,8 ± 0,4
1998 (júní-des.)	1,5 ± 0,4	0,5 ± 0,1	0,5 ± 0,2
1999 (jan.-ágúst)	2,3 ± 1,3	0,7 ± 0,2	1,4 ± 1,0
2000 (apríl-okt.)	2,5 ± 1,3	0,3 ± 0,1	1,0 ± 1,6
2001 (apríl-okt.)	2,5 ± 1,1	0,8 ± 0,4	1,9 ± 1,4
2002 (apríl-okt.)	4,36 ± 0,9	-	-

Á mynd 3.6 er meðaltal mælinga á gaskenndu SO<sub>2</sub> fyrir sama tímabil á sömu stöðum. Styrkur gaskennds SO<sub>2</sub> hefur frá upphafi mælinga ekki farið yfir viðmiðunarmörk fyrir ársmeðaltal (30 µg/m<sup>3</sup> utan þynningarsvæðis) á vöktunarsvæðinu.

Hæstu gildi heildar SO<sub>2</sub> á árunum 1997-2002 mældust innan þynningarsvæðis fyrir SO<sub>2</sub> á Stekkjarási. Meðaltal gaskennds brennisteins (SO<sub>2</sub>-S 1,19 µg/m<sup>3</sup>) á Stekkjarási árið 2002<sup>3</sup> var mjög svipað meðaltalinu næstu tvö árin á undan (1,18 µg/m<sup>3</sup> árið 2000 og 1,28 µg/m<sup>3</sup> árið 2001), sem sýnir að magn þess á Stekkjarási sé stöðugt milli ára. Ársmeðaltal heildar SO<sub>2</sub> mældist þó nokkru hærra árið 2002 en árin á undan. Er þetta einkum brennisteinn bundinn ryki, en magn svifryks mældist nokkru meira á Stekkjarási árið 2002 en árin á undan (sjá **kafla 3.2.3**). Líklegasta skýringin á þessu er að þurrviðrasamara var árið 2002 en árin á undan, auk þess sem drjúg uppspretta brennisteins er frá hafi þegar sjór ýrist upp í suðaustanátt<sup>4,5</sup> sem var algeng haustið 2002. Utan þynningarsvæðis var magn SO<sub>2</sub> nálægt bakgrunnsgildum frá Írafossi (0,38 µg/m<sup>3</sup> árið 1999)<sup>6</sup>.



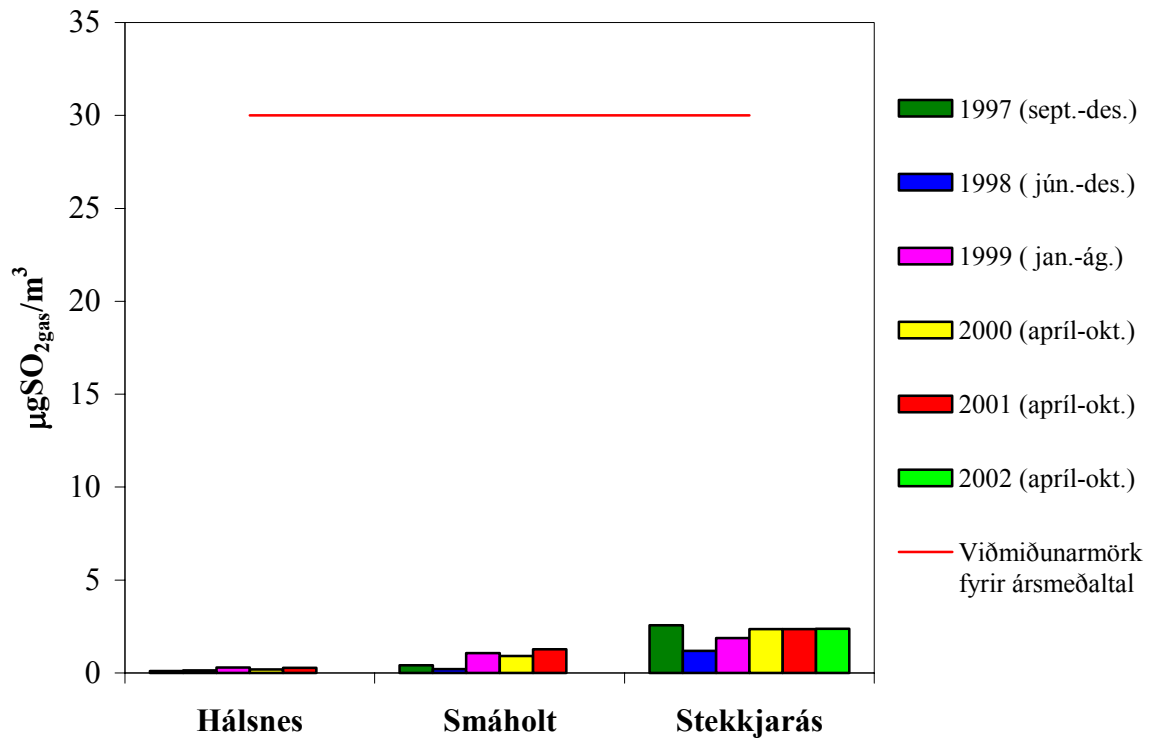
**Mynd 3.5** Ársmeðaltöl heildar SO<sub>2</sub> (SO<sub>2tot</sub>) í lofti á vöktunarstöðvum 1997-2002. Sýnt er meðaltal rekstrarmánaða Norðuráls árið 1998.

<sup>3</sup> Hermann Þórðarson og Hörður Þormar, 2003.

<sup>4</sup> Sigurður R. Gíslason o.fl., 1998.

<sup>5</sup> Hermann Þórðarson og Hörður Þormar, 1999.

<sup>6</sup> Jóhanna Thorlacius, Veðurstofa Íslands. Munnleg heimild, mars 2001.



**Mynd 3.6** Ársmeðaltöl gaskennds SO<sub>2</sub> í lofti á vöktunarstöðvum 1997-2002. Viðmiðunarmörk fyrir ársmeðaltal (30 µg/m<sup>3</sup>) gaskennds SO<sub>2</sub> utan þynningarsvæðis eru sýnd með rauðri línu.

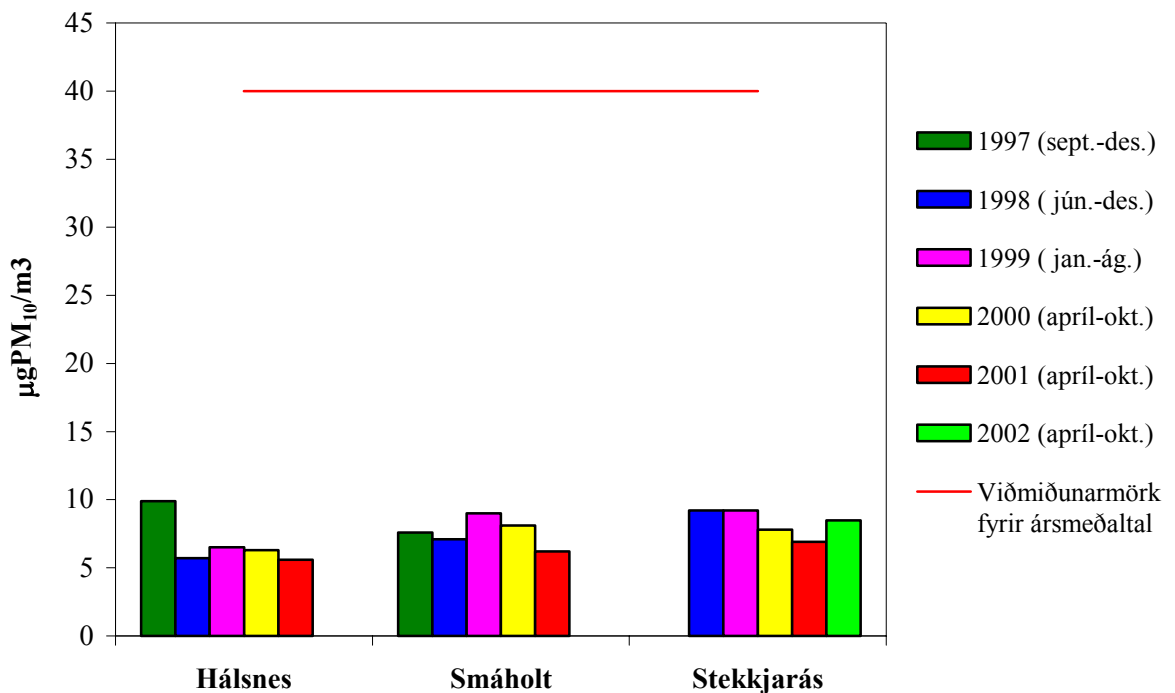
### 3.2.3 SVIFRYK (PM<sub>10</sub>)

Í **töflu 3.3** eru ársmeðaltöl mælinga á svifryki safnað á síur undanfarin sex ár á Stekkjarási og árin 1997-2001 á Hálsnesi og Smáholti. Ryk er einnig mælt með beta svifryksmæli (betageislagreini) á Stekkjarási alla daga í júní og júlí árið 2002. Frá upphafi mælinga á svifryki hefur magn þess hvergi farið yfir viðmiðunarmörk fyrir ársmeðaltal (40 µg/m<sup>3</sup> utan þynningarsvæðis).

**Tafla 3.3** Ársmeðaltal svifryks (µg/m<sup>3</sup>) á vöktunarstöðvunum 1997-2002, ásamt staðalfrávikum mánaðarlegra mælinga.

Ár (vöktunarmán.)	Stekkjars	Hálsnes	Smáholt
1997 (sept.-des.)	-	9,9 ± 7,8	7,6 ± 5,9
1998 (júní-des.)	9,2 ± 3,8	5,7 ± 1,7	7,1 ± 2,7
1999 (jan.-ágúst)	9,1 ± 2,3	6,5 ± 2	9,0 ± 2,5
2000 (apríl-okt.)	7,8 ± 1,6	6,3 ± 1,9	8,1 ± 2,6
2001 (apríl-okt.)	6,9 ± 1,8	5,6 ± 2,9	6,2 ± 3,9
2002 (apríl-okt.)	8,5 ± 0,5	-	-

Á mynd 3.7 eru niðurstöður svifrykssöfnunar á vöktunarstöðvunum í Hvalfirði. Ársmeðaltal svifryks safnað á síur á Stekkjarási árið 2002 ( $8,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )<sup>7</sup>, var heldur hærra en árið á undan ( $6,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), en þó vel innan viðmiðunarmarka fyrir ársmeðaltal eins og áður. Árið 2002 var heldur þurrviðrasamara en árið 2001, sem er jafnan til aukningar svifryks. Hæsta dagsmeðaltalið var í júní eða  $58,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (mælt með betageislagreini), sem er vel innan viðmiðunarmarka fyrir magns svifryks í lofti yfir sólarhring ( $130 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; reglugerð nr. 790/1999. Meginuppspretta svifryks á vöktunarsvæðinu er utan iðnaðarsvæðisins.



**Mynd 3.7** Meðaltöl svifryks ( $\text{PM}_{10}$ ) í lofti árin 1997-2002 safnað á síur á vöktunarstöðvunum. Viðmiðunarmörk fyrir ársmeðaltal ( $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) utan þynningarsvæðisins eru sýnd með rauðri línu.

### 3.2.4 EFNAINNIHALD Í ÚRKOMU

Í töflu 1.1 má sjá þá þætti sem mældir eru í úrkomu. Samanburður mælinga í úrkomu, lofti og ryki gefur gleggri mynd af dreifingu og uppruna mengunar í Hvalfirði. Í töflu 3.4 og á mynd 3.8 er ársmeðaltal sýrustigs og efna í úrkomu á vöktunarstöðvunum árin 1997-2002.

Magn flúors og brennisteins (sem súlfat,  $\text{SO}_4$ ) í úrkomu á Stekkjarási mældist nokkru minna<sup>8</sup> en árið 2001, eða í minna lagi miðað við mælingar frá upphafi vöktunar. Á mynd 3.9 eru mánaðarmeðaltöl brennisteins og flúors í úrkomu á Stekkjarási árið 2002. Hæstu gildi flúors mældust í júlí, sem er í nokkuð góðu samræmi við mælingar á flúor í lofti þann mánuð. Hæstu gildi brennisteins í úrkomu mældust í apríl.

<sup>7</sup> Hermann Þórðarson og Hörður Þormar, 2003.

<sup>8</sup> Hermann Þórðarson og Hörður Þormar, 2003.

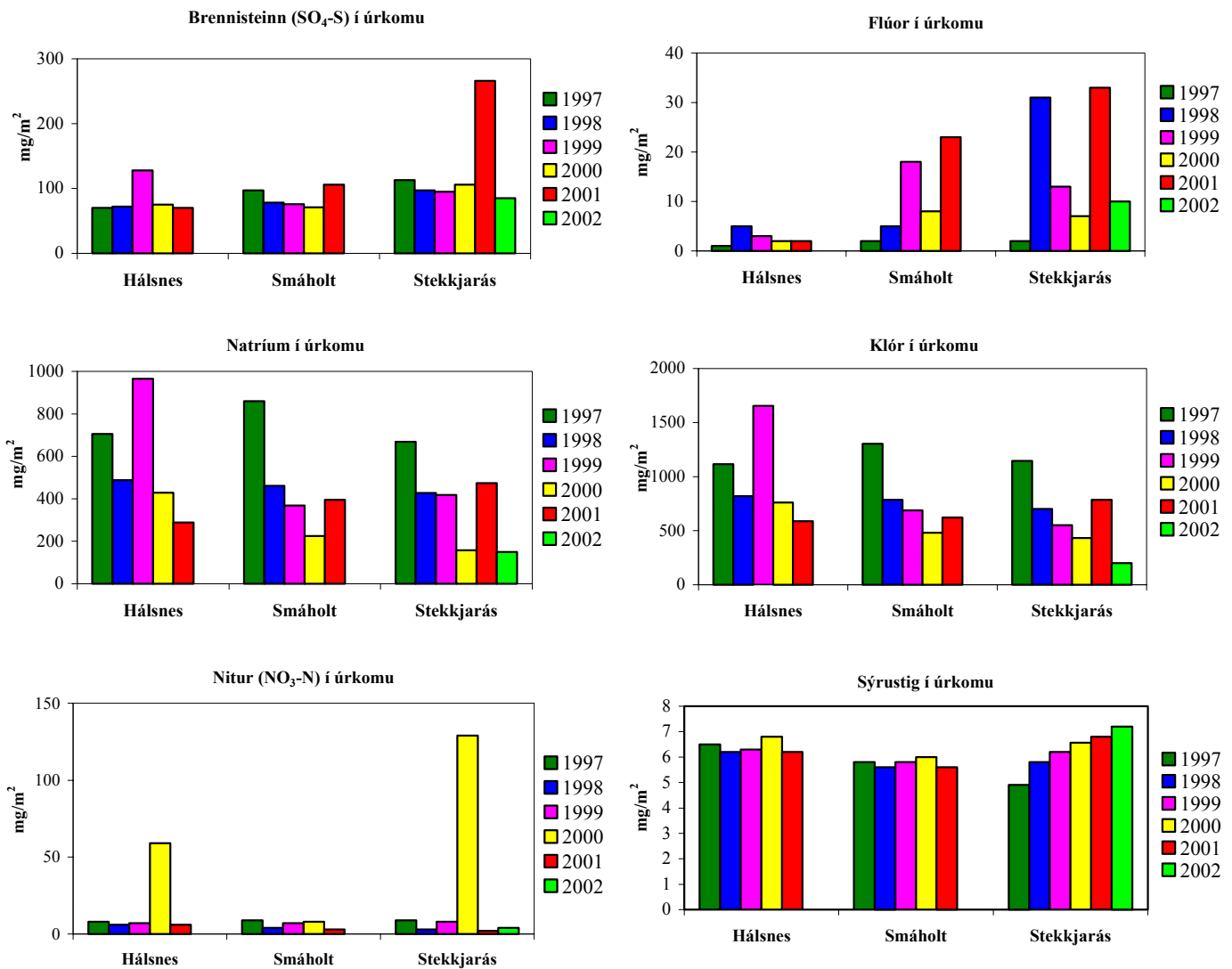
UMHVERFISVÖKTUN ÁRIÐ 2002

Sýrustig úrkomu við Stekkjarás árið 2002 eru að einhverju leyti frávik frá mælingum fyrri ára þar sem pH gildi voru yfirleitt há, að undanskildu síðast mældu gildinu sem er með því lágsta sem mælst hefur.

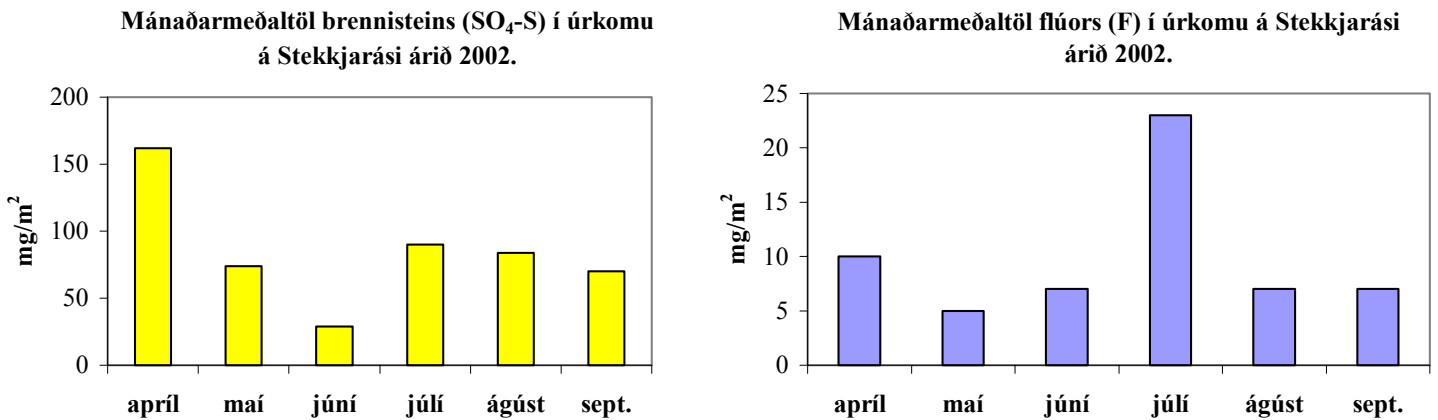
**Tafla 3.4** Ársmeðaltal sýrustigs og efna í úrkomu á vöktunarstöðvunum 1997-2002. Styrkur efna er í mg/m<sup>2</sup>/ári og sýrustig í einingunni pH.

Ár	Hálsnes			Smáholt			Stekkjjarás		
	Na	Cl	NO <sub>3</sub> -N	Na	Cl	NO <sub>3</sub> -N	Na	Cl	NO <sub>3</sub> -N
1997	705	1114	7,5	860	1304	9,0	669	1144	8,5
1998	488	819	5,7	461	784	3,7	413	700	3,2
1999	965	1655	6,5	369	688	6,9	418	550	8,4
2000	429	761	5,9	225	480	8	158	433	12,9
2001	289	587	6	395	620	3	474	784	2
2002	-	-	-	-	-	-	149	201	4
	SO <sub>4</sub> -S	F	pH	SO <sub>4</sub> -S	F	PH	SO <sub>4</sub> -S	F	PH
1997	70	1	6,5	96,5	1,75	5,8	113	2	4,9
1998	72	4,7	6,2	77,6	5,4	5,5	97	31	5,8
1999	128	3,1	6,3	76,1	18,1	5,8	105	12,9	6,2
2000	75	2	6,8	71	8	6,0	106	7,0	6,6
2001	70	1,7	6,2	106	23	5,6	266	33	6,8
2002	-	-	-	-	-	-	85	10	7,2

UMHVERFISVÖKTUN ÁRIÐ 2002



Mynd 3.8 Sýrustig og efnamælingar í úrkomu, meðaltal mánaðargilda árin 1997-2002.



Mynd 3.9 Breytileiki í mælingum á brennisteini og flúor í úrkomu á Stekkjarási árið 2002.

### 3.3 HEIMILDIR

Hermann Þórðarson og Hörður Þormar, 1999. *Umhverfissvöktun á Grundartanga og í Hvalfirði. September 1998 – ágúst 1999*. Iðntæknistofnun, ITÍ9915/EGK06.

Hermann Þórðarson og Hörður Þormar, 2003. *Umhverfissvöktun á Grundartanga og í Hvalfirði. Síðari hluti apríl – fyrri hluti október 2002*. Iðntæknistofnun, ITÍ0127/EGK01.

Sigurður R. Gíslason, Andri Stefánsson og Matthildur Bára Stefánsdóttir, 1998. *Vatnarannsóknir í nágrenni iðnaðarsvæðisins á Grundartanga og í Kjós*. Lokaskýrsla 15. júlí 1998.

## 4 GRÓÐUR



Mynd 4.1 Vöktunarstaðir fyrir gróður í Hvalfirði.

### 4.1 HELSTU NIÐURSTÖÐUR

Á mynd 4.1 eru vöktunarstaðir fyrir gróður í Hvalfirði. Árið 2002 var styrkur flúors mældur í sýnum af grasi, laufi og barri. Mesta magn flúors sem mældist er ekki talið líklegt til að skaða gras, lauf eða barr innan vöktunarsvæðisins og er innan þolmarka viðkvæmustu grasbita ( $30 \mu\text{g/g}$  í þurrefni). Styrkur flúors í grasi var yfirleitt neðan við eða nálægt bakgrunnsgildi ( $10 \mu\text{g/g}$ ), en nokkuð meiri í laufi og barri. Magn flúors í gróðri er í nokkuð góðu samræmi við magn þess í lofti.



## 4.2 EFNAMÆLINGAR Í GRÓÐRI

### 4.2.1 FLÚOR Í GRÓÐRI

Polmörk hinna ýmsu gróðurtegunda gagnvart flúor í lofti má sjá í **töflu 4.1**<sup>9</sup>.

Polmörk grasbíta gagnvart flúor í grasi eru á bilinu 30-60 µg/g (í þurrefni)<sup>10</sup> og getur safnast í gróður yfir sex mánaða tímabil ef styrkur gaskennnds flúors (HF) í lofti fer yfir 0,3 µg/m<sup>3</sup>. Samkvæmt starfsleyfi Norðurláls má styrkur flúors fara yfir þessi mörk innan þynningarsvæðis í 0,2 % tilfella eða 7 daga á ári.

**Tafla 4.1** Polmörk gróðurs gagnvart gaskennndum flúor, langtímaáhrif (niðurstöður norskra rannsókna).

Loftborið efni	Gróðurgerðir	Polmörk (µg/m <sup>3</sup> )
Flúor	Fléttur, mosar, barrtré	>0,3
	Lauftré	>0,4
	Grös	>2-3

Í loftgæðamælingum árið 2002 var meðaltal gaskennnds flúors á Stekkjarási yfir sex mánuði, maí-okt., 0,033 µg/m<sup>3</sup>, svipað og árið 2001 (0,035 µg/m<sup>3</sup>). Vöktun loftgæða hefur sýnt að frá upphafi rekstrar Norðurláls hafa engin sex mánaðarmeðaltöl gaskennnds flúors farið yfir viðmiðunarmörkin 0,3 µg/m<sup>3</sup>.

Á myndum 4.2-4.4 er sýndur styrkur flúors árið 2002 í grasi, laufi af birki og reyni og barri af greni og furu<sup>11</sup>. Styrkur flúors í gróðri árið 2002 mældist nokkuð meiri en bakgrunnsgildi (10 µg/g í þurrefni) í laufi, einkum að hausti, frá Stekkjarási, Fannahlíð og Fellsaxlarkoti, í grasi að vori frá Stekkjarás, og í 1 og 2 ára barri frá Stekkjarási. Á Stekkjarási, Fannahlíð og Fellsaxlarkoti mældist styrkur flúors í grasi og laufi yfirleitt nokkru meiri vorið 2002 en haustið 2001. Mesti styrkur flúors í grasi árið 2002, 16 µg/g, er þó innan skaðsemismarkna viðkvæmustu grasbíta (30 µg/g).

Hæsta flúorgildi sem mældist árið 2002 var í laufi (þurrefni og skol) af reynivið frá Fellsaxlarkoti að hausti eða 32 µg/g, og næsthæsta í laufi af birki frá Stekkjarási og Fannahlíð að hausti eða 23 µg/g. Flúorstyrkur í laufi mældist yfirleitt meiri að hausti en að vori á mælistöðunum. Þessu var hins vegar öfugt farið með flúorstyrk í grasi sem mældist yfirleitt minni að hausti en að vori. Mesti munurinn á styrk flúors í grasi á Stekkjarási frá vori fram á haust var 11 µg/g (fór úr 16 µg/g í 5 µg/g). Líklegt er að ástand andrúmslofts og úrkomu endurspeglar fyrir í grasi en í laufi þar sem lauf er lengur að losa sig við flúorinn. Minna magn flúors í grasi að hausti endurspeglar magn flúors í lofti á Stekkjaási, sem var minna um haustið en að vori og sumri (skýringin er líklega tíð suðaustan átt um haustið, sjá nánar í **kafla 3.2.1**).

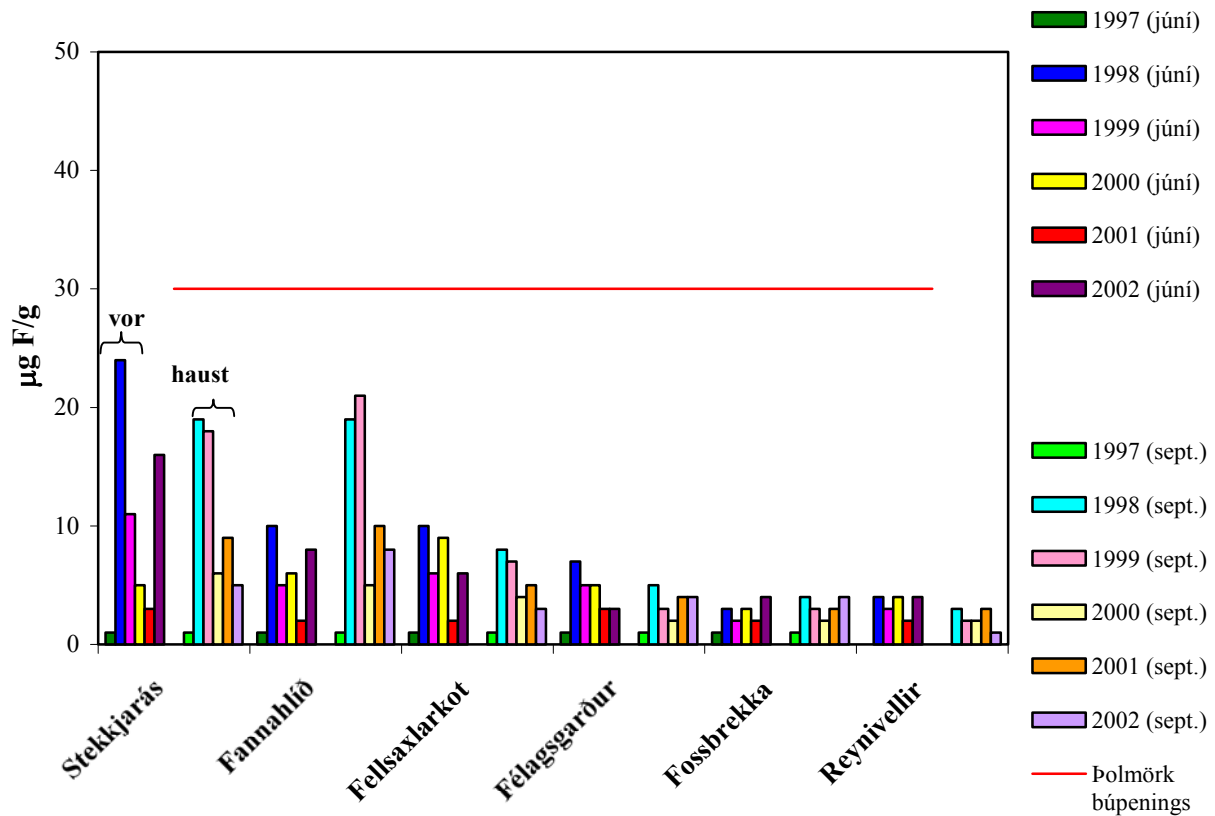
Árið 2001 jókst munurinn á 1 árs og 2 ára barri frá árinu á undan á mælistöðunum næst iðnaðarsvæðinu. Árið 2002 var munurinn svipaður í barri frá Fannahlíð og Fellsaxlarkoti, en hins vegar heldur minni í barri frá Stekkjarási. Þetta er vísbending um að á Stekkjarási hafi magn flúors í lofti í raun verið minna að hausti en að vori, eins og loftgæðamælingarnar árið 2002 gáfu til kynna.

<sup>9</sup> Ongstad, L. o.fl., 1994.

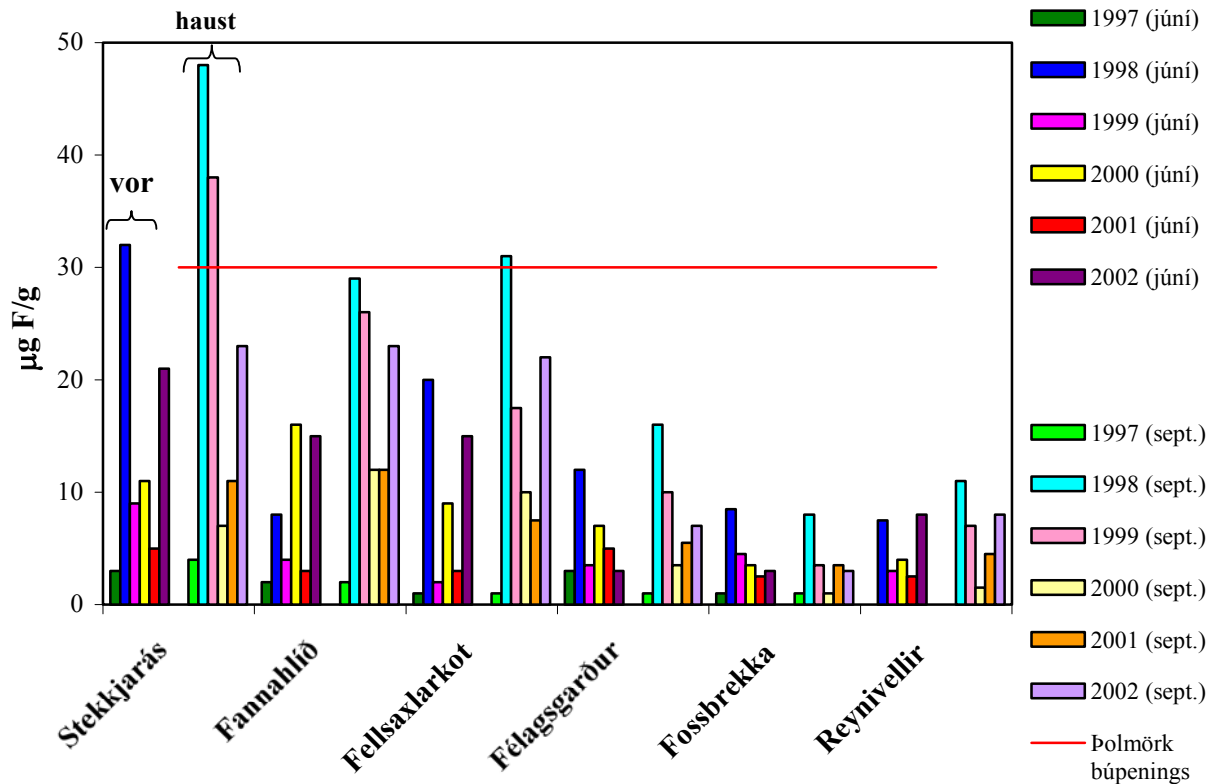
<sup>10</sup> Friðrik Pálmason, 1999.

<sup>11</sup> Hörður Þormar, 2003.

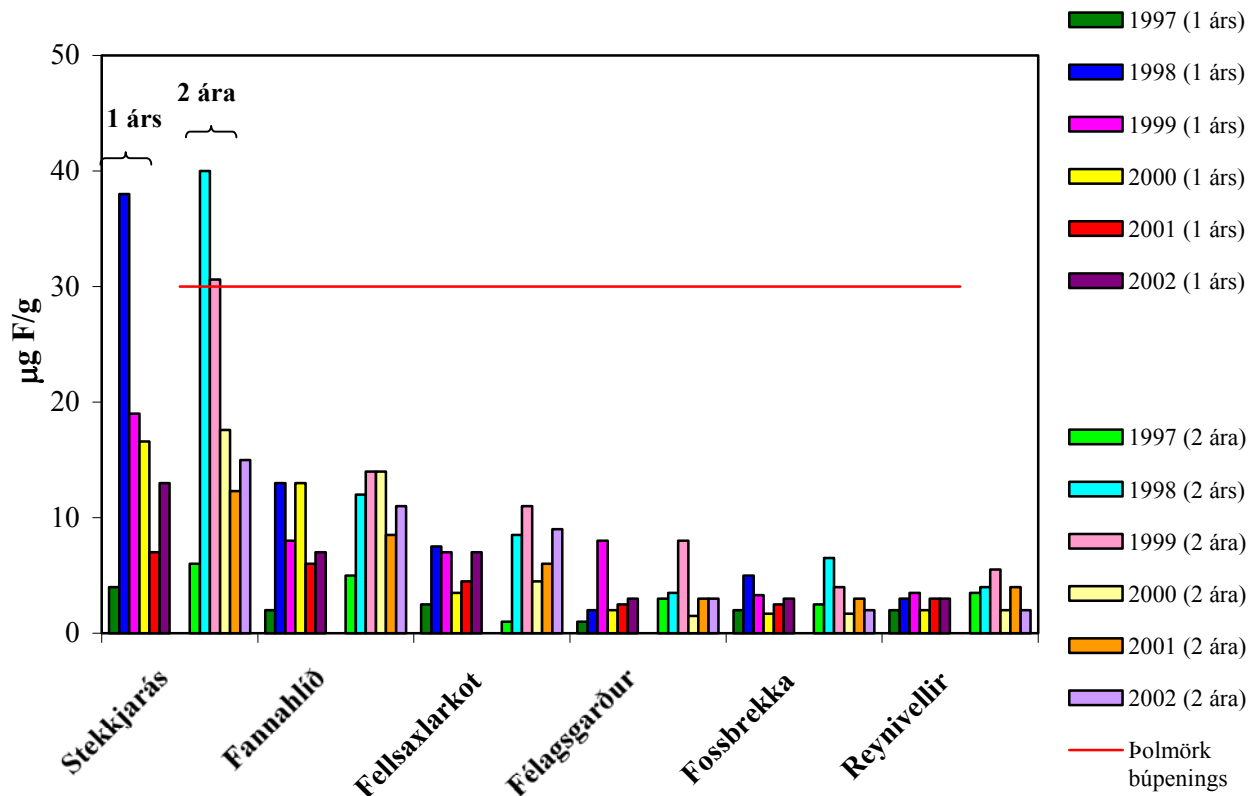
UMHVERFISVÖKTUN ÁRIÐ 2002



Mynd 4.2 Meðaltal flúors í og á grasi vor og haust árin 1997-2002.



Mynd 4.3 Meðaltal flúors í laufi af birki og reyni vor og haust 1997-2002.



Mynd 4.4 Meðaltal flúors í eins og tveggja ára barri af greni og furu árin 1997-2002.

### 4.3 HEIMILDIR

Friðrik Pálmason, 1999. *Rannsóknir á efnamagni í jarðvegi, gróðri og heyjum í nágrenni iðnaðarsvæðisins á Grundartanga*. Áfangaskýrsla 1999. Rannsóknarstofnun Landbúnaðarins, RALA-007/UM/-003.

Hörður Þormar, 2003. *Flúor í gróðri við Hvalfjörð 2002*. Bréf til Jóhönnu B. Weissshappel, Hönnun hf., 27. janúar 2002.

Ongstad, L., C. I. Stoll og T. Aasland, 1994. *The Norwegian aluminium industry and the local environment*. Project to study the effects of industrial emission from primary aluminium plants in Norway-Summary report. 96 bls.

## 5 FERSKVATN



Mynd 5.1 Vöktunarstaðir fyrir ferskvatn í Hvalfirði.

### 5.1 HELSTU NIÐURSTÖÐUR

Efna- og eðlisþættir í straumvötnum: Á mynd 5.1 eru vöktunarstaðir fyrir ferskvatn í Hvalfirði og í töflu 1.1 eru mæliþættir. Árið 2002 mældust óverulegar breytingar í styrk efna- og eðlisþátta í straumvötnum frá árinu á undan og hafa orðið litlar breytingar þar að lútandi frá árinu 1997. Styrkur flúors, brennisteins og klórs hefur aldrei farið yfir leyfilegan hámarksstyrk samkvæmt reglugerð um neysluvatn nr. 319/1995. Styrkur flúors er lítill í straumvötnum á svæðinu. Árið 2002 var styrkur þess og annarra efna, sem fyrr, hæstur og breytilegastur í Kalmansá og Urriðaá. Ástæðan er talin sú að uppspretta þeirra er fyrst og fremst yfirborðsvatn við Hólmsvatn og Eiðisvatn. Mælingarnar sýna að SO<sub>2</sub> frá iðjuverunum á Grundartanga fellur ekki sem súrt regn (brennisteinssýra) á vöktunarsvæðinu. Mikill breytileiki í styrk brennisteins í ferskvatni er talinn vera að stórum hluta vegna ákomu seltu af hafi.

## 5.2 NIÐURSTÖÐUR EINSTAKRA MÆLIÞÁTTA

### 5.2.1 LEIÐNI

Leiðnimælingar gefa vísbendingu um heildarstyrk hlaðinna efna og efnasambanda í vatnslausn. Á mynd 5.2 er leiðni straumvatna á vöktunarsvæðinu árin 2002 og 1997. Niðurstöður leiðnimælinga í ferskvatni voru mjög áþekkar þessi ár og mjög litlar breytingar mældust milli árána 2001 og 2002. Kalmansá og Urriðaá hafa sem fyrr mun hærri og breytilegri leiðni en hinar árnar, eða á bilinu 170-200  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (um 70  $\mu\text{S}/\text{cm}$  í hinum ánum)<sup>12</sup>.

### 5.2.2 SÝRUSTIG

Á mynd 5.3 er sýrustig í straumvötnum árin 2002 og 1997. Niðurstöðurnar benda til þess að um náttúrulegt sýrustig ána sé að ræða. Sýrustigið var að meðaltali það sama árið 2002 og árið á undan, lægst pH 6,78 (Laxá 11. júní) og hæst pH 8,38 (Fossá, 27. maí). Berjadalsá hafði sem fyrr jafnasta sýrustigið eða pH  $7,52 \pm 0,15$ .

Sýrustig ána er yfirleitt lægst í vorleysingum. Miðsumars kemur hámark ljóstillífunar í Eiðisvatni og Hólmavatni fram sem hækkað sýrustig í Kalmansá og Urriðaá.

Sýrustigsmælingar segja til um það hvort steintegundir í bergi og jarðvegi leysist upp í vatni. Almennt eykst styrkur uppleystra efna þegar sýrustig vatns lækkar. Ef sýrustig vatns fer niður fyrir pH 5,5 er hætta á að magn uppleystra efna, s.s. þungmálma og áls, aukist og geti verið hættulegt lífverum<sup>13</sup>. Sýrustig straumvatna á vöktunarsvæðinu hefur frá upphafi mælinga verið mun herra (mynd 5.3) eða innan marka sem sett er um sýrustig neysluvatns samkvæmt reglugerð nr. 319/1995 (pH 6,5-9,5). Sýrustig hreinnar úrkomu er um það bil pH 5,7.

### 5.2.3 BRENNISTEINN

Á mynd 5.4 er styrkur súlfats ( $\text{SO}_4$ ) í straumvötnum árin 2002 og 1997. Tíðarfar getur haft talsverð áhrif á niðurstöður efnamælinga í ferskvatni, einkum ákoma seltu af hafi.

Árið 2002 höfðu Kalmansá og Urriðaá sem fyrr herra meðaltal brennisteins, 2,2 mg/L (súlfat: 6,6 mg/L), en hinar árnar, 0,49-0,65 mg/L (súlfat: 1,47-1,95 mg/L).

Hæsta mæligildi súlfats árið 2002 (Urriðaá 4. nóv.: 14,58 mg/L) er langt innan viðmiðunarmarka fyrir leyfilegan hámarksstyrk, 200 mg/L, samkvæmt reglugerð um neysluvatn. Einnig sýna niðurstöðurnar að  $\text{SO}_2$  frá iðnaðarsvæðinu fellur ekki sem súrt regn á vöktunarsvæðinu.

<sup>12</sup> Hermann Þórðarson og Hörður Þormar, 2003.

<sup>13</sup> Sigurður R. Gíslason ofl. 1998, 1999.

#### 5.2.4 FLÚOR

Á mynd 5.5 er styrkur flúors í straumvötnum árin 2002 og 1997. Frá upphafi mælinga hafa engar marktækar breytingar komið fram á styrk flúors. Meðaltal flúors í ánum var þó að jafnaði lítillega hærra árið 2002 en 1997. Mestur styrkur flúors árið 2002 mældist sem fyrr í Kalmansá og Urriðaá, eða á bilinu 78-81 µg/L, en 40-45 µg/L í hinum ánum. Kalmansá og Urriðaá höfðu einnig hæstan styrk flúors fyrir tíma Norðuráls sem skýrist af uppruna Hólmavatns og Eiðisvatns í mýrlendi. Samkvæmt reglugerð nr. 319/1995 á styrkur flúors í neysluvatni að vera innan við 1,5 mg/L við 8-12°C.

#### 5.2.5 KLÓR

Á mynd 5.6 er styrkur klórs í straumvötnum árin 2002 og 1997. Klórmagn er alls staðar langt innan viðmiðunargilda fyrir neysluvatn (200 mg/l). Eins og fyrr skera Kalmansá og Urriðaá sig úr með hærra meðaltal klórstyrks en hinar árnar, eða 24-40 mg/L (6-9 mg/L í hinum ánum). Meðaltal klórs í Kalmansá og Urriðaá var hærra árið 2002 en árið á undan og er ástæðan talin vera náttúrulegar sveiflur<sup>14</sup>. Magn klórs í ám og vötnum endurspeglar fyrst og fremst hve mikið af sjó ýrist upp í Hvalfirði. Mælingar á klór sýna því að uppruni brennisteins í úrkomu og straumvatni sé úr sjó.

### 5.3 HEIMILDIR

Hermann Þórðarson og Hörður Þormar, 2003. *Umhverfissvöktun í Hvalfirði, ferskvatnsmælingar*. Iðntæknistofnun, 6EM2132.

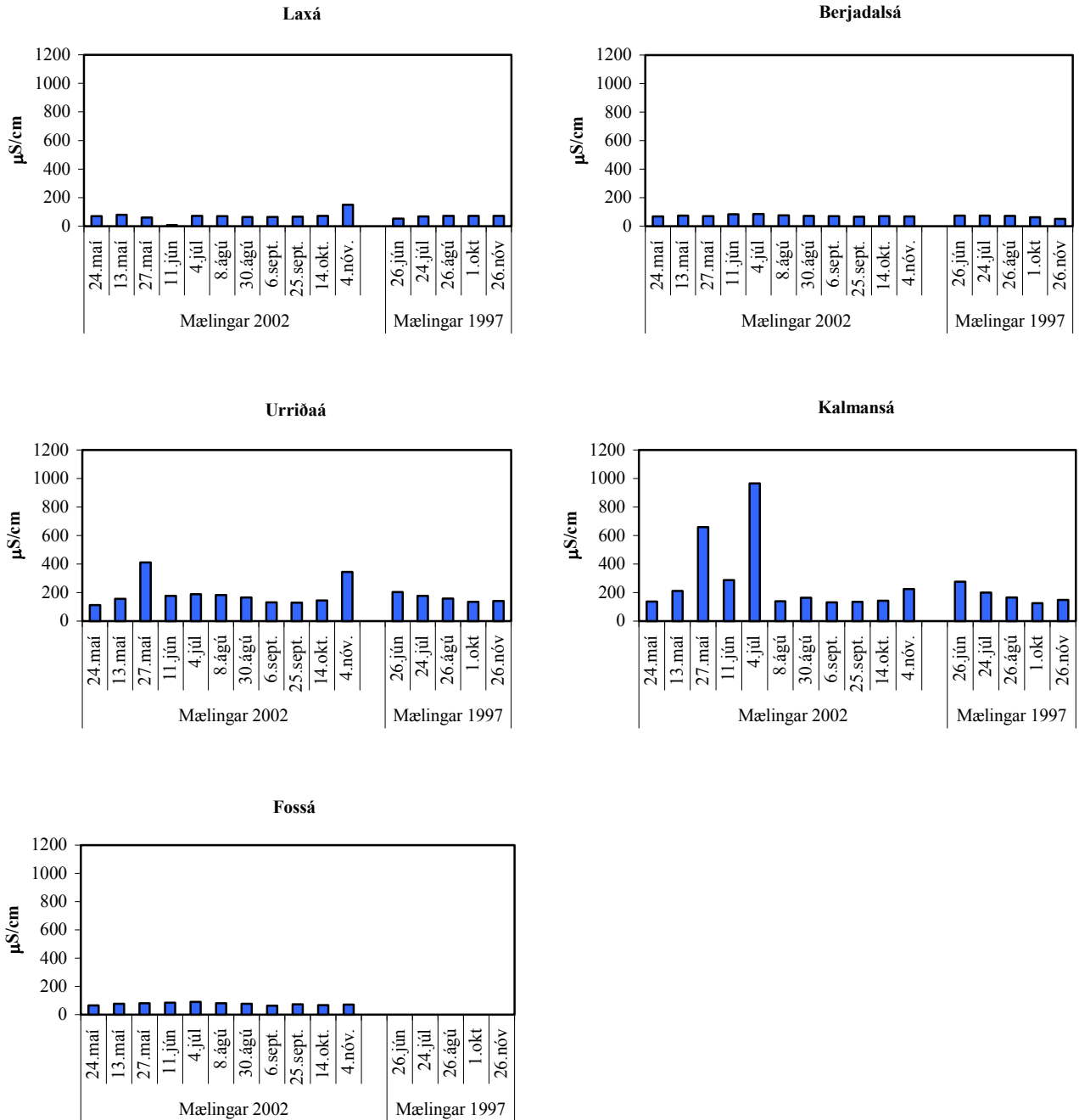
Sigurður R. Gíslason, Andri Stefánsson og Matthildur Bára Stefánsdóttir, 1998. *Vatnarannsóknir í nágrenni iðnaðarsvæðisins á Grundartanga og í Kjós*. Lokaskýrsla 15. júlí 1998.

Sigurður R. Gíslason, Eydís Salome Eiríksdóttir, Matthildur Bára Stefánsdóttir og Andri Stefánsson, 1999. *Vatnarannsóknir í nágrenni iðnaðarsvæðisins á Grundartanga og í Kjós*. Lokaskýrsla 15. júlí 1999.

---

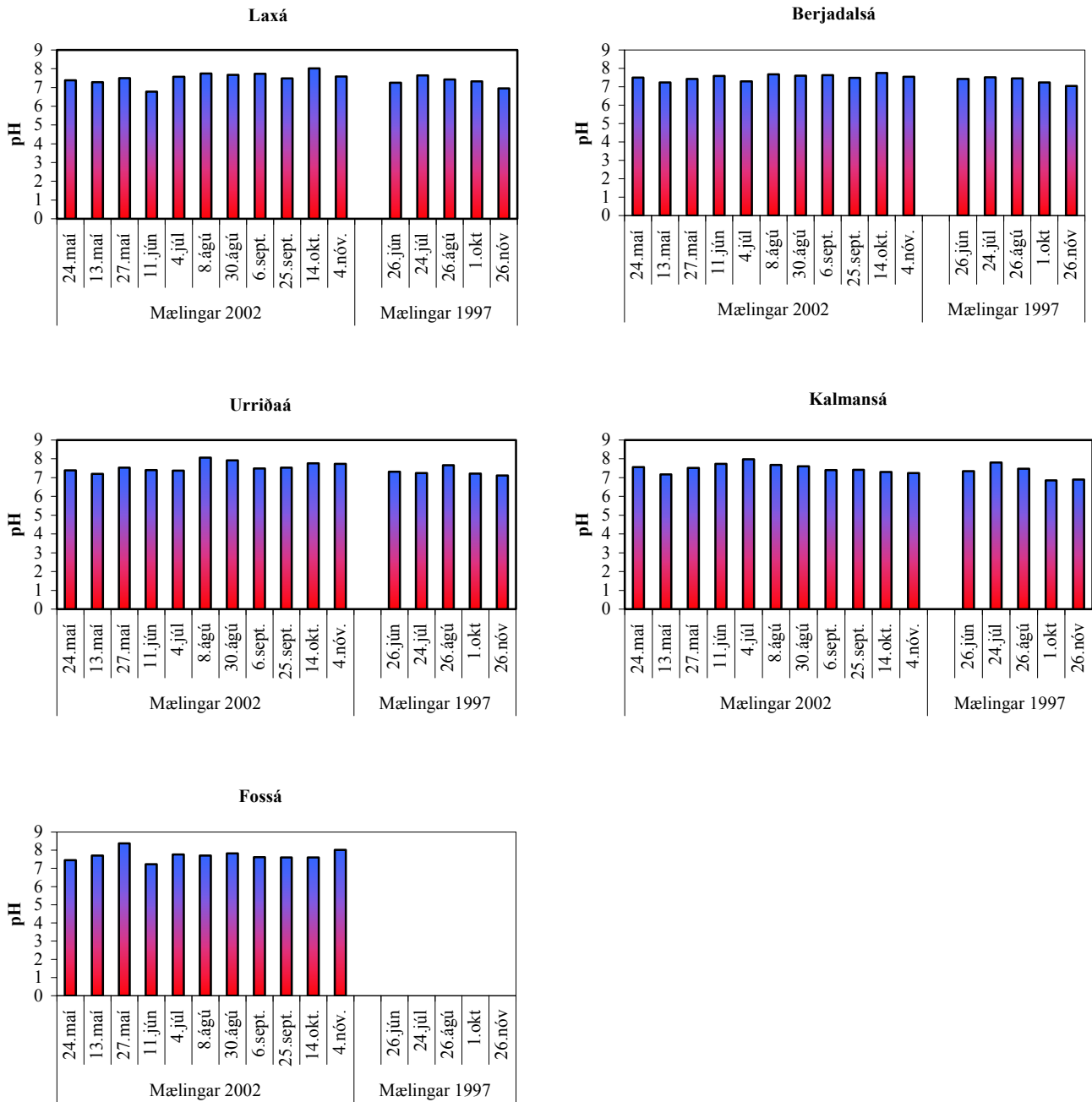
<sup>14</sup> Hermann Þórðarson og Hörður Þormar, 2003.

UMHVERFISVÖKTUN ÁRIÐ 2002



**Mynd 5.2** Niðurstöður leiðnimælinga í straumvötnum árin 2002 og 1997. Vöktunartímabilið var ekki það sama bæði árin, auk þess sem leiðnimælingar fóru ekki fram í Fossá árið 1997.

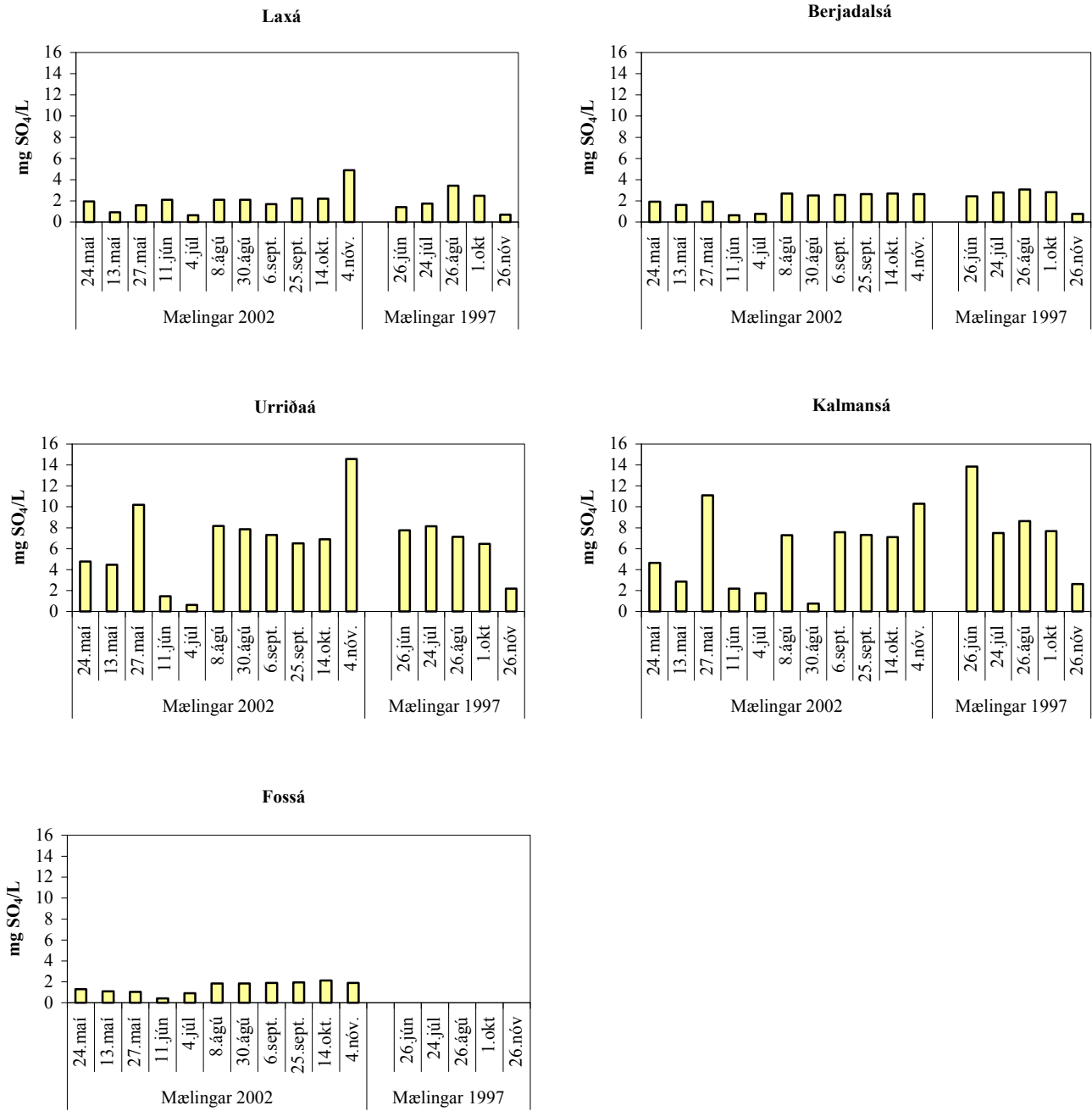
UMHVERFISVÖKTUN ÁRIÐ 2002



**Mynd 5.3** Niðurstöður mælinga á sýrustigi í straumvötnum árin 2002 og 1997. Vöktunartímabilið var ekki það sama bæði árin, auk þess sem sýrustigsmælingar fóru ekki fram í Fossá árið 1997.

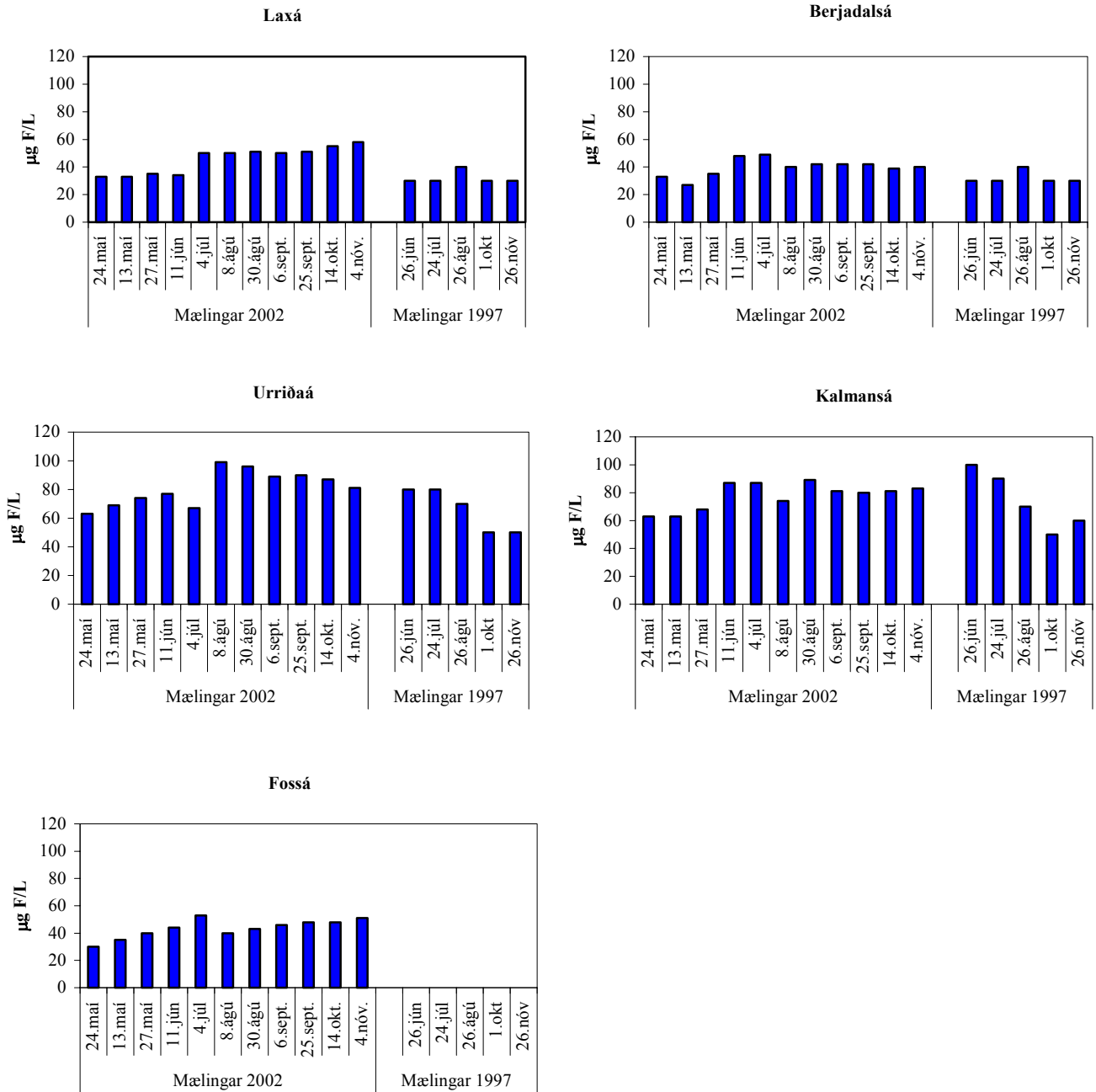


UMHVERFISVÖKTUN ÁRIÐ 2002



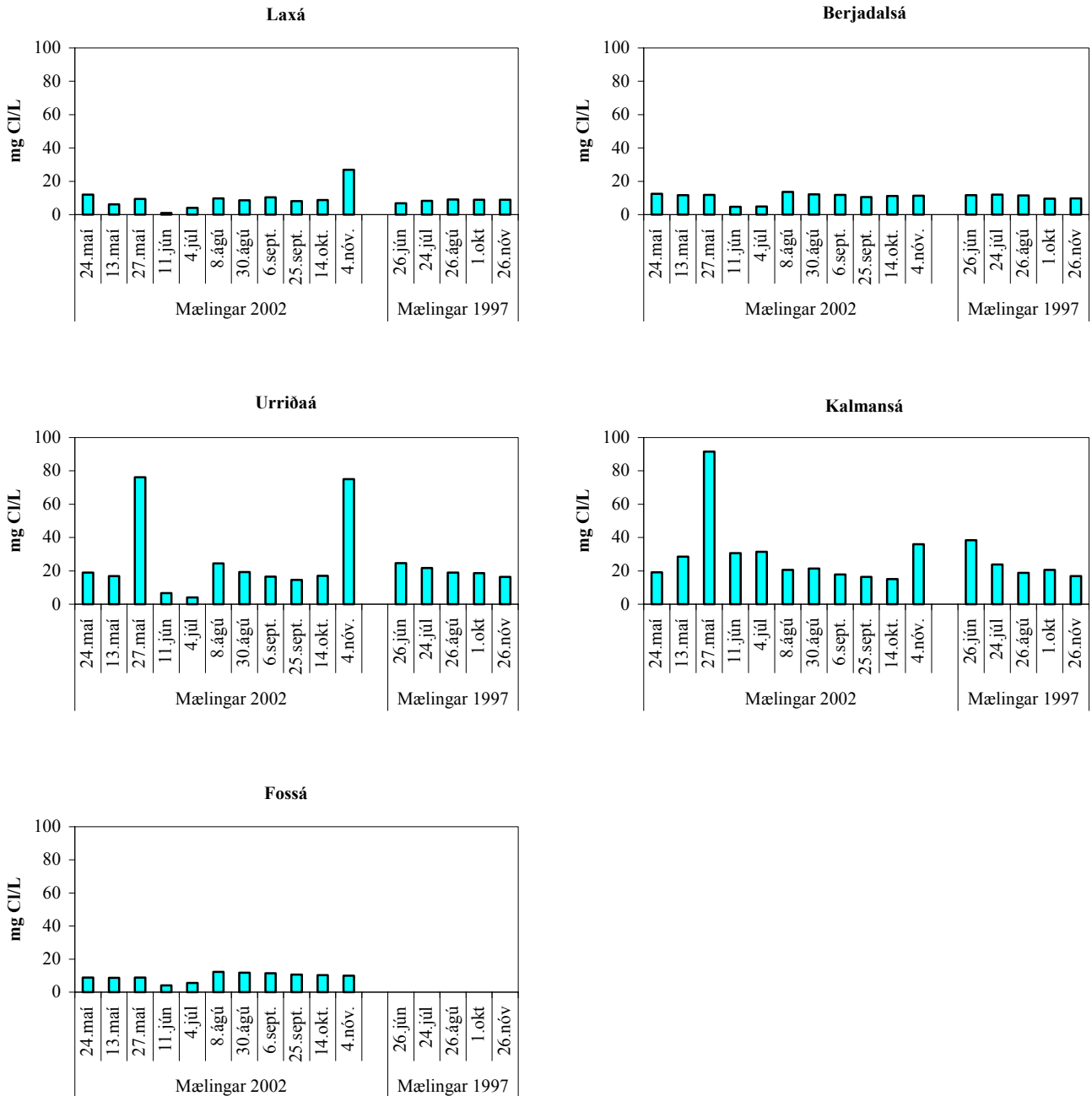
**Mynd 5.4** Niðurstöður mælinga á sulfati í straumvötnum árin 2002 og 1997. Vöktunartímabilið var ekki það sama bæði árin, auk þess sem sulfatmælingar fóru ekki fram í Fossá árið 1997.

UMHVERFISVÖKTUN ÁRÍÐ 2002



**Mynd 5.5** Niðurstöður mælinga á flúor í straumvötnum árin 2002 og 1997. Vöktunartímabilið var ekki það sama bæði árin, auk þess sem flúormælingar fóru ekki fram í Fossá árið 1997.

UMHVERFISVÖKTUN ÁRÍÐ 2002



**Mynd 5.6** Niðurstöður mælinga á klórstyrk í straumvötnum árin 2002 og 1997. Vöktunartímabilið var ekki það sama bæði árin, auk þess sem klórmælingar fóru ekki fram í Fossá árið 1997.

## 6 BÚFÉ



Mynd 6.1 Vöktunarstaðir fyrir búfé í Hvalfirði.

### 6.1 HELSTU NIÐURSTÖÐUR

Á mynd 6.1 eru vöktunarstaðir fyrir sauðfé í Hvalfirði. Árið 2002 gaf vöktun á sauðfé ekki til kynna flúorskemmdir á tönnum og kjálkum. Um vorið sáust grunsamlegar breytingar sáust á tönnum ungra lifandi dýra á Skipanesi og Katanesi að vori, en um haustið voru þær ekki sjáanlegar. Styrkur flúors í höfuðbeinum var hærri en árin á undan í lömbum frá bæjum vestan og suðvestan við iðnaðarsvæðið (Litlu Fellsöxl og Kirkjubóli) og í fullvaxta fé frá Skipanesi. Styrkur flúors í fé frá bæjunum var þó yfirleitt innan skaðsemismarka fyrir búfé.

## 6.2 SAUÐFÉ

### 6.2.1 ÁSTAND TANNA OG MAGN FLÚORS

Haustið 2002 gekk illa að fá hausa af sláturfé frá vöktunarbæjunum, eins og árið á undan. Eingöngu fengust hausar af lömbum frá fimm bæjum og af fullvaxta fé frá fjórum bæjum (sjá á myndum 6.2 og 6.3). Dýralæknir á Keldum fór í vettvangsferð vor og haust 2002 til að skoða ástand tanna í lifandi fé á átta vöktunarbæjum (Katanesi, Kirkjubóli, Litlu-Fellsöxl, Skipanesi, Skorholti, Grjóteyri, Felli og Þaravöllum). Lögð var áhersla á að skoða sem flest fé á bæjunum (á bilinu 12–60), og áhersla lögð á 2ja og 3ja ára gamalt fé. Einnig voru tekin heysýni til flúormælinga úr rúlluböggum á Katanesi og Klafastöðum (hey geymt á Þaravöllum).

Ekki sáust merki um áreiti af völdum flúors í sláturfé haustið 2002. Í vettvangsskoðun vorið 2002 sáust þó grunsamlegar breytingar í 1-3ja vetra fé frá Skipanesi og Katanesi. Um haustið var þetta sama fé skoðað aftur, ásamt öðru ungu fé, og sáust þá breytingarnar ekki lengur<sup>15</sup>. Styrkur flúors í heysýnum frá Katanesi og Klafastöðum<sup>16</sup> mældist vel innan bakgrunnsgildis fyrir gróður, 10 µg/g. Á Katanesi og Skipanesi mældust lægri flúorgildi í lömbum haustið 2002 en áður, en í fullvaxta fé frá Skipanesi mældust hins vegar hærri gildi en haustið 2001 (ekki fengust hausar af fullvaxta fé frá Katanesi árið 2002). Í höfuðbeinum lamba frá bæjum vestan og suðvestan við iðnaðarsvæðið, Litlu Fellsöxl og Kirkjubóli, mældust mun hærri flúorgildi haustið 2002 en áður eða um tvöfalt hærri. Styrkur flúors í fullvaxta fé var nokkuð hærri haustið 2002 en haustið 2000 þegar síðast var mælt í hausum frá þeim bæ, en svipaður í fullvaxta fé frá Kirkjubóli haustin 2002 og 2001.

Niðurstöður flúormælinga í beinum<sup>17</sup> eru á myndum 6.2 (lömb) og 6.3 (fullvaxta fé) og til samanburðar mælingar frá 1997, 1999, 2000 og 2001.

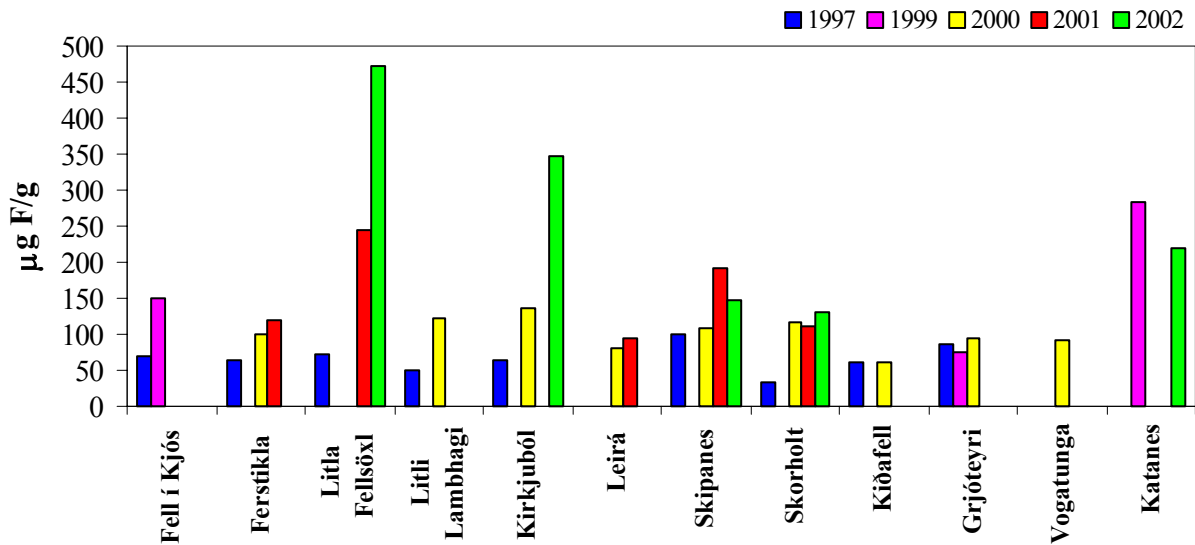
---

<sup>15</sup> Sigurður Sigurðarson, 2003.

<sup>16</sup> Hörður Þormar, 2002.

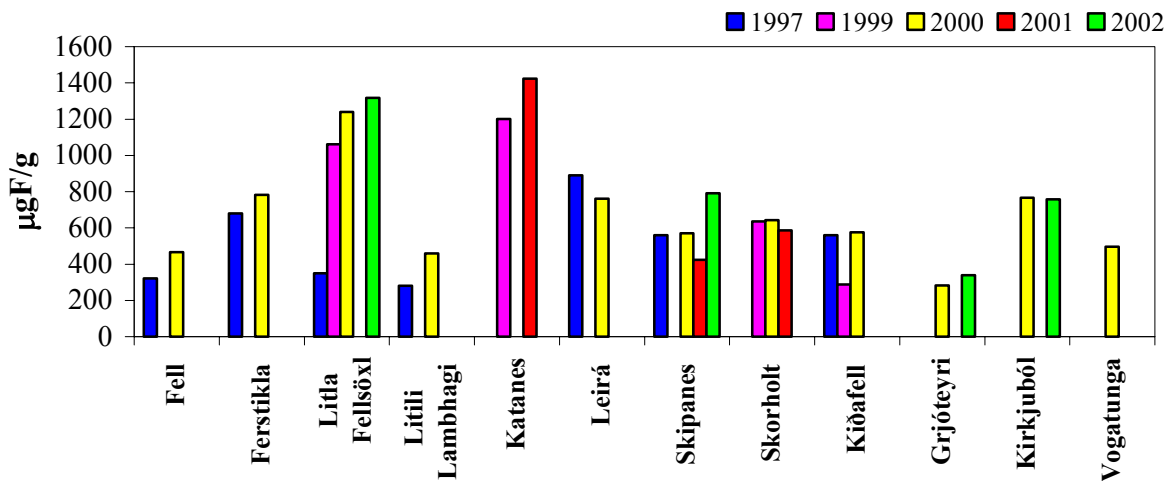
<sup>17</sup> Hörður Þormar, 2003.

UMHVERFISVÖKTUN ÁRIÐ 2002



Mynd 6.2 Flúor í höfuðbeinum lamba árin 1997 og 1999-2002 (meðaltalsgildi).

Haustið 2002 mældist hæsta gildi flúors í lömbum frá Litlu Fellsöxl (494 µg/g), sem er tæplega tvöföld aukning frá haustinu á undan og rúmlega sexföld aukning frá árinu 1997. Í lömbum frá Kirkjubóli mældist einnig um tvöfalt herra flúorgildi en árið 2000 þegar síðast var mælt þaðan, andstætt því sem mældist í fullvaxta fé (sjá síðar).



Mynd 6.3 Flúor í höfuðbeinum fullvaxta fjár árin 1997 og 1999-2002 (meðaltalsgildi).

Styrkur flúors í fullvaxta fé hefur hækkað nokkuð eftir að rekstur Norðuráls hófst, einkum norðan Hvalfjarðar, en er þó yfirleitt minni eða svipaður og á lítt menguðum svæðum hér á landi<sup>18</sup>.

<sup>18</sup> Páll A. Pálsson, 1999.

Haustið 2002 mældist í beinum fullvaxta fjár hæsta flúorgildið í fé frá Litlu Fellsöxl eða 1378 µg/g (meðaltal 1317 µg/g), en árið á undan í fé frá Katanesi (1570 µg/g) þar sem ekki var mælt í fullvaxta fé haustið 2002. Styrkur flúors sem mældist á Litlu Fellsöxl er nokkru lægra en hæsta bakgrunnsgildi frá Borgarfirði árið 1976 (1490 µg/g).

Tafla 6.1 Þolmörk grasbíta gagnvart flúor í fæðu.

Dýrategund	Þolmörk flúors í fæðu [µg/g í þurrefni]
Kálfar	40
Mjólkurkýr	≤30
Sauðfé og geitur	30-50

Ef borin eru saman þolmörk grasbíta gagnvart flúor í fæðu (tafla 6.1<sup>19</sup>) og niðurstöður flúormælinga í gróðri (kafla 4) er ljóst að flúormagn í grasi hefur ekki farið yfir 30 µg/g þolmörkin innan vöktunarsvæðis fyrir gróður frá því mælingar hófust, né í heyi frá hausti 2001 af bæjum næst iðnaðarsvæðinu (Katanesi og Klafastöðum).

Tafla 6.2 Áhrif uppsafnaðs flúors í beinum ungra dádýra (1,5 ára).

Uppsafnað flúor [µg/g]	Áhrif
<1000	Engin
1000-2000	Hætta á tannskemmdum.
>2000	Veldur tannskemmdum (þriðja stigs eða hærra).

Búast má við að áhrif flúors á sauðfé og dádýr séu áþekkt (sjá áhrif uppsafnaðs flúors í beinum ungra dádýra í töflu 6.2<sup>20</sup>). Haustið 2002 mældust öll flúorgildi í beinum sauðfjár frá sex bæjum í Hvalfirði undir 2000 µg/g. Í fullvaxta fé frá Litlu Fellsöxl mældist þó styrkur flúors sem hugsanlega gæti valdið tannskemmdum.

Frá því fyrir tíma álvers Norðuráls hefur orðið töluverð aukning á styrk flúors í höfuðbeinum fullvaxta fjár og lamba frá þessum bæ, auk þess sem styrkurinn hefur aukist nokkuð frá því að álverið var gangsett (sjá á mynd 6.2). Þar var meðaltal flúors í fullvaxta fé 350 µg/g árið 1997 samanborið við 1317 µg/g haustið 2002. Litla Fellsöxl er staðsett vestan við iðnaðarsvæðið og er augljóst af niðurstöðum flúormælinganna að hin ríkjandi austanátt ber þangað flúorríkan útblástur frá álverinu.

## 6.3 HEIMILDIR

Hörður Þormar, 2002. *Mælingar á flúor í óhreinsuðum heysýnum úr rúlluböggum*. Tölvupóstur til Jóhönnu B. Weissshappel, Hönnun hf., 12. júní 2002.

Hörður Þormar, 2003. *Flúor í kindabeinum*. Tölvupóstur til Jóhönnu B. Weissshappel, Hönnun hf., 12. febrúar 2002.

Ongstad, L., C. I. Stoll og T. Aasland, 1994. *The Norwegian aluminium industry and the local environment*. Project to study the effects of industrial emission from primary aluminium plants in Norway-Summary report, 96 bls.

Páll A. Pálsson, 1999. *Athugun á beinum og tönnum úr sauðfé og mælingar á flúor í beinösku*. Fax sent til Elísabetar Pálmadóttur, Hönnun hf., 8. febrúar 1999.

Sigurður Sigurðarson, 2003. *Athugun á beinum og tönnum úr sauðfé vegna álvers á Grundartanga*. Bréf til Jóhönnu B. Weissshappel, Hönnun hf., 11. mars 2003.

<sup>19</sup> Ongstad, L. o.fl., 1994.

<sup>20</sup> Ongstad, L. o.fl., 1994.