

ÍÐNAÐARSVÆÐIÐ Á GRUNDARTANGA OG UMHVERFI ÞESS

**NIÐURSTÖÐUR UMHVERFISVÖKTUNAR
ÁRIÐ 2004**

LOKASKÝRSLA



APRIL 2005

1 HÖNNUN

SAMANTEKT

MEGIN NIÐURSTÖÐUR UMHVERFISVÖKTUNAR ÁRIÐ 2004:

Allir umhverfisþættir undir viðmiðunarmörkum í starfsleyfi utan þynningarsvæðis.

Rekstur þurrhreinsivirkis Norðuráls endurspeglast í lofti, gróðri og sauðfé.

ANDRÚMSLOFT

Loftgæðamælingar fóru fram á Stekkjarási árið 2004. Ársmeðaltal og mánaðarmeðaltöl flúors voru hærri en árið 2003 sem endurspeglar rekstur þurrhreinsivirkis Norðuráls sem var ekki eins góður það ár. Ársmeðaltal heildarflúors var þó það sama og meðaltal síðustu fimm ára á mælistöðinni og ársmeðaltal gaskennds flúors (HF) lægra en meðaltal þeirra ára. Styrkur HF var vel undir viðmiðunarmörkum fyrir vaxtartíma gróðurs ($0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ utan þynningarsvæðis).

Ársmeðaltal SO_2 var lægra en árið á undan. Meðaltal gaskennds brennisteins var svipað og verið hefur frá árinu 2000 sem gefur til kynna að styrkur þess sé stöðugur á milli ára og er hann vel undir viðmiðunarmörkum fyrir ársmeðaltal ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ utan þynningarsvæðis).

Ársmeðaltal svifryks var í hærra lagi sem líklega má rekja til framkvæmda hjá Norðuráli, en þó vel undir viðmiðunarmörkum fyrir ársmeðaltal ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ utan þynningarsvæðis).

Mæligildi í úrkomu hafa frá upphafi vöktunar verið sveiflukennd og er mögulegt að flugur og frjókorn hafi áhrif á mælingar. Ársmeðaltal flúoríðs í úrkomu var í lægra lagi en brennisteins með hæsta móti. Sýrustig úrkomu var það lægsta sem mælst hefur frá upphafi á Stekkjarási. Lítil fylgni var milli meðaltala í úrkomu og lofti.

GRÓÐUR

Í laufsýnum frá Stekkjarási og Fellsaxlarkoti sjást áhrif iðnrekstrarins mest þar sem styrkur flúors var hærri haustið 2004 en 2003 eða svipaður og haustið 2002. Mælingarnar endurspeglar niðurstöður loftgæðamælingar á Stekkjarási og sveiflur í útblæstri flúors frá Norðuráli. Styrkur flúors í grasi á vöktunarstöðvum var nokkuð svipaður og árið 2002. Hann var innan við $10 \mu\text{g}/\text{g}$ og því vel undir skaðsemismörkum fyrir grasbíta ($20\text{--}30 \mu\text{g}/\text{g}$).

FERSKVATN

Litlar breytingar hafa sést á efnaþáttum og sýrustigi í ám frá upphafi vöktunar. Styrkur flúoríðs hefur þó farið lækkandi frá árinu 2000. Styrkur brennisteins í bergvatnsánum hefur verið allstöðugur í gegnum árin, en mun breytilegri og tilviljunarkenndari í Kalmansá og Urriðaa (að stórum hluta rakinn til áhrifa frá sjó). Vöktunin sýnir að SO_2 frá iðjuverunum á Grundartanga fellur ekki sem súrt regn á vöktunarsvæðinu.

SAUÐFÉ

Í lömbum frá bæjunum norðan fjarðar mældist hærri styrkur flúors en haustið 2003, en lægra en haustið 2002. Þetta sýnir að lömbin endurspeglar fljótt og vel styrk flúors í umhverfinu. Styrkur flúors í tönnum og kjálkabeinum var innan skaðsemismarka, en í

kindum frá Gröf II og Litlu Fellsöxl mældist styrkur flúors yfir þeim mörkum þar sem hætta er á tannskemmdum ($> 1000 \mu\text{g/g}$). Þrátt fyrir það sást ekki nein ummerki um áreiti eða skemmdir af völdum flúors á tönnum og kjálkum.

KRÆKLINGAR

Almennt má fullyrða að um lítill áhrif iðjuveranna á Grundartanga sé að ræða með tilliti til uppsöfnunar mengunarefna í sjávarlífverum í nágrenninu.

Á tveimur stöðvum, á 5 m dýpi, mældist þó uppsöfnun Benzo(a)pyrens í mjúkvef kræklinga. Talið er að hluti efnasambandsins komi úr flæðigryfjum við Grundartangahöfn. Styrkurinn reyndist þó lítill og vel undir þeim viðmiðunarmörkum sem sett hafa verið fyrir styrk aðskotaefna í kræklingi til manneldis í löndum ESB og Noregi. Kræklingurinn telst því neysluhæfur.

EFNISYFIRLIT

1	INNGANGUR.....	3
2	SKILGREININGAR OG ORÐSKÝRINGAR.....	4
3	ANDRÚMSLOFT	5
3.1	HELSTU NIÐURSTÖÐUR	5
3.2	NIÐURSTÖÐUR EINSTAKRA MÆLIÞÁTTA.....	6
3.2.1	FLÚOR (F) Í LOFTI OG RYKI	6
3.2.2	BRENNISTEINSTVÍOXÍÐ (SO ₂) Í LOFTI OG RYKI	9
3.2.3	SVIFRYK (PM ₁₀)	11
3.2.4	EFNAINNIHALD Í ÚRKOMU.....	13
4	GRÓÐUR	15
4.1	HELSTU NIÐURSTÖÐUR	15
4.2	FLÚOR Í GRÓÐRI	16
5	FERSKVATN.....	20
5.1	HELSTU NIÐURSTÖÐUR	20
5.2	NIÐURSTÖÐUR EINSTAKRA MÆLIÞÁTTA.....	21
5.2.1	LEIÐNI	21
5.2.2	SÝRUSTIG	21
5.2.3	BRENNISTEINN	21
5.2.4	FLÚORÍÐ	21
5.2.5	KLÓRÍÐ.....	22
6	SAUÐFÉ.....	28
6.1	HELSTU NIÐURSTÖÐUR	28
6.2	ÁSTAND TANNA OG STYRKUR FLÚORS	29
7	SJÁVARLÍFVERUR	33
7.1	HELSTU NIÐURSTÖÐUR	33
7.2	INNGANGUR, MARKMIÐ OG AÐFERÐIR	34
7.3	NIÐURSTÖÐUR MÆLIÞÁTTA OG ÁLYKTANIR	35
7.3.1	DÁNARTÍÐNI.....	36
7.3.2	ÓLÍFRÆN SNEFILEFNI	36
7.3.3	PAH SAMBÖND.....	36
7.4	ÁLYKTANIR	37
8	HEIMILDIR	38

1 INNGANGUR

Norðurál og Íslenska járnblendifélagið hafa frá árinu 1999 staðið að umhverfissvöktun í Hvalfirði. Umhverfisstofnun samþykkti og hefur eftirlit með vöktunaráætlun iðjuveranna (gildir til 10 ára, 1999-2009). Ýmsar umhverfisrannsóknir fóru fram fyrir tíma járnblendiverksmiðjunnar árin 1975-1978 og álversins frá júní 1997 til júní 1999. Sameiginleg vöktunaráætlun tók þá við.

Í skýrslu þessari eru teknar saman helstu niðurstöður umhverfissvöktunar árið 2004 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.

Tafla 1.1 Yfirlit yfir umhverfissvöktun í Hvalfirði árið 2004.

	Loftgæði	Gróður	Árvatn	Sauðfé	Kræklingar
Mælipættir	Andrúmsloft: • Svifryk • SO ₂ í lofti og ryki. • Flúor í lofti og ryki. Úrkoma: • Sýrustig • Flúoríð • Klóríð • Súlfat • Natríum • Nitur	Flúor í grasi, laufi og barri.	• Sýrustig • Leiðni • Flúoríð • Súlfat • Klóríð	• Ástand tanna og beina. • Flúor í beinum.	Dánartíðni, vöxtur og holdafar. Í mjúkvef: • Þurrefni, aska, salt, fita. • 23 PAH sambönd*. • 8 þungmálmar (kopar, sink, króm, nikkell, kvikasilfur, blý, vanadíum, kadmíum). • 5 snefilefni (arsen, ál, járn, selen, flúor).
Vöktunarstöðvar	Stekkjarás	• Stekkjarás • Fannahlið • Fellsaxlarkot • Félagsgarður • Fossbrekka • Reynivellir	• Laxá • Urriðaa • Kalmansá • Fossá • Berjadalsá	• Eystri Leirárgarðar • Fell • Grjóteyri • Gröf II • Hrafnabjörg • Katanes • Kiðafell • Kirkjuból • Litla Fellsöxl • Skipanes • Skorholt • Vogatunga • Þaravellir	• Fjórar stöðvar utan við Grundartanga. • Tvær stöðvar utan við Katanes. • Viðmiðunarstaður austan við Katanes.
Rannsóknaraðilar	Iðntæknist. sá um sýnasöfnun og mælingar.	Umhverfisst., Skógræktin, Norðurál og Iðntæknist. sáu um sýnatöku. Iðntæknist. sá um mælingar.	Iðntæknist. sá um sýnatöku og mælingar.	Tilraunastöð HÍ í meinafræðum á Keldum sá um skoðun tanna og kjálkabeina. Iðntæknist. sá um mælingar.	Hönnun hf. og Rannsóknastofa í sjávarlíffræði HÍ sáu um ræktun kræklinga í búrum. Rannsóknastöðin í Sandgerði sá um mat á dánartíðni, vexti og holdafari. Mælingar á þurrefni, ösku, salti og fitu, og efnamælingar voru í umsjón Rannsóknast. fiskiðnaðarins.

*PAH sambönd: Fjölhringja arómatísk kolvetnissambönd (*polycyclic aromatic hydrocarbons*).

2 SKILGREININGAR OG ORÐSKÝRINGAR

Bakgrunnsgildi	Styrkur jóna/efnasambanda sem talinn er sýna náttúrulegan styrk.
Svifryk (PM₁₀)	Agnir undir 10 µm að stærð.
Viðmiðunarmörk/ skaðsemismörk	Mörk sem yfirvöld mengunarvarna setja sem hámark á magni tiltekins efnis fyrir gróður, dýr eða fólk.
Þynningarsvæði	Svæði þar sem þynning mengunar á sér stað og eftirlitsaðilar samþykkja að mengun megi vera yfir viðmiðunarmörkum.
µm	Míkrómetri, einn milljónasti (10 ⁻⁶) úr m.
µg/m³	Styrkur efnis af heildarrúmmáli lofts.
µS/cm	Leiðni vatns á hvern cm.
mg/m²	Ákoma efna í úrkomu á flatareiningu.
µg/l	Styrkur efnis á lítra.
mg/l	Styrkur efnis á lítra.
µg/g	Styrkur efnis á þyngdareiningu.

3 ANDRÚMSLOFT



Mynd 3.1 Staðsetning vöktunarstöðva fyrir loftgæði í Hvalfirði.

3.1 HELSTU NIÐURSTÖÐUR

Uppspretta og dreifing efna: Árið 2004 voru ríkjandi vindáttir á Grundartanga svipaðar og árið á undan með austanáttir helming tímans og suðvestlægar áttir um fimmting tímans. Suðvestlægar áttir voru ríkjandi í júlí og ágúst. Veðurfar var fremur gott þetta ár og hiti hærri en venjulega. Úrkoma var allnokkur í apríl og maí en nálægt meðallagi um sumarið. September var úrkomusamur og október umhleypingasamari en undanfarin ár. Austanáttir dreifa útblæstri frá iðnaðarsvæðinu út á sjó en suðsuðvestanátt inn með strönd Hvalfjarðar.

Flúor (F) og brennisteinstvíoxíð (SO_2): Á mynd 3.1 má sjá staðsetningu vöktunarstöðva fyrir loftgæði í Hvalfirði. Árið 2004 voru loftgæði vöktuð á Stekkjarási. Meginupspretta flúors og SO_2 er á iðnaðarsvæðinu. Ársmeðaltal og mánaðarmeðaltöl flúors voru hærri en árið 2003 sem endurspeglar rekstur þurrhreinisvirkis Norðuráls sem var ekki eins góður og það ár. Ársmeðaltal heildarflúors (gaskenndur og í ryki) var þó það sama og meðaltal síðustu fimm ára á mælistöðinni og ársmeðaltal gaskennds flúors

(HF) lægra en meðaltal þeirra ára. Styrkur HF var vel undir viðmiðunarmörkum fyrir vaxtartíma gróðurs ($0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ utan þynningarsvæðis).

Ársmeðaltal SO_2 var lægra en árið 2003. Meðaltal gaskennds brennisteins var svipað og verið hefur frá árinu 2000 sem gefur til kynna að styrkur þess á Stekkjarási sé stöðugur á milli ára og vel undir viðmiðunarmörkum fyrir ársmeðaltal ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ utan þynningarsvæðis).

Svifryk: Ársmeðaltal svifryks var í hærra lagi. Nokkur breytileiki var í mánaðarmeðaltölum og voru þau hærri seinni hluta mælitímabilsins en þann fyrri sem líklega má rekja til framkvæmda hjá Norðuráli. Megin hluti svifryks er þó talinn eiga uppruna sinn utan iðnaðarsvæðisins eins og áður. Magn svifryks var vel undir viðmiðunarmörkum fyrir ársmeðaltal ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ utan þynningarsvæðis).

Úrkoma: Mæligildi í úrkomu hafa frá upphafi vöktunar verið sveiflukennd og er mögulegt að flugur og frjókorn hafi áhrif á mælingar. Ársmeðaltal flúoríðs í úrkomu var í lægra lagi en meðaltal brennisteins með hæsta móti. Sýrustig úrkomu var það lægsta sem mælst hefur frá upphafi á Stekkjarási. Lítil fylgni var milli meðaltala í úrkomu og lofti.

3.2 NIÐURSTÖÐUR EINSTAKRA MÆLIÞÁTTA

3.2.1 FLÚOR (F) Í LOFTI OG RYKI

Í **töflum 3.1** og **3.2** má sjá ársmeðaltöl HF og heildarflúors á vöktunarstöðvum fyrir loftgæði frá árinu 1997¹.

Ársmeðaltal flúors á Stekkjarási árið 2004 var hærra en árið á undan en lægra en árið 2002 (**myndir 3.2** og **3.3**). Ársmeðaltal heildarflúors árið 2004 var þó það sama og meðaltal síðustu fimm ára á mælistöðinni eða $0,05 \mu\text{g}/\text{m}^3$ og var ársmeðaltal HF ($0,02 \mu\text{g}/\text{m}^3$) lægra en meðaltal þeirra ára ($0,03 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Styrkur HF var á Stekkjarási vel undir viðmiðunarmörkum fyrir vaxtartíma gróðurs ($0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ utan þynningarsvæðis) allan mælitímann eins og verið hefur frá upphafi vöktunar.

Aukningin á losun flúors frá Norðuráli milli áranna 2003 og 2004 endurspeglast í loftgæðamælingum á Stekkjarási. Mánaðarmeðaltöl heildarflúors voru hærri alla mælimánuðina árið 2004 en árið á undan (**mynd 3.4**). Rekstur þurrhreinsivirkis Norðuráls var ekki eins góður og árið 2003, auk þess sem að stöðva þurfti það í rúmar 6 klst. frá ágúst til október vegna viðgerða². Breytileiki í mæligildum árið 2004 var þó ekki mikill og var mánaðarmeðaltal HF alla mælimánuðina um $0,02 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

¹ Hermann Þórðarson og Hörður Þormar, 2004a.

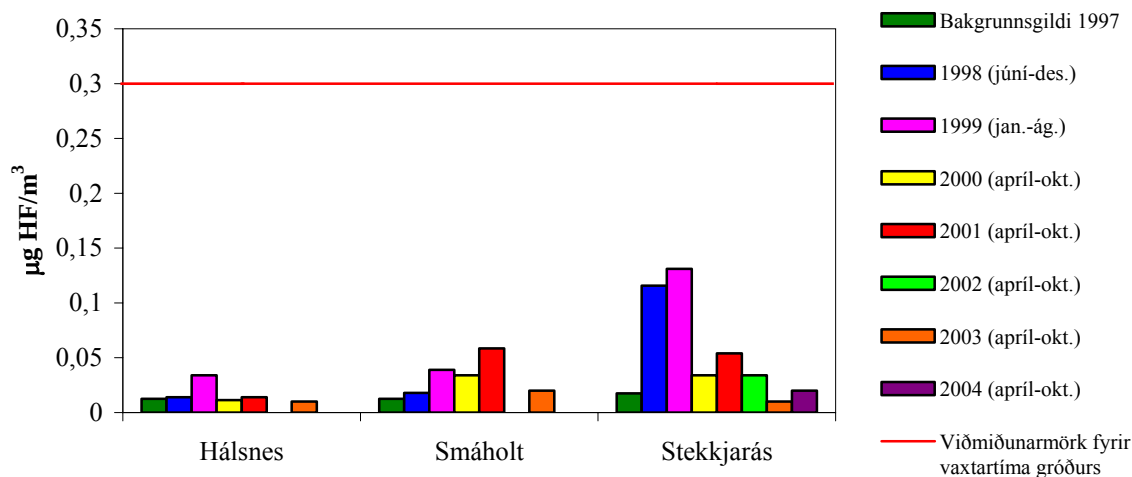
² Halldór Guðmundsson, Norðuráli, tölvupóstur 4/11 2004 og 4/1 2005.

Tafla 3.1 Ársmeðaltal HF á vöktunarstöðvum 1997-2004, ásamt staðalfrávikum mælinga. Vöktunartímabilið er ekki það sama öll árin. Bakgrunnsgildi er frá 1997 eða áður en rekstur Norðuráls hófst.

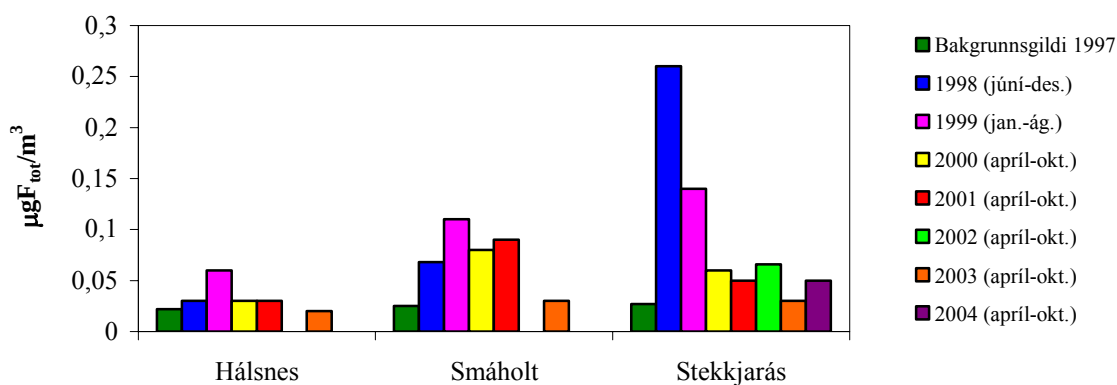
Ár (vöktunarmán.)	Stekkjarás ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Hálsnes ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Smáholt ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Bakgrunnsgildi 1997 (sept.-des.)	$0,02 \pm 0,01$	$0,01 \pm 0,01$	$0,01 \pm 0,01$
1998 (júní-des.)	$0,12 \pm 0,01$	$0,01 \pm 0,01$	$0,02 \pm 0,01$
1999 (jan.-ágúst)	$0,13 \pm 0,12$	$0,03 \pm 0,03$	$0,04 \pm 0,03$
2000 (apríl-okt.)	$0,03 \pm 0,01$	$0,01 \pm 0,01$	$0,03 \pm 0,02$
2001 (apríl-okt.)	$0,05 \pm 0,03$	$0,01 \pm 0,01$	$0,06 \pm 0,05$
2002 (apríl-okt.)	$0,03 \pm 0,02$	-	-
2003 (apríl-okt.)	$0,01 \pm 0,004$	$0,01 \pm 0,01$	$0,02 \pm 0,01$
2004 (apríl-okt.)	$0,02 \pm 0,002$	-	-

Tafla 3.2 Ársmeðaltal heildarflúors á vöktunarstöðvum 1997-2004, ásamt staðalfrávikum mælinga. Vöktunartímabilið er ekki það sama öll árin. Bakgrunnsgildi er frá 1997.

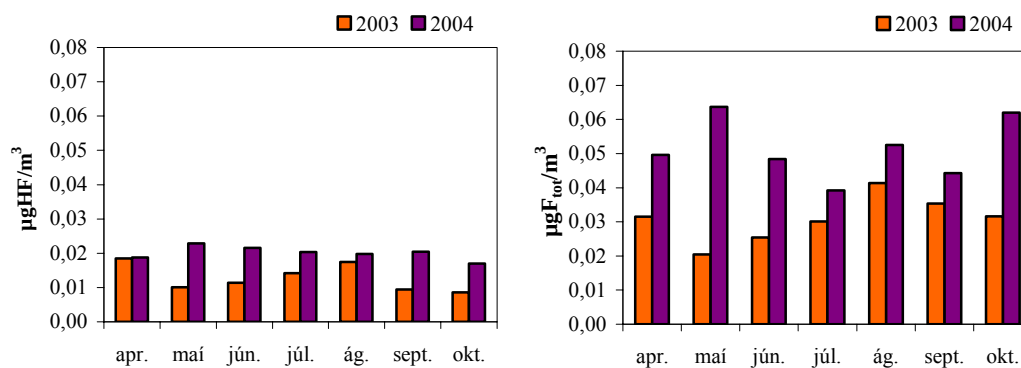
Ár (vöktunarmán.)	Stekkjarás ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Hálsnes ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Smáholt ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Bakgrunnsgildi 1997 (sept.-des.)	$0,03 \pm 0,10$	$0,02 \pm 0,01$	$0,02 \pm 0,01$
1998 (júní-des.)	$0,26 \pm 0,16$	$0,03 \pm 0,01$	$0,07 \pm 0,04$
1999 (jan.-ágúst)	$0,14 \pm 0,07$	$0,06 \pm 0,08$	$0,11 \pm 0,15$
2000 (apríl-okt.)	$0,06 \pm 0,02$	$0,03 \pm 0,08$	$0,08 \pm 0,05$
2001 (apríl-okt.)	$0,05 \pm 0,03$	$0,03 \pm 0,02$	$0,09 \pm 0,07$
2002 (apríl-okt.)	$0,07 \pm 0,03$	-	-
2003 (apríl-okt.)	$0,03 \pm 0,01$	$0,02 \pm 0,02$	$0,03 \pm 0,02$
2004 (apríl-okt.)	$0,05 \pm 0,01$	-	-



Mynd 3.2 Ársmeðaltöl HF á vöktunarstöðvum 1997-2004. Bakgrunnsgildi er frá 1997. Viðmiðunarmörk HF yfir vaxtartíma gróðurs ($0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$) utan þynningarsvæðis eru sýnd með rauðri línu.



Mynd 3.3 Ársmeðaltöl heildarflúors (F_{tot}) á vöktunarstöðvum 1997-2004 (eingöngu safnað á Stekkjarási 2002 og 2004). Bakgrunnsgildi er frá 1997.



Mynd 3.4 Mánaðarmeðaltöl HF og heildarflúors á Stekkjarási apr.–okt. 2003 og 2004.

3.2.2 BRENNISTEINSTVÍOXÍÐ (SO₂) Í LOFTI OG RYKI

Í töflum 3.3 og 3.4 má sjá ársmeðaltöl gaskennds SO₂ og heildar SO₂ (gaskennds og í ryki) á vöktunarstöðvum fyrir loftgæði frá árinu 1997³.

Ársmeðaltal SO₂ á Stekkjarási var lægra en árið 2003 (**myndir 3.4 og 3.5**). Ársmeðaltal gaskennds brennisteins var $2,6 \pm 1,4$ sem er mjög svipað og verið hefur frá árinu 2000. Þetta gefur til kynna að á heildina litið sé styrkur gaskennds brennisteins á Stekkjarási stöðugur á milli ára þrátt fyrir að nokkur breytileiki sé í mánaðarmeðaltölum (**mynd 3.7**). Styrkur gaskennds brennisteins var vel undir viðmiðunarmörkum fyrir ársmeðaltal ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ utan þynningarsvæðis) eins og verið hefur frá árinu 1997.

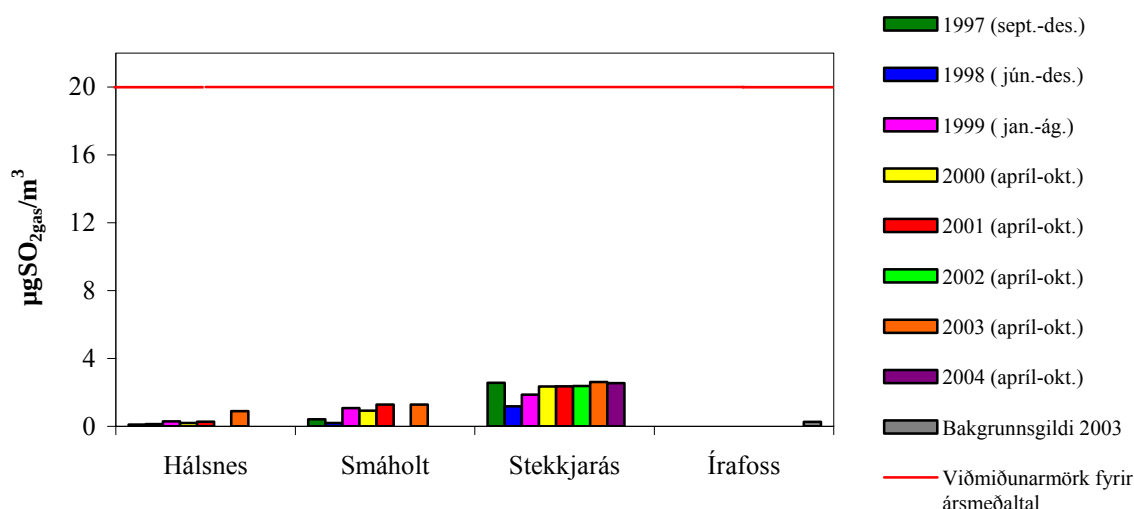
Tafla 3.3 Ársmeðaltal gaskennds SO₂ á vöktunarstöðvum árin 1997-2004, ásamt staðalfrávikum mælinga. Bakgrunnsgildi er frá 1997.

Ár (vöktunarmán.)	Stekkarás ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Hálsnes ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Smáholt ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Bakgrunnsgildi 1997 (sept.-des.)	$2,57 \pm 0,91$	$0,11 \pm 0,06$	$0,42 \pm 0,38$
1998 (júní.-des.)	$1,18 \pm 0,35$	$0,13 \pm 0,09$	$0,20 \pm 0,16$
1999 (jan.-ágúst)	$1,87 \pm 1,18$	$0,29 \pm 0,19$	$1,08 \pm 0,92$
2000 (apríl-okt.)	$2,35 \pm 1,28$	$0,20 \pm 0,11$	$0,92 \pm 1,57$
2001 (apríl-okt.)	$2,36 \pm 1,04$	$0,27 \pm 0,16$	$1,28 \pm 1,48$
2002 (apríl-okt.)	$4,38 \pm 1,21$	-	-
2003 (apríl-okt.)	$2,61 \pm 0,87$	$0,90 \pm 0,32$	$1,28 \pm 0,32$
2004 (apríl-okt.)	$2,55 \pm 1,34$	-	-

Tafla 3.4 Ársmeðaltal heildar SO₂ á vöktunarstöðvum árin 1997-2004, ásamt staðalfrávikum mælinga. Bakgrunnsgildi er frá 1997.

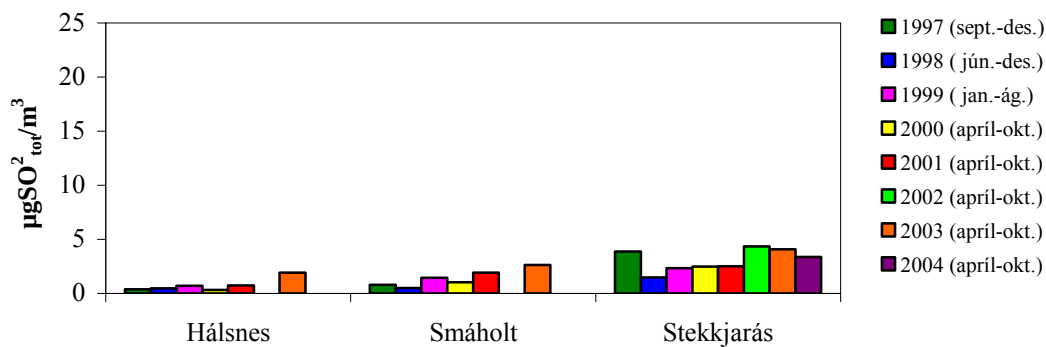
Ár (vöktunarmán.)	Stekkarás ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Hálsnes ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Smáholt ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Bakgrunnsgildi 1997 (sept.-des.)	$3,89 \pm 0,41$	$0,37 \pm 0,27$	$0,79 \pm 0,39$
1998 (júní.-des.)	$1,47 \pm 1,35$	$0,47 \pm 0,12$	$0,50 \pm 0,24$
1999 (jan.-ágúst)	$2,35 \pm 1,27$	$0,72 \pm 0,17$	$1,45 \pm 1,04$
2000 (apríl-okt.)	$2,50 \pm 1,10$	$0,33 \pm 0,14$	$1,05 \pm 1,57$
2001 (apríl-okt.)	$2,52 \pm 0,93$	$0,75 \pm 0,42$	$1,91 \pm 1,41$
2002 (apríl-okt.)	$4,36 \pm 0,93$	-	-
2003 (apríl-okt.)	$4,09 \pm 1,12$	$1,91 \pm 0,63$	$2,63 \pm 2,14$
2004 (apríl-okt.)	$3,36 \pm 1,39$	-	-

³ Hermann Þórðarson og Hörður Þormar, 2004a.

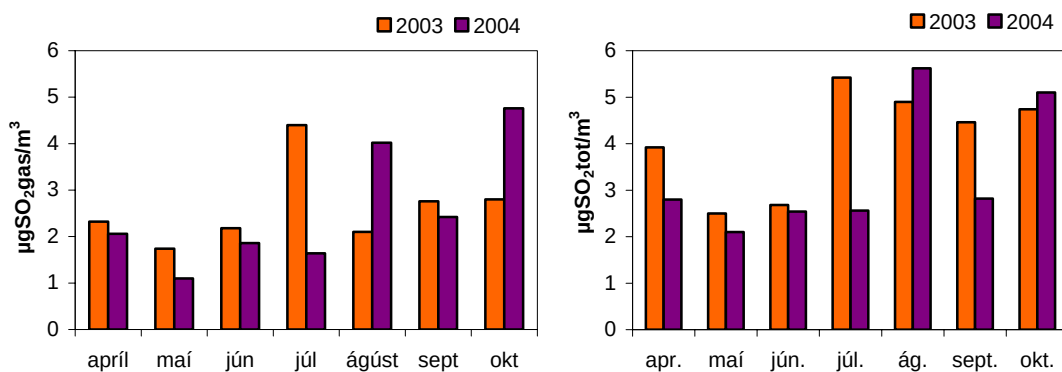


Mynd 3.5 Ársmeðaltöl gaskennds SO₂ á vöktunarstöðvum 1997-2004.

Viðmiðunarmörk fyrir ársmeðaltal (20 µg/m³) gaskennds SO₂ utan þynningarsvæðis eru sýnd með rauðri línu. Bakgrunnsgildi er 12 mán. meðaltal frá Írafossi árið 2003.



Mynd 3.6 Ársmeðaltöl heildar SO₂ (SO_{2tot}) á vöktunarstöðvum 1997-2004. Sýnt er meðaltal rekstrarmánaða Norðurlágs árið 1998.



Mynd 3.7 Mánaðarmeðaltöl gaskennds- og heildar SO₂ á Stekkjarási apríl – október 2003 og 2004.

3.2.3 SVIFRYK (PM_{10})

Í **töflu 3.5** má sjá ársmeðaltal svifryks sem safnað hefur verið á síur á vöktunarstöðvum fyrir loftgæði frá árinu 1997⁴.

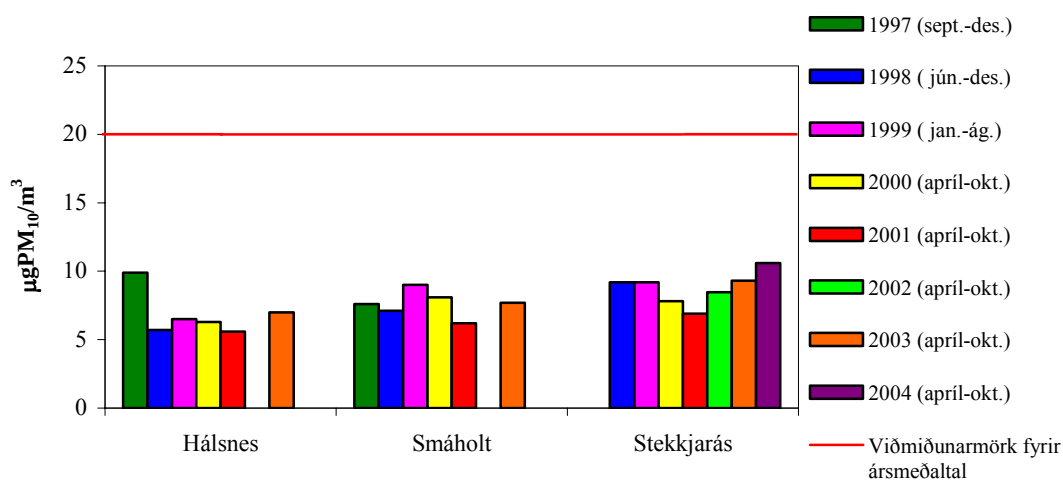
Ársmeðaltal svifryks á Stekkjarási var í hærra lagi árið 2004 (**mynd 3.8**). Nokkur breytileiki var í mánaðarmeðaltölum (**mynd 3.9**) og voru þau að jafnaði hærri seinni hluta mælitímabilsins en þann fyrri. Ástæðan er talin vera yfirstandandi framkvæmdir hjá Norðuráli. Hæstu meðaltölin voru í júlí, ágúst og október (13,2, 14,2 og 13,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Megin hluti svifryks er þó talinn eiga uppruna sinn utan iðnaðarsvæðisins eins og áður.

Magn svifryks hefur verið undir viðmiðunarmörkum fyrir ársmeðaltal (20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ utan þynningarsvæðis) á vöktunarstöðvum frá upphafi mælinga.

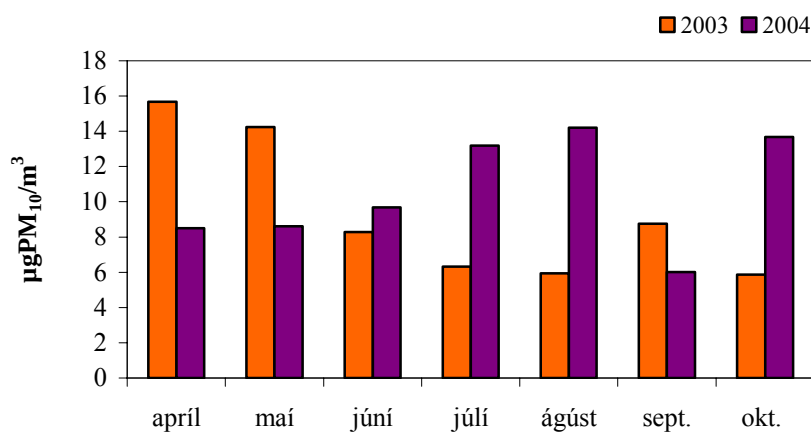
Tafla 3.5 Ársmeðaltal svifryks á vöktunarstöðvum 1997-2004, ásamt staðalfrávikum mælinga. Vöktunartímabilið er ekki það sama öll árin.

Ár (vöktunarmán.)	Stekkjjarás ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Hálsnes ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Smáholt ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1997 (sept.-des.)	-	9,85 ± 7,83	7,57 ± 5,89
1998 (júní-des.)	9,23 ± 3,85	5,71 ± 1,69	7,07 ± 2,70
1999 (jan.-ágúst)	9,15 ± 2,33	6,50 ± 2,03	9,05 ± 2,54
2000 (apríl-okt.)	7,83 ± 1,67	6,30 ± 1,88	8,10 ± 2,62
2001 (apríl-okt.)	6,90 ± 1,82	5,56 ± 1,98	6,16 ± 3,87
2002 (apríl-okt.)	8,48 ± 0,51	-	-
2003 (apríl-okt.)	9,30 ± 4,05	7,00 ± 2,93	7,70 ± 2,72
2004 (apríl-okt.)	10,1 ± 3,15	-	-

⁴ Hermann Þórðarson og Hörður Þormar, 2004a.



Mynd 3.8 Meðaltöl svifryks (PM₁₀) í lofti árin 1997-2004 safnað á vöktunarstöðvum. Viðmiðunarmörk fyrir ársmeðaltal (20 µg/m³ utan þynningarsvæðis⁵) eru sýnd með rauðri línu.



Mynd 3.9 Mánaðarmeðaltöl svifryks (PM₁₀) í lofti á Stekkjarási árin 2003 og 2004.

⁵ Reglugerð nr. 251/2002, viðmiðunarmörk tóku gildi 1. janúar 2005.

3.2.4 EFNAINNIHALD Í ÚRKOMU

Í töflu 3.6 og á mynd 3.10 má sjá ársmeðaltal sýrustigs og efna í úrkomu á vöktunarstöðvum frá árinu 1997⁶.

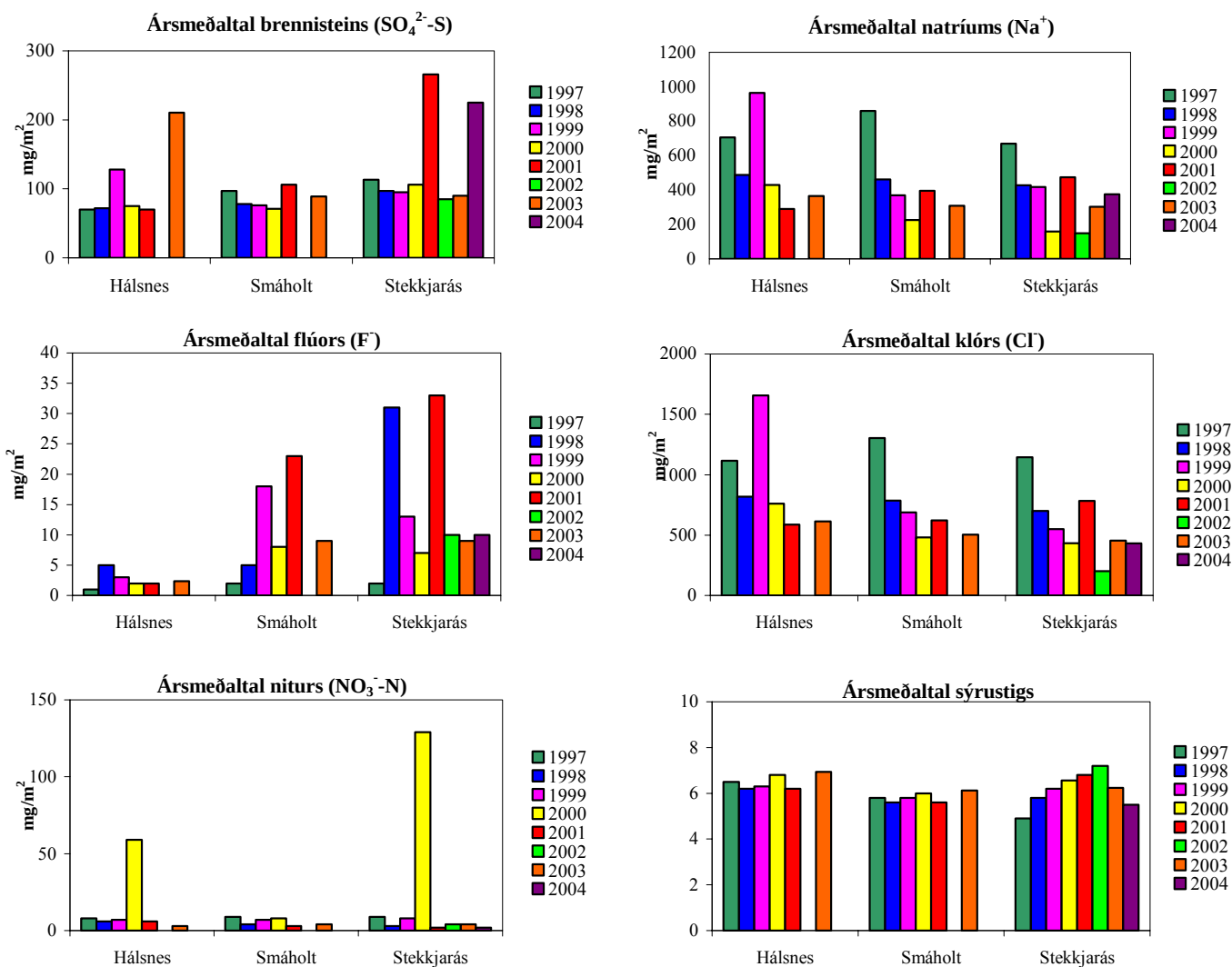
Mæligildi í úrkomu hafa frá upphafi vöktunar verið sveiflukennd. Sýnasafnarinn er mjög einfaldur og því er mögulegt að úrkomusýni geti mengast af flugu og frjókornum á góðviðrisdögum. Ársmeðaltal flúors í úrkomu (mældu sem flúoríð) á Stekkjarási var í lægra lagi eða svipað og árin 2002 og 2003. Ársmeðaltal brennisteins (sem súlfat, SO_4^{2-}) var hins vegar með hæsta móti. Lítil fylgni var á milli meðaltala í úrkomu og í lofti.

Sýrustig úrkomu á Stekkjarási var það lægsta sem mælt hefur. Ársmeðaltal klóríðs og niturs var í lægra lagi en natriúms í herra lagi miðað við hin síðari ár.

Tafla 3.6 Ársmeðaltal sýrustigs og efna í úrkomu á vöktunarstöðvum árin 1997-2004. Styrkur efna er í $\text{mg/m}^2/\text{ári}$ og sýrustig er pH-gildi. *Bakgrunnsmaðlingar eru frá 1997.

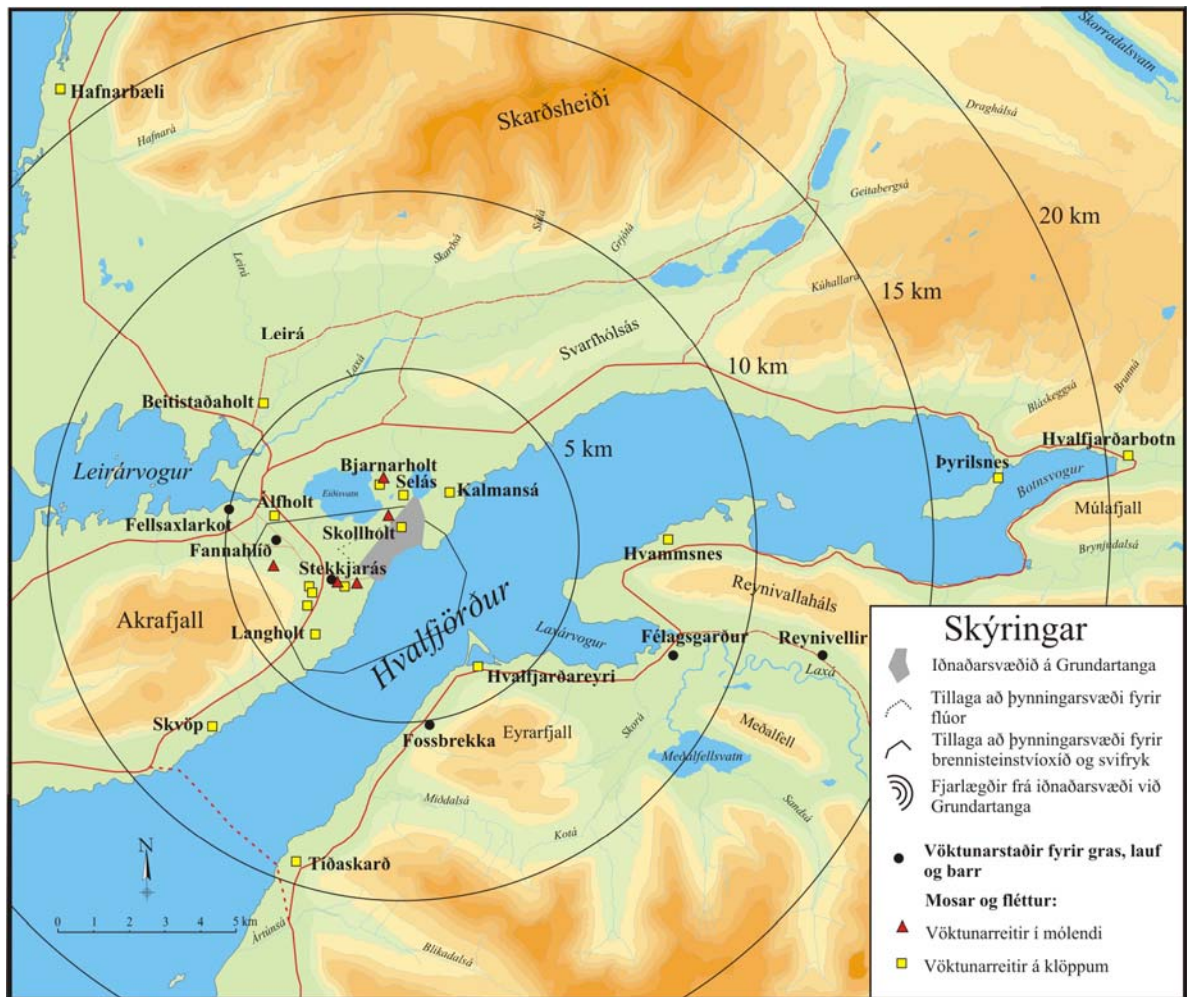
Ár	Hálsnes			Smáholt			Stekkjarsás		
	Na^+	Cl^-	$\text{NO}_3^- \text{-N}$	Na^+	Cl^-	$\text{NO}_3^- \text{-N}$	Na^+	Cl^-	$\text{NO}_3^- \text{-N}$
1997*	705	1114	7,5	860	1304	9,0	669	1144	8,5
1998	488	819	5,7	461	784	3,7	413	700	3,2
1999	965	1655	6,5	369	688	6,9	418	550	8,4
2000	429	761	59	225	480	8	158	433	129
2001	289	587	6	395	620	3	474	784	2
2002	-	-	-	-	-	-	149	201	4
2003	365	614	3	308	503	4	303	455	4
2004	-	-	-	-	-	-	375	432	2
Ár	Hálsnes			Smáholt			Stekkjarsás		
	$\text{SO}_4^{2-} \text{-S}$	F^-	pH	$\text{SO}_4^{2-} \text{-S}$	F^-	PH	$\text{SO}_4^{2-} \text{-S}$	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
2003	210	2,4	6,9	89	9	6,1	90	9	6,2
2004	-	-	-	-	-	-	225	10	5,5

⁶ Hermann Þórðarson og Hörður Þormar, 2004a.



Mynd 3.10 Ársmeðaltöl sýrustigs og efnamælinga í úrkomu árin 1997-2004. Bakgrunnsmælingar eru frá 1997.

4 GRÓÐUR



Mynd 4.1 Vöktunarstöðvar fyrir gróður í Hvalfirði.

4.1 HELSTU NIÐURSTÖÐUR

Gras, lauf og barr: Á mynd 4.1 eru vöktunarstöðvar fyrir gróður í Hvalfirði. Árið 2004 voru sýni tekin í júní og september af grasi (órækt) og laufi (birki og reynir). Sýni voru síðan tekin af eins og tveggja ára barri (greni, bergfura og stafafura) í október. Styrkur flúors var mældur í sýnunum.

Í laufsýnum frá Stekkjarási og Fellsaxlarkoti sjást áhrif iðnrekstrarins mest þar sem styrkur flúors var hærri haustið 2004 en 2003 eða svipaður og haustið 2002. Mælingarnar endurspeglar niðurstöður loftgæðamælingar á Stekkjarási og sveiflur í útblæstri flúors frá Norðuráli. Styrkur flúors í grasi á vöktunarstöðvum var nokkuð svipaður og árið 2002. Hann var hæstur 6 µg/g og því vel undir skaðsemismörkum fyrir grasbíta (20-30 µg/g).

4.2 FLÚOR Í GRÓÐRI

Þolmörk viðkvæmustu grasbíta gagnvart flúor eru yfirleitt talin vera 20-30 $\mu\text{g/g}$ (þurrefni) sem getur safnast í gróður ef 6 mánaða meðaltal HF fer yfir 0,3 $\mu\text{g/m}^3$ ⁷. Þetta eru einmitt þau gróðurverndarmörk gagnvart HF sem notuð hafa verið hér á landi yfir vaxtartíma gróðurs utan þynningarsvæðis⁸. Samkvæmt starfsleyfi Norðuráls má styrkur HF fara yfir mörkin í 0,2% tilfella eða 7 daga á ári. Í loftgæðamælingum árið 2004 var meðaltal HF á Stekkjarási (er staðsettur utan þynningarsvæðis fyrir flúor) frá apríl til október 0,02 $\mu\text{g/m}^3$, sem er langt undir ofangreindum mörkum eins og verið hefur frá upphafi rekstrar Norðuráls.

Plöntur sem taka eingöngu til sín næringu úr lofti, eins og mosar og fléttur, safna flúor mun hraðar og í meira magni í vefi sína en aðrar plöntur. Það gerir þær mun viðkvæmari fyrir HF og kemur flúorskaði fram sem breyting á lit og lögun. Sigrænar plöntur eru einnig mjög viðkvæmar gagnvart loftmengun þar sem þær geta safnað henni í sig allt árið. Nýjar barnálar og laufblöð eru viðkvæmari fyrir flúor en eldri. Flúorskaði í barnálum kemur fram sem gulnun nálaenda og á blöðum lauftrjáa sem gulnun jaðra og vefja á milli æðastrengja⁹. Þolmörk viðkvæmra plöntutegunda gagnvart HF má sjá í **töflu 4.1**¹⁰. Erfitt að er segja til um þolmörk annarra tegunda, en yfirleitt eru grös tekin sem dæmi um miðlungspólnar tegundir, og birki og krækilyng sem þolnar tegundir¹¹. Rannsóknir í tengslum við norsk álver hafa sýnt að samspil mengunar-, umhverfis- og erfðapátta getur haft áhrif á þol sömu tegundar eftir staðsetningu. Dæmi um slíkt er að frostþol plantna getur minnkað á menguðum svæðum vegna breytinga í vaxtaferli¹². Í ofangreindum rannsóknum hafa gróðurskemmdir, m.a. á birki og reyni, komið fram við 100 $\mu\text{g/g}$ af flúor í laufblöðum. Gróflega má ætla að slík uppsöfnun geti átt sér stað við um 0,8 $\mu\text{g/m}^3$ flúor í lofti yfir 150 daga tímabil.

Tafla 4.1 Þolmörk viðkvæms gróðurs gagnvart HF (langtímaáhrif, 5-6 mánuðir).

Loftbórið efni	Gróðurgerðir	Þolmörk ($\mu\text{g/m}^3$)
HF	Lágplöntur (fléttur, mosar)	>0,2-0,3
	Viðkvæmar háplöntur (t.d. barrtré, bláberjalyng, beitilyng)	0,2-0,6

Á myndum 4.2-4.4 má sjá styrk flúors árið 2004 í og á (þurrefni og skol) grasi, laufi og barri¹³. Mun meiri styrkur flúors mældist í sýnum af laufi en af grasi. Hluti af skýringunni gæti verið sá að lauf safnar meiru af flúor í sig úr lofti en gras. Laufblöðin eru loðnari en gras svo að ryk loðir frekar við þau auk þess sem að laufblöð standa mun herra í landslaginu. Í laufsýnum frá Stekkjarási og Fellsaxlarkoti sjást áhrif

⁷ Friðrik Pálmason, 1999.

⁸ Viðmiðunarregla Umhverfisstofnunar fyrir álver á Íslandi (hliðsjón af norskum viðmiðum).

⁹ Weinstein og Davison, 2003 (yfirlitsgrein).

¹⁰ Friðrik Pálmason og Skye, 1999; Horntvedt og Øyen, 1994.

¹¹ Friðrik Pálmason og Skye, 1999.

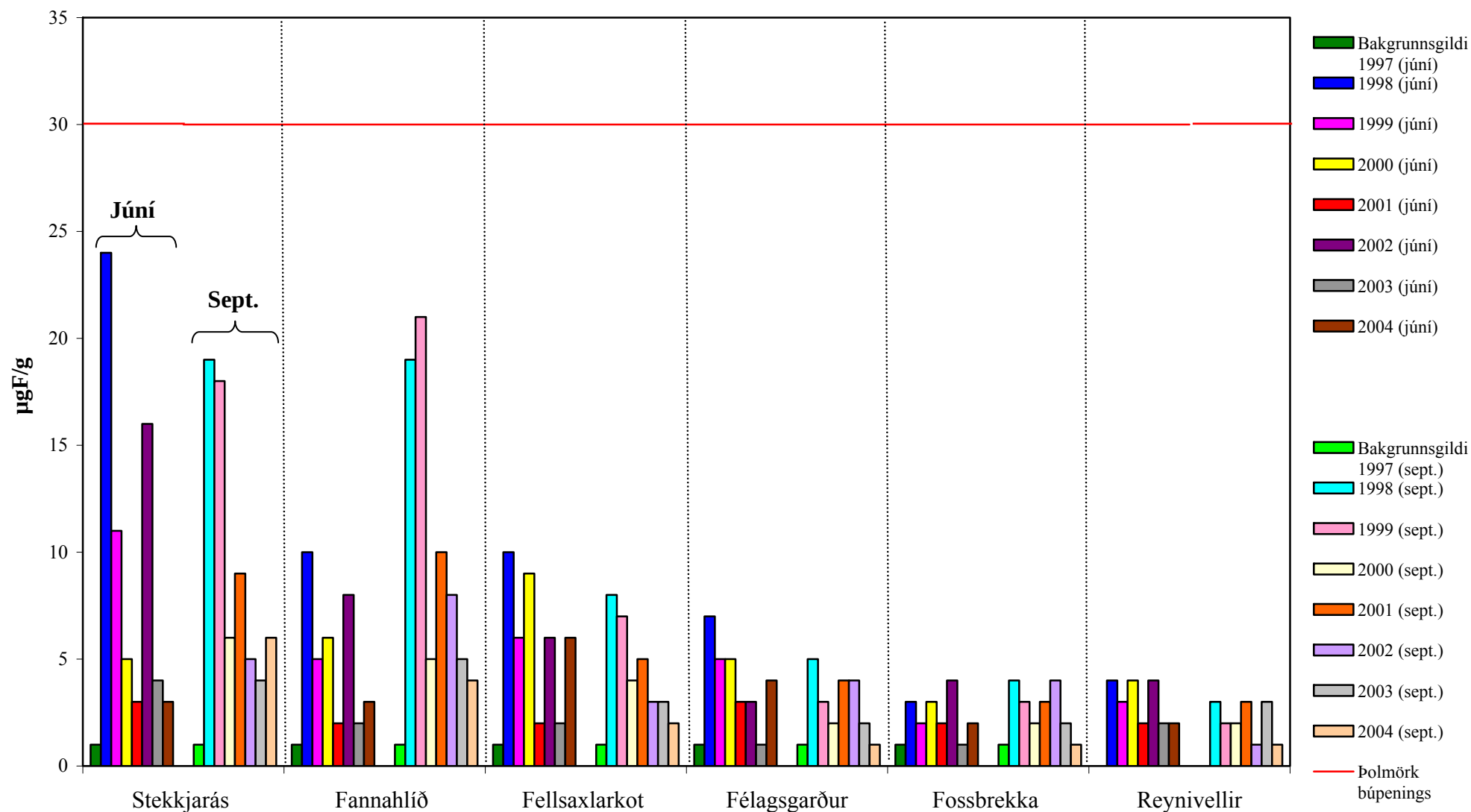
¹² Haagbjörg og Vike, 1994; Vike, 1999; Tölvupóstur frá Friðriki Pálmasyri, RALA, 29/11 2004; Friðrik Pálmason og Skye, 1999.

¹³ Hörður Þormar, 2004.

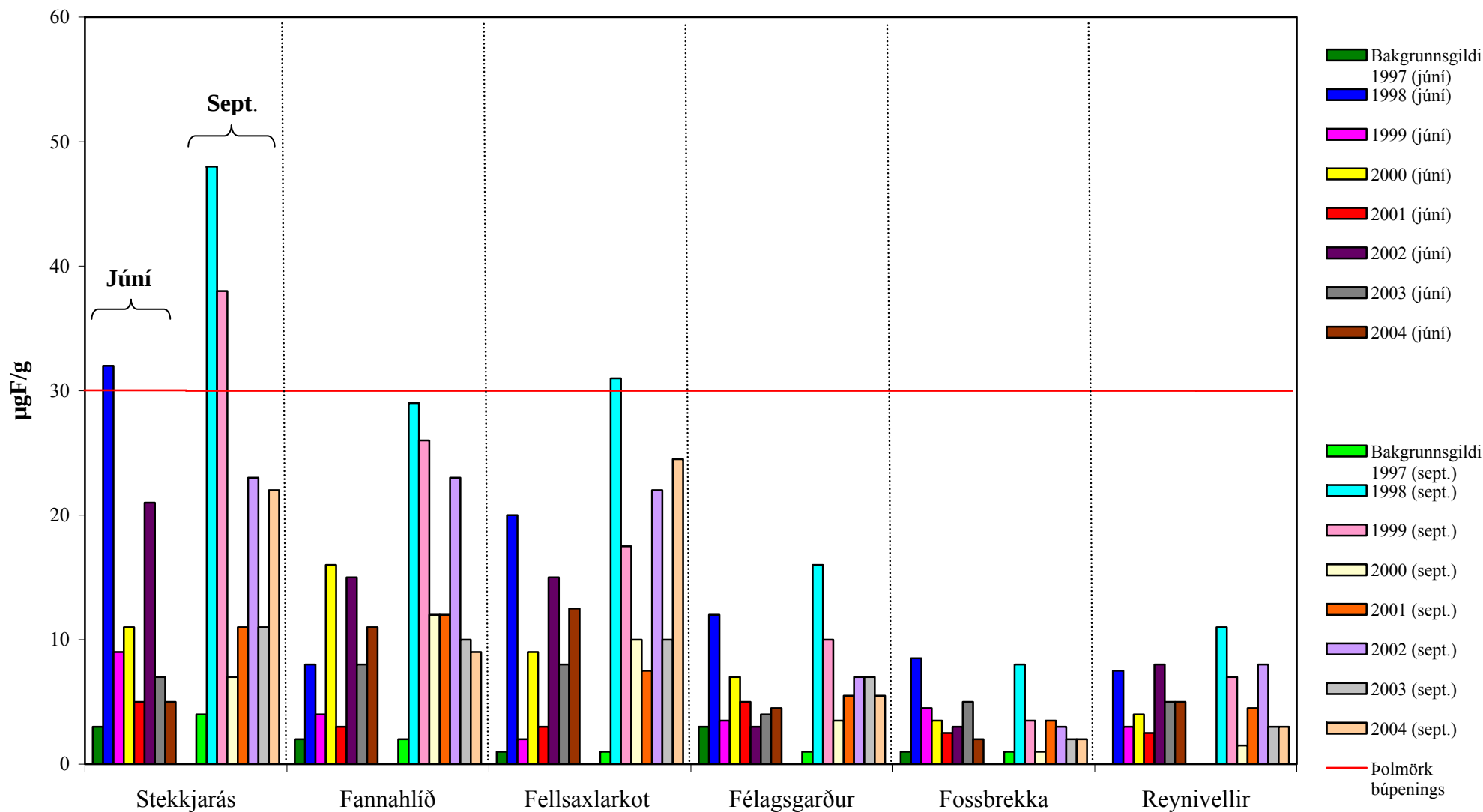
iðnrekstrarins mest þar sem að styrkur flúors mældist hærri haustið 2004 en 2003 eða svipaður og haustið 2002. Þessar mælingar endurspegla niðurstöður loftgæðamælingar á Stekkjarási og sveiflur í útblæstri flúors frá Norðuráli. Meðaltal flúors var rúmlega 20 $\mu\text{g/g}$ í laufsýnum safnað í september á þessum tveimur stöðum en var í júní 5 $\mu\text{g/g}$ frá Stekkjarási og tæplega 13 $\mu\text{g/g}$ frá Fellsaxlarkoti. Hæsti styrkur flúors sem mældist í laufsýni var í september frá Fellsaxlarkoti eða 37 $\mu\text{g/g}$. Áhrif iðnrekstrarins á Grundartanga sjást lítið á öðrum vöktunarstöðvum þar sem meðaltal flúors var yfirleitt innan við 10 $\mu\text{g/g}$ í þurrefni.

Hæsti styrkur flúors í og á grasi mældist í sýni frá Stekkjarási í september og í sýni frá Fellsaxlarkoti í júní (6 $\mu\text{g/g}$ á báðum stöðum). Á Stekkjarási var aukningin á mæligildum flúors í grasi og laufi frá júní fram í september mun meiri en árið á undan sem endurspeglar útblásturstölur frá Norðuráli fyrir árin 2003 og 2004. Styrkur flúors í grasi á vöktunarstöðvum var allsstaðar vel undir skaðsemismörkum fyrir grasbíta, sem eru yfirleitt talin vera á bilinu 20-30 $\mu\text{g/g}$.

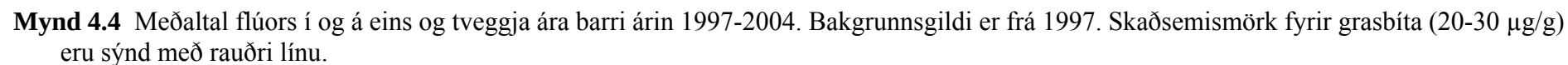
Árið 2004 minnkaði munurinn á styrk flúors í eins og tveggja ára barri á nær öllum vöktunarstöðvum sem styður það að styrkur flúors í lofti á vöktunarsvæðinu hafi verið meiri árið 2004 en árið á undan.



Mynd 4.2. Meðaltal flúors í og á grasi vor og haust árin 1997-2004. Bakgrunnsgildi er frá 1997. Skaðsemismörk fyrir grasbíta (20-30 µg/g) eru sýnd með rauðri línu.



Mynd 4.3 Meðaltal flúors í og á laufi vor og haust árin 1997-2004. Bakgrunnsgildi er frá 1997. Skaðsemismörk fyrir grasbíta (20-30 µg/g) eru sýnd með rauðri línu.



5 FERSKVATN



Mynd 5.1 Vöktunarstöðvar fyrir ferskvatn í Hvalfirði.

5.1 HELSTU NIÐURSTÖÐUR

Á mynd 5.1 eru vöktunarstöðvar fyrir vatnsföll í Hvalfirði. Litlar breytingar sjást á efnaþáttum og sýrustigi í ám frá upphafi vöktunar. Styrkur flúoríðs hefur þó farið lækkandi frá árinu 2000 og hefur styrkur brennisteins í bergvatnsánum verið allstöðugur frá upphafi vöktunar. Hann hefur þó verið mun breytilegri og tilviljunarkenndari í Kalmansá og Urriðaá sem er að stórum hluta rakið til áhrifa frá sjó. Frá upphafi vöktunar hefur styrkur flúoríðs, brennisteins og klóríðs aldrei farið yfir leyfilegan hámarksstyrk samkvæmt reglugerð um neysluvatn. Árið 2004 var styrkur efna sem fyrr hæstur í Kalmansá og Urriðaá. Ástæðan er rakin til uppsprettu ána, sem er aðallega yfirborðsvatn við Hólmsvatn og Eiðisvatn. Mælingarnar sýna að SO_2 frá iðjuverunum á Grundartanga fellur ekki sem súrt regn (brennisteinssýrlingur) á vöktunarsvæðinu.

5.2 NIÐURSTÖÐUR EINSTAKRA MÆLIÞÁTTA

5.2.1 LEIÐNI

Leiðnimælingar gefa vísbendingu um heildarstyrk jóna í vatnslausn. Á mynd 5.2 má sjá leiðni á á vöktunarsvæðinu árin 2004 og 1997. Niðurstöður leiðnimælinga voru mjög áþekkar þessi ár og mjög litlar breytingar mældust milli áranna 2003 og 2004. Kalmansá og Urriðaá hafa sem fyrr mun hærri og breytilegri leiðni, 110-205 $\mu\text{S}/\text{cm}$, en hinar árnar (66-96 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Ástæðan er helst rakin til nálægðar sýnatökustaða í ánum við sjó þar sem áhrifa stórstraumsfjöru gætir¹⁴.

5.2.2 SÝRUSTIG

Á mynd 5.3 má sjá sýrustig í ám árin 2004 og 1997. Niðurstöðurnar benda til þess að um náttúrulegt sýrustig ána sé að ræða. Sýrustigið var að meðaltali það sama árið 2004 og árin á undan eða 7,58. Árið 2004 mældist lægsta sýrustigið í Kalmansá þann 9. maí (pH 7,15) og hæst í sömu á þann 16. júlí (pH 7,96). Berjadalsá hafði sem fyrr jafnasta sýrustigið eða pH 7,54 $\pm$ 0,15.

Ef sýrustig vatns fer niður fyrir pH 5,5 er hætt á að magn uppleystra efna, s.s. þungmálma og áls, aukist og geti verið skaðlegt lífverum¹⁵. Sýrustig ána á vöktunarsvæðinu hefur frá upphafi mælinga verið mun hærri (mynd 5.3) eða innan marka sem sett eru um sýrustig neysluvatns samkvæmt reglugerð nr. 319/1995 (pH 6,5-9,5).

5.2.3 BRENNISTEINN

Á mynd 5.4 er sýndur styrkur sulfats (SO_4^{2-}) í ám árin 2004 og 1997. Tíðarfar getur haft talsverð áhrif á niðurstöður efnamælinga í ferskvatni, einkum særök.

Árið 2004 höfðu Kalmansá og Urriðaá sem fyrr hærri meðaltal brennisteins, 1,8-2,0 mg/l (súlfat: 5,4-6,0 mg/l), en hinar árnar, 0,6-0,78 mg/l (súlfat: 1,8-2,34 mg/l). Meðaltal brennisteins í bergvatnsánum hefur verið allstöðugt öll vöktunarárin eða um 0,7 mg/l. Meðaltal Kalmansár og Urriðáar er breytilegt og nokkuð tilviljanakennt. Sýnatökustaðir í þeim eru nálægt sjó svo að áhrif frá sjávarflóðum getur gætt í sýnunum. Hæsti styrkur sulfats árið 2004 (Kalmansá 19. júlí: 6,69 mg/l) var langt innan viðmiðunarmarka fyrir leyfilegan hámarksstyrk (200 mg/l) samkvæmt reglugerð um neysluvatn. Einnig sýna niðurstöðurnar að SO_2 frá iðnaðarsvæðinu fellur ekki sem súrt regn á vöktunarsvæðinu.

5.2.4 FLÚORÍÐ

Á mynd 5.5 er sýndur styrkur flúoríðs í ám árin 2004 og 1997. Frá upphafi mælinga hafa engar marktækar breytingar orðið á styrk flúoríðs. Ársmeðaltal flúoríðs í ánum hefur farið lækkandi frá árinu 2000, var þá 62 $\mu\text{g}/\text{l}$ en 52 $\mu\text{g}/\text{l}$ árið 2003 og 47 $\mu\text{g}/\text{l}$ árið

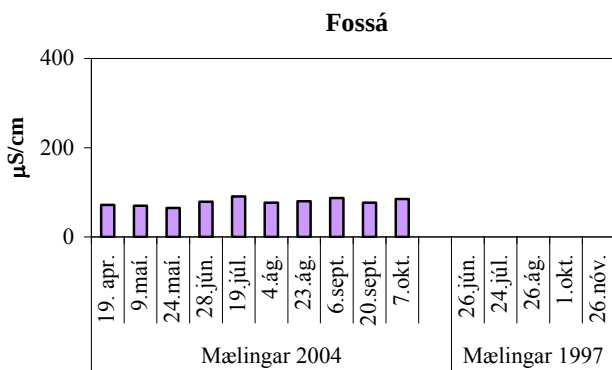
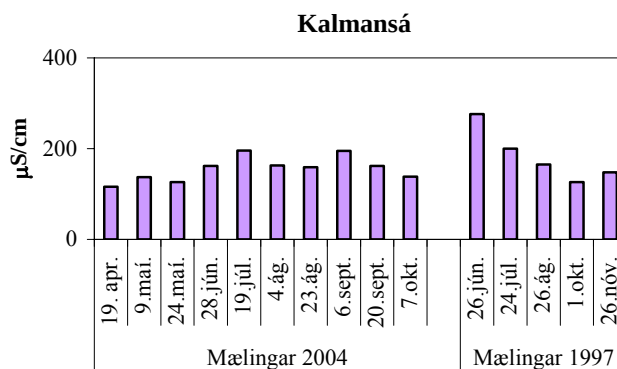
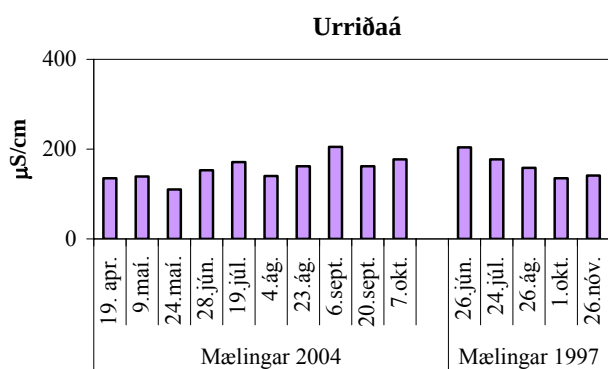
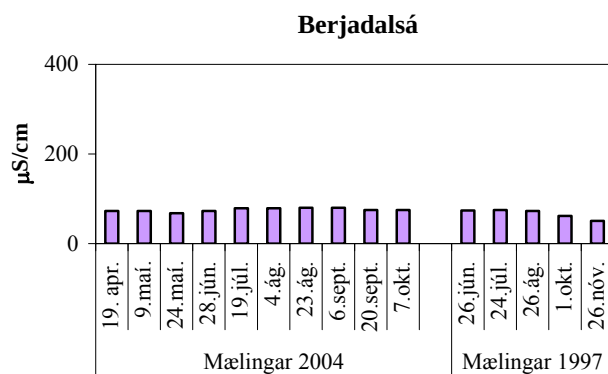
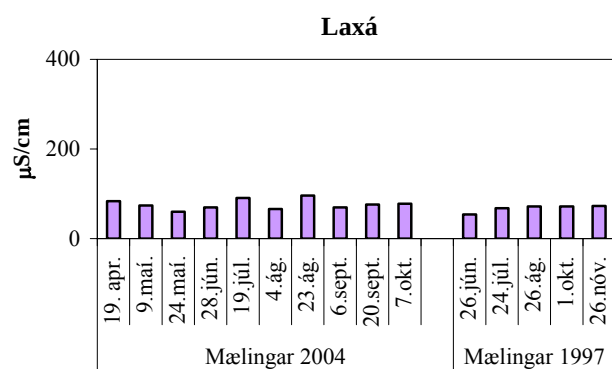
¹⁴ Hermann Þórðarson og Hörður Þormar, 2004b.

¹⁵ Sigurður R. Gíslason o.fl., 1998 og 1999.

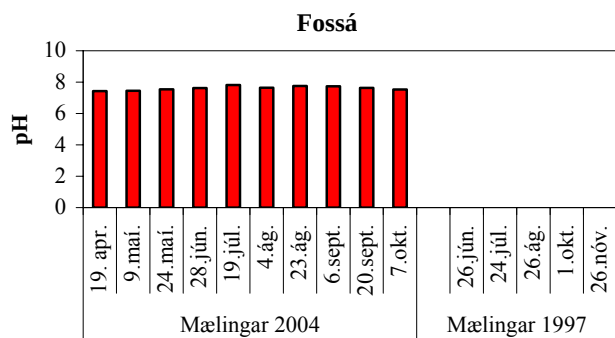
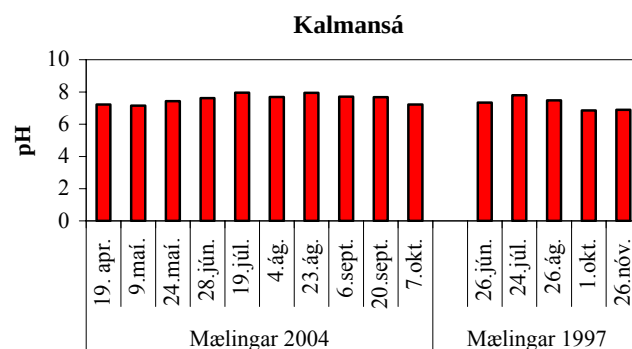
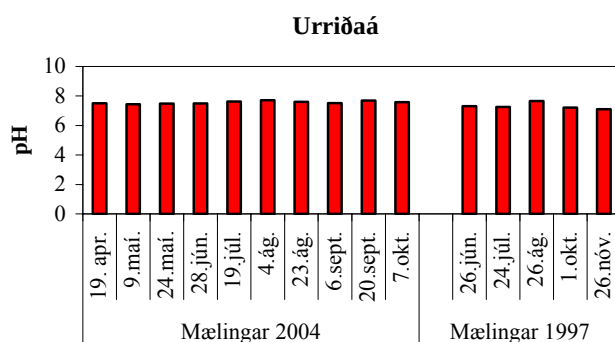
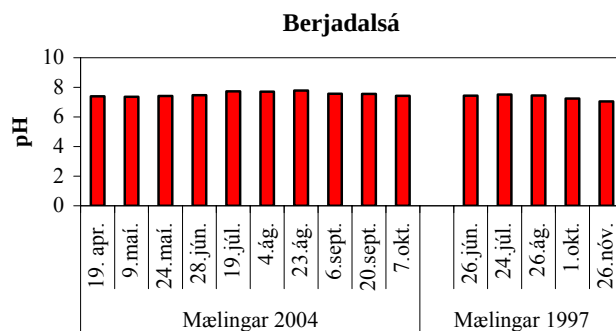
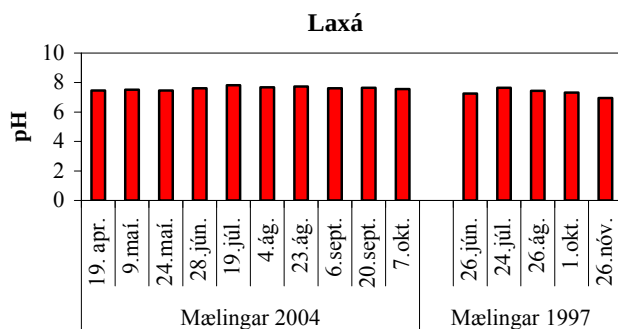
2004 (svipað og árið 1997 áður en rekstur Norðuráls hófst). Mestur styrkur flúoríðs árið 2004 mældist sem fyrr í Kalmansá og Urriðaá, eða á bilinu 68-73 µg/l, en mun lægri eða á bilinu 22-37 µg/l í hinum ánum. Kalmansá og Urriðaá höfðu einnig hæstan styrk flúoríðs áður en rekstur Norðuráls hófst sem skýrist af uppruna Hólmavatns og Eiðisvatns í mýrlendi. Samkvæmt reglugerð nr. 319/1995 á styrkur flúoríðs í neysluvatni að vera innan við 1,5 mg/l við 8-12°C.

5.2.5 KLÓRÍÐ

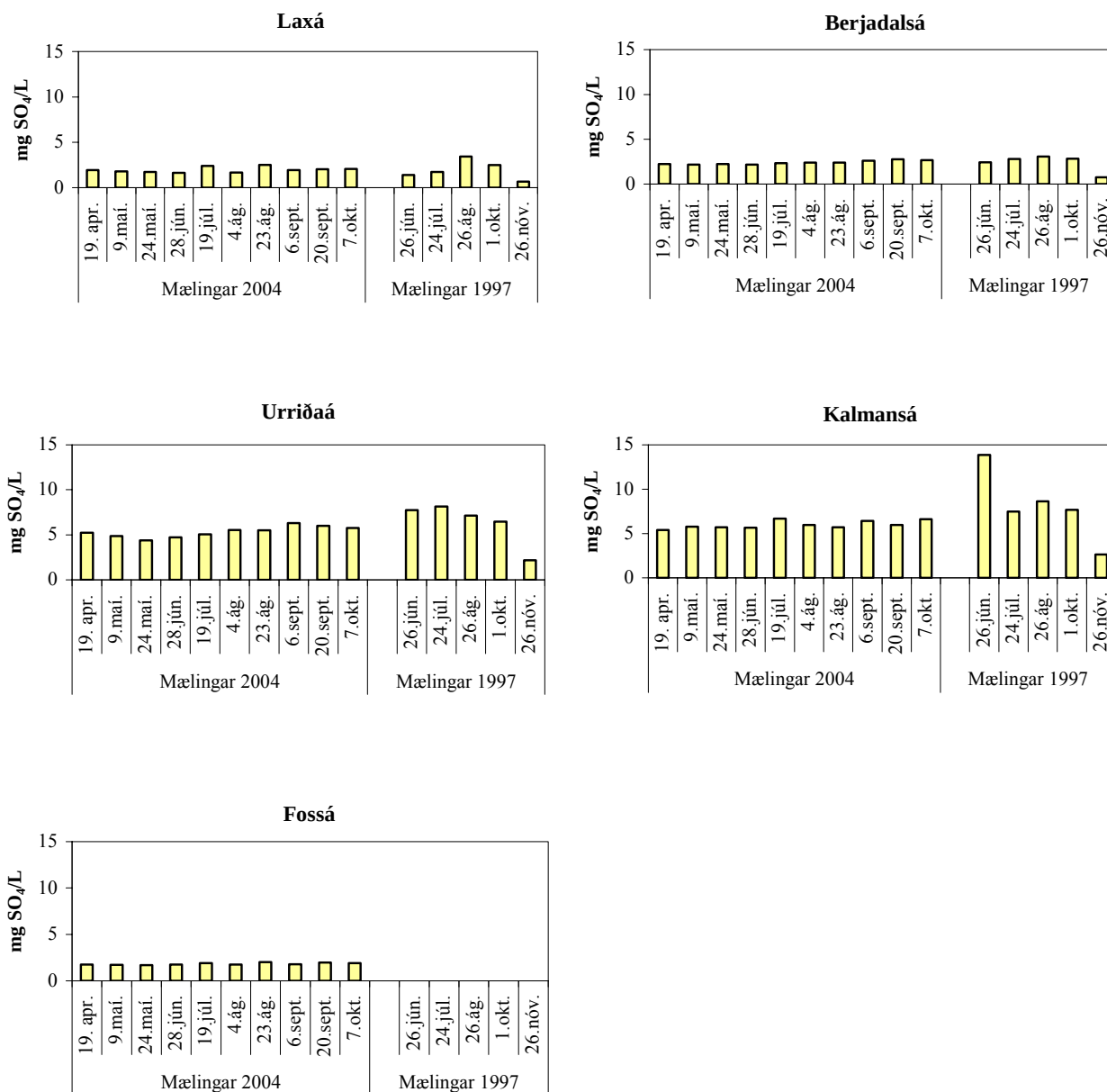
Á mynd 5.6 má sjá styrk klóríðs í ám árin 2004 og 1997. Klóríðmagn er alls staðar langt innan viðmiðunargilda fyrir neysluvatn (200 mg/l). Sem fyrr skera Kalmansá og Urriðaá sig úr með hærri meðaltal klóríðstyrks, 15-17 mg/l, en hinar árnar (8-11 mg/l). Ársmeðaltal klóríðs í Kalmansá og Urriðaá var lægra árið 2004 en árið á undan. Magn klóríðs í ám og vötnum endurspeglar fyrst og fremst hve mikið af sjó ýrist upp í Hvalfirði. Mælingar á klóríði sýna því að uppruni brennisteins í úrkomu og straumvatni er að stórum hluta úr sjó.



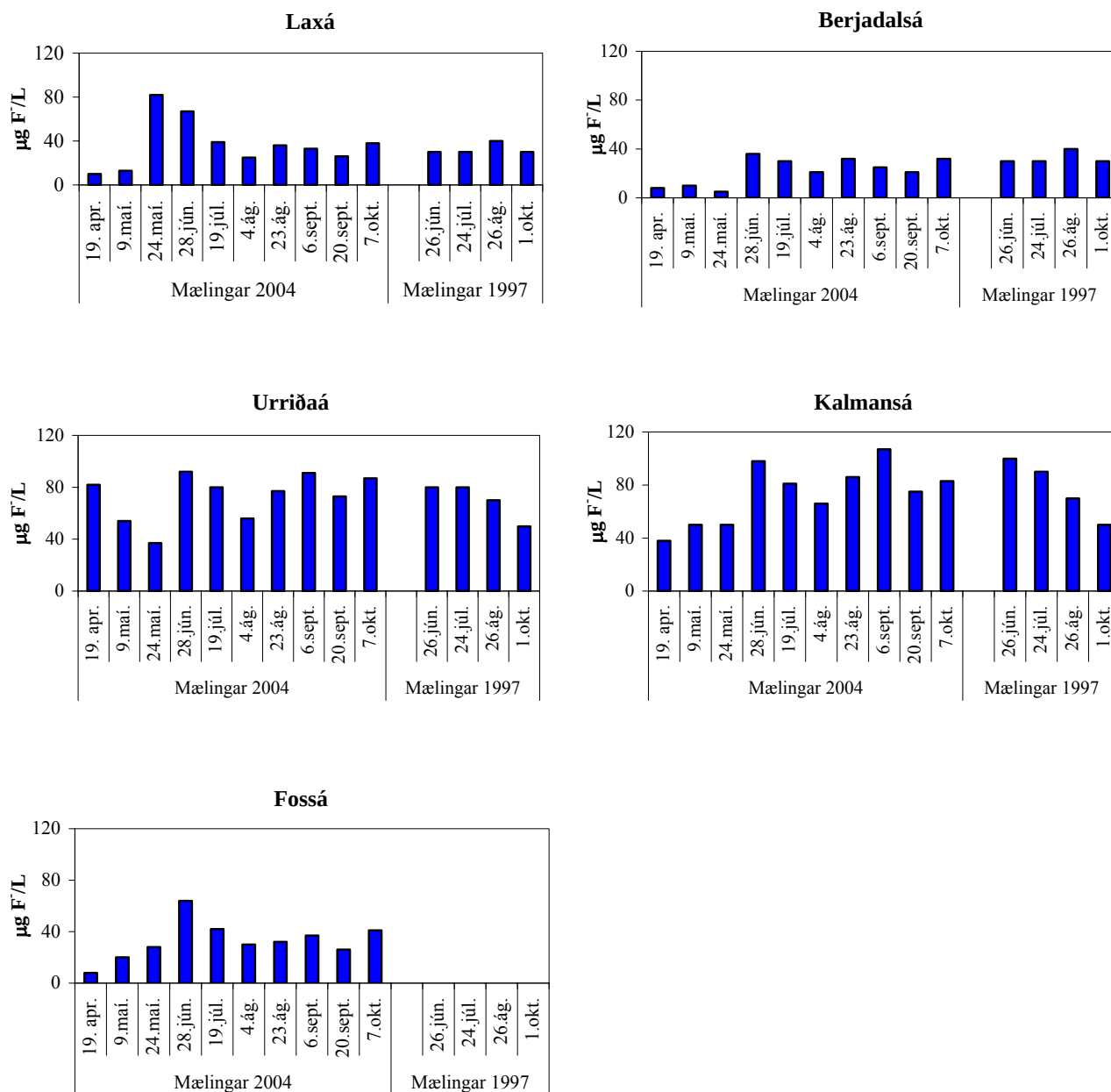
Mynd 5.2 Niðurstöður leiðnimælinga í ám árin 2004 og 1997. Bakgrunns­mælingar eru frá 1997. Vöktunartímabilið var ekki það sama bæði árin, auk þess sem leiðnimælingar fóru ekki fram í Fossá árið 1997.



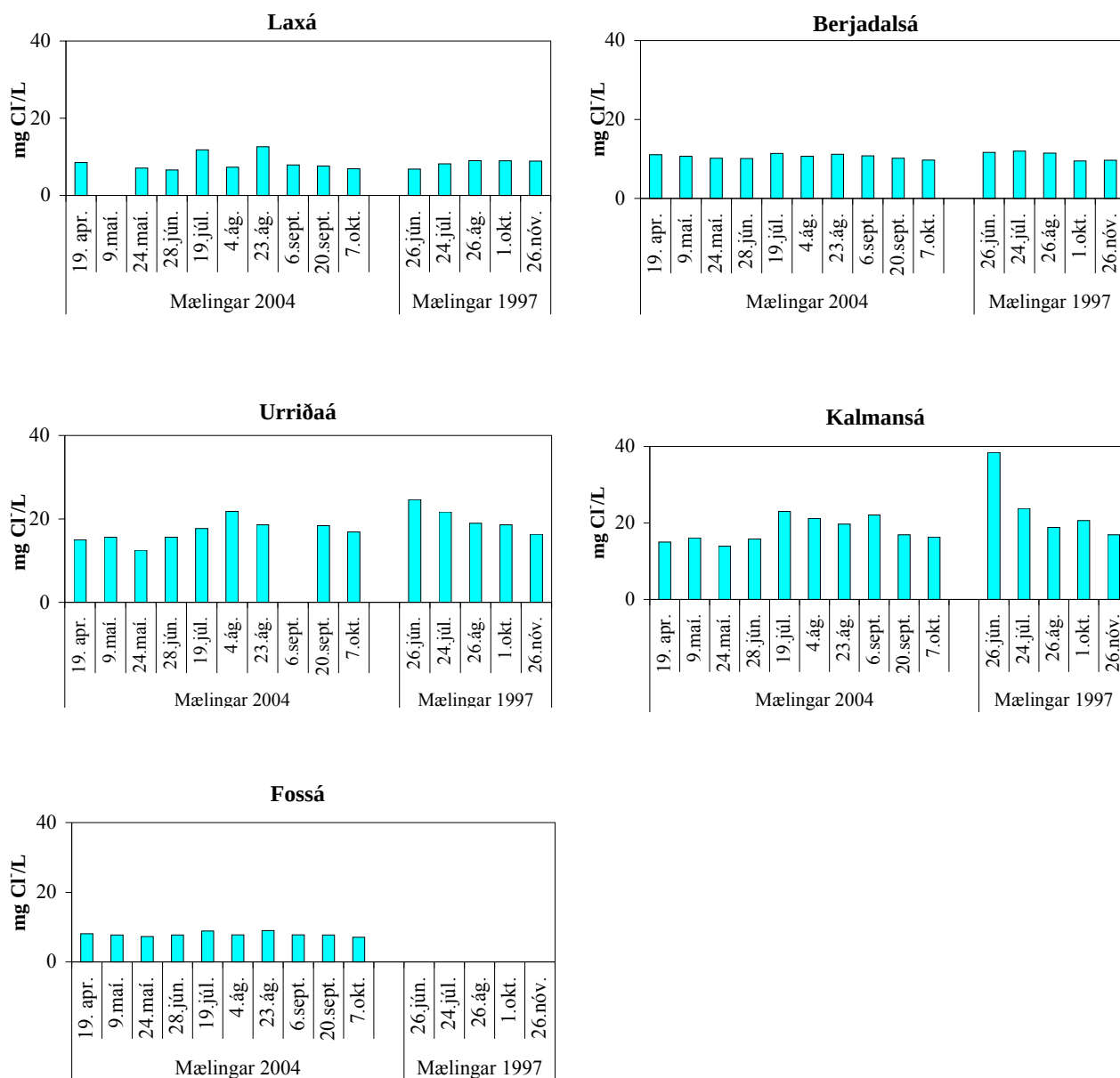
Mynd 5.3 Niðurstöður mælinga á sýrustigi í árn 2004 og 1997. Bakgrunnsmaðlingar eru frá 1997. Vöktunartímabilið var ekki það sama bæði árin, auk þess sem sýrustigsmælingar fóru ekki fram í Fossá árið 1997.



Mynd 5.4 Niðurstöður mælinga á sulfati í ám árin 2004 og 1997. Bakgrunns-mælingar eru frá 1997. Vöktunartímabilið var ekki það sama bæði árin, auk þess sem sulfat mælingar fóru ekki fram í Fossá árið 1997.



Mynd 5.5 Niðurstöður mælinga á flúor í ám árin 2004 og 1997. Bakgrunnsmaeilingar eru frá 1997. Vöktunartímabilið var ekki það sama bæði árin, auk þess sem flúor mælingar fóru ekki fram í Fossá árið 1997.



Mynd 5.6 Niðurstöður mælinga á klór í ám árin 2004 og 1997. Bakgrunns­mælingar eru frá 1997. Vöktunartímabilið var ekki það sama bæði árin, auk þess sem klórmælingar fóru ekki fram í Fossá árið 1997.

6 SAUÐFÉ



Mynd 6.1 Vöktunarstöðvar fyrir sauðfé í Hvalfirði.

6.1 HELSTU NIÐURSTÖÐUR

Á mynd 6.1 eru vöktunarstöðvar fyrir sauðfé í Hvalfirði. Í lömbum frá bæjunum norðan fjarðar mældist hærri styrkur flúors en haustið 2003, en lægra en haustið 2002. Þetta sýnir að lömbin endurspeglar fljótt og vel styrk flúors í umhverfinu. Styrkur flúors í tönnum og kjálkabeinum var innan skaðsemismarka, en í kindum frá Gröf II og Litlu Fellsöxl mældist styrkur flúors yfir þeim mörkum þar sem hætta er á tannskemmdum ($> 1000 \mu\text{g/g}$). Þrátt fyrir það sáust ekki nein ummerki um áreiti eða skemmdir af völdum flúors á tönnum og kjálkum.

6.2 ÁSTAND TANNA OG STYRKUR FLÚORS

Flúor safnast aðallega í tennur og bein dýra. Fyrstu einkenni flúorskaða eru venjulega tannskemmdir (gaddur) þegar glerungur og tannbein veikjast. Ung dýr eru mun viðkvæmari gagnvart flúor en eldri því flúor safnast fyrir í tannbeini og glerungi tanna sem eru að myndast og vaxa en eingöngu í ysta lag glerungs á tönnum eldri dýra¹⁶.

Haustið 2004 gekk vel að fá hausa af sláturfé frá vöktunarbæjunum og bárust alls 50 lambshauser og 31 af fullvaxta fé. Fjórir hauser af lömbum bárust frá öllum bæjunum, nema Kirkjubóli þaðan sem tveir hauser bárust. Hauser af eldra fé bárust frá 10 bæjum (bárust ekki frá Katanesi, Þaravöllum og Vogatungu). Sú nýjung var tekin upp haustið 2004 að safna upplýsingum um aldur fullvaxta fjár. Einnig fengust að hluta upplýsingar um aldur þeirra sem slátrað var haustið 2003.

Skoðun dýralæknis sýndi að tennur og kjálkar allra dýranna voru eðlileg og báru ekki merki um áreiti af völdum flúors¹⁷. Niðurstöður flúormælinga í höfuðbeinum¹⁸ eru teknar saman á **myndum 6.2-6.4** (lömb) og **6.5-6.7** (fullvaxta fé). Á **myndum 6.3** og **6.6** er tekinn saman meðalstyrkur flúors í höfuðbeinum lamba og fullvaxta fjár frá öllum vöktunarbæjum árin 1997-2005 og á **myndum 6.4** og **6.7** frá bæjum norðan fjarðar annars vegar og sunnan fjarðar hins vegar.

Niðurstöður vöktunar á sauðfé síðustu árin hafa sýnt að styrkur flúors í lömbum er mun betri mælikvarði á breytingar á flúormengun á vöktunarsvæðinu en styrkur flúors í fullvaxta fé. Rannsóknir hafa sýnt að flúor safnast í tennur og bein ofan á það magn sem fyrir er og að magnið eykst með auknum aldri dýra¹⁹. Hauser frá vöktunarbæjunum hafa hingað til verið af misgömlu fé. Sem dæmi um ofangreint var magn flúors í fé frá Litlu Fellsöxl nokkru meira haustið 2003 en 2004. Ástæðan er að hluta talin vera hærri aldur kinda haustið 2003 (7-9 vetra) en 2004 (2-4 vetra). Þetta gerir allan samanburð erfiðan hvað fullvaxta fé varðar. Mögulegt er að jafna aldur í sláturdýrum svo hægt verði að fylgjast með uppsöfnun til lengri tíma.

Í lömbum var styrkur flúors hærri frá bæjunum norðan fjarðar haustið 2004 en haustið 2003 (marktæk aukning á milli ára), en lægra en haustið 2002. Aukningin á milli áranna 2003 og 2004 var mest á þremur bæjum eða Katanesi, Gröf II og Kirkjubóli. Meðaltal flúors í hausum lamba frá bæjunum var 165 µg/g haustið 2004 en 91 µg/g haustið 2003 (45% aukning á milli ára). Þegar meðaltalið er eingöngu reiknað fyrir þá bæi sem tóku þátt í vöktuninni árin 2003 og 2004 (Kirkjuból, Katanes, Litla Fellsöxl og Skipanes) var það 124 µg/g haustið 2003 en 223 µg/g haustið 2004 (44% aukning á milli ára). Þetta sýnir að lömbin endurspeгла fljótt og vel styrk flúors í umhverfinu. Ekki varð aukning á styrk flúors á bæjunum sunnan fjarðar á milli ára.

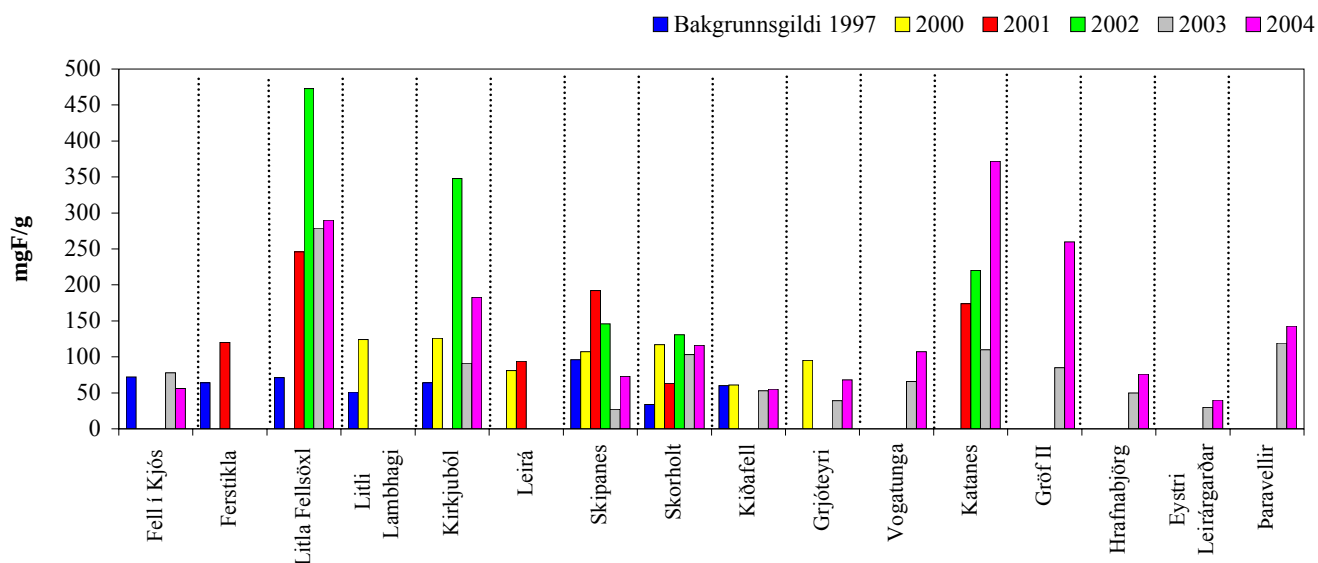
Meðaltal flúors í fullvaxta fé frá flestum vöktunarbæjunum var lægra haustið 2004 en haustið 2003, að undanskildu fé frá Gröf II.

¹⁶ Ongstad o.fl., 1994; Coote o.fl., 1997.

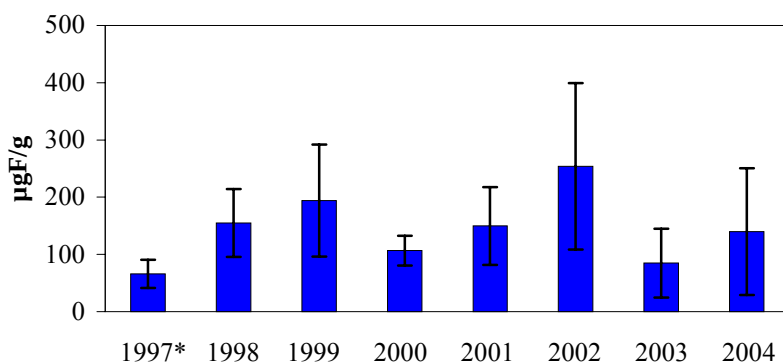
¹⁷ Kristín Björg Guðmundsdóttir, 2005.

¹⁸ Helgi F. Magnússon, 2005.

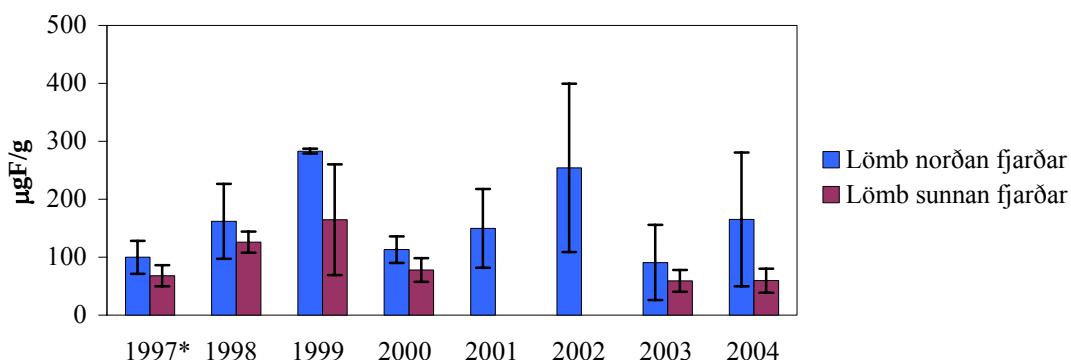
¹⁹ T.d. Zakrzewska o.fl., 2005.



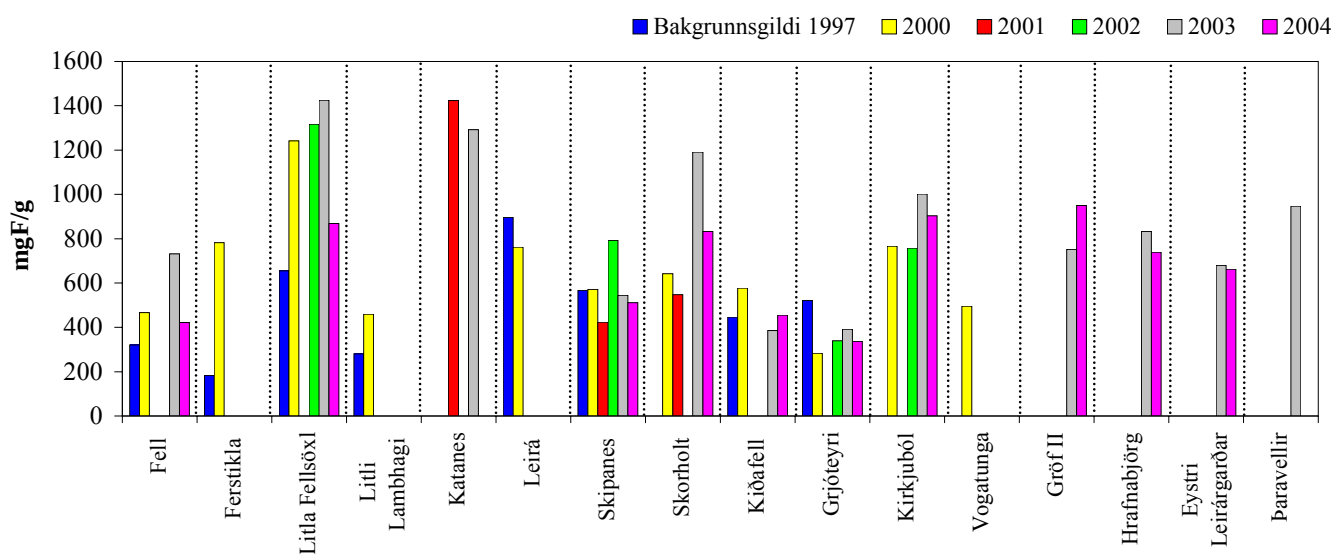
Mynd 6.2 Meðaltöl flúors í höfuðbeinum lamba árin 1997 og 2000-2004. Bakgrunnsgildi er frá 1997.



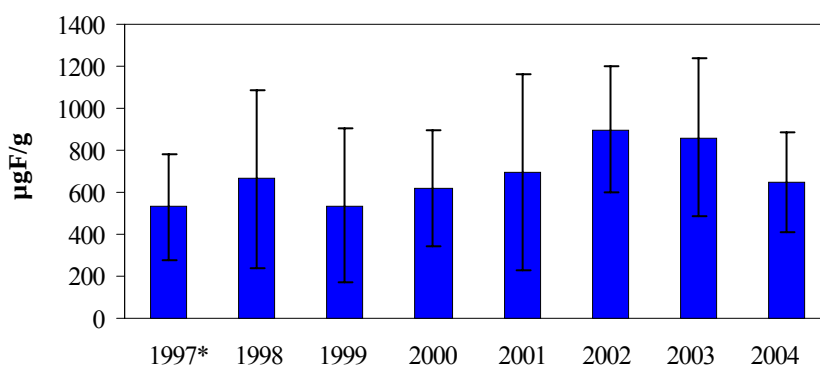
Mynd 6.3 Meðaltöl flúors í höfuðbeinum lamba frá öllum vöktunarbæjum í Hvalfirði árin 1997-2004. *Bakgrunnsgildi er frá 1997.



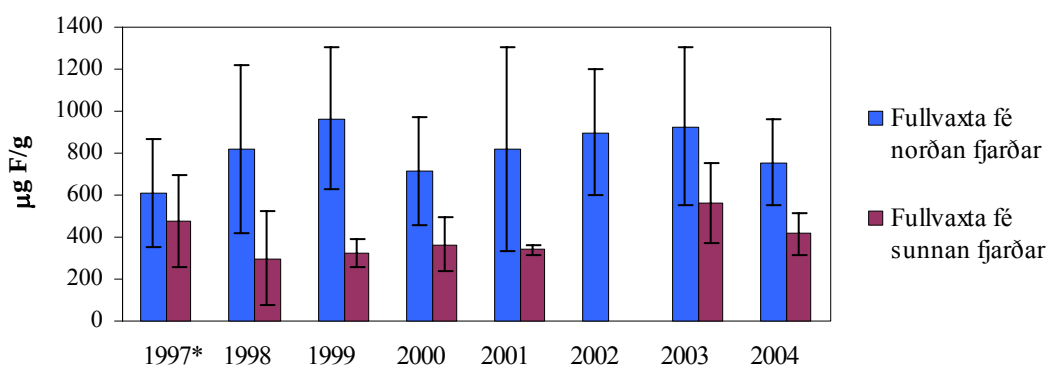
Mynd 6.4 Meðaltöl flúors í höfuðbeinum lamba frá vöktunarbæjum norðan fjarðar annars vegar og sunnan fjarðar hins vegar árin 1997-2004. *Bakgrunnsgildi er frá 1997.



Mynd 6.5 Meðaltöl flúors í höfuðbeinum fullvaxta fjár árin 1997 og 2000-2004. *Bakgrunnsgildi er frá 1997.



Mynd 6.6 Meðaltöl flúors í höfuðbeinum fullvaxta fjár frá öllum vöktunarbæjum í Hvalfirði árin 1997-2004. *Bakgrunnsgildi er frá 1997.



Mynd 6.7 Meðaltöl flúors í höfuðbeinum fullvaxta fjár frá vöktunarbæjum norðan fjarðar annars vegar og sunnan fjarðar hins vegar árin 1997-2004. *Bakgrunnsgildi er frá 1997.

Ef borin eru saman þolmörk grasbíta gagnvart flúor í fæðu (**tafla 6.1**²⁰) og niðurstöður flúormælinga í gróðri (**kafli 4**) er ljóst að frá því að vöktunarmælingar hófust í Hvalfirði hefur styrkur flúors í grasi aldrei farið yfir 20-30 µg/g þolmörkin.

Rannsóknir á áhrifum uppsöfnunar flúors í beinum ungra dádýra hafa sýnt að tannskemmdir af völdum flúors koma fram ef styrkur hans fer yfir 2000 µg/g (**tafla 6.2**²¹). Haustið 2004 var styrkur flúors í höfuðbeinum sauðfjár frá vöktunarbæjunum vel undir 2000 µg/g. Hæsti styrkur flúors var 1111 µg/g í 9-10 vetra kind frá Gröf II. Eins og sést í **töflu 6.2** er hættu á tannskemmdum þegar styrkurinn fer yfir 1000 µg/g, en dýralæknir sá þó ekki merki um slíkt.

Tafla 6.1 Þolmörk grasbíta gagnvart flúor í fæðu.

Dýrategund	Þolmörk flúors í fæðu [µg/g í þurrefni]
Sauðfé og geitur	20-30
Mjólkurkýr	≤30
Kálfar	40
Hestar	60

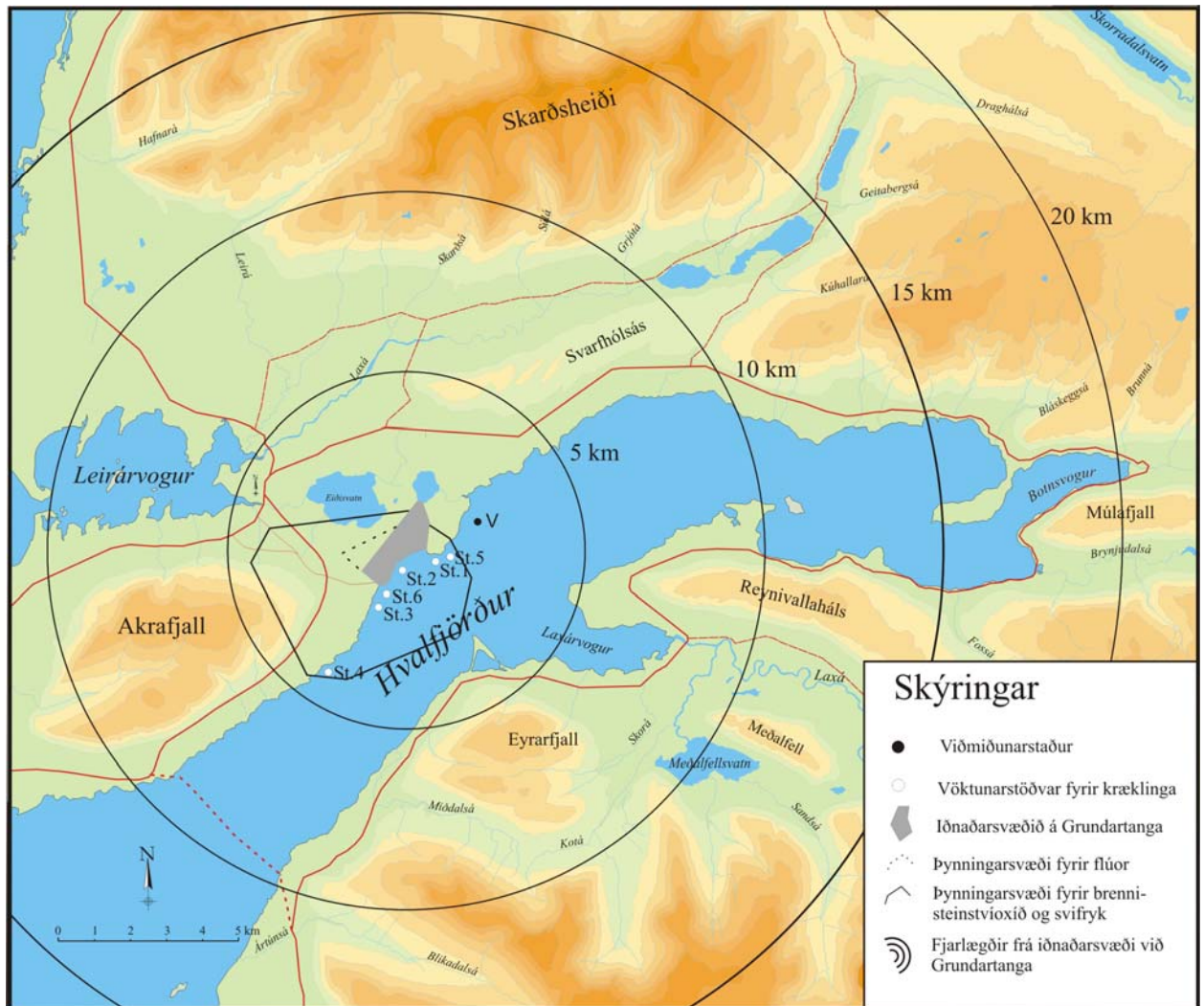
Tafla 6.2 Áhrif uppsafnaðs flúors í beinum ungra dádýra (1,5 ára).

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

²⁰ Ongstad o.fl., 1994.

²¹ Ongstad o.fl., 1994.

7 SJÁVARLÍFVERUR



Mynd 7.1 Vöktunarstöðvar fyrir sjávarlífríki í Hvalfirði.

7.1 HELSTU NIÐURSTÖÐUR

Á mynd 7.1 eru vöktunarstöðvar fyrir sjávarlífverur í Hvalfirði. Almennt má fullyrða að um lítil áhrif iðjuveranna á Grundartanga sé að ræða með tilliti til uppsöfnunar mengunarefna í sjávarlífverum í nágrenninu.

Á tveimur stöðvum, á 5 m dýpi, mældist þó uppsöfnun Benzo(a)pyrens í mjúkvef kræklinga. Talið er að hluti efnasambandsins komi úr flæðigryfjum við Grundartangahöfn. Styrkurinn reyndist þó lítill og vel undir þeim viðmiðunarmörkum sem sett hafa verið fyrir styrk aðskotaefna í kræklingi til mannelis í löndum ESB og Noregi. Kræklingurinn telst því neysluhæfur.

7.2 INNGANGUR, MARKMIÐ OG AÐFERÐIR

Árið 2004 fóru fram rannsóknir á ástandi sjávar við Grundartanga og Katanes m.t.t. mengunarefna þar sem að kræklingar voru hafðir í búrum á grunnsævi²². Rannsóknirnar eru hluti af vöktunaráætlun Norðuráls og nýttast einnig sem grunnástand fyrir hugsanlega rafskautaverksmiðju á Katanesi. Bakgrunnsgildi eru mælingar á viðmiðunarstað austan við Katanes sem og niðurstöður kræklingarannsókna sem fram fóru við Grundartanga árið 2000²³. Þá voru sömu 23 PAH samböndin mæld í mjúkvef ásamt kopar, krómi, nikkeli, sinki, arseni og kadmíum, og flúor í skel. Hluti stöðvanna var sá sami og í rannsóknunum sem hér er lýst (stöðvar 1-4) sem og viðmiðunarstaðurinn. Niðurstöður rannsókna árið 2000 gáfu ekki til kynna neina uppsöfnun mengunarefna í kræklinga. Í því sambandi verður þó að hafa í huga að búr með kræklingum sem höfð voru næst álveri Norðuráls, á stöð 2, glötuðust.

Af þeim mengunarefnum sem borist geta í sjó frá iðjuverunum á Grundartanga eru PAH sambönd talin skaðlegust lífríki sjávar, en þar á eftir þungmálmar. PAH sambönd myndast helst við ófullkominn bruna lífræns kolefnis og olíu. Gert er ráð fyrir að ef PAH mælast í kræklingum séu þau að hluta loftborin frá iðjuverunum á Grundartanga og að hluta úr flæðigryfjum við höfnina. Frá flæðigryfjunum er einkum gert ráð fyrir að losni leysanleg cýaníð, flúoríð og þungmálmar í sjó²⁴. Ef marktækur munur mælist á PAH innihaldi kræklinga á mismunandi dýpi er talið að hægt sé að meta hlutfallið milli loftborinna PAH sambönda og þeirra sem koma úr sjó.

Markmið rannsókna var að rækta kræklinga í búrum við sem bestar aðstæður til að meta hvort og í hve miklu mæli ofangreind efni og efnasambönd eru tekin upp af þeim. Slíkar rannsóknir sýna í raun hve aðgengileg mengunarefni eru sjávarlífverum. Kræklingur er öflugur síari sem dælir í gegnum sig sjó og síar frá lífrænar fæðuagnir, ásamt mengunarefnum sem safnast í vefi og/eða skel²⁵.

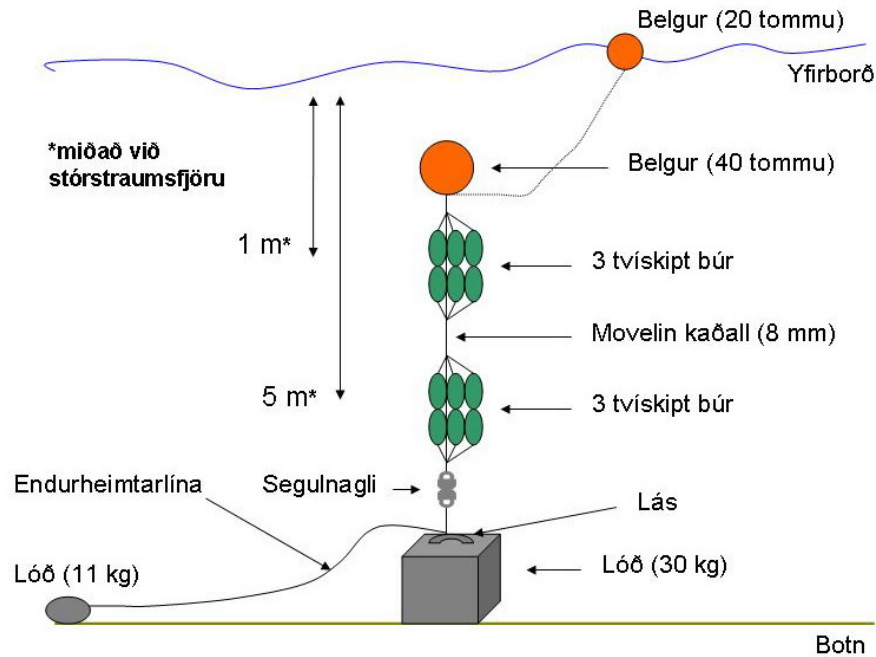
Í byrjun júní var kræklingum (úr ræktun á Bjarneyjarsandi) komið fyrir á viðmiðunarstað austan við Katanes (**mynd 7.1**). Átta lagnir með búrum voru útbúnar (**mynd 7.2**) og voru búrin ílangir tvískiptir pokar úr nælon neti. Þrír netpokar voru á hvoru dýpi, 1 og 5 m miðað við stórstraumsfjöru. Inn í hvert hólfi netpokanna voru valdir 20 kræklingar (40-45 mm langir) og var heildarfjöldi kræklinga á hvoru dýpi 120. Í byrjun júlí voru sex lagnir færðar á stöðvar og hafðar þar í tvo mánuði, en kræklingar úr einni lögn á viðmiðunarstaðnum settir í frysti (viðmiðunarsýni 1) og ein lögn höfð þar áfram í tvo mánuði (viðmiðunarsýni 2).

²² Jóhanna B. Weissshappel og Halldór P. Halldórsson, 2005; Guðjón Atli Auðunsson o.fl., 2005 (drög).

²³ Guðjón Atli Auðunsson o.fl., 2001.

²⁴ SINTEF, 2000.

²⁵ Chase o.fl., 2001; Granmo, 1995; Ølberg, 1998; Granby og Spliid, 1995.



Mynd 7.2. Skematísk mynd af lögn með netpokum.



Mynd 7.3 Tvískipt búr (netpoki).

Eftirlitsferð var farin eftir miðjan ágúst og um miðjan september voru lagnirnar teknar upp og kræklingarnir settir í frysti. Dánartíðni kræklinganna var metin og síðan 50 einstaklingar, um 55 mm langir, valdir af hvoru dýpi á hverri stöð og mældir m.t.t.

- vaxtar og holdafars.
- magns þurrefnis, ösku, salts og fitu, og styrks 23 PAH sambanda, þungmálma og annarra ólífrænna snefilefna (arsen, ál, kopar, sink, járn, króm, nikkell, kvikasilfur, blý, vanadíum, kadmíum, selen og heildar flúor í mjúkvef.

7.3 NIÐURSTÖÐUR MÆLIÞÁTTA OG ÁLYKTANIR

Í **töflu 7.1.** má sjá yfirlit yfir mæliþætti rannsóknarinnar og helstu niðurstöður. Rannsóknirnar í Hvalfirði sýndu að ef farið er eftir stöðluðum aðferðum, kræklingar í góðu ástandi valdir inn í búrin í upphafi, þess gætt að þeir geti síað inn sjó óhindrað allan tímann og hafi gott pláss til að vaxa, dafna þeir vel í búrunum. Einnig má gera ráð

fyrir að þeir endurspegli raunverulegt ástand sjávar og þann hluta mengunarefna sem aðgengilegur er sjávarlífverum²⁶.

Tafla 7.1. Mælipættir og helstu niðurstöður rannsókna í Hvalfirði árið 2004.

Mælipættir	Helstu niðurstöður
Dánartíðni krækings	2,5-10,8% (staðalfrávik: 2,36) Meðaltal: 6,4%
Í mjúkvef: 23 PAH sambönd	Yfirleitt var styrkur einstakra PAH sambanda undir greiningarmörkum. Áhrif iðjuveranna á Grundartanga sáust þó á stöðvum 3 og 6 þar sem styrkur benzo(a)pyrens mældist. Miðað við nýleg viðmiðunarmörk fyrir matvæli í löndum ESB og norsk umhverfismörk telst styrkurinn lítill.
Í mjúkvef: Arsen, ál, heildar flúor, kopar, sink, járn, króm, nikkel, kvikasilfur, blý, vanadíum, kadmíum og selen	Ekki mátti greina hækkun á efnunum umfram náttúrulegan bakgrunnsstyrk á Íslandi og styrk í kræklingum frá viðmiðunarstað.

7.3.1 DÁNARTÍÐNI

Eins og fram kemur í **töflu 7.1** var dánartíðni kræklinga í búrum lítil eða að meðaltali 6,4% sem jafngildir því að 8 kræklingar af 120 hafi verið dauðir á hvoru dýpi að meðaltali. Lítil munur var á dánartíðni milli stöðva og viðmiðunarstaðar. Stór hluti af þessum kræklingum er talinn hafa verið dauður eða nærri dauður í upphafi²⁷. Í slíkum rannsóknum er dánartíðni um og undir 10% talin vera eðlileg afföll því að í sumum tilfellum var erfitt að vera fullviss um ástand kræklinganna þegar þeir voru valdir inn í búrin. Með ríflegum fjölda kræklinga á hvoru dýpi, eða 120, var gert ráð fyrir afföllum því að aðeins þurfti 50 einstaklinga í mælingar. Ekki var munur á dánartíðni krækings á eins og fimm metra dýpi.

7.3.2 ÓLÍFRÆN SNEFILEFNI

Ekki greindist hækkun á styrk mældra ólífrænna snefilefna (arsen, ál, heildar flúor, kopar, sink, járn, króm, nikkel, kvikasilfur, blý, vanadíum, kadmíum og selen) í mjúkvef kræklinganna umfram náttúrulegan bakgrunnsstyrk á Íslandi og styrk í mjúkvef kræklinga frá viðmiðunarstað austan við Katanes. Styrkur efnanna að teknu tilliti til líffræðilegra þátta er ekki frábrugðinn þeim styrk sem mældist í kræklingi á þessu svæði í rannsóknunum árið 2000, þegar Norðurál hafði starfað í rúm tvö ár²⁸.

7.3.3 PAH SAMBÖND

Yfirleitt var styrkur einstakra PAH sambanda í mjúkvöðva krækings undir greiningarmörkum mæliaðferðarinnar sem eru 1 µg/kg á votvigtargrunni (v.þ.). Mæld voru 23 PAH sambönd og aðeins í tveimur tilvikum reyndist styrkur mælanlegur eða á 5 m dýpi á stöð 3, um 650 m vestan við grjóttgarð flæðigryfju Norðuráls, og á stöð 6, um

²⁶ Jóhanna B. Weissappel og Halldór P. Halldórsson, 2005

²⁷ Jóhanna B. Weissappel og Halldór P. Halldórsson, 2005.

²⁸ Guðjón Atli Auðunsson o.fl., 2001.

400 m vestan við grjótagarðinn. Í báðum tilvikum mældist benzo(a)pyren sem er talið geta valdið stökkbreytingum í erfðaeftni fruma í fiskum og hryggdýrum og jafnvel komið af stað krabbameini²⁹. Á stöð 3 mældist 0,84 µg/kg v.þ. en 3,3 µg/kg v.þ. á stöð 6. Benzo(a)pyren mældist ekki í rannsóknunum árið 2000. Þetta telst vera lítill styrkur ef tekið er mið af viðmiðunarmörkum fyrir benzo(a)pyren sem sett voru 1. apríl síðastliðinn fyrir matvæli í löndum ESB³⁰. Mörkin fyrir krækling eru 10 µg/kg v.þ. sem er mun hærri en mældist á stöðvum 3 og 6. Umhverfismörk Norðmanna taka til EPA16, benzo(a)pyren og krabbameinsvaldandi PAH-efna³¹. Fyrir benzo(a)pyren eru lægstu norsku umhverfismörkin 1 µg/kg v.þ. sem telst vera óverulega eða lítið mengað. Styrkur á bilinu 1-3 µg/kg v.þ. einkennir svæði sem er undir nokkrum mengunaráhrifum. Hins vegar eru lægstu mörk Norðmanna fyrir krabbameinsvaldandi PAH sambönd 10 µg/kg v.þ. og þar sem að benzo(a)pyren var eina efnið í þessum flokki sem mældist telst svæðið óverulega eða lítt mengað. Styrkur EPA16 mældist 4,44 g/kg v.þ. á stöð 3 og 6,15 g/kg v.þ. á stöð 6. Lægstu umhverfismörk Norðmanna fyrir þessi 16 efnasambönd eru 50 µg/kg v.þ. og er styrkurinn á stöðvunum tveimur því um 10% af þeim mörkum. Af ofangreindu má draga þá ályktun að áhrifa gæti frá iðjuverunum á Grundartanga en í litlu magni að svo stöddu.

7.4 ÁLYKTANIR

Almennt má fullyrða að um lítil áhrif iðjuveranna á Grundartanga sé að ræða í þá veru að mengunareftni safnist upp í sjávarlífverum í nágrenninu. Eftin og efnasamböndin sem mæld voru í mjúkvef kræklinganna eru talin líklegust til að sjást í umhverfi iðjuvera á borð við þau sem eru á Grundartanga. Á tveimur stöðvum vestan við flæðigryfju Norðuráls, á 5 m dýpi, mældist uppsöfnun benzo(a)pyrens í mjúkvef kræklinga. Talið er að hluti efnasambandsins komi úr flæðigryfjum við Grundartangahöfn. Sú staðreynd að hærri styrkur benzo(a)pyrens mældist á stöð 6 en á stöð 3 og að eingöngu greindist mælanlegur styrkur efnasambandsins á 5 m dýpi styður þetta. Styrkurinn reyndist þó lítill og vel undir þeim viðmiðunarmörkum sem sett hafa verið fyrir styrk aðskotaefna í kræklingi til manneldis í löndum ESB og Noregi. Framangreindar niðurstöður sýna að full ástæða er til að vakta vistkerfi sjávar í nágrenni iðjuveranna á Grundartanga með reglubundnu millibili.

²⁹ Canova o.fl., 1998.

³⁰ ESB, 2005.

³¹ Molvær o.fl., 1997.

8 HEIMILDIR

- Canova, S., Degan, P., Peters, L. D., Livingstone, D. R., Voltan R. og Venier, P., 1998. *Tissue dose, DNA adducts, oxidative DNA damage and CYP1A-immunopositive proteins in mussels exposed to waterborne benzo[a]pyrene*. Mutation Research, 399: 17-30.
- Chase, M. E., Jones, S. H., Hennigar, P., Sowles, J., Harding G. C. H., Freeman, K., Wells, P. G., Krahforst, C., Coombs, K., Crawford, R., Pederson, J. og Taylor, D., 2001. *Gulfwatch: Monitoring spatial and temporal patterns of trace metals and organic contaminants in the Gulf of Maine (1991-1997) with the Blue Mussel, Mytilus edulis L.* Mar. Poll. Bulletin, 42 (6): 490-504.
- Coote, G. E., Cutress, T.W., og Suckling, G. W., 1997. *Uptake of fluoride into developing sheep teeth, following the 1995 volcanic eruption of Mt Ruapehu, New Zealand*. Nuclear Instrument and Methods in Physics Research B, 130: 571-575.
- ESB, 2005. *Commission regulation no. 208/2005*. Official Journal of the European Union.
- Friðrik Pálmason, 1999. *Rannsóknir á efnamagni í jarðvegi, gróðri og heyjum í nágrenni iðnaðarsvæðisins á Grundartanga*. Áfangaskýrsla 1999. Rannsóknastofnun Landbúnaðarins.
- Friðrik Pálmason og Eric Skye, 1999. *An evaluation of the impact of airborne emissions from a planned aluminum smelter on vegetation in Reyðarfjörður*. A report to invest in Iceland-Energy marketing, RALA-012/UM-006.
- Granby, K. og Spliid, N. H., 1995. *Hydrocarbons and Organochlorines in Common Mussels from the Kattegat and the Belts and their relation to condition indices*. Mar. Poll. Bulletin, 30 (1): 74-82.
- Granmo, Å., 1995. *Mussels as a tool in impact assessment*. Phuket mar. biol. Cent. Spec. Publ., 15: 215-220.
- Guðjón Atli Auðunsson, Elín Árnadóttir, Helga Halldórsdóttir, Joan Ribera Vano, Martin Eamon Tighe og Þuríður Ragnarsdóttir, 2001. *Könnun á ólífrænum snefilefnum og arómatískum fjölhringjum (PAH) í kræklingi við Grundartanga, Hvalfirði, sumarið 2000*. Rannsóknarstofnun fiskiðnaðarins, verkefnaskýrsla 03-01.
- Guðjón Atli Auðunsson, Elín Árnadóttir, Taru Uusinoka og Þuríður Ragnarsdóttir, 2005 (drög að skýrslu). *Könnun á ólífrænum snefilefnum og fjölhringja kolvatnsefnum (PAH) í kræklingi við Grundartanga, Hvalfirði, haustið 2004*. Rannsóknarstofnun fiskiðnaðarins.
- Haagbjörg, A. og Vike, 1994. *Vegetasjonsskader i aluminiumverkenes nærmiljø*. Kafli 5 í Norsk aluminiumindustri og miljø. Project for effecstudier av industriutslipp fra primæraluminiumverk i Norge. Aluminiumindustriens Miljøsekretariat (AMS). Oslo 1994.
- Helgi F. Magnússon, 2005. *Flúor í beinum*. Niðurstöður mælinga til Jóhönnu B. Weissshappel, Hönnun hf., 10. mars 2005.

- Hermann Þórðarson og Hörður Þormar, 2004a. *Umhverfissvöktun á Grundartanga og í Hvalfirði. Síðari hluti apríl – fyrri hluti október 2004*. Iðntæknistofnun.
- Hermann Þórðarson og Hörður Þormar, 2004b. *Umhverfissvöktun í Hvalfirði, ferskvatnsmælingar*. Iðntæknistofnun.
- Horntvedt, R. og B. H. Öyen, 1994. *Effekter af fluorider på skog ved norske aluminiumsverk*. Kafli 6 í Norsk aluminiumsindustri og miljø. Project for effecstudier av industriutslipp fra primæraluminiumverk i Norge. Aluminiumindustriens Miljøsekretariat (AMS). Oslo 1994.
- Hörður Þormar, 2004. *Flúor í gróðri við Hvalfjörð 2004*. Niðurstöður mælinga til Jóhönnu B. Weissappel, Hönnun hf., 20. desember 2003.
- Jóhanna B. Weissappel og Halldór P. Halldórsson, 2005. *Mengunarálag í vistkerfi sjávar utan við Grundartanga og Katanes í Hvalfirði vaktað með hjálp kræklinga. Undirbúningur búra, og meðhöndlun og ræktun kræklinga í búrum*. Hönnun hf. og Rannsóknastofa í sjávarlíffræði við Háskóla Íslands.
- Kristín Björg Guðmundsdóttir, 2005. *Athugun á beinum og tönnum úr sauðfé vegna álvers á Grundartanga*. Niðurstöður mælingar til Jóhönnu B. Weissappel, Hönnun hf., 15. mars 2005.
- 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.
- Molvær, J., Knutzen, J., Magnusson, J., Rygg, B., Skei, J. og Sørensen, J., 1997. *Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann*. Vejledning 97:03 Statens forurensningstilsyn (SFT).
- 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.
- SINTEF, 2000. *Deponering af katodeaffall*. Kjemi og RF-Rogalandsforskning.
- Vike, E., 1999. *Air-pollutant dispersal patterns and vegetation damage in the vicinity of three aluminium smelters in Norway*. The Science of the Total Environment, 236: 75-90.
- Weinstein og Davison, 2003. *Native plant species suitable as bioindicators and biomonitors for airborne fluoride*. Environmental Pollution, 125: 3-11.
- Zakrzewska, H., Machoy-Mokrzyńska, A., Materny, M., Gutowska, I. og Machoy, Z., 2005. *Estimation of fluoride distribution in the mandible and teeth of the red deer (Cervus elaphus L.) from industrially polluted areas in Poland*. Archives of Oral Biology.
- Ølberg, E., 1998. *Blue mussel (Mytilus edulis) as a bioindicator for Marine contamination with Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH) and heavy metals*. M.Sc. Applied Environmental Science. RF-Rogland Research, Stavanger Norway.