

Mælingar á mengandi efnum á og við Ísland

– niðurstöður vöktunarmælinga –



mars 1999
Starfshópur um mengunarmælingar
Umhverfissráðuneytið

Ljósmynd á forsíðu: Karl Gunnarsson

Í rit þetta skal vitna með eftirfarandi hætti:

Davíð Egilson, Elísabet D. Ólafsdóttir, Eva Yngvadóttir, Helga Halldórsdóttir, Flosi Hrafn Sigurðsson, Gunnar Steinn Jónsson, Helgi Jensson, Karl Gunnarsson, Sigurður A. Þráinsson, Andri Stefánsson, Hallgrímur Daði Indriðason, Hreinn Hjartarson, Jóhanna Thorlacius, Kristín Ólafsdóttir, Sigurður R. Gíslason og Jörundur Svavarsson, 1999. *Mælingar á mengandi efnum á og við Ísland. Niðurstöður vöktunarmælinga*. Starfshópur um mengunarmælingar, mars 1999, Reykjavík. 138 bls.

ISBN 9979-839-15-5

Prentun: Steindórsprent - Gutenberg.

Efnisyfirlit

EFNISYFIRLIT	1
MYNDASKRÁ	4
TÖFLUSKRÁ	5
SKÝRINGARTEXTAR	7
HELSTU SKAMMSTAFANIR	8
01 UMHVERFISVÖKTUN Á ÍSLANDI	9
02 ÚRKOMA OG ANDRÚMSLOFT	10
02.1 AÐALEFNI OG ÞUNGMÁLMAR Í ÚRKOMU OG ANDRÚMSLOFTI	10
02.2 ÞRÁVIRK LÍFRÆN EFNI Í ÚRKOMU OG ANDRÚMSLOFTI.....	11
02.3 GEISLAVIRK EFNI Í ÚRKOMU, SVIFRYKI OG ANDRÚMSLOFTI.....	12
03 STRAUMVÖTN	13
04 SJÓR	14
04.1 NÆRINGARSÖLT.....	14
04.2 GEISLAVIRK EFNI.....	14
05 SJÁVARSET	15
05.1 AÐALEFNI OG ÞUNGMÁLMAR Í SJÁVARSETI.....	15
05.2 ÞRÁVIRK LÍFRÆN EFNI Í SJÁVARSETI.....	16
05.3 GEISLAVIRK EFNI Í SJÁVARSETI.....	16
06 LÍFRÍKI HAFSINS	17
06.1 ÞUNGMÁLMAR	17
06.2 ÞRÁVIRK LÍFRÆN EFNI.....	20
06.3 GEISLAVIRK EFNI Í LÍFRÍKI HAFSINS	25
07 MENN, ÖNNUR LANDSPENDÝR OG FUGLAR	26
07.1 ÞUNGMÁLMAR OG ÞRÁVIRK LÍFRÆN EFNI Í BÚFJÁRAFURÐUM.....	26
07.2 ÞRÁVIRK LÍFRÆN EFNI OG ÞUNGMÁLMAR Í FUGLI.....	26
07.3 ÞUNGMÁLMAR OG ÞRÁVIRK LÍFRÆN EFNI Í MÆÐRUM.....	27
07.4 GEISLAVIRK EFNI Á LANDI	27
08 STÖÐUVÖTN	28
08.1 EFNAINNIHALD STÖÐUVATNA.....	28
08.2 LÍFRÍKI STÖÐUVATNA	29
08.3 GEISLAVIRK EFNI Í STÖÐUVÖTNUM.....	29
09 FRAMHALD RANNSÓKNA	30
1 INNGANGUR	31
1.1 BAKGRUNNUR	31
1.2 AMSUM-HÓPURINN.....	32
1.3 RANNSÓKNARAÐILAR OG EFNISTÖK	33
1.4 STAÐA VERKEFNISINS	35
1.5 ÞAKKIR	35
2 MENGUNAREFNI Í UMHVERFINU	37
2.1 HRINGRÁS VATNS OG EFNA.....	37
2.2 FLOKKUN MENGANDI EFNA.....	38
2.3 ÞRÁVIRK LÍFRÆN EFNI.....	39
2.3.1 Áhrif.....	39

2.3.2 Dreifing.....	41
2.3.3 Flokkun efna eftir uppruna.....	42
2.4 ÞUNG MÁLMAR.....	44
2.5 GEISLAVIRK EFNI.....	46
2.5.1 Geislavirk efni í náttúrunni af manna völdum.....	46
2.5.2 Líffræðileg áhrif jónandi geislunar og tölulegt mat á áhrifum hennar.....	47
2.6 NÆRINGARSÖLT.....	48
3 AÐSTÆÐUR VIÐ ÍSLAND.....	49
3.1 HAFSTRAUMAR.....	49
3.2 STRANDSTRAUMAR.....	50
3.3 ÁSTAND Í HAFINU.....	51
3.4 ANDRÚMSLOFTIÐ.....	51
3.5 FÆÐUVEFIR LÍFRÍKISINS.....	52
4 ÚRKOMA OG ANDRÚMSLOFT.....	55
4.1 AÐALEFNI OG ÞUNG MÁLMAR Í ÚRKOMU.....	55
4.2 UPPRUNI EFNA Í ÚRKOMU.....	58
4.3 ÞUNG MÁLMAR Í ANDRÚMSLOFTI.....	61
4.4 ÞRÁVIRK LÍFRÆN EFNI Í LOFTI OG ÚRKOMU.....	62
4.5 GEISLAVIRKNI Í ÚRKOMU, SVIFRYKI OG ANDRÚMSLOFTI.....	65
5 STRAUMVÖTN.....	67
5.1 AÐALEFNI.....	67
5.2 ÞUNG MÁLMAR OG ÖNNUR SNEFILEFNI.....	69
5.3 EFNISFLUTNINGAR.....	70
5.4 UPPRUNI EFNA OG HREYFANLEIKI.....	71
5.5 BREYTING MEÐ TÍMA.....	74
6 SJÓR.....	77
6.1 NÆRINGAREFNI Í SJÓ.....	77
6.2 GEISLAVIRK EFNI Í SJÓ.....	78
7 SJÁVARSET.....	83
7.1 AÐALEFNI OG SNEFILEFNI Í SJÁVARSETI.....	83
7.2 ÞRÁVIRK LÍFRÆN EFNI Í SJÁVARSETI.....	85
7.3 GEISLAVIRK EFNI Í SJÁVARSETI.....	86
7.4 UPPRUNI EFNA Í SETINU.....	87
8 LÍFRÍKIÐ Í HAFINU.....	91
8.1 SÝNATAKA.....	91
8.2 LÍFFRÆÐILEGUR BREYTILEIKI.....	93
8.3 ÞUNG MÁLMAR Í LÍFRÍKINU.....	95
8.3.1 Þorskur.....	95
8.3.2 Samanburður við önnur hafssvæði.....	102
8.3.3 Kræklingur.....	104
8.3.4 Sandkoli.....	106
8.3.5 Aðrar tegundir.....	107
8.4 ÞRÁVIRK LÍFRÆN EFNI.....	108
8.4.1 Þorskur.....	108
8.4.2 Kræklingur.....	114
8.4.3 Sandkoli.....	114
8.4.4 Aðrar tegundir.....	115
8.5 TRÍBÚTYLTIN Í NÁKUÐUNGUM.....	116
8.6 GEISLAVIRK EFNI Í LÍFRÍKI HAFSINS.....	118
8.6.1 Geislavirk efni í fiski.....	119
8.6.2 Geislavirk efni í sel og hval við Ísland.....	119
8.6.3 Geislavirk efni í þangi.....	119
9 MENN, ÖNNUR LANDSPENDÝR OG FUGLAR.....	123
9.1 ÞUNG MÁLMAR OG SELEN Í BLÓÐI ÍSLENSKRA MÆÐRA.....	123
9.2 ÞUNG MÁLMAR Í ÍSLENSKUM BÚFJÁRAFURÐUM OG FUGLUM.....	123
9.3 ÞRÁVIRK LÍFRÆN EFNI Í MÖÐURMIÓLK.....	125

9.4 ÞRÁVIRK LÍFRÆN EFNI Í FUGLI.....	126
9.5 ÞRÁVIRK LÍFRÆN EFNI Í BÚFJÁRAFURÐUM.....	127
9.6 GEISLAVIRK EFNI Í BÚFJÁRAFURÐUM OG FUGLI	127
9.7 GEISLAVIRK EFNI Í JARÐVEGI OG GRÓÐRI.....	129
9.8 GEISLAVIRK EFNI Í HREINDÝRAKJÖTI, ÆÐARFUGLI OG Í ÍSBIRNL.....	129
10 STÖÐUVÖTN.....	133
10.1 ÓLÍFRÆN OG LÍFRÆN EFNI Í STÖÐUVÖTNUM.....	133
10.2 UPPRUNI EFNANNA	135
10.3 ÁBURÐAREFNI	135
10.4 ÞUNGMÁLMAR OG ÞRÁVIRK LÍFRÆN EFNI Í LÍFRÍKIÞINGVALLAVATNS.....	136
10.5 GEISLAVIRK EFNI Í STÖÐUVÖTNUM.....	138

Myndaskrá

Mynd 02.1. Styrkur valinna þungmálma í úrkomu.....	10
Mynd 02.2. Styrkur þrávirkra lífrænna efna í úrkomu og andrúmslofti.....	12
Mynd 04.1. Styrkur Cs-137 í mismunandi sjávargerðum í yfirborðslögum sjávar umhverfis Ísland.....	14
Mynd 05.1. Styrkur nokkurra þungmálma í sjávarseti við Ísland.....	15
Mynd 05.2. Styrkur þrávirkra lífrænna efna í sjávarseti við Ísland.....	16
Mynd 06.1. Reiknilíkan til að meta breytingar á magni mengandi efna í lífverum.....	17
Mynd 06.2. Þróun þungmálma í lífríki hafsins á árunum 1990-1996.....	18
Mynd 06.4. Þrávirk lífræn efni í þorsklifur á NA-miðum 1990-1996.....	21
Mynd 06.5. Vensl magns PCB-153 afleiðunnar við fitumagn í þorsklifur af Íslandsmiðum 1991-1996.....	22
Mynd 06.6. Samband DDE efna og fitu í þorsklifur af Íslandsmiðum 1991-1996.....	22
Mynd 06.7. Breytingar á styrk PCB-7 og DDE efna í þorsklifur frá ári til árs.....	23
Mynd 06.8. Þrávirk lífræn efni í þorski, sandkola og kræklingi við Ísland.....	24
Mynd 2.1. Hringrás vatns.....	37
Mynd 2.2. Hringrás efna.....	38
Mynd 2.3. Hnatteimingarlíkan fyrir flutning þrávirkra lífrænna.....	41
Mynd 2.4. Bygging DDT.....	42
Mynd 2.5. Bygging HCH.....	42
Mynd 2.6. Bygging PCB.....	43
Mynd 2.7. Bygging HCB.....	44
Mynd 2.8. Bygging Díbenzó-paradíoxín.....	44
Mynd 2.9. Bygging Díbenzó-fúran.....	44
Mynd 2.10. Styrkur kadmíns í mosa á Íslandi árið 1995.....	44
Mynd 2.11. Styrkur blýs í mosa á Íslandi árið 1995.....	45
Mynd 2.12. Uppruni þungmálma í andrúmslofti.....	45
Mynd 3.1. Hafstraumar, sjávarhiti og sjávarbotn við Ísland.....	49
Mynd 3.2. Hafstraumar á íslenskum og nálægum hafsvæðum.....	50
Mynd 3.3. Strandstraumar við Faxaflóa.....	50
Mynd 3.4. Meðalloftþrýstingur yfir árið umhverfis Ísland.....	51
Mynd 3.5. Hlutfallsleg tíðni vindáttá í janúar.....	52
Mynd 3.6. Fæðuvefur á landi.....	52
Mynd 3.7. Fæðuvefur í sjó.....	53
Mynd 4.1. Vöktunarstaðir fyrir úrkomu og loft.....	55
Mynd 4.2. pH í mánaðarsýnum úrkomu á Írafossi og í Reykjavík 1992-1996.....	56
Mynd 4.3. Styrkur kadmíns, króms, kopars, nikkels, blýs og sinka.....	57
Mynd 4.4. Helstu staðir og svæði í umræðu um loft- og úrkomugögn.....	57
Mynd 4.5. Uppruni efna í úrkomu á Írafossi.....	60
Mynd 4.6. Uppruni efna í úrkomu í Reykjavík.....	61
Mynd 4.7. Styrkur þungmálma í andrúmslofti sem hlutfall af styrk í bergi.....	62
Mynd 4.8. Styrkur þrávirkra lífrænna efna í andrúmslofti, svifryki og úrkomu.....	63
Mynd 4.9. Styrkur algengustu þrávirkra lífrænna efna í andrúmslofti.....	63
Mynd 4.10. Styrkur algengustu þrávirkra lífrænna efna í úrkomu.....	64
Mynd 5.1. Mismunandi leiðir aurburðar.....	67
Mynd 5.2. Sýnatökustaðir straumvatna.....	67
Mynd 5.3. Árstíðasveiflur í styrk nítrats og fosfats í Þjórsá við Urriðafoss.....	68
Mynd 5.4. Uppruni efna í Þjórsá við Urriðafoss 1996-1997.....	73
Mynd 5.5. Magn efna sem berst af vatnasviði Þjórsár.....	73
Mynd 5.6. Samanburður á styrk efna í straumvötnum á Suðurlandi 1972-1973 og 1996-1997.....	74
Mynd 6.1. Meðalstyrkur nítrats og fosfats í sjó.....	77
Mynd 6.2. Efni í sjónum undan Ánanaustum.....	78
Mynd 6.3. Styrkur Cs-137 í yfirborðslögum sjávar frá tveimur mismunandi tímabilum.....	79
Mynd 6.4. Ferð mengunarefna frá Sellafield á íslensk hafsvæði.....	79
Mynd 6.5. Losun Cs-137 og Tc-99 frá endurvinnslustöðinni í Sellafield.....	80
Mynd 6.6. Samband seltu, hita og geislavirkni í yfirborðssjó við Ísland.....	81
Mynd 7.1. Setsýni 1992-1996.....	83
Mynd 7.2. Samtala sjö PCB-efna í sjávarseti við Ísland.....	85
Mynd 7.3. Lega þeirra fjögurra svæða þar sem unnt reyndist að ná setkjörnum.....	86
Mynd 7.4. Niðurstöður mælinga á styrk Cs-137 í setkjörnum.....	87
Mynd 7.6. Hlutfallsleg breyting kadmíns, blýs og kvikasilfurs.....	88

Mynd 8.1. Sýnatökustaðir þorsks, sandkola og kræklinga.....	91
Mynd 8.2. Venzl lifrarþunga, þurrefnis- og fituinnihalds lifrar í þorski á Íslandsmiðum.....	93
Mynd 8.3. Líffræðilegur breytileiki í hópsýnum.....	94
Mynd 8.4. Breytingar á líffræðilegum þáttum í sýnum.....	94
Mynd 8.5. Kadmín í lifur úr 30-45 cm stórum þorski.....	96
Mynd 8.6. Venzl kadmíns og fitu í þorski af NA-miðum.....	97
Mynd 8.7. Magn kadmíns í þorski af Íslandsmiðum.....	98
Mynd 8.8. Venzl kadmínmagns og fitumagns í mismunandi lengdarflokkum þorsks.....	99
Mynd 8.9. Styrkur þungmálma í þorski af Íslandsmiðum.....	100
Mynd 8.10. Venzl kopars og sinks í lifur úr 30-45 cm löngum þorski og fituhlutfalls hennar.....	100
Mynd 8.11. Meðalstyrkur mangans, járns, arsens og selens í 30-45 cm löngum þorski.....	101
Mynd 8.12. Venzl styrks þungmálma og fituhlutfalls í þorski af NA-miðum.....	102
Mynd 8.13. Samanburður á meðalstyrk þungmálma í þorski á Íslandsmiðum og frá öðrum miðum.....	103
Mynd 8.14. Meðalstyrkur þungmálma í kræklingi árin 1990-1995 umhverfis Ísland.....	105
Mynd 8.15. Kadmín, blý og sink í kræklingi frá Hvalfjarðareyri.....	106
Mynd 8.16. Styrkur þungmálma í lifur sandkola við Ísland 1990-1995.....	107
Mynd 8.17. Þrávirk lífræn efni í lifur 30-45 cm löngum þorski á Íslandsmiðum 1991-1996.....	109
Mynd 8.18. Venzl styrks PCB-efna og fituhlutfalls lifrar og magns PCB-efna og fitumagns.....	110
Mynd 8.19. Venzl magns PCB-efna við fitumagn í þorski af NA-miðum.....	111
Mynd 8.20. Venzl styrks HCB efna og fituhlutfalls lifrar og magns og fitumagns.....	112
Mynd 8.21. Venzl styrks DDE efna og fituhlutfalls lifrar og magns og fitumagns.....	112
Mynd 8.22. Meðalstyrkur þrávirkra lífrænna efna í lifur sandkola 1991-1995.....	115
Mynd 8.23. Sýnatökustaðir nákuðungs.....	116
Mynd 8.24. Hlutfall vanskapaðra kvendýra nákuðungs við strendur Íslands.....	117
Mynd 9.1. Styrkur kadmíns og kvikasilfurs í íslensku sauðfé 1991-1992.....	124
Mynd 9.2. Styrkur Cs-137 í lambakjöti, 1989-1997.....	128
Mynd 10.1. Staðsetning þeirra stöðuvatna sem rannsóknin náði til.....	133
Mynd 10.2. Uppruni efna í stöðuvötnum á Íslandi.....	135
Mynd 10.3. Heildarstyrkur fosfórs og köfnunarefnis í stöðuvötnum á Íslandi.....	136

Töfluskrá

Tafla 01.1. Mengunarmælingar sem fjallað er um í skýrslunni.....	9
Tafla 02.1. Þungmálmar í úrkomu.....	11
Tafla 02.2. Samanburður á styrk þungmálma í andrúmslofti.....	11
Tafla 02.3. Styrkur þrávirkra lífrænna efna í úrkomu á Stórhöfða.....	11
Tafla 02.4. Þrávirk lífræn efni í andrúmslofti.....	12
Tafla 03.1. Framburður efna með straumvötnum á Suðurlandi.....	13
Tafla 03.2. Efnainnihald straumvatna.....	13
Tafla 05.1. Meðalstyrkur þungmálma í sjávarseti.....	15
Tafla 05.2. Meðalstyrkur þrávirkra lífrænna efna í sjávarseti við Ísland.....	16
Tafla 06.1. Meðalstyrkur þungmálma í fiski og kræklingi við Ísland.....	17
Tafla 06.2. Hlutfallsstuðlar fyrir kadmín, sink og kopar í þorsklifur.....	18
Tafla 06.3. Samanburður á hlutfallsstuðlum fyrir kadmín í þorsklifur.....	19
Tafla 06.4. Þrávirk lífræn efni í fiski.....	20
Tafla 06.5. Fylgni milli þrávirkra lífrænna efna í þorsklifur á NA-miðum.....	21
Tafla 06.6. Hlutfallsstuðlar fyrir þrávirk lífræn efni.....	21
Tafla 06.7. Hlutfallsstuðlar fyrir þrávirk lífræn efni eftir miðum.....	23
Tafla 06.8. Hlutfall vanskapaðra kvendýra nákuðungs.....	24
Tafla 06.9. Styrkur Cs-137 í lífríki hafisins.....	25
Tafla 07.1. Meðalstyrkur þungmálma í íslenskum sláturafurðum 1991-1997.....	26
Tafla 07.2. Meðalstyrkur þrávirkra lífrænna efna í íslenskum sláturafurðum 1992-1997.....	26
Tafla 07.3. Þrávirk lífræn efni í fitu fugla.....	27
Tafla 07.4. Meðalstyrkur þungmálma í blóði mæðra.....	27
Tafla 07.5. Meðalstyrkur þrávirkra lífrænna efna í móðurmjólk.....	27
Tafla 08.1. Miðgildi fyrir styrk heildarfosfórs og heildarköfnunarefnis í stöðuvötnum í Norður-Evrópu.....	29
Tafla 08.2. Meðalstyrkur þungmálma og þrávirkra lífrænna efna í afbrigðum.....	29
Tafla 1.1. Yfirlit yfir mengunarmælingar sem fjallað er um í skýrslunni.....	31
Tafla 2.1. Mengunarefni í sjó.....	39
Tafla 2.2. Áhrif þrávirkra lífrænna efna á lífverur.....	39
Tafla 4.1. Vegið meðaltal pH gilda í úrkomu yfir árið 1996.....	56

Tafla 4.2	Meðalstyrkur efna í úrkomu á Írafossi og í Reykjavík 1992-1996.....	58
Tafla 4.3.	Samanburður á styrk efna í úrkomu á Írafossi og í Reykjavík og í bergi og sjó.....	60
Tafla 4.4.	Þungmálmar, ál og klór í andrúmslofti á Stórhöfða 1995-1996.....	61
Tafla 4.5.	Samanburður á styrk þungmálma í andrúmslofti.....	61
Tafla 4.6.	Samanburður á styrk þrávirkra lífrænna efna í andrúmslofti.....	64
Tafla 4.7.	Samanburður á styrk þrávirkra lífrænna efna í úrkomu á Stórhöfða og í NV-Evrópu.....	65
Tafla 4.8.	Vetrarákoma þrávirkra lífrænna.....	65
Tafla 5.1.	Meðalstyrkur aðalefna og næringarsalta í straumvötum á Suðurlandi.....	68
Tafla 5.2.	Styrkur valinna málma í Brúará, Ytri-Rangá, Þjórsá við Sandafell og Ölfusá.....	69
Tafla 5.3.	Meðalstyrkur málma í straumvötum á Suðurlandi.....	70
Tafla 5.4.	Framburður efna með straumvötum á Suðurlandi.....	70
Tafla 5.5.	Samanburður á efnastyrk nokkurra straumvatna.....	74
Tafla 6.1.	Meðalstyrkur fosfats og nítrats við yfirborð Atlants- og pólsjávar við Ísland.....	77
Tafla 6.2.	Viðmiðunargildi hita og seltu fyrir mismunandi sjógerðir við Ísland.....	80
Tafla 6.3.	Cs-137 í mismunandi sjógerðum við Ísland.....	81
Tafla 7.1.	Styrkur aðal- og snefilefna í sjávarseti við Ísland.....	84
Tafla 7.2.	Meðalstyrkur þungmálma í sjávarseti.....	84
Tafla 7.3.	Meðalstyrkur þrávirkra lífrænna efna í sjávarseti.....	85
Tafla 7.4.	Staðsetning lags sem sýndi hámarksstyrk Cs-137 og áætlaður aldur þess.....	86
Tafla 8.1.	Yfirlit yfir fjölda hópsýna sem notuð voru í greiningar á þungmálmum í þorski.....	95
Tafla 8.2.	Hlutfallsstuðlar fyrir kadmín.....	97
Tafla 8.3.	Samanburður á hlutfallsstuðlum fyrir kadmín.....	97
Tafla 8.4.	Hlutfallsstuðlar fyrir sink og kopar.....	99
Tafla 8.5.	Meðalstyrkur þungmálma og snefilefna í holdi og fitu þorsks af Íslandsmiðum.....	104
Tafla 8.6.	Meðalstyrkur nokkurra snefilefna í kræklingi frá 1990-1995 umhverfis Ísland.....	106
Tafla 8.7.	Styrkur þungmálma í síld, ískóð og sel.....	107
Tafla 8.8.	Fylgnistuðlar þrávirkra efna við fitu.....	110
Tafla 8.9.	Hlutfallsstuðlar fyrir þrávirk lífræn efni í þorski af NA-miðum.....	111
Tafla 8.10.	Hlutfallsstuðlar fyrir þrávirk lífræn efni eftir miðum í þorski.....	111
Tafla 8.11.	Fylgni milli þrávirkra lífrænna efna í þorsklifur á NA-miðum.....	113
Tafla 8.12.	Samanburður á meðalstyrk þrávirkra lífrænna efna í þorsklifur.....	113
Tafla 8.13.	Meðalstyrkur PCB-efna í kræklingi.....	114
Tafla 8.14.	Meðalstyrkur PCB í kræklingi á ýmsum svæðum.....	114
Tafla 8.15.	Meðalstyrkur þrávirkra lífrænna efna í síld og sel.....	115
Tafla 8.16.	Hlutfall vanskapaðra kvendýra nákuðungs.....	118
Tafla 8.17.	Sýnatökustaðir nákuðungs.....	118
Tafla 8.18.	Meðalstyrkur Cs-137 á árunum 1989-1996 í fiski við Ísland.....	119
Tafla 8.19.	Meðalstyrkur Cs-137 í þangi við Ísland á árunum 1989-1996.....	119
Tafla 9.1.	Styrkur þungmálma í blóði mæðra.....	123
Tafla 9.2.	Meðalstyrkur þungmálma í íslenskum sláturafurðum 1991-1997.....	124
Tafla 9.3.	Samanburður á meðalstyrk þungmálma í lifur sauðfjár.....	125
Tafla 9.4.	Þrávirk lífræn efni í móðurmjólk.....	126
Tafla 9.5.	Þrávirk lífræn efni í fitu fugla.....	126
Tafla 9.6.	Samanburður á styrk þrávirkra lífrænna efna í brjóstvöðva/lifur æðarfugls.....	127
Tafla 9.7.	Meðalstyrkur þrávirkra lífrænna efna í fitu í íslenskum sláturafurðum.....	127
Tafla 10.1.	Efnainnihald stöðuvatna á Íslandi.....	134
Tafla 10.2.	Miðgildi fyrir styrk fosfórs og köfnunarefnis í stöðuvötum í Norður-Evrópu.....	136
Tafla 10.3.	Þungmálmar í silungi úr Þingvallavatni í maí 1996.....	137
Tafla 10.4.	Styrkur þungmálma í vatnabobba og síkjamara í Þingvallavatni.....	137
Tafla 10.5.	Þrávirk lífræn efni í silungi úr Þingvallavatni.....	137
Tafla 10.6.	Styrkur Cs-137 í sýnum úr Þingvallavatni.....	138

Skýringartextar

Skýringartexti 2.1. Sýrustig.....	38
Skýringartexti 2.2. Þrávirkni og hugtök tengd henni.....	40
Skýringartexti 2.3. Einingar tengdar geislun.....	46
Skýringartexti 2.4. Jónandi geislun.....	47
Skýringartexti 4.1. Uppruni efna í úrkomu.....	59
Skýringartexti 4.2. Viðbúnaður vegna skyndilegrar aukningar geislavirkni.....	65
Skýringartexti 5.1. Aðalefni/snefilefni og næringarsölt.....	68
Skýringartexti 5.2. Uppruni efna í straumvatni.....	71
Skýringartexti 5.3. Hreyfanleiki efna í straumvatni.....	72
Skýringartexti 7.1. Ál sem viðmiðunarefni.....	88
Skýringartexti 8.1. Fita í lífverum.....	92
Skýringartexti 8.2. Samband magns mengandi efna og líffræðilegra þátta í fiski.....	96
Skýringartexti 8.3. Hlutfallsstuðlar, útreikningar.....	98
Skýringartexti 8.4. Önnur reiknilíkön.....	101
Skýringartexti 8.5. Samband þrávirkra lífrænna efna og líffræðilegra þátta.....	108
Skýringartexti 9.1. Tölfræðileg dreifing mæligilda og jafngildisfrávik.....	128

Helstu skammstafanir

Stofnanir og nefndir:

AMAP	Vinnuhópur um vöktun og ástand Norðurheimskautsins (Arctic Monitoring and Assessment Programme)
ICES	Alþjóðahafrannsóknaráðið (International Council for the Exploration of the Sea)
OSPAR	Samningur um verndun hafrymis Norð-Austur Atlantshafsins (Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic)
QUASIMEME	(Quality Assurance of Information for Marine Environmental Monitoring in Europe)
UNEP	Umhverfisstofnun Sameinuðu Þjóðanna (United Nations Environment Programme)
SUMMIS	Samstarfshópur um mengunarmælingar á Íslandi

Magneiningar:

<i>Margföldunar- stuðull</i>	<i>nafn</i>
1000	kílógramm (kg)
1	gramm (g)
0,001	milligramm (mg)
0,000 001	míkrógramm (µg)
0,000 000 001	nanógramm (ng)

Skammstafanir og heiti nokkurra helstu efna:

PCB	polychlorinated biphenyl
DDT	dichlorodiphenyltrichloroethane
HCH	hexachlorocyclohexane
HCB	hexachloro benzene
CD	klórdan
TBT	tribútýltin (tributyltin)
Ca	kalsín eða kalsíum (calcium)
K	kalín, kalí eða kalíum (potassium)
Na	natrín eða natríum (sodium)
Mg	magnesín eða magnesíum (magnesium)
S	brennisteinn (sulfur)
N	köfnunarefni eða nitur (nitrogen)
P	fosfór (phosphorus)
Cd	kadmín (cadmium)
Zn	sink (zink)
Hg	kvikasilfur (mercury)
Cu	kopar (copper)
Pb	blý (lead)
Ni	nikkel (nickel)
Cr	króm (chromium)
As	arsen (arsenic)
Se	selen (selenium)
Cs	sesín (cesium)
Sr	strontín (strontium)
Tc	teknetín (technetium)

Annað:

Bq	Bekerel (becquerel), eining fyrir geislavirkni (sjá skýringartexta 2.3)
Sv	Sívert (sievert), eining fyrir geislaálag (sjá skýringartexta 2.3)
LOI	Vatn sem bundið er í efnasamböndum (Lottan Ignition)
TOC	Heildarmagn kolefnis í lífrænum samböndum (Total Organic Carbon)
porfýra	Röskun á myndun lífræns hluta blóðrauða sem geturleitt til truflana á starfsemi ýmissa vefja
NS&T	Alþjóðleg mengunarmörk (National Status and Trends)

Helstu niðurstöður

01 Umhverfissvöktun á Íslandi

Mikið magn efna og mikil orka berst út í umhverfið dag hvorn. Þegar horft er til uppruna má í grófum dráttum skipta þessu í tvennt:

- Efni og orka sem upprunnin eru í náttúrunni og fylgja náttúrulegum ferlum.
- Efni og orka sem eru afleiðing af athöfnum manna, beint eða óbeint.

Með aukinni athafnasemi manna eru hin náttúrulegu ferli ekki einráð, heldur berast margs konar efni og efnasambönd frá mannlegum athöfnum út í umhverfið, sum manngerð en önnur eru náttúruleg í eðli sínu. Mörg þessara efna og efnasambönd eru nauðsynleg til að viðhalda lífi og verða fljótlega hluti lífkeðjunnar, en önnur safnast fyrir, ýmist tímabundið eða varanlega. Talað er um mengun þegar efni eða orka berst í það miklum mæli út í umhverfið að til skaða verður.

Mengandi efni sem þessi skýrsla fjallar um eru aðallega *þrávirk lífræn efni*, *geislavirk efni*, *þungmálmar* og *aðrir málmar*. Þau finnast flest í mælanlegu magni í íslensku umhverfi. Á hinn bóginn veldur lega landsins, strjálbýli, atvinnuhættir og veðurfar því að íslensk náttúra er hreinni en víðast annars staðar í veröldinni.

Í hafinu umhverfis Ísland eru gjöful fiskimið og eru þau ein helsta uppspretta þjóðarauðs Íslendinga. Því skiptir miklu að henda reiður á því sem veldur mengun í sjó.

Megintilgangur mengunarmælinga við Ísland er þrjúþættur:

- Að afla gagna um ástand sjávar við landið og meta hvort áhrifa mannsins sé farið að gæta. Athugunin beinist að þekktum mengunarefnum í sjó, í sjávarseti og í lífríki hafsins.
- Að afla gagna um ástand lofts og straumvatna. Reglulega hefur verið fylgst með styrk þekktra mengunarefna í lofti, bæði í úrkomu og andrúmslofti. Í straumvötnum hefur höfuðáhersla verið lögð á að skilgreina efnisflutning af landi til sjávar, bæði flutning uppleystra efna og svifaus.
- Að afla gagna um mengunarefni í landdýrum, mannfólki og stöðuvötnum. Þessi hluti verkefnisins hefur einkum beint að almennri heilbrigði fólks og efnasamsetningu stöðuvatna, en víða er súrnun þeirra alvarlegt vandamál.

Yfirlit yfir helstu þætti sem verkefnið nær til eru sýndir í töflu 01.1.

Tafla 01.1. Mengunarmælingar sem fjallað er um í skýrslunni.

■ Þungmálmar
 ■ Þrávirk lífræn efni
 ■ Geislavirkni
 ■ Næringarsölt og ýmsar mælingar

LÍFVERUR		VATN		LOFT		SETLÖG		HEILSA FÓLKS		LAND	
þang	loðna	sjór	anddrúmsloft	sjávarset	blóð mæðra	sérverkefni					
kræklingur	nákuðungur	straumvötn	úrkomu	stöðuvatnaset	móðurmjól	Breiðafjörður					
þorskur	bleikja	stöðuvötn				gróður/jarðvegur					
skarkoli	urriði										
sandkoli	fuglar										
síld	búfjárafurðir										

Mörg þeirra efna sem talin eru mengandi, svo sem þungmálmar, eru upprunnin í náttúrunni. Hins vegar er náttúrulegur styrkur þeirra mjög breytilegur og nátengdur staðbundnum umhverfisaðstæðum. Eitt aðalatriðið, og jafnframt það sem oft á tíðum reynist vandasamasti hluti rannsókna, er að þekkja náttúrulegan breytileika og hvaða þættir stjórna honum. Þetta er frumskilyrði þess að hægt sé að skilgreina náttúrulegan bakgrunn efna og þar með að leggja mat á þá mengun sem rekja má til manna. Umhverfisaðstæður við Ísland, haffræðilegar, veðurfræðilegar og jarðfræðilegar, eru um margt frábrugðnar því sem gerist annars staðar í Evrópu og Norður-Ameríku. Því er mikilvægt að skilgreina bakgrunnsstyrk þessara efna í íslensku umhverfi. Vegna þessara mismunandi umhverfisaðstæðna getur einfaldur samanburður milli svæða eða á mismunandi tíma einnig reynst varhugaverður þótt slíkur samanburður geti oft gefið grófa og einfalda hugmynd um ástandið. Þrávirk lífræn efni skera sig úr þar sem flest þeirra eru manngerð og nánast eingöngu til staðar í náttúrunni vegna athafna manna, beint eða

óbeint. Tilvist þeirra, þótt í mjög litlum mæli sé, er því ótvíráð vísbinding um áhrif mannsins á umhverfið.

Samhliða þessari skýrslu verður gagnasafnið sem liggur að baki skýrslunni gefið út í sérhefti „*Mælingar á mengandi efnum á og við Ísland - Gagnasafn*”. Það verður prentað í takmörkuðu upplagi en bent er á að hægt verður að nálgast það í gegnum veraldarvefinn á heimasíðu Hollustuverndar ríkisins. Slóðin er „www.hollver.is”. Þetta er gert í ljósi þess að umfang gagnanna er orðið talsvert mikið og auðvelt að nálgast gögnin milliliðalaust á stafrænu formi með þeirri tölvutækni sem flestir ráða yfir í dag.

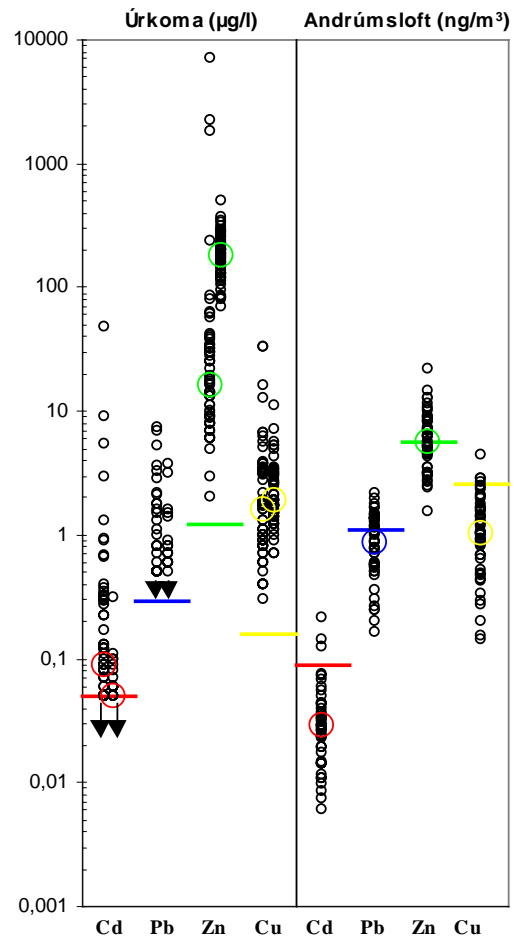
02 Úrkoma og andrúmsloft

Í andrúmsloftinu er fjöldi mismunandi lofttegunda, en einungis tvær þeirra, köfnunarefni og súrefni, mynda samtals um 99% af rúmtaki þurrs lofts. Afgangurinn er fjöldi annarra lofttegunda, svo sem koltvíoxíð, argon og óson, auk fastra efna og svifagna. Ótalin er þá vatnsgufa loftsins, en magn hennar er mjög breytilegt, stundum hverfandi lítið, en í öðrum tilvikum allt að 3-4% af rúmmáli. Þessu til viðbótar eru margháttuð mengunarefni ættuð frá athöfnum manna eða náttúruhamförum á borð við eldgos. Eðlilega er hlutfallslega minna magn mengunarefna í andrúmslofti en í jarðvegi, seti eða vatni. Hins vegar er andrúmsloftið mikilsverð flutningsleið mengunarefna vegna þess hve hratt loftstraumar berast um heiminn.

02.1 Aðalefni og þungmálmar í úrkomu og andrúmslofti

Eitt helsta umhverfisvandamál víða er súrt regn. Á Íslandi er þessu þannig háttað að mánaðarsýni hafa að jafnaði sýrustig ómengaðrar úrkomu (pH 5,6 við 25°C) en daglegar mælingar benda til mjög vægrar súrnunar (pH 5,4 við 20-25°C að meðaltali 1990-1997) því þær eru nær á einstaka daga með súrri úrkomu (pH allt að 3,8).

Styrkur þungmálma í úrkomu á Íslandi er almennt sambærilegur við það sem mælist á norðlægum slóðum (tafla 02.1). Styrkur *kadmíns* á Írafossi er þó í hærra lagi og styrkur *sinks* í Reykjavík er mun hærri en annars staðar (mynd 02.1). Ekki er ljóst hver skýringin á þessu er en bæði gæti verið um náttúrulegar orsakir að ræða og mengun. Styrkur *kadmíns* í úrkomu virðist vaxa því nær sem dregur gosbeltinu og hár styrkur þess tengist því hugsanlega eldvirkni og hraðvirku rofi í ungum bergmyndunum. Nýlega hefur verið bent á að hár sinkstyrkur í úrkomu í Reykjavík gæti tengst mikilli umferð. Einnig hefur stundum verið nefnt að hár styrkur *sinks*, sérstaklega í Reykjavík, kunni að stafa af sinkhúð á bárujárni, en þetta eru eingöngu getgátur á þessu stigi.



Mynd 02.1. Styrkur valinna þungmálma í úrkomu á Írafossi (vinstri) og í Reykjavík (hægri) á árunum 1992-1996 og í andrúmslofti á Stórhöfða á árunum 1995-1996. Lituðu hringirnir sýna miðgildi fyrir utan blý (Pb) þar sem meiri hluti mælinga var neðan greiningarmarka. Örvar tákna að hluti mælinganna liggi fyrir neðan greiningarmörk. Lituðu línurnar sýna samanburðargildi þungmálma, fyrir úrkomu frá Kárvatni í Noregi, sbr. töflu 02.1 og fyrir andrúmsloft frá Severnaja Zemlja, Rússlandi, sbr. töflu 02.2.

Tafla 02.1. Þungmálmur í úrkomu ($\mu\text{g/l}$).

	Cd	Pb	Zn	Cu	Cr	Ni
Reykjavík ^{a)}	<0,05	<0,5	178	1,9	0,2	0,7
Írafoss ^{a)}	0,09	<0,5	16,5	1,65	<0,1	<0,5
Montreal Island, Kanada ^{b)}	0,15	2,0	19,5	2,6	0,75	0,74
Birkenes, Noregi ^{b)}	0,06	3,7	10	1,5	0,25	0,96
Kárvatn, Noregi ^{b)}	0,05	0,29	1,2	0,16	0,23	0,3

a) miðgildi allra mælinga 1992-1996

b) meðalstyrkur undanfarin ár

Styrkur þungmálma í andrúmslofti á Íslandi er almennt sambærilegur eða lágur miðað við styrk þeirra annars staðar í Evrópu (tafla 02.2). Styrkur *nikkels* og *sinks* er þó nokkru hærri en á ómenguðum stöðum á norðlægum slóðum, en svipaður eða heldur lægri en í nágrenni iðnaðarsvæða í Norður-Rússlandi og Norðvestur Evrópu.

Tafla 02.2. Samanburður á styrk þungmálma í andrúmslofti (ng/m^3).

Staður	Cd	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	As
Poker Flat í Alaska ^{a)}		0,4	1,2	0,9		0,2	0,15
Alert í Kanada ^{a)}		1,5	1,9	5,1		0,2	
Norður Grænland ^{a)}		0,5	0,9	1,8		0,2	0,2
Svalbarði ^{a)}		0,8	<3	1,4		0,1	0,15
Severnaja Zemlja í Rússlandi ^{b)}	0,09	2,6	1,1	5,6	0,5	5,7	0,26
Norðvestur Evrópa ^{c)}	0,3	~10	11	22	~5	~5	0,45
Stórhöfði á Íslandi ^{d)}	0,028	1,03	0,88	5,85	1,75	3,61	0,16

a) Styrkur (miðgildi) að vetri til 1990.

b) Ársmeðaltal

c) Meðalstyrkur á Bretlandseyjum, Belgíu, Hollandi, Danmörku, Suður-Svíþjóð og Suður Noregi 1987-1992.

d) Miðgildi 1995-1996.

Uppruna langflestra þungmálma í úrkomu á Íslandi (Cd, Pb, Zn, Cr, Cu, Ni) virðist mega rekja til mengunar af manna völdum, jarðhita og/eða eldvirkni. Sömu sögu má segja um flesta þungmálma í andrúmslofti (Cd, Pb, Zn, Ni) að undanskildum *kopar* og *krómi*, sem rekja má til landræns svifryks.

02.2 Þrávirk lífræn efni í úrkomu og andrúmslofti

Mengandi efni berast langa leið með loftstraumum og er það einn virkasti flutningsmáti þrávirkra lífrænna efna frá iðnaðarsvæðum Evrópu og Norður-Ameríku til norðlægari breiddargráða.

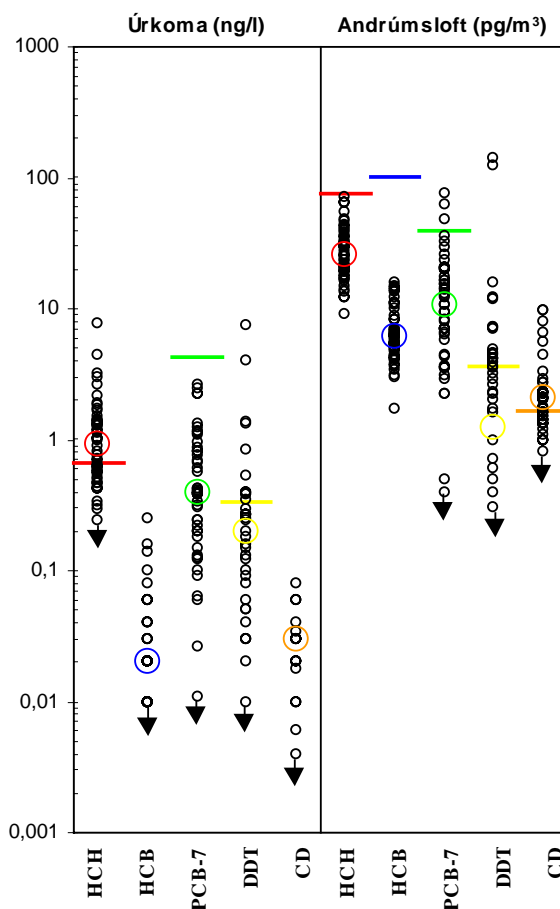
Mörg þrávirk lífræn efni eru í svo miklu magni í úrkomu og andrúmslofti hér á landi að þau eru vel mælanleg (mynd 02.2). Þetta bendir ótvírætt til mengunar af manna völdum. Styrkurinn er hins vegar í lægri kantinum sé hann borinn saman við styrk þessara efna annars staðar á norðlægum slóðum (tafla 02.3 og 02.4). Sérstaklega er athyglisvert að styrkur HCH-efna í andrúmslofti er margfalt minni hér en í Suður-Noregi og á Svalbarða. Þetta er reyndar í samræmi við það hvernig HCH-efnin eru talin berast til Svalbarða, það er að segja með loftstraumum sem ekki liggja yfir Ísland.

Tafla 02.3. Styrkur þrávirkra lífrænna efna (ng/l) í úrkomu á Stórhöfða (miðgildi 1995-1996), og meðaltalsgildi í NV-Evrópu og í Rússlandi.

Staður	Σ HCH	Σ DDT	Σ PCB-7
Tajmyr (snjóór)	5,61	2,06	5,3
Tajmyr (úrcoma)	0,88	3,2	11,9
Barentshaf	0,67	0,34	4,3
Laptevshaf	<0,1	1,1	1,1
NV-Evrópa	9-18		
Stórhöfði	0,93	0,10	0,38

Tafla 02.4. Þrávirk lífræn efni í andrúmslofti (pg/m^3). Á Stórhöfða er um miðgildi árunna 1995-1996 að ræða en meðaltal árunna 1993-1995 á hinum stöðunum.

Staður	Σ HCH	Σ DDT	Σ PCB-7	HCB	díeldrín	Σ klórdan
Stórhöfði	26,2	1,20	10,8	6,10	<0,4	2,10
Svalbarði	76,5	3,6	38,8	102		1,6
Lista	147			104		3,1



Mynd 02.2. Styrkur þrávirkra lífrænna efna í úrkomu og andrúmslofti 1995-1996. Lituðu hringirnir sýna miðgildi allra mælinga. Örvar tákna að hluti mælinganna liggir fyrir neðan greiningarmörk. Litaðar línur sýna samanburðargildi í úrkomu á Barentshafi, sbr. töflu 02.3 og í andrúmslofti á Svalbarða, sbr. töflu 02.4.

02.3 Geislavirk efni í úrkomu, svifryki og andrúmslofti

Úrkomu til mælinga á geislavirkum efnum hefur verið safnað á Rjúpnahæð, í Reykjavík og við Írafoss frá árinu 1992. Einnig eru til eldri gögn um geislavirkni í úrkomusýnum sem Veðurstofan safnaði og lét greina í Bretlandi. Mjög lítið mælist í þessum sýnum og liggja flestar mælingar neðan greiningarmarka. Sýnin eru nú unnin á þann hátt að eftir ákveðinn biðtíma eru öll sýni sem spanna hálfis árs tímabil sameinuð og mæld. Þessar niðurstöður eru einnig allar neðan greiningarmarka, sem var hæst 1 mBq/l í úrkomu.

Styrkur geislavirka efna hefur verið mældur í svifryki á Rjúpnahæð reglulega frá sumrinu 1991. Styrkur Cs-137 mælist að jafnaði lítill eða innan við 0,1 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$. Til samanburðar eru algeng gildi á Norðurlöndum undanfarin ár 0,1-10 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ ef frá er talinn tíminn rétt eftir Tsjernobylslysið, 1986.

03 Straumvötn

Mikill hluti efna, hvort sem er af náttúrulegum uppruna eða af manna völdum, berst með straumvötnum til sjávar. Flutningsleiðir efnanna með straumvötnum eru margvíslegar. Framburðurinn er ýmist í upplausn, sem uppleyst efni sem sitja á yfirborði gruggs eða sem föst efni, grugg (aurburður). Föst efni berast einnig eftir botni straumvatna (botnskríð).

Eins og við er að búast ræðst framburður svifaus í straumvötnum einkum af gerð þeirra og berst langmest með jökulám en minnst með lindám. Þar sem styrkur uppleystra efna er svipaður í flestum straumvötnum ræðst framburður þeirra fyrst og fremst af rennsli (tafla 03.1), þannig að framburður vex með auknu rennsli.

Tafla 03.1. Framburður efna með straumvötnum á Suðurlandi (tonn/ári).

Staður	Aurburður	Uppleyst efni			
		Aðalefni ^{a)}	Þungmálmar ^{b)}	Næringarsölt ^{c)}	SiO ₂
Brúará við Efstadal	26.700	59.700	96	68	16.000
Tungufljót við Faxa	43.000	84.400	164	70	23.600
Hvítá við Brúarhlöð	334.300	184.000	439	109	36.500
Ölfusá við Selfoss	891.700	789.300	142	346	157.600
Þjórsá við Sandafell	1.375.200	643.000	637	414	105.200
Þjórsá við Urriðafoss	1.233.600	836.800	411	495	136.900
Ytri Rangá við Árbæjarfoss	30.500	277.200	81	149	30.000

- a) Aðalefni = Na+K+Ca+Mg+SiO₂+Cl+SO₄+CO₃
- b) Þungmálmar og ál= Al+As+Cd+Co+Cr+Hg+Mn+Mo+Ni+Pb+Zn+Fe
- c) Næringarsölt = (NO₃-N)+(PO₄-P)

Hverfandi hluti málna í vatni á vatnasviði straumvatna berst á uppleystu formi út af vatnasviðinu. Meginhluti þeirra verður eftir vegna upptöku lífmassa og/eða myndar veðrunarsteindir. Málmarnir geta aftur á móti borist út af vatnasviðinu með því að loða við svifagnir í vatninu.

Rannsóknin náði til straumvatna á Suðurlandi og er efnastyrkur straumvatna þar almennt sambærilegur við ómengduð straumvötn á norðlægum slóðum og mun minni en í ám á meginlandi Evrópu og í Bandaríkjunum (tafla 03.2). Styrkur þungmálma og snefilefna getur verið mjög breytilegur á milli ára og árstíða. Þrátt fyrir það er heildarmyndin skýr og er styrkur þungmálma í straumvötnum hér á landi langt undir, eða vel undir, leyfilegum hámarksstyrk samkvæmt stöðlum Evrópusambandsins um efnainnihald neysluvatns (tafla 03.2). Það er einnig ljóst af samanburði við eldri rannsóknir á efnainnihaldi straumvatna á Suðurlandi (1972-1973) að styrkur uppleystra efna hefur lítið breyst, og er nú ívið lægri en fyrr ef eitthvað er.

Tafla 03.2. Efnainnihald straumvatna.

Staður	Rennsli km ³ /ári	Uppleyst efni mg/l	Aur- burður mg/l	PO ₄ -P mg/l	NO ₃ -N mg/l	Pb µg/l	Cd µg/l	As µg/l	Hg µg/l	Ni µg/l
<i>Leiðbeinandi mörk</i>				0,4	25				1	
<i>Leyfilegur hámarksstyrkur</i>				5	50	50	5	50		50
Suðurland	855	73	87	0,022	<0,023	0,034	0,030	0,087	<0,003	0,17
Gláma (SA-Noregi)	599	29		0,008	0,42	1	<1			
Rín (Þýskalandi)	2362	600		0,4	3,88	<1	<1	1	0,052	
Thames (Englandi)	101	392	14	1,07		2	<1	5	0,100	
Mackenzie (NV-Kanada)	10559	209	126	0,04	0,14	2	<1			5
Churchill (Kanada)	1205	92				1	<1		0,010	1
Mississippi (Bandaríkjunum)	18392	287	362	0,2	1,06	3	1	1	0,100	4

04 Sjór

04.1 Næringarsölt

Köfnunarefnis- og fosfórsambönd eru nauðsynleg þörungum sjávar en þeir eru fyrsta þrep fæðuvefsins þar. Jafnframt er kísill mikilvægt næringarefni fyrir vöxt kísilþörunga. Ofgnótt næringarsalta í sjó getur leitt til offjölgunar þörunga sem aftur leiðir til súrefnisskorts ef blöndun sjávar er ekki nægjanleg. Slíkt má t.d. greina við sunnanverðan Norðursjó og í Eystrasalti þar sem mikið magn þessara efna berst til sjávar frá þéttbýli og vegna notkunar tilbúins áburðar í landbúnaði.

Frárennsli frá mesta þéttbýli landsins rennur í Faxaflóa og því mætti ætla að þar væri helst að finna aukningu næringarefna vegna athafna manna. Aukinn styrkur næringarsalta frá þéttbýlinu við Faxaflóa er þó vart merkjanlegur og mjög staðbundinn. Þannig vex styrkur þeirra almennt í átt frá landi með aukinni seltu ef frá er talið allra næsta nágrenni frárennslis undan Ánanaustum, þar sem lítilsháttar aukning næringarefna er merkjanleg. Í ljósi þess má segja að næringarefnauðgun sjávar við suðvesturhluta Íslands sé hverfandi.

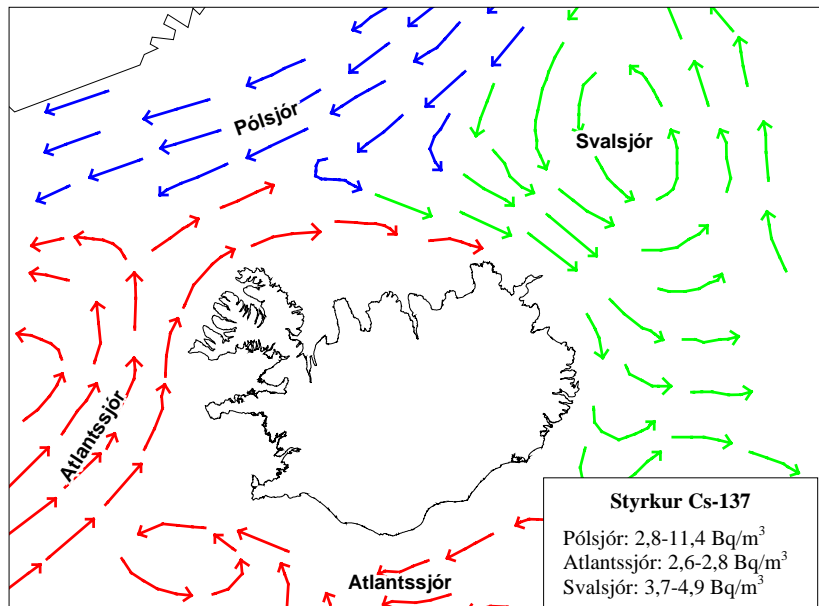
04.2 Geislavirk efni

Geislavirk efni hafa dreifst um jörðina af manna völdum og eru leifar frá kjarnorkusprengjutilraunum fyrir tæplega 40 árum ríkjandi á íslenskum hafsvæðum. Þessi efni munu eyðast með tímanum, en það sem eftir lifir nú, myndar ásamt náttúrulegum geislavirkum efnum, þann *bakgrunn* geislavirkra efna sem alls staðar er að finna.

Almennt má segja að styrkur manngerðra geislavirkra efna sem mælist hér við land sé með því lægsta sem mælist í heiminum. Grein úr Norður-Atlantshafsstraumnum flytur Atlantssjó upp að suðurströnd landsins, en styrkur Cs-137 í Atlantssjó er nær eingöngu áðurnefndur bakgrunnur (um $2,7 \text{ Bq/m}^3$).

Mæligildi fyrir norðan land eru hærri en fyrir sunnan (mynd 04.1). Frá kjarnorkuendurvinnslustöðinni í Sellafield berast geislakjarnar (Cs-137 o.fl.) í Írlandshaf. Hluti af þessum geislaúrgangi flyst með hafstraumum í Austur-Grænlandsstrauminn og getur því borist á íslensk hafsvæði úr norðvestri, einkum þau árin sem pólsjavar gætir í töluverðum mæli á svæðunum norðan Íslands.

Þegar skoðaðar eru niðurstöður mælinga við Ísland á árunum 1990-1997, kemur í ljós að breytileiki í mæligildum á sama stað getur verið mikill. Þetta á einkum við á svæðum fyrir norðvestan land, þar sem ríkjandi vindátt getur ráðið miklu um það hversu nálægt landi pólsjór úr Austur Grænlandsstraumnum nær að teygja sig. Skýringa er því oft að leita í mismunandi sjógerðum og því getur verið fróðlegt að tengja mæligildi við hita og seltu, og fá þannig upplýsingar um uppruna þess sjávar sem um ræðir (sjá kafla 6.2).



Mynd 04.1. Styrkur Cs-137 í mismunandi sjávargerðum í yfirborðslögum sjávar umhverfis Ísland 1990-1997. Einnig eru sýndir helstu straumar og sjógerðir umhverfis landið. Rauðar örvar tákna heitan Atlantssjó, bláar Austur-Grænlandsstrauminn og grænar svalsjó.

Flokkun í sjógerðir skýrir að hluta til þann breytileika sem birtist í mæligildum þegar allar niðurstöður eru skoðaðar. Reynt var að skýra breytileika innan hvernar sjógerðar með því að athuga hvort fylgni væri milli mæligildis annars vegar og annarra þátta eins og tíma sýnatöku (mánuður og ár) og staðar, hins vegar. Þessi athugun leiddi í ljós að ekki er unnt að sýna fram á marktæka fylgni við ofangreinda þætti, nema fyrir pólsjó.

05 Sjávarset

Sjávarset er blanda margra þátta svo sem bergmylsnu, leirsteinda, útfellinga og lífræns efnis. Styrkur aðalefna og þungmálma í setinu ræðst af hlutfalli þessara þátta auk þess sem efni sem rekja má til athafna manna geta borist í það.

Eðli margra þungmálma og þrávirkra lífrænna efna er eins og áður segir, að bindast fíngerðu gruggi sem síðar fellur til botns og myndar set á sjávarbotni. Jafnframt endurspeglar setgerðin á setmyndunarsvæðum ríkjandi aðstæður á upptakasvæðum framburðarins.

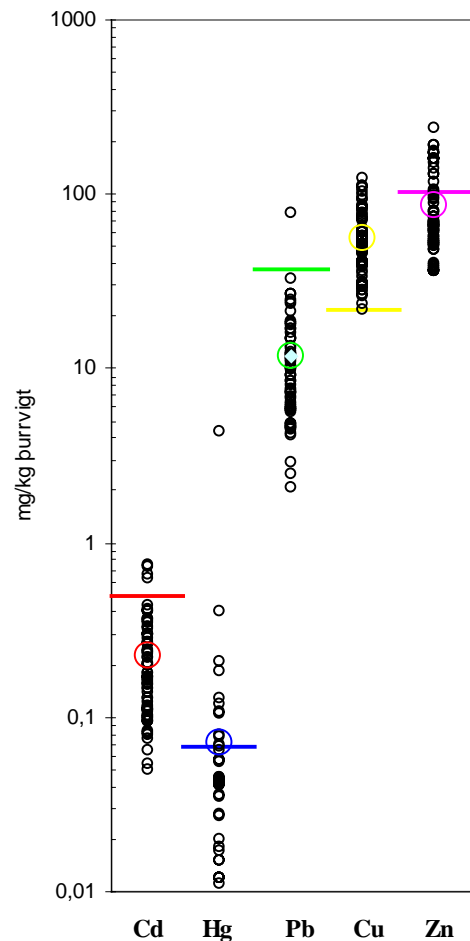
05.1 Aðalefni og þungmálmar í sjávarseti

Íslenskur berggrunnur er að stærstum hluta basalt og efnasamsetning setsins, sérstaklega með tilliti til aðalefna, endurspeglar því efnasamsetningu basalts (tafla 05.1). Setið inniheldur t.d. meira magn áls, járns og títans en set í Norðursjó. Á mynd 05.1 er sýndur styrkur nokkurra þungmálma í sjávarseti við Ísland.

Tafla 05.1. Meðalstyrkur þungmálma í sjávarseti (mg/kg þurrvigt).

Efni	Ísland	Vesturströnd Noregs	Holland, Wadden haf
Hg	≤0,072	0,04	0,067
Cd	0,223	0,08	0,5
Cu	55,5	17	22
Pb	11,7	26	37
Zn	86,5	110	103

Flest efni í sjávarseti við Ísland eru eingöngu upprunnin úr bergi. Hins vegar er setið hlutfallslega auðugt af Ca, As, Cd, Hg og Pb, umfram það sem er í berginu. Styrkur þessara efna vex með auknum styrk lífræns kolefnis í setinu. Því er ljóst að hluti Ca, As, Cd, Hg og Pb í setinu er tilkominn vegna lífrænnar setmyndunar. Áhrifin eru þó mjög breytileg eftir efnum. Til að mynda eykst styrkur kadmíns og kvikasilfurs fimmfalt þegar lífrænt kolefni vex úr 0% í 8%, á meðan styrkur blýs nánast hundrafaldast við sömu breytingu í kolefnisinnihaldi. Breytilegan styrk aðalefna og þungmálma í flestum sýnum má útskýra sem afleiðingu náttúrulegra ferla. Nokkur setsýni í næsta nágrenni Reykjavíkur virðast þó vera menguð af þungmálmum. Aukning blýs í þessum sýnum er allt að því þreföld umfram það sem telja má náttúrulegt og aukning kvikasilfurs allt að fimmtugföld umfram náttúrulegan bakgrunn.



Mynd 05.1. Styrkur nokkurra þungmálma í sjávarseti við Ísland. Lituðu hringirnir tákna meðaltal mælinga. Litadár línur sýna samanburðargildi sem eru mælingar á seti frá Waddenhafi við strendur Hollands (tafla 05.1).

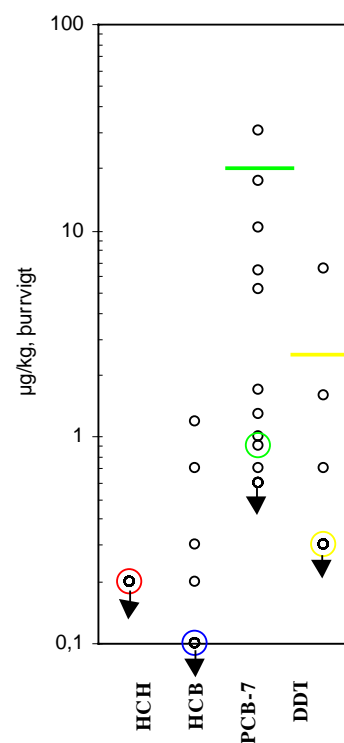
05.2 Þrávirk lífræn efni í sjávarseti

Styrkur þrávirkra lífrænna efna í sjávarseti við Ísland (mynd 05.2) er almennt sambærilegur við eða lægri en styrkur þeirra í Norðursjó, í Kattegat, og við Atlantshafsströnd Frakklands og Spánar.

Jafnvel langt frá landi og á þó nokkru dýpi mælist örlítill bakgrunnstyrkur þrávirkra lífrænna efna. Mengun af manna völdum, þótt lítil sé, er því greinileg í sjávarseti á landgrunninu við Ísland. Það veður hins vegar athygli að töluvert magn þrávirkra efna mælist í sjávarseti í næsta nágrenni við Reykjavík og við utanverðan Eyjafjörð umfram ríkjandi bakgrunnstyrk. Þessi mengun virðist vera mjög staðbundin og tengjast frárennsli af landi til sjávar.

Tafla 05.2. Meðalstyrkur þrávirkra lífrænna efna í sjávarseti við Ísland ($\mu\text{g}/\text{kg}$ þurrvigt).

Efni	Styrkur	Styrkbil	Hollensk viðmiðun
Σ HCH	<0,2		
Σ PCB-7	<0,9	<0,6 - 30,6	20
HCB	<0,1	<0,1 - 1,2	
Σ DDT	<0,3	<0,3 - 6,6	2,5



Mynd 05.2. Styrkur þrávirkra lífrænna efna í sjávarseti við Ísland. Lituðu hringirnir tákna meðaltal mælinga. Örvar tákna að hluti mælinganna liggir fyrir neðan greiningarmörk. Litaðar línur eru samanburðargildi úr hollenskum reglugerðum um styrk þrávirkra lífrænna efna í sjávarseti (tafla 05.2).

05.3 Geislavirk efni í sjávarseti

Styrkur geislavirkra efna í seti var mældur í nokkrum kjörnum í tengslum við norrænt samstarfsverkefni árin 1994-1997. Styrkur Cs-137 í efstu lögum var um 2-8 Bq/kg miðað við þurrvigt efnis. Blý-210 var einnig notað til að meta setmyndunarhraða í kjörnunum.

Niðurstöður sýna greinilega að styrkur Cs-137 jókst verulega í seti hér við land á sjötta og sjöunda áratugnum, þegar kjarnorkutilraunir voru sem algengastar. Þetta kemur einnig fram í úrkomugögnum Veðurstofu Íslands. Styrkur Cs-137 er svipaður og sjá má annars staðar við áþekk skilyrði. Sama gildir um setmyndunarhraða. Rannsóknin gefur því ekki ástæðu til annars en að ætla að styrkur og hegðun Cs-137 í setlögum við Ísland sé með svipuðum hætti og annars staðar.

06 Lífríki hafsins

Tilgangur vöktunar á mengandi efnum í lífríki hafsins er þríþættur. Í fyrsta lagi að kanna hvort magn þeirra fari vaxandi í hafinu við Ísland, í öðru lagi að meta hvort heilsu manna sé hættu búin af neyslu sjávarfangs og í þriðja lagi að meta hvort lífríki sjávar stafi hættu af mengun.

Styrkur efna í lífríki hafsins er mjög breytilegur og er háður mörgum þáttum eins og aldri, stærð, kyni, kynþroskastigi, fæðu, veiðisvæði og árstíma. Til þess að meta hvort mengun sé að breytast á Íslandsmiðum og þá hver þáttur mengunar af manna völdum sé í þeirri þróun er nauðsynlegt að kunna skil á þeim umhverfisþáttum sem hafa áhrif á styrk og magn efnanna. Efnin eru mæld í þeim vefjum þar sem þau safnast fyrir og verður lifur því oft fyrir valinu. Í ljós hefur komið að með því að bera saman magn efnanna í viðkomandi vefjum, t.d. lifur, sem fall af fitumagni og aldri er hægt að meta þróun í magni mengandi efna frá ári til árs, svæða og stærðarflokka. Upplýsingar um mengandi efni frá öðrum hafssvæðum eru sett fram sem styrkur og ekki fylgja upplýsingar til að umreikna það í magn. Af þessu leiðir að nota verður styrk en ekki magn þegar gerður samanburður við önnur hafssvæði.

Líkanið sem notað er til samanburðarins er sýnt á mynd 06.1. Fyrir þungmálmana er líking 1 notuð, en þar segir að magn þungmálsins sé fall af magni fitu í lifur og aldur fisksins. Hins vegar sýndu tölfraðilegir útreikningar að aldur bætti ekki skýringargildi líkansins fyrir þrávirk lífræn efni og er aldrinum því sleppt í þeirri úrvinnslu þ.e. magn þrávirkra efna er fall af fitumagni lifrar.

Til að geta lýst á sem bestan hátt breytileika í styrk efna á milli ára er sett fram líking fyrir venslum mengandi efna og fitu í lifur fyrir mismunandi aldurshópa. Hana má skrifa sem

$$\ln E_{fni_magn} = k + \alpha * \ln F_{ita_magn} + \alpha_1 Aldur \quad [1]$$

þar sem α_1 er stuðull sem lýsir framboði mengandi efna og upptökuhæfni hvers aldurshóps en:

α er stuðull sem endurspeglar framboð mengandi efna og upptökuhæfni fiskanna

k er fasti sem endurspeglar mengandi efni sem skýrast með aldri, miðum, árstíma og lengdarflokk fiskanna

Upphefja verður lógaritmann til að fá út raunverulegt magn málsins og þá verður líkingin:

$$E_{fni_magn} = K * F_{ita_magn}^{\alpha} * e^{\alpha_1 * Aldur} \quad [2]$$

Þar sem $K = e^k$, og kallaður hér á eftir hlutfallsstuðull og er jafngildi magns málsins við aldurinn 0 og fitu lifrar = 1 g.

Stuðlarnir α og α_1 sem eru hallatölur þegar sambandið er lógaritmiskt, en verða veldisvísar í líkingu [2].

Mynd 06.1. Reiknilíkan til að meta breytingar á magni mengandi efna

Með þessu líkani er á auðveldan hátt hægt að meta sveiflur í magni mengandi efna, hvort þau séu að vaxa eða minnka og hvort munur sé milli miða.

06.1 Þungmálmar

Þungmálmar eru náttúruleg efni og styrkur þeirra í lífríki hafsins er mjög breytilegur milli tegunda og innan sömu tegundar (tafla 06.1).

Tafla 06.1. Meðalstyrkur þungmálma í fiski og kræklingi við Ísland, styrkbil í sviga (mg/kg).

Efni	Þorskur (votvigt) ^{a)}	Sandkoli (votvigt) ^{a)}	Kræklingur (þurrvigt) ^{b)}
Kadmín (Cd)	0,150 (0,018-0,842)	0,470 (0,269-0,868)	3,10 (0,38-8,80)
Kopar (Cu)	3,7 (0,6-11,6)	4,82 (1,84-10,2)	8,43 (4,80-24,6)
Kvikasilfur (Hg)	0,034 (0,015-0,10)	0,036 (0,018-0,070)	0,036 (<0,0001-0,104)
Blý (Pb)	<0,05	<140	0,205 (0,067-1,20)
Sink (Zn)	17,2 (8,1-66,8)	31,1 (21,2-56,6)	143 (62-415)

a) Cd, Cu, Pb, og Zn mældir í lifur, Hg í holdi

b) Mælt í öllum fiskinum

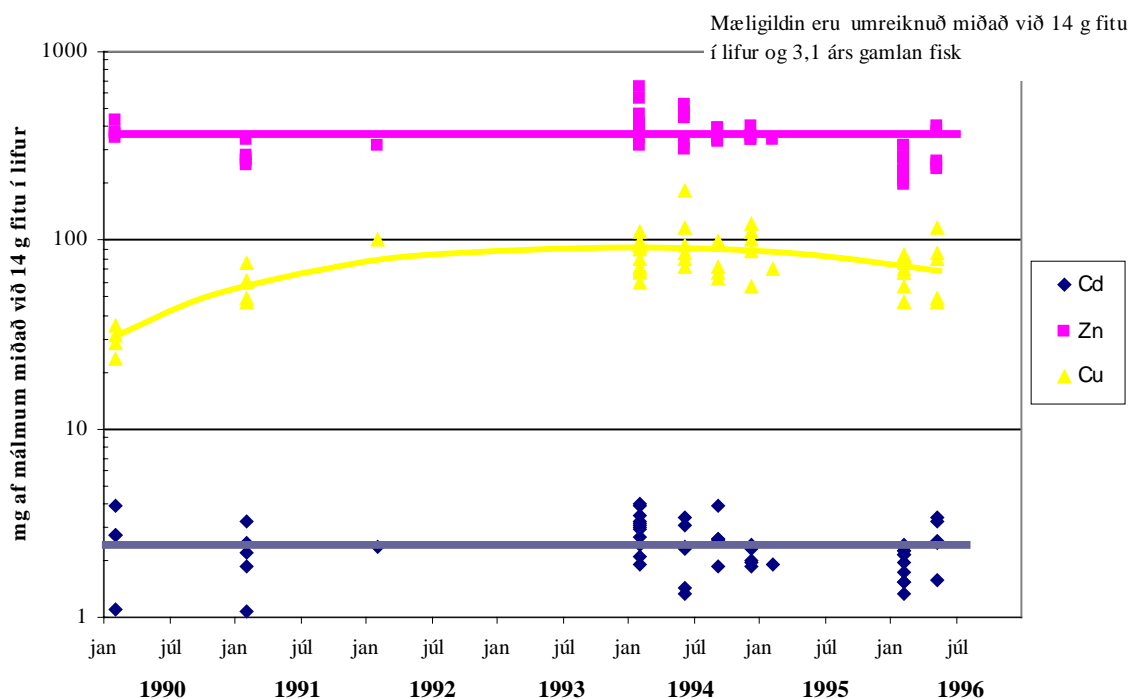
Þorskur

Útreikningar með líkingu 1 (mynd 06.1) sýna, að þrátt fyrir marktækan mun á kadmínmagni frá ári til árs, er um sveiflu að ræða og því ekki hægt að sjá neina þróun. Magnið hvorki eykst né minnkar á NA-miðum á tímabilinu (tafla 06.2). Svipuð niðurstaða fæst þegar magn sinks og kopars eru skoðuð (tafla 06.2) þ.e. að þrátt fyrir marktækar sveiflur milli ára er ekki hægt að sjá neina samfellda þróun.

Tafla 06.2. Hlutfallsstuðlar fyrir kadmín, sink og kopar í 30-45 cm löngum þorski á NA-miðum.

Ár	Hlutfallsstuðull Kadmín	Hlutfallsstuðull Sink	Hlutfallsstuðull Kopar	Fjöldi mælinga
1990	0,158	28,8	2,30	4
1991	0,123	22,0	5,89	5
1992	0,163	22,8	7,88	1
1994	0,176	34,6	8,17	12
1995	0,129	24,1	5,71	1
1996	0,127	18,4	5,83	11

Niðurstaðan verður enn ljósari þegar mæligildi í þorski NA-miðum eru umreiknuð í „staðalfisk“ (þyngd fitu í lifur er 14 grömm og aldur 3,1 ár) eins og sýnt er á mynd 06.2. Bogin lína fyrir kopar sýnir að flóknara samband gildir fyrir hann en hina málmana en engin þróun er sjáanleg í magni hans.



Mynd 06.2. Þróun þungmálma á árunum 1990-1996. Gildin eru umreiknuð fyrir staðallengd af fiski (30-45 cm) samkvæmt þeirri líkingu sem kynnt er í skýrslunni (mynd 06.1).

Samanburður á kadmín-, kopar- og sinkmagni milli miða leiðir í ljós að NV-mið skera sig úr og er marktækur munur á þeim og öðrum miðum (tafla 06.3 fyrir kadmín). Enga þróun á kadmín- og koparmagni er að sjá innan NV-miða, en magn sinks virðist hins vegar vera að vaxa yfir tímabilið. Ekki er ljóst hvort aukning sinks er náttúruleg, tímabundin sveifla eða ekki þar sem tímabilið sem um ræðir er mjög stutt.

Tafla 06.3. Samanburður á hlutfallsstuðlum fyrir kadmín.

Mið	Fjöldi mælinga	Hlutfallsstuðull	% frávik frá NA-miðum
NA	34	0,163	0
NV	22	0,328	101
A-SA	19	0,181	11
S	6	0,145	-11
SV	14	0,156	-4

Niðurstöður varðandi þungmálmana sýna að magn þeirra í þorsklifur er ekki að breytast á því tímabili sem mæligögnin ná yfir, árin 1990-1996. Marktækur munur er á kadmín-, kopar- og sinkmagni milli NV-miða og annarra miða. Allar vísbendingar benda til að náttúrulegar orsakir liggi að baki.

Kræklingur

Kadmínstyrkur í kræklingi mælist hærri á stöðum fjarri þekktum uppsprettum eins og Arnarnesi við Ísafjarðardjúp, Grímsey og Mjóafirði, en í Hvalfirði og í Straumsvík. Þetta styrkir þá ályktun að þessi tiltölulega há styrkur kadmíns í sjávarlíffverum hér við land sé tilkominn vegna náttúrulegra ferla.

Sandkoli

Styrkur kadmíns, kopars og sinks í lifur og kvikasilfurs í holdi sandkola 1990-1995 sveiflast eilítið frá ári til árs en munurinn er ekki marktækur. Styrkur blýs var í öllum tilfellum undir efnagreiningarmörkum. Fjöldi sandkolasýna er það lítil að ekki er tilefni til sömu úrvinnslu og gert fyrir gögnin um þorskin og því ekki hægt að meta breytingar á sama hátt.

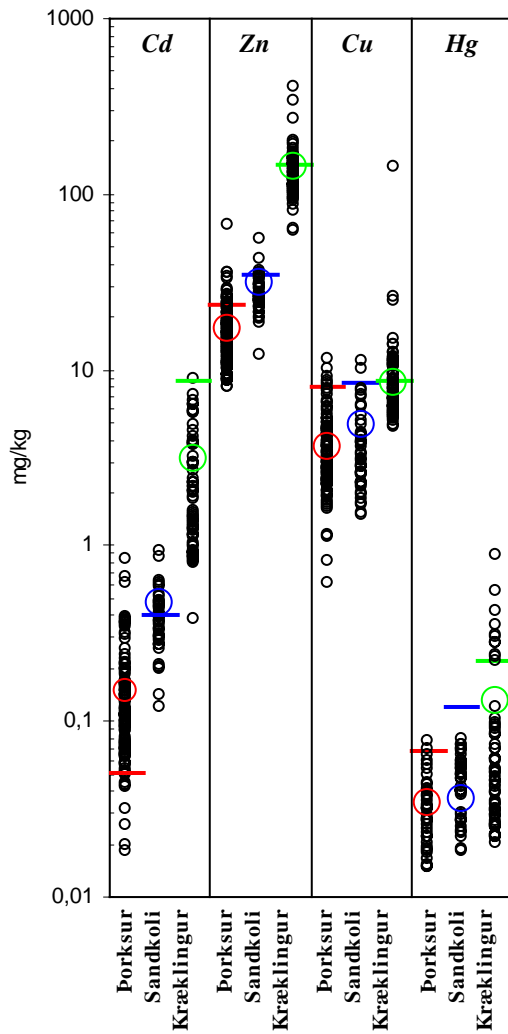
Aðrar tegundir

Styrkur kopars og kadmíns í síld virðist vaxa með aldri. Hins vegar er styrkur kvikasilfurs um þriðjungl lægri árið 1994 en að meðaltali fyrir árin 1989, 1991 og 1992. Þessi mikli munur í styrk kvikasilfurs stafar líklega af mælitækninni sem hefur tekið miklum framförum á síðustu árum. Kvikasilfur í holdi ískóðs frá 1994 og 1996 reyndist mjög svipað og í holdi þorsks á árunum 1990-1996.

Niðurstöðurnar mælinga í sel sýna að styrkur þungmálma í þeim er mun hærri en almennt gerist í fiski. Ástæðan fyrir þessu er sú að selur er ofar í fæðuvefnum. Styrkur kadmíns í lifur og nýrum útsela við Ísland er 100 til 150 sinnum hærri en mælst hefur í Norðursjó. Þetta styrkir enn frekar tilgátuna um að staðbundnar náttúrulegar orsakir liggi að baki hárra kadmíngilda í sjávarfangi hér við land, því engar vísbendingar eru um aðrar uppsprettur.

Samanburður við önnur svæði

Styrkur þungmálma í þorski, sandkola og kræklingi er oft við eða undir viðmiðunargildum Alþjóðahafrannsóknaráðsins (ICES) (mynd 06.3) með undantekningum þó. Einkum er það kadmín sem mælist hátt í lífríki sjávar hér við land og einnig styrkur kopars og sinks í kræklingi. Þessi há kadmínstyrkur virðist eiga sér náttúrulegar skýringar því ekkert hefur komið fram sem bendir til mengunar af manna völdum. Þetta má bæði útskýra með því að enga þróun er að sjá milli ára og ennfremur að kadmínstyrkur mælist hár hér á landi í mosa, langt frá öllum hugsanlegum uppsprettum. Sennilegt er að mikil lóðrétt blöndun sjávar valdi að nokkru leyti hinum háa styrk kopars og sinks í kræklingi, en venjulega er minna af þessum málum á grunnsvævi en djúpsævi.



Mynd 06.3. Þungmálmur í þorski, sandkola og kræklingi við Ísland. Efnastyrkur í þorski og sandkola er gefinn sem votvigt en sem þurrvigt fyrir krækling. Lituðu hringirnir tákna meðaltal mælinga. Litaðar línur eru viðmiðunargildi ICES.

06.2 Þrávirk lífræn efni

Þrávirk lífræn efni safnast fyrir í fituríkum vefjum lífvera og í meira mæli í sjávarlífverum og dýrum sem á þeim lifa, en öðrum dýrum. Hér er fjallað um PCB-efni HCH, HCB og DDT og er styrkur þeirra breytilegur milli tegunda (tafla 06.4). Algengust eru PCB-efnin.

Tafla 06.4. Styrkur þrávirkra lífrænna efna í fiski, meðaltal og styrkbil í sviga ($\mu\text{g}/\text{kg}$).

Efni	Þorskur (votvigt) ^{a)}	Sandkoli (votvigt) ^{a)}	Kræklingur (þurrvigt) ^{b)}
Σ HCH	<22 (<1-153)	<1,6 (<0,6-5,3)	<0,5 (<0,3-<0,7)
Σ PCB-7	87 (28-406)	64 (14-501)	8 (1,6-26,5)
HCB	21 (3-41)	7,7 (2,1-36,4)	<0,4 (<0,1-0,9)
p,p-DDE	48 (12-118)	29,6 (3,6-150)	1 (0,5-2,9)

a) Mælt í lifur

b) Mælt í öllum fiskinum

Þorskur

Góð fylgni er innbyrðis á milli þrávirkra efnanna í þorski (tafla 06.5). Þetta bendir sterklega til að þessi efni eigi að miklu leyti sameiginlegan uppruna og megi rekja hann út fyrir landsteinana.

Tafla 06.5. Fylgni milli þrávirkra lífrænna efna í þorsklifur á NA-miðum

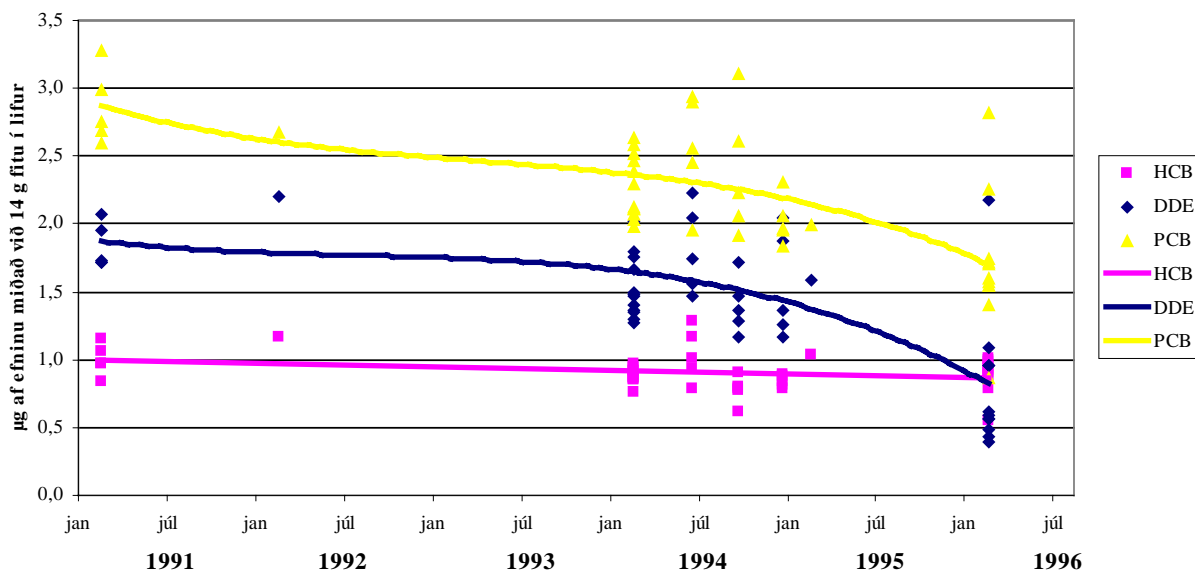
Þáttur	ln HCB	ln PCB (summa7)	ln PCB (öll)	ln PCB (afl. 153)	ln DDE
ln HCB	1				
ln PCB (summa7)	0,968	1			
ln PCB (öll)	0,959	0,998	1		
ln PCB (afl. 153)	0,965	0,996	0,994	1	
ln DDE	0,900	0,954	0,965	0,950	1

Samkvæmt útreikningum minnkar magn PCB-efna og DDE marktækt á milli ára, en HCB er óbreytt (tafla 06.6).

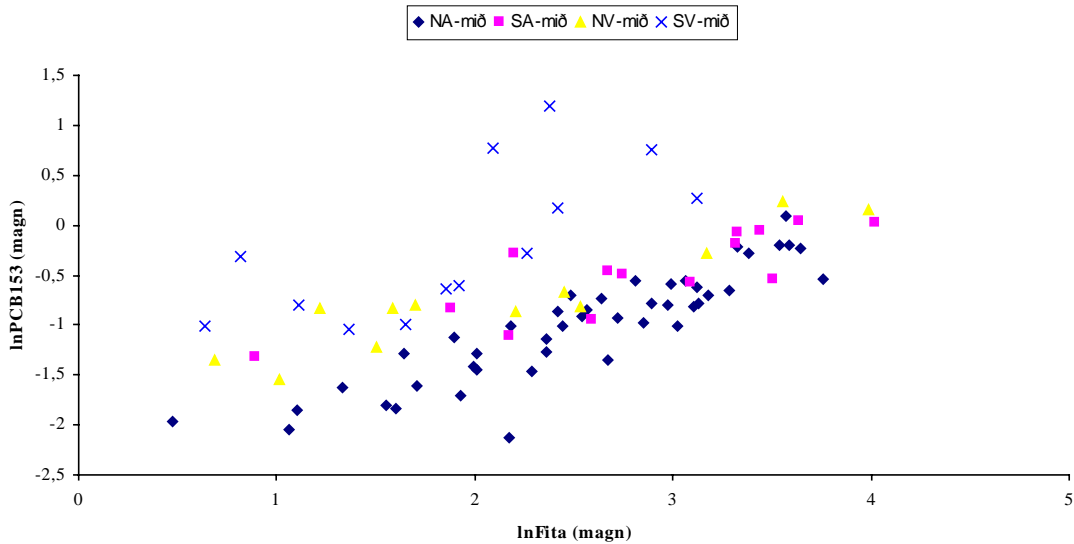
Tafla 06.6. Hlutfallsstuðlar fyrir þrávirk lífræn efni, 30-45 cm langur þorskur í mars á NA-miðum.

Ár	Fjöldi hópa	PCB	HCB	DDE
1991	5	0,219	0,034	0,171
1992	2	0,212	0,040	0,212
1994	12	0,186	0,030	0,151
1995	1	0,152	0,036	0,146
1996	11	0,130	0,030	0,067

Þetta staðfestist enn frekar þegar magn í þorski frá NA-miðum er umreiknað til magns í „staðalfiski“ og breytingin í „staðalfiskinum“ skoðuð eftir árum. Mynd 06.4 sýnir að magn PCB og DDE í „staðalfiskinum“ er á niðurleið meðan að HCB helst óbreytt. Samanburður leiðir enn fremur í ljós að marktækur munur er á magni PCB efna á suðvesturmiðum og á öðrum miðum og verður hann enn skýrari ef PCB-153 afleiðan er skoðuð ein og sér (mynd 06.5).

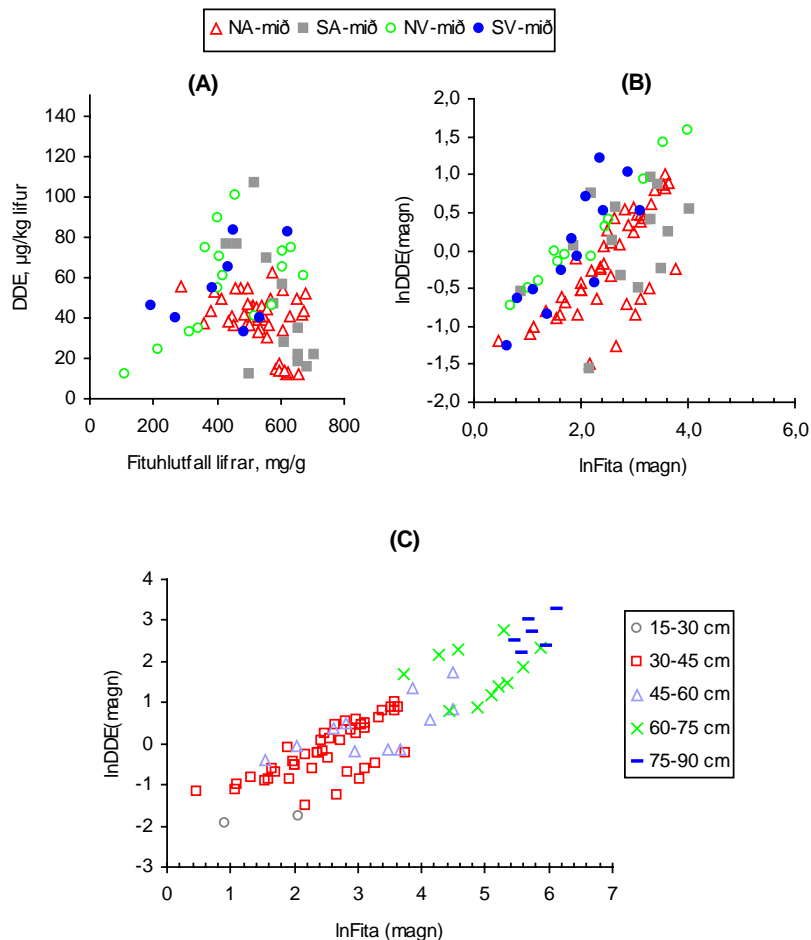


Mynd 06.4. Þrávirk lífræn efni á NA-miðum 1990-1996. Gildin eru umreiknuð fyrir staðallengd af fiski (30-45 cm) samkvæmt þeirri líkingu sem kynnt er í skýrslunni og miðað er við 14 g fitu í lifur.



Mynd 06.5. Vensl magns PCB-153 afleiðunnar við fitumagn í 30-45 cm löngum þorski af Íslandsmiðum 1991-1996.

DDE virðist fylgja sama mynstri og PCB en sambandið við fitumagn er flóknara. Þegar borið er saman magn DDE og fitumagn má greinilega sjá tvær línur (sjá mynd 06.6). Ekki liggur fyrir skýring á þessu en hugsanlegt er að þetta endurspegli mismunandi notkun DDT á svæðum utan Íslands.



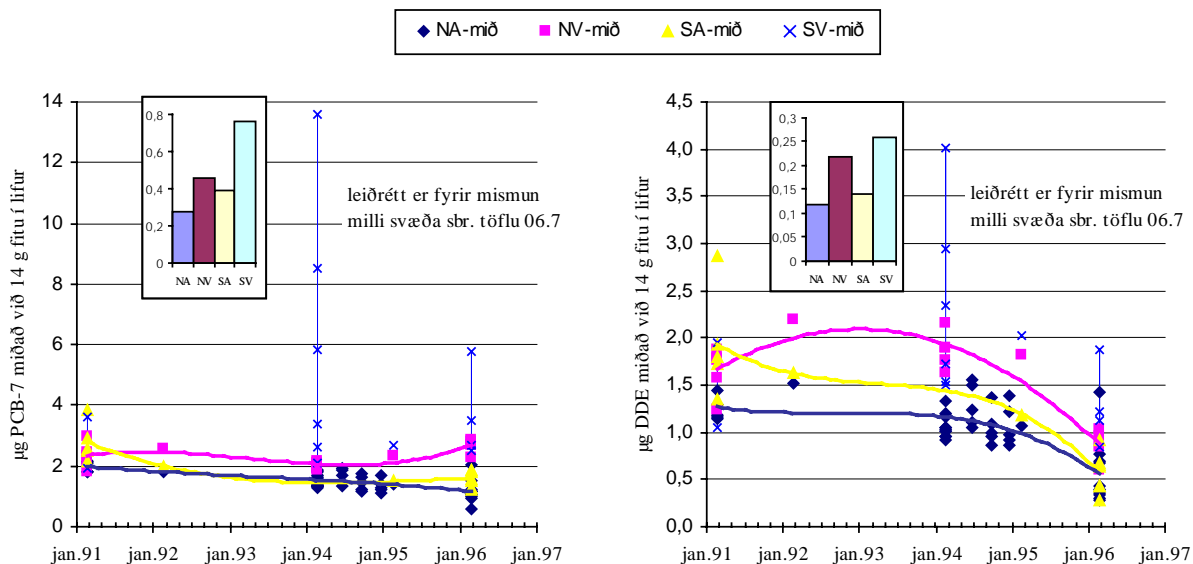
Mynd 06.6. Samband DDE efna og fitu í 30-45 cm löngum þorski af Íslandsmiðum 1991-1996. a) vensl styrks DDE efna og fituhlutfalls lifrar. b) vensl magns DDE og fitumagns. c) samband magns DDE og fitumagns eingöngu af NA-miðum, árin 1991-1996.

Skýringar á mismunandi hegðun þessara efna má finna í eiginleikum þeirra. HCB er tiltölulega vatnsleysanlegt miðað við PCB-efni og aðalupptaka þess (og losun) er í gegnum tálkn. Styrkur HCB í lífverum er því í jafnvægi við styrk þess í sjónum og hinn sami alls staðar í kringum landið. Magn PCB í lífverum er hins vegar meira háð inntöku í gegnum fæðu og þannig geta skapast mismunandi aðstæður á milli svæða. Einnig er hugsanlegt að munurinn endurspegli mismunandi uppsprettur og dreifingamyndstur.

Magn PCB og DDE er marktækt meira á SV-miðum en á öðrum miðum (tafla 06.7). Svo virðist sem skyndileg en tímabundin aukning á þessum efnum komi fram í lífríkinu á SV-miðum á árunum í kringum 1994 og áhrifin séu ekki að fullu horfin (mynd 06.7). Magn efnanna mælist mun hærra 1994 en á öðrum árum og gefur þetta til kynna að aukningu á þeim í umhverfinu það árið. Athyglisvert er að PCB-efnin og DDE hegða sér eins og rennir það stoðum undir tilgátuna um sama dreifingarmyndstur.

Tafla 06.7. Hlutfallsstuðlar fyrir þrávirk lífræn efni eftir miðum í 30-45 cm þorski.

Mið	Fjöldi hópa	PCB(summa 7)		HCB		DDE	
		stuðull	frávik%	stuðull	frávik%	stuðull	frávik%
NA	30	0,28	0,0	0,03	0,0	0,12	0,0
NV	17	0,46	62,6	0,04	32,4	0,22	84,2
SA	15	0,39	37,6	0,05	39,4	0,14	18,9
SV	16	0,76	167,2	0,03	-0,8	0,26	111,7



Mynd 06.7. Breytingar á styrk PCB-7 og DDE efna frá ári til árs. Í myndunum er reiknað með „staðalfiski“ (14 g fitu í lifur og 3,1 árs). Fyrir SV-mið er ekki unnt að draga aðhvarfslínu vegna mikillar dreifingar í gögnum. Á innfeldu myndunum má sjá samanburð á hlutfallsstuðlum milli miða fyrir hvert efni.

Kræklingur

Styrkur PCB-efna í kræklingi í Ísafjarðardjúpi (Arnarnes) og við Hvalstöðina í Hvalfirði mælist svipaður, en er mun meiri og breytilegri í kræklingi við Straumsvík. Við Grímsey og sérstaklega við Vestmannaeyjar mælist heldur minna magn. Ekki liggur fyrir skýring á lágum PCB-styrk við Vestmannaeyjar. Mögulegt er að staðsetning kræklingins á klettavegg fjarri botni hafi áhrif, en kræklingur tekur auðveldlega upp PCB úr botngruggi.

Styrkur PCB-efna í kræklingi hér við land er sambærilegur við það sem mælist fjarri byggð á vesturströnd Bandaríkjanna og svipaður því lægsta sem mælist við Bretland og Írland.

Styrkur α -HCH, HCB og p,p'-DDE er almennt lágur og er ýmist undir eða alveg við greiningarmörk. Hann virðist vera nokkuð svipaður frá ári til árs og milli staða. p,p'-DDE mælist þó meiri 1991 og 1992 en hin árin. Hér er hugsanlega um breytileika tengdan efnagreiningunum sjálfum að ræða, en þær eru vandasamar, sérstaklega þegar styrkur efnanna er við greiningarmörk eins og hér er reyndin.

Sandkoli

Mjög góð fylgni er milli p,p'-DDE-, PCB- og HCB-innihalds í sandkolalifur. Styrkur þessara efna sker sig nokkuð úr árið 1993, en þá voru aðeins tekin sandkolasýni úr Faxaflóa. Bæði er meðalstyrkur efnanna hærri og breytileikinn meiri en á öðrum miðum. Þennan aukna breytileika er ekki hægt að skýra með mismunandi fituinnihaldi lifrar í sandkola. Því bendir þetta til þess að magn þrávirkra lífrænna efna sé meira á SV-miðum en á öðrum miðum sem rannsóknirnar náðu til og er það í samræmi við niðurstöður í þorski.

Aðrar tegundir

Síldarsýni voru tekin árin 1990, 1992 og 1994. Mældur var styrkur þrávirkra lífrænna efna í holdi síldarinnar, þar sem hún safnar fitu í hold en ekki lifur. Styrkur PCB-efna í íslenski síld er sambærilegur við styrk þessara efna í síld frá ströndum Finnlands og úr Barentshafi. Hins vegar mælist styrkur PCB-efna mun meiri í síld í Norðursjó.

Styrkur þrávirkra lífrænna efna í selspiki er hár miðað við fisk. Þetta er í samræmi við það að selur er mun ofar í fæðuvefnum, en hér er aðeins um tvær mælingar að ræða og því ekki raunhæft að draga of miklar ályktanir af þeim. Eldri mælingar á þrávirkum efnunum í landsel og útsel hér við land sýna að áhrif mengunar á sel minnka eftir því sem lengra dregur norður á bóginn í átt frá iðnaðarsvæðum Evrópu.

Íslenskir refir eru töluvert mengaðir af lífrænum þrávirkum efnunum og sérstaklega þau dýr sem lifa nálægt sjó enda má segja að þar sé refurinn í efsta þrepi í fæðuvef sjávar. Styrkur PCB (afleiður 118, 153, 138, 163, 180, 170, 194) er á bilinu 671-8188 µg/kg votvigt í hópnum sem lifir við sjávarsíðuna meðan samsvarandi gildi er 31-127 µg/kg votvigt í refum sem lifa inn til landsins. Þetta sýnir glögglega að sjávardýr og dýr sem á þeim lifa verða mun meira fyrir barðinu á þrávirkum efnunum en landdýr eins og rannsóknir á fuglum hafa einnig sýnt.

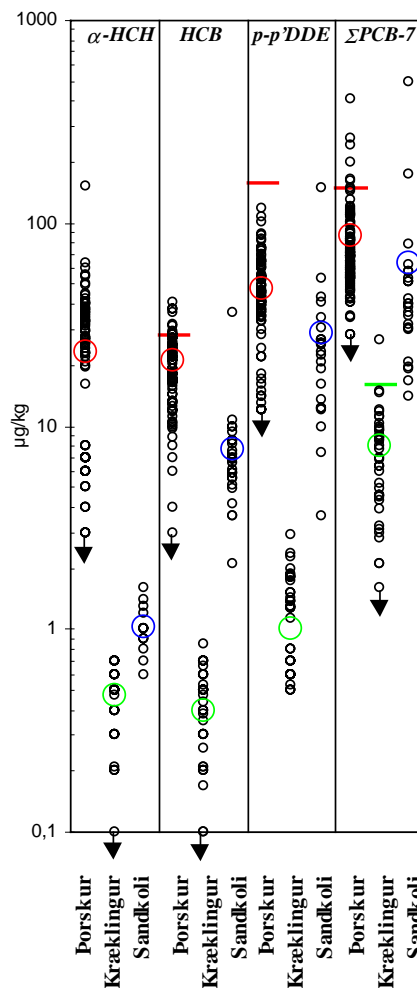
Samanburður við önnur svæði

Samanburður við önnur hafsvæði leiðir í ljós að styrkur þrávirkra lífrænna efna í lífríki sjávar við Ísland er með því lágsta sem mælist á nálægum hafsvæðum (mynd 06.8). Tilvist þeirra er vísbending um mengun af manna völdum og þótt hún sé óveruleg er full ástæða að halda vöku sinni bæði innanlands og í alþjóðlegu samstarfi til að sporna gegn þessari mengun.

Mynd 06.8. Þrávirk lífræn efni í þorski, sandkola og kræklingi við Ísland. Efnastyrkur í þorski og sandkola er gefinn sem votvigt en sem þurrvigt fyrir krækling. Lituðu hringirnir tákna meðaltal mælinga. Örvar tákna að hluti mælinganna liggi neðan greiningarmarka. Litadar línur sýna samanburðargildi í þorski í N-Norðursjó og við Vesturströnd Noregs en styrkur sjö PCB-efna í kræklingi er borinn saman við mælingar á kræklingi við vesturströnd Bandaríkjanna.

Vansköpun hjá nákuðungum

Könnun á útbreiðslu vansköpunar hjá nákuðungum sýnir að mengun vegna trúbútyltins (TBT) hér við land virðist talsverð og sker svæðið frá Reykjanesi í suðri til Vestfjarða sig úr. Mest virðist mengunin vera í nágrenni höfuðborgarsvæðisins þótt vísbendingar séu um að eitthvað hafi dregið úr henni (tafla



06.8). Einnig eru árstímasveiflur í magni TBT í nákuðungi og kræklingi. Þessar sveiflur tengjast lífsferli og fæðuöflun dýranna. Rannsóknir á magni TBT í seti hafa ekki farið fram hér á landi, en vitað er að TBT sem hefur borist í set getur haft langvarandi áhrif á lífríki sjávar. Vel er hugsanlegt nú, þegar notkun TBT-botnmálningar á skip hefur minnkað, að leki úr menguðu seti verði helsta uppspretta TBT mengunar.

Tafla 06.8. Hlutfall vanskapaðra kvendýra nákuðungs.

	Vansköpun (%)	
	1992-'93	1996
Gufunes við Reykjavík	100	97
Hofsvík á Kjalarnesi	100	83
Hjarðarnes í Hvalfirði	100	14

06.3 Geislavirk efni í lífríki hafsins

Líkt og fyrir geislavirk efni í sjó er Cs-137 notað við mælingar á geislavirkni í lífríki hafsins. Samanborið við lífverur á nálægum hafsvæðum er styrkur geislavirkra efna á Íslandsmiðum mjög lágur (tafla 06.9).

Tafla 06.9. Styrkur Cs-137 í lífríki hafsins (Bq/kg).

	Þorskur	Sandkoli	Kræklingur	Þang
Ísland (1989-96)	0,13-0,36	<0,06-0,19	<0,06-<0,5	0,15-0,51
Írlandshaf (1997)	2,4-16	10*	2,8-6,4	0,33-13
Norðursjór (1997)	0,79-0,85		0,19 og 0,25	

* einungis 1 mæling

Breytileiki í styrk geislavirkra efna eftir árstíðum var skoðaður með því að taka þorsksýni nokkrum sinnum yfir árið. Út frá þeim gögnum er ekki hægt að sjá neinn afgerandi mun á styrk Cs-137 í þorski á Íslandsmiðum eftir árstíma. Niðurstöður geisla-mælinga á misstórum þorski frá sömu árum sýndu heldur ekki merkjanlegan mun á styrk Cs-137 milli stærðarflokka þorsks.

Sýni af þangi til sesínmælinga hafa verið tekin á sex stöðum í kringum landið frá árinu 1989. Styrkur Cs-137 við Ísland er svipaður og mælist við strendur Færeyja og vesturströnd Grænlands. Hann er hins vegar tveimur stærðargráðum minni en við strendur Noregs og allt að fimm þúsund sinnum lægri en mælist í þangi nálægt endurvinnslustöðinni í Sellafield.

Niðurstöður mælinga hafa leitt í ljós að skipta má sýnunum í tvo flokka eftir staðsetningu sem eru:

- Suður- og Vesturland (Vestmannaeyjar, Ólafsvík og Ísafjörður) með meðalgildi 0,30 Bq/kg og
- Norður- og Austurland (Grímsey, Fáskrúðsfjörður og Stokksnes) með meðalgildi 0,42 Bq/kg.

Lægri mæligildin endurspeglar þannig lágan styrk Cs-137 í hlýjum Atlantssjónum sem kemur upp að Suðurlandi. Hærra gildi fyrir Cs-137 í þangi fyrir norðan og austan land má skýra með hærri styrk Cs-137 í sjó fyrir norðan land, aðallega vegna geislavirkra efna frá endurvinnslustöðvum í Evrópu (sjá umfjöllun í kafla 6).

Cs-137 var mælt í sandreyð sem rak á land við Sandgerði í september árið 1996. Mæligildin sem fengust voru 0,28 Bq/kg í kjöti af skepnumni, en <0,20 Bq/kg í spiki hennar. Niðurstöður mælinga á sel frá Breiðamerkursandi, frá því í september árið 1995, voru sambærilegar, eða 0,2 Bq/kg fyrir Cs-137. Þessi gildi eru sambærileg við það sem mælist í fiski af Íslandsmiðum.

07 Menn, önnur landspendýr og fuglar

Undanfarin ár hafa farið fram rannsóknir á styrk málma, þrávirkra lífrænna efna og geislavirkra efna í búfjárafurðum, fuglum og fólki á Íslandi. Einnig hefur styrkur geislavirkra efna verið mældur í ýmsum landbúnaðarafurðum. Þessar rannsóknir snúa öðrum þræði að markaðs- og matvælaeftirliti en einnig að því að kanna tengsl þessara efna við heilbrigði dýra og manna.

07.1 Þungmálmar og þrávirk lífræn efni í búfjárafurðum

Styrkur þungmálma í neysluafurðum hrossa, svína, sauðfjár og nautgripa er yfirleitt alllangt undir hámarks viðmiðunarmörkum samkvæmt íslenskum reglugerðum (tafla 07.1). Sömu sögu er að segja um styrk þrávirkra lífrænna efna (tafla 07.2). Í íslenskri mjólk er magn blýs og kadmíns mjög lítið og kvikasilfur er ekki mælanlegt.

Tafla 07.1. Meðalstyrkur þungmálma í íslenskum sláturafurðum 1992-1997 ($\mu\text{g}/\text{kg}$ votvigt).

	Hámark	Hross	Svín	Sauðfé	Nautgripir
<i>Kadmín (Cd)</i>					
Vöðvi	100	<13	<2	<2	<2
Lifur	500	153	23	17	28
Nýru	500	2917	123	18	128
<i>Blý (Pb)</i>					
Vöðvi	50	<24	<24	<5	<5
Lifur	200	148	<24	<24	<17
Nýru	200	<24	<24	<17	<24
<i>Kvikasilfur (Hg)</i>					
Vöðvi		<8	<35	<10	<10
Lifur		<25	40	<10	<10
Nýru		64	53	<10	<35
<i>Arsen (As)</i>					
Vöðvi		<10	<10	<10	<10
Lifur		<10	<10	<10	<10
Nýru		<10	<10	<10	<10

Tafla 07.2. Meðalstyrkur þrávirkra lífrænna efna í íslenskum sláturafurðum 1992-1997 ($\mu\text{g}/\text{kg}$ votvigt).

	Lindan	HCB	Σ DDT	Σ PCB
Hámark	100	20	100	200
Hross	<5	<5	<5	29,9
Svín	<5	3,6	16,9	55,7
Sauðfé	<5	<5	13,7	28,5
Nautgripir	<5	3,6	9	21,8

07.2 Þrávirk lífræn efni og þungmálmar í fugli

Styrkur þrávirkra lífrænna efna í fugli (fálka, æðarfugli) á Íslandi er almennt hærri en í sambærilegum tegundum á norðlægum slóðum. Ólíklegt er að hér sé um staðbundna mengun að ræða heldur berast efnin sennilega í íslenskan fæðuvef erlendis frá, t.d. með farfuglum. Ennfremur vex styrkur þrávirkra efna í fugli eftir því sem ofar dregur í fæðuvefinn. Í fálka, sem er efst í fæðuvefnum, er styrkur PCB-efna allt að milljón sinnum meiri en í rjúpu sem er þýðingarmikil fæða fálkans (tafla 07.3). Hár styrkur þrávirkra lífrænna efna í æðarfugli virðist hins vegar vera háður styrk sömu efna í hafinu og er í fullu samræmi við það sem mælist í öðrum sjófuglum hér við land.

Tafla 07.3. Þrávirk lífræn efni í fitu fugla.

Tegund	Σ HCH μg/kg	HCB μg/kg	Σ PCB mg/kg	Σ DDT mg/kg
Fálki	<50-390	<50-1400	0,07-232	0,005-49,9
Rjúpa	0,06-0,3	0,09-0,3	0,0002-0,004	<0,0001
Æðarfugl		0,25-0,83	0,085-0,11	0,010-0,012

Mælingar á styrk kvikasilfurs í fjöðrum sex tegunda af sjófugli (álka, stuttnefja, langvía, lundi, rita og fýll) sýna hlutfallslega háan styrk í fjöðrum fullorðinna fugla frá Látrabjargi samanborið við staði í Noregi, Skotlandi og á Hjaltlandseyjum. Ekki eru til skýringar á þessu, en ekkert bendir til að þessi háí styrkur endurspeglar styrk kvikasilfurs í vistkerfi sjávar, enda mælist kvikasilfur lágt í sjávardýrum.

07.3 Þungmálmur og þrávirk lífræn efni í mæðrum

Styrkur þungmálma í blóði íslenskra mæðra er sambærilegur við það sem mælist í blóði mæðra á Norðurlöndum (tafla 07.4). Hann virðist háður lífshátum einstaklinga frekar en ytri umhverfisþáttum. Til að mynda er meðalstyrkur kadmíns í blóði mæðra sem hafa aldrei reykt nær helmingi lægri en hjá þeim sem reykja.

Tafla 07.4. Meðalstyrkur þungmálma í blóði mæðra (μg/l).

	Pb	Cd	Hg	Se
Ísland	<26	0,4	3,3	97
Noregur	15	0,5	3,4	107
Svíþjóð	28	1,1		63
Grænland	51	1,3	19,8	64

Styrkur þrávirkra lífrænna efna í móðurmjólk íslenskra kvenna er sambærilegur við það sem mælist í móðurmjólk annars staðar á Norðurlöndum (tafla 07.5). Samanlagður styrkur þessara efna í móðurmjólk íslenskra kvenna mælist þó langt undir hættumörkum fyrir brjóstmylkinga. Talið er að fylgni sé á milli aukins styrks PCB-efna í móðurmjólk, minni fæðingarþyngdar og óeðlilegs þroska nýbura.

Tafla 07.5. Meðalstyrkur þrávirkra lífrænna efna í móðurmjólk (ng/g).

Staður	HCB		Σ DDT		Σ PCB	
	Mjólkur- fita	Mjólk	Mjólkur- fita	Mjólk	Mjólkur- fita	Mjólk
Ísland 1993	47,4	1,62	357	8,6	901	10,8
Ísland 1998		1,99		8,4		8,44
Noregur 1991		0,7		6		8,3
Svíþjóð 1985	37	0,96	650	15	600	16+
Finnland 1985	80		660		930	
Færeyjar 1995					1900-3500	

07.4 Geislavirk efni á landi

Búfjárafurðir og fugl

Almennt er styrkur Cs-137 í íslenskum matvælum mjög lágur. Geislun af þess völdum er hverfandi miðað við þá grunngeislun sem kemur úr umhverfi okkar. Talið er að um 40% af því sesíni sem er í fæðu á Íslandi komi úr mjólk. Meðalgildi fyrir Cs-137 í íslenskri mjólk er þó sáralágt, eða frá 1,5-3,5 Bq/lítra, en til samanburðar má geta að viðmiðunarmörk fyrir Cs-137 í alþjóðlegum viðskiptum eru 1000 Bq/lítra.

Styrkur Cs-137 hefur verið mældur reglulega í íslensku lambakjöti frá árinu 1989. Undanfarið hafa verið tekin 4 sýni frá fjórum stærstu sláturhúsum landsins, einu sinni á ári, að hausti í sláturtíð.

Niðurstöður sýna að mikil dreifing er í mæligildum (2-100 Bq/kg). Einnig kemur fram að styrkur Cs-137 virðist hærri í fé sem gengur á afrétt en ella.

Tvö sýni af kýrkjöti af Suðurlandi hafa veið mæld og mældust bæði sýnin um 3,5 Bq/kg Cs-137. Sýni af svínakjöti sem mælt var gaf hins vegar mun lægra gildi, eða 0,2 Bq/kg og í sýni af kjúklingakjöti mældist ekki nema 0,13 Bq/kg.

Jarðvegur og gróður

Frá árinu 1993 hefur verið unnið að samnorrænu verkefni um flutning efna úr jarðvegi í sauðfé. Meðal þess sem þar hefur verið mælt er jarðvegur, gróður (bæði samsett gróðursýni og tegundasýni) ásamt lambakjöti, sauðamjólki, skít úr lömbum og ám. Komið hefur í ljós að íslenskt vistkerfi er sérstakt á þann hátt að geislavirkt sesín virðist þaulsetnara hér en t.d. víðast í Skandinavíu.

Í jarðvegi fer styrkur Cs-137 á flatareiningu eftir ýmsum þáttum, þar á meðal staðbundnum eiginleikum (styrkur er meiri í dældum en ofan á þúfum) og meðalúrkomu á viðkomandi landsvæði (því meiri úrkoma, þeim mun hærri er styrkurinn að jafnaði).

Styrkur Cs-137 í gróðri fer mjög eftir aðstæðum og gróðurtegundum. Styrkur þess í gróðri og landbúnaðarafurðum frá tilraunabúinu að Hesti í Borgarfirði er að jafnaði um tífalt hærri en samsvarandi styrkur í gróðri og afurðum frá Stóra Ármóti á Suðurlandi (í grennd við Selfoss). Breytileikinn er þó meiri séu einstakar tegundir athugaðar. Í rannsókninni á þessum tveimur tilraunabúum spönnuðu mæld gildi í einstökum tegundum allt frá 0,7 Bq/kg þurrviggt upp í 130 Bq/kg þurrviggt.

Styrkur Cs-137 er lágur í jarðvegi hér á landi og svipaður því sem gerist á sambærilegum stöðum erlendis. Rannsóknir benda hins vegar til að tilfærsla Cs-137 úr íslenskum jarðvegi í gróður sé oft töluvert meiri hér á landi en gengur og gerist erlendis. Af þeim sökum er styrkur sesíns í gróðri er hærri hér á landi þó svo að hann sé vel neðan hættumarka. Fyrir vikið er íslensk náttúra viðkvæm gagnvart geislavirku úrfelli og því full ástæða til frekari rannsókna.

Hreindýr, æðarfugl og ísbjörn

Árin 1990-1993 var gerð rannsókn á tilfærslu á Cs-137 úr jarðvegi og gróðri í hreindýrakjöt. Styrkur Cs-137 mældist mjög lágur í hreindýrakjötinu. Meðaltal 43 kjötsýna reyndist 11 Bq/kg, en til samanburðar voru dæmigerð vetrargildi í Noregi, Svíþjóð og Finnlandi um 200-400 Bq/kg fyrir Tsjernobylslysið, árið 1986. Mismunandi fæðuval dýranna þar er líklegasta skýringin á þessu

Einnig voru gerðar mælingar á geislavirku sesíni í æðarfugli. Reyndist styrkur þess neðan greiningarmarka í tveimur sýnum af þremur, en 0,1 Bq/kg í því þriðja. Styrkur Cs-137 var einnig mældur í sýni af ísbirni sem fangaður var norður af Horni í júní 1996. Styrkurinn mældist 0,2 Bq/m³, sem er sambærilegt við það sem mældist í sel og hval af Íslandsmiðum.

Æðarfuglar og ísbjörnninn sækja fæði í sjávarfang. Það kemur því ekki á óvart að styrkur Cs-137 í kjöti þeirra skuli vera svipaður og í fiski og mun minni en í kjöti dýra sem sækja fæðu á þurrt land.

08 Stöðuvötn

08.1 Efnainnihald stöðuvatna

Ofauðgun næringarefna hefur átt sér stað í fjölmörgum stöðuvötnum í iðnríkjum Evrópu. Hún hefur haft áhrif á vistkerfi vatna og á nýtingu þeirra, m.a. til neyslu.

Í sumum vötnum hefur verið brugðist við í tíma með aðgerðum (t.d. hertri skólphreinsun) en í öðrum tilvikum hrakar ástandinu enn. Súrnun vatna er svæðisbundið vandamál í sumum ríkum. Á þeim hefur verið tekið með samræmdum aðgerðum sem m.a. miða að því að draga úr losun brennisteinssambanda í andrúmsloftið.

Jarðvegur og berggrunnur á Íslandi veðrast mjög hratt og eyðir síru í úrkomu sem hér fellur. Flest vötnin hafa því pH um eða yfir 7 og því er súrnun stöðuvatna ekki vandamál hér á landi. Á Íslandi er styrkur köfnunarefnis í stöðuvötnum tiltölulega lágur. Heildarstyrkur fosfórs er hins vegar nokkuð hár miðað við ómengið stöðuvötn í nágrannalöndum okkar. Þessi há styrkur er að öllum líkindum af náttúrulegum orsökum þar sem íslenskt berg er yfirleitt ríkara af fosfór en berg á meginlandi Evrópu (tafla 08.1).

Tafla 08.1. Miðgildi fyrir styrk heildarfosfórs (P_{Tot}) og heildar-köfnunarefnis (N_{Tot}) ($\mu\text{g/l}$) í stöðuvötnum í Norður-Evrópu.

Staður	P_{Tot}	N_{Tot}
Ísland	16	168
Finnland	13	501
Noregur	2	173
Svíþjóð	9	503
Danmörk	75	1640
Rússland (Kólaskagi)	6	252
Skotland	3	387
Wales	3	477

08.2 Lífríki stöðuvatna

Styrkur þungmálma í íslenskum silungi er langt undir viðmiðunarmörkum um aðskotaefni í matvælum.

Munur er þó á styrk einstakra þungmálma á milli bleikjuafbrigða og í ljósi þeirra niðurstaðna er tilefni til að kanna þennan mun nánar, t.d. með hliðsjón til fæðusérhæfingu. Enn sem komið er eru mælingar of fáar og því óvarlegt að túlka þessar niðurstöður öðruvísi en sem náttúrulegan breytileika.

Styrkur þrávirkra lífrænna efna í silungi er mjög lágur og mengun af manna völdum í efstu þrepum vistkerfis stöðuvatna á Íslandi er því talin hverfandi (tafla 08.2).

Tafla 08.2. Meðalstyrkur þungmálma og þrávirkra lífrænna efna í afbrigðum silungs (þungmálmur $\mu\text{g/g}$ votvigt, þrávirk lífræn efni ng/g votvigt).

Tegund	Dverg-bleikja	Kuðunga-bleikja	Murta	Sílableikja	Urriði
Cd	0,077	0,012	0,083	0,019	0,122
Pb	<0,3	<0,01	<0,01	<0,01	<0,02
Hg	0,026	0,024	0,095	0,091	0,059
Zn	37,3	32,7	30,8	26,6	34,5
Cu	<gr. mörk	135	9,6	7	166
Σ HCH	<0,2	<0,2	<1,3	<0,2	<0,2
Σ DDT	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6
Σ PCB-7	<1,7	<1,8	<3,2	<3,1	<1,4
HCB	0,2	0,3	0,6	0,9	<0,2

08.3 Geislavirk efni í stöðuvötnum

Cs-137 var mælt bæði í set- og bleikjusýnum úr Þingvallavatni sem tekin voru árið 1989 og á árunum 1994-1996. Mæligildi fyrir set eru mjög lág og svo má einnig segja um þann fisk sem mældur var (0,5-0,7 Bq/kg) sem er sambærilegt við það sem mælist í sjávarfiski við Ísland. Ein undantekning var þó á þessu, en það var sýni af sílableikju, en í þar mældist styrkur Cs-137 2,9 Bq/kg. Skýringin á þessu gæti falist í mismunandi fæðuvali tegundanna.

09 Framhald rannsókna

Með þessari skýrslu er varpað ljósi á ástand mengunar hér á landi og í hafinu umhverfis Ísland. Ljóst er að með auknum gögnum og viðtækari vöktun hefur þekking okkar á viðfangsefninu aukist umtalsvert. Skýrslan vekur einnig nokkrar áleitnar spurningar, einkum hvað varðar flutning efna, sérstaklega þungmálma, með straumvötnum til sjávar. Þá er enn ósvarað spurningum um magn þungmálma í lífverum og tengsl þess við líffræðileg ferli, þótt þessi skýrsla leiði margt nýtt áhugavert í ljós í þeim efnum og búið sé að afmarka viðfangsefnið betur. Loks er vitað að mörg þrávirk lífræn efni sem engar upplýsingar eru til um hér við land mælast í umtalsverðu magni á Norðurslóð. Þessi efni kunna því að vera í íslensku umhverfi. Hér er einkanlega átt við díoxín, fúranefni og toxafen.

Mikilsvert er að áréttu að vöktun umhverfisins er stöðugt viðfangsefni. Langar mæliraðir sem gerðar eru á staðlaðan hátt þurfa að liggja fyrir til þess að hægt sé að greina milli langtímabreytinga af manna völdum og innbyggðs breytileika milli ára og árstíðabreytinga auk mælióvissu. Þá fyrst er hægt að segja til um það hvort og þá hvernig ástand umhverfisins er að breytast af manna völdum. Þess vegna hefur verið lögð áhersla á að safna stöðugt sýnum jafnvel þótt fé til efnagreininga hafi ekki ævinlega verið fyrir hendi. Þannig hefur tekist að halda í horfinu þrátt fyrir takmarkaðar fjárveitingar.

Vitneskja okkar um tilvist einstakra mengunarefna á Íslandi og umhverfis það hefur aukist til muna og dregin hefur verið upp fyllri heildarmynd af ástandinu, mynd sem mun auðvelda ákvarðanir um stefnu og áherslur í umhverfisvöktun. Um leið hefur verið lagður grundvöllur að framtíðarvöktun á mengunarefnum í sjó hér við land.

Nefndin leggur eindregið til að vöktun verði haldið áfram með líkum hætti og verið hefur, og helst með auknu umfangi. Hún bendir á að fjölga þurfi þeim þáttum sem þegar eru vaktadír, en auk þess þyrfti:

- ✓ að vakta fleiri lífræn efni en nú er gert, svo sem toxafen, díoxín og fúranefni, bæði í umhverfi og lífríki
- ✓ að renna traustari stoðum undir líkan það sem kynnt er í kafla 8 með frekari stoðmælingum
- ✓ að afla aukinnar vitneskju um hvernig mengunarefni berast til sjávar á og með framburði straumvatna
- ✓ að vakta styrk kvikasílfurs í úrkomu og andrúmslofti.

1 Inngangur

1.1 Bakgrunnur

Kerfisbundnar mælingar á mengunarefnum í lífríki hafsins má rekja til starfshóps sem settur var á laggirnar af þáverandi samgöngumálaráðherra árið 1989. Síðan hafa verið tekin árleg sýni úr lífríki sjávar.

Tilgangur mælinganna var þrjúþættur:

- að kanna ástand umhverfisins og fylgjast með því
- að standa við skuldbindingar sem Íslands í alþjóðasamningum
- að safna upplýsingum um íslenskt umhverfi með ákveðnar áherslur í huga.

Árið 1989 kom út skýrsla sem var lýsing á verkefnum og var þeim hleypt af stokkunum sama ár (1). áfangaskýrsla kom út árið 1992 þar sem gerð var grein fyrir þróun verksins og birtar niðurstöður mælinga sem lágu fyrir (2). Skýrsla með gögnum frá 1989 til 1992 kom síðan út 1995 (3). Í skýrslunni sem nú lítur dagsins ljós eru frekari niðurstöður varðandi ýmsa þá þætti sem áður hafa verið kannaðir auk nýrra þátta. Í töflu 1.1. er yfirlit yfir þær mengunarmælingar sem skýrslan fjallar um. Einnig er stuðst við margháttaðar mælingar ýmissa aðila, með góðfúslegu leyfi þeirra, sem eru áður óbirtar og tengjast ekki starfi AMSUM (sjá síðar) með beinum hætti.

Tafla 1.1. Yfirlit yfir mengunarmælingar sem fjallað er um í skýrslunni.

	Geislavirkni	Næringarsölt	Ýmsar mælingar	Þungmálmar	Þrávirk lífræn efni
<i>Lifverur</i>					
þang	1989-1996				
kræklingur	1990-1995			1990-1995	1991-1995
þorskur	1989-1990,1992-1996			1990-1996	1991-1996
skarkoli	1989			1989	
sandkoli	1991-1992			1990-1995	1991-1995
loðna	1989			1989	
síld	1989-1992			1989-1990, 1992	1991-1992
nákuðungur			1996		
fuglar	1993			1992-1995	1996
bleikja í stöðuvötnum	1989, 1994-1996			1995-1996	1996
urriði í stöðuvötnum	1989, 1994-1996			1995-1996	1996
búfjárafurðir	1989-1998			1992-1997	1992-1997
<i>Vatn</i>					
sjór	1990 og 1996	1991, 1992 & 1995			
straumvötn		1996-1997	1996-1997	1996-1998	
stöðuvötn		1997	1997	1997	
<i>Löft</i>					
andrúmsloft	1991-1998			1995-1996	1995-1996
úrkoma	1990-1998			1992-1996	1995-1996
<i>Setlög</i>					
sjávarset	1994-1997			1990	1990
stöðuvatnaset	1994-1996				
<i>Heilsa fólks</i>					
blóð mæðra				1996	1996
móðurmjólki					1993 & 1998
<i>Land</i>					
sérverkefni					1995
Breiðafjörður			1996-1997	1996-1997	1996-1997
gróður og jarðvegur	1993-1998				

1.2 AMSUM-hópurinn

Árið 1994 var endurskipað í svonefndan AMSUM starfshóp en nafnið er samsuða úr nafni eldri nefndar, SUMMIS (Samstarfshópur um mengunarmælingar á Íslandi) og AMAP verkefni (Arctic Monitoring and Assessment Programme). Jafnframt var starfsvið hans víkkað verulega, enda segir í erindisbréfi hópsins :

„Markmið hópsins eru:

- Öflun upplýsinga um mengun sjávar umhverfis Ísland.
- Mat á hugsanlegum breytingum á mengun sjávar umhverfis Ísland.
- Efling þekkingar á mengun í íslensku umhverfi sem nýta má í innlendu og alþjóðlegu starfi til bættra mengunarvarna og nýtist einnig ef kemur til stórra mengunaróhappa sem geta haft viðtæk áhrif í för með sér.

Helstu verkefni hópsins eru:

- að taka þátt í framkvæmdaáætlunum um sameiginlegar rannsóknir á N-Atlantshafi (Joint Monitoring Programme) á vegum Oslóar- og Parísarsamninganna (OSPAR) um varnir gegn mengun sjávar.
- að hafa umsjón með framkvæmd og endurskoðun AMAP- áætlunar fyrir Íslands hönd.
- að afla upplýsinga um mengun sjávar sem nauðsynlegar eru vegna séraðstæðna, umfram þær sem getið er hér að ofan.
- að meta áhrif mengandi efna á hafsvæðinu við Ísland.”

Ísland er aðili að samningi um verndun hafsins í Norðaustur-Atlantshafi, eða OSPAR eins og hann kallast í daglegu tali. Hluti af skuldbindingum samningsaðila er að vakta umhverfið með viðunandi hætti, og hafa verið samþykktar vinnureglur og viðmiðanir í því skyni, sem samningsaðilar eiga að fara eftir. Þessi samningur var á margan hátt grundvöllur að starfi SUMMIS, en á síðari árum hefur vinnan einnig tekið til skuldbindinga innan nýstofnaðs Norðurskautsráðs sem Ísland er í.

Eitt af verkefnum ráðsins er að halda utan um og efla samstarf milli umhverfisráðherra aðildarríkjanna og kallað hefur verið Rovaniemi-ferlið. Þetta er samkomulag um vöktun, verndun og umbætur á öllu umhverfi norðurslóða. Innan þessa ferlis eru starfandi nokkrir vinnuhópar og er AMAP sá sem sér um vöktun og mat á umhverfi norðurslóða. Verksvið AMAP er að vakta mengunarefni í lofti, hafi, stöðuvötnum, straumvötnum, landi og í tengslum við heilsu manna.

Í byrjun fjallaði AMSUM eingöngu um mengunarmælingar í sjó en frá 1995 hefur markvisst verið unnið að því að víkka starfsvið hópsins og í dag spannar það vöktun lofts, straumvatna og stöðuvatna og sjávar. Af þessum sökum hefur umfang mælinga aukist verulega og ný svið bæst við. Framkvæmdar hafa verið reglulegar mælingar á efnum í lofti og úrkomu og byrjað er á að kanna ástand straumvatna víðsvegar um land. Ekki er hægt að ætlast til að niðurstöður mælinga á þessum nýju sviðum gefi fullnægjandi mynd fyrr en eftir nokkur ár.

Enn fremur hefur AMSUM-hópurinn tekið að sér að úthluta fé til mælinga í mönnum og nú síðast til könnunar ástands straumvatna á landinu. Búið er að koma á legg svokallaðri IM (Integrated Monitoring) stöð að Litla-Skarði í Borgarfirði þar sem ætlunin er að fylgjast með efnaástandi á litlu vatnasvæði og langtímabreytingum á því. Eftir sem áður er það hafið sem hefur langmest vægi enda grundvöllur efnahags þjóðarinnar.

Þessi skýrsla byggir á niðurstöðum úr fyrri skýrslum SUMMIS (1, 2 og 3) auk þess sem birtar eru niðurstöður framhaldsrannsókna (sbr. tafla 1.1). Niðurstöðurnar eru því grundvallaðar á mælingum sem ná yfir tímabilið 1989-1996. Vonast er til þess að skýrslan gagnist jafnt almenningi sem yfirvöldum.

Eftirtaldir eru í AMSUM hópnum sem hefur stýrt verkinu:

Davíð Egilson - Hollustuvernd ríkisins (formaður)
Elísabet D. Ólafsdóttir - Geislavörnum ríkisins – áður Sigurður M. Magnússon
Eva Yngvadóttir/Helga Halldórsdóttir - Rannsóknarstofnun fiskiðnaðarins – áður Guðmundur Stefánsson

Flosi Hrafn Sigurðsson - Veðurstofu Íslands
Gunnar Steinn Jónsson - Hollustuvernd ríkisins
Helgi Jensson - Hollustuvernd ríkisins (ritari)
Karl Gunnarsson - Hafrannsóknarstofnun – áður Magnús Danielsen og Jón Ólafsson
Sigurður Á. Þráinsson - Umhverfisráðuneyti

Þar að auki vann Andri Stefánsson undir verkstjórn formanns og ritara nefndarinnar, frá marsbyrjun 1998 við það viðamikla verk að fella handritsdrög og frumgögn saman í heildstæða mynd. Hallgrímur Daði Indriðason tók við þeirri vinnu um miðjan október 1998 og fylgdi eftir þar til skýrslan var fullunnin. Á þeim hefur einnig hvílt nær öll myndvinnsla og gagnavinnsla.

Ýmsar stofnanir hafa komið að sýnasöfnun, mælingum og úrvinnslu gagna og er nánar fjallað um það í kafla 1.3. Sumar stofnanir hafa að auki gert samninga við erlenda eða innlenda aðila um framkvæmd hluta verkefna sinna en þeir eru ekki taldir upp hér.

1.3 Rannsóknaraðilar og efnistöð

Í samræmdum vöktunarverkefnum er mjög mikilvægt að niðurstöður rannsóknastofnana séu sambærilegar til þess að hægt sé að bera saman niðurstöður milli fjarlæggra staða og ekki síður milli ára. Eftirlit og gæðaprófanir undanfarinna ára hafa oft leitt í ljós mikinn mun milli rannsóknastofa á mælingum einstakra efna. Samanburðarmælingar hafa ekki gefið viðunandi árangur við að bæta vinnubrögð rannsóknarstofa, þó að slíkar mælingar séu mjög gagnlegar. Fyrir rannsóknarstofur í hafrannsóknnum fór gæðaeftirlit fram á vegum Alþjóðahafrannsóknaráðsins (ICES), en árið 1993 hófst verkefnið QUASIMEME (Quality Assurance of Information for Marine Environmental Monitoring in Europe), sem fram fer á vegum Evrópusambandsins. Sambærilegt norrænt gæðapróf er haldið reglulega fyrir rannsóknarstofur sem mæla efni í ferskvatni, t.d. straumvatni og úrkomu, og nefnist það Nordic proficiency test on chemical drinking water analyses. Í þessum gæðaprófum er leitast við að auka nákvæmni mælinga, stuðla að innra gæðaeftirliti og þróun mæliaðferða. Þátttaka í gæðaprófunum ásamt viðunandi árangri er mjög mikilvæg, ef ekki skilyrði fyrir því mæliniðurstöður séu viðurkenndar. Allar rannsóknastofur sem þátt taka í AMSUM hafa gengið í gegnum slík gæðapróf.

Úrcoma og andrúmsloft. Mælingar á efnum í úrkomu og andrúmslofti eru í umsjá Veðurstofu Íslands. Úrkomu til þungmálmagreininga hefur verið safnað frá árinu 1992. Úrkomusýnum fyrir greiningar á þrávirkum lífrænum efnum og sýnum af andrúmslofti til greininga á þungmálmum og þrávirkum lífrænum efnum hefur verið safnað á Stórhöfða frá 1995. Sýnataka og úrvinnsla var á vegum Veðurstofu Íslands en Orkustofnun sá um efnagreiningar á þungmálmum og Rannsóknastofa Háskóla Íslands í lyfjafræði sá um greiningar á þrávirkum lífrænum efnum. Upplýsingar um sýnatöku- og efnagreiningaraðferðir eru gefnar í heimild (4). Gögn um efni í úrkomu og andrúmslofti sem hér er stuðst við hafa að hluta til verið birt áður (4) en sum þeirra eru óbirt og eru fengin frá Veðurstofu Íslands.

Straumvötn. Sýni úr straumvötnum á Suðurlandi hafa verið tekin mánaðarlega frá haustinu 1996 til efna- og aurburðarrannsókna. Jafnframt var rennsli straumvatnanna metið á hverjum tíma. Raunvísindastofnun Háskóla Íslands hefur umsjón með efnarannsóknunum. Þar var styrkur aðalefna og næringarsalta mældur, en styrkur þungmálma og annarra snefilefna var greindur af SGAB (Svensk Grundämnesanalys AB). Vatnamælingar Orkustofnunar sáu um aurburðarannsóknir og rennslismælingar. Ítarlega hefur verið greint frá sýnatökuaðferðum, rennslismælingum, efnagreiningaraðferðum og setmælingum á aur (5,6,7). Þau gögn sem stuðst er við í þessari skýrslu hafa að hluta þegar verið birt (5), en nokkur hluti þungmálmagreininga eru áður óbirt gögn.

Sjávarset og næringarefni sjávar. Sýnataka á sjávarseti var í höndum Hafrannsóknastofnunarinnar. Styrkur þungmálma var greindur í þeim hluta setsins sem hafði minni kornastærð en 63 µm í þvermál

og sá SGAB um þann hluta rannsóknarinnar. Sýnataka og mælingar sjósýna til greininga á næringarsöltum voru í höndum Hafrannsóknastofnunarinnar. Þeim hefur verið lýst í skýrslu (8).

Búfjárafurðir. Magn þungmálma og þrávirkra lífrænna efna hefur verið greint reglulega í sláturafurðum, m.a. afurðum hrossa, svína, sauðfjár og nautgripa árlega frá 1992. Yfirdýralæknir hefur yfirumsjón með framkvæmd verksins en mælingar voru í höndum Rannsóknastofnunar landbúnaðarins (RALA) og Rannsóknastofnunar fiskiðnaðarins (Rf) sem sáu um mælingar á þungmálmum, sú fyrrnefnda mældi einnig styrk þrávirkra lífrænna efna í sláturafurðum en styrkur þeirra í matvælum var mældur á Rannsóknarstofnun landbúnaðar og matvæla í Finnlandi. Mæliaðferðum hefur að hluta til verið lýst (9). Þessar mælingar voru ekki unnar á vegum AMSUM, en yfirdýralæknir lét AMSUM hópnum þær góðfúslega í té.

Sjávar- og vatnalífverur. Yfirumsjón með sýnatöku á fiski ásamt mælingum og úrvinnslu gagna var í höndum Rannsóknastofnunar fiskiðnaðarins. Gerð hefur verið ítarleg grein fyrir sýnatöku og mælingum á þorski til ársins 1996 (10). Samskonar mæliaðferðum var beitt við efnagreiningar á þungmálmum og þrávirkum lífrænum efnum í öðrum sjávarlífverum. Einnig er sýnatöku og mælingum á þorski og öðrum sjávarlífverum lýst í viðauka lokaskýrslu um mengunarmælingar í sjó (1). Ennfremur hefur verið gerð grein fyrir sýnatöku og mælingum á þungmálmum og þrávirkum lífrænum efnum í silungi úr Þingvallavatni (10). Mikilvægt er að geta þess að mælingar á magni þungmálma og þrávirkra lífrænna efna í lífverum eru mjög vandasamar og hefur mikil áhersla verið lögð á að bæta aðferðir og vinnubrögð svo niðurstöður yrðu sem áreiðanlegastar. Af þessum sökum hefur Rannsóknastofnun fiskiðnaðarins lagt mikla áherslu á innra eftirlit og notað til þess þekkt viðmiðunarefni og hafa niðurstöður verið í góðu samræmi við uppgefin gildi. Um heimtur á viðmiðunarefnunum er vísað í skýrslu Rannsóknastofnunar fiskiðnaðarins (10) og lokaskýrslu um mengunarmælingar í sjó (3). Helgi Þórsson tölfraeðingur hafði yfirumsjón með úrvinnslu tölulegra gagna er tengjast mælingum á þungmálmum og þrávirkum lífrænum efnum í lífríki sjávar. Hann vann að því í samvinnu við formann, ritara, sérfræðinga á Rannsóknastofnun fiskiðnaðarins og á Rannsóknastofnu í lyfjafræði og fjölmarga aðra sérfræðinga að setja upp tölfraeðilegt líkan sem lýsir hvernig magn mengunarefna er háð öðrum mældum breytum.

Stöðuvötn. Margir standa að rannsóknum á lífríki nokkurra stöðuvatna og efnafræði þeirra, þ.á.m. Veiðimálastofnun, Náttúrufræðistofnun Kópavogs, Lífræðistofnun Háskólans, Hólaskóli og Hollustuvernd ríkisins. Starfsfólk þessara stofnana að undanskildri Hollustuvernd ríkisins sá um sýnasöfnun en efnagreiningar voru framkvæmdar af Norsk Institutt for Vannforskning (NIVA). Um sýnatöku og efnagreiningar er vísað til heftis um mælingar á vötnum á norðlægum slóðum (11). Um meðferð sýna og snefilefna mælingar á lífverum í Þingvallavatni er vísað til skýrslu Rf 128 (12), skýrslu Rf 94 (13), skýrslu Rf 27 (14) og bréfs frá Norsk Institutt for Vannforskning (NIVA, 7 nóv, 1996).

Geislavirk efni. Mælingar á geislavirkni (Cs-137) í sjó, þangi, seti, fiski og öðru sjávarfangi voru framkvæmdar af Geislavörnum ríkisins. Sjósýni voru tekin í ferðum Hafrannsóknastofnunar ár hvert í febrúar, maí og á haustin, ýmist í september eða nóvember, frá 1990 til 1997. Sýnavinnslu og mæliaðferðum er lýst í skýrslu Geislavarna ríkisins frá 1993 (15). Geislavarnir mældu styrk geislavirkra efna í sjávarseti í tengslum við norrænt samstarfsverkefni árin 1994-1997 (16). Einnig hefur styrkur geislavirkra efna verið mældur í úrkomusýnum síðan 1990 og svifryki í andrúmslofti síðan 1991. Geislavarnir hafa ennfremur mælt geislavirk efni í ýmsum búfjárafurðum frá 1989 og í jarðvegi og gróðri frá 1993 þá í tengslum við samnorrænt verkefni um flutning efna frá jarðvegi í sauðfé. Í stöðuvötnum voru geislavirk efni mæld bæði í bleikjuafbrigðum og í seti á árunum 1994-1996.

Þrávirk lífræn efni í móðurmjólk og þungmálmur í blóði íslenskra mæðra. Rannsóknastofa Háskóla Íslands í lyfjafræði sá um mælingar á þrávirkum lífrænum efnum í móðurmjólk íslenskra kvenna og mælingar á styrk þungmálma í blóði íslenskra mæðra. Rannsókuð voru 22 sýni af móðurmjólk sem tekin höfðu verið árið 1993 og á 5 dreifbýlisstöðum 1998. Alls voru 40 sýni af blóði íslenskra mæðra rannsókuð og fóru efnagreiningar fram á rannsóknarstofnu í Kanada. Jafnhliða þessu voru spurningalistar lagðir fyrir mæðurnar.

Þrávirk lífræn efni í fuglum. Rannsóknastofa í lyfjafræði í samvinnu við Náttúrufræðistofnun Íslands og Tilraunastöð HÍ í meinafræði, Keldum sáu um framkvæmd, sýnatöku og mælingar á þrávirkum lífrænum efnum í lifur og brjóstvöðva úr fálka, æðarfugli og rjúpu. Sýni úr fálka eru aðallega frá 1979-1992. Sýni af öðrum fuglategundum eru frá árunum 1993-1995. Um sýnatöku, meðhöndlun sýna og mælitækni er vísað í tímaritsgrein í Bull. Environ. Contam. Toxicol. (17).

TBT í nákuðungum. Mælingar á vansköpun nákuðunga af völdum TBT voru í höndum Líffræðistofnunar Háskóla Íslands. Sýni voru tekin á árabílinu 1992 til 1996 á 63 stöðum um allt land. Sýnatöku og mæliaðferðum er lýst í skýrslu Líffræðistofnunar Háskóla Íslands og tímaritsgrein (18,19).

1.4 Staða verkefnisins

Verkefnið hefur beinst að því að fá nánari vitneskju um magn þungmálma, þrávirkra lífrænna efna og um geislavirk efni í umhverfinu, en einnig hefur verið lögð mikil áhersla á að finna tengsl milli mæligilda og hins náttúrulega breytileika sem búast má við. Samband milli líffræðilegs breytileika og mældra gilda er lykilatriði þegar túlka skal niðurstöður. Það er til marks um hversu starfssvið hópsins hefur breyst frá útkomu síðustu skýrslu, að mikill hluti nýju skýrslunnar fjallar um aðra umhverfisþætti en þá sem snúa eingöngu að hafinu, t.d. um loft, úrkomu, fallvötn og stöðuvötn.

Mikilsvert er að áréttu að vöktun umhverfisins er stöðugt viðfangsefni. Langar mæliraðir sem framkvæmdar eru á staðlaðan hátt þurfa að liggja fyrir til þess að hægt sé að greina milli langtímabreytinga sem stafa af manna völdum og innbyggðs breytileika milli ára, árstíðabreytinga og mælióvissu. Þá fyrst er hægt að segja til um það hvort og þá hvernig ástand umhverfisins sé að breytast af manna völdum. Þess vegna hefur hópurinn lagt áherslu á að safna stöðugt sýnum þótt fé til efnagreininga liggi ekki alltaf fyrir. Með þessum hætti hefur reynst unnt að halda í horfinu með samfelldar mæliraðir þrátt fyrir takmarkaðar fjárveitingar.

Þessi skýrsla varpar nokkru ljósi á ástand mengunar hér á landi og á hafsvæðinu við Ísland og ljóst er að með auknum gögnum og víðtækari vöktun hefur þekking okkar á viðfangsefninu aukist umtalsvert. Skýrslan vekur einnig nokkrar áleitnar spurningar, einkum um flutning efna með straumvötnum til sjávar. Enn er ósvarað spurningum um magn þungmálma í lífverum og tengsl þess við líffræðileg ferli, þótt þessi skýrsla leiði margt áhugavert í ljós. Loks verður að kanna útbreiðslu fleiri þrávirkra efna, svo sem díoxína og toxafens. Á þessum sviðum er verulegt verk að vinna.

Vitneskja okkar um tilvist einstakra mengunarefna á Íslandi og umhverfis það hefur aukist til muna og dregin hefur verið upp fyllri heildarmynd af ástandinu, mynd sem mun auðvelda ákvarðanir um stefnu og áherslur í umhverfisvöktun. Um leið hefur verið lagður grundvöllur að framtíðarvöktun á mengunarefnum í sjó hér við land.

Samhliða þessari skýrslu verður gefið út í sérhefti „Mælingar á mengandi efnum á og við Ísland - Gagnasafn” þar sem er að finna það gagnasafn sem liggur að baki skýrslunnar. Gagnasafnið verður í prentað takmörkuðu upplagi en bent er á að hægt verður að nálgast það í gegnum veraldarvefinn á heimasíðu Hollustuverndar ríkisins en slóðin er „www.hollver.is”. Þetta er gert í ljósi þess að umfang gagnanna er orðið talsvert og með bættri tölvutækni er auðvelt að nálgast gögnin milliliðalaust á stafrænu formi.

1.5 Þakkir

Það fer ekki hjá því að margir koma að svo viðamiklu verkefni sem þessu. Rétt þykir að nefna nokkra sem hafa komið að verkinu fyrir utan nefndina og starfsmenn hennar.

Hreinn Hjartarson og Jóhanna M. Thorlacius, Veðurstofu Íslands lásu yfir handritsdrög og veittu ráðleggingar varðandi kaflann um úrkomu. Sigurður Reynir Gíslason, Raunvísindastofnun las yfir handritsdrög og sinnti athugunum á straumvötnum ásamt Ingva Gunnarssyni, Raunvísindastofnun, Árna Snorrasyni og Snorra Zophaníussyni, Orkustofnun og Jóni Ólafssyni Hafrannsóknastofnun. Guðjón Atli Auðunsson, Rannsóknastofnun fiskiðnaðarins bar þungann af skipulagningu mælinga á lífríki sjávar og gæðaeftirliti sem því fylgdi, sér í lagi hvað varðar stoðmælingar og snefilefnagreiningar. Stefán Einarsson, Franklín Georgsson, Hollustuvernd ríkisins og Kristín Ólafsdóttir, Rannsóknastofnu í Lyfjafræði lásu yfir kaflann um lífríki sjávar og veittu ráðleggingar. Jón Ólafsson og Magnús Danielsen, Hafrannsóknastofnun lásu yfir kaflana um sjó og sjávarset og Jörundur Svavarsson, Líffræðistofnun H.Í. las yfir kafla um sjó og lífríki sjávar. Hákon Aðalsteinsson, Orkustofnun las yfir kaflann um stöðuvötn. Ólafur Reykdal og Ólafur Arnalds, Rannsóknastofnun landbúnaðarins lásu einnig yfir hluta handrits og gáfu ráð. Andrés Guðmundsson teiknaði myndir 2.1, 2.2, 2.3, 3.6 og 3.7 og einnig veitti Páll Hersteinsson ráðleggingar varðandi myndir 3.6 og 3.7. Að lokum ber að nefna að Sigurður G. Tómasson las yfir og leiðrétti málfar. Þessu fólki eru hér með færðar hinar bestu þakkir.

Um leið og AMSUM-hópurinn leggur þessa skýrslu fram er öllum þeim aðilum sem hafa tekið þátt eða lagt hönd á plóg með einum eða öðrum hætti, þakkað þeirra framlag til verksins.

Heimildir

- (1) SUMMIS 1989. Greinagerð og tillögur um mengunarmælingar í sjó. Starfshópur um mengunarmælingar í sjó. Samgönguráðuneytið, júní 1989, Reykjavík.
- (2) SUMMIS 1992. Mengunarmælingar í sjó. Áfangaskýrsla, ágúst 1992, Reykjavík. 78 bls.
- (3) Magnús Jóhannesson, Jón Ólafsson, Sigurður M. Magnússon, Davíð Egilson, Steinþór Sigurðsson, Guðjón Atli Auðunsson og Stefán Einarsson, 1995. Mengunarmælingar í sjó við Ísland. Lokaskýrsla. Gefið út af Umhverfisráðuneytinu, 137 bls.
- (4) Jóhanna M. Thorlacius, 1997. Heavy metals and persistent organic pollutants in air and precipitation in Iceland. Veðurstofa Íslands, VI-G97034-TA02, 20 bls.
- (5) Sigurður R. Gíslason, Jón Ólafsson og Árni Snorrason, 1997. Efnasamsetning, rennsli og aurburður straumvatna á Suðurlandi. Gagnagrunnur Raunvísindastofnunar, Hafrannsóknastofnunar og Orkustofnunar. Raunvísindastofnun RH-25-97, 28 bls.
- (6) Svanur Pálsson & Guðmundur H. Vigfússon 1996. Gagnasafn aurburðamælinga 1963-1965. Orkustofnun OS96032/VOD05 B, 270 bls.
- (7) Sigurjón Rist 1974. Efnarannsókn vatna. Vatnasvið Hvítár-Ölfusár; einnig Þjórsár við Urriðafoss: Orkustofnun OSV7405, Reykjavík, 29 bls.
- (8) Jón Ólafsson, Magnús Danielsen, Sólveig Ólafsdóttir og Þórarinn Arnarson, 1996. Næringarefni í sjó undan Ánanaustum í nóvember 1995. Fjölrit Hafrannsóknastofnunar nr. 50, 27 bls.
- (9) Ólafur Reykdal og Arngrímur Thorlacius, 1995. Pungmálmur í lifur og nýrum íslenskra lamba. RALA, fréttabréf nr. 16, 8 bls.
- (10) Guðjón Atli Auðunsson, Björn Gunnarsson, Elín Árnadóttir, Eyrún Þorsteinsdóttir, Eva Yngvadóttir, Gavin Norman Grewer, Guðrún I. Stefánsdóttir, Helga Halldórsdóttir, Þuríður Ragnarsdóttir, Övynnd Glömmi, 1997. Verkefnaskýrsla til AMSUM-hópsins, Efnasamsetning þorsks á Íslandsmiðum. Rannsóknarstofnun fiskiðnaðarins, 42 bls.
- (11) Henriksen, A., Skjelkvale, B.L., Lien, L., Mannio, J., Forsius, M., Kamari, J., Makinen, I., Berntell, A., Wiederholm, T. & Wilander, A., 1995. Manual for the Nordic lake survey 1995, 15 bls.
- (12) Guðjón A. Auðunsson, 1995. Könnun á snefilefnum í lífríki Þingvallavatns. Skýrsla Rf 94.
- (13) Guðjón A. Auðunsson, 1996. Könnun II á snefilefnum í lífríki Þingvallavatns. Skýrsla Rf 128.
- (14) Guðjón A. Auðunsson, 1997. Könnun á ólífrænum og klórlífrænum snefilefnum í vistkerfi Þingvallavatns. Sýnataka 1994-1996. Skýrsla Rf 27, 10 bls.
- (15) Sigurður M. Magnússon, Sigurður E. Pálsson, Elísabet D. Ólafsdóttir og Kári Indriðason, 1993. Sesíum-137 í sjó, þangi og sjávarfangi, SUMMIS, Lokaskýrsla. Geislavarnir ríkisins.
- (16) Sigurður Emil Pálsson, Magnús Danielsen & Elísabet D. Ólafsdóttir, 1999. Radionuclides in sediments in Icelandic waters and their use for the determination of sedimentation rates, í NKS/EKO-1(98), *Final reports from sub-projects within the Nordic Nuclear Safety Research Project EKO-1*, í prentun.
- (17) Ólafsdóttir, K., Petersen, Æ., Thórdardóttir, S., and Jóhannesson, T. 1995. Organochlorine residues in Gyrfalcons (*Falco rusticolus*) in Iceland. Bull. Environ. Contam. Toxicol 55:382-389.
- (18) Jörundur Svavarsson og Halldóra Skarphéðinsdóttir, 1993. Vansköpun af völdum tríbútýlínmengunar hjá íslenskum nákuðungum. Líffræðistofnun Háskólans, fjölrit nr. 36, 23 bls.
- (19) Jörundur Svavarsson & Halldóra Skarphéðinsdóttir, 1995. Imposex in the dogwhelk *Nucella lapillus* (L.) in Icelandic waters. Sarsia 80, 35-40.

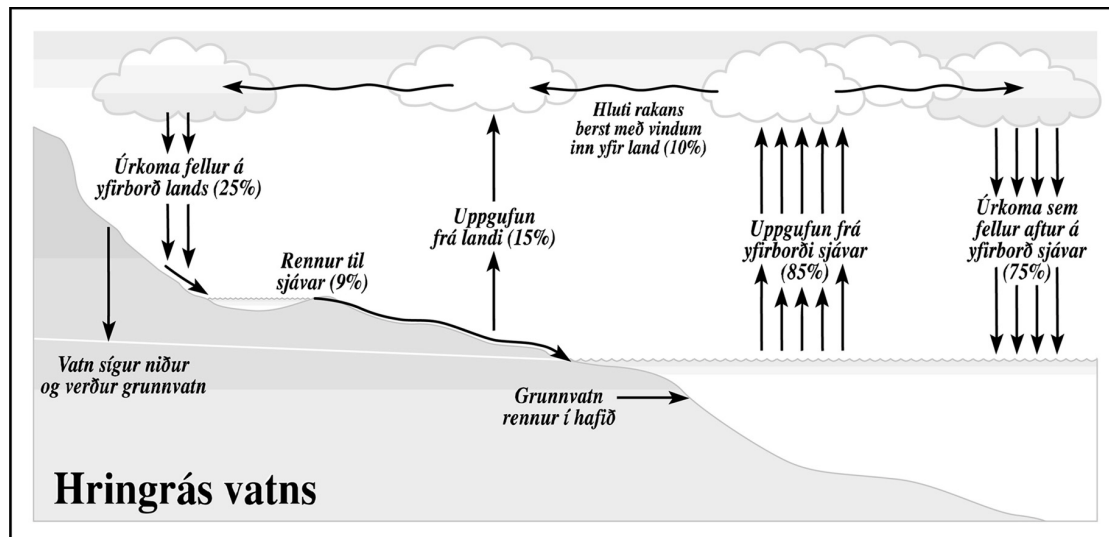
2 Mengunarefni í umhverfinu

Mengandi efni berast til hafsvæða umhverfis Ísland með loft- og með hafstraumum að landinu, með straumvötnum og beinni losun úr landi. Tilvist slíkra efna hér við land er því ekki bara vegna utanaðkomandi orsaka heldur eru þau einnig tilkomin vegna athafna okkar sjálfra. Vegna legu landsins, strjálbýlis og ríkjandi atvinnuhátta er hafið umhverfis landið þó með því hreinasta sem vitað er um.

Hér á eftir verður stuttlega gerð grein fyrir hringrás vatns og efna, mælieiningum og lykilskilgreiningum. Ennfremur verður fjallað um helstu flokka mengandi efna, uppruna þeirra og hvaða áhrif þau geta haft á umhverfið.

2.1 Hringrás vatns og efna

Til að gera sér grein fyrir uppruna náttúrulegra mengunarefna verður að líta á hringrás vatns og jarðefna. Hringrás vatns er hægt að lýsa á fremur einfaldan hátt (mynd 2.1). Mestur hluti þess vatns sem gufar upp úr sjónum fellur aftur á yfirborð sjávar, en hluti berst inn á land og fellur þar til jarðar sem úrkoma. Vatnið leitar síðan til sjávar á yfirborði, í jarðvegi og berggrunni og flytur með sér uppleyst efni og agnir. Þar á meðal eru mengandi efni.

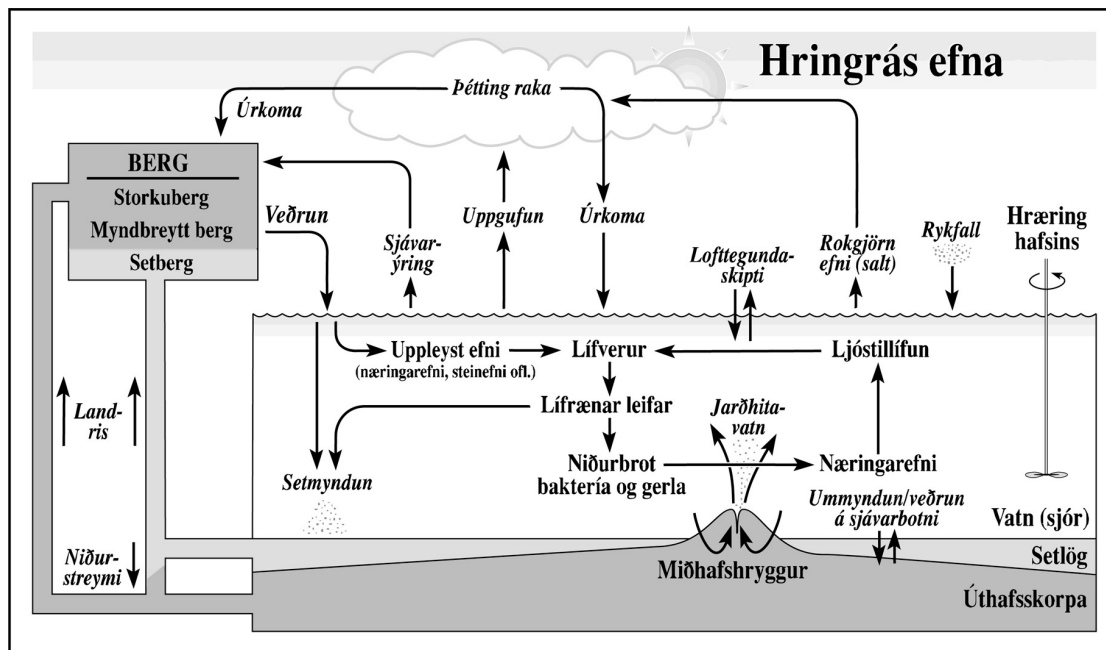


Mynd 2.1. Hringrás vatns (1).

Hringrás jarðefnanna er hins vegar flóknari og spilar hringrás vatnsins þar all stórt hlutverk. Í stuttu máli má lýsa ferlinu á eftirfarandi hátt (mynd 2.2):

1. Veðrun og rof, bæði á landi og sjávarbotni, sér hafinu fyrir uppleystum og föstum efnum. Efni geta einnig borist í sjó í tengslum við eldgos og með jarðhitavatni á sjávarbotni.
2. Uppleyst efni verða að mestu leyti eftir þegar sjórinn gufar upp. Þau hafa þess vegna mun lengri viðdvöl í hafinu en vatnið og safnast þar fyrir. Af þessum sökum er sjórinn t.d. saltur.
3. Föst efni og mikill hluti uppleystra efna falla að lokum til botns og mynda set.
4. Sjávarset getur lyfst upp fyrir yfirborðið vegna landreks. Það leitar hins vegar í sumum tilfellum niður í iður jarðar á plötuskilum. Þaðan getur svo efnið borist aftur inn í hringrásina við eldgos.

Þekking á náttúrulegri hringrás efnanna er nauðsynleg til að meta hvort styrkur ákveðinna efna á yfirborði jarðar sé náttúrulegur eða stafi af mengun.



Mynd 2.2. Hringrás efnna (1).

Skýringartexti 2.1. Sýrustig

pH er mælikvarði á virkni vetnisjónar í vatni (a_{H^+}) og er skilgreint sem

$$pH = -\log(a_{H^+})$$

Sýrustig er stundum notað í stað pH. Hér er í raun og veru um einn og sama hlutinn að ræða. Þó veldur þetta tvennt stundum ruglingi en vatn telst vera súrt þegar sýrustig þess er lágt og pH-gildið einnig. Þegar pH vatnsins er 7 við 25°C telst vatnið vera hlutlaust.

lágt pH hátt
 Súrt vatn ←————→ Basískt vatn
 lágt Sýrustig hátt

2.2 Flokkun mengandi efna

Mengandi efnum sem finnast í hafinu er oft skipt í 6 flokka (tafla 2.1). Fyrst eru fimm flokkar efnamengunar, en síðasti flokkurinn, rusl, er annars eðlis en hinir. Þótt mikilvægt sé að koma í veg fyrir að rusl sé losað í hafið, er það viðfangsefni utan ramma þessarar skýrslu.

Erfitt getur verið að meta hættu af mengunarefnum fyrir umhverfið því hún er misjöfn eftir aðstæðum og styrk efna. Þetta á t.d. við um næringarsöltin. Hér við land er hættu á ofauðgun og súrefnisskortri mjög lítil og er hættuflokkunin aðeins +, en þar sem hættu er svo mikil að áhrifa gæti er flokkunin +++.

Efni í flokkum 2-5 eru flest náttúruleg að uppruna, þ.e. þau eru til í náttúrunni en eru mengandi þegar aðgerðir manna valda því að styrkur þeirra verður meiri en lífverur ráða við. Langflest efnanna í flokki 1 eru manna verk og tilvist þeirra er jafnan merki um mengun af manna völdum. Þó að efnið TBT (tríbutýltin) sé strangt til tekið ekki í flokki þrávirkra lífrænna efna, er það samt flokkað þar í þessari samantekt vegna þess að það er lífrænt og hefur víðtæk mengandi áhrif. Hér á eftir verður stuttlega gerð grein fyrir áhrifum þessara efna á lífríki og vistkerfi.

Tafla 2.1. Mengunarefni í sjó.

Efni	Uppruni	Mat á hættu fyrir umhverfið (2, 3)
1 <i>Þrávirk lífræn efni</i>		+++
Ýmis halógensambönd	Iðnaður	
DDT	Plágueyðar	
HCB	Plágueyðar/Iðnaður/Sorpbrennsla	
PCB	Iðnaður	
díoxín	Sorpbrennsla/Iðnaður	
TBT	Skip/Efnaiðnaður	
2 <i>Þungmálmar</i>		+++
	Þungmálmavinnsla	
	Stál- og járnbræðslur	
	Klór- og alkalíverksmiðjur	
	Rafhlöður	
	Útblástur bíla	
3 <i>Geislavirk efni</i>		+++
	Kjarnorkuiðnaður	
	Kjarnorkuslys	
	Kjarnorkutilraunir	
4 <i>Næringarsölt</i>		+
	Landbúnaður	
	Fiskvinnsla og fiskeldi	
	Skólþ	
5 <i>Olía</i>		++
	Olíuvinnsla	
	Olíuhreinsistöðvar	
	Skip	
	Birgðastöðvar	
6 <i>Rusl</i>		++
	Opinn sorphaugur	
	Losun í hafið	

2.3 Þrávirk lífræn efni

Sagt er að efni sé þrávirkt ef það binst lífverum og eyðist ekki eða mjög hægt enda safnast slík efni fyrir í umhverfinu. Til þess að lýsa því hversu lengi ákveðið efni er að eyðast eða hverfa úr umhverfinu er gjarnan talað um helmingunartíma og hann skilgreindur sem sá tími sem líður þar til styrkur efnisins hefur minnkað um helming (sjá skýringartexta 2.2).

Þrávirku lífrænu efnin innihalda flest klór og þess vegna er oft talað um þrávirk lífræn klórsambönd. Sé haldið áfram að losa þau út í umhverfið eykst magn þeirra. Þessi efni eru fituleysin en leysast ekki vel í vatni. Berist efnin út í umhverfið og inn í fæðukeðjuna þá setjast þau í fituríka vefi lífvera. Þau hafa líka tilhneigingu til að safnast fyrir eftir því sem ofar kemur í fæðukeðjuna. Slík söfnun er mjög mismunandi eftir tegundum þar sem hæfni lífvera til að brjóta efni niður er breytileg.

2.3.1 Áhrif

Þrávirk lífræn efni geta haft margvísleg áhrif á lífverur og í töflu 2.2 er yfirlit yfir þau sem þekkt eru.

Tafla 2.2. Áhrif þrávirkra lífrænna efna á lífverur.

Efni/áhrif	Hegðun	Æxlun/ Hormónar	Ónæmiskerfi	Taugakerfi	Krabbameins- valdur
PCB	+	+	+		+
HCB		+	+		
díoxín		+	+		+
DDT		+			
HCH		+	+	+	
klórdan		+	+		
TBT		+			
toxafen				+	
mírex		+			+
díeldrín					+

Alvarlegustu afleiðingarnar eru taldar vera neikvæð áhrif á viðkomu og ónæmiskerfi þar sem efnin geta líkt eftir hormónum og raskað hormónabúskap lífvera. Hormónar eru efnafræðilegir boðberar sem stjórna ýmsum viðkvæmum ferlum í lífverum og mörg þrávirk lífræn efni geta haft svipaða virkni og

hormónarnir. Lífverur nota lítið magn hormóna til starfsemi sinnar og frumurnar brjóta þá hratt niður. Þannig vara áhrif hormóna skammt við eðlilegar aðstæður. Þrávirku efnin sem líkjast þeim að virkni, brotna hins vegar mjög hægt niður og skapa þannig ójafnvægi í frumum sem getur leitt til ýmissa truflana á starfsemi þeirra. Við þetta bætist að sum efnanna geta valdið krabbameini eða örvað vöxt þess.

Sú þekking sem til er um áhrif þrávirkra lífrænna efna á einstök dýr og dýrategundir er yfirleitt fengin með tilraunum á rannsóknastofum þar sem efnin eru prófuð við staðlaðar aðstæður. Úti í náttúrunni er hins vegar um blöndu af efnum að ræða og aðstæður allt aðrar. Þess vegna skortir oft þekkingu á því hvort tilvist eins efnis hefur áhrif á verkun annars. Því getur verið varasamt, og er raunar oft ekki hægt, að yfirfæra beint út í náttúruna niðurstöður af tilraunastofu. Þetta verður að hafa í huga þegar meta á áhrif þrávirkra efna á umhverfið.

Skýringartexti 2.2. Þrávirkni og hugtök tengd henni

Þrávirkni lýsir stöðugleika efnis eða efnasambands í umhverfinu.

Ástæður fyrir þrávirkni eru:

- Útstreymi eða losun á efni eða efnasambandi út í umhverfið er meiri/hraðari en niðurbrotshæfni þess í náttúrunni og því safnast efnið/efnasambandið fyrir. Þetta á einkum við um efni sem brotna mjög hægt niður.
- Efnið er til staðar í náttúrunni nægilega lengi svo það hefur tíma til að flytjast langar vegalengdir út frá losunarstað og jafnvel til viðkvæmari svæða.
- Hægt niðurbrot í náttúrunni þýðir að þótt losun og útstreymi sé minnkað eða jafnvel hætt tekur það langan tíma fyrir styrk/magn að ná setum hættumörkum eða bakgrunnsgildi

Hraði niðurbrots er mældur í helmingunartíma. Einn helmingunartími er sá tími sem það tekur að minnka magn/styrk efnisins um helming úti í náttúrunni þ.e. að eftir þann tíma er helmingur efnisins horfinn og eftir næsta helmingur af því sem þá var fyrir og svo koll af kolli eins og sýnt er á myndinni hér til hægri.

Eftir 5 helmingunartíma er um 3% af efninu eftir, þannig að efni sem hefur 6 daga í helmingunartíma er að mestu horfið eftir mánuð, á meðan það tekur ár fyrir efni með 70 daga helmingunartíma að hverfa. Þrávirkni efna er því hægt að skoða með því að líta á helmingunartíma og bera saman við helmingunartíma venjulegra efna í náttúrunni.

Ýmis ferli ráða því hversu hratt efni hverfur úr umhverfinu á einum stað og þar með lengd helmingunartímans. Þau eru háð því hvort efnin eru í vatni eða jarðvegi, eða hvar á hnettinum mengunin á sér stað, en þau eru eftirfarandi:

- Líffræðilegt niðurbrot, þ.e. niðurbrot með örverum.
- Efnaveðrun t.d. að efni leysast upp í vatni.
- Rof, þ.e. að vatn og vindar beri efni í burtu, dreifi þeim og þynni út.
- Flutningur frá einum þætti til annars. Hér er átt við að efni geti gufað upp, orðið loftkennt og mælist þar af leiðandi ekki þótt það hafi ekki brotnað niður.

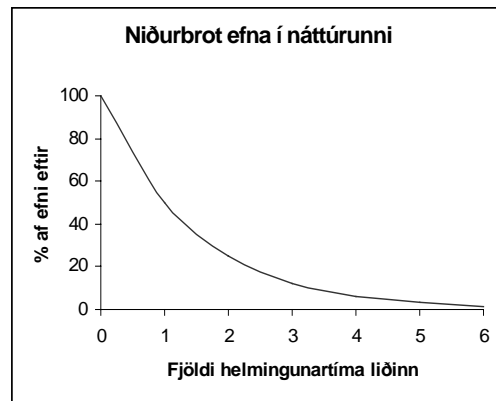
Ferlin og hversu hratt þau ganga fyrir sig eru einatt mismunandi eftir því hvort hið mengandi efni er loftkennt, blandað jarðvegi eða í vatni. Þættir eins og hitastig, sýrustig og rakastig ráða miklu um hraðann og einnig þær gerðir örvera sem til staðar eru.

Eftirfarandi hugtök eru oft notuð í sambandi við hegðun mengandi efna í umhverfinu; lífsöfnun (*bioaccumulation*), lífaukning (*bioconcentration*) og lífmögnun (*biomagnification*).

Lífaukning (*bioconcentration*) á sér stað þegar lífverur, venjulega þær sem lifa í vatni, taka upp efni beint úr umhverfinu þannig að styrkur þeirra verður hærri inni í lífverunni en í umhverfi hennar. Þetta ferli er sett saman úr þáttum eins og upptöku efnis, flutningi innan lífverunnar og hvernig lífveran umbreytir efninu og losar sig það. Lífaukningarstuðull (*bioconcentration factor*) er stuðull sem lýsir lífaukningu sem hlutfalli milli styrks efnis inni í lífverunni og styrks efnisins utan hennar.

Lífsöfnun (*bioaccumulation*) á sér stað þegar lífverur, einkánlega þær sem lifa í vatni, safna efnum í sig annað hvort með beinni upptöku (þ.e. lífaukning) eða óbeint í gegnum fæðu. Lífsöfnunarstuðull (*bioaccumulation factor*) sýnir hlutfallið milli styrks efna í lífverunni og styrks þeirra utan hennar að teknu tilliti til styrks í fæðunni sem lífveran neytir.

Lífmögnun (*biomagnification*) er sérstakt afbrigði lífsöfnunar. Lífmögnun á sér stað þegar styrkur í efri þrepum fæðuvefsins er hærri en í þeim neðri og þá er oft miðað við fituinnihald lífvera.

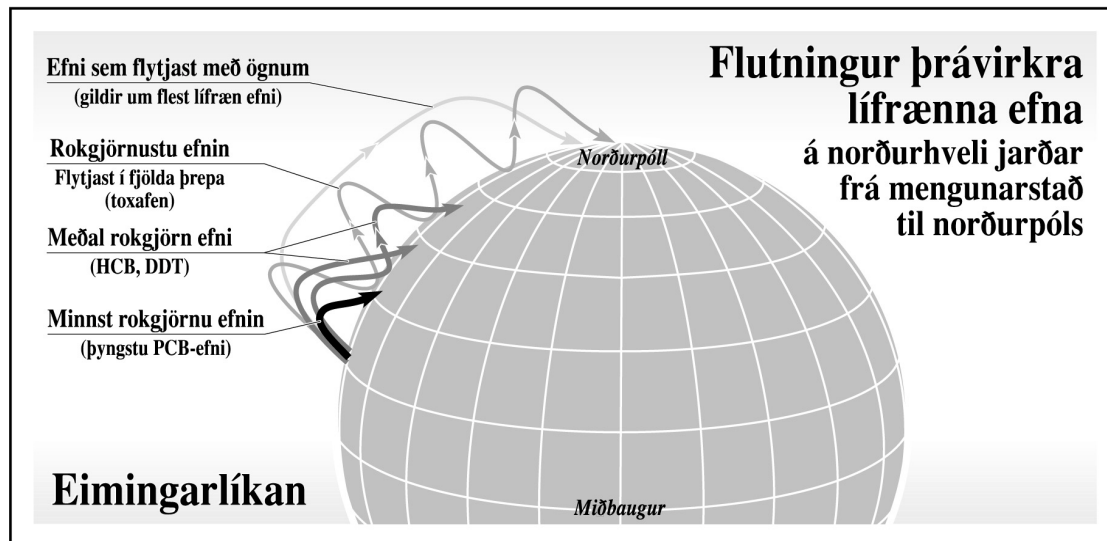


2.3.2 Dreifing

Þrávirk efni dreifast um hnöttinn með þrennu móti, í lofti, með dýrum og í vatni eða sjó. Af þessum leiðum er hin fyrsta mikilvirkust en ekki má gleyma sjávarstraumum né fardýrum.

Þótt efni séu varla mælanleg í sjó, þar sem um mikið rúmmál er að ræða, getur flutningur með sjávarstraumum verið töluverður. Dýr sem fara á milli staða flytja efnið með sér. Farfuglar geta til að mynda lifað á menguðum svæðum yfir vetrartímann og safnað í sig efnum. Á varpstöðum í ómenguðu umhverfi geta þeir orðið bráð rándýra og ránfugla sem þar lifa og þannig geta efnið borist inn í ómengað umhverfi. Þetta er betur rannsakað meðal landdýra en sjávardýra því mun auðveldara er að fylgjast með ferðum landdýranna.

Hraðvirkasta og afkastamesta flutningsleið þrávirkra lífrænna efna eru loftstraumar. Þessi flutningur getur orðið á tvennan hátt. Í fyrsta lagi loða efnið við agnir sem berast langar leiðir með loftstraumum eins og þekkt er í stórum öskugosum. Með þessu móti flytjast efni í einni lotu frá einum stað til annars. Hin leiðin er kennd við hnatteimingslíkanið (mynd 2.3).



Mynd 2.3. Hnatteimingslíkan fyrir flutning þrávirkra lífrænna efna á norðurhveli jarðar frá mengunarstað til norðurpóls.

Efnið gufa upp á notkunarstað og loftstraumar flytja gufuna í kaldara umhverfi þar sem hún þéttist og fellur til jarðar. Þetta á bæði við um þrávirk lífræn efni og kvikasilfur. Ferðalaginu þarf þó engan veginn að vera lokið, því þegar hlýnar aftur, gufar efnið upp á nýjan leik og flyst með loftstraumum til enn kaldari staða, þéttist þar og fellur til jarðar. Þannig getur þetta gengið koll af kolli frá heitari breiddargráðum og allt til pólsvæðanna.

Sum efni eru jafnvel í hærri styrk á norðlægum slóðum en á upprunastöðunum því þegar þau eru einu sinni fallin til jarðar á þessum köldu stöðum eru mun minni líkur á að þau gufi þar upp aftur eins og gerist á suðlægari breiddargráðum

Almennt flytjast 80% af lífrænum klórefnum til úthafanna með loftstraumum. HCH-efni eru hins vegar í sérflokki, þar sem áætlað er að 99% af þeim berist með loftstraumum.

Umhverfisstofnun Samvinnuþjóðanna UNEP hefur nýlega tekið saman yfirlit um reglur og leiðbeiningar í sambandi við framleiðslu og notkun þrávirkra lífrænna efna. Þessi samantekt nær til þeirra tólf þrávirkra lífrænna efna (DDT, klórdan, HCH, toxafen, mirex, díeldrín, PCB, HCB, díoxín, fúran og eldrín) sem Alþjóðasamningur um varnir gegn mengun frá landstöðvum á að taka á í fyrstu lotu (4).

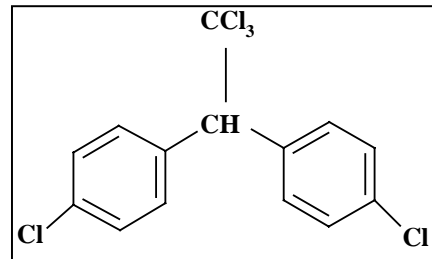
2.3.3 Flokkun efna eftir uppruna.

Þrávirkum lífrænum efnum er skipt í þrjá aðalhöpa eftir því hvernig þau eru notuð eða hafa myndast. Þessir hópar eru:

- Plágueyðar (DDT, klórdan, HCH (lindan), TBT, toxafen, mírex, dífeldrín)
- Efni notuð í iðnaði (PCB, HCB)
- Aukaafurðir í iðnaðarferlum (HCB, díoxín)

2.3.3.1 Plágueyðar.

DDT er það skordýraeitur sem notað hefur verið einna mest í heiminum og er ásamt umbrotsefnum sínum best þekkta þrávirka lífræna efnið. Efni þetta og afleiður þess finnast nær alls staðar í heiminum óháð því hvar þau hafa verið notuð. Framleiðsla á DDT sem skordýraeitr til almennra nota hófst 1945 og var það í fyrstu notað til að verja fólk gegn farsóttum sem dreifast með skordýrum. Til að mynda var malaríu útrýmt í Bandaríkjunum 1953 með notkun DDT. Áætluð heimsframleiðsla á árunum 1950-1993 er 2,6 milljónir tonna. (5). Fyrir um það bil 20 árum var farið að takmarka notkun DDT, en enn er það þó notað í Asíu, Afríku, Mið- og Suður-Ameríku og í Evrópu (Ítalíu) (6). DDT berst með lofti, hafstraumum og dýrum frá notkunarstað um alla jörð.



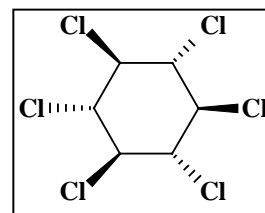
Mynd 2.4. Bygging DDT.

Í náttúrunni breytist DDT í afleiðurnar DDE og DDD og er helmingunartími þessara efna á bilinu 3-10 ár í jarðvegi. Öll þessi form safnast fyrir í fitu dýra, og magn (styrkur) þeirra eykst eftir því sem dýrin verða eldri og eru ofar í fæðukeðjunni. Lífverur vatna og sjávar eru mun viðkvæmari fyrir eituráhrifunum en lífverur á landi. DDT og umbrotsefni þess valda þynningu á eggjaskurni hjá fuglum, raska kynhormónajafnvægi og hafa áhrif á virkni lífrarensíma.

Klórdan er efnablanda sem hefur mikið verið notað til að verja korn gegn skordýrum og til að verjast termítum og er þessa blöndu nú að finna um alla jörð. Þótt notkun þess sé að mestu hætt á Vesturlöndum, er það enn framleitt í Bandaríkjunum til útflutnings (7).

Helmingunartími klórdans er breytilegur og háður aðstæðum í náttúrunni en er á bilinu 1-4 ár í jarðvegi (6), en getur verið 5-15 ár í lífverum. Lindýr eins og kræklingur virðast eiga erfiðast með að brjóta þessi efni niður, síðan koma fiskar, því næst sjávarspendýr og menn en fuglar virðast eiga auðveldast með það (7). Munurinn milli fugla og lindýra er hundrafaldur. Meginuppspretta klórdans í mönnum er neysla fisks og kjötmætis þótt efnið hafi aldrei verið notað beint við framleiðslu þeirra matvæla. Klórdan hefur áhrif á æxlun og ónæmiskerfi og er talið geta valdið krabbameini.

Farið var að nota **HCH (Hexachlorocyclohexane/lindan)** sem plágueyði árið 1949. Efnið er blanda af ísómerum hexaklórósíklóhexans. Lindan (γ -HCH) er hins vegar eina virka skordýraeitríð í blöndunni. Flest iðnríki bönnuðu notkun HCH-blöndu á áttunda áratugnum en lindan er enn framleitt og notað í mjög mörgum löndum víða um heim. Notkunin hefur þó farið minnkandi síðustu ár, var 11900 tonn árið 1980 en 8400 tonn árið 1990 (8). HCH-efni hafa mest verið notuð í landbúnaði, eða um 80%, aðallega sem skordýraeitur. Á Íslandi var HCH-blanda notuð frá árinu 1950 og fram á sjöunda áratuginn. Eftir það, fram til ársins 1986, var notað hreint lindan en þá var notkun að mestu hætt (9). Baðlyf undir heitinu Gammatox, sem innihélt lindan, var notað á öllu tímabilinu og lengur til að drepa færilús, fellilús, fótakláðamaur og ekki síst fjárkláðamaur á sauðfé og naglús á hrossum (9) en einnig í garðyrkju, t.d. rófnarækt (10). Áætlað er að 16 tonn af hreinu lindan hafi verið notað sem baðlyf hér á landi á þessu tímabili.



Mynd 2.5. Bygging HCH

HCH-efni hafa dreifst um allan hnöttinn. Rannsóknir á lofti, snjó, ís og sjó á norðurheimskautinu sýna að HCH-efni eru þar í mestum styrk allra lífrænna klórefna og er styrkur þeirra í sumum tilvikum, hærri en samanlagður styrkur annarra efna úr sama flokki. Áætlað er að í Norðuríshafinu séu nú um 8400 tonn af HCH-efnum en þar af berast um 400 tonn suður í Norður-Atlantshafið á hverju ári. Ástæðan er sú að magnið er orðið svo mikið á köldum svæðum á norðlægum breiddargráðum að efnin eru farin að dreifast þaðan suður um höf (6).

Nokkur vatnsleysanleiki HCH-efna þýðir að uppsöfnunargeta þeirra í fituvef lífvera er tiltölulega lítil, og eru HCH-efni yfirleitt lítil hluti lífrænna klórefna í lífverum. Helmingunartími HCH er um eitt ár í jarðvegi.

TBT (tríbútylín) telst ekki til eiginlegra plágueyða en er þó flokkað hér á þann veg þar sem tilgangur með notkun þess er að koma í veg fyrir gróður og dýralíf á botni skipa. TBT er lífrænt efnasamband sem inniheldur tin og hefur verið notað sem eitru gegn þörungum, sveppum, skordýrum og maurum en síðan 1960 hefur TBT aðallega verið notað í botnmálningu skipa.

TBT brotnar hratt niður við yfirborð sjávar þar sem helmingunartíminn er nokkrir dagar. Komist það hins vegar í set brotnar það mun hægar niður, sérstaklega þar sem sjór er frekar kaldur. TBT er eitt eitruðasta efni sem notað hefur verið af ásetningi. Aðeins örfá nanógrömm í einum lítra nægja til að valda vansköpun hjá nákuðungum, en nákuðungur er útbreiddur við strendur landsins. TBT raskar hormónastarfsemi og hefur áhrif á æxlun. Frá 1990 hefur verið bannað um heim allan að nota TBT í botnmálningu á skip sem eru styttri en 25 metrar. Nýlega samþykkti Alþjóðasiglingamálastofnunin að banna alla málun með TBT botnmálningu frá 2005. Öll skip sem eru máluð með slíkri málningu fyrir þennan tíma þurfa að fara í endurmálun ekki síðar en 2008.

Plágueyðar sem valda sífellt meiri áhyggjum, en er ekki fjallað um í þessari skýrslu eru **toxafen**, **mírex** og **díeldrín**, en ekki eru til gögn um þau tvö fyrstnefndu efnin í íslensku umhverfi. Þetta eru efni sem oft eru nefnd í sömu andrá og DDT og HCH og því skal gerð örstutt grein fyrir tilvist þeirra.

Toxafen er mjög flókin blanda af klóruðum bórnönum (bornanes) og kamfenum (camphenes) og var notað í Bandaríkjunum til að verja bómullarakra fram á fyrstu ár níunda áratugarins. Þótt framleiðsla og notkun toxafens sé nú bönnuð í Bandaríkjunum er það enn framleitt og notað í Mexíkó og Mið-Ameríku.

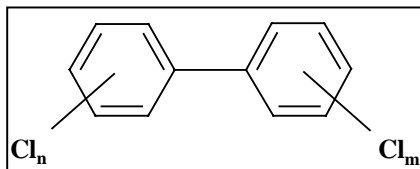
Mjög erfitt er að mæla toxafen í náttúrunni vegna þess hversu flókin efnablandan er og því er vitneskja um útbreiðslu þess og magn í umhverfinu takmörkuð. Í norðurhluta Kanada og á Vestur-Grænlandi hefur toxafen mælst í hæstum styrk þrávirka lífrænna efna og niðurstöður benda til að svipað sé uppá teningnum á öðrum svæðum á norðlægum slóðum. Veldur það töluverðum áhyggjum. Vel getur verið að toxafen sé það þrávirka efni sem hvað mest er af í lífríki á norðlægum slóðum. Áhrif toxafens úti í náttúrunni eru ekki vel könnuð og því erfitt að meta hættuna sem lífríkinu stafar af tilvist þess. Aðal áhrif toxafens eru á taugakerfi og fiskar eru sérstaklega næmir fyrir toxafeneitrun (6).

Mírex var notað sem skordýraeitru og eldvarnarefni fyrst og fremst í Kanada og Bandaríkjunum fram til ársins 1978. Mírex er mjög fituleysanlegt og þrávirkt efni. Það veldur krabbameini og truflar æxlun í tilraunadýrum.

Díeldrín hefur verið notað gegn skordýrum í jarðvegi. Notkun var að mestu hætt á síðari hluta níunda áratugarins. Díeldrín er sérstaklega þrávirkt í jarðvegi (seti) og er talinn krabbameinsvaldur.

2.3.3.2 Efni í iðnaði

Þekktust þrávirka efna í þessum flokki eru **PCB-efnin**, en þau eru blanda af fjöklóruðum tvífenýlfennum (polychlorinated biphenyl). Framleiðsla þeirra hófst um 1929 og stóð fram til 1980. Þótt

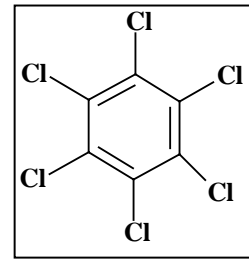


Mynd 2.6. Bygging PCB-efna

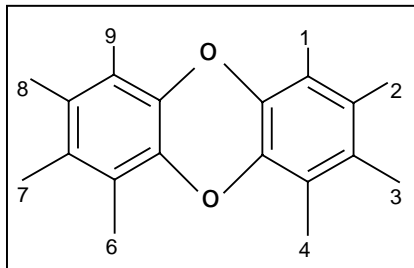
búið sé að banna framleiðslu þeirra, er PCB-efni enn að finna í eldri spennubreytum og þéttum. Talið er að um þriðjungur þess magns sem framleitt hefur verið af PCB-efnum hafi borist út í náttúruna og að 90% þess sé að finna í sjávarseti. Helmingunartími PCB-efna er mismunandi eftir afleiðum og eftir því hvar þær eru. Afleiður með fleiri en tvö klóratóm brotna t.d. nánast ekki niður í jarðvegi. Helmingunartími afleiðunnar PCB 153 er t.d. 10 ár í ál en eitt ár í manningum (11). Förgun og geymslu PCB-efna er víða ábótavant og þess vegna er enn hætt á að þau berist út í umhverfið. PCB ræðst á ónæmiskerfið þannig að dýrum verður hættara við sýkingu og eru verr búin undir átök við óblíð náttúruöflin. PCB-efni hafa einnig áhrif á atferli, ráðast á taugakerfið og eru talin eiga þátt í að minnka viðkomu og auka vanheilsu spendýra. Sérstaklega á þetta við um dýr sem lifa aðallega á fiski, sem á ákveðnum svæðum inniheldur mikið magn efnanna. PCB-efni geta valdið vansköpun í fóstrum og eru talin ýta undir vöxt krabbameins.

2.3.3.3 Aukaafurðir í iðnaðarferlum

HCB (hexachlorobenzene) myndast sem aukaafurð við ýmis iðnaðarferli, t.d. þegar verið er að búa til klörgas og ýmis efnasambönd sem innihalda klór. Það berst einnig út í andrúmsloftið með útstreymi frá sorpbrennslu, og myndast við járnbræðslu. HCB hefur einnig í litlum mæli verið notað sem sveppaeitur á kornökkrum og til að fúaverja timbur. HCB flyst mjög auðveldlega í lofti og er eitt þeirra efna, sem hnatteimngarlíkanið tekur til. Helmingunartími HCB er 3-6 ár í jarðvegi, en getur verið mun lengri í lífverum. HCB hefur svipaða tilhneigingu og léttari PCB-efnin til að safnast í fituríka vefi. Efnið efni veldur svokallaðri porfyríu (sjá skýringu í „Helstu skammstafanir“) auk þess sem það hefur áhrif á æxlun og ónæmiskerfi.



Mynd 2.7. Bygging HCB

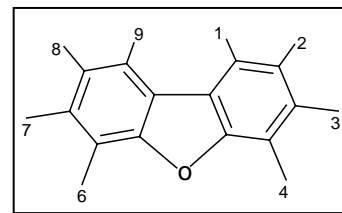


Mynd 2.8. Bygging Díbenzó-para-díoxíns

Gögn um magn **díoxíns** og **fúrans** í íslensku umhverfi eru enn ekki fyrir hendi, en samt sem áður þykir rétt að gera aðeins grein fyrir eðli þeirra. Díoxín og fúran er hópur efna sem ekki hefur verið framleiddur vísitandi heldur myndast sem aukaafurð í ýmsum ferlum svo sem við framleiðslu skordýraeitors, í pappíríðnaði (þegar notað er klörgas), sorpbrennslu, í ýmsum málmíðnaði og við orkuframleiðslu með kolum og olíu. Þessi efni myndast einnig í náttúrunni, við skógarelda og sinubruna.

Eitrunaráhrif geta verið margvísleg og koma fram við mjög lítinn styrk efnanna. Díoxín og fúran eru meðal eitruðustu efna sem prófuð hafa verið og nægir um 0,001 mg af

eitruðustu afleiðunni til að drepa lítil nagdýr. Einn slíkur örskammtur dregur dýrin til dauða á 14-28 dögum og enn minni skammtur veldur krabbameini í dýrunum. Ekki er ljóst hvernig efnin verka, en talið er að áhrifin megi rekja til bælingar á ónæmiskerfinu og áhrifa á hormónabúskap dýrsins.

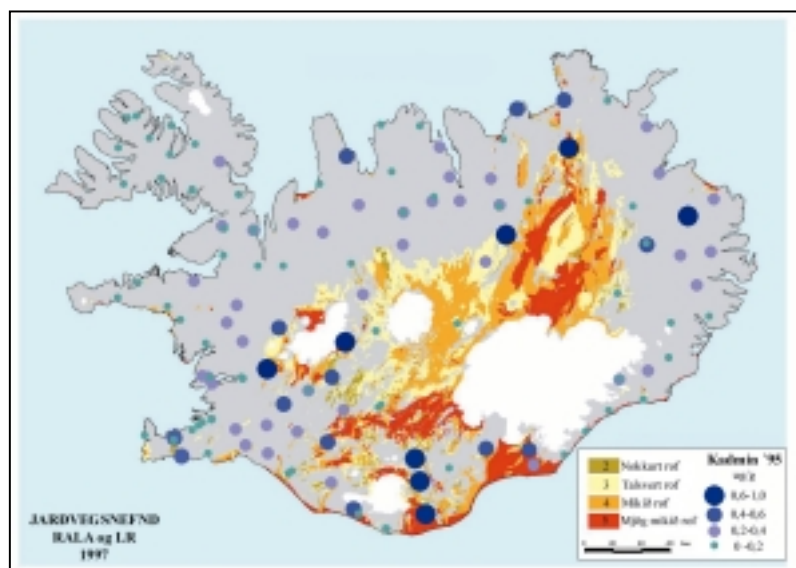


Mynd 2.9. Bygging Díbenzófúrans.

Meðal þeirra áhrifa sem díoxín og fúran hafa eru skemmdir á ónæmiskerfi sérstaklega í ungvíði, skemmdir á lifur, minnkuð viðkoma. Efnin trufla þroska fóstura og barna valda skemmdum á miðtaugakerfi og eru orsök hegðunarvandamála. Auk þess er talið að díoxín og fúran geti orsakað getuleysi og dregið úr fjölda sæðisfrumna.

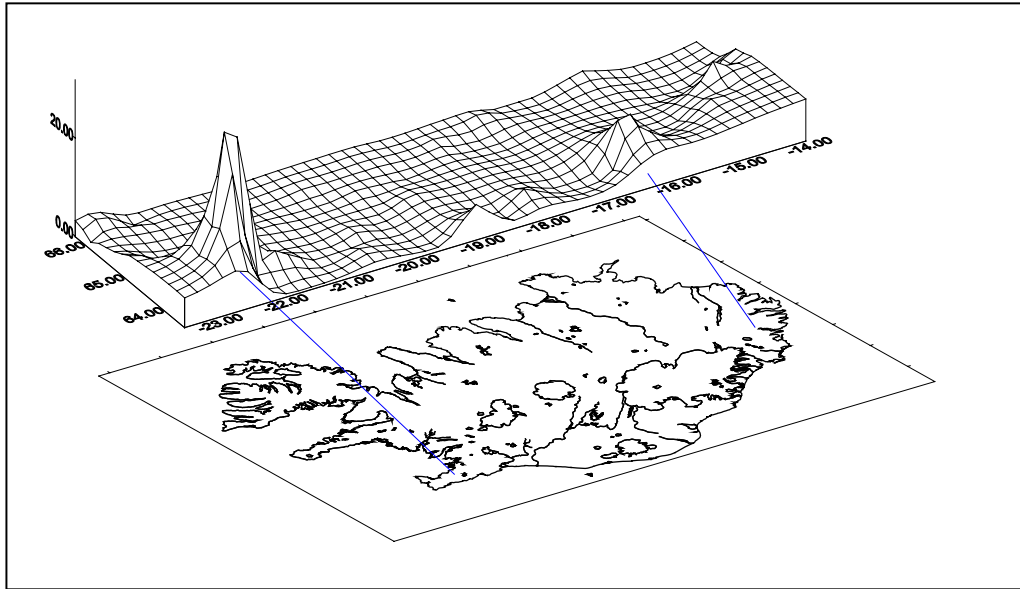
2.4 Þungmálmur

Málmur sem þyngrir eru en járn eru kallaðir þungmálmur. Þungmálmur eru frumefni í bergi og finnast í örlitlum mæli í sjó, lofti, jarðvegi og lífríki. Þeir eru því náttúrulegir í umhverfinu, en ef styrkur þeirra fer yfir náttúruleg mörk er hægt að tala um mengun. Mikill styrkur þeirra þarf ekki að vera bein afleiðing af aðgerðum manna, heldur geta verið ýmsar náttúrulegar skýringar á slíku. Það sést til að mynda vel þegar niðurstöður á greiningu þungmálma í mosa á Norðurlöndum eru bornar saman. Sérstaklega er athyglisvert að samkvæmt þeim niðurstöðum virðist miðhálandi Íslands vera mjög auðugt af kadmíni (mynd 2.10). Þegar betur er að gáð mælist þessi mikli kadmínstyrkur aðallega á gosbeltinu sem jafnframt er mikið rofsvæði.



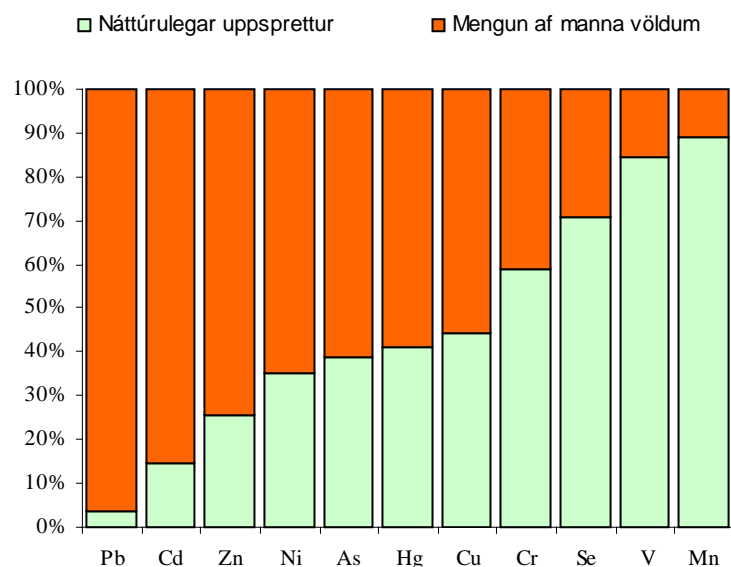
Mynd 2.10. Styrkur kadmíns í mosa á Íslandi árið 1995 (12). Til glöggvunar eru gildi borin saman við rofsvæði.

Styrkur blýs virðist aftur vera mun tengdari athöfnum manna (mynd 2.11).



Mynd 2.11. Styrkur blýs í mosa á Íslandi árið 1995. Styrkeiningin á upprétta ásnum er $\mu\text{g/g}$ (12).

Miklu máli skiptir í umhverfisvöktun að greina mengun vegna starfsemi mannsins frá eðlilegri náttúrulegri sveiflu í styrk efna. Rekja má magn mangans í andrúmslofti nánast alfarið til náttúrunnar, en blý er hins vegar nær eingöngu tilkomið vegna umsvifa manna (mynd 2.12). Þeir þungmálmar sem mest er fjallað um eru kadmín (Cd), blý (Pb), kvikasilfur (Hg), kopar (Cu) og sink (Zn) en hinir þrír fyrst nefndu gegna engu þekktu hlutverki í lífverum. Almenn er þó talið að lífríkinu í sjónum stafi ekki hætta af völdum þungmálma í náttúrulegum styrk (13). Sjávarafurðir frá slíkum svæðum eru ekki taldar hættulegar til neyslu.



Mynd 2.12. Uppruni þungmálma í andrúmslofti (6).

Kadmín (Cd) er eitrad flestum lífverum en það berst í þær með fæðu og beint úr vatni og lofti. Kadmíneitrun í fiski lýsir sér sem ójafnvægi í efnaskiptum (jónajafnvægi riðlast) og hefur áhrif á efnaskipti kalsíns í fiskinum. Í æðri dýrum er nýrnastarfsemi í hættu, efnaferlar sem snerta D-vítamín svo og efnaskipti kalsíns (Ca). Kadmín fylgir sem aukaafurð við framleiðslu á sinki og blýi auk þess sem það berst út í andrúmsloftið við brennslu á eldsneyti. Kadmín er notað í margvíslegar framleiðsluvörur t.d. málmblöndur og rafhlöður en auk þess er kadmín í tilbúnum áburði og seyru.

Blý (Pb) sest gjarnan á set og jarðvegsagnir og er af þeim sökum ekki mjög aðgengilegt lífverum. Hins vegar er blý í lofti hættulegt lífverum. Ekki er ljóst hvort lífverur taka til sín blý um húð, lungu eða með því að neyta mengaðrar fæðu. Blýið safnast fyrir í lifur, nýru, milta og beinum dýra. Blý losnar seint úr beinum aftur, þegar það er einu sinni komið þangað. Helstu eituráhrif eru á taugakerfi og meltingarveg. Blý getur ennfremur leitt til blóðleysis. Blýbensín hefur verið aðaluppspretta blýmengunar en talsverð blýmengun stafar einnig af námugreftri, málmíðnaði, skotveiðum og sorpbrennslu.

Kvikasilfur (Hg) í umhverfinu er að miklu leyti bundið seti og lífrænum ögnum og því ekki aðgengilegt fyrir æðri lífverur. Örverur geta hins vegar breytt þessu bundna kvikasilfri í metýl-kvikasilfur sem er

bráðeitrað og lægri lífverur eiga auðvelt með að taka upp. Kvikasilfur er taugaeitur vegna áhrifa á heilastarfsemi, sérstaklega í fóstrum og ungvíði. Aðaluppspretta kvikasilfurs er brennsla á kolum og rusli. Einnig má nefna framleiðslu annarra málma en járn. Kvikasilfur er notað í hitamæla, loftþyngdarmæla, tannfyllingar, rafgeyma og flúrljósaperur. Vegna rokgirni kvikasilfurs berst það auðveldlega langar vegalengdir í andrúmslofti. Þetta hefur valdið því að mikið magn kvikasilfurs hefur fundist fjarri öllum uppsprettum þess.

2.5 Geislavirk efni

Þegar kjarnar frumeinda búa yfir meiri orku en þeir geta bundið til langs tíma er talað um geislavirkni. Kjarninn losar sig við umframorku með því að senda frá sér geislun og breytist við það í annað frumefni. Magn geislavirkni (fjöldi kjarnbreytinga á tímameiningu) stendur ætíð í réttu hlutfalli við magn geislavirka efnisins (skýringartexti 2.3).

Skýringartexti 2.3. Einingar tengdar geislun

Geislavirkni:

Bekerel (becquerel), skamstafað Bq, er eining fyrir **geislavirkni**. Eitt Bq samsvarar einni kjarnabreytingu á sekúndu. Bq er því jafnframt mælikvarði fyrir magn geislavirks efnis (eins og massi mældur í kg).

Cs-137: Geislavirk samsæta frumefnisins sesíns með massatöluna 137.

Sr-90: Geislavirk samsæta frumefnisins strontíns með massatöluna 90.

Geislaálag:

Áhættu einstaklings vegna jónandi geislunar (sjá skýringartexta 2.4) er lýst með stærð sem kölluð er **geislaálag** og hefur eininguna *sívert (sievert)*, skammstafað Sv. Stærðin kemur oftast fyrir með smækkunarforskeytinu milli (m), $1 \text{ mSv} = 0,001 \text{ Sv}$.

2.5.1 Geislavirk efni í náttúrunni af manna völdum

Geislavirk efni hafa borist út í náttúruna af ýmsum orsökum frá upphafi kjarnorkualdar í lok síðari heimsstyrjaldar. Í upphafi var ekki hugað mjög að áhrifum þessarar geislaamengunar, en síðustu áratugi hefur verið reynt að draga úr frekari útbreiðslu og jafnframt takmarka áhrif þeirra efna sem þegar hafa borist út í náttúruna. Helstu uppsprettur manngerðra geislavirkra efna í náttúrunni eru eftirfarandi:

- a) *Tilraunir með kjarnorkuvopn í andrúmsloftinu*
Þessum tilraunum var að mestu hætt 1963, eftir að stórveldin undirrituðu samning um bann við frekari tilraunum í andrúmsloftinu. Geislaamengunar var þá tekið að gæta um alla jörðina af völdum þessara tilrauna. Á síðari árum hafa flestar tilraunir með kjarnorkuvopn verið gerðar neðanjarðar og við það berst lítið af geislavirkum efnum í umhverfið.
- b) *Kjarnorkuiðnaður*
Í kjarnorkuiðnaði eru mörg vinnsluþrep og umhverfismengunar getur gætt frá hverju þeirra. Hér við land gætir eingöngu áhrifa frá endurvinnslu, einkum frá stöðinni í Sellafeld í Englandi. Það tekur um áratug fyrir efni að berast þaðan á íslensk hafsvæði og hefur þá styrkur þeirra minnkað mikið (sbr. mynd 6.4). Á síðari árum hefur einnig dregið úr losun flestra geislavirkra efna frá Sellafeld.
- c) *Kjarnorkuslys*
Í Vestur-Evrópu er það einkum slysið í Tsjernobyl árið 1986 sem haft hefur áhrif. Raunar hafa fleiri slys orðið en áhrif þeirra hafa verið mun staðbundnari. Tsjernobylslysið hafði hverfandi áhrif hér á landi.

Tilraunir með kjarnavopn í andrúmsloftinu er meginhluti þeirrar geislaamengunar sem mælanleg er hér á Íslandi. Í hafinu umhverfis landið gætir einnig áhrifa kjarnorkuiðnaðar, einkum frá endurvinnslustöðinni í Sellafeld.

Við beitingu kjarnorku verður til fjöldi tegunda geislavirkra efna. Margar þeirra eru skammlífar og þarf því ekki að taka tillit til þeirra fjarri uppsprettu geislaamengunarinnar eða þegar frá líður. Þær sem eru langlífar berast misvel um fæðukeðjuna og sumar nánast alls ekki. Þau efni sem skipta mestu við íslenskar aðstæður eru Cs-137 og Sr-90. Þau eru tiltölulega langlíf (helmingunartími um þrjú áratugir) og bæði geta borist um fæðukeðjuna í fólk. Sesín (Cs) hefur svipaða efnafræðieiginleika og kalín (K), en strontín (Sr) hefur svipaða efnafræðieiginleika og kalsín (Ca).

Hlutfallsleg dreifing Cs-137 og Sr-90 hefur verið svipuð af völdum tilrauna með kjarnavopn í andrúmsloftinu. Með nútíma tækjum er hins vegar mun auðveldara að mæla Cs-137 en Sr-90. Þegar gerðar eru kannanir á útbreiðslu þessara efna er áherslan því oft lögð á mælingar á Cs-137, en styrkur Sr-90 aðeins kannaður ef sérstök ástæða þykir til.

2.5.2 Líffræðileg áhrif jónandi geislunar og tölulegt mat á áhrifum hennar

Einkenni geislavirkra efna er að geta sent frá sér svokallaða jónandi geislun (skýringartexti 2.4). Það er almennt álitid að allri jónandi geislun fylgi einhver hættu á myndun krabbameins, þ.e. engin ákveðin mörk eru til þannig að segja megi að geislun neðan þeirra sé hættulaus. Hins vegar er hættan á að fá krabbamein orðin hverfandi lítil þegar um litla geislun er að ræða (getur t.d. verið mun minni en áhætta vegna þess að anda einu sinni að sér vindlingareyk). Í ljósi þess að einhver áhætta er ætíð fyrir hendi, þá miðast geislavarnastarf við að draga sem mest úr áhættu vegna jónandi geislunar, en reyna jafnframt að meta hvenær ekki er raunhæft að ganga lengra, til dæmis vegna þess að hættan sé orðin hverfandi lítil miðað við aðra áhættuþætti í umhverfinu.

Skýringartexti 2.4. Jónandi geislun

Geislunin er nefnd jónandi þegar hún er það öflug að hún getur orsakað flutning rafeindar frá frumeind eða sameind (jónun) í því efni sem hún fer um. Erfðaefni frumna (DNA) getur verið viðkvæmt gagnvart þessum breytingum og geislunin getur þannig haft skaðvænleg áhrif á lífverur. Sköðunum má skipta í tvo meginflokkka:

- *Vísir skaðar*, sem rekja má til dauða margra frumna í líffæri. Þessi tegund skaða birtist ekki nema um verulega mikla geislun sé að ræða, en þá geta áhrifin komið fram eftir nokkra klukkutíma eða vikur, allt eftir því hversu mikil geislunin var. Magn geislunar ræður hér umfangi skaðans. Sé um mikla geislun að ræða á viðkvæm líffæri, þá getur dauði lífveru hlotist af.
- *Tilviljunarkenndir skaðar*, sem rekja má til skemmda á erfðaefni í einstökum frumum. Þessi breyting getur dulist lengi, jafnvel í marga áratugi. Að lokum getur hún birst sem krabbamein. Það er álitid að skemmd í einstökum frumum dugi til að koma krabbameini af stað. Magn geislunar ræður hér líkum á að skaði verði. Ef krabbameinsæxli myndast af völdum geislunar, þá lýtur vöxtur þess eigin lögmálum, magn geislunarinnar hefur þar engin áhrif.

Tölulegt mat á heilsufarslegum áhrifum jónandi geislunar er lykilatriði í skipulagi geislavarna, einnig þegar um mat á umhverfisáhrifum geislaamengunar er að ræða. Áætlað meðalgeislaálag einstaklinga af völdum náttúrulegrar geislunar er um 3 mSv (skýringartexti 2.3) á ári annars staðar á Norðurlöndum. Á Íslandi er geislunin mun minni eða aðeins um 1 mSv á ári. Þessi munur stafar m.a. af því að íslenskur berggrunnur er óvenju snauður af geislavirkum efnum. Samsvarandi meðaltal fyrir jarðarbúa er 2,4 mSv á ári.

Magn eða styrkur geislavirks efnis er fjarri því að vera einhlítur mælikvarði á heilsufarsleg áhrif geislaamengunar. Hegðun efnisins í náttúrunni skiptir miklu máli. Þessi hegðun ræðst af efnafræðilegum eiginleikum efnisins. Gróðurfar, landnytjar og fæðuveitur skipta einnig miklu máli. Samanburður milli landa á áhrifum geislavirks úrfellis getur því verið mjög varasamur sé ekki tekið tillit til þessara þátta.

Rannsóknir í geislavistfræði miða því ekki einungis að því að þekkja dreifingu þeirra efna sem er að finna í náttúrunni og líklega fyrirsjáanlega þróun. Meginógn af völdum geislavirkra efna í náttúrunni stafar af slysum sem gætu orðið, jafnvel þeim sem teljast mjög ólíkleg. Því er brýnt að geta metið afleiðingar mengunar og hugsanlegra slysa með sem mestri nákvæmni. Ekki nægir að huga þá einungis að *heilsufarslegum afleiðingum*, einnig þarf að huga að huglægum þáttum, t.d. *efnahagslegum afleiðingum*. Það er því fyllsta ástæða til að halda vel vöku sinni og þekkja sem best dreifingu og hegðun geislavirkra efna í íslenskri náttúru.

2.6 Næringarsölt

Næringarsöltin fosfat og nítrat eru nauðsynleg plöntum og þörungum á landi og í sjó. Gróður er fyrsta þrep fæðuvefs á landi, en þörungar og plöntusvif í sjó. Oft er uppleystur kísill einnig talinn til næringarsalta því hann þurfa kísilþörungar til vaxtar. Að sumarlagi nýta sjávarþörungar næringarefni úr efstu lögum sjávar oft nánast til fulls. Við þessar aðstæður dregur mjög úr þörungavexti eða hann stöðvast. Nákvæmar rannsóknir á næringarsöltum í sjó hér við land hófust laust fyrir árið 1960 en þær hafa fram til þessa fyrst og fremst verið gerðar í þeim tilgangi að meta frjósemi íslenskra hafsvæða. Árið 1991 birtist yfirlitsskýrsla um rannsóknirnar (14). Fá dæmi eru um að ákoma næringarsalta hafi valdið mengun í sjó hér við land. Öðru máli gegnir t.d. við sunnanverðan Norðursjó og í Eystrasalti þar sem mikið magn næringarsalta berst til sjávar frá þéttbýli og vegna notkunar tilbúins áburðar í landbúnaði. Það leiðir m.a. til offramleiðslu þörunga. Við offramleiðslu nýtast þeir ekki sem fæða fyrir efri þrep fæðuvefsins og mikið magn þörunga fellur til botns og rotnar. Rotnun getur orsakað súrefnisskort við botn sjávar og jafnvel leitt til myndunar súlfíðs, sem er eitrað, ef blöndun er ekki nægjanleg. Þá er ofauðgun næringarsalta einnig talin geta leitt til aukinnar tíðni blóma eitraðra þörungategunda.

Við strendur Íslands er víðast hvar öflug blöndun sjávar á grunnsævi sem kemur því sem næst í veg fyrir hættu á ofauðgun næringarsalta í sjó hér við land.

Heimildir

- (1) Brown, J., Colling, A., Park, D., Phillips, J., Rothery, D. & Wright, J. 1989. Seawater: Its composition, properties and behaviour. The Open University, Pergamon Press Ltd. 165 pp.
- (2) Magnús Jóhannesson, Jón Ólafsson, Sigurður M. Magnússon, Davíð Egilson, Steinþór Sigurðsson, Guðjón Atli Auðunsson og Stefán Einarsson, 1995. Mengunarmælingar í sjó við Ísland. Lokaskýrsla. Gefið út af Umhverfisstofnuneytinu, 137 bls.
- (3) UNEP 1995. Global Programme of Action for the Protection of the Marine Environment from Land-based Activities. United Nations, Washington D.C. december 1995. 60 pp.
- (4) UNEP 1998. POPs, Regulatory Actions and Guidelines concerning Persistent Organic pollutants, United Nations, June 1999.
- (5) Voldner, E.C. & Li, Y.F., 1995. Global usage of selected persistent organochlorines. Sci. Tot. Environ., 1601&161, 201-210.
- (6) AMAP, 1998. AMAP Assessment Report; Arctic Pollution Issues. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway. xii+859 pp.
- (7) Dearth, M.A. and Hites, R.A., 1991. Chlordane accumulation in people. Environ. Sci. Technol., 25, 1279-1285.
- (8) Li, Y.F., McMillan, A. and Scholtz, M.T., 1996. Global HCH usage with 1°x 1° longitude/latitude resolution. Environ. Sci. Technol., 30, 3525-3533.
- (9) Karl Skírnisson, 1994. Nokkur orð um Gammatox. Fréttabréf Heilbrigðisfulltrúafélags Íslands. Apríl 1994.
- (10) Jóhannes F. Skaftason og Þorkell Jóhannesson, 1981. Klórkolefnissambönd í íslenskum vatnasilungi. Náttúrufræðingurinn 51, 97-104.
- (11) Bühler, F., Schmid, P. & Schlatter, C., 1988. Kinetics of PCB elimination in man. Chemosphere 17, 1717-1726
- (12) Rühling, Å. & Steinnes, E., 1998. Atmospheric Heavy Metal Deposition in Europe 1995-1996. NORD 1998:15.
- (13) GESAMP, 1990. Reports and studies no. 39. The state of the marine environment. IMO/FAO/UNESCO/WMO/WHO/IAES/UNEP joint group of experts on the scientific aspects of marine pollution. IMO 1990.
- (14) Unnsteinn Stefánsson and Jón Ólafsson, 1991. Nutrients and Fertility of Icelandic Waters. Rit Fiskideildar 12, 1-56.

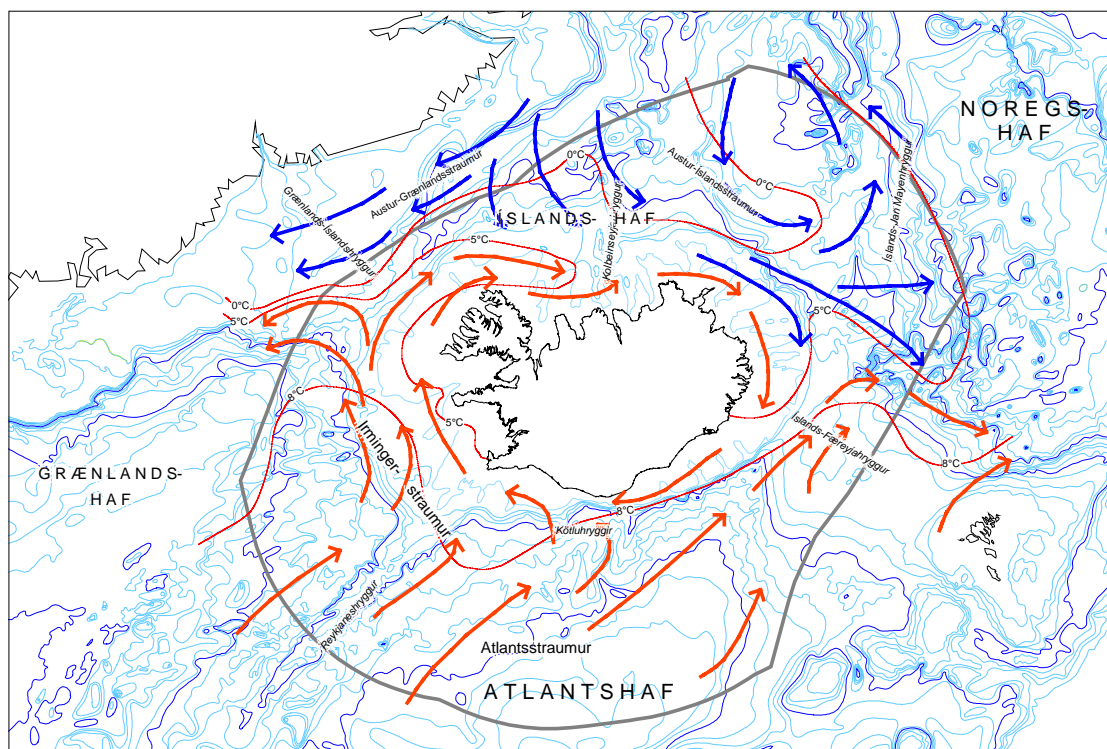
3 Aðstæður við Ísland

Við Ísland mætast ólíkir haf- og loftstraumar. Hlýr Golfstraumurinn kemur úr Mexíkóflóa og mætir Austur-Grænlandsstraumnum sem ber kaldan sjó frá norðurslóð (1). Upp við landið er strandstraumur sem gengur réttisælis kringum landið. Mörk hlýrra og kaldra loftstrauma liggja oft í grennd við Ísland, en á mörkum þeirra myndast og hreyfast lægðir. Brautir þeirra ráða miklu um vindáttir og veðurfar á landinu hverju sinni. Vindafar er því óstöðugt og skiptast oft á suðlæggar og norðlæggar, austlæggar og vestlæggar áttir. Mengandi efni geta því borist til Íslands úr ýmsum áttum, bæði með sjó og lofti (1).

Ísland er landfræðilega einangrað og strjálbýlt. Þetta samspil veðurfars og hafstrauma, skapar allt aðrar aðstæður hér við land en eru í nágrennalöndum okkar. Þannig er ekki talin hætta á að mengun vegna næringarefna í hafinu sé fyrir hendi og því ekki lögð áhersla á slíkar mælingar hér, en hins vegar flytja þessir straumar ýmiskonar mengun til okkar (sjá kafla 2). Í þessum kafla verður stuttlega gerð grein fyrir hafstraumum og öðrum aðstæðum við landið.

3.1 Hafstraumar

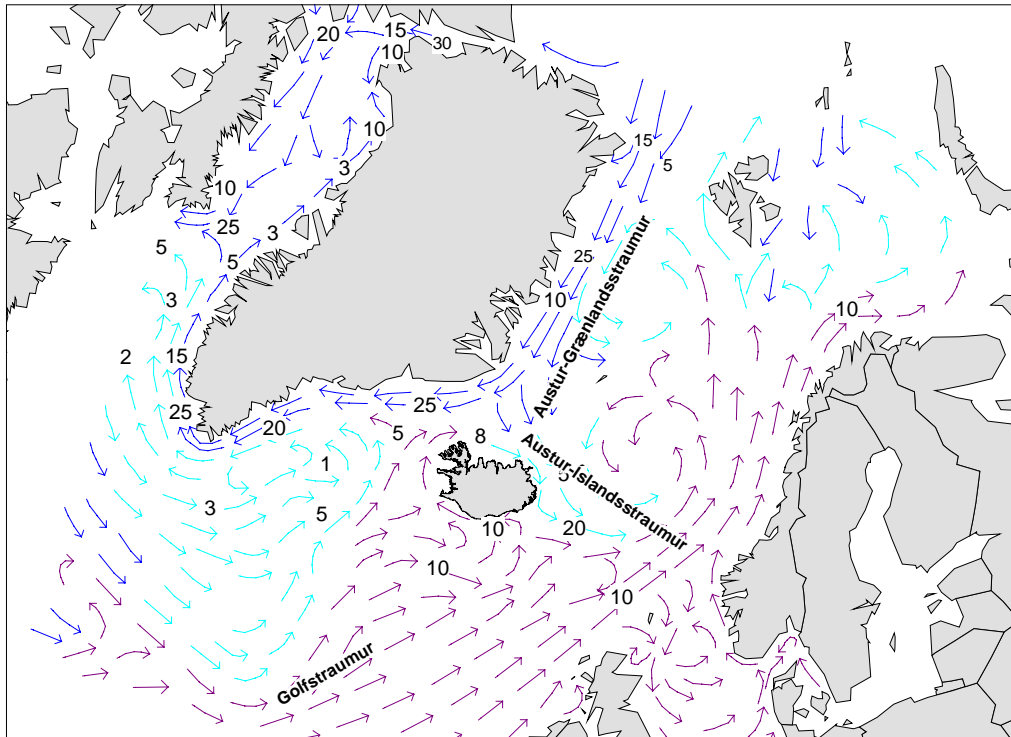
Meginstofn Golfstraumsins streymir austur yfir Atlantshafið, alllangt suður af landinu, en grein úr honum kemur að suðurströnd landsins eins og sést á mynd 3.1. Hlýsjórinn streymir til vesturs fyrir Reykjanes og þaðan áfram norður með Vesturlandi til Vestfjarða. Úti fyrir Vestfjörðum greinist straumurinn í tvennt og meginhlutinn streymir til vesturs í átt til Grænlands. Minni kvíslin streymir til norðausturs með Vestfjörðum inn á Norðurmið. Ef streymið er mikið norður fyrir land, má greina áhrif hlýsjávarins við norðanverða Austfirði. Þau ár sem innstreymi hlýsjávar norður fyrir land er með minnsta móti, greinast hins vegar nánast engin merki um hann austan Húnaflóa. Á veturna er straumur Atlantssjávar norður fyrir land lítill, en þegar líða tekur á vorið streymir hlýsjórinn venjulega með auknum krafti norður fyrir land.



Mynd 3.1. Hafstraumar, sjávarhiti og sjávarbotn við Ísland.

Að norðan berst kaldur sjór að landinu með Austur-Íslandsstraumi (mynd 3.2). Hluti af honum er Atlantssjór, sem borist hefur í Noregshaf að sunnan, norður til Jan Mayen og sveigt þar til suðurs inn í Íslandshaf samsíða Austur-Grænlandsstraumnum. Þessi sjór streymir síðan til suðausturs og blandast

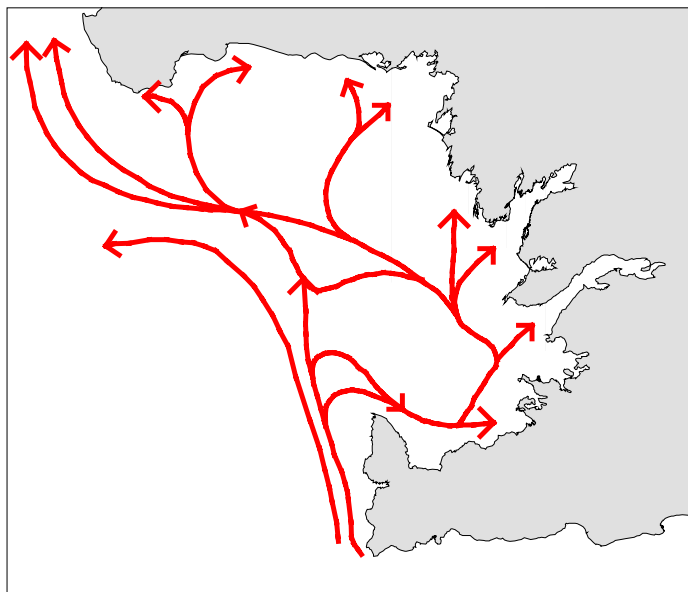
við hlýjan Atlantssjó, sem kominn er inn á Norðurmið að vestan. Það eru áraskipti að því hve hlutur einstakra sjógerða er mikill. Í mjög köldum árum kemur kvísl úr Austur-Grænlandsstraumi sem flæðir inn í Íslandshaf og ber kaldan pólsjó norðan úr Íshafi. Hætta er á ísmyndun á vetrum ef mikill pólsjór er á Norðurmiðum.



Mynd 3.2. Hafstraumar á íslenskum og nálægum hafsvæðum. Tölugildin sýna straumhraða í cm/sek.

3.2 Strandstraumar

Frá landi berst allmikið af fersku vatni til sjávar með straumvötnum. Stærstu og vatnsmestu straumvötnin eru jökulárnar á Suðurlandi og Norðausturlandi. Þegar straumvatnið kemur til sjávar blandast það söltum sjónum við ströndina og berst eins og straumarnir réttisælis umhverfis landið. Þessi ferskvatnsblandaði sjór helst yfirleitt nálægt landi og má greina hann meðfram allri ströndinni og hann þræðir víkur, voga, firði og flóa á ferð sinni í kringum landið (mynd 3.3). Aðalhrygningarsvæði þorsks og ýsu er á Selvogsbanka, vestan við Vestmannaeyjar. Egg og lirfur þeirra berast með strandstraumnum vestur fyrir Reykjanesskaga, norður með Vesturlandi og norður fyrir land. Það fer eftir vindum og vatnsmagni jökulánna hversu vel afmarkaður og sterkur strandstraumurinn er og hefur það hugsanlega áhrif á árangur hrygningarinnar.



Mynd 3.3. Strandstraumar við Faxaflóa (2).

3.3 Ástand í hafinu

Allar umhverfisaðstæður skipta verulegu máli í sambandi við túlkun á niðurstöðum mengunarmælinga. Fitumagn í vefjum hefur mikil áhrif á styrk ýmissa mengandi efna og fituinnihald er háð næringarástandi lífvera. Næringarástand tengist ástandinu í sjónum, svo sem hita, seltu, stöðugleika, og hvaðan sjórinn er ættaður. Allt þetta gerir það að verkum að þekking á ástandi sjávar og ástandi lífveranna, þegar sýni eru tekin, skipta verulegu máli í sambandi við túlkun niðurstaðna.

Skörp skil milli ólíkra strauma eru fyrir suðaustan land og úti fyrir Vestfjörðum. Við Suðausturlandið mætast hlýr Atlantssjór að sunnan og kaldar tungur Austur-Íslandsstraumsins, sem koma að norðan. Við Vestfirði eru skilin enn skarpari. Þar rennur hlýsjórinn til norðausturs með landinu, en skammt utar fellur sveilkaldur Austur-Grænlandsstraumurinn til suðvesturs.

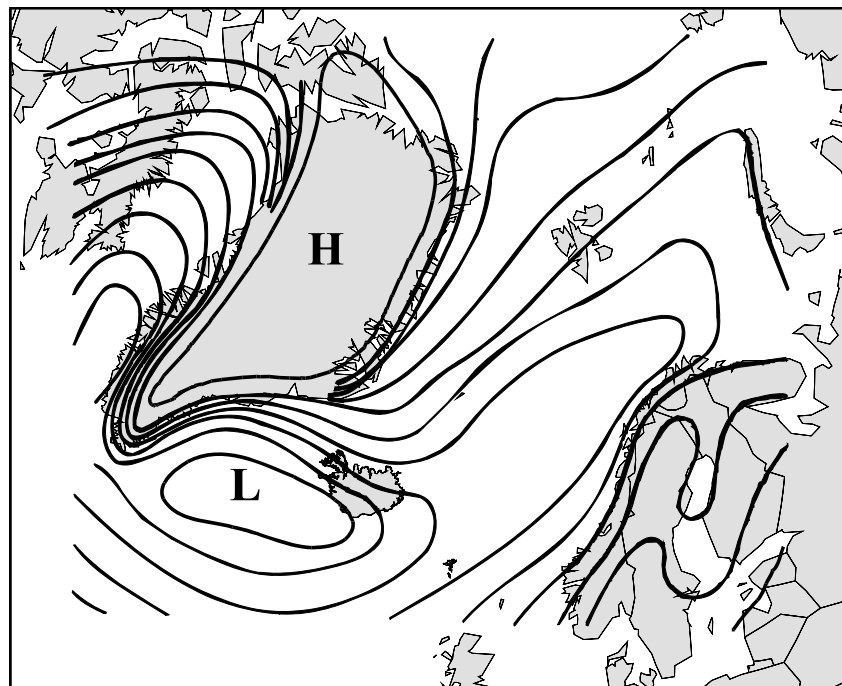
Flest árin á tímabilinu 1920 til 1960 var sjór tiltölulega hlýr fyrir Norðurlandi á vorin og sumrin vegna reglubundins innstreymis Atlantssjávar inn á Norðurmið. Á árunum frá 1965 til 1970 voru norðanáttir óvenju tíðar í Grænlandshafi. Fyrir vestan land sveigði nær allur straumurinn til vesturs yfir Grænlandshaf, en lítið sem ekkert streymi var af Atlantssjó norður fyrir land. Ískaldur pólsjór barst með Austur-Grænlandsstraumi inn á Norðurmið og fylgdi honum hafís, sem lagðist að landinu í sumarbyrjun. Þetta hafði gífurlega áhrif á lífríkið í hafinu fyrir norðan land og er ásamt ofveiði talið hafa haft áhrif á hrun norsk-íslenska síldarstofnsins á þessum tíma.

Breytingarnar, sem áttu sér stað á hafsvæðinu fyrir norðan land á ísárunum, 1965-1970, hafa haft langvarandi áhrif á seltu og hita í öllu norðanverðu Norður-Atlantshafi. Sá seltulitli yfirborðssjór sem þá myndaðist, barst suður Grænlandshaf og fyrir Hvarf til Vestur-Grænlands og síðan suður með strönd Kanada, þar sem hans varð vart á árunum 1971-1972. Þaðan fluttist hann með Norður-Atlantshafsstraumnum til austurs, yfir Atlantshafið, norður um sundið milli Færeyja og Hjaltlands og norður með ströndum Noregs. Við Noreg mældist lækkun í seltu og hita af þessum völdum á árunum 1977-1978. Þetta fyrirbæri, sem hér er rakið, hefur verið kallað „seltufrávikið mikla í Norður-Atlantshafi“.

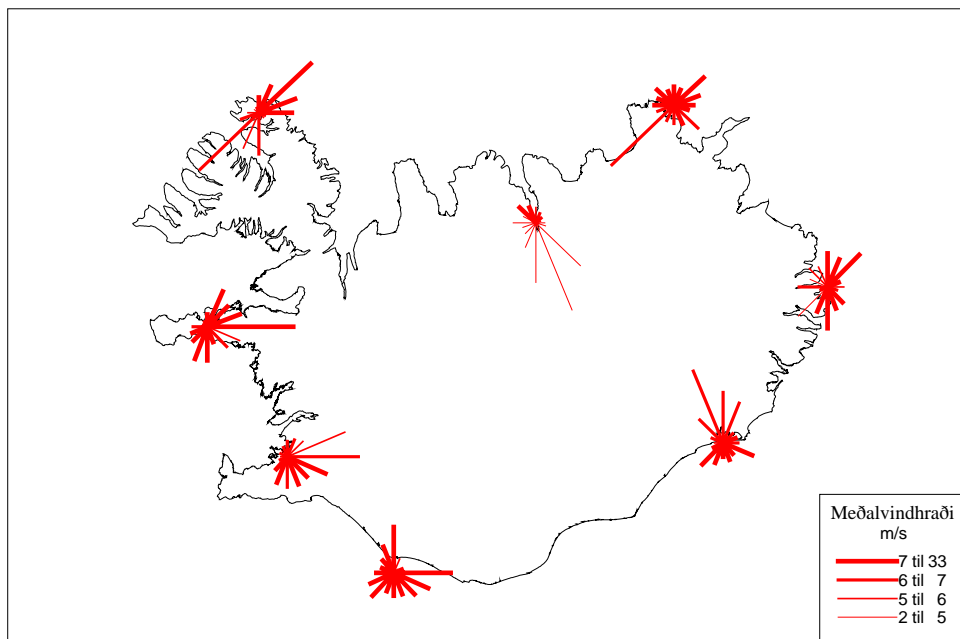
3.4 Andrúmsloftið

Á korti sem sýnir meðalloftþrýsting yfir árið á Norður-Atlantshafi (mynd 3.4) má sjá háþrýstisvæði yfir Grænlandi en lægð skammt suðvestur af Íslandi og hefur hún hlotið nafnið Íslandslægðin í veðurfarsfræðinni. Af þessu leiðir að í lægstu loftlögum, þeim loftlögum sem einkum bera með sér mengunarefni, eru austlægar og norðaustlægar áttir tíðastar á Íslandi. Staðhættir og landslag hafa þó mjög mikil og ráðandi áhrif á tíðleika vindáttu á hverjum stað (mynd 3.5).

Sunnar á Norður-Atlantshafi, milli fertugustu og sextugustu gráðu norðlægrar breiddar, eru vestan og suðvestan vindar hins vegar tíðastir og svo er einnig í hærri loftlögum yfir Íslandi. Á Íslandi er veðráttu mjög óstöðug og brautir lægða liggja títt í grennd við landið. Vindar blása því úr ýmsum áttum og mengunarefni geta borist víða að.



Mynd 3.4. Meðalloftþrýstingur yfir árið umhverfis Ísland (3).



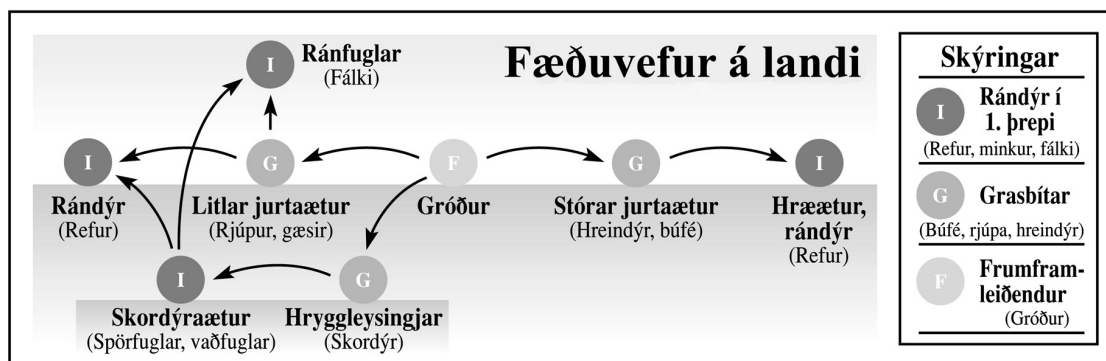
Mynd 3.5. Hlutfallsleg tíðni vindátta í janúar.

Úrkoma hreinsar mikið af mengunarefnum úr andrúmsloftinu um leið og hún fellur til jarðar. En leið mengaðra loftstrauma frá meginlöndum Ameríku og Evrópu til Íslands er löng og megnið af mengunarefnum fellur því oft út yfir úthöfunum áður en loftið berst hingað til lands. Þegar úrkoma er lítil eða engin, kemur þó fyrir að mengað loft frá Bretlandseyjum og meginlandi Vestur-Evrópu berst til Íslands á tiltölulega skömmum tíma, einum eða tveimur sólarhringum.

3.5 Fæðuvefir lífríkisins

Ferill mengandi efna í gegnum vistkerfi getur verið flókinn. Til að skilja þetta betur þarf að finna fæðuþrep viðkomandi lífveru en það er ekki einfalt mál þar sem sumar tegundir nærast á lífverum úr fleiri en einu þrepi. Neðstir eru frumframleiðendurnir. Í hafi og vötnum eru það þörungar en gróður á landi. Ýmis dýr lifa svo á þörungunum og svo önnur dýr á þeim og þannig koll af kalli. Þegar bornir eru saman fæðuvefir á landi og í sjó kemur berlega í ljós að fæðuvefurinn í hafinu er mun flóknari. Á mynd 3.6 er sýnt á einfaldan hátt hvernig fæðuvefur á landi á okkar breiddargráðum lítur út en rétt að benda á að flóknari útfærslur eru til. Hann einkennist oft af mörgum einstaklingum en er stuttur, einungis þrjú þrep;

1. Frumframleiðendur (gróður);
2. Grasbítar (hreindýr, búfé og rjúpur);
3. Rándýr, fyrsta þrep (refur, minkur og fálki).



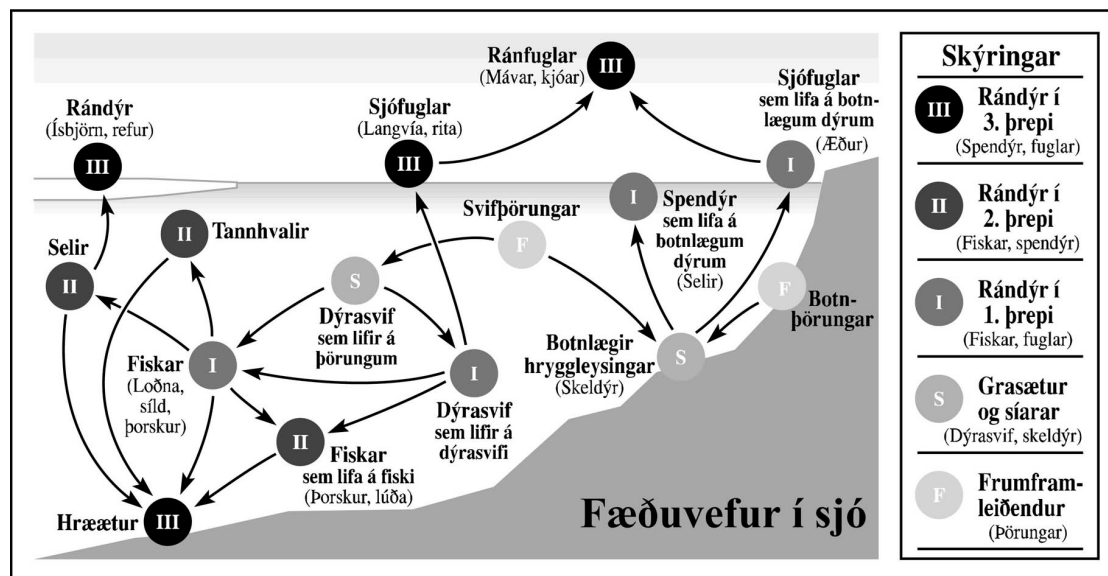
Mynd 3.6. Fæðuvefur á landi (4). Innan sviga eru nefnd íslensk dæmi.

Þetta er einfölduð mynd af fæðuvefnum á landi. Hér er t.d. ekki tekið með að ýmsir farfuglar lifa á menguðum svæðum vissan tíma á ári hverju og bera með sér mengun til landsins sem þannig kemst inn í hringrásina hér á landi og dreifist um vistkerfið.

Almennt er fæðuvefurinn í hafinu mun flóknari en á landi eins og sést á mynd 3.7 Þar er myndin þó einnig einfölduð og eru hér talin fimm þrep ;

1. Frumframleiðendur (plöntusvif, botnþörungar)
2. Grasætur og sírarar (dýr sem lifa á þörungum, ígulker, botnlægir sírarar, frumdýr í dýrasvifi)
3. Rándýr, fyrsta þrep: t.d. fiskar (síld, þorskur og loðna), skíðishvalir (langreyður, sandreyður) og fuglar (t.d. æður, stuttnefja og örn)
4. Rándýr, annað þrep: fiskar (þorskur, lúða), spendýr (selir, tannhvalir, hrefna)
5. Rándýr, þriðja þrep: spendýr (refur, ísbjörn, háhyrningur), fuglar (svartfugl, rita, fýll)

Eins og sést á myndinni taka margar tegundir til sín fæðu úr fleiru en einu þrepi og er það nokkuð háð framboði hvaða fæðutegund verður fyrir valinu hverju sinni. Vegna þessa er erfitt að meta uppsöfnun mengandi efna upp eftir fæðuvefnum og einnig er erfitt að fylgjast með hvernig mengandi efni berast frá einu fæðuþrepi til annars. Almennt gildir að því ofar í fæðuvefnum sem lífveran er, þeim mun meiri líkur eru á að hún hafi safnað í sig mengandi efnum og þá sérílagi þrávirkum lífrænum efnum.



Mynd 3.7. Fæðuvefur í sjó (4). Innan sviga eru íslensk dæmi.

Heimildir

- (1) Unnsteinn Stefánsson, 1994. Haffræði II. Háskólaútgáfan, Reykjavík. 541 bls.
- (2) Magnús Jóhannesson, Jón Ólafsson, Sigurður M. Magnússon, Davíð Egilson, Steinþór Sigurðsson, Guðjón Atli Auðunsson og Stefán Einarsson, 1995. Mengunarmælingar í sjó við Ísland. Lokaskýrsla. Gefið út af Umhverfisstofnun, 137 bls.
- (3) Markús Á. Einarsson, 1989. Hvernig viðrar ? Iðunn, Reykjavík. 152 bls.
- (4) AMAP, 1998. AMAP Assessment Report; Arctic Pollution Issues. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway. xii+859 pp.

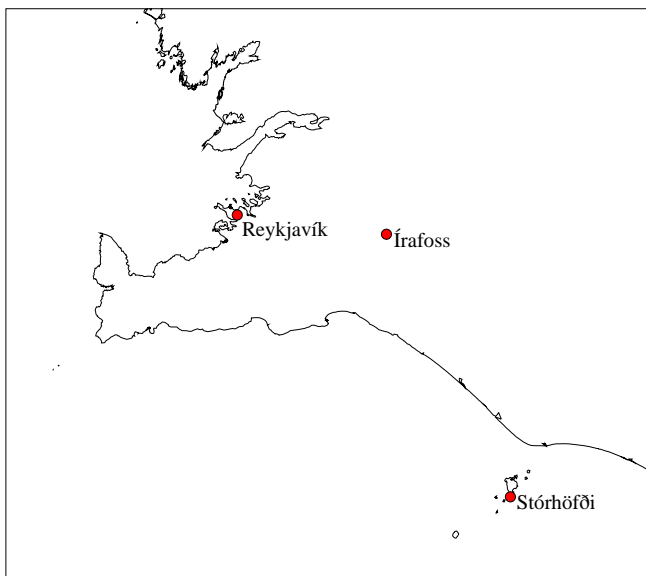
4 Úrkoma og andrúmsloft

Andrúmsloftið er fjöldi mismunandi lofttegunda, en einungis tvær þeirra, köfnunarefni og súrefni, mynda samtals um 99% af rúmtaki þurrs loft. Fjöldi annarra lofttegunda, svo sem argon, koltvíoxíð, og óson að viðbættum svifögnum, er það sem á vantar. Ótalin er þá vatnsgufa loftins, en magn hennar er mjög breytilegt, stundum hverfandi lítið, en í öðrum tilvikum allt að 3-4% af rúmmáli loftins. Þessu til viðbótar bætast margháttuð mengunarefni sem kunna að stafa frá athöfnum manna eða öðrum ferlum svo sem eldgosum. Eðli sínu samkvæmt er hlutfallslega minna magn mengunarefna í andrúmslofti en í jarðvegi, seti eða vatni. Hins vegar er andrúmsloftið mikilsverð flutningsleið mengunarefna sakir þess hve hratt loftstraumar berast um heiminn eins og fram kemur í kafla 2.3.2.

Þau mengunarefni sem eru meginviðfangsefni þessarar skýrslu, þ.e. málmar, þrávirk lífræn efni og geislavirk efni, geta þess vegna flust á tiltölulega skömmum tíma þúsundir kílómetra með vindum loftins frá iðnaðarsvæðum Evrópu og Ameríku til Íslands. Hinu má heldur ekki gleyma að töluvert magn þessara efna er losað út í andrúmsloftið á Íslandi, sérstaklega í iðnaði og með útblæstri skipa og bíla, samanber kafla 2. Umrædd mengunarefni geta borist, t.d. með úrkomu eða sem gastegundir, í ferskvatn, sjó og lífríki. Þess vegna skiptir miklu við umhverfisvöktun að hafa þekkingu á styrk málma og þrávirkra lífrænna efna í úrkomu og andrúmslofti og mat á því hversu mikið fellur af þeim, til láðs og lagar, á og við Ísland.

Styrkur þungmálma og aðalefna í úrkomu hefur verið mældur í mánaðarsýnum frá Írafossi og frá Reykjavík síðan 1992 og styrkur þeirra í andrúmslofti og svifryki í hálfsmánaðarsýnum frá Stórhöfða í Vestmannaeyjum síðan 1995. Þrávirk lífræn efni í úrkomu annars vegar og andrúmslofti og svifryki hins vegar hafa verið mæld í hálfsmánaðarsýnum frá Stórhöfða síðan 1995 (mynd 4.1).

Úrkomu til geisla mælinga hefur verið safnað fyrir Geislavarnir ríkisins á Rjúpnahæð og í Reykjavík frá árinu 1990 og á Írafossi frá árinu 1992. Einnig hafa Geislavarnir mælt styrk í svifryki í andrúmslofti reglulega á Rjúpnahæð frá sumrinu 1991.

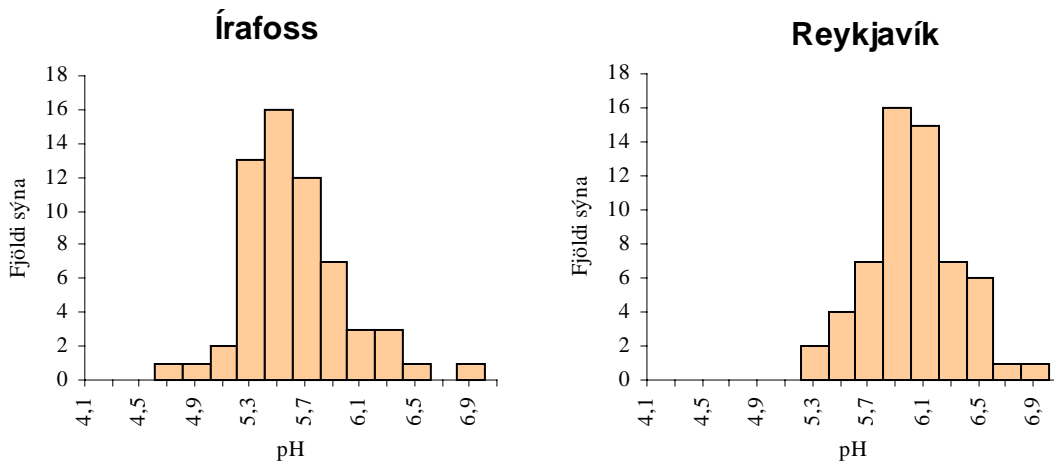


Mynd 4.1. Vöktunarstaðir fyrir úrkomu og loft.

Hér verður gerð grein fyrir helstu niðurstöðum þessara mælinga, sem raunar hafa áður verið birtar að hluta til (1). Þessar niðurstöður verða bornar saman við mælingar frá öðrum löndum og að lokum reynt að rekja uppruna efnanna sem mælast í úrkomu og lofti.

4.1 Aðalefni og þungmálmar í úrkomu

Úrkoma er að langmestu leyti vatn, en í vatninu er fjöldi uppleystra efna. Sum þessara efna eru af náttúrulegum uppruna, en önnur verða til við athafnir manna. Eitt umfangsmesta umhverfisvandamál margra iðnríkja er súrt regn. Það myndast þegar ýmiss konar oxíð, einkanlega brennisteinsoxíð (SO_x) og nituroxíð (NO_x) blandast vatnsgufu eða úrkomu í andrúmsloftinu. Við það lækkar pH úrkomunnar og hún telst vera súr. Sýrustig ómengaðrar úrkomu í jafnvægi við andrúmsloftið við 25 °C er 5,6. Mánaðar-úrkomusýnin frá Írafossi hafa að meðaltali sýrustig ómengaðrar úrkomu (pH um 5,6) en sýrustig mánaðarsýnanna frá Reykjavík er að meðaltali um 6,0 (mælt við 20-25 °C) (mynd 4.2).



Mynd 4.2. pH í mánaðarsýnum úrkomu á Írafossi og í Reykjavík 1992-96.

Munurinn milli stöðvanna gæti stafað af ólíkri söfnunaraðferð. Á Írafossi er svokallaður lokaður mælir sem opnast aðeins í úrkomu en í Reykjavík er opinn mælir sem ryk getur fallið ofan í. Lítilsháttar upplausn á landrænu fallryki hækkar pH-gildi sýnis og aukning á natríni, kalíni og magnesíni miðað við klór í Reykjavíkursýnunum bendir til þess að svo sé. Samkvæmt þessu er heppilegra að nota sýni úr lokuðum mæli þegar meta skal sýrustig úrkomu. Munurinn milli stöðvanna gæti einnig legið að mestu leyti í því að svæðin sjálf eru ólík, bæði landfræðilega og hvað varðar umsvif manna.

Við fyrstu sýn benda mæliniðurstöðurnar að ofan til þess að úrkoma hafi ekki súrnað neitt á Íslandi öfugt við það sem orðið hefur víða í iðnríkjum. En þá er á það að líta að á Írafossi er ekki aðeins safnað í lokaða mælinn sem tæmdur er mánaðarlega, heldur einnig í úrkomumæli sem er opinn eins og mánaðarmælirinn í Reykjavík en tæmdur daglega. Meðaltal pH-gilda daglegra sýna frá árunum 1990-1997 er að vísu 5,9 (mælt við 20-25 °C) líkt og í Reykjavík en nákvæmara er að athuga hver meðalstyrkur vetnisjónarinnar er og reynist hann samsvara pH 5,4. Samkvæmt því er úrkoma á Íslandi enn lítillega súr þótt það sé mun minna en víða annars staðar í Evrópu (tafla 4.1) og í Ameríku og minna en var á Íslandi um 1970 (pH 5,2).

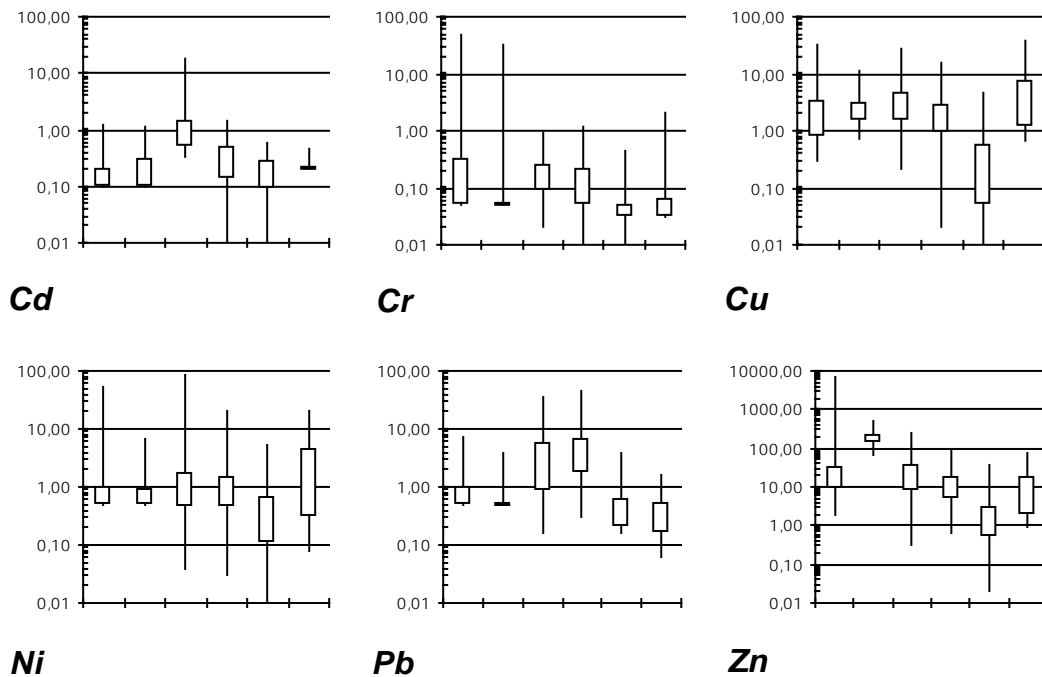
Tafla 4.1. Vegið meðaltal pH gilda í úrkomu yfir árið 1996 (2).

Staður	jan.	feb.	mar.	apr.	maí	jún.	júl.	ágú.	sep.	okt.	nóv.	des.
Þýskaland (Schmücke)	-	4,37	4,44	4,62	4,72	4,45	4,64	4,77	4,65	4,62	4,50	4,36
Frakkland (Donon)	5,04	4,76	4,87	4,39	4,87	4,65	4,35	4,43	4,28	4,70	4,82	4,92
Bretland (Yarner Wood)	4,71	4,85	4,33	4,86	4,80	4,46	4,56	4,73	4,92	4,96	5,11	5,01
Pólland (Jarczew)	4,67	4,20	4,19	4,48	4,74	4,52	4,59	4,77	4,95	4,53	4,59	4,57
Ísland (Írafoss, dagleg sýni)	5,47	5,38	5,11	5,59	5,57	5,69	5,82	5,61	5,21	5,71	6,35	6,27

Réttast væri þó að tala um **tíðni** súrrar úrkomu, því oft bendir sýrustigið til ómengaðrar úrkomu vikum saman en mælist svo skyndilega markvert lægra í skamman tíma vegna þess að loftstraumar hafa borið hingað mengun, venjulega frá Bretlandi og/eða meginlandi Evrópu. Þetta kemur ekki fram í mælingum á sýrustigi úrkomu sem safnað er í hálfan mánuð eða lengur en það eru fyrst og fremst efnagreiningar á slíkum sýnum, m.t.t. þungmálma og þrávirkra lífrænna efna, sem eru viðfangsefni þessarar skýrslu.

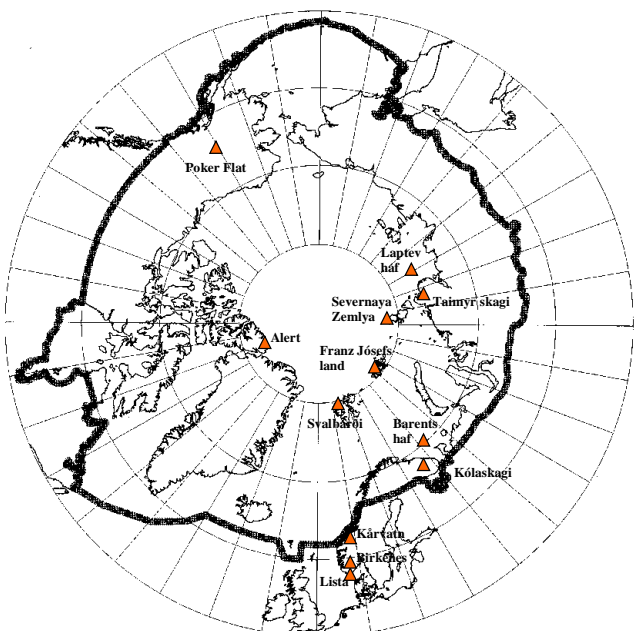
Styrkur aðalefna og þungmálma í úrkomu á Írafossi (ÍRF) og í Reykjavík (RVK) er gefinn upp í töflu 4.2. Á mynd 4.3 er styrkur þungmálma borinn saman við styrk sömu málma í úrkomu í norðanverðri Evrópu og í Ameríku. Samanburðarstaðirnir hafa sérstaklega verið valdir með tilliti til staðhátta (mynd 4.4). Montreal Island í Superiorvatni (Efravatni) í Kanada (MONI) er dæmigerður þéttbýliskjarni, sýni frá tveimur stöðvum í Noregi (Birkenes (BIR) og Kårvatn (KAR)) eru einkennandi fyrir úrkomu á norðurslóðum, alllangt frá miklum iðnaði og þéttbýli og sýni af snjó frá Norður-Skandinavíu og á Kólaskaga er einkennandi fyrir úrkomu á norðurslóðum nálægt iðjuverum (SKV) (3,4,5). Myndin sýnir ótvírætt að magn þungmálma í úrkomu hér á landi er svipað því sem mælist á þessum viðmiðunarstöðum. Styrkur *kadmíns* á Írafossi er þó í herra lagi samanborið við hinar stöðvarnar. Hins vegar er styrkur *kadmíns* í úrkomu í Reykjavík álíka mikill og minnst er á norðlægum slóðum. Ekki er ljóst hvað veldur þessum mikla mun í styrk *kadmíns*. Sennilegt er að hann tengist eldvirkni á Íslandi, þ.e. að styrkur *kadmíns* sé hærri í úrkomu því nær sem dregur gosbeltunum (sbr. mynd 2.10). Hins

vegar þyrfti að mæla styrk kadmíns í úrkomu frá mun fleiri stöðum á Íslandi en gert hefur verið, til þess að geta svarað þessari spurningu á öyggjandi hátt.



Mynd 4.3. Styrkur kadmíns (Cd), króms (Cr), kopars (Cu), nikkels (Ni), blýs (Pb) og sinks (Zn) í úrkomu í Reykjavík (RVK), á Írafossi (ÍRF), Montreal Island í Superiorvatni (Efravatni) í Kanada (MONI), Birkenes (BIR) og Kårvatn (KAR) í Noregi og að meðaltali á Kólaskaga og norðanverðri Skandinavíu (SKV) (3,4,5) á undanförmum árum. Kassarnir sýna 25% og 75% mörk og línurnar sýna styrkbil. Þar sem neðri línu vantar eru lágstu gildi undir greiningarmörkum. Þar sem neðri hluta kassa vantar er a.m.k. 75% mælinga undir greiningarmörkum.

Króm, nikkell og blý eru almennt í svipuðu magni og gerist á afskekktum stöðum í Noregi og lægri en í nágrenni iðjuvera eins og á Kólaskaga og þéttbýliskjarna á norðlægum slóðum eins og Montreal Island. Styrkur blýs er að jafnaði hærri í nágrenni þéttbýlis en í dreifbýli, sem hefur verið tengt blýmengun frá útblæstri bíla (sbr. mynd 2.11) (6). Það vekur undrun að styrkur blýs í úrkomu er mun minni í Reykjavík en á Írafossi. Þetta tengist hugsanlega mismunandi sýnasöfnunum á stöðunum tveimur en vera kann að hér sé ekki um raunverulegan mun að ræða því gildin sem mælast eru mjög nærri greiningarmörkum. Styrkur sinks er margfalt hærri í úrkomu í Reykjavík en á öðrum stöðum. Vitað er að bifreiðar, málning og málmklæðning (einkum galvaníseruð) valda töluverðri sinkmengun og að umferð veldur til dæmis 3-4 sinnum meiri sinkmengun en koparmengun, ekki eingöngu vegna ytra borðs bíla heldur einnig vegna sinkoxíds sem er í hjólbörðum, sinkmessings í bremsuklossum og sinks sem snefilefnis í bundnu slitlagi á vegum (7). Hár sinkstyrkur í úrkomu í Reykjavík gæti hugsanlega tengst mikilli eyðingu og örri endurnýjun á bundnu slitlagi gatna, því notkun nagladekkja er almenn allan veturinn þótt mjög oft sé þíða og götur auðar. Einnig er hugsanlegt er að hár styrkur sinks í Reykjavík tengist sinkhúð á bárujárn, sem er meira notað til þak- og veggklæðninga en víða erlendis. Styrkur



Mynd 4.4 Helstu staðir og svæði sem minnst er á í umræðu um íslensk loft- og úrkomugögn. Dökk lína afmarkar vöktunarsvæði AMAP verkefnisins (10).

sinks í úrkomu á Írafossi er að jafnaði aðeins um einn tíundi af styrknum í Reykjavík. Þó er hann í hærra lagi miðað við samanburðarstaðina og í nokkrum sýnum hefur styrkurinn mælst tíu þúsund sinnum meiri en venjulega er á staðnum. Óljóst er hver skýringin er á þessu en ekki er hægt að útiloka að um skekkju sé að ræða tengda sýnasöfnun og/eða efnagreiningum. Þess má geta að búnaður beggja stöðva verður endurnýjaður á fyrri hluta árs 1999.

Tafla 4.2 Meðalstyrkur efna í úrkomu á Írafossi og í Reykjavík 1992-1996 (1).

Efni	Styrkbil	Miðgildi	25% mörk	75% mörk	Styrkbil	Miðgildi	25 % mörk	75% mörk
	<i>Írafoss</i>				<i>Reykjavík</i>			
úrkoma mm	20 - 393	154	106	195	14 - 259	66	41	80
pH	4,69 - 6,86	5,51	5,33	5,65	5,29 - 6,97	6,00	5,81	6,20
leiðni $\mu\text{S}/\text{cm}$	6,3 - 120	23	12	36	14 - 307	45	31	64
Al mg/l	0,003 - 0,033	0,007	0,005	0,016	0,004 - 0,046	0,013	0,007	0,015
Fe mg/l	0,001 - 0,117	0,006	0,003	0,011	<0,001 - 0,038	0,003	0,001	0,007
Na mg/l	0,45 - 16,90	1,90	0,95	3,96	0,54 - 42,3	5,25	2,16	7,44
K mg/l	0,01 - 0,65	0,09	0,05	0,15	0,03 - 2,33	0,21	0,13	0,33
Mg mg/l	0,06 - 2,00	0,22	0,13	0,47	0,17 - 5,08	0,65	0,35	0,99
Ca mg/l	0,02 - 3,17	0,14	0,09	0,24	0,60 - 2,73	1,08	0,85	1,33
F mg/l	<0,01 - 0,02	<0,01	<0,01	0,005	0,03 - 0,08	0,05	0,04	0,06
Br mg/l	0,00 - 0,09	0,02	0,01	0,03	0,01 - 0,22	0,05	0,03	0,07
Cl mg/l	0,79 - 29,60	3,57	1,96	7,01	0,87 - 75,9	9,03	3,57	13,6
NO ₃ mg/l	<0,02 - 0,68	0,10	0,03	0,19	0,07 - 1,52	0,39	0,27	0,56
SO ₄ mg/l	0,28 - 11,3	0,87	0,55	1,52	1,77 - 12,70	3,02	2,43	4,32
Cd $\mu\text{g}/\text{l}$	<0,05 - 48	0,09	0,04	0,31	<0,05 - 0,31	<0,05	<0,05	0,05
Pb $\mu\text{g}/\text{l}$	<0,5 - 7,3	<0,5	<0,5	1,0	<0,5 - 3,8	<0,5	<0,5	0,25
Zn $\mu\text{g}/\text{l}$	2,0 - 7030	16,5	9,0	32,5	71 - 500	178	130	225
Cr $\mu\text{g}/\text{l}$	<0,1 - 1,2	<0,1	<0,1	0,3	<0,1 - 1,1	0,2	<0,1	0,35
Cu $\mu\text{g}/\text{l}$	0,3 - 33	1,65	0,88	3,4	0,7 - 11	1,9	1,5	3,05
Ni $\mu\text{g}/\text{l}$	<0,5 - 53	<0,5	<0,5	1,0	<0,5 - 6,5	0,7	<0,5	0,95

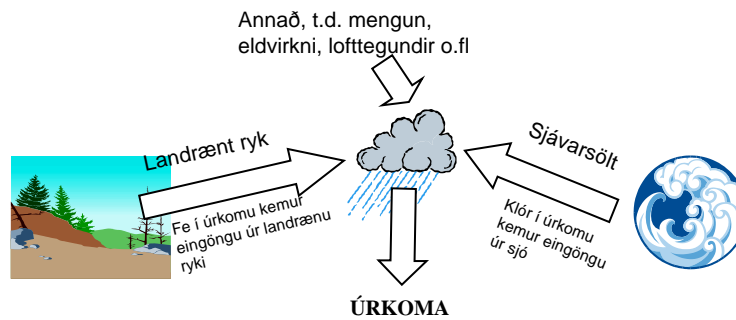
4.2 Uppruni efna í úrkomu

Uppruna snefilefna í úrkomu má, líkt og áður hefur komið fram, rekja til bergryks, salta úr sjó, lofttegunda í andrúmsloftinu, t.d. vegna jarðhita og eldvirkni, og mengunar af manna völdum. Unnt er að fá hugmynd um hversu stór hluti þeirra í úrkomunni er tilkominn vegna svifryks og sjávarsalta með því að líta á hvernig hlutföll efna í úrkomu eru samanborið við hlutföll efna í bergi annars vegar og sjó hins vegar (skýringartexti 4.1). Þegar meira magn mælist í úrkomu af tilteknu efni en rekja má til svifryks af landrænum toga og sjávarsalta bendir það til annarra uppsprettna. Hins vegar getur reynst mjög flókið að greina hvaða uppsprettur er um að ræða, t.d. hvort um er að ræða mengun af manna völdum eða ekki. Rétt er að áréttu að slíkur samanburður byggir á ákveðnum gefnum forsendum og gefur hann því vísbendingu um upprunann, en varasamt er að draga of víðtækar ályktanir.

Forsendur fyrir reikningunum eru eftirfarandi:

1. Gera má ráð fyrir því að allt klór í úrkomu á Íslandi megi rekja til sjávarsalta. Önnur sjávarsölt ættu því að vera í sama hlutfalli við klór í úrkomu og við klór í sjó. Hér hefur verið stuðst við nýjustu staðla, sérstaklega um styrk ýmissa málma og næringarefna og er rétt að hafa það í huga þegar niðurstöður eru túlkaðar (tafla 4.3).
2. Margt bendir til að járn í úrkomu megi að mestu rekja til svifryks af landrænum toga. Efni ættu úr bergi og seti ættu því að vera í sömu hlutföllum við járn í úrkomu og við járn í bergi. Styrkur snefilefna, eins og þungmálma, hefur lítið verið skoðaður í íslensku bergi. Af þeim sökum hefur verið stuðst við styrk efna í basalti á rekhyggjum, sem á fræðimáli kallast MORB (*mid oceanic ridge basalt*) (8) við útreikninga á hlutföllum efna í bergi (tafla 4.3).

Skýringartexti 4.1. Uppruni efna í úrkomu



Úrcoma er að langstærstum hluta vatn, en í vatninu er fjöldi uppleystra efna. Efnin í úrkomunni (að undanskyldu vatni) eru:

- sjávarættuð efni sem berast fyrst og fremst með særoki
- efni úr svifryki vegna rofs á landi
- lofttegundir í andrúmsloftinu, tilkomnar t.d. vegna mengunar af manna völdum, jarðhita og eldvirkni (bæði lofttegundir og ryk)

$$M_{úrcoma}^{heild} = M_{úrcoma}^{sjór} + M_{úrcoma}^{svifryk} + M_{úrcoma}^{annað}$$

Meta má þátt þeirra efna í úrkomunni sem upprunnin eru úr sjó (sjávarsölt) og berggrænu landryki. Gera má ráð fyrir að allt klór í úrkomu komi úr sjónum. Því má reikna út hlutfall sjávarættaðra efna í úrkomu með líkingunni

$$\frac{Cl_{úrcoma}}{Cl_{sjór}} = \gamma$$

$Cl_{úrcoma}$ er mældur styrkur klórs í tilteknu úrkomusýni og $Cl_{sjór}$ meðalstyrkur klórs í sjó. Á sama hátt má gera ráð fyrir að allt járn í úrkomu megi rekja til landræns svifryks. Þannig má reikna út hlutfall efna í úrkomu vegna landræns svifryks með líkingunni

$$\frac{Fe_{úrcoma}}{Fe_{svifryk}} = \beta$$

$Fe_{úrcoma}$ er mældur styrkur járn í úrkomunni og $Fe_{svifryk}$ meðalstyrkur járn í svifryki sem gera má ráð fyrir að sé sá sami á Íslandi eins og í basísku bergi. Þar sem meðalstyrkur flestra efna í sjónum er vel þekktur og styrkur efna í basísku bergi allvel þekktur (tafla 4.3) má finna út styrk annarra efna sem berast í úrkomuna vegna sjávarýringar og með landrænu ryki

$$M_{úrcoma}^{sjór} = M_{sjór} \times \gamma$$

$$M_{úrcoma}^{svifryk} = M_{svifryk} \times \beta$$

Með því að leysa jöfnurnar saman má meta hversu mikinn hluta tiltekins efnis, M, má rekja til annarra þátta en sjávarsalta og landræns svifryks, t.d. mengunar eða eldgosa það er að segja

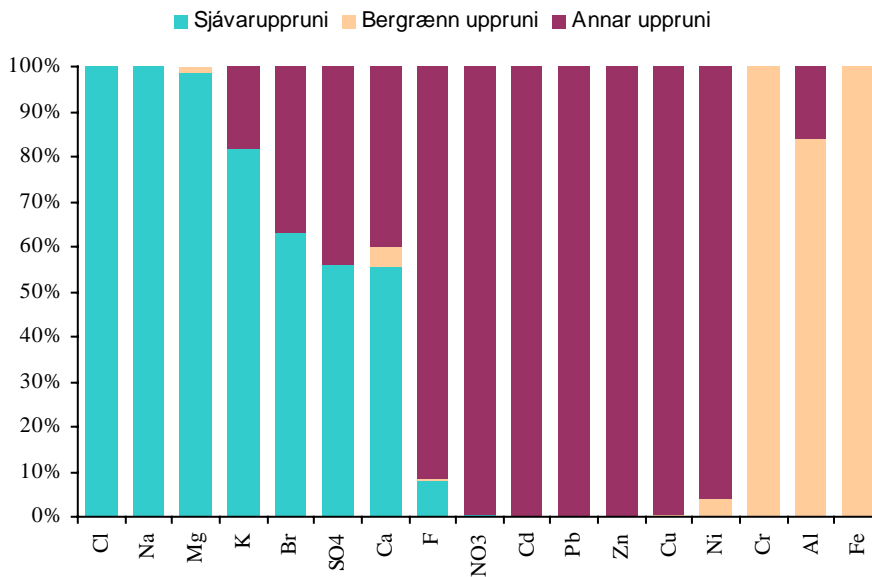
$$M_{úrcoma}^{annað} = M_{úrcoma}^{heild} - M_{sjór} \times \gamma - M_{svifryk} \times \beta$$

Uppruni efna í úrkomu á Írafossi og í Reykjavík var reiknaður eins og lýst er hér að framan með þeim efnagreiningum mánaðarsýna sem liggja fyrir. Niðurstöðurnar eru sýndar á myndum 4.5 og 4.6. Þar kemur fram að á báðum stöðunum má rekja mest allt natrín, magnesín, kalín og auðvitað klór til sjávarsalta en einnig um tvo þriðju hluta bróms, helming súlfats og dálítið af flúor. Uppruni kalsíns virðist hins vegar ekki vera sá sami í Reykjavík og á Írafossi og kemur nokkuð á óvart að ekki megi rekja kalsín, ásamt brómi, að öllu leyti til sjávarsalta. Á Írafossi er dálítið magnesín, kalsín og nikkell af landrænum uppruna ásamt örlitlum kopar en einnig mest allt ál, allt króm og auðvitað allt járn. Í Reykjavík er bæði minna magn og færri efni hægt að rekja til þessa landræna þátta, sem gæti stafað af meiri fjarlægð frá helstu rofsvæðum landsins.

Tafla 4.3. Samanburður á styrk efna í úrkomu á Írafossi og í Reykjavík (miðgildi) annars vegar og í bergi og sjó (meðalgildi) hins vegar.

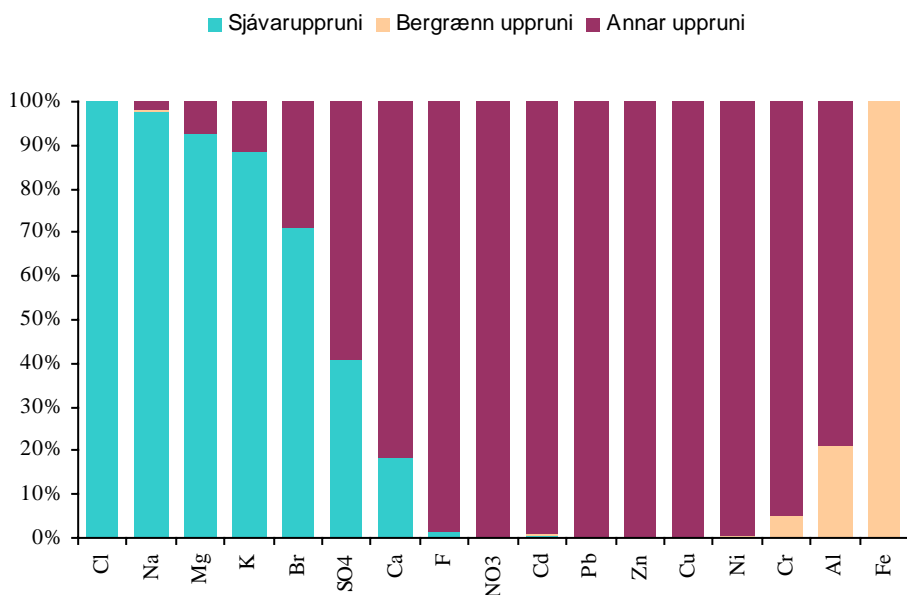
	Úrcoma á Írafossi ^{a)}	Úrcoma í Reykjavík ^{a)}	Berg (8) ^{b)}	Sjór (9) ^{a)}
Al	0,007	0,013	8,10 x10 ⁴	1,6 x10 ⁻³
Fe	0,006	0,003	7,97 x10 ⁴	5,6 x10 ⁻⁵
Na	1,9	5,25	1,93 x10 ⁴	1,08 x10 ⁴
K	0,09	0,21	850	389
Mg	0,22	0,65	4,83 x10 ⁴	1259
Ca	0,14	1,08	8,21 x10 ⁴	413
F	0,003	0,047	135	1,3
Br	0,02	0,045	0,09	67
Cl	3,57	9,03	30	1,89 x10 ⁴
NO ₃	0,1	0,39	0,34 ^{d)}	0,42 ^{d)}
SO ₄	0,87	3,02	1000 ^{d)}	861 ^{d)}
Cd ^{c)}	0,09	<0,05	155	0,07
Pb ^{c)}	<0,5	<0,5	420	5 x10 ⁻⁴
Zn ^{c)}	16,5	178	7,5 x10 ⁴	0,4
Cr ^{c)}	<0,1	0,2	3,0 x10 ⁵	0,2
Cu ^{c)}	1,65	1,9	9,0 x10 ⁴	0,2
Ni ^{c)}	<0,5	0,7	1,3 x10 ⁵	0,5

- a) Einingar í mg/l nema annað sé tekið fram
 b) Einingar í mg/kg nema annað sé tekið fram
 c) Einingar fyrir úrkomu og sjó eru µg/l og µg/kg fyrir berg
 d) Heildar köfnunarefnis- og brennisteinsstyrkur (mg/kg)



Mynd 4.5. Uppruni efna í úrkomu á Írafossi (miðgildi 1992-1996).

Á báðum stöðunum sést að flesta þungmálma, allt nítrat og nær allt flúor er hvorki hægt að rekja til sjávarsalta né landræns náttúrulegs svifryks nema króm á Írafossi en í því tilfalli er upprunaleit vafasöm því rúmur helmingur mæligilda er undir greiningarmörkum og hin gildin aðeins rétt yfir þeim. Samkvæmt sýnum úr Reykjavík er króm að einhverju leyti komið úr landrænu svifryki en að mestu leyti er það af svipuðum uppruna og aðrir þungmálmur. Því má telja líklegt að allur styrkur Cd, Pb, Zn, Cu og NO₃, nær allur styrkur F, Ni og Cr og hálfur styrkur SO₄ í úrkomu á Íslandi stafi af mengun af manna völdum, jarðhitaáhrifum eða eldvirkni. Út frá þessum gögnum er þó ekki hægt að meta hvort mengunin er staðbundin eða langt að komin.



Mynd 4.6. Uppruni efna í úrkomu í Reykjavík (miðgildi 1992-1996).

4.3 Þungmálmur í andrúmslofti

Styrkur þungmálma í andrúmslofti hefur verið mældur frá árinu 1995 á Stórhöfða í Vestmannaeyjum (1). Niðurstöður þeirra mælinga eru sýndar í töflu 4.4. Borið saman við styrk þungmálma í andrúmslofti annars staðar í Evrópu er styrkur þeirra á Stórhöfða sambærilegur eða lítill (tafla 4.5). Styrkur *kadmíns*, *blýs* og *kopars* er með því minnsta sem gerist í Evrópu og sambærilegur við það sem mælist í norðanverðri Skandinavíu. Hins vegar er styrkur *nikkels* og *sinks* nokkru meiri í andrúmslofti á Íslandi en í Skandinavíu.

Tafla 4.4. Þungmálmur, ál og klór í andrúmslofti á Stórhöfða 1995-1996 (1).

	Cd ng/m ³	Cu ng/m ³	Pb ng/m ³	Zn ng/m ³	Cr ng/m ³	Ni ng/m ³	As ng/m ³	Al μg/m ³	Cl μg/m ³
miðgildi	0,025	1,03	0,79	6,14	2,25	4,29	0,16	0,17	8,48
meðaltal	0,038	1,38	0,94	7,21	4,32	8,34	0,21	0,51	9,72
25 % mörk	0,014	0,63	0,54	4,37	0,56	1,58	0,09	0,07	5,95
75 % mörk	0,036	1,69	1,30	8,65	6,84	11,09	0,22	0,68	12,36
lægsta gildi	0,006	0,14	0,16	1,52	0,05	0,22	0,01	0,01	4,02
hæsta gildi	0,213	10,54	3,51	34,15	15,92	40,61	1,76	5,15	22,56

Tafla 4.5. Samanburður á styrk þungmálma í andrúmslofti (ng/m³).

Staður (sbr. mynd 4.4)	Cd	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	As
Poker Flat í Alaska ^{a)}		0,4	1,2	0,9		0,2	0,15
Alert í Kanada ^{a)}		1,5	1,9	5,1		0,2	
Norður Grænland ^{a)}		0,5	0,9	1,8		0,2	0,2
Svalbarði ^{a)}		0,8	<3	1,4		0,1	0,15
Severnaja Zemlja í Rússlandi ^{b)}	0,09	2,6	1,1	5,6	0,5	5,7	0,26
Norðvestur Evrópa ^{c)}	0,3	~10	11	22	~5	~5	0,45
Stórhöfði á Íslandi ^{d)}	0,028	1,03	0,88	5,85	1,75	3,61	0,16

a) Styrkur (miðgildi) að vetri til 1990 (10).

b) Ársmeðaltal

c) Meðalstyrkur á Bretlandseyjum, Belgíu, Hollandi, Danmörku, Suður-Svíþjóð og Suður Noregi 1987-1992 (11).

d) Miðgildi 1995-1996.

Gögnin benda til að um tvær eða fleiri uppsprettur þungmálma í andrúmslofti sé að ræða. Ljóst virðist að meginuppsprettarnar eru annars vegar landrænt ryk og hins vegar mengun frá iðnaði og annarri starfsemi manna. Í báðum tilvikum getur mengunin ýmist verið langt að komin eða af heimaslóðum.

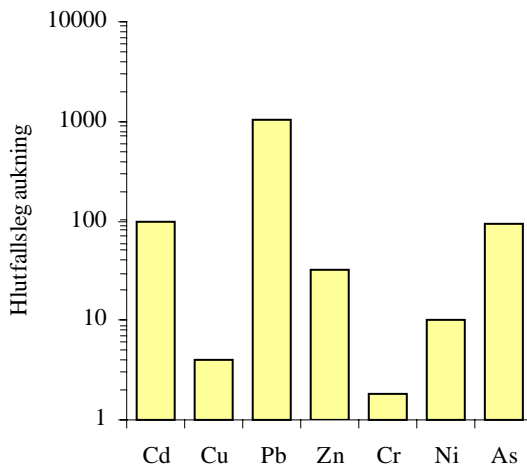
Vísbendingu um langt að komna loftmengun má sjá þegar umtalsvert mistur berst hingað frá Bretlandi og öðrum löndum Vestur-Evrópu, en í slíkum tilvikum mælist stundum súr úrkoma á Írafossi og mun meira magn brennisteins en venjulega í daglegum loftskýnum.

Auk ofanritaðs má ætla að stundum geti verið um staðbundin áhrif frá jarðhita að ræða og stöku sinnum tímabundin áhrif eldgosa.

Á sama hátt og um úrkomu má leggja mat á hvaðan þessi efni eru upprunnin með því að bera saman hlutföll efna í andrúmslofti við samskonar hlutföll í bergi og sjó (skýringartexti 4.1). Við útreikningana eru notaðar eftirfarandi forsendur:

1. Út frá hlutföllum þungmálma og klórs í andrúmslofti annars vegar og í sjó hins vegar (sjá töflu 4.3) er ljóst að mjög lítinn hluta þungmálma í andrúmsloftinu má rekja til sjávarsalta.
2. Varðandi berg, þá er ál er hentugasta viðmiðunarefnið til útreikninga á hlutfallslegri aukningu efna í andrúmslofti, þar sem uppruni þess er að mestu leyti rakinn til landræns svifryks. Á sama hátt og fyrir úrkomusýnin var styrkur efna í úthafshryggjabasalti (MORB) notaður til að segja til um hlutföll efna í bergi (sjá töflu 4.3).

Í mynd 4.7 eru dregnar fram helstu niðurstöður. Þrátt fyrir nokkra óvissu í útreikningum vegna breytilegs styrks þessara málma eftir berggerð, eru hlutföll *króms* og *áls* annars vegar og *kopars* og *áls* hins vegar svipuð í andrúmslofti á Stórhöfða og í bergi. Þetta bendir til þess, að sé ál í andrúmsloftinu að mestu leyti af landrænum uppruna þá eru króm og líklega kopar það einnig. Hins vegar er hlutfallsleg aukning í andrúmslofti á *kadmíni*, *blýi*, *sinki*, *arseníki* og *nikkeli* miðað við ál veruleg í samanburði við hlutföll sömu efna í bergi (mynd 4.7). Þetta bendir til þess að uppruna þessara efna megi rekja til annarra uppsprettna en landræns svifryks.



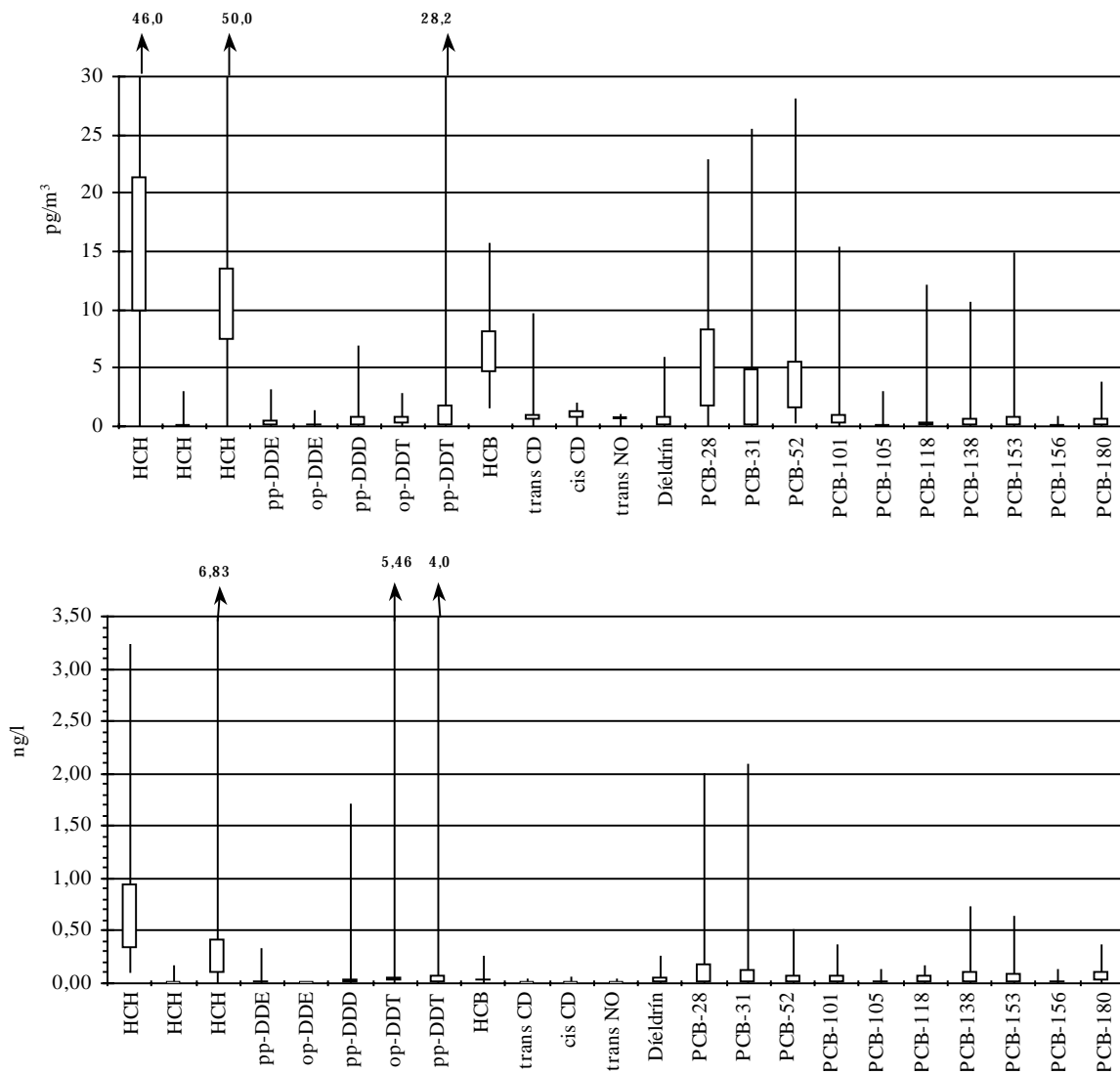
Mynd 4.7. Styrkur þungmálma í andrúmslofti á Stórhöfða 1995-1996 sem hlutfall af styrk þeirra í bergi. Ál er notað sem viðmiðunarefni.

4.4 Þrávirk lífræn efni í lofti og úrkomu.

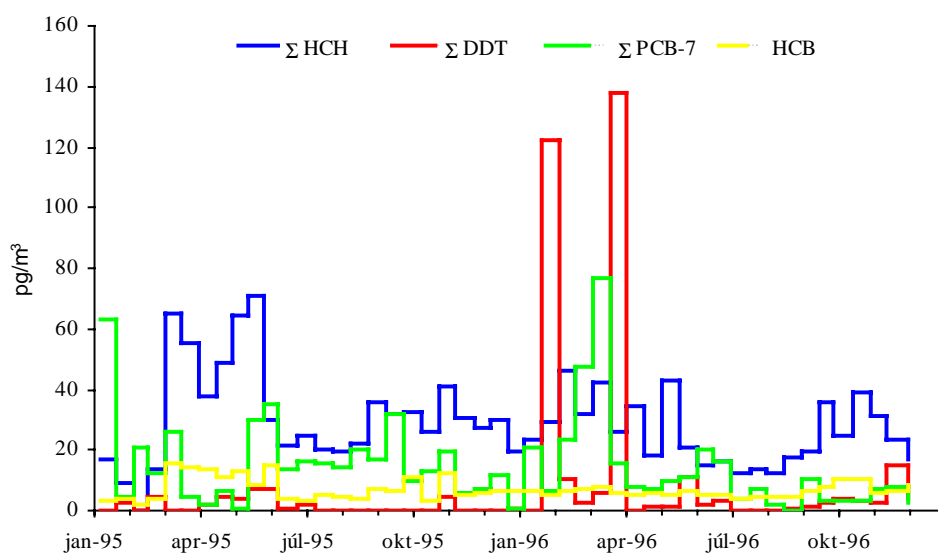
Styrkur þrávirkra lífrænna efna í andrúmslofti og úrkomu á Stórhöfða í Vestmannaeyjum hefur verið mældur frá árinu 1995. Niðurstöður til og með 1996 eru sýndar á mynd 4.8.

Heildarstyrkur þrávirkra lífrænna efna í *andrúmsloftinu* liggur á bilinu 22-191 pg/m^3 . Af einstökum efnunum er mest af HCH en PCB, HCB og DDT ásamt afleiðum þess eru einnig í nokkrum styrk. Mun minna er af díeldrín og klórdan-efnum. Heildarstyrkur þrávirkra lífrænna efna í *úrkomu* liggur á bilinu 0,4-12,2 ng/l . Mest er af HCH og PCB. DDT og afleiður þess eru einnig í nokkrum styrk, en mun minna er af díeldrín og klórdan-efnum.

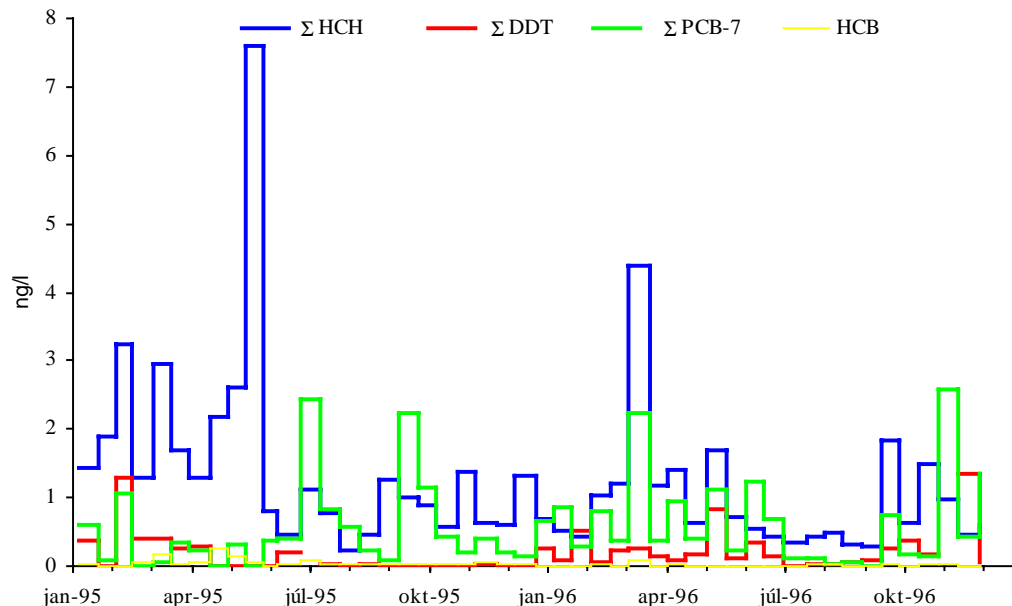
Styrkur þrávirkra lífrænna efna í andrúmslofti og úrkomu mælist nokkuð svipaður með örfáum undantekningum (myndir 4.9 og 4.10). Greinilegar árstíðasveiflur eru á styrk HCH í úrkomu. Þannig mælist styrkur þess mestur að vorlagi en mun minni á öðrum árstímum. Mælingar á þrávirkum lífrænum efnunum í Lista í Suður Noregi sýndu oft toppa í styrk HCH á vorin sem féll saman við notkunartíma efnisins í Mið og Austur Evrópu (12). Hugsanlega er þetta skýring á auknum styrk hér á vorin en ekki er hægt að útiloka notkun HCH-efna sem pláguefnis á dýr hér á landi sem uppsprettu. Árstíðasveiflur eru ekki greinanlegar í styrk annarra þrávirkra lífrænna efna í úrkomu né heldur nokkurra þrávirkra lífrænna efna í andrúmslofti.



Mynd 4.8. Á myndinni til vinstri er styrkur þrávirkra lífrænna efna í andrúmslofti og svifryki á Stórhöfða í Vestmannaeyjum 1995-1996. Myndin til hægri sýnir styrk í úrkomu á sama stað og fyrir sama tímabil. Kassarnir sýna 25% og 75% mörk og línurnar sýna styrkbil. Þar sem neðri línu vantar eru lægstu gildi undir greiningarmörkum. Þar sem neðri hluta kassa vantar er a.m.k. 75% mælinga undir greiningarmörkum.



Mynd 4.9. Styrkur algengustu þrávirkra lífrænna efna í andrúmslofti á Stórhöfða 1995-1996. Gefið upp sem samtala HCH (Σ HCH), samtala DDT og afleiða þess (Σ DDT) og samtala sjö PCB efna (Σ PCB-7) ásamt HCB.



Mynd 4.10. Styrkur algengustu þrávirkra lífrænna efna í úrkomu á Stórhöfða 1995-1996. Gefið upp sem samtala HCH (Σ HCH), samtala DDT og afleiða þess (Σ DDT) og samtala sjö PCB efna (Σ PCB-7) ásamt HCB.

Við samanburð á styrk þrávirkra lífrænna efna í andrúmsloftinu á Stórhöfða og á Svalbarða og Lista í Suður-Noregi (tafla 4.6) sést að klórðan mælist í svipuðum styrk á Svalbarða og Stórhöfða, en DDT og PCB eru í ívið meiri styrk á Svalbarða. Á hinn bóginn er styrkur PCB og klórðan efna allt að hundraðfalt meiri í Lista en á hinum tveimur stöðunum.

Tafla 4.6. Samanburður á styrk þrávirkra lífrænna efna í andrúmslofti (pg/m^3). Á Stórhöfða er um miðgildi að ræða en annars meðaltal.

Efni	Svalbarði (13)			Lista (13)			Stórhöfði (1)	
	1993	1994	1995	1993	1994	1995	1995	1996
α -HCH	77,4	61,5	63	73,7	64,7	51,9	18,0	12,6
γ -HCH	14,4	16,06	13,1	58,5	123	65	11,1	8,1
o,p'-DDE		1,42	0,22					
p,p'-DDE		1,93	0,87				<0,3	0,5
p,p'-DDD		0,09	0,04				<0,3	<0,3
o,p'-DDT		1,04	0,5					0,4
p,p'-DDT		0,87	0,31				<0,5	1,6
HCB	91,9	115	99,1	121	94,7	95,2	6,2	6,1
trans klórðan *	0,53	0,7	0,42	1,76	1,43		0,9	0,5
cis klórðan *	1,09	1,2	0,96	1,42	1,56		1,3	0,8
trans nonaklór *	0,85	0,91	0,67	1,29	1,38			0,6
Díeldrín							<0,4	0,8
PCB-28	4,3	51,4	33,4				6,9	4,0
PCB-31	2,97	45,9	26,5				2,6	1,3
PCB-52	2,47	10,8	6,16				3,7	1,5
PCB-101	1,28	2,06	0,97	36	37,5		0,6	0,5
PCB-105	0,2	0,25	0,11	1,38	1,28		<0,4	<0,4
PCB-118	0,53	0,72	0,33	8,58	7,75		<0,1	0,2
PCB-138	0,54	0,64	0,29	43,1	39,9		0,2	0,3
PCB-153	0,61	0,62	0,32	32,8	28,9		0,3	0,5
PCB-156	0,05	0,1	0,02	1,16	0,96		<0,2	<0,2
PCB-180	0,16	0,11	0,07	6,7	4,71		<0,1	0,3

* trans=gamma og cis=alpha

HCH og HCB mælist í svipuðum styrk í andrúmslofti á Svalbarða og í Lista. Mun minna er hins vegar af þessum efnunum í andrúmslofti við Ísland. Sérstaklega er athyglisvert að styrkur HCH-efna í andrúmslofti er margfalt minni hér en í Suður-Noregi og á Svalbarða. Þessi efni eru reyndar álitin berast til Svalbarða frá Evrópu og vestanverðu Rússlandi eftir norðlægum loftstraumum með austlægum sveig, fjarri Íslandi (10). Hins vegar er talið að loftstraumar frá austurströnd Bandaríkjanna og Kanada sem sveigja yfir Ísland á leið sinni til Svalbarða innihaldi ekki mikið af HCH-efnum og eru íslensku mælingarnar í samræmi við þetta. Til að taka af allan vafa er þó í athugun hvort hluti HCH-efnanna og jafnvel hluti HCB geti tapast í söfnunarferlinu.

Styrkur þrávirkra lífrænna efna í úrkomu er lítil á Íslandi ef hann er borinn saman við styrk þeirra í úrkomu annars staðar í NV-Evrópu og Rússlandi (tafla 4.7).

Tafla 4.7. Samanburður á styrk þrávirkra lífrænna efna (ng/l) í úrkomu á Stórhöfða (miðgildi 1995-1996), og meðaltalsgildi í NV-Evrópu og í Rússlandi (10).

Staður (sbr. mynd 4.4)	Σ HCH	Σ DDT	Σ PCB-7
Tajmyr (snjó)	5,61	2,06	5,3
Tajmyr (úrkoma)	0,88	3,2	11,9
Barentshaf	0,67	0,34	4,3
Laptevhaf	<0,1	1,1	1,1
NV-Evrópa	9-18		
Stórhöfði	0,93	0,10	0,38

Styrkur þrávirkra lífrænna efna í úrkomu á sjö stöðum í Kanada var mældur á árunum 1991-1994 (10) og reyndist vetrarákoma efnanna í Kanada vera sambærileg við það sem gerist á Íslandi (tafla 4.8).

Tafla 4.8. Vetrarákoma þrávirkra lífrænna efna: Kanada (styrkbil sjö stöðva) og Stórhöfði (okt. '95-mars '96).

Efni	Kanada (10) μg/m ²	Stórhöfði μg/m ²
HCH	0,12-0,88	0,5
DDT	0,01-0,06	0,1
PCB	0,19-0,51	0,32

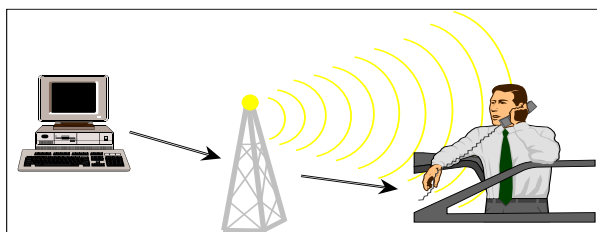
4.5 Geislavirkni í úrkomu, svifryki og andrúmslofti

Úrkomu til mælinga á geislavirkum efnunum hefur verið safnað fyrir Geislavarnir ríkisins á Rjúpnahæð, og í Reykjavík og við Írafoss frá árinu 1992. Mjög lítið mælist í þessum sýnum og í flestum tilfellum neðan greiningarmarka þegar skoðaður er einn mánuður í senn. Upphaflega var safnað sýnum í einn mánuð í senn en þær mælingar voru flestar neðan greiningarmarka. Sýnin eru nú unnin á þann hátt, að eftir ákveðinn biðtíma, eru öll sýni sem spanna hálfis árs tímabil sameinuð og mæld. Þessar niðurstöður eru einnig allar neðan greiningarmarka, sem var hæst 1 mBq/l í úrkomu (óbirt gögn Geislavarna). Ákveðinn viðbúnaður er þó viðhafður ef geislavirkni eykst skyndilega (skýringartexti 4.2).

Skýringartexti 4.2. Viðbúnaður vegna skyndilegrar aukningar geislavirkni

Á Rjúpnahæð er staðsett mælitæki sem mælir stöðugt gammageislun í andrúmslofti. Þessar niðurstöður eru sendar jafnóðum á tölvu Geislavarna og á lokaða heimasíðu. Þar eru niðurstöður aðgengilegar systurstofnunum á Norðurlöndum og einnig öðrum ef við á. Á sama hátt hafa Geislavarnir ríkisins aðgang að niðurstöðum frá systurstofnunum á Norðurlöndum.

Komi það fyrir að styrkur aukist umfram það sem eðlilegt getur talist, þá sendir tölvan skilaboð í símboða Geislavarna. Þannig á að vera tryggt að sérfræðingar stofnunarinnar fái skjótt upplýsingar um aukna geislun og geti brugðist við með viðeigandi hætti.



Geislavarnir ríkisins hafa mælt styrk geislavirka efna í svifryki reglulega á Rjúpnahæð frá sumrinu 1991. Á Rjúpnahæð er starfræktur öflugur loftsafnari með síu. Við eðlilegar aðstæður er skipt um síu mánaðarlega og hún mæld. Styrkur Cs-137 mælist að jafnaði lítill eða innan við $0,1 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$. Til samanburðar eru algeng gildi á Norðurlöndum undanfarið ár $0,1 - 10 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$ ef frá er talinn tíminn rétt eftir Tsjernobylslysið, 1986 (10). Einnig er Veðurstofa Íslands þátttakandi í alþjóðlegu vöktunarneti kjarnorkuslysa og æfir viðbrögð við geislavá reglulega.

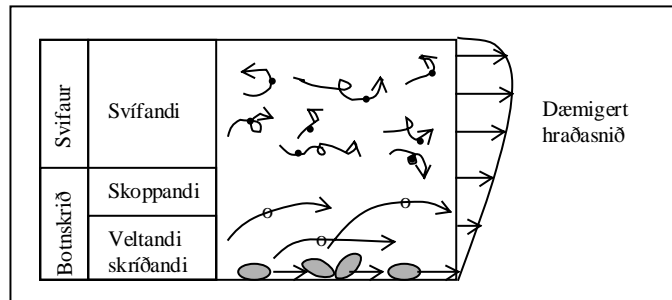
Heimildir

- (1) Jóhanna M. Thorlacius, 1997. Heavy metals and persistent organic pollutants in air and precipitation in Iceland. Veðurstofa Íslands, Report VÍ-G97034-TA02, 20 bls. -- Einnig óbirt gögn Veðurstofu Íslands: aðalefnagreiningar sömu mánaðarúrkomusýna.
- (2) Hjellbrekke A.G. & Hansen J.E. 1996. Data report, Part 2: Monthly and seasonal summaries. NILU, Norsk institutt for luftforskning, EMEP/CCC-REPORT, 2-98.
- (3) Poissant, L., Schmitt, J.P. & Beron, P., 1994. Trace inorganic elements in rainfall in the Montreal Island. Atmospheric Environment 28, 339-345.
- (4) Berg, T., Røyset, O. & Steinnes, E., 1994. Trace elements in atmospheric precipitation at Norwegian background stations (1989-1990) measured by ICP-MS. Atmospheric Environment 28, 3519-3538.
- (5) Reimann, C., Niskavaara, H., Caritat, P., Finne, T.E., Äyräs, M. & Chekysin, V., 1996. Regional variation of snowpack chemistry in the vicinity of Nikel and Zapoljarnij, Russia, northern Finland and Norway. The Science of the Total Environment 182, 147-158.
- (6) Rühling Å., Steinnes E., Berg T., 1996. Atmospheric heavy metal deposition in northern Europe 1995. Nord 1996, 37 bls.
- (7) Landner L. og Lindeström L., 1998. Zinc in society and in the environment. An account of the facts on fluxes, amounts and effects of zinc in Sweden. Swedish Environmental Research Group (MFG), translated from Swedish by Richard Nord.
- (8) The geochemical earth reference model (GERM). Germ "8% MgO" MORB data, <http://www-ep.es.llnl.gov/germ/reservoirs/MORB8.html>
- (9) The geochemical earth reference model (GERM). Average seawater composition, <http://www-ep.es.llnl.gov/germ/reservoirs/seawater.html>
- (10) AMAP, 1998. AMAP Assessment Report; Arctic Pollution Issues. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway. xii+859 pp.
- (11) Galperin, M., Sofiev, M., Gusev, A. & Afinogenova, O., 1995. The approaches to modelling of heavy metals transboundary and long-range airborne transport and deposition in Europe. EMEP/MSC-E Technical report 7/95, 80 bls.
- (12) Haugen, J.-E., Wania, F., Ritter, N., & Schlabach, M. 1998. Hexachlorocyclohexanes in Air in Southern Norway. Temporal Variation, Source Allocation, and Temperature Dependence. Environ. Sci. Technol. 23, 217-224
- (13) Berg, T., Hjellbrekke, A.G. & Skjelmoen, J.E., 1996. Heavy metals and POPs within the ECE region. Norwegian Institute for Air Research (NILU), EMEP/CCC-report 8/96. 187 bls.

5 Straumvötn

Sjávarmengun stafar fyrst og fremst af starfsemi á landi og berst að mestu til sjávar með straumvötnum. Straumvötnin bera efnin fram ýmist uppleyst, sem svifaur eða sem botnskríð (mynd 5.1). Orkustofnun hefur mælt rennsli og aurburð í helstu straumvötnum landsins í fjölda ára og því er það vel þekkt. Minna er á hinn bóginn vitað um efnastyrk straumvatna.

Haustið 1996 hófust mælingar á rennsli, styrk efna í uppleystu formi og svifaurs í völdum straumvötnum á Suðurlandi (mynd 5.2). Hér að neðan verður gerð



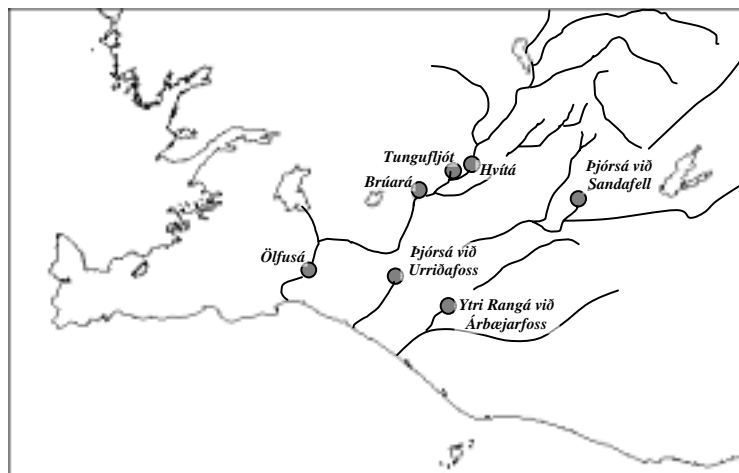
Mynd 5.1. Mismunandi leiðir aurburðar í straumvötnum (2).

grein fyrir helstu niðurstöðum (1) og hvaða þýðingu þær hafa. Niðurstöðurnar verða því næst bornar saman við erlendar mælingar.

5.1 Aðalefni

Meðalstyrkur aðalefna og næringarsalta (skýringartexti 5.1) í straumvötnum á Suðurlandi er sýndur í töflu 5.1. Sýnum var safnað frá október 1996 til septemberloka 1997. Eins og þar kemur fram er nokkur munur milli efnastyrks straumvatna og sker Ytri-Rangá sig þar úr. Hár efnastyrkur í Ytri-Rangá tengist eldvirkni og stafar af sýrumyndandi gastegundum sem streyma frá Heklu í nærliggjandi grunnvatnskerfi. Sýrurnar í vatninu auka upplausn bergs og við það eyðast síruáhrifin og efnastyrkur vex (3).

Efnastyrkur straumvatna ræðst einkum af gerð þeirra, þ.e. hvort um er að ræða lindár, dragár eða jökulár. Brúará og Ytri-Rangá eru lindár með jöfnu rennsli allt árið og efnastyrkurinn svipaður árið um kring. Þjórsá og Hvítá eru mikið til jökulvötn en hlutfall lindavats í þeim er þó nokkuð. Efnastyrkurinn er af þessum sökum all breytilegur eftir árstíma og fylgir vel árstíðasveiflum í rennsli ána. Þannig er styrkurinn minnstur á sumrin þegar rennslið er mest vegna leysinga og sumarbráðnunar jökla, en



Mynd 5.2. Sýnatökustaðir straumvatna.

mestur þegar rennslið er minnst á vetrum. Hluttur lindavats í Tungufljóti og einkanlega Ölfusá er meiri en í Þjórsá og Hvítá. Það þarf því ekki að koma á óvart að nokkrar árstíðasveiflur eru í styrk uppleystra efna í þessum ám, en þær eru minni en í Þjórsá og Hvítá. Þannig er styrkur uppleystra efna 10% meiri í Tungufljóti og Ölfusá í desember en í ágúst borið saman við 30 % mun í Þjórsá og Hvítá.

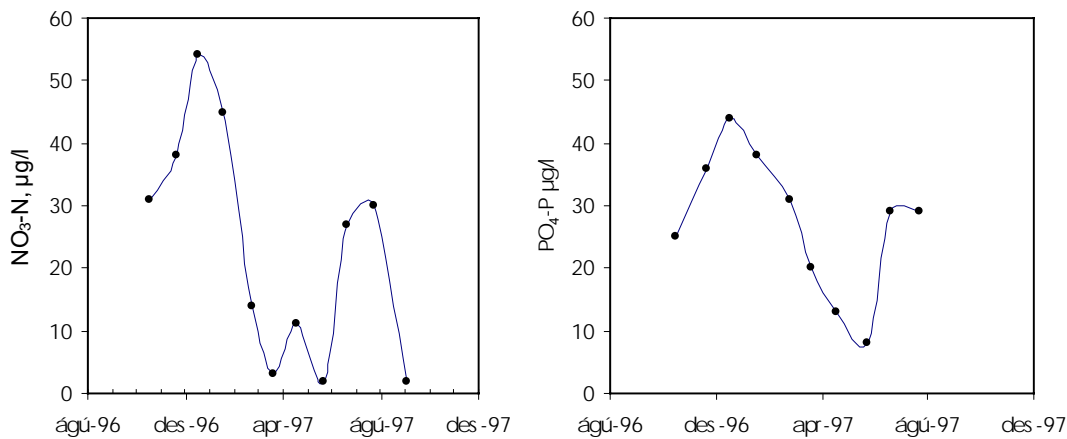
Tafla 5.1. Meðalstyrkur aðalefna og næringarsalta í straumvötnum á Suðurlandi frá október 1996 til september 1997.

Straumvatn	Hiti °C	Rennsli m ³ /sek	Uppl. efni ^{a)} mg/l	Aur- burður mg/l	pH ~22°C	SiO ₂ mg/l	Na mg/l	K mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	CO ₂ mg/l	SO ₄ mg/l	Cl mg/l	F mg/l	NO ₃ -N mg/l	PO ₄ -P mg/l
Leiðbeinandi mörk (4)					6,5-8,5		20	10	100	30		25	25		25	0,4
Leyfil.hámarksst.(4)					9,5		150	12		50		250		1,5	50	5
Brúará við Efstadal	3	36	49	22	8,90	13,2	6,61	0,28	2,73	0,51	14,9	1,8	4,01	0,06	0,032	0,02
Tungufljót við Faxa	4,6	43	54	29	7,70	15,3	6,46	0,45	2,66	0,87	16,8	1,6	4,19	0,07	<0,026	0,02
Hvítá við Brúarhlöð	3,9	131	60	68	7,56	11,8	6,69	0,46	3,75	1,26	20,8	3,2	3,97	0,09	0,018	0,02
Ölfusá við Selfoss	4	392	64	69	7,55	12,8	7,48	0,5	3,88	1,42	22,2	2,6	5,5	0,08	<0,022	0,01
Þjórsá við Sandafell	3,2	341	74	123	7,75	12	9,16	0,45	4,73	1,73	26,8	5,8	3,72	0,15	<0,021	0,03
Þjórsá við Urriðafoss	3,6	412	77	99	7,69	12,5	9,34	0,48	4,87	1,81	27,4	5,7	4,73	0,15	<0,023	0,03
Ytri Rangá v/Árbæjarfoss	4,1	51	174	18	8,07	18,8	22,8	1,35	11,1	5,42	64,2	15	11,6	0,61	0,045	0,05
Meðaltal ^{b)}	3,7	329	73	87	7,70	12,7	8,9	0,50	4,56	1,70	25,86	4,7	4,84	0,13	<0,023	0,02

a) Uppleyst efni eru; Na + K + Ca + Mg + SiO₂ + Cl + SO₄ + CO₃

b) Vegið meðaltal miðað við meðalrennsli hvers straumvatns fyrir sig

Árstíðabreytingar í vexti (tillifun og öndun) og rotnun gróðurs og þörunga endurspeglast í styrk næringarsalta í straumvötnunum. Styrkur næringarsalta er lægstur á sumrin þegar lífríkið er í vexti. Öðru máli gegnir á veturna meðan lífverur liggja mikið til í dvala (mynd 5.3).



Mynd 5.3. Árstíðasveiflur í styrk nítrots (NO₃-N) og fosfats (PO₄-P) í Þjórsá við Urriðafoss. Sambærilegar árstíðasveiflur sjást fyrir hin straumvötnin á Suðurlandi. Styrkur næringarsalta er í hámarki á veturna þegar gróður er í dvala, en í lágmarki á sumrin þegar gróður og lífverur eru í vexti.

Skýringartexti 5.1. Aðalefni/snefilefni og næringarsölt

Aðalefni teljast þau efni sem eru í mestum styrk í vatninu ($\geq 1,0$ mg/l). Til aðalefna í köldu vatni á Íslandi, þ.m.t. straumvötnum teljast, kísill (SiO₂), natrín (Na), kalsín (Ca), magnesín (Mg), kalín (K), ólífrænt kolefni (H₂CO₃, HCO₃, CO₃), súlfat (SO₄), klór (Cl).

Snefilefni eru þau efni sem eru í litlum mæli í vatninu (<1,0 mg/l). Til snefilefna í straumvötnum á Íslandi teljast ál (Al), mangan (Mn), títan (Ti), flúor (F), allir þungmálmar (t.d. Cd, Co, Cr, Fe, Ni, Pb, Hg o.fl.), næringarsölt og fleiri efni.

Næringarsölt eru snefilefni í straumvötnum á Íslandi. Hins vegar er oft talað sérstaklega um næringarsölt sem efnaflokk þar sem þessi efni geta verið takmarkandi fyrir vöxt plantna og dýra. Til næringarsalta teljast m.a. nítat (NO₃), nítít (NO₂), ammóníak (NH₄), fosfat (PO₄) og kísill (SiO₂).

5.2 Þungmálmar og önnur snefilefni

Þungmálmar eru á margvíslegu formi í vatninu. Þeir geta verið uppleystir sem jónir eða sem efnasambönd. Einnig geta þeir loðað við gruggið í vatninu, og borist þannig til sjávar eða orðið eftir í jarðvegi. Hér verður aðeins rætt um þungmálma sem uppleystir eru í vatninu.

Sýnum var safnað frá október 1996 fram í október 1998 og eru alls 21-24 mælingar úr hverju straumvatni. Styrkur þungmálma og snefilefna í straumvötnum getur verið mjög breytilegur á milli ára og árstíða og í töflu 5.2 eru sýnd mæligildi nokkurra málma fyrir fjögur straumvötn á Suðurlandi og dregur hún ljóslega fram þann mikla breytileika sem getur verið á styrk þungmálma.

Tafla 5.2. Styrkur valinna málma í Brúará, Ytri-Rangá, Þjórsá við Sandafell og Ölfusá 1996-1998 ($\mu\text{g/l}$) (5).

Efni	Brúará					Ytri-Rangá				
	Styrkibil	meðaltal	miðgildi	25% mörk	75% mörk	Styrkibil	meðaltal	miðgildi	25% mörk	75% mörk
Al	53,8 - 66,4	59,4	58,2	56,9	66,4	5,8 - 20,2	10,9	9,5	8,1	13,2
As	<0,010 - 0,106	<0,031	0,022	<0,010	<0,043	0,041 - 0,413	0,211	0,216	0,181	0,252
Cd	<0,001 - 0,195	<0,012	0,001	<0,001	<0,021	<0,001 - 0,086	<0,013	0,004	<0,002	<0,009
Co	<0,005 - 0,011	<0,008	0,007	<0,006	<0,010	0,013 - 0,055	0,028	0,023	0,020	0,036
Cr	1,38 - 1,71	1,55	1,54	1,48	1,60	0,23 - 0,36	0,28	0,28	0,25	0,31
Cu	<0,090 - 0,251	<0,144	0,132	<0,110	<0,169	0,287 - 0,565	0,393	0,380	0,346	0,424
Hg	<0,002 - 0,004	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002 - 0,005	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Mn	0,25 - 1,40	0,64	0,58	0,42	0,76	2,94 - 11,30	6,65	6,30	5,00	7,98
Mo	0,06 - 0,12	0,09	0,10	0,07	0,11	1,19 - 2,53	2,05	2,02	1,94	2,11
Ni	<0,05 - 0,81	<0,20	0,18	0,08	0,20	<0,05 - 0,60	<0,19	0,20	<0,07	0,23
Pb	0,012 - 0,074	0,025	0,021	0,016	0,030	0,011 - 0,036	0,023	0,024	0,018	0,026
Zn	<0,13 - 1,37	<0,26	0,20	<0,20	<0,21	<0,20 - 0,76	<0,26	0,22	<0,20	<0,30
Fe	<6,0 - 26,0	<13,7	12,5	<9,0	<17,3	<17,8 - 89,0	<37,5	33,9	<25,0	<42,0

Efni	Þjórsá v/Sandafell					Ölfusá				
	Styrkibil	meðaltal	miðgildi	25% mörk	75% mörk	Styrkibil	meðaltal	miðgildi	25% mörk	75% mörk
Al	9,0 - 21,6	12,9	12,3	10,9	13,8	6,4 - 21,9	13,5	13,3	11,8	15,1
As	<0,010 - 0,268	<0,075	0,068	<0,023	<0,098	<0,010 - 0,167	<0,030	0,012	<0,010	<0,037
Cd	<0,001 - 0,128	<0,011	0,003	<0,001	<0,004	<0,001 - 0,172	<0,015	0,004	<0,003	<0,012
Co	<0,005 - 0,028	<0,011	0,010	<0,006	<0,012	0,011 - 0,045	0,027	0,025	0,020	0,033
Cr	0,13 - 0,40	0,26	0,26	0,21	0,32	0,35 - 0,79	0,61	0,64	0,54	0,66
Cu	0,13 - 0,37	0,22	20	0,17	0,26	0,193 - 1,09	0,36	0,28	0,27	0,39
Hg	<0,002 - 0,004	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002 - 0,003	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Mn	0,60 - 17,80	3,19	1,83	1,18	4,05	1,93 - 14,30	5,10	4,93	2,94	6,33
Mo	0,17 - 0,50	0,39	0,41	0,38	0,43	0,12 - 0,23	0,19	0,19	0,18	0,22
Ni	<0,05 - 0,72	<0,22	0,19	<0,09	<0,26	<0,05 - 0,67	<0,24	0,24	<0,14	<0,28
Pb	0,006 - 0,073	0,023	0,015	0,014	0,024	0,007 - 0,064	0,030	0,027	0,020	0,043
Zn	<0,18 - 0,80	<0,32	0,24	<0,20	<0,37	<0,16 - 1,73	<0,57	0,51	<0,38	<0,72
Fe	2,0 - 20,0	<8,9	5,1	<3,3	<14,7	<5,0 - 105,0	<39,5	30,3	<20,0	<56,0

Þrátt fyrir það er heildarmyndin skýr og sýnir tafla 5.3 meðalstyrk málma í þeim straumvötnum sem mælt var í. Þar sem ekki eru til viðmið sem sýna áhrif mengunar á viðkvæmt lífríki hér á landi, er eðlilegt að bera mæligildi saman við gildandi staðla um efnainnihald neysluvatns (4). Tafla 5.3 sýnir að styrkur málma í straumvötnum á Suðurlandi er langt undir eða vel undir leyfilegum hámarksstyrk.

Sýrustig vatnsins stýrir því að miklu leyti hve mikið af málum eins og Al, Fe, Mn, Cr, Co, Cu, Ni og Zn eru í upplausn í íslensku straum- og sigvatni (6,7,8). Þegar pH gildi vatnsins er á bilinu 6-8 er styrkur þeirra í vatninu oftast í lágmarki. Við hækkandi og lækkandi pH vex styrkur þessara málma í upplausn verulega. Hins vegar er styrkukning einstakra þungmálma mjög breytileg. Þegar pH vatnsins breytist úr 7-8 í 5 eykst styrkur króms (Cr) minnst, eða nífalt, en styrkur kóbalts (Co) mest eða 9500-falt.

Engin skýr vensl eru á milli sýrustigs og As, Mo, Cd, Pb, Hg og Ti. Þess ber þó að gæta að styrkur þessara efna er mjög lítil í vatninu og því erfiðara að greina hvort þetta samband er til staðar.

Tafla 5.3. Meðalstyrkur málma í straumvötnum á Suðurlandi 1996-1998 ($\mu\text{g/l}$) (5).

Straumvatn	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn	Fe
<i>Leiðbeinandi mörk (4)</i>	50					100	1	20				100	50
<i>Leyfilegur hámarksst. (4)</i>	200	50	5		50			50		50	50		200
Brúará við Efstadal	59,4	<0,031	<0,012	<0,008	1,55	<0,14	<0,002	0,64	0,09	<0,20	0,025	<0,26	<14
Tungufljót við Faxa	29,8	<0,060	<0,008	0,060	0,78	<0,18	<0,003	8,59	0,17	<0,25	0,037	<0,53	<84
Ölfusá við Selfoss	13,5	<0,030	<0,015	0,027	0,61	0,36	<0,002	5,10	0,19	<0,24	0,030	<0,57	<39
Hvítá við Brúarhlöð	16,5	<0,045	<0,007	0,014	0,45	0,22	<0,002	2,04	0,24	<0,05	0,018	<0,20	<9
Þjórsá við Urriðafoss	29,7	<0,075	<0,012	0,015	0,25	0,28	<0,003	3,84	0,39	<0,22	0,027	<0,34	<34
Þjórsá við Sandafell	12,9	<0,075	<0,011	<0,011	0,26	0,22	<0,002	3,09	0,39	<0,22	0,023	<0,32	<9
Ytri Rangá v/Árbæjarfoss	10,9	0,211	<0,013	0,027	0,28	0,39	<0,002	6,65	2,05	<0,19	0,023	<0,26	<37
Meðaltal	24,6	<0,075	<0,011	<0,023	0,60	<0,26	<0,002	4,28	0,50	<0,20	0,026	<0,36	<32

Gildi pH í straumvötnum á Suðurlandi er á bilinu 7-9. Við þessar aðstæður er styrkur uppleystra málma í vatninu í lágmarki og lítið berst af þeim til sjávar. Ef pH-gildi vatnsins myndi lækka verulega, t.d. vegna súrs regns, gæti hins vegar styrkur málma í upplausn margfaldast með samsvarandi aukningu á framburði þeirra til sjávar. Líkur á slíku eru hins vegar hverfandi, þar sem íslenskt berg veðrast hratt (9), sem aftur spornar við súrnun vatnsins.

5.3 Efnisflutningar

Líkt og fram kemur fremst í þessum kafla bera straumvötn efnis fram ýmist sem uppleyst, sem svifaur eða botnskrið (mynd 5.1). Almenn er aurburður flutningur á föstu efni með straumvatni. Í þeim rannsóknunum sem hér er fjallað um hefur magn svifaurs aðeins verið kannað. Af straumvötnum á Suðurlandi berast um 95 % af heildarsvifaurnum með Ölfusá og Þjórsá til sjávar (tafla 5.4) og er framburðurinn um tvær milljónir tonna á ári. Þetta svarar til 1,5 milljóna rúmmetra af seti. Til samanburðar má geta þess að í Skeiðarárhlaupinu haustið 1996 bárust að minnsta kosti 180 milljónir tonna af svifaur til sjávar (9).

Um tvær milljónir tonna á ári af uppleystum efnum berast til sjávar með straumvötnum á Suðurlandi (tafla 5.4). Þar af eru næringarsöltin SiO_2 , NH_4 , PO_4 og NO_3 um 330 þúsund tonn.

Tafla 5.4. Framburður efna með straumvötnum á Suðurlandi (tonn/ári). Byggt á mælingum frá október 1996 til september 1997.

Staður	Aurburður	Uppleyst efni			
		Aðalefni ^{a)}	Pungmálmur ^{b)}	Næringarsölt ^{c)}	SiO_2
Brúará við Efstadal	26.700	59.700	96	68	16.000
Tungufljót við Faxa	43.000	84.400	164	70	23.600
Hvítá við Brúarhlöð	334.300	184.000	439	109	36.500
Ölfusá við Selfoss	891.700	789.300	142	346	157.600
Þjórsá við Sandafell	1.375.200	643.000	637	414	105.200
Þjórsá við Urriðafoss	1.233.600	836.800	411	495	136.900
Ytri Rangá við Árbæjarfoss	30.500	277.200	81	149	30.000

a) Aðalefni = $\text{Na}+\text{K}+\text{Ca}+\text{Mg}+\text{SiO}_2+\text{Cl}+\text{SO}_4+\text{CO}_3$

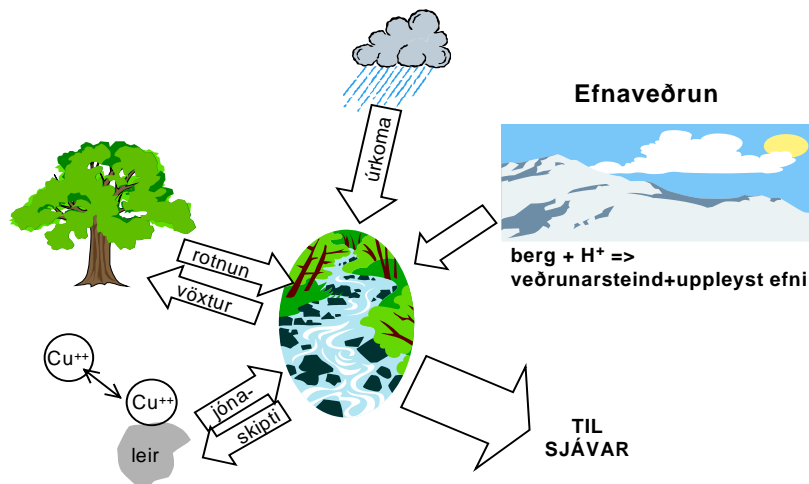
b) Þungmálmur og ál = $\text{Al}+\text{As}+\text{Cd}+\text{Co}+\text{Cr}+\text{Hg}+\text{Mn}+\text{Mo}+\text{Ni}+\text{Pb}+\text{Zn}+\text{Fe}$

c) Næringarsölt = $(\text{NO}_3-\text{N})+(\text{PO}_4-\text{P})$

5.4 Uppruni efna og hreyfanleiki

Þeir náttúrulegu þættir sem mestu skipta um efnasamsetningu straumvatna eru efnasamsetning úrkomu á ákomusvæði, efnaskipti vatns og bergs, efnaskipti vatns og andrúmslofts, efnaskipti vatns og lífmassa, íblöndun jarðhitavats og áhrif eldvirkni. Lagt var mat á uppsprettur efna í straumvötnum á Suðurlandi (skýringartexti 5.2).

Skýringartexti 5.2. Uppruni efna í straumvatni



Heildarstyrkur uppleystra efna í straumvatni ræðst af

- Efnaveðrun bergs, þ.e. upplausn frumbergis og myndunar veðrunarsteinda
- Efnur í úrkomu (sjá kafla 4)
- Uptöku og losun gróðurs og lífvera á næringarefnum og steinefnum samfara vexti og rotning
- Jónaskiptum milli vatnsins og ýmissa agna í því t.d. aurs, leiragna, lífræns efnis o.fl.

Heildarstyrk uppleystra efna í straumvötnum ($M_{\text{straumvötn}}$) má lýsa með eftirfarandi jöfnu

$$M_{\text{straumvötn}} = M_{\text{veðrun}} + M_{\text{úrcoma}} \pm M_{\text{jónaskipti}} \pm M_{\text{gróður,lífverur}}$$

þar sem $M_{\text{veðrun}}$ er styrkur tiltekins efnis í straumvatninu vegna veðrunar, $M_{\text{úrcoma}}$ er styrkur tiltekins efnis í straumvatninu vegna úrkomu, $M_{\text{jónaskipti}}$ og $M_{\text{gróður,lífverur}}$ er áhrif jónaskipta og gróðurs og lífvera á styrk tiltekins efnis í straumvatninu. Ástæða þess að tveir síðustu liðirnir hafa \pm er að ferlið getur gengið í báðar áttir, t.d. tekur gróður til sín uppleyst efni úr vatninu við vöxt, en skilar þeim til baka við rotning.

Allt klór í straumvötnunum berst inn með úrkomu og eins og kom fram í skýringarboxi 4.1. má rekja allan klór í úrkomu til sjávarsalta. Af því leiðir að allt klór í straumvötnunum má rekja til sjávarsalta vegna sjávarýringar, þ.e.

$$\frac{Cl_{\text{straumvötn}}}{Cl_{\text{sjór}}} = \gamma$$

þar sem $Cl_{\text{straumvötn}}$ er mældur styrkur klórs í tilteknu sýni af straumvatni, $Cl_{\text{sjór}}$ er meðalstyrkur klórs í sjó (sjá töflu 4.2). Þegar γ er þekkt má reikna styrk Na, K, Ca, Mg, Sr, SO_4 í straumvötnum út frá

$$M_{\text{úrcoma}} = M_{\text{sjór}} \times \gamma$$

þar sem $M_{\text{úrcoma}}$ er styrkur tiltekins efnis í straumvötnum ætlaðs úr úrkomu og $M_{\text{sjór}}$ er meðalstyrkur sama efnis í sjó (sjá töflu 4.2). Reikningar sýna að styrkur þungmálma og næringarsalta í úrkomu á Íslandi er mun meiri en skýra má með ýringu sjávar (kafla 4) var gert ráð fyrir að styrkur þeirra í straumvötnum sem rekja má til úrkomu sé hinn sami og meðalstyrkur þeirra í úrkomu á Írafossi, þ.e.

$$M(n, b)_{\text{úrkomuættað}}^{\text{straumvötn}} = M(n, b)_{\text{úrcoma, Írafoss}}$$

þar sem $M(n, b)$ stendur fyrir styrk næringarsalta og þungmálma.

Ef gert er ráð fyrir því að gróður og jónaskipti séu í jafnvægi, þ.e. jafnmikið losnar af efnur í vatnið vegna rotunar og jónaskipta eins og vegna upptöku gróðurs og jarðvegs, þá er heildarstyrkur uppleystra efna í straumvatninu

$$M_{\text{straumvötn}} = M_{\text{úrcoma}} + M_{\text{veðrun}}$$

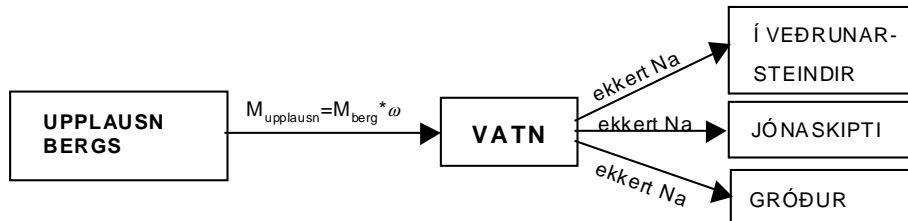
Þ.a.l má reikna hlut veðrunar af heildinni þar sem

$$M_{\text{veðrun}} = M_{\text{straumvötn}} - M_{\text{sjór}} \times \gamma$$

Einnig hefur verið metið í hversu miklum mæli efnin berast út af vatnasviðinu til sjávar í uppleystu formi (skýringartexti 5.3). Hér á eftir verður Þjórsá við Urriðafoss notuð til viðmiðunar en sambærilegar niðurstöður fást fyrir önnur straumvötn að Ytri Rangá undanskildri þar sem styrkur bergættaðra efna í vatninu eru mun meiri.

Skýringartexti 5.3. Hreyfanleiki efna í straumvatni

Efni eru skilgreind sem hreyfanleg ef þau eru í ámóta styrk í vatninu og áætlaður styrkur þeirra miðað við upplausn bergs og ákomu á vatnasviðinu.



Allt bendir til þess að natríum sé hreyfanlegt efni í straumvötnum á Íslandi (7, 9). Þetta þýðir að það natrín sem losnar úr berginu vegna upplausnar gengur ekki inn í veðrunarsteindir, gróður eða lífverur og viðloðun á ögnum hefur ekki áhrif á styrk þess í vatninu. Því gildir:

$$\frac{Na_{upplausn}}{Na_{berg}} = \omega$$

þar sem $Na_{upplausn}$ er styrkur natríns í straumvötnum og Na_{berg} er styrkur natríms í bergi. Ef gert er ráð fyrir því að efni losni út í vatnið við upplausn á bergi í sömu hlutföllum og þau eru í berginu má reikna út hversu mikið af einstaka efnum hafa borist út í vatnið

$$M_{upplausn} = M_{berg} \times \omega$$

þar sem $M_{upplausn}$ er styrkur tiltekins efnis sem borist hefur í straumvatnið vegna upplausnar á bergi og M_{berg} er styrkur sama efnis í bergi á vatnasviði straumvatnsins. Styrkur aðalefna í bergi á vatnasviði straumvatna á Suðurlandi er vel þekktur (9). Hins vegar er styrkur snefilefna lítt þekktur. Af þessum sökum var stuðst við meðalstyrk snefilefna úthafshryggjarbasalti, svokallað MORB (tafla 4.2), við útreikninga (11).

Heildarstyrkur uppleystra efna í straumvötnum er samtala þess sem berst í vatnið vegna upplausnar bergs og með úrkomu að frádrægu því sem fellur út við myndun veðrunarsteinda. Einnig geta jónaskipti, gróður og lífverur spilað inn í.

$$M_{straumvötn} = M_{upplausn} + M_{úrkoma} \pm M_{annað}$$

$M_{upplausn}$ er fundin með aðferðunum hér að ofan og áætla má styrk efna sem berst í vatnið með úrkomu (skýringarbox 5.2). Það sem fellur ekki undir þessa skilgreiningu er þá annað eða

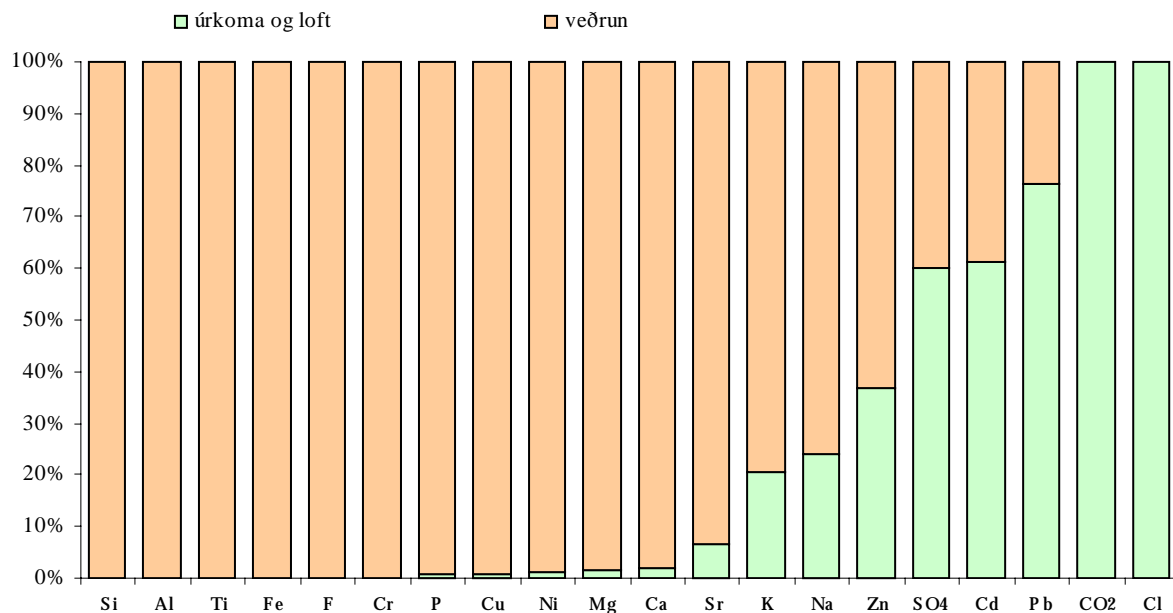
$$M_{annað} = M_{veðrunarsteindir} \pm M_{jónaskipti} \pm M_{gróður, lífverur}$$

Af því leiðir að hægt er að meta hversu mikið af efnum fer í að mynda veðrunarsteindir, tekur þátt í jónaskiptum og/eða samspili vatns og gróðurs og vatns og lífvera.

- Ef $M_{annað}$ er neikvæð stærð þýðir það að efnið hefur tapast úr vatninu vegna myndunar veðrunarsteinda, jónaskipta, upptöku gróðurs og/eða loðunar við grugg og lífrænt efni.
- Ef $M_{annað}$ er nálægt því að vera núll þýðir það að ekkert hefur tapast úr vatninu.
- Ef $M_{annað}$ er jákvæð tala þýðir það að umtalsvert af efninu hefur borist í vatnið vegna rotnunar lífræna leifa og/eða að efni, sem áður var fast á gruggi eða lífrænu efni, hafi losnað og borist í vatnið.

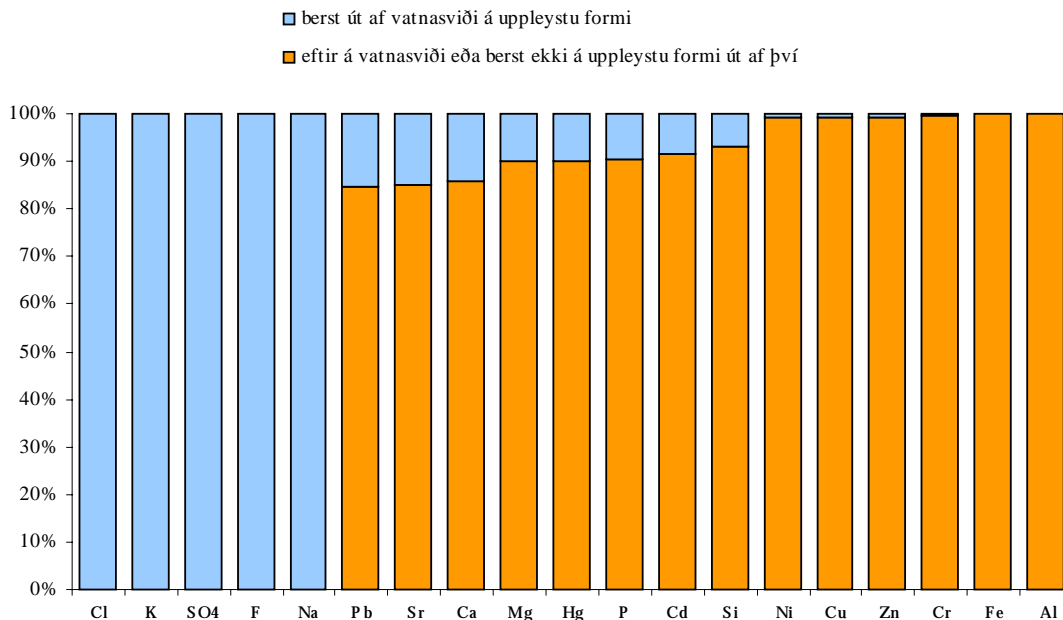
Niðurstöður reikninganna um uppruna efna í straumvötnum eru sýndar á mynd 5.4. Þar kemur fram að meiri hluti málma er nánast að öllu leyti tilkominn í vatnið vegna upplausnar bergs. Hins vegar berst um og yfir helmingur sinks, kadmíns og blýs í vatn með úrkomu og lofti. Það skal tekið fram að reikningarnir eru mjög næmir fyrir styrk þessara efna í úrkomu. Oft er erfitt að mæla kadmín og blý í úrkomu og styrkur þeirra gæti verið ofmetinn, sem myndi hafa áhrif á frekari reikninga (skýringartexti 5.3).

Efni eru skilgreind sem hreyfanleg ef þau eru í ámóta styrk í vatninu og áætlaður styrkur þeirra miðað við upplausn bergs og ákomu á vatnasviðinu. Kannaður var hreyfanleiki efnanna á vatnasviði Þjórsár í samræmi við skýringartexta 5.3.



Mynd 5.4. Uppruni efna í Þjórsá við Urriðafoss 1996-1997.

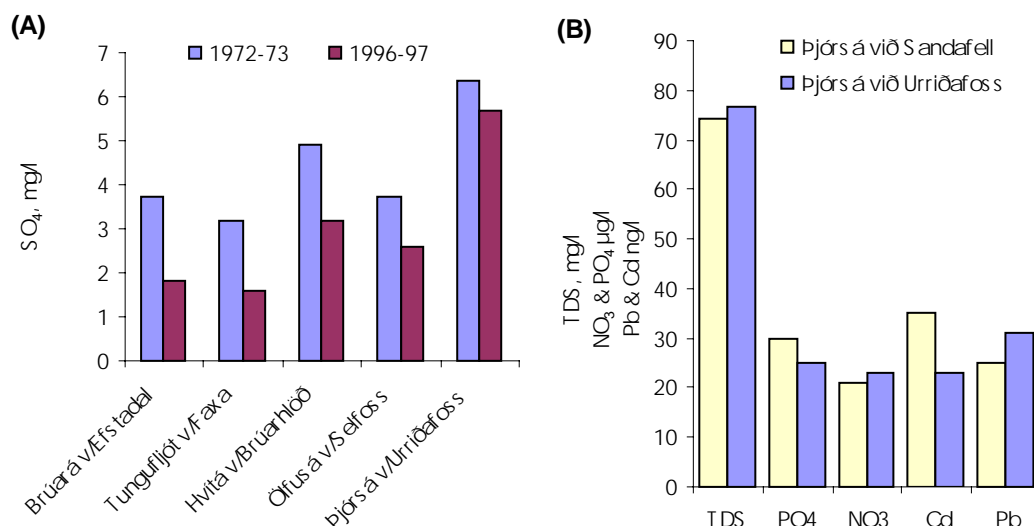
Eins og sjá má á mynd 5.5 eru Cl, K, SO₄, F og Na hreyfanleg efni. Jafnframt sést að hverfandi hluti málma berst af vatnasviðinu á uppleystu formi heldur verða þeir eftir vegna upptöku lífmassa og/eða myndunar veðrunarsteinda og/eða loða við svifagnir í vatninu og berst þannig til sjávar. Vitneskju skortir um hversu mikið af málumunum loðir við svifaur straumvatnanna og berst til til sjávar í stað þess að verða eftir á vatnasviðinu. Þá er heldur ekki ljóst hvort þeir málmar sem þangað berast með aurnum losna af honum eða falla til botns með setinu.



Mynd 5.5. Magn efna sem annars vegar berst af vatnasviði Þjórsár til sjávar á uppleystu formi eða hins vegar verður eftir eða berst með gruggi til sjávar.

5.5 Breyting með tíma

Unnt er að bera saman mælingarnar frá árunum 1996-1997 við eldri mælingar sem gerðar voru á árunum 1972-1973 á straumvötnum á Suðurlandi (12,13). Samanburður við þær rannsóknir sýnir að almennt hefur efnastyrkur lækkað nokkuð á tímabilinu. Athyglisvert er að styrkur brennisteins hefur minnkað í öllum tilfellum (mynd 5.6a) en þá breytingu má hugsanlega rekja til minnkandi brennisteins í úrkomu samfara minni útblæstri brennisteins í andrúmsloftið, sem náði hámarki um 1980 í Norður-Ameríku og Evrópu (1,14).



Mynd 5.6. a) samanburður á meðalstyrk SO₄ í straumvötnum á Suðurlandi 1972-1973 (12,13) og 1996-97. b) efnastyrkur í Þjórsá við Urriðafoss og við Sandafell 1996-1997. TDS er skammstöfun fyrir heildarmagn uppleystra efna (total dissolved solids).

Samanburður á styrk efna í straumvötnum við hálendisbrúnina á Suðurlandi og láglandi gefur hugmyndir um mengun af völdum sunnlendinga. Ef bornar eru saman mælingar í Þjórsá við Sandafell sem er við hálendisbrúnina og Urriðafoss sem er á láglandinu (mynd 5.6b) kemur í ljós að heildarstyrkur uppleystra efna er ívið meiri við Urriðafoss. Þessi munur er fyrst og fremst vegna mismunandi fjarlægðar frá sjó. Söfnunarstaðirnir á undirlendinu eru nær sjónum og því má gera ráð fyrir að meira sé af sjávarættuðum söltum í vatninu þar en inni á hálendi. Þetta endurspeglast vel í klórstyrk vatnsins því hann má alfarið rekja til sjávarsalta. Hins vegar er styrkur næringarsalta svipaður í straumvötnunum á undirlendinu og við hálendisbrúnina (mynd 5.6b). Því er greinilegt að styrkur næringarsalta vex ekki við það að árnar renna um landbúnaðarhéruð Suðurlandsundirlendis.

Efnastyrkur straumvatna á Suðurlandi er lítil borið saman við straumvötn á norðlægum slóðum og mun minni en í ám á meginlandi Evrópu og í Bandaríkjunum (tafla 5.5).

Tafla 5.5. Samanburður á efnastyrk nokkurra straumvatna. Erlend gildi eru fengin úr (15).

Staður	Rennsli km ³ /ári	Uppleyst efni mg/l	Aur- burður mg/l	PO ₄ -P mg/l	NO ₃ -N mg/l	Pb µg/l	Cd µg/l	As µg/l	Hg µg/l	Ni µg/l
Gláma (Noregur)	599	29		0,008	0,42	1	<1			
Kalkkinen (Finland)			1			<1	<1		0,013	
Rín (Þýskaland)	2362	600		0,4	3,88	<1	<1	1	0,052	
Thames (England)	101	392	14	1,07		2	<1	5	0,100	
Mackenzie (Kanada)	10559	209	126	0,04	0,14	2	<1			5
Churchill (Kanada)	1205	92				1	<1		0,010	1
Mississippi (Bandaríkin)	18392	287	362	0,2	1,06	3	1	1	0,100	4
Suðurland (1996-1997)	855	73	87	0,022	<0,023	0,034	0,030	0,087	<0,003	0,17

Heimildaskrá

- (1) Sigurður Reynir Gíslason, Jón Ólafsson, og Árni Snorrason, 1997. Efnasamsetning, rennsli og aurburður straumvatna á Suðurlandi. Gagnagrunnur Raunvísindastofnunar, Hafrannsóknastofnunar og Orkustofnunar. Raunvísindastofnun, RH-25-97, 28 bls.
- (2) Longwell, C.R., Flint, R.F. & Sanders, J., 1969. *Physical Geology*. John Wiley & Sons, Inc., 685 p.
- (3) Gíslason, S. R., A. Andrésdóttir, Á. E. Sveinbjörnsdóttir, N. Óskarsson, Th. Thordarson, P. Torssander, M. Novák, and K. Zák. (1992). Local effects of volcanoes on the hydrosphere: Example from Hekla, southern Iceland. *Water-Rock Interactions*, Y. K. Kharaka and A. S. Maest (eds.), bls. 477-481 Balkema, Rotterdam.
- (4) The Council of the European Communities, 1980. Council Directive of 15 July 1980 relating to the quality of water intended for human consumption. *Official Journal of the European Communities* 30.8.80, 80/778/EEC, bls. L229/11-27.
- (5) Sigurður R. Gíslason, Jón Ólafsson, Árni Snorrason, Ingvi Gunnarsson og Snorri Zóphóníasson 1998. Efnasamsetning, rennsli og aurburður straumvatna á Suðurlandi. II. Gagnagrunnur Raunvísindastofnunar, Hafrannsóknastofnunar og Vatnamælinga Orkustofnunar. Raunvísindastofnun, RH-20-98, 39 bls.
- (6) Sigurður R. Gíslason, Andri Stefánsson og Matthildur B. Stefánsdóttir, 1998. Vatnsrannsóknir í nágrenni iðnaðarsvæðisins á Grundartanga og í Kjós. Áfangaskýrsla 15. Apríl 1998. 60 bls.
- (7) Andri Stefánsson & Sigurður R. Gíslason, 1999. Chemical weathering of a basaltic catchment, SW-Iceland. *American Journal of Science*, sent til birtingar.
- (8) Andri Stefánsson, 1997. Jarðefnafræði áls í köldu vatni á vatnasviði Laxár í Kjós. Vorráðstefna jarðfræðifélagsins 1997, bls. 1-3.
- (9) Sigurður R. Gíslason, Stefán Arnórsson & Halldór Ármannsson, 1996. Chemical weathering of basalt in SW Iceland: Effects of runoff, age of rocks and vegetative/glacial cover. *American Journal of Science*, 296, bls. 837-907.
- (10) Árni Snorrason, Páll Jónsson, Svanur Pálsson, Sigvaldi Árnason, Oddur Sigurðsson, Skúli Víkingsson, Ásgeir Sigurðsson og Snorri Zóphóníasson, 1997. Hlaupið á Skeiðarásandi haustið 1996, útbreiðsla, rennsli og aurburður. Vatnajökull, gos og hlaup 1996, ritstj. Hreinn Haraldsson. *Vegagerðin*, bls. 79-137.
- (11) The Geochemical Earth reference model (GERM). GERM "8% MgO" MORB data. <http://www-ep.es.llnl.gov/germ/reservoirs/MORB8.html>
- (12) Halldór Ármannsson, Helgi R. Magnússon, Pétur Sigurðsson & Sigurjón Rist 1973. Efnarannsókn vatna. Vatnasvið Hvítár - Ölfusár; einnig Þjórsár við Urriðafoss: Orkustofnun, OS - RI, Reykjavík, 28 bls.
- (13) Sigurjón Rist 1974. Efnarannsókn vatna. Vatnasvið Hvítár - Ölfusár; einnig Þjórsár við Urriðafoss: Reykjavík, Orkustofnun, OSV7405, 29 bls.
- (14) Oslo and Paris Commissions 1995: Implementation of the Joint Assessment and Monitoring Programme, 68 bls.
- (15) UNEP GEMS/WATER Programme. <http://www.cciw.ca/gems/intro.html>

6 Sjór

6.1 Næringarefni í sjó

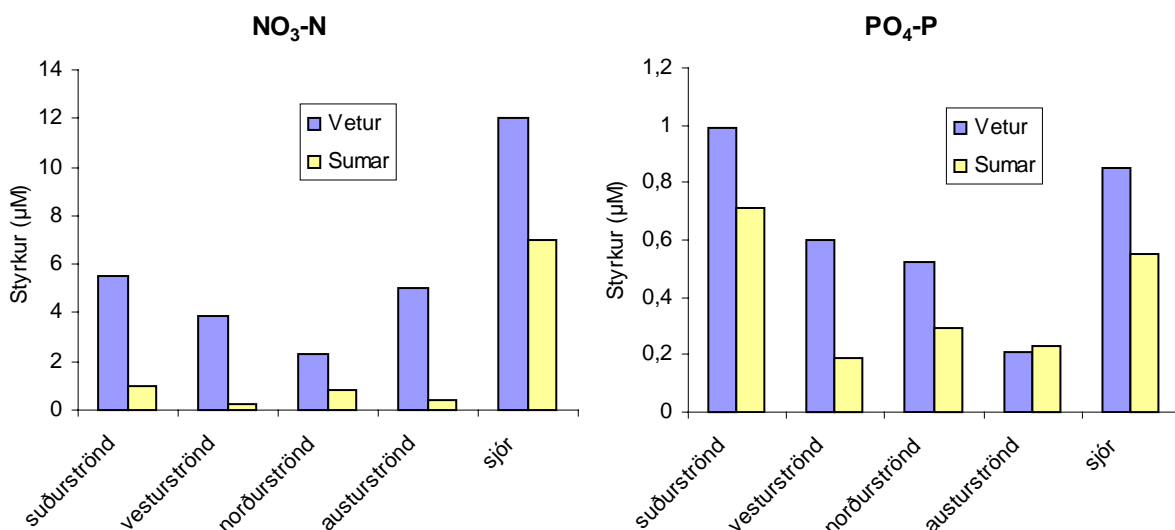
Köfnunarefnis- og fosfórsambönd eru næringarsölt sem eru nauðsynleg þörungum sjávar, en þeir eru frumframleiðendur og því neðst í fæðuvefnum. Þá er kísill nauðsynlegur fyrir vöxt kísilþörungna. Ofgnótt næringarsalta í sjó getur leitt til offjölgunar þörunga sem aftur getur leitt til súrefnisskorts ef blöndun sjávar er ekki nægjanleg. Slíkt má t.d. greina við sunnanverðan Norðursjó og í Eystrasalti þar sem mikið magn þessara efna berst núorðið til sjávar frá þéttbýli m.a. vegna notkunar tilbúins áburðar í landbúnaði (1). Hér á landi hefur ofgnótt næringarsalta þó ekki verið mönnum áhyggjuefni.

Styrkur næringarsalta í sjó við Ísland er vel þekktur (2). Árs- og árstíðasveiflur í styrk næringarsalta eru greinilegar. Ennfremur er áberandi munur á styrk þeirra með dýpi, sérstaklega norðan við landið. Þrátt fyrir mikinn breytileika sést marktækur munur á styrk næringarsalta sunnan og vestan við landið borði saman við landið norðanvert. Ástæða þessa er fyrst og fremst tengd hafstraumum umhverfis landið, annars vegar er hlýr Atlantssjó sunnan og vestan lands þar sem styrkur næringarsalta er hærri en í köldum pólsjó norðan við land (2) (mynd 3.2 og tafla 6.1).

Tafla 6.1. Meðalstyrkur fosfats og nítrats við yfirborð Atlants- og pólsjávar við Ísland í febrúar-mars 1991 (2).

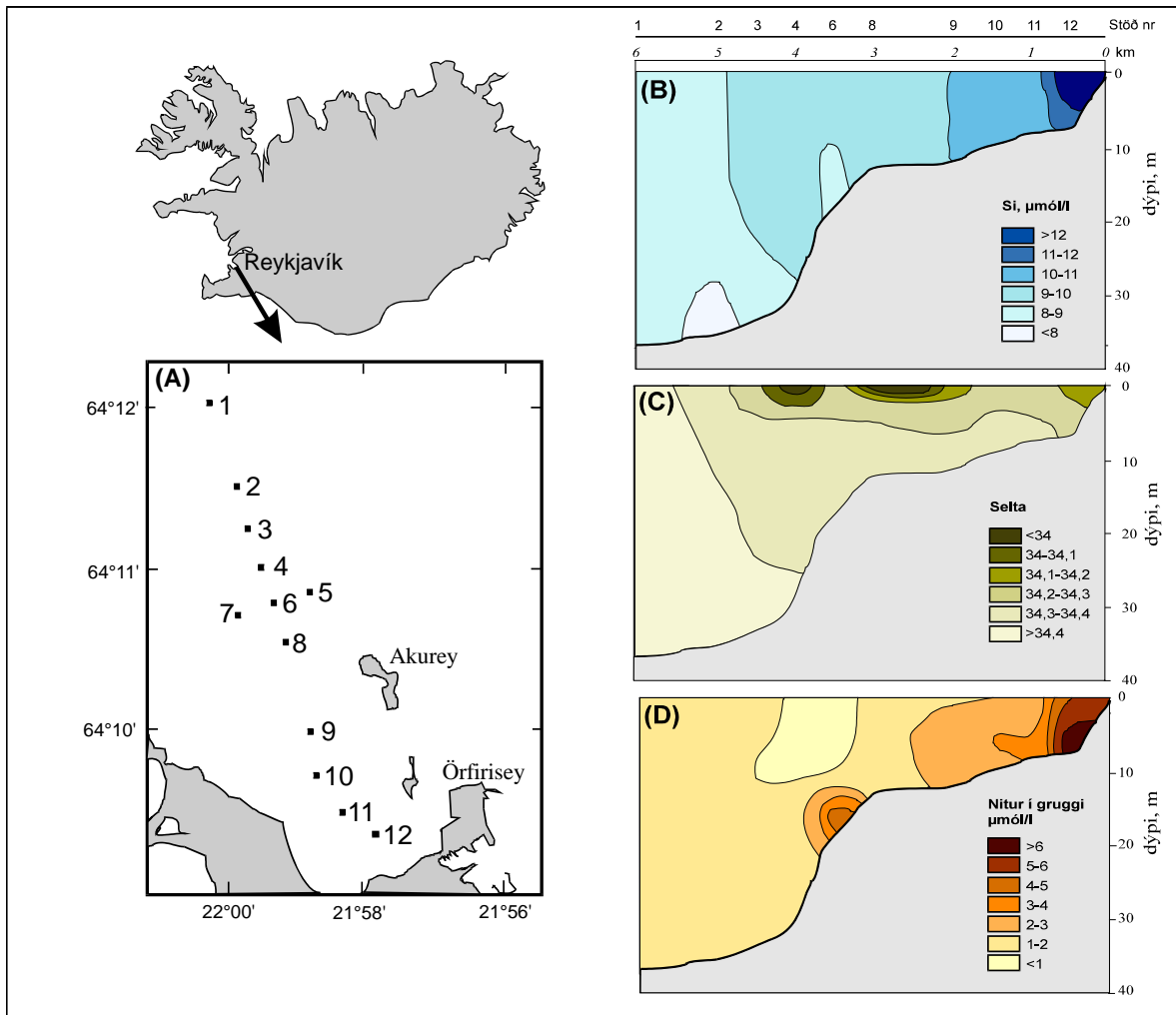
	Fjöldi mælinga	PO ₄ -P μmól/l	NO ₃ -N μmól/l
Atlantssjó	31	0,95	13,9
Pólsjó	30	0,87	12,9

Áhrif straumvatna á styrk næringarsalta í sjó sjást helst þegar styrkur nítrats er borinn saman við strendur landsins og úti á rúmsjó. Styrkurinn minnkar þegar nær dregur landi vegna blöndunar straumvatna. Hið sama er upp á teningnum varðandi styrk fosfats, ef frá eru taldar mælingarnar frá suðurströndinni. (mynd 6.1).



Mynd 6.1. Meðalstyrkur nítrats (NO₃-N) og fosfats (PO₄-P). Strandgildi eru meðalstyrkur straumvatna og sjávar innan 200 m frá landi en gildi fyrir sjó eru meðalgildi fyrir umrædda árstíma við Ísland utan 200 m. Vetrargildi eru frá því í október fram í apríl 1982 og 1991 og sumargildi frá maí fram í september 1982 (2).

Skolp frá mesta þéttbýli landsins rennur til sjávar í Faxaflóa og því mætti ætla að í Faxaflóa væri helst að finna aukningu í næringarefnum vegna athafna manna. Í febrúar 1992 var styrkur næringarsalta mældur í sniði sem nær frá innanverðum Faxaflóa út fyrir landgrunnsbrúnina (3). Yst koma greinilega fram eiginleikar úthafsins en við innanverðan flóann eru áhrif frá landi sjáanleg svo sem eins og lægri selta. Í nóvember 1995 var styrkur næringarsalta, bæði á uppleystu formi og í gruggi mældur á 6 km sniði frá Ánanaustum og enn fremur var súrefnismettun mæld á sömu stöðvum (4). Niðurstöður rannsóknanna leiddu í ljós að áhrif frárennsliskerfisins eru mest næst landi og að skolp berst út frá landinu í tiltölulega þunnu yfirborðslagi, um fimm metra þykku. Merki um skolp koma fram í seltu, styrk kísils og ammóníaks en vart í styrk annarra uppleystra næringarefna. Þau eru einnig greinanleg í magni fosförs og köfnunarefnis í gruggi (mynd 6.2). Viðstaða skolps hefur verið áætluð og er talin vera að lágmarki um 15–22 stundir út frá því hvernig styrkur kísils minnkar í grennd við útrásirnar (4).



Mynd 6.2. Efni í sjónum undan Ánanaustum í nóvember 1995. a) stöðvar á sniði, b) styrkur Si, c) selta, d) köfnunarefni (nítur) í gruggi (4).

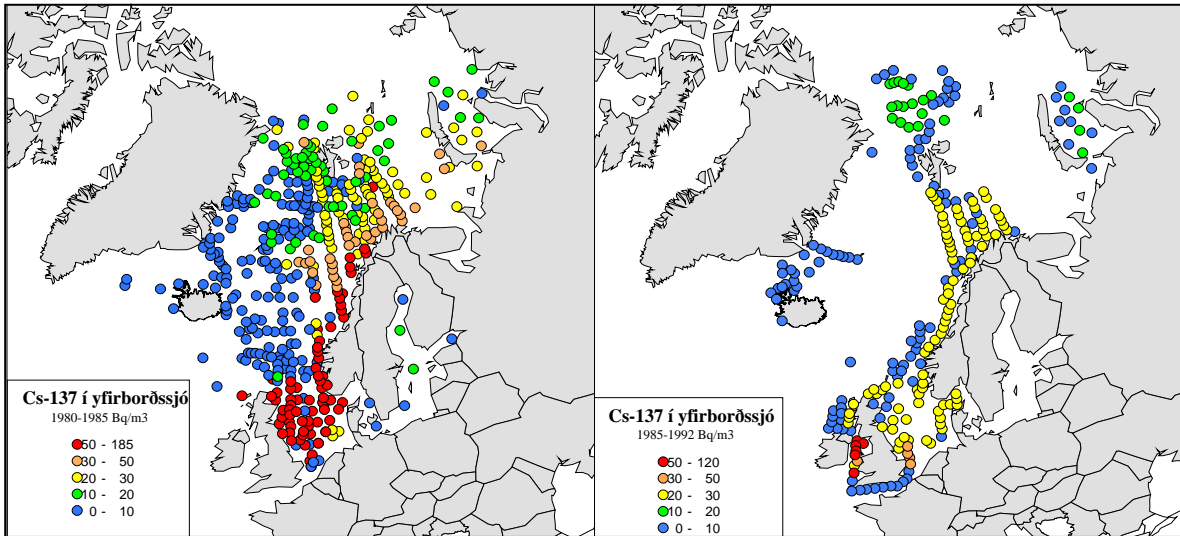
6.2 Geislavirk efni í sjó

Geislavarnir ríkisins hafa mælt Cs-137 í sjó hér við land frá árinu 1990 (5). Sýnin hafa verið tekin í reglubundnum leiðöngrum Hafrannsóknastofnunar og allt í kringum land. Langflest sýni sem hafa verið mæld eru úr yfirborðssjó, en nokkur djúpsjávarsýni hafa einnig verið greind.

Þegar skoðuð eru þau geislavirku efni sem hafa dreifst um jörðina af manna völdum, þá eru leifar frá kjarnorkusprengjutilraununum fyrir tæplega 40 árum ríkjandi á íslenskum hafsvæðum. Þessi efni munu eyðast með tímanum, en það sem eftir lifir, myndar ásamt náttúrulegum geislavirkum efnum, þann bakgrunn geislavirkra efna sem alls staðar er að finna.

Segja má að geislavirkni sem mælist hér við land sé með því lægsta sem mælist í heiminum. Grein úr Norður-Atlantshafsstraumnum, sem flytur Atlantssjó upp að landinu, á sinn þátt í því að geislavirknin

við strendur Íslands er mun minni en á sambærilegum breiddargráðum t.d. við Noreg (mynd 6.3). Geislavirknin í Atlantssjó er nær eingöngu áður nefndur bakgrunnur, um $2,7 \text{ Bq/m}^3$ fyrir Cs-137.



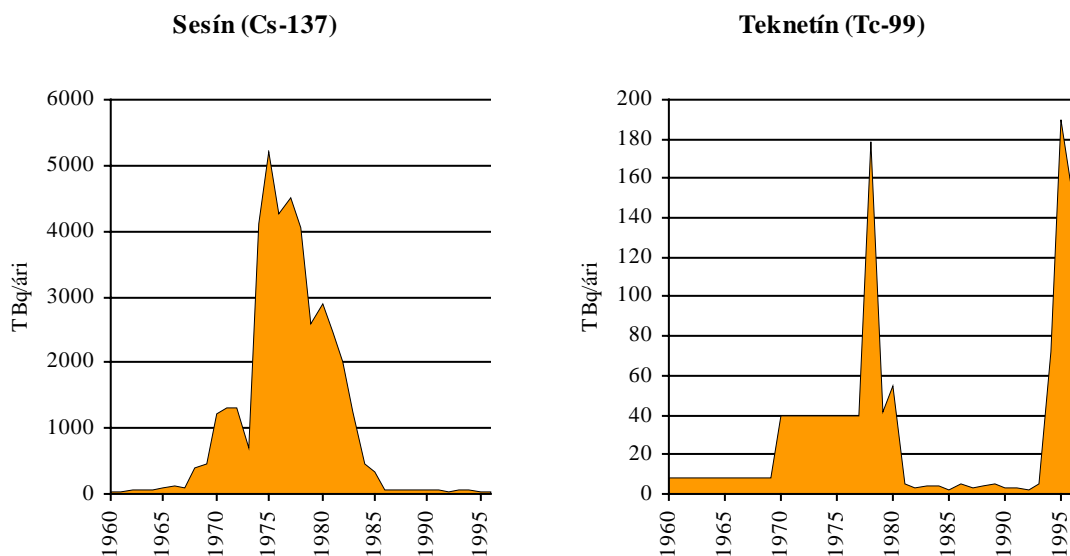
Mynd 6.3. Styrkur Cs-137 í yfirborðslögum sjávar frá tveimur mismunandi tímabilum (6,7).

Mæligildi fyrir norðan land eru þó hærri en fyrir sunnan. Frá kjarnorkuendurvinnslustöðinni í Sellafield berast geislakjarnar (Cs-137 o.fl.) í Írlandshaf, þaðan norður fyrir Skotland og inn í Norðursjó. Norður-Atlantshafsstraumurinn flytur síðan efnin í Noregshaf og áfram norður uns þau berast með Vestur-Svalbarðastraumnum til Norður-Grænlandshafs. Hluti af geislaúrgangi frá endurvinnslustöðvum á Bretlandseyjum flyst á þennan hátt í Austur-Grænlandsstrauminn og getur því borist á íslensk hafsvæði úr norðvestri, einkum þau árin sem pólsjávar gætir í töluverðum mæli á svæðunum norðan Íslands (8). Mynd 6.4 sýnir áætlaða þynningu og tímalengd fyrir mengunarefni sem berast frá Írlandshafi til mismunandi hafsvæða.



Mynd 6.4. Ferð mengunarefna frá Sellafield á íslensk hafsvæði, þynning þeirra ásamt tíma- og vegalengd. Bláu örvarnar sýna helstu hafstrauma (byggt á mynd úr Morgunblaðinu, 28. nóv. 1998).

Mynd 6.5 sýnir það magn Cs-137 sem barst frá endurvinnslustöðinni í Sellafield á árunum 1960-1996. Þar sést að losunin var mest á árunum 1974 -1980 en undanfarin ár hefur losun efnisins verið hverfandi miðað við árin á undan. Hinsvegar hefur losun geislavirka efnisins teknetíns (Tc-99) aukist að sama skapi.



Mynd 6.5. Losun Cs-137 og Tc-99 frá endurvinnslustöðinni í Sellafield (myndin er fengin frá Henning Dahlgaard, rannsóknastöðinni í Risø í Danmörku).

Þegar skoðaðar eru niðurstöður mælinga við Ísland á árunum 1990-1997, kemur í ljós að breytileiki í mæligildum á sama stað getur verið mikill. Þetta á einkum við á svæðum fyrir norðvestan land, þar sem ríkjandi vindátt getur ráðið miklu um það hversu nálægt landi pólsjór úr Austur-Grænlandsstraumnum nær að teygja sig. Af þessum sökum er nauðsynlegt að tengja mæligildi við hita og seltu, til þess að fá upplýsingar um uppruna þess sjávar sem um ræðir.

Öll sjósýni voru flokkuð eftir hita, seltu og stað í mismunandi sjógerðir og sýnir tafla 6.2 viðmiðunargildi hita og seltu sem notast var við til flokkunar. Einnig var tekið tillit til staðsetningar og dýpis, en þessir þættir takmarka möguleika á að finna tiltekna sjógerð. Auk þess sem hér hefur verið nefnt þarf að taka tillit til ýmis konar breytileika sem getur t.d. stafað af blöndun milli mismunandi sjógerða, ferskvatnsblöndun og hitabreytingum í yfirborðslögum t.d. vegna sólargeislunar.

Tafla 6.2. Viðmiðunargildi hita og seltu fyrir mismunandi sjógerðir við Ísland.

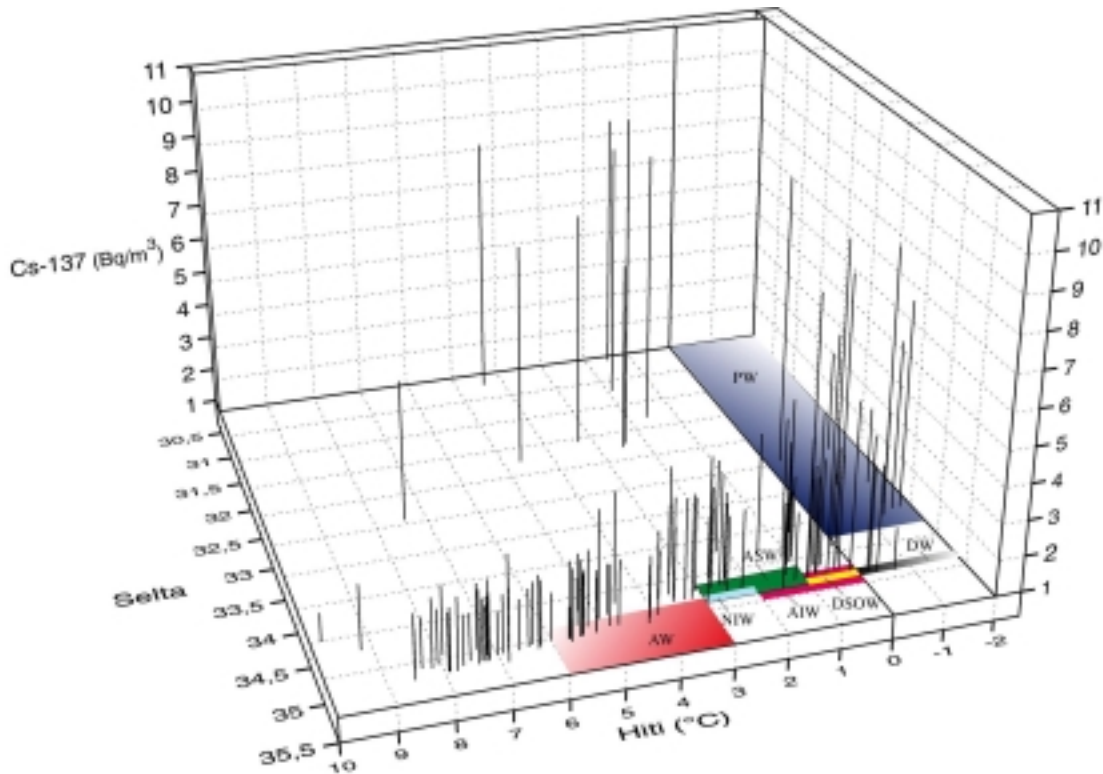
Sjógerðir	T (°C)	Selta
Atlantssjór (AW) ^{a)}	3-6	>34,9
Millisjór (AIW) ^{a)}	~0-2	34,8-35,0
Svalsjór (ASW) ^{a)}	1-3	34,6-34,9
Djúpsjór (DW) ^{a)}	<0	34,89-34,93
Yfirfallssjór í Grænlandssundi (DSOW) ^{b)}	<1	34,8-34,9
Vetrarsjór Íslandshafs (NIW) ^{a)}	2-3	34,8-34,9
Pólsjór (PW) ^{a)}	<0	<34,4

a) Heimild (9).
b) Heimild (10).

Mynd 6.6 sýnir styrk Cs-137 miðað við hita og seltugildi. Á myndinni marka mismunandi sjógerðir flöt með ákveðnum hita og seltugildum. Þar má meðal annars sjá hvernig mæligildi í köldum pólsjó eru hærri en t.d. í hlýjum Atlantssjó.

Fervikagreining á niðurstöðum sýndi að munur á Cs-137 gildum milli sjógerða var meiri en skýra má með tilviljun ($p < 0,0001$). Mæligildi voru einnig flokkuð innan hversrar sjógerðar með tilliti til sýnatökusniðs. Þessi flokkun sýndi að ekki er marktækur munur innan einstakrar sjógerðar eftir staðsetningu, nema fyrir pólsjó ($p = 0,0004$). Þar lækka gildin þegar farið er frá vestri til austurs, enda minnka áhrif pólsjávar samfara þynningu þegar farið er frá Austur-Grænlandsstraumi í átt til Íslands. Flokkun í sjógerðir skýrir að hluta til þann breytileika sem birtist í mæligildum þegar allar niðurstöður eru skoðaðar. Reynt var að skýra breytileika innan hversrar sjógerðar með því að athuga hvort fylgni væri milli mæligildis annars vegar og annarra þátta eins og tíma sýnatöku (mánuður og ár) og

staðsetningar hins vegar. Þessi athugun leiddi í ljós að ekki er unnt að sýna fram á marktæka fylgni við ofangreinda þætti, nema fyrir pólsjó. Tafla 6.3 sýnir niðurstöður mælinga Geislavarna á Cs-137 árin 1991-1997.



Mynd 6.6. Samband seltu, hita og geislavirkni í yfirborðssjó við Ísland. Á lárétta fletinum er búið að setja inn mismunandi sjógerðir.

Tafla 6.3. Cs-137 í mismunandi sjógerðum við Ísland. Sýnatökustaðir eru sýndir á mynd 6.7.

Sjógerð	Dýpi (m)	Selta	Meðalgeislavirkni (Geometric mean) Bq/m ³	95% vikmörk (95% confidence interval) Bq/m ³	Fjöldi mælinga
Millisjó (AIW)	230 - 345	34,75 - 34,80	3,3	2,4 - 4,5	3
Svalsjó (ASW)	4	34,01 - 34,80	4,3	3,7 - 4,9	15
Atlantssjó (AW)	4 - 200	34,93 - 35,22	2,7	2,6 - 2,8	44
Yfirfallssjó í Grænlandssundi (DSOW)	450 - 700	34,86	4,1	3,5 - 4,8	3
Djúpsjó (DW)	1360	34,9	2,2		1
Vetrarsjó Íslandshafs (NIW)	4	34,20 - 34,80	3,3	3,0 - 3,7	8
Blandaður pólsjó (Látrabjarg)	4 - 100	31,73 - 34,01	7,3	6,2 - 8,5	16
Blandaður pólsjó (Kögur)	4 - 100	33,41 - 34,58	5,6	2,8 - 11,4	4
Blandaður pólsjó (Siglunes)	4	33,98 - 34,33	4,2	2,3 - 7,5	2
Blandaður pólsjó (NA-Langanes)	4	34,41 - 34,57	3,2	2,9 - 3,4	4

Atlantssjó (AW): Sýni af Atlantssjó voru tekin allt í kringum land. Meðalgeislavirkni (geometric mean) var 2,7 Bq/m³. Þessar niðurstöður eru í samræmi við niðurstöður fyrri rannsókna (11) þar sem gildi fyrir Atlantssjó eru 2,9 og 2,3 Bq/m³ árin 1988 og 1990.

Pólsjó (PW): Sýni af pólsjó voru tekin á fjórum sniðum en marktækur munur var á mæligildum fyrir hvert snið. Meðalgeislavirkni var 7,3 Bq/m³ út af Látrabjargi, 5,6 á Kögursniði, 4,2 undan Siglunesi og norðaustur af Langanesi var styrkurinn 3,2 Bq/m³ (tafla 6.3). Þetta má skýra með því að styrkurinn er mestur í Austur-Grænlandsstraumnum en sá sjó þynnist og blandast öðrum sjógerðum þegar farið er í austur. Mikið var dregið úr losun frá endurvinnslustöðinni í Sellafield á árunum 1980 - 1985. Miðað við að áætlaður fartími sjávar úr Írlandshafi til Íslands sé 7-10 ár (11), hefði mátt ætla að þessi lækun væri merkjanleg í Austur-Grænlandsstraumi. Hins vegar benda mælingar Geislavarna á árunum 1990-1997 ekki til lækkunar. Meðalgeislavirkni þessara ára var 7,3 Bq/m³, en niðurstöður eldri rannsókna (11)

gáfu gildin $8,6 \text{ Bq/m}^3$ og $7,3 \text{ Bq/m}^3$ fyrir árin 1988 og 1990. Auk þess er ekki merkjanleg breyting með tíma fyrir mælitímabilið sem hér um ræðir.

Nýjar niðurstöður mælinga á Cs-137 í Austur-Grænlandsstraumnum benda hins vegar til þess að þar sé nú að finna Cs-137 sem barst loftvegu í Noregshaf eftir Tsjernobylslysið, en er nýlega komið í Austur-Grænlandsstrauminn (12).

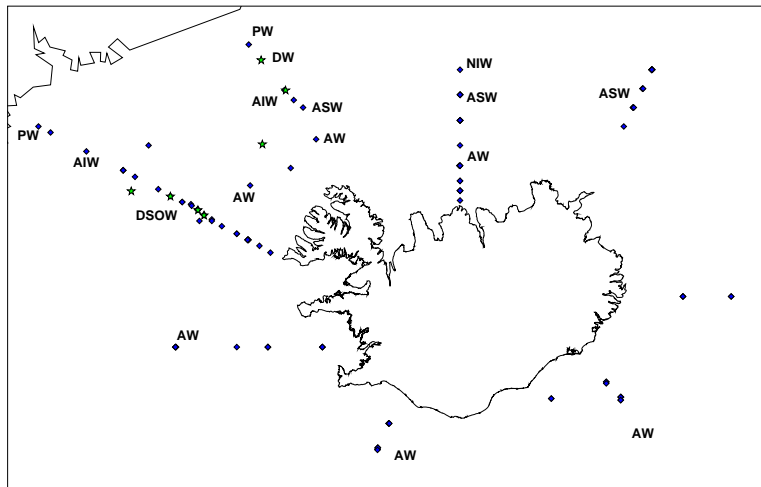
Svalsjór (ASW): Svalsjó er aðallega að finna fyrir norðaustan land, í Austur-Íslandsstraumi. Meðalgeislavirkni sýnir $4,3 \text{ Bq/m}^3$, sem liggur á milli mæligilda fyrir pólsjó og Atlantssjó. Svalsjór er að mestu blandaður þessum tveim sjógerðum.

Millisjór (AIW): Þetta er sú sjógerð sem reikna má með að fyrst sýni áhrif mengunar frá Norður-Evrópu t.d. frá Sellafeld (mynd 6.4). Sýni af millisjó voru tekin á 230-345 m dýpi, norðvestur af landinu á árunum 1995-1997. Þessar mælingar gefa til kynna að geislavirkni hefur minnkað þar sem mælingar árin 1988 og 1990 (11) voru $5,5$ og $5,2 \text{ Bq/m}^3$ miðað við $3,3 \text{ Bq/m}^3$ nú.

Vetrarsjór Íslandshafs (NIW): Vetrarsjór verður til norður af landinu síðla vetrar vegna lóðréttrar blöndunar niður á 250 - 300 m dýpi (9). Cs-137 í þessum sjó mældist $3,3 \text{ Bq/m}^3$.

Yfirfallssjór í Grænlandssundi (DSOW) fannst á 450, 600 og 700 metra dýpi á Látrabjargssniði. Meðalgeislavirkni var $4,1 \text{ Bq/m}^3$.

Djúpsjór (DW): Lægsta gildi sem fékkst í þessum mælingum var fyrir djúpsjó, $2,2 \text{ Bq/m}^3$. Um er að ræða eitt sýni á Kögursniði, tekið á 1360 metra dýpi. Líklegasta ástæða lágs mæligildis er hæg endurnýjun sjávar á miklu dýpi en rétt að benda á að aðeins er um eitt sýni að ræða.



Mynd 6.7. Sýnatökustaðir fyrir mælingar á Cs-137 í sjó umhverfis Ísland. Bláir tíglar sýna yfirborðssjó og grænir þríhyrningar djúpsjó (sbr. tafla 6.3). Skammstafanir eru í samræmi við umfjöllun.

Heimildir

- (1) Oslo and Paris commission report, 1991. Draft report on the results of the 1990. Supplementary baseline study of contaminants in fish and shellfish.
- (2) Unnsteinn Stefánsson & Jón Ólafsson, 1991. Nutrients and fertility of Icelandic waters. Rit fiskideildar 12, 1-56
- (3) Guðjón Atli Auðunsson, 1992. Efnamælingar í fráveituvatni í Reykjavík. Rannsóknastofnun fiskiðnaðarins, Skýrsla Rf 9.
- (4) Jón Ólafsson, Magnús Danielsen, Sólveig Ólafsdóttir og Þórarinn Arnarson, 1996. Næringarefni í sjó undan Ánanaustum í nóvember 1995. Hafrannsóknastofnun fjölrit nr. 50, 27 bls.
- (5) Elísabet D. Ólafsdóttir, Sigurður E. Pálsson, Sigurður M. Magnússon & Kjartan Guðnason, 1998. Distribution and origin of Cs-137 in Icelandic water – an indicator for man made radioactivity, 11 bls.
- (6) Edson, R., Varela, M. & Joya, T., 1996. Arctic Nuclear Waste Assessment Program Summary FY 1995. Office of Naval Research Report ONR 32296-16, 632 pp.
- (7) Preller, R. H., & Cheng, A., 1999. Modelling the Transport of Radioactive Contaminants in the Arctic. Marine Pollution Bulletin, vol. 38, No. 2, pp. 71-91.
- (8) Elísabet Dolinda Ólafsdóttir, 1994. Mælingar á geislaumengun í hafinu umhverfis Ísland og þróun nýrra mæliaðferða. Ritgerð til meistaraþrófs við efnafraeðisakor Háskóla Íslands. Reykjavík: Geislavarnir ríkisins (GR(I):97.01).
- (9) Unnsteinn Stefánsson, 1996. Hafstraumar, ástand sjávar og frjósemi íslenskra hafsvæða. Í: Unnsteinn Stefánsson ritstj., Íslendingar, hafið og auðlindir þess. Reykjavík: Vísindafélag Íslendinga, Ráðstefnurit IV, bls. 39-63.
- (10) Fogelqvist, E., J. Blindheim, T. Tanhua, E. Buch and S. Østerhus 1997. Greenland-Scotland Overflow Studied by Hydrochemical Multivariate analysis. Halogenated Substances as Marine Tracers. Göteborg University: 2-24.
- (11) Dahlgard, Henning 1994. Sources of C-137 and Tc-99 in the East Greenland Current. Journal of Environmental Radioactivity 25, 37-55.
- (12) Josefsson, D. 1998. Anthropogenic Radionuclide in the Arctic Ocean, Distribution and Pathways. Lund University.

7 Sjávarset

Ástæða þess að styrkur málma og annarra snefilefna er kannaður í sjávarseti er sú að margir þeirra hafa tilhneigingu til að bindast fingerðu gruggi sem síðar fellur til botns og myndar set. Á setmyndunarsvæðum endurspeglar gerð setsins aðstæður á svæðinu.

Náttúrulegt sjávarset er blanda af mörgum mismunandi þáttum; bergmylsnu, útfellingum, lífrænu efni, skeljabrotum o.fl. Hlutföll þessara þátta eru mjög breytileg milli hafsvæða. Sjávarset við Ísland hefur fyrst og fremst myndast við framburð straumvatna og rof á sjávarbotni. Þá hefur veruleg setmyndun orðið á ísöldum, bæði vegna jökulrofs og framburðar jökulvatna. Ísaldasetið hefur svipaða efnasamsetningu og berggrunnurinn og er yfirleitt fremur grófgert (sandur og jafnvel möl). Leirsteindir eru fínasti hluti setsins. Þær berast til sjávar með straumvötnum sem svifaur. Hins vegar berst tiltölulega lítið af leirsteindum til sjávar hér á landi og einkennist framburður straumvatna fyrst og fremst af bergmylsnu (1). Lífmyndað efni (einkum lífrænt efni og skeljasandur) er oft stór hluti setsins. Samsetning þess er mjög frábrugðin berggrunninum.

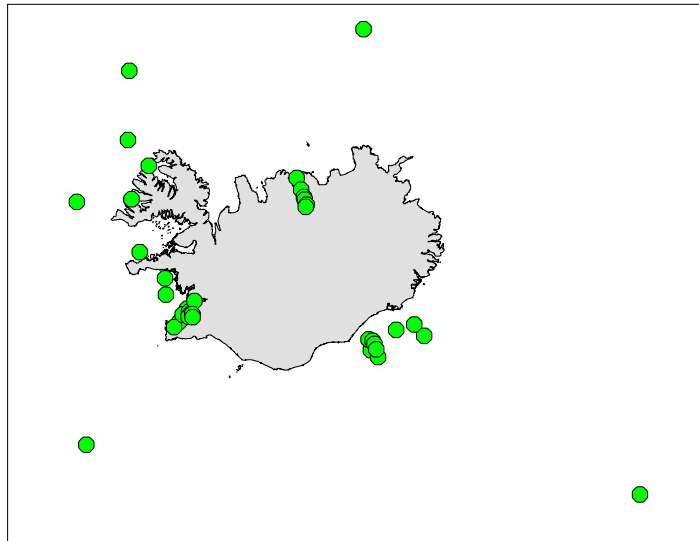
7.1 Aðalefni og snefilefni í sjávarseti

Þegar meta á hvort set er mengað af þungmálum nægja efnagreiningar ekki einar. Náttúrulegur breytileiki þeirra getur verið verulegur bæði á milli staða og tíma og því er nauðsynlegt að hafa vitnesku um bakgrunnsstyrk og náttúrulegan breytileika við slíkt mat. Öðru máli gegnir um þrávirk lífræn efni þar sem náttúrulegur styrkur þeirra er hverfandi. Tilvist þeirra gefur því til kynna mengun af manna völdum. Raunar eru til slík efni sem myndast í náttúrunni en eru talin hverfandi miðað við þau sem eru tilkomin vegna athafna manna.

Yfirleitt er gott samband milli kornastærðar sets og innihalds lífræns kolefnis í því (2,3).

Í fínkorna seti er meira af lífrænu kolefni en í grófu seti, og vegna tilhneigingar mengunarefna, einkum málma, til að sogast á lífrænt efni, safnast þau fyrir í fínasta hluta setsins. Í sýnum frá 1990 var styrkur megnunarefna greindur í þeim hluta setsins sem er fingerðari en sandur, þ.e. er með kornastærð $<63 \mu\text{m}$. Í þeim sýnum sem seinna voru tekin var styrkurinn mældur í öllu setsýninu.

Styrkur aðalefna og snefilefna í sjávarseti við Ísland er gefinn í töflu 7.1. Niðurstöðurnar eru byggðar á mælingum á yfir 60 sýnum sem tekin voru á árunum 1990-1996. Sýnastaðir eru sýndir á mynd 7.1.



Mynd 7.1. Setsýni 1992-1996.

Tafla 7.1. Styrkur aðal- og snefilefna í sjávarseti við Ísland.

Efni	Eining	Meðaltal	lágmark - hámark	25% mörk	75% mörk
SiO ₂	%	40,7	22,7 - 52,8	33,9	48,0
Al ₂ O ₃	%	10,8	5,7 - 14,0	8,4	13,1
CaO	%	15,9	6,8 - 31,3	9,4	20,9
Fe ₂ O ₃	%	11,2	5,8 - 16,6	8,5	13,2
K ₂ O	%	0,40	0,06 - 1,27	0,143	0,603
MgO	%	4,71	2,86 - 9,03	3,87	5,48
MnO	%	0,183	0,094 - 0,330	0,136	0,228
Na ₂ O	%	2,90	1,41 - 4,47	2,12	3,70
P ₂ O ₅	%	0,316	0,141 - 0,607	0,241	0,380
TiO ₂	%	2,01	1,01 - 3,00	1,52	2,40
Summa ^{a)}	%	85,8	71,4 - 99,3	78,5	93,2
LOI ^{b)}	%	13,9	2,1 - 27,7	7,4	20,4
C	%	2,97	0,13 - 7,27	1,04	5,11
As	mg/kg	13,1	0,8 - 44,9	8,3	17,8
Ba	mg/kg	114	46 - 575	64	125
Be	mg/kg	1,95	0,70 - 3,31	1,34	2,68
Cd	mg/kg	0,223	0,050 - 0,740	0,109	0,295
Co	mg/kg	17,5	8,9 - 32,4	12,6	21,0
Cr	mg/kg	124	60 - 391	92	137
Cu	mg/kg	55,5	22 - 122	38,7	70,4
Hg	mg/kg	≤0,072	0,01 - 4,30	0,019	0,098
Mo	mg/kg	≤6	<5 - 1230	<5	<6
Nb	mg/kg	60,1	33,9 - 89,0	48,2	69,1
Ni	mg/kg	34,1	16 - 152	22,0	39,2
Pb	mg/kg	11,7	2,1 - 77,4	5,8	14,7
Sc	mg/kg	20,1	10,0 - 38,7	14,9	26,4
Sn	mg/kg	<24			
Sr	mg/kg	564	242 - 1120	295	779
V	mg/kg	278	166 - 475	229	325
W	mg/kg	<60			
Y	mg/kg	≤14,6	<2 - 36,3	<2	21,8
Zn	mg/kg	86,5	36 - 240	54	103
Zr	mg/kg	138	59 - 272	95	177

a) Meðaltal allra mælinga, ekki bein samlagning

b) Vatn sem er bundið í efnasamböndum (Loss on ignition)

Í töflu 7.2 má sjá mismunandi styrk þungmálma í seti við Noreg, Holland og Ísland. Erfitt getur verið að bera saman gildi frá þessum þremur stöðum þar sem mismunandi bakgrunnsstyrkur í bergi og lífríki er talinn vera ástæðan fyrir þessum mun. Á Íslandi er berggrunnurinn aðallega gerður úr basalti og einkennist efnasamsetning setsins af samsetningu þess. Því er t.d. hár styrkur kopars hér á landi talinn af náttúrulegum orsökum en úti fyrir meginlandi Evrópu væri hann túlkaður sem mengun. Einnig er hlutfall áls, járn og títans hærra hér en á hinum tveimur stöðunum þar sem berggrunnurinn er annar (4).

Tafla 7.2. Meðalstyrkur þungmálma í sjávarseti (mg/kg þurrvigti).

Efni	Vesturströnd Noregs (4)	Holland Wadden haf (4)	Ísland
Hg	0,04	0,067	≤0,072
Cd	0,08	0,5	0,223
Cu	17	22	55,5
Pb	26	37	11,7
Zn	110	103	86,5

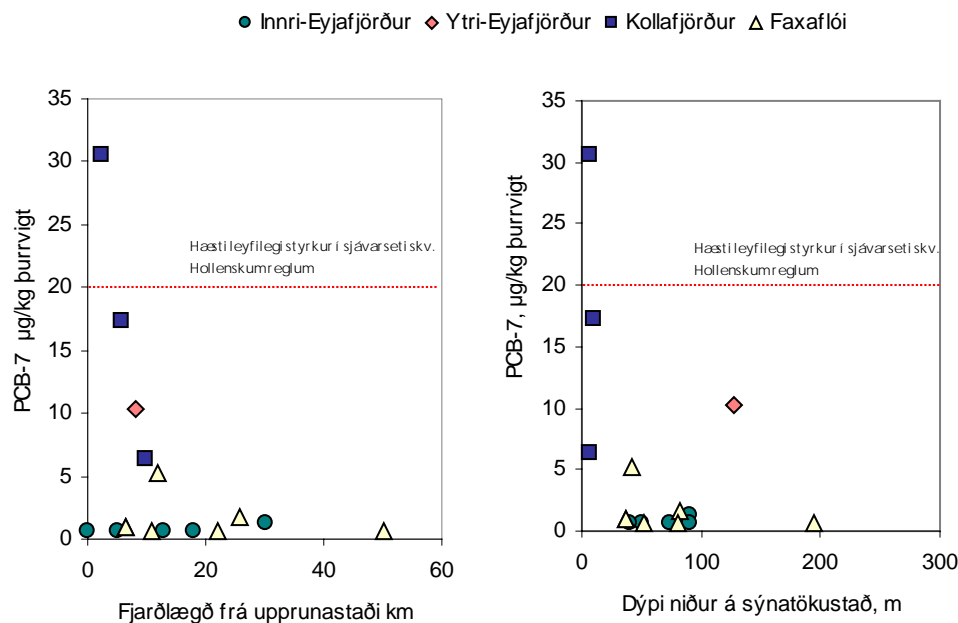
7.2 Þrávirk lífræn efni í sjávarseti

Þrávirk lífræn efni voru mæld í yfirborðsseti í samtals 16 sýnum. Tafla 7.3 sýnir helstu niðurstöður mælinganna ásamt samanburði við hámarksstyrk þrávirkra lífrænna efna í sjávarseti samkvæmt hollenskum reglum. Í flestum tilfellum er styrkur þrávirkra lífrænna efna í sjávarseti undir greiningarmörkum efnagreiningaaðferðanna. Af þessum sökum er miðgildi notað í stað meðaltals í framsetningu gagnanna. PCB-efni og DDT og afleiður þess eru algengustu þrávirku lífrænu efnin í sjávarseti. Minna er af HCH-efnum og HCB. Styrkur þrávirkra lífrænna efna í sjávarseti við Ísland er svipaður eða lægri en styrkur þeirra í sjávarseti í Norðursjó, Kattegat og við Atlantshafsströnd Frakklands og Spánar (5,6).

Tafla 7.3. Meðalstyrkur þrávirkra lífrænna efna í sjávarseti ($\mu\text{g}/\text{kg}$ þurrvigt).

	Ísland		Hollenskar reglur
	miðgildi	styrkbil	
Σ HCH	<0,2	<0,2	
Σ PCB-7	<0,9	<0,6-30,6	20
HCB	<0,1	<0,1-1,2	
Σ DDT	<0,3	<0,3-6,6	2,5

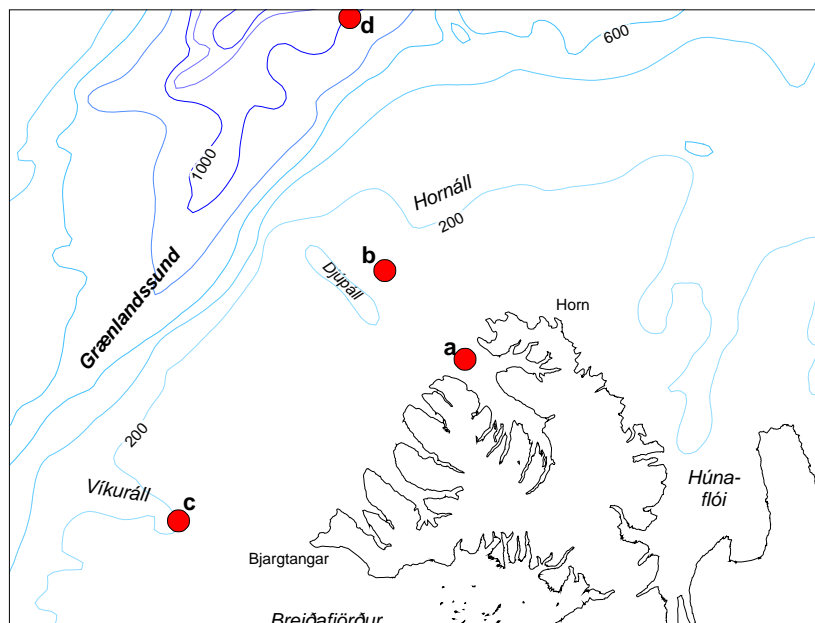
Þótt svo sé verður samt að líta til þess að sum sýnin eru tekin á miklu dýpi og oft fjarri landi. Á mynd 7.2. sést einnig að bakgrunnsstyrkur þessara efna er óháður fjarlægð frá upprunastað. Einnig eru greinileg vensl milli styrks þrávirkra lífrænna efna í sjávarseti og líklegar uppsprettu þeirra hér við land (mynd 7.2). Líta má á mælingarnar langt frá landi og á nokkru dýpi sem bakgrunnsstyrk í sjávarseti við Ísland. Mun hærri styrkur mælist í sýnum í næsta nágrenni við fráfrennsli við Ánanaust í Reykjavík, við mynni Hvalfjarðar og norðan við Hrísey sem tengja má staðbundinni mengun á þessum svæðum.



Mynd 7.2. Samtala sjö PCB-efna í sjávarseti við Ísland miðað við fjarlægð frá upprunastað/útstreymi annars vegar og dýpi hins vegar. Innri-Eyjafjörður=Akureyri, Ytri-Eyjafjörður=norðan við Hrísey, Kollafjörður=næsta nágrenni Reykjavíkur, Faxaflói=Faxaflói og mynni Hvalfjarðar.

7.3 Geislavirk efni í sjávarseti

Styrkur geislavirkra efna í seti var mældur í nokkrum kjörnum í tengslum við norrænt samstarfsverkefni árin 1994-1997. Erfitt reyndist að ná góðum kjörnum til greiningar en reynt var að ná kjörnum á 35 stöðvum (oftar en einu sinni á flestum). Aðeins fengust 5 nýtanlegir kjarnar á 4 stöðvum (mynd 7.3).



Mynd 7.3. Lega þeirra fjögurra svæða (a, b, c og d) þar sem unnt reyndist að ná setkjörnum til mælinga á styrk geislavirkra efna. Tveir kjarnar voru teknir á svæði b.

Stöðvarnar eru á um 100-1000 m dýpi. Blý-210 var notað til að meta setmyndunarhraða. Mælingar sýndu mun hægari setmyndun á djúpsvæðum (tafla 7.4 og mynd 7.4). Þykkt sneiða takmarkaði hversu nákvæmlega væri hægt að staðsetja hámarksstyrk Cs-137 í kjarnanum (7).

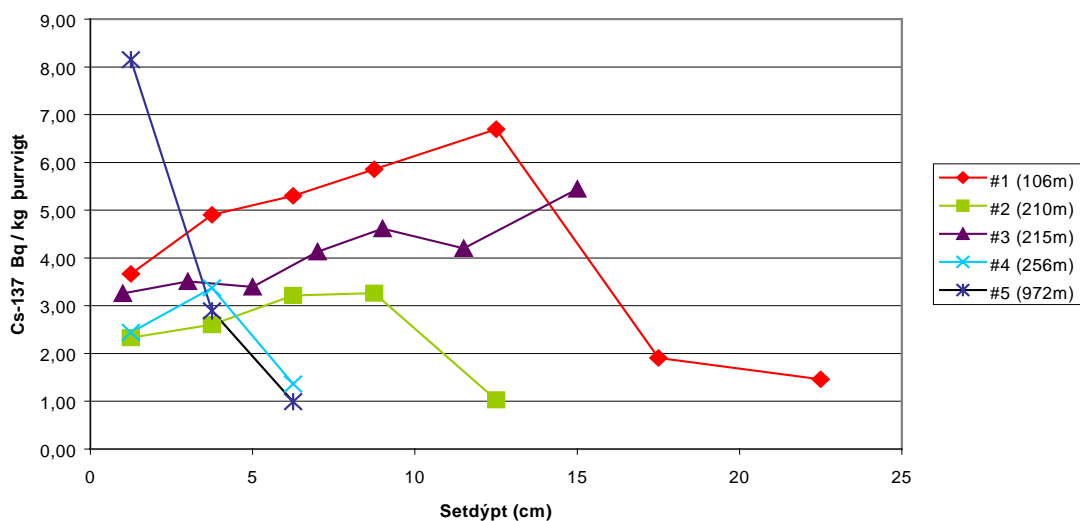
Tafla 7.4. Staðsetning lags sem sýndi hámarksstyrk Cs-137 og áætlaður aldur þess (7).

Stöð nr.	Svæði	Dýpi (m)	Dýptarlag með Cs-137 hámarki	Aldur lags	Tímabil
1	a	106	10 – 15 cm	30 – 47 ár	1950 – 1967
2	b	210	7,5 – 10 cm	30 – 44 ár	1953 – 1967
3	b	215	13 – 17 cm	38 – 50 ár	1947 – 1959
4	c	256	2,5 – 5 cm	22 – 47 ár	1950 – 1975
5	d	972	0 – 2,5 cm	0 – 40 ár	1957 – 1997

Niðurstaða greiningar á öllum 5 kjörnum er þó í samræmi við þá tilgátu að styrkur hafi verið mestur um og eftir 1960, þegar úrfelli í kjölfar tilrauna með kjarnorkusprenningar í andrúmsloftinu náði hámarki (þessum tilraunum var hætt að mestu árið 1963). Styrkur Cs-137 í efstu lögum var um 2-8 Bq/kg miðað við þurrvigt efnis.

Styrkur Cs-137 er svipaður og sjá má annars staðar við áþekk skilyrði (8). Sama gildir um setmyndunarhraða. Rannsóknin gefur því ekki ástæðu til annars en að ætla að styrkur og hegðun Cs-137 í setlögum við Ísland sé með svipuðum hætti og annars staðar. Þetta er mikilvæg vitneskja, því rannsóknir benda til að tilfærsla Cs-137 úr íslenskum jarðvegi sé oft töluvert meiri en víða erlendis (sjá kafla 9.7).

Cs-137 í seti



Mynd 7.4. Niðurstöður mælinga á styrk Cs-137 í fimm kjörnum af framangreindum fjórum svæðum. Í kjörnum 2, 4 og 5 er styrkur á mestu dýpi neðri mörk greiningar en ekki mæld gildi.

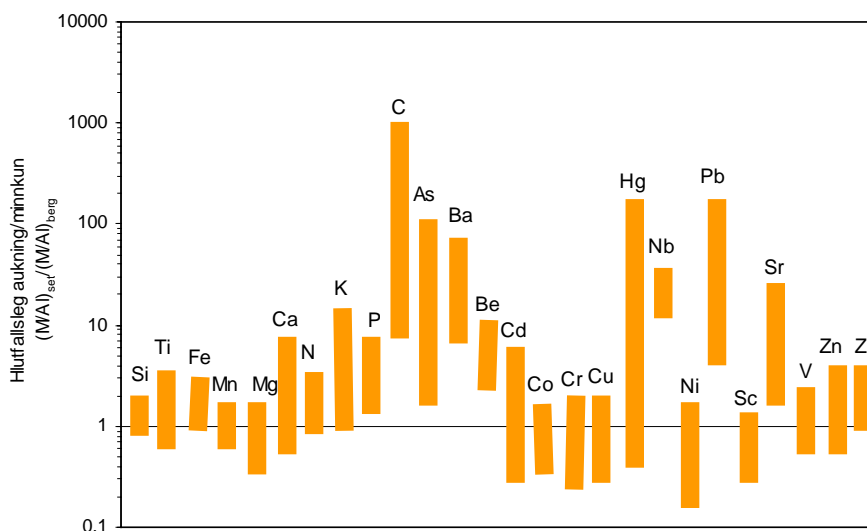
7.4 Uppruni efna í setinu

Eins og áður var greint frá er náttúrulegt sjávarset blanda af mörgum mismunandi þáttum. Þessi efni geta blandast saman á marga vegu þannig að þegar meta á hvort set er mengað af þungmálum nægja greiningar ekki einar, þar sem margir málma eru fyrir hendi í náttúrunni og breytileiki þeirra þar getur verið verulegur bæði milli staða og tíma. Þess vegna er nauðsynlegt við allt slíkt mat að hafa vitneskju um bakgrunnstyrk og náttúrulegan breytileika.

Þegar meta á hvort sjávarset er mengað af þungmálum er nauðsynlegt að hafa hugmynd um hve mikið styrkur þeirra viku frá efnasamsetningu bergs annars vegar og þeirri viðbót sem kemur frá lífrænni setmyndun hins vegar. Tilvist þeirra málma sem ekki er unnt með góðu móti að rekja til annars hvors þessara þátta, verður þá að skýra með öðrum hætti, svo sem nálægð við annars konar uppsprettur.

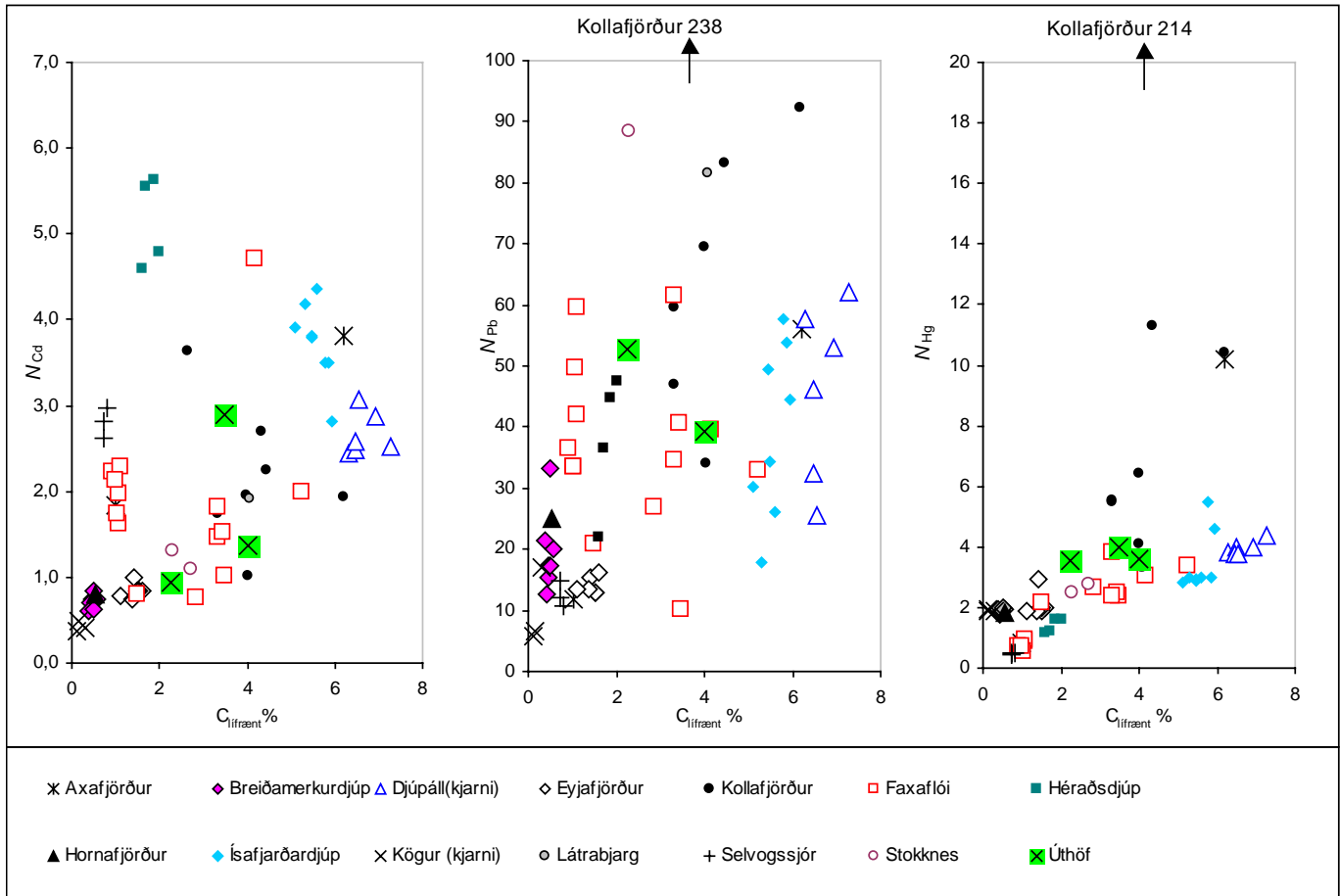
Á mynd 7.5. er sýnd hlutfallsleg breyting aðal- og snefilefna sem mæld voru í seti við Ísland miðað við ál. Þess má geta að samanburður við kísil gaf mjög svipaðar niðurstöður. Varðandi styrk efna í bergi var stuðst við efnainnihald úthafs-hryggjabasalts sem er næst samsetningu bergs hér á landi (sbr. töflu 4.2). Á myndinni kemur fram að hlutfall Ti, Fe, Mn, Mg, Na, K, P, Co, Cr, Cu, Ni, Sc, V, Zn, Zr, Si og Al í seti og bergi er býsna nálægt tölunni einum.

Jafnframt eru engin vensl milli hlutfallslegrar breytingar þessara efna og lífræns kolefnis. Þetta bendir til þess að uppruni ofantalinna efna sé að öllu leyti í bergi.



Mynd 7.5. Styrkur efna í sjávarseti sem hlutfall af styrk í bergi. Ál er notað sem viðmiðunarefni (sjá skýringartexta 7.1.).

Einnig kemur fram á mynd 7.5 að hlutföll flestra hinna efnanna (*Ca, Pb, As, Be, Cd, Hg, Nb, Sr*) eru fjarri tölunni einum og/eða breytileg. Þegar borin er saman hlutfallsleg breyting *Ca, Pb, Be, Cd, Hg* og *Sr* við lífrænt kolefni koma í ljós jákvæð vensl en á mynd 7.6 eru þau sýnd fyrir kadmín, blý og kvikasilfur. Þetta þýðir að styrkur þessara efna vex með vaxandi hlutdeild lífrænna leifa í setinu. Þegar styrkur kolefnis nálgast 0 stefnir hlutfallsleg breyting þessara efna á 1 eða þar um bil, sem þýðir að við þær aðstæður er styrkur *Ca, Pb, Be, Cd, Hg* og *Sr* í setinu eingöngu af bergrænum toga eins og búast má við. Breytingin er þó mjög breytileg eftir efnunum. Við það að lífrænt kolefni vaxi úr 0% í 8% fimmfaldast hlutfall kadmíns og kvikasilfurs meðan blý nánast hundraðfaldast.



Mynd 7.6. Hlutfallsleg breyting kadmíns (N_{Cd}), blýs (N_{Pb}) og kvikasilfurs (N_{Hg}) (sjá í skýringartexta 7.1) miðað við ál í sjávarseti við Ísland borið saman við styrk lífræns kolefnis.

Skýringartexti 7.1. Ál sem viðmiðunarefni

Ál í sjávarseti er eingöngu ættað úr bergi

$$Al_{set} = Al_{berg} \times \epsilon$$

þar sem ϵ er einskonar þynningarstuðull milli bergs og set. Með því að bera saman hlutföll efna og áls í sjávarseti annars vegar við hlutföll sömu efna í bergi hins vegar má átta sig á því hvort styrkur tiltekins efnis hafi breyst miðað við ál

$$\frac{M}{Al_{set}} \Bigg/ \frac{M}{Al_{berg}} = N$$

M = styrkur einhvers efnis

N = hlutfallsleg breyting sama efnis.

Ef $N=1$ þá eru hlutföll efnis M og áls í sjávarseti og bergi þau sömu og út frá því má draga þá ályktun að þar sem ál sé algjörlega af bergrænum uppruna í setinu þá sé efni M það einnig. Ef $N>1$ þá er setið hlutfallslega ríkara af efni M en bergið miðað við ál. Af því má draga þá ályktun að styrkur efnisins sé hærri en ætla má ef efnið væri eingöngu komið úr bergi. Hluti efnisins er því kominn annars staðar að t.d. úr lífrænum leifum. Því stærri sem N er því stærri er sá hlutur efnis M sem er af öðrum uppruna en úr bergi. Ef $N<1$ þá er setið snauðara af efni M en bergið miðað við ál. Þetta stafar hugsanlega af einhvers konar ferlum sem nema efnin úr setinu eftir eða þegar það er að myndast.

Líta má á þessa aukningu sem náttúrulegan breytileika efnanna. Hins vegar skera nokkur sýni sig auðsjáanlega úr, þ.e. hafa mun meiri hlutfallslega aukningu en venjan virðist vera. Slíkt bendir til staðbundinnar mengunar og/eða að bergið á þeim tiltekna stað sé mjög auðugt af tilteknum efnum. Eitt sýni sker sig greinilega úr hvað varðar hlutfallslega aukningu blýs og kvikasilfurs. Það sýni var tekið í Kollafirði 1993 og telja má nokkuð víst að skýringin sé staðbundin mengun tengd frárennsli á svæðinu.

Heimildir

- (1) Davíð Egilson, Freysteinn Sigurðsson, Helgi Jóhannesson, Páll Sigurðsson, Sigurður Guðjónsson, Sigurður Már Einarsson og Stefán H. Sigfússon, 1990. Fallvötn og Landbrot. Rit gefið út sameiginlega af Landgræðslu ríkisins, Náttúruverndarráði, Orkustofnun, Vegagerð ríkisins og Veiðimálastofnun. 40 bls.
- (2) Oslo and Paris commission report, 1991. Draft report on the results of the 1990. Supplementary baseline study of contaminants in fish and shellfish.
- (3) North Sea Task Force, 1993. North Sea quality status report 1993. Oslo and Paris Commissions, 138 bls.
- (4) Anon, 1994. The 1990/1991 baseline study of contaminants in surficial sediments of the waters of the Oslo and Paris Conventions. OSPAR 16/4/13-E.
- (5) Magnús Jóhannesson, Jón Ólafsson, Sigurður M. Magnússon, Davíð Egilson, Steinþór Sigurðsson, Guðjón Atli Auðunsson og Stefán Einarsson, 1995. Mengunarmælingar í sjó við Ísland, lokaskýrsla. Gefið út af Umhverfissráðuneytinu, 137 bls.
- (6) Oslo and Paris Commission, 1994. The 1990/1991 baseline study of contaminants in surficial sediments of the maritime area of the Oslo and Paris conventions. 77 bls.
- (7) Sigurður Emil Pálsson, Magnús Danielsen & Elísabet D. Ólafsdóttir, 1999. Radionuclides in sediments in Icelandic waters and their use for the determination of sedimentation rates, í NKS/EKO-1(98), *Final reports from sub-projects within the Nordic Nuclear Safety Research Project EKO-1*, í prentun.
- (8) Sigurður Emil Pálsson (ed.) 1999. NKS/EKO-1(98) Final reports from sub-projects within the Nordic Nuclear Safety Research Project EKO-1 (unpublished).

8 Lífríkið í hafinu

Ýmis mengandi efni í hafinu geta borist í sjávarlífverur eða lífverur sem nærast á sjávarfangi. Tilurð þessara mengandi efna má rekja í miklum mæli til athafna manna. Þetta er mönnum áhyggjuefni og ástæða þess að farið var út í umfangsmiklar mælingar á mengandi efnum í lífríki hafsins hér við land. Þau mengandi efni sem mestri athygli hefur verið beint að eru, eins og fram kemur í kafla 2, þungmálmar, þrávirk lífræn efni, geislavirk efni og næringarsölt. Hér við land hófst viðamikil vöktun 1989 á þessum efnum og hefur áður verið gerð grein fyrir niðurstöðum mælinga fram til 1992 (1). Í þessum kafla eru teknar fyrir niðurstöður mælinga í þorski fyrir árin 1994–1996, kræklingi og sandkola fyrir árin 1993–1996 og útbreiðsla falskyns hjá nákuðungum. Jafnframt er niðurstöðum mælinga í síld, sel og ískóði gerð nokkur skil. Stuðst er við eldri gögn til að túlka og meta ástandið og reynt er að meta eftirfarandi atriði:

- Hvort magn mengandi efna í lífverum fari vaxandi.
- Hvort heilsu manna sé hættu búin af neyslu sjávarfangs.
- Hvort lífríki sjávar sé hættu búin af völdum mengunar.

Það torveldar alla túlkun að styrkur mengandi efna í lífverum er mjög breytilegur eftir árstíma og frá ári til árs. Stór hluti af þessum breytileika er af náttúrulegum orsökum svo sem mismunandi fituástandi og þroskastigi lífveranna en einnig ytri umhverfisþáttum t.d. hitastigi sjávar sem ræðst af innstreymi hlýsjávar (sjá kafla 3). Nauðsynlegt er að safna fjölda sýna yfir langt tímabil til þess að hægt sé að meta mismun milli svæða eða breytingar með tíma. Því fleiri ár sem rannsóknin spannar þeim mun meiri möguleikar eru að greina á milli náttúrulegs breytileika og áhrifa manna á losun mengandi efna í hafið. Margskonar stoðmælingar eru nauðsynlegar til að geta túlkað niðurstöðurnar og á Guðjón Atli Auðunsson á Rannsóknastofnun fiskiðnaðarins stærstan þátt í að þær voru framkvæmdar og jafnframt því að gögnin eru það góð að hægt var að vinna úr þeim eins og gert er í þessari skýrslu.

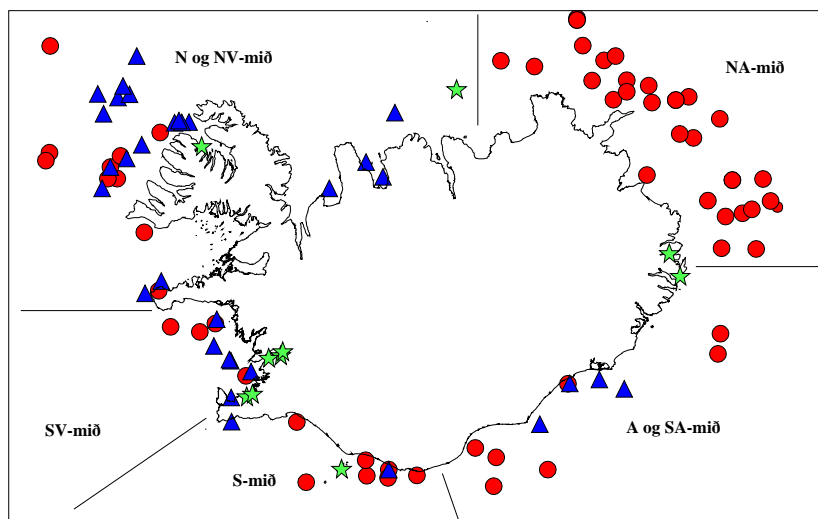
Ljóst er að nákvæmasta matið á þeim breytileika sem er í gögnunum fæst með að mæla í hverjum einstaklingi og gera tölfræðilega úttekt á þeim niðurstöðum og var hluti eldri gagna mældur á þennan hátt (1). Hins vegar þarf mikinn fjölda mælinga á einstaklingum til að fá yfirsýn yfir eiginleika hópsins en slíkar mælingar eru mjög kostnaðarsamar og einnig hafa aðrir aðilar OSPAR jafnan mælt í hópsýnum. Við mælingar á sýnum frá 1994 – 1996 var því brugðið á það ráð að flokka lifrar eftir stærð og sameina lifrar úr hverjum stærðarflokki í eitt hópsýni. Þetta fyrirkomulag hefur óneitanlega áhrif á túlkunarmöguleika og tölfræðilega úrvinnslu sem hafa þarf í huga þegar gögnin eru skoðuð.

Í þessum kafla verður gerð grein fyrir úrvinnslu gagna um þungmálma (blý, kadmín, kvikasilfur, kopar, sink), þrávirk lífræn efni (HCH, HCB, PCB, klórdan, DDT og TBT) og geislavirk efni (Cs-137), ásamt öðrum efnum sem hjálpa til við túlkun. Fjallað er um næringarefni í sjó í 6. kafla. Sú nálgun er notuð við úrvinnslu að miða frekar við magn efnanna en styrk eins og áður hefur verið gert.

8.1 Sýnataka

Í vöktunarmælingum er reynt að staðla aðstæður sem mest. Notaðar eru sömu mæliaðferðir og er reynt að minnka breytileika með því að velja ákveðna stærð fiska, taka sýni á sömu slóðum og á sama árstíma. Þannig er reynt að samræma mælipætti frá ári til árs og hafsvæða.

Á mynd 8.1 eru sýnatökustaðir sýndir. Fylgt var leiðbeiningum frá ICES og OSPAR (2).



Mynd 8.1. Sýnatökustaðir. Rauðir hringir tákna þorski, bláir þríhyrningar sandkola og grænar stjörnur krækling. Skipting miða á við þorsksýni.

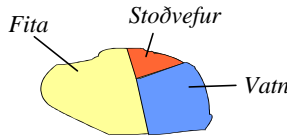
Tegundirnar sem notaðar eru í almennar vöktunarmælingar eru algengar um allt Norður-Atlantshaf, en slíkt gerir samanburð á stórum svæðum mögulegan.

Þorskur er valinn til vöktunar vegna mikillar útbreiðslu og mikilvægi í veiðum. Þorskar í almennri vöktun eru á lengdabilinu 30-45 cm og eru veiddir í mars ár hvert og lifrar flokkaðar eftir stærð. Þannig fengust 5-12 hópsýni af þorsklifur af hverjum miðum. Kræklingur er staðbundin tegund og endurspeglar tilvist mengandi efna á því strandsvæði sem hann lifir á en sýni eru tekin í ágúst. Sandkoli er botnlæg fisktegund sem lifir á tiltölulega afmörkuðu svæði og hentar því vel til vöktunar og eru sýni tekin í mars eins og fyrir þorsk. Yfirleitt eru mengandi efni mæld í lifur fiska þar sem styrkur þeirra er mestur. Undantekning frá þessu er kvikasilfur sem safnast í hold fiska og því er styrkur þess mældur í því (sjá skýringartexta 8.1). Í kræklingi eru efnin mæld í öllum fiskinum.

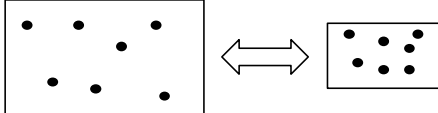
Skýringartexti 8.1. Fita í lífverum

Við mæingar á mengandi efnun í lífverum er margt að gæta. Reynt er að mæla þau þar sem mest er af þeim og um leið gera sjálfa mæinguna nákvæmari. Langflest mengandi efni safnast fyrir í lifur dýra. Undantekningar eru frá þessu og má þar helst nefna kvikasilfur sem safnast yfirleitt í holdi.

Lifur skiptist í þrjá aðal þætti; stoðvef, fitu og vatn og mörg mengandi efni safnast fyrir í fitu.

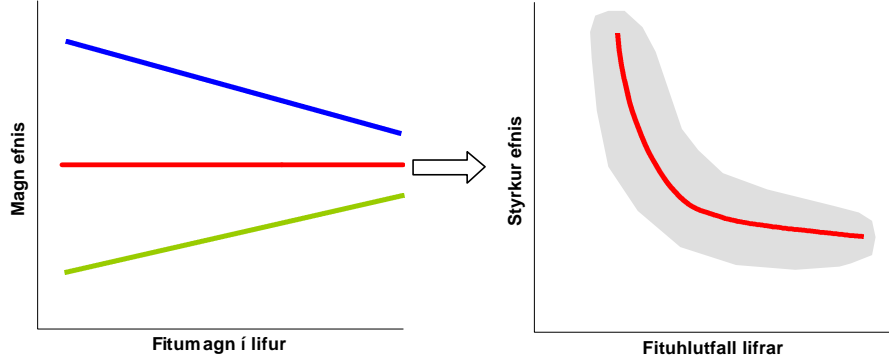


Fitumagn lifrar er háð næringarástandi lífverunnar og breytist fituhlutfallið í samræmi við það. Breytingin hefur áhrif á styrk mengandi efna í lifrinni. Styrkurinn vex þegar fitan minnkar þ.e. þegar lífveran greinist, en magnið í lifrinni getur hinsvegar haldist óbreytt.



Þetta sýnir að á margan hátt er heppilegra að nota magn mengandi efna í lifur fremur en styrk þeirra þegar meta á breytileika milli ára og staða. Hins vegar er styrkur mengandi efna notaður í alþjóðlegri vöktun og því verður að nota hann þegar samanburður er gerður milli alþjóðlegra hafssvæða.

Myndin hér að neðan sýnir samband fitu og magns efnis annars vegar og styrks hins vegar. Á myndinni til vinstri sýnir bláa línan minnkandi magn efnis, græna línan vaxandi magn og rauða línan óbreytt magn. Þegar styrkur efnis er skoðaður á myndinni til hægri kemur í ljós að línurnar falla mikið til saman og liggja yfirleitt innan skyggða svæðisins. Því er unnt að fá meiri yfirsýn þegar unnið er með magn efnis í stað styrks.

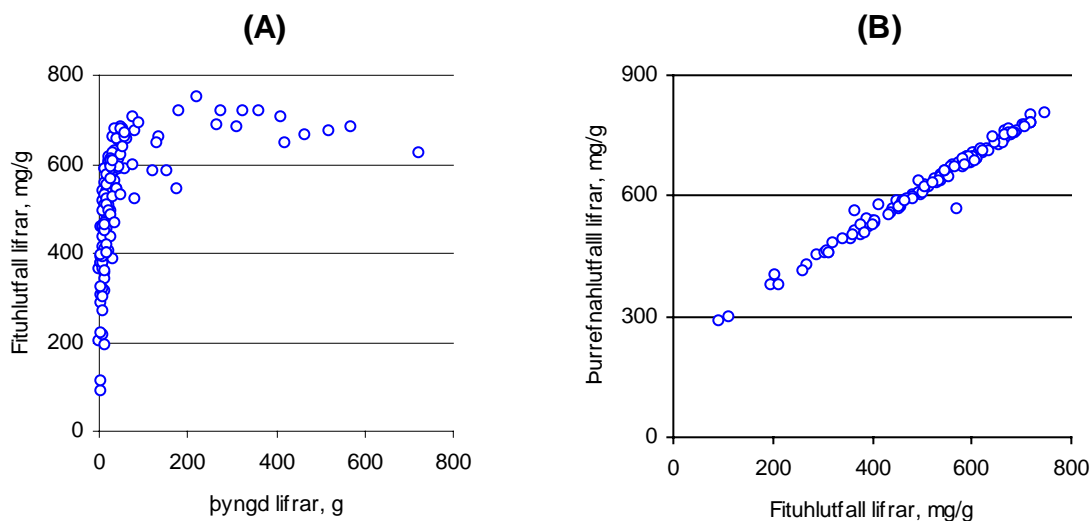


8.2 Líffræðilegur breytileiki

Styrkur efna í lífríki hafsins er mjög breytilegur og háður ýmsum þáttum, t.d. aldri lífvera, stærð, kyni, kynþroskastigi, fæðu, veiðisvæði og árstíma. Kunná þarf skil á því sem mest áhrif hefur á breytileika náttúrulegs magns efnanna í umhverfinu til að geta metið þátt mengunar af manna völdum og til að samanburður milli svæða og tíma sé raunhæfur.

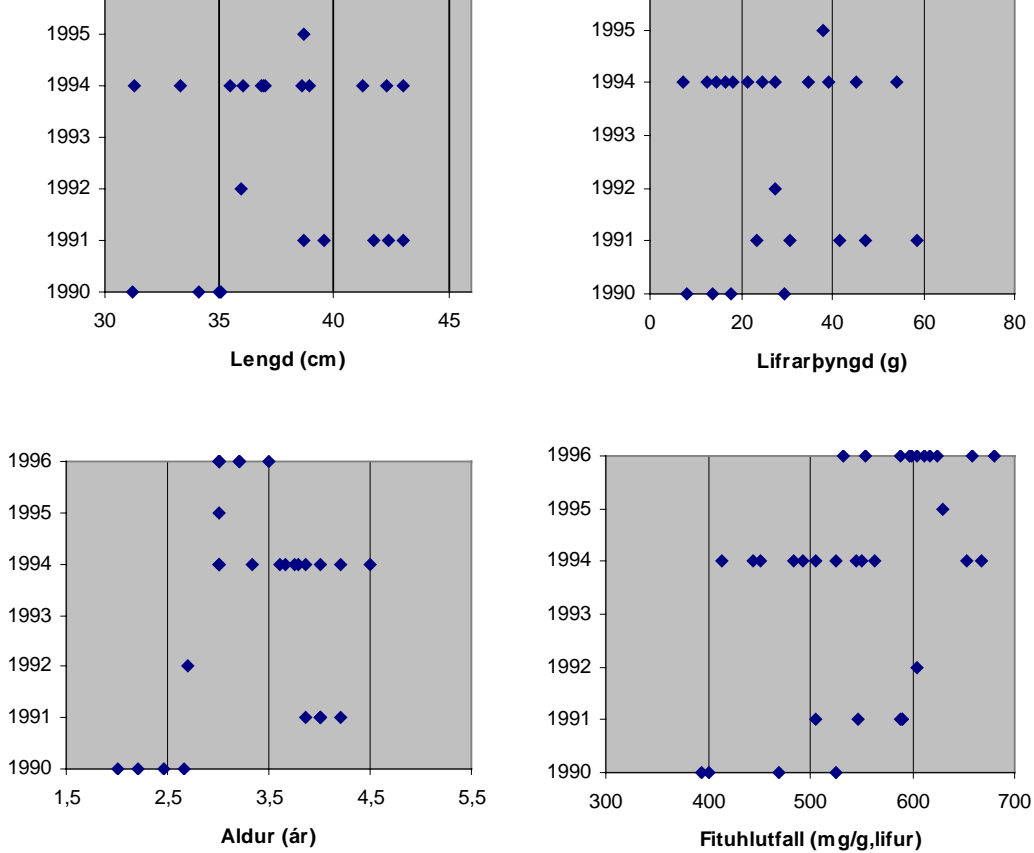
Áhrif líffræðilegra þátta á þungmálma og þrávirk lífræn efni í vefjum sjávarlífvera voru könnuð með því að mæla ýmsa líffræðilega þætti samtímis mengandi efnunum. Að undanskildum sýnum frá árinu 1995, voru þorsklifrar flokkaðar eftir þyngd og lifrar úr hverjum þyngdarflokki sameinaðar í eitt hópsýni. Í hverju hópsýni eru allt frá einni til tólf lifrar og styrkur þungmálma og þrávirkra lífrænna efna er mældur í hverju hópsýni fyrir sig.

Í þorsklifur er greinilegt samband milli þyngdar og fituinnihalds (mynd 8.2). Fituhlutinn vex mjög ört þar til lifrin hefur náð u.þ.b. 100 grömmum og fitan er orðin um 70% af þyngd (mynd 8.2a). Þetta sýnir að hlutfallsleg samsetning lifrar af fitu, stoðvef og vatni breytist lítið eftir að lifrarnar hafa náð 100 g og því ættu þessar lifrar, ef eitthvað er, að henta betur til vöktunar en þær sem léttari eru. Þorskar sem hafa lifur af þeirri stærð eru hins vegar orðnir meira en 60 cm langir og kynþroska en kynþroskanum fylgir hrygning sem getur haft áhrif á niðurstöður. Lifrarþyngd í þeim stærðarflokki af þorski sem notaður er í almenna vöktun er á bilinu 5-50 g og má því búast við töluverðum breytileika í fituinnihaldi lifrarinnar (mynd 8.2a). Á mynd 8.2b sést að línuleg vensl eru milli þurrefna og fitu í lifur.

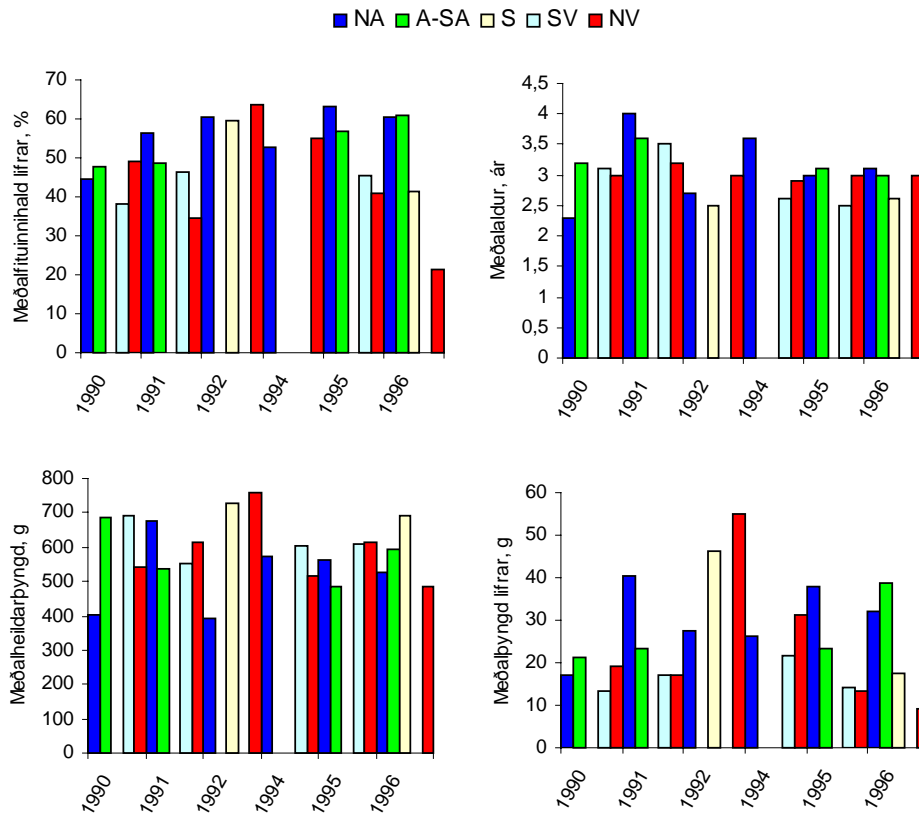


Mynd 8.2. Vensl lifrarþunga, þurrefnis- og fituinnihalds lifrar í þorski á Íslandsmiðum.

Flestar mælingar hafa verið gerðar á 30-45 cm þorski í mars af NA-miðum. Þessar mælingar voru því notaðar sem grunnur til að meta breytingar frá ári til árs. Áhrif árstíma og lengdar fisksins voru líka könnuð fyrir þorski á NA-miðum og einnig voru önnur mið borin saman við NA-mið. Við úrvinnslu eru bæði notuð áður birt gögn (1, 3) og ný gögn frá 1994-1996. Mynd 8.3 sýnir að 1990 eru fiskar almennt frekar smáir og einnig yngri en hin árin. Mælt er í fleiri hópsýnum 1994 og 1996 og er dreifing niðurstaðna því mun meiri. Elstu fiskarnir eru í sýnum frá 1991 og 1994 en lifrar eru hins vegar þyngstar í sýnum frá 1996. Breytileiki í aldri, þyngd, lifrarstærð og fitu í lifur milli svæða og ára er þó nokkur eins og sést á mynd 8.4. Þetta eru atriði sem verður að hafa í huga við úrvinnslu og samanburð gagnanna.



Mynd 8.3. Líffræðilegur breytileiki í hópsýnum af 30-45 cm löngum þorski á NA-miðum í marsmánuði á árunum 1990-1996. Punktar geta fallið hver í annan og því táknað fleiri en eitt hópsýni.



Mynd 8.4. Breytingar á líffræðilegum þáttum í sýnum af 30-45 cm löngum þorski á Íslandsmiðum. Sýnin eru tekin í mars árin 1990-1996.

8.3 Þungmálmar í lífríkinu

Þungmálmar finnast í öllum lífverum og eru sumir þeirra, eins og sink og kopar þeim nauðsynlegir, meðan aðrir svo sem kadmín, blý, arsen og kvikasilfur gegna engu þekktu hlutverki (sjá kafla 2.4). Styrkur þungmálma í lífverum stjórnast ýmist af náttúrulegum orsökum eða mengun. Náttúrulegar sveiflur valda því að styrkur er oft mjög breytilegur. Nauðsynlegt er að þekkja náttúrulegan breytileika til að geta sagt til hvort um mengun sé að ræða og hvort magn efnanna sé raunverulega að breytast (sjá skýringartexta 8.2).

Víðtækum gögnum hefur verið safnað um þungmálma í sjávarlífverum, sérstaklega í þorski, kræklingi og sandkóla á tímabilinu 1990-1996. Árið 1993 náðust þó engin þorsksýni. Niðurstöðum rannsókna frá árunum 1990-1992 hefur áður verið gerð skil (1). Niðurstöður mælinga á þorski árin 1994-1996 eru birtar í verkefnaskýrslu frá Rannsóknarstofnun fiskiðnaðarins til AMSUM hópsins (4) og ennfremur er fjallað um þær í heimild 2. Þeir málmar sem nánar er fjallað um eru kadmín, sink, kopar og kvikasilfur en blý reyndist hvergi í mælanlegu magni í þorsklifur Einnig eru niðurstöður mælinga fyrir mangan, járn, arsen og selen sýndar.

8.3.1 Þorskur

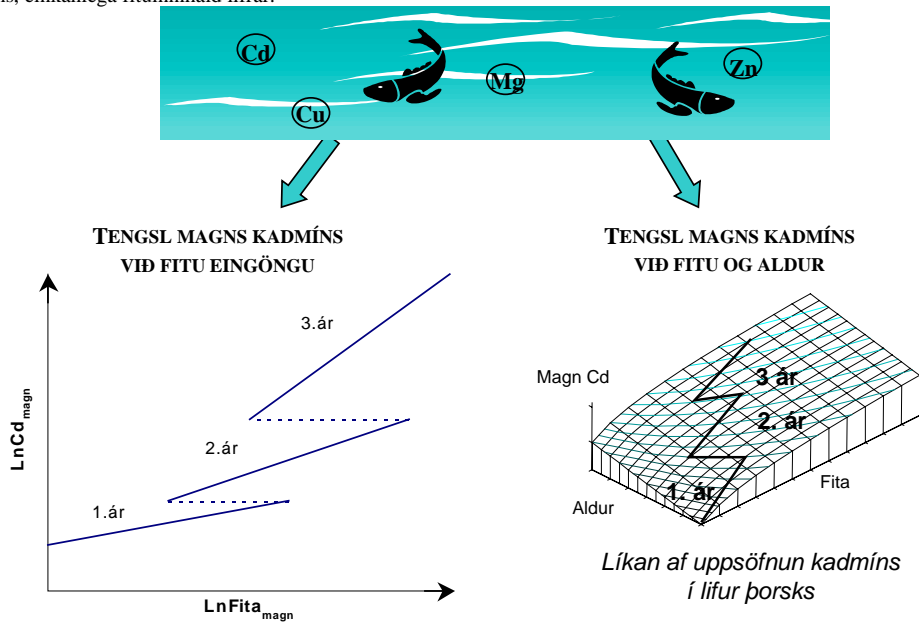
Í leiðbeiningum ICES og OSPAR er kveðið á um að nota eigi 30-45 cm langa þorska í samanburðarmælingar og sýnir tafla 8.1 fjölda hópsýna sem notuð voru í þungmálmagreiningar. Hópsýnin eru flokkuð eftir mánuðum, miðum og árum. Ávallt var mælt á Norðausturmiðum í mars, auk þess í janúar 1995, júní-júlí 1994 og 1996 og í október 1994. Einnig var mælt á öðrum miðum í mars, þótt mælingar frá einstökum miðum féllu niður sum árin. Mælt var í fleiri lengdarflokki til samanburðar á Norðausturmiðum í mars árin 1994 og 1996, án þess að þeim mælingum séu gerð skil í töflu 8.1.

Tafla 8.1. Yfirlit yfir fjölda hópsýna sem notuð voru í greiningar á þungmálum í 30-45 cm löngum þorsk, árin 1990-1996.

Mánuður	Mið	1990	1991	1992	1994	1995	1996	Alls
mars	NA	4	5	1	12	1	11	34
mars	NV	5	5	1	5	1	5	22
mars	A-SA	5	5			1	8	19
mars	SV	5	2		6	1		14
mars	S			1			5	6
<i>Alls í mars</i>		<i>19</i>	<i>17</i>	<i>3</i>	<i>23</i>	<i>4</i>	<i>29</i>	95
jan.	NA					5		5
jún.-júl.	NA				6		5	11
okt.	NA				5			5
<i>Samtals</i>		<i>19</i>	<i>17</i>	<i>3</i>	<i>33</i>	<i>9</i>	<i>35</i>	116

Við úrvinnslu gagnanna í þessari skýrslu er gengið út frá því að réttara og betra sé að bera saman magn efnisins í lifrinni í stað styrks (sjá skýringartexta 8.1). Gert er ráð fyrir að magn þungmálma í lifur ráðist af stærð og aldri fisksins, veiðistað, árstíma og árinu sem hann er veiddur. Ennfremur er gert ráð fyrir að engin víxlverkun sé milli þessara þátta, heldur hafi þeir sjálfstæð áhrif hver um sig sem margfalda megi saman til þess að meta heildaráhrif þeirra (skýringartexti 8.2). Að þessum forsendum gefnum má reikna áhrif hvers þátta um sig og bera þannig saman mið, árstíma eða einstök ár. Sá stærðarmælikvarði sem hér er notaður er fitumagn í lifrinni.

Gengið er út frá þeirri hugmynd að upptaka mengandi efna í fiskum á sama aldri sé háð framboði á hverjum stað og komi m.a. í gegnum fæðu. Þetta þýðir að við stöðugt magn mengandi efna í umhverfinu og í fiski á sama aldri ætti magn mengandi efna að vera í hlutfalli við fitu fisksins, einkánlega fituinnihald lifrar.



Fiskur fitnar þegar fæðuframboð er nægjanlegt. Mengandi efni safnast fyrir í lifur á vaxtartímanum jafnframt því sem fitan vex. Þegar fæðuframboð minnkar t.d. á veturnum greinist fiskurinn, en sumir þungmálmar, t.d. kadmín og sink, losna ekki úr lifur þótt fitan minnki. Í samræmi við þetta ætti magn mengandi efna í lifrinni að haldast óbreytt þótt fiskurinn horist yfir vetrarmánuðina. Þegar fiskurinn fitnar aftur við aukið fæðuframboð að vori, vex magnið í lifrinni aftur. Samfara því að fiskurinn stækkar þarf hann meiri fæðu og uppsöfnunin verður hraðari þótt framboð hinna mengandi efna kunni að vera óbreytt.

Til að geta lýst á sem bestan hátt breytileika í styrk efna á milli ára er sett fram líking fyrir venslum mengandi efna og fitu í lifur fyrir mismunandi aldurshópa. Fyrir kadmín má því skrifa hana sem

$$\ln Cd_{magn} = k + \alpha * \ln Fita_{magn} + \alpha_1 * Aldur \quad [1]$$

þar sem α_1 er stuðull sem lýsir framboði mengandi efna og upptökuhæfni hvers aldurshóps en:
 α er stuðull sem endurspeglar framboð mengandi efna og upptökuhæfni fiskanna
 k er fasti sem endurspeglar mengandi efni sem skýrast með aldri, miðum, árstíma og lengdarflokki fiskanna

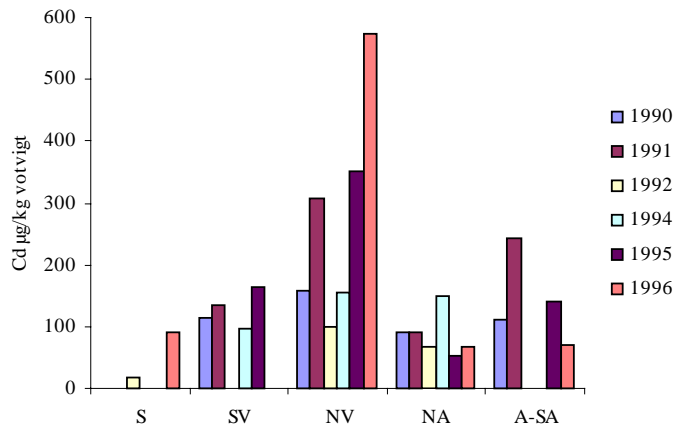
Upphefja verður lógaritmann til að fá út raunverulegt magn málmisins og þá verður líkingin:

$$Cd_{magn} = K * Fita_{magn}^{\alpha} * e^{\alpha_1 * Aldur} \quad [2]$$

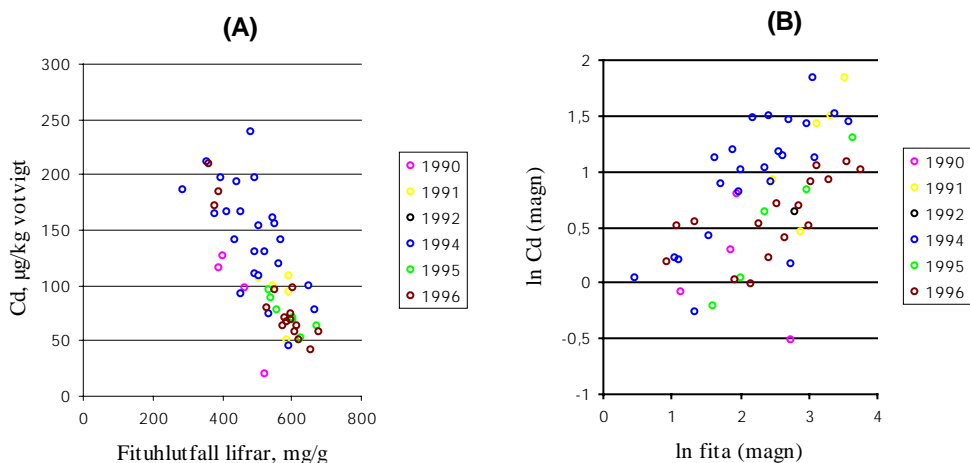
Þar sem $K = e^k$, og kallaður hér á eftir hlutfallsstuðull og er jafngildi magns málmisins við aldurinn 0 og fitu lifrar = 1 g.
 Stuðlarnir α og α_1 sem eru hallatölur þegar sambandið er lógaritmískt, en verða veldisvísar í líkingu [2].

Sú aðferð sem hingað til hefur verið notuð er að meta styrk efnisins og bera hann saman frá ári til árs. Eins og glögglega sést á mynd 8.5 er styrkur kadmíns mjög breytilegur eftir árum og stöðum. Svipaða sögu má segja af öðrum þungmálum (mynd 8.9). Vegna þessa breytileika er oft erfitt að gera raunhæfan samanburð.

Mynd 8.5. Kadmín í lifur úr 30-45 cm stórum þorski af Íslandsmiðum í mars, á árunum 1990-1996.



Greinilegt er á mynd 8.6 að styrkur *kadmíns* lækkar þegar styrkur fitunnar eykst (mynd 8.6a). Sé hins vegar litið á magn kadmíns þá eykst það með auknu fitumagni. Á sama hátt sýna tölfræðilegir útreikningar að aldur fisksins hefur veruleg áhrif (sjá skýringartexta 8.2).



Mynd 8.6. Vensl kadmíns og fitu á NA-miðum 1990-1996 í 30-45 cm löngum þorski. a) kadmínstyrkur á móti fituhlutfalli og b) kadmínmagn á móti fitumagni.

Hlutfallsstuðlar fyrir þorsk sem veiddur er í mars á NA-miðum eru sýndir í töflu 8.2 (einnig skýringartexta 8.3) og endurspeglast breytingar frá ári til árs í stuðlunum.

Tafla 8.2. Hlutfallsstuðlar fyrir kadmín, 30-45 cm langur þorskur í mars á NA-miðum.

Ár	Fjöldi hópsýna	Hlutfallsstuðull	% frávik frá 1996
1990	4	0,158	25
1991	5	0,123	-3
1992	1	0,163	28
1994	12	0,176	38
1995	1	0,129	2
1996	11	0,127	0

Marktæk breyting er frá ári til árs í magni kadmíns þau ár sem athuguð voru. Hér er um sveiflur að ræða því enga þróun er að sjá í magni fyrir tímabilið í heild. Samanburður var gerður með því að bera saman skýringargildi tveggja líkana. Annars vegar var kadmínmagn skýrt með fitumagni og aldri fisksins, hins vegar með fitumagni, aldri og mælingarári og skýrir síðara líkanið kadmínmagnið marktækt betur (skýringartexti 8.3). Gögnin benda því til að þrátt fyrir sveiflur í kadmínmagni í þorskklifur af NA-miðum er enga ákveðna þróun að sjá.

Hlutfallsstuðlar voru reiknaðir út fyrir hver mið og er frávik frá stuðli fyrir NA-mið sýnt í töflu 8.3.

Tafla 8.3. Samanburður á hlutfallsstuðlum fyrir kadmín í 30-45 cm löngum þorski í mars eftir miðum.

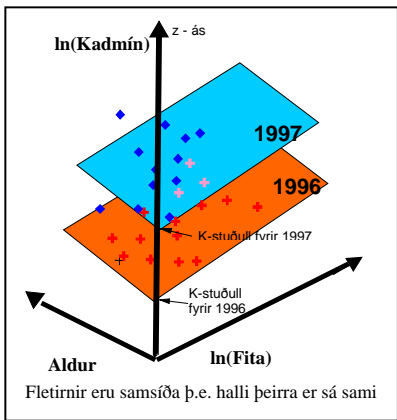
Mið	Fjöldi hópsýna	Hlutfallsstuðull	% frávik frá NA-miðum
NA	34	0,163	0
NV	22	0,328	101
A-SA	19	0,181	11
S	6	0,145	-11
SV	14	0,156	-4

NV-mið skera sig úr, en munur á kadmínmagni milli annarra miða er ekki marktækur. Samanburðurinn var gerður með því að bera saman skýringargildi tveggja líkana líkt og fyrir samanburð frá ári til árs. Annars vegar var kadmínmagn skýrt með fitumagni, aldri og athugunarári, hins vegar með sömu breytum að viðbættum miðum. Síðara líkanið er marktækt betra ef þorskur af öllum miðum er skoðaður. Sé gögnum af NV-miðum sleppt í samanburðinum þá er ekki marktækur munur á skýringargildi líkananna.

Skýringartexti 8.3. Hlutfallsstuðlar, útreikningar

Hér að neðan verður þeirri aðferðarfræði sem kynnt er í skýringartexta 8.2 lýst nánar og mæligögn fyrir kadmín tekni sem dæmi.

Skýringarmyndin sýnir lógaritmann af kadmínmagni í þorsklifur teiknaðan á móti aldri fiskisins og lógaritma af fitumagni lifrar, samanber líkingu [1] í skýringartexta 8.2. Gögnin dreifast nokkuð þegar þau eru skoðuð ein og sér. Hins vegar má sjá aðgreiningu þegar stoðmælingar eru hafðar til hliðsjónar. Til að mynda er nokkuð áberandi að einstök ár virðast greina sig hvert frá öðru. Því er nærtækt að kanna hvort aðgreining eftir árum eykur skýringargildi líkansins. Líkanið reiknar hallatölur besta aðhvarfsplans (regression) sem fellur að gögnunum öllum, en breytileiki frá ári til árs kemur fram í mismunandi skurðpunkti (**k**) við z-ásinn. **Hlutfallsstuðullinn K** í líkingu [2] í skýringartexta 8.2 er fundinn með að taka exponent (veldisvísisfall) af **k**, þ.e. **K** = exp(**k**).



Niðurstöður slíkra prófana fyrir kadmín í 30–45 cm löngum þorski á NA-miðum á frá ári til árs í marsmánuði eru:

hallatala ln (fitumagns): $\alpha = 0,278$

hallatala aldurs: $\alpha_1 = 0,615$

Ár	Fjöldi hópsýna	Skurðp. k	Hlutfallst. K	% frávik frá 1996
1990	4	-1,84	0,158	25
1991	5	-2,10	0,123	-3
1992	1	-1,81	0,163	28
1994	12	-1,74	0,176	38
1995	1	-2,05	0,129	2
1996	11	-2,06	0,127	0

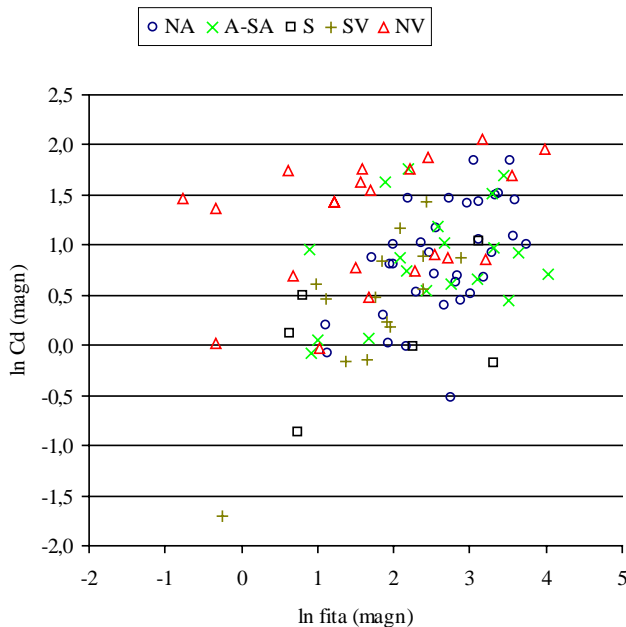
Taflan sýnir að nokkur munur er á hlutfallsstuðlum á frá ári til árs, en gildin dreifast tilviljunarkennt um meðaltalið. Í ljósi þess má fullyrða að gögnin sýni ekki þróun til aukins eða minnkandi magns frá ári til árs.

Við mat á breytingum frá ári til árs og milli miða voru borin saman skýringargildi tveggja líkana. Kadmínmagn á mismunandi árum var annars vegar skýrt með fitumagni og aldri fiskisins, hins vegar með fitumagni, aldri og mælingarári. Hverju ári voru gefin sjálfstæð áhrif, ekki var gert ráð fyrir fastri breytingu frá ári til árs. Notað var F-próf („Partial F“) til þess að bera líkónin saman og skýrir síðara líkanið kadmínmagnið marktækt betur. Það þýðir að hafa þarf mælingarárið með sem skýribreytu. Milli miða var kadmínmagn annars vegar skýrt með fitumagni, aldri og athugunarári, hins vegar með sömu breytum að viðbættum miðum. F- próf sýndi að miðin höfðu einungis skýringargildi ef NV-mið voru tekin með.

Athugun á NV-miðum sýnir að þar er marktækur munur eftir árum. Hér er um sveiflu að ræða en ekki þróun. Hugsanlegt er að samspil hlýrra og kaldra strauma hafi meiri áhrif lífríki á NV-miðum en annars staðar (sjá kafla 3). Ekkert bendir til að kadmínmagn í þorsklifur á Íslandsmiðum hafi breyst á undanförunum árum, en hins vegar er marktækur munur milli miða. Á mynd 8.7 sést dreifing á magni kadmíns sem fall af fitumagni frá mismunandi svæðum og þar kemur sérstaða NV-miða einnig vel í ljós.

Eins og sést í töflu 8.1 voru þungmálmur mældir í þorsksýnum á mismunandi árstímum, í júní-júlí 1994, október 1994, janúar 1995 og í júní-júlí 1996, auk mælinga í mars. Ekki er unnt að greina marktækan mun á kadmínmagni milli árstíma.

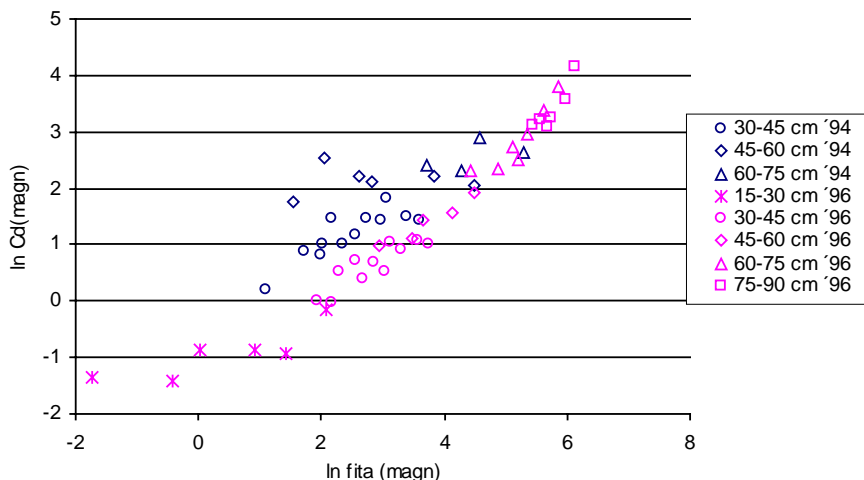
Auk mælinga á þungmálmum í viðmiðunarhópnum (30-45 cm þorski) voru sömu málmar mældir í öðrum lengdarflokkum þorsks árin 1994-1996. Þær mælingar voru allar gerðar í sýnum teknum í mars á NA-miðum. Mynd 8.8 sýnir kadmínmagn og fitumagn úr þeim mælingum. Þegar kadmínmagn í þorsklifur hefur verið skýrt með fitumagni, aldri og mælingarári bætir lengdarflokkur fiskisins ekki marktækt við skýringargildi tölfræðilíkans af þeirri gerð sem hér hefur verið notuð.



Mynd 8.7. Magn kadmíns í 30-45 cm löngum þorski af Íslandsmiðum í marsmánuði á árunum 1990-1996.

Það vekur athygli, eins og sést á mynd 8.8, að mælingar í jaðarlengdarflokkunum (15-30 cm og 75-90 cm) fylgja ekki sömu ferlum. Sé eingöngu horft á 15-30 cm lengdarflokkinn virðast breytingar á kadmín magni samhliða breytingum á fitumagni vera minni en hjá lengri fiski. Þessu er öfugt farið í 75-90 cm lengdarflokknum. Þetta gefur tilefni til að hugleiða hvort það líkan sem notað er í þessari skýrslu til að lýsa sambandi kadmín magns og stærðar fiskisins sé of gróft þegar borinn er saman fiskur af mjög mismunandi stærð.

Styrkur blýs í þorsklifur var í öllum tilfellum undir efnagreiningarmörkum.



Mynd 8.8. Vensl kadmín magns og fitu magns í mismunandi lengdarflokkum þorsks á NA-miðum í mars árin 1994 og 1996.

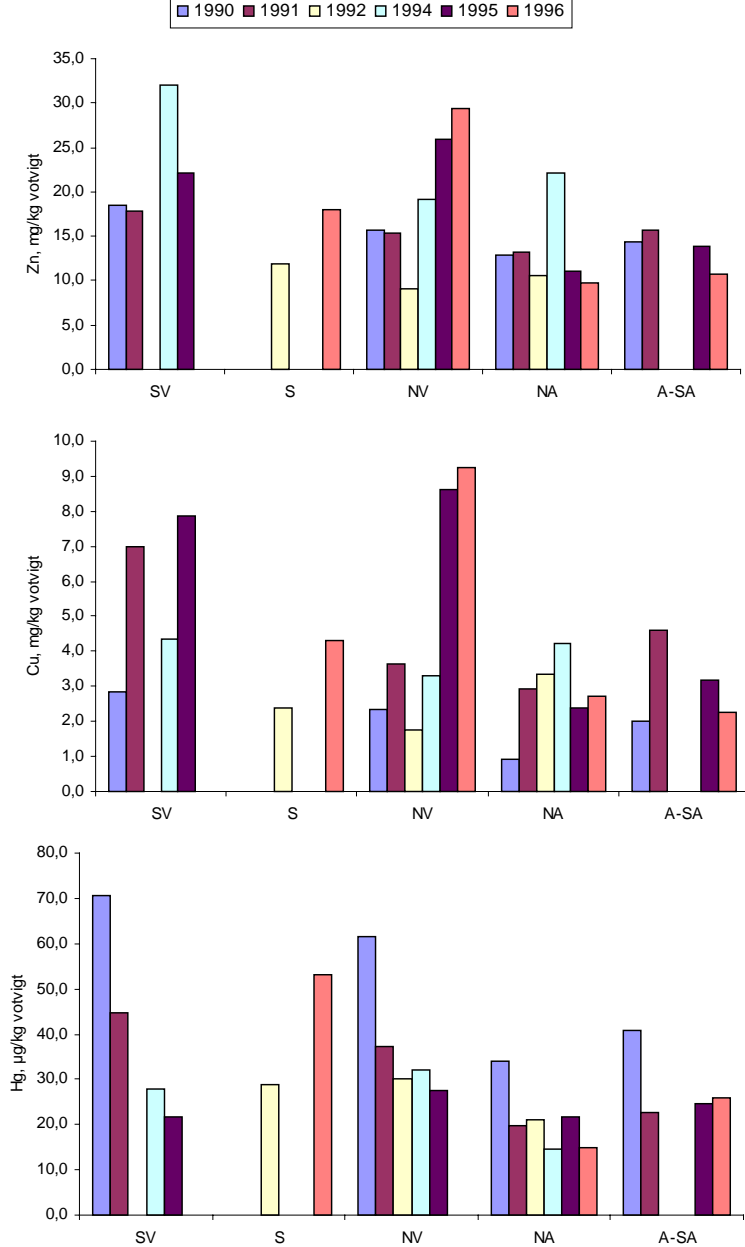
Sink er nauðsynlegt snefilefni fyrir lífverur og er styrkur þess í þorsklifur á bilinu 10 til 30 mg/kg miðað við votvigt (mynd 8.9). Hann er all breytilegur frá ári til árs. Notað var sama líkan og fyrir kadmín (skýringartexti 8.2). Hlutfallsstuðlar fyrir sink í þorsklifur á NA-miðum eru sýndir í töflu 8.4 og er marktækur munur frá ári til árs. Hér er um sveiflu að ræða en ekki þróun. Vert er að benda á að um einungis eina mælingu er að ræða árin 1992 og 1995.

Tafla 8.4. Hlutfallsstuðlar fyrir sink og kopar í 30-45 cm löngum þorski á NA-miðum.

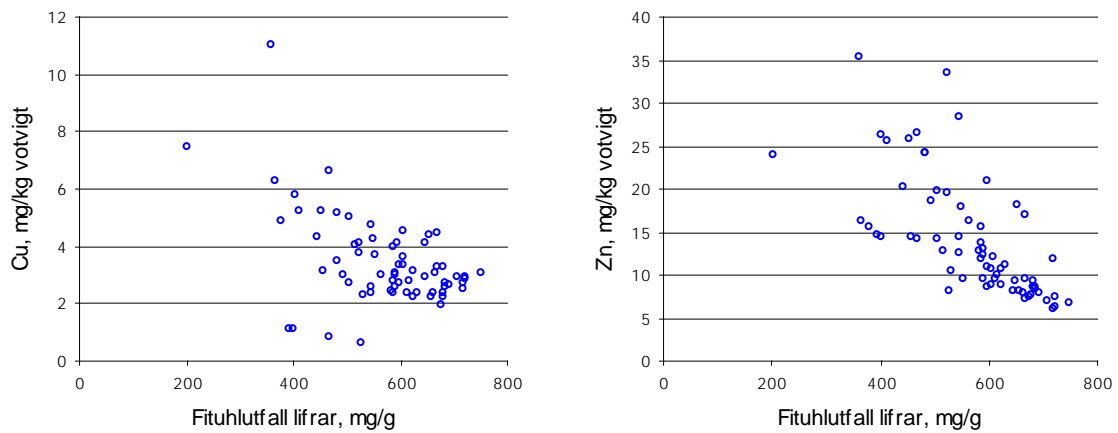
Ár	Fjöldi hópsýna	Sink		Kopar	
		Hlutfallsstuðull	% frávik frá 1996	Hlutfallsstuðull	% frávik frá 1996
1990	4	28,8	56	2,3	-61
1991	5	22,0	20	5,9	1
1992	1	22,8	24	7,9	35
1994	12	34,6	88	8,2	40
1995	1	24,1	31	5,7	-2
1996	11	18,4	0	5,8	0

Einnig kom fram marktækur munur milli miða þar sem NV-mið skáru sig úr. Þar virðist vera stífgandi í sinkmagni, en ekki er hægt að skera úr um hvort þetta sé náttúruleg sveifla eða ekki.

Kopar er lífverum nauðsynlegt snefilefni eins og sink. Styrkurinn í þorsklifur er all breytilegur frá ári til árs og miða, liggur á bilinu 1-11 mg/kg miðað við votvigt og lækkar styrkurinn á hvert gramm lifrar með hækkandi fituhlutfalli, og virðist því þynnast út með fitunni (mynd 8.10). Skýra má breytileikann í magni kopars í lifur með fituinnihaldi hennar og aldri fiskisins á sama hátt og gert er fyrir kadmín, en sambandið milli magns kopars, fitu magns og aldurs virðist vera flóknara en fyrir kadmín og sink. Þetta lýsir sér í því að fylgni gagnanna batnar þegar tvöfaldur lógaritmi af magni kopars er teiknaður á móti lógaritma af fitu, og gæti skýringar verið að leita í líkamsstarfsemi lífverunnar við upptöku og losun kopars. Hlutfallsstuðlar fyrir kopar eftir árum eru sýndir í töflu 8.4 og er marktækur munur frá ári til árs. Þessi munur kemur fram sem sveifla líkt og fyrir sink. Meira magn kopars er í sýnum frá NV-miðum og er sá munur marktækur en ekki er heldur ekki nein þróun þar.



Mynd 8.9. Styrkur þungmálma í lifur úr 30-45 cm löngum þorski af Íslandsmiðum í marsmánuði á árunum 1990-96. Kvikasilfur (Hg) er mælt í holdi fiska.



Mynd 8.10. Venzl kopars og sinks í lifur úr 30-45 cm löngum þorski og fituhlutfalls hennar. Sýni tekin á NA-miðum í mars á árunum 1990-1996.

Breytingar í magni sinks og kopars í þorsklifur frá ári til árs skýrist því af líffræðilegum þáttum á sama hátt og gildir fyrir kadmín og er enga þróun að sjá í magni þeirra fyrir þetta tímabil ferkar en fyrir kadmín. Sýni frá NV-miðum skera sig úr, hafa meira magn en sýni frá öðrum miðum, en enga þróun er þar heldur að sjá.

Úrvinnsla á mæliniðurstöðum úr þorski frá 1994-1996 hefur verið kynnt innan ICES (2). Niðurstaða þeirrar úrvinnslu er að almennt megi lýsa sambandi milli snefilefna og líffræðilegra þátta þannig að magn snefilefna í þorsklifur sé í hlutfalli við þunga hins fitulausa hluta lifrarinnar og aldur fisksins (sjá skýringartexta 8.4). Þessi nálgun er svipuð þeirri sem notuð er í þessari skýrslu, en ekki kemur fram í heimild (2) hvort athuguð voru hugsanleg áhrif stærðar, staðsetningar eða árstíma, áður en úrvinnsla var gerð. Megin munurinn á þessum tveim nálgunum er að líkanið sem kynnt er hér gefur færi á að meta hvort breytingar séu í magni mengandi efni milli miða og frá ári til árs.

Skýringartexti 8.4. Önnur reiknilíkön

Við úrvinnslu gagna í (2) er notast við eftirfarandi jöfnu til að lýsa sambandi á milli snefilefna og líffræðilegra þátta:

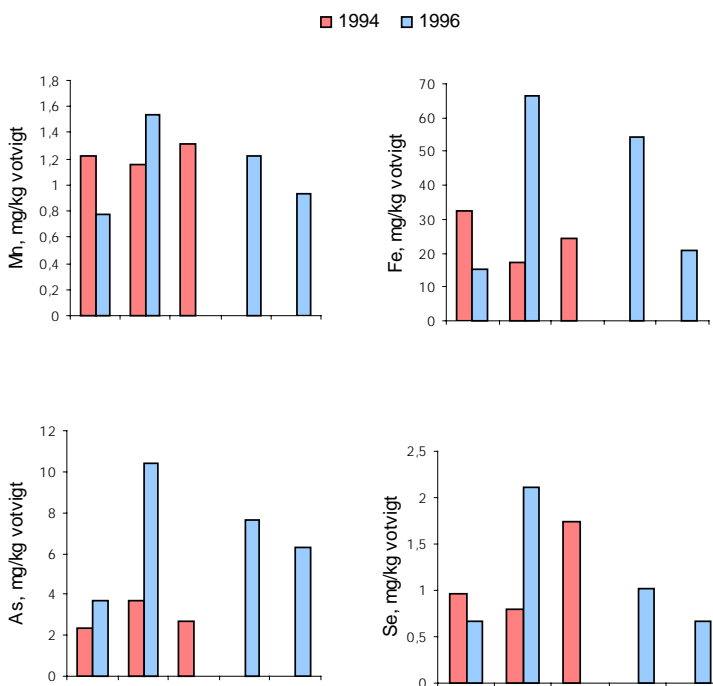
$$\ln(Cd_{magn}) = A + B \times \ln(\text{þungi fitulausrar lifur}) + D \times \ln(\text{aldur})$$

Í heimild (2) eru niðurstöður um tengsl þessara þungmálma við líffræðilega þætti þær að:

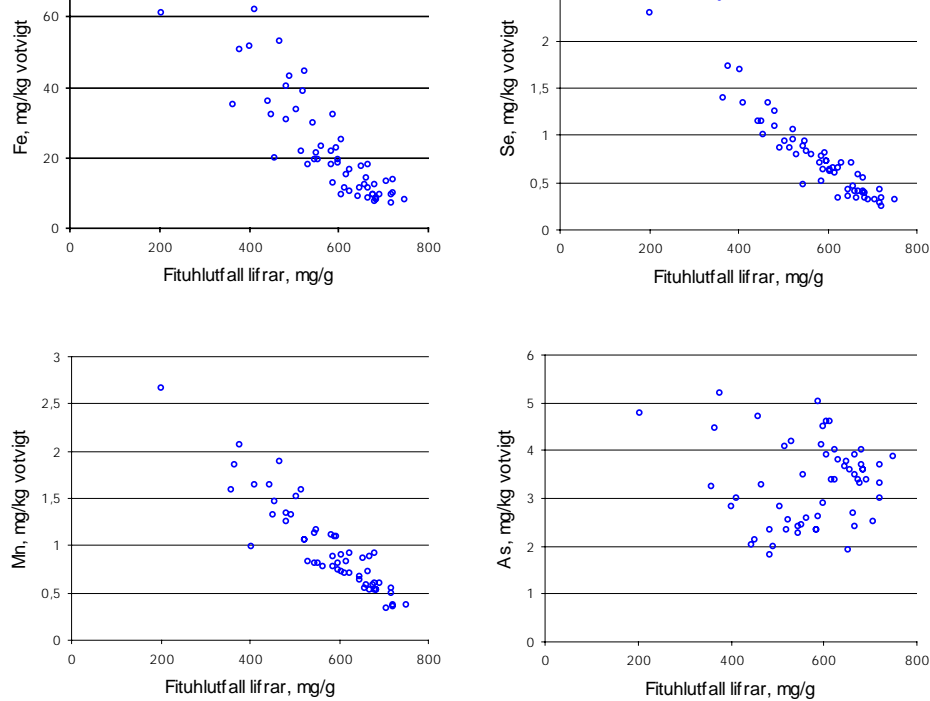
- ✓ styrkur kadmíns minnkar miðað við fitulausan hluta lifrar þegar heildarstærð lifrar eykst en aldur vinnur á móti þessari breytingu,
- ✓ styrkur sinks er ekki háður aldri eða heildarþyngd lifrar en eykst með auknu magni af fitulausri lifur,
- ✓ styrkur kopars miðað við fitulausan hluta lifrar minnkar með auknu magni af fitulausum vef en aldur virðist vinna á móti þessari styrklækkun.

Kvikasilfur er mælt í holdi fiska þar sem það binst eggjahvítuefnum. Niðurstöður mælinga á 30-45 cm löngum þorski frá 1991 til 1996 eru sýndar á mynd 8.9. Nokkuð gott samband er milli styrks kvikasilfurs annars vegar og aldurs og heildarstærðar þorsks hins vegar. Þannig vex styrkurinn með stærð og aldri.

Styrkur járns, mangans, selens og arsens af Íslandsmiðum 1994 og 1996 er sýndur á mynd 8.11. Styrkur þessara efna er talsvert breytilegur frá ári til árs og milli miða. Hins vegar ná gögnin einungis til tveggja ára svo að varhugavert er að draga miklar ályktanir af þeim. Þó virðist ljóst, að arsen undanskildu, að styrkur þessara efna í lifur er háður fituinnihaldi hennar á sama hátt og styrkur kadmíns. Venslin eru sérstaklega greinileg fyrir selen og mangan (mynd 8.12).



Mynd 8.11. Meðalstyrkur mangans, járns, arsens og selens í lifur úr 30-45 cm löngum þorski af Íslandsmiðum 1994 og 1996.



Mynd 8.12. Venzl styrks þungmálma í lifur úr 30-45 cm löngum þorski og fituhlutfalls hennar. Sýni tekin á NA-miðum í mars á árunum 1990-1996.

8.3.2 Samanburður við önnur hafssvæði

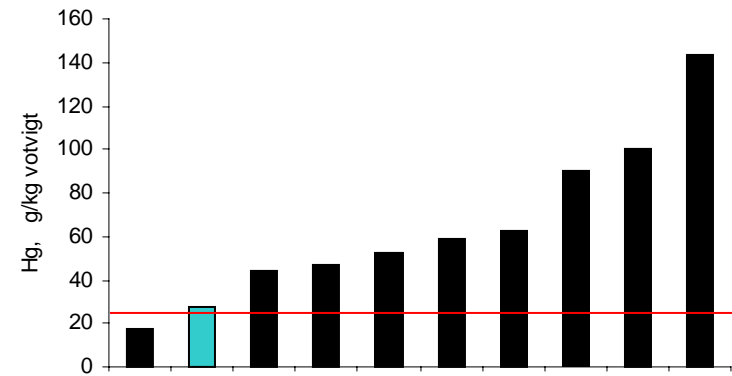
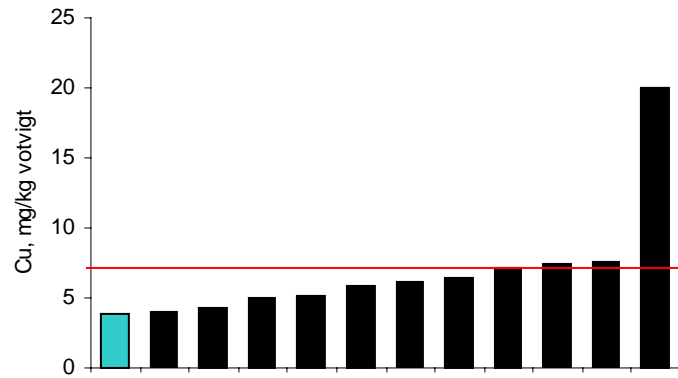
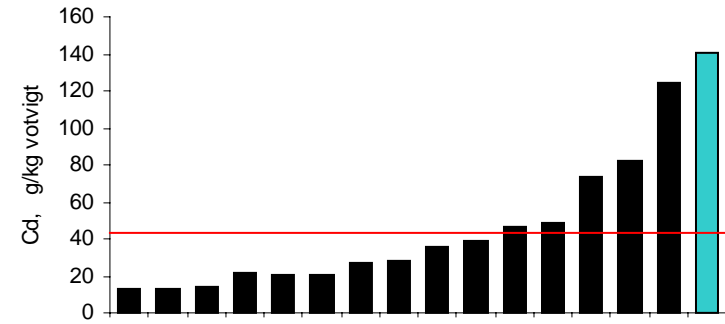
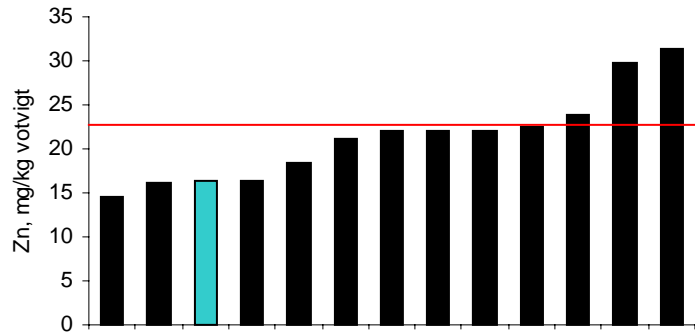
Nauðsynlegt er að nota styrk þungmálma í stað magns þegar gerður er samburður við lífverur sem lifa á nærliggjandi hafssvæðum því gögnin eru jafnan birt sem styrkur á þyngdareiningu lifrar og upplýsingar til að reikna út magn fylgja ekki með. Við slíkan samanburð verður að gæta varkárni og forðast að draga of miklar og víðtækar ályktanir, því ekki er víst að gögnin séu að fullu sambærileg. Á mynd 8.13 er meðalstyrkur sinks, kadmíns, kopars og kvikasílfurs á Íslandsmiðum sýndur í samanburði við meðalstyrk á öðrum norðlægum miðum.

Alþjóðahafrannsóknastofnunin hefur ekki lagt til ákveðin viðmiðunarmörk varðandi mengun af völdum þungmálma í lífverum. Þess í stað hafa niðurstöður mælinga sem unnið hefur verið úr hjá stofnuninni verið flokkaðar eftir dreifingu. Sú vinnuregla hefur komist á að líta á efstu 25% niðurstaðnanna sem vísbendingar um hækkað magn. Slík gildi úr viðamiklum vöktunarverkefnum frá 1985 (5) og 1990 (6) eru höfð hér til hliðsjónar, verður vitnað til þeirra sem ICES85 75% og ICES90 75% og þau borin saman við niðurstöður úr mælingum hér.

Notkun ICES 75% gilda hefur verið gagnrýnd og eru helstu annmarkar þeirrar aðferðar taldir að mörg sýni eru tekin við grunaðar mengunaruppsprettur. Meðaltal slíkra mælinga gefur því til kynna hærri gildi en búast má við að sé náttúrulegur bakgrunnur. Með aðferðinni er heldur ekki unnt að skýra náttúrulegan breytileika né líffræðilegar sveiflur.

Sé nánar lítið á einstaka þungmálma sést að styrkur sinks í þorski á Íslandsmiðum á árunum 1990-1996 er með því lágsta sem gerist og um kopar er sömu sögu að segja. Til samanburðar má einnig nefna að styrkur sinks í þorski við Ísland var mældur árið 1975 og reyndist hann örlítið lægri að meðaltali en á tímabilinu frá 1990 til 1996. Hins vegar mældist magn kopars að meðaltali í tvöfalt herra 1975 en nú. Sá munur er þó ekki marktækur.

Styrkur kadmíns í íslenskum þorski er hár miðað við þorsk frá öðrum hafssvæðum (mynd 8.13). Ástæður þessa eru ekki að fullu þekktar, en talið er að skýringa sé að leita í náttúrulegum aðstæðum t.d. jarðfræðilegum fremur en mengunar af manna völdum, þar sem engar þekktar uppsprettur eru fyrir hendi. Því til stuðnings má benda á að mælingar í mosa (kafla 2) sýna að hár kadmínstyrkur fylgir þeim svæðum sem liggja á gosbeltinu. Líkanið sem birt er í kafla 8.3.1 í þessari skýrslu rennir frekari stoðum undir þessa skýringu en til að fá fulla vissu um þetta er nauðsynlegt að halda vöktun áfram og rannsaka náttúrulegt ferli kadmíns á Íslandi.



Mynd 8.13. Samanburður á meðalstyrk þungmálma í þorski á Íslandsmiðum og frá öðrum miðum á norðlægum slóðum. Kadmín, sink og kopar er mælt í lifur þorsks en kvikasilfur í holdi þeirra. Rauða línan sýnir hvar ICES85 75% mörkin liggja.

Meðalstyrkur kvikasilfurs í þorskhaldi árin 1991-1996 var 27,8 mg/kg votvigt og er það með því lágsta sem fyrirfinnst. Almennt minnkar magn kvikasilfurs í þorski frá suðri til norðurs. Þannig mælist magnið mest í Írlandshafi en minnst við Norður-Noreg (3).

Meðalstyrkur nokkurra þungmálma og snefilefna í holdi og lifur þorsks er sýndur í töflu 8.5. Styrkur þeirra í holdi er byggður á meðaltali 8 mælinga á þorski frá árunum 1994 og 1995, en fyrir lifur er hann hins vegar byggður á meðaltali fyrir árin 1990 til 1996. Hold og lifur eru mismunandi vefjagerðir og því ekki raunhæft að gera beinan samanburð. Í töflu 8.5 má sjá að styrkur efnanna í holdi er mun lægri en í lifur sem undirstrikar að ekki er raunhæft að nota þann styrk sem mælist í lifur til að reikna út heildarstyrk málmsins í lífveru. Sérstaklega er þetta áberandi um kadmín.

Tafla 8.5. Meðalstyrkur þungmálma og snefilefna í holdi og fitu 30-45 cm langs þorsks af Íslandsmiðum (votvigt).

Efni	Hold ^{a)}	Lifur ^{b)}
Pb µg/kg	<40	<80
Cd µg/kg	0,85	141
Cu mg/kg	<0,06	3,9
Fe mg/kg	1,69	29,4
Mn mg/kg		1,2
Zn mg/kg	4	16,4
As mg/kg	<0,16	4,3
Se mg/kg	0,3	1
Hg µg/kg	27,8	

a) Byggt á mæligildum fyrir árin 1994 og 1995

b) Meðaltal fyrir tímabilið 1990-1996

Við mat á gæðum matvæla er oft miðað við svokallaðan TWI stuðul (Tolerable Weekly Intake). TWI segir til um hvaða magn af ákveðnu efni má innbyrða fyrir hvert kg af líkamsþyngd neytandans án þess að hætta sé á eituráhrifum. Stuðlar Alþjóða heilbrigðisstofnunarinnar fyrir blý, kadmín og kvikasilfur eru 50, 7 og 5 µg á kg líkamsþunga fyrir hvert efni (7). Þetta þýðir t.d. að einstaklingur sem er 60 kg þungur má innbyrða 420 µg af kadmíni á viku, sem svarar um það bil til magns í 500 kg af þorskhaldi. Þetta sýnir glögglega að þótt kadmín sé hærra hér en á nærliggjandi svæðum er það langt frá að ná nokkrum hættumörkum.

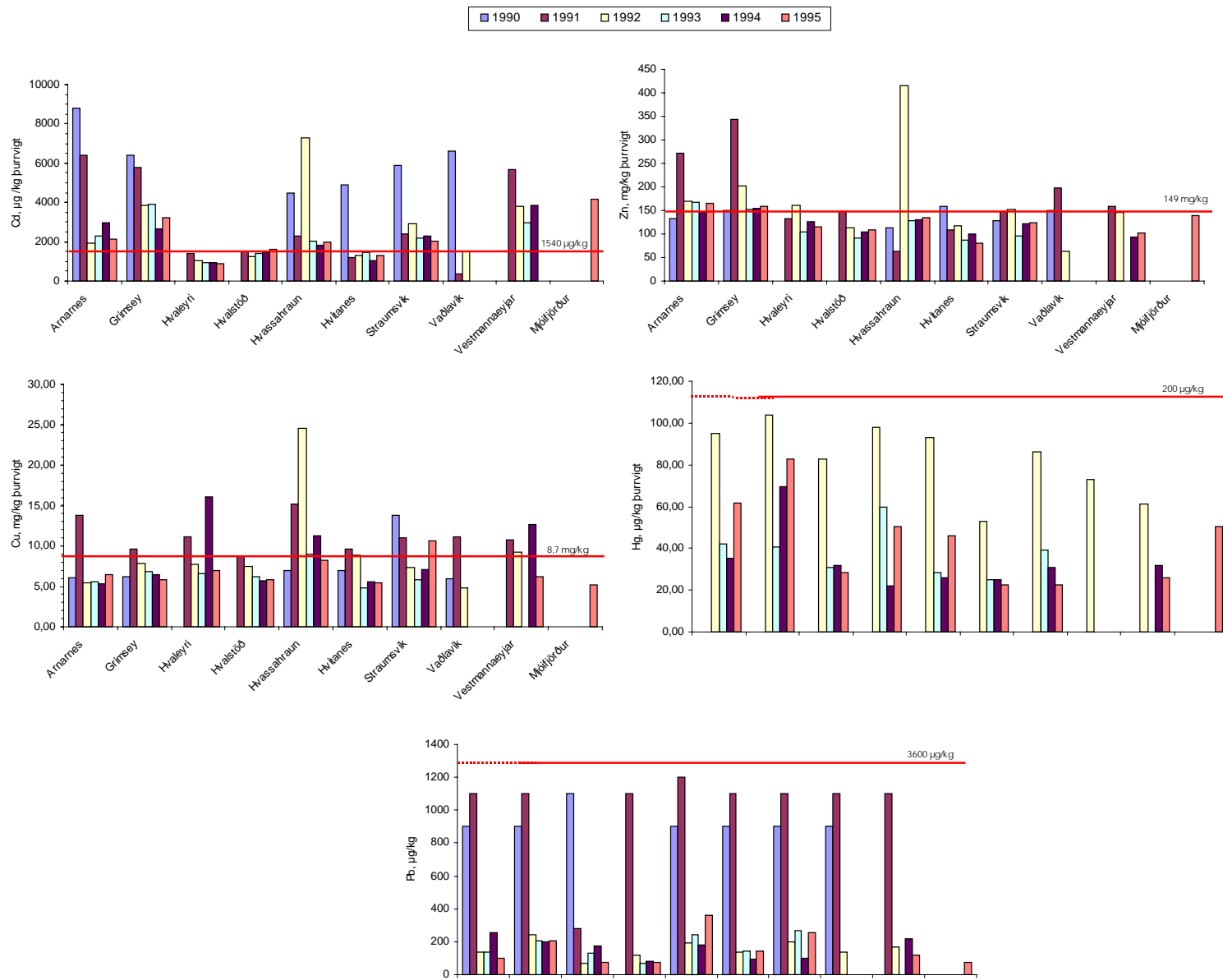
8.3.3 Kræklingur

Kræklingi var safnað á 10 stöðum á landinu á árunum 1990-1995. Sýni voru tekin árlega við eftirtalda staði: Hvalfjarðareyri, við Hvalstöðina og Hvítanes (allir í Hvalfirði), Arnarnes (við Ísafjarðardjúp), Grímsey, Vestmannaeyjar (ekki 1990), Hvasshraun (Vatnsleysuströnd) og við Straumsvík. Sýnatökustaðirnir koma fram á mynd 8.1.

Niðurstöður mælinga sýna að nokkur breytileiki er á milli staða, sérstaklega fyrir kadmín og króm, en kopar og sink breytast minna (mynd 8.14 og tafla 8.6). Árin 1990 og 1991 mældist óvenjumikið kvikasilfur en þau gildi eru ekki talin áreiðanleg (1) og því ekki tekin með í meðaltalsútreikningum.

Mesti breytileikinn í styrk *kadmíns* er við Arnarnes. Þar eru mæligildin á bilinu 1920 µg/kg til 8800 µg/kg. Á öðrum stöðum er munurinn minni, en samt greinilegur. Kræklingur við Hvalfjarðareyri og Hvalstöðina í Hvalfirði sker sig þó nokkuð úr að því leyti að styrkur kadmíns á þessum stöðum hélt nánast óbreyttur. Þær sveiflur sem mældust hér við land eru líkast til af náttúrulegum orsökum. Þekkt er að verulegar árstíðasveiflur geta verið í þungmálmáinnihaldi kræklinga og eru mestu sveiflurnar taldar tengjast hrygningu kræklinga. Styrkur *kopars* og *sinks* er hins vegar frekar jafn frá ári til árs og milli svæða. Styrkur *blýs* er sambærilegur milli staða að Mjóafirði undanskildum (tafla 8.6), en þar er einungis um sýni frá árinu 1995 að ræða.

Þegar niðurstöður mælinga á öðrum snefilefnum frá 1993-1995 eru skoðaðar kemur fram að styrkur mangans (Mn), járns (Fe), króms (Cr), og nikkels (Ni) er frekar svipaður milli staða (tafla 8.6). Styrkur mangans og járns mælist í öllum tilfellum hæstur að meðaltali á Hvalfjarðareyri. Þegar mælingarnar eru skoðaðar nánar kemur einnig í ljós að styrkur arsens (5,7-23,8 mg/kg þurrvigt) og selens (1209-3178 mg/kg þurrvigt) er svipaður frá ári til árs.



Mynd 8.14. Meðalstyrkur þungmálma í kræklingi miðað við þurrvigt árin 1990-1995 umhverfis Ísland. Gildi fyrir kvikasilfur árin 1990 og 1991 eru ekki tekin með sökum óáreiðanlegrar mælitækni. Rauða línan sýnir ICES90 75% mörk og gildin eru gefin upp við hverja línu.

Í töflu 8.6 er að finna meðaltalsgildi og gildi sem talin eru vera alþjóðleg mengunarmörk (NS&T National Status and Trends (8) og ICES90 75% mörk sjá umfjöllum um ICES-mörkin í kafla 8.3.2). Mörkin tákna að sé styrkurinn hærri er ástæða til að ætla að mengun sé til staðar og því ástæða til að athuga málið betur. Þessar rannsóknir sýna að kvikasilfur og blý í kræklingi við Íslandsstrendur er vel undir þessum mörkum á meðan kopar sink og arsen eru mjög nálægt þeim. Öðru máli gegnir hins vegar um kadmín, króm og nikkell, en engar vísbendingar hafa fundist um mengunarvald á þeim stöðum þar sem mikið magn mælist og því má telja víst að um náttúrulegt ástand sé að ræða eins og áður hefur verið bent á (sjá kafla 8.3.2).

Tafla 8.6. Meðalstyrkur nokkurra snefilefna (þurrvig) í kræklingi frá 1990-1995 umhverfis Ísland. Miðgildi eru innan sviga og hæstu gildi hvers efnis eru feitletruð.

	Cd	Cu	Zn	Hg ¹⁾	Pb	Cr ²⁾	Ni ²⁾	As ³⁾	Mn ³⁾	Fe ³⁾	Se ³⁾
	µg/kg	mg/kg	mg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	mg/kg	mg/g	mg/g	µg/kg
Arnarnes	4085 (2623)	7,1 (5,8)	176 (166)	58,6 (52,0)	437 (196)	1615 (1615)	1478 (1478)	16,0 (16,9)	5,6 (5,7)	142 (129)	1907 (2058)
Grímsey	4298 (3867)	7,1 (6,6)	193 (156)	74,2 (76,1)	475 (223)	6508 (6508)	4348 (4348)	9,4 (9,7)	5,5 (5,7)	138 (143)	3112 (3092)
Hvalfjarðareyri	981 (909)	10,5 (7,7)	125 (123)	36,8 (30,2)	245 (96)	4350 (3686)	4570 (5100)	8,2 (8,2)	13,0 (12,0)	404 (386)	2353 (2343)
Hvalstöð	1446 (1476)	6,8 (6,2)	113 (108)	57,5 (55,0)	289 (82)	1943 (1943)	1421 (1421)	8,1 (7,1)	10,3 (10,0)	224 (239)	2125 (2231)
Hvassahraun	3328 (2166)	12,5 (10,1)	164 (129)	48,4 (37,3)	512 (301)	3429 (3429)	5000 (5000)	17,9 (15,3)	5,5 (5,2)	282 (253)	2813 (2761)
Hvítanes	1865 (1300)	6,9 (6,2)	109 (104)	31,5 (25,1)	421 (144)	1610 (1610)	1064 (1064)	7,7 (7,2)	10,4 (10,0)	267 (162)	2342 (2326)
Straumsvík	2952 (2342)	9,3 (9,0)	128 (126)	44,7 (35,2)	470 (261)	1336 (2672)	1197 (1197)	10,6 (8,8)	6,4 (6,8)	134 (132)	2375 (2738)
Vestmannaeyjar ⁴⁾	4078 (3815)	9,7 (10,1)	125 (124)	39,6 (31,6)	401 (193)	684 (684)	1899 (1899)	7,7 (7,7)	10,4 (10,4)	312 (312)	2637 (2637)
Vaðlavík ⁵⁾	2833 (1520)	7,3 (6,0)	137 (149)	73,0 (73,0)	713 (900)						
Mjólfjörður ⁶⁾	4176 (4176)	5,1 (5,1)	138 (138)	50,3 (50,3)	75 (75)			7,9 (7,9)	6,6 (6,6)	187 (187)	3043 (3043)
NS&T	3700	10,0	200	230,0	3200	2500	3400	16,0			
ICES90 75%	1540	8,7	149	220,0	3600						

1) Sýni frá 1992-1995.

2) Sýni aðeins tekin 1994.

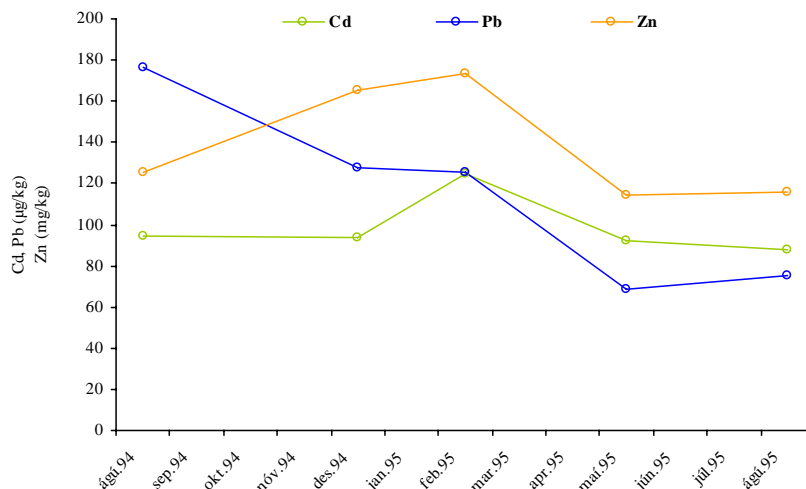
3) Sýni aðeins tekin 1993-1995.

4) Sýni aðeins tekin 1994-1995.

5) Sýni aðeins tekin 1990-1992.

6) Sýni aðeins tekin 1995.

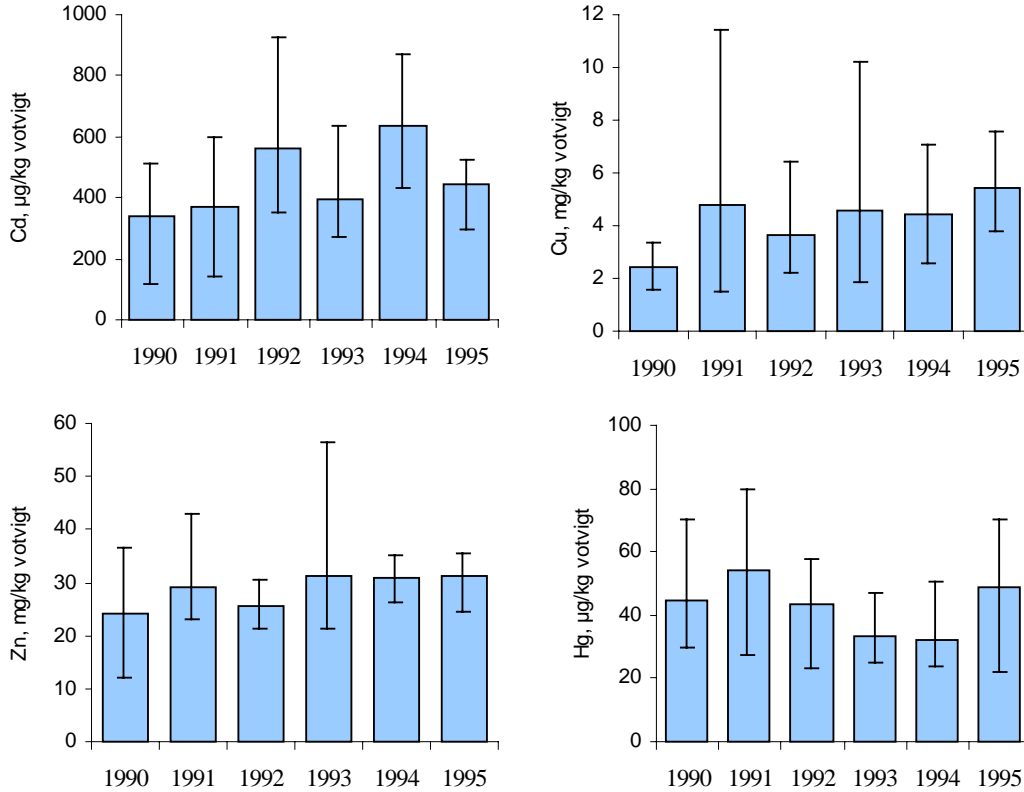
Kræklingasýni voru tekin ársfjórðungslega til að skoða áhrif árstíða á styrk þungmálma við Hvalfjarðareyri á tímabilinu frá ágúst 1994 til ágúst 1995, alls fimm sinnum. Niðurstöðurnar fyrir kadmín, sink og blý eru sýndar á mynd 8.15. Styrkur blýs í kræklingi lækkar á tímabilinu. Sink og kadmín hafa sér á svipaðan hátt, eru í mestum styrk yfir vetrarmánuðina desember og/eða febrúar en í minna mæli í maí og ágúst. Sama gildir fyrir króm, nikkell og arsen. Styrkur mangans, járn og selens breytist lítið með árstíma.



Mynd 8.15. Kadmín og blý (µg/kg þurrvig) ásamt sinki (mg/kg þurrvig) í kræklingi frá Hvalfjarðareyri 1994-1995.

8.3.4 Sandkoli

Í sandkolla er mælt í safnsýnum þar sem 25 einstaklingar eru í hverju sýni. Safnsýnin eru einungis 49 frá árunum 1990-1995 og því gefa gögnin ekki tilefni til sömu úrvinnslu og gert er við gögnin um þorskinn. Styrkur kadmíns, kopars, sinks, blýs í lifur og kvikasilfurs í holdi var mældur í sandkolla á Íslandsmiðum árin 1990 til 1995, en árið 1993 náðist einungis í sandkolla í Faxaflóa. Niðurstöður fyrir kadmín, kopar, sink í lifur og kvikasilfur eru sýndar á mynd 8.16. Styrkurinn sveiflast eilítið en munurinn er ekki marktækur eins og staðalfrávikin gefa til kynna. Styrkur blýs var í öllum tilfellum undir efnagreiningarmörkum (<140 til <35 µg/kg votvig).



Mynd 8.16. Styrkur þungmálma í lifur sandkola við Ísland 1990-1995. Kvikasilfur (Hg) var mælt í holdi sandkolans. Línurnar tákna styrkbil.

8.3.5 Aðrar tegundir.

Niðurstöður mælinga á síld, ískóði og selum koma fram í töflu 8.7. Athyglisvert er að styrkur kopars og kadmíns í síld virðist vaxa með aldri og að styrkur kvikasilfurs er mun lægri árið 1994 (19,8 µg/kg votvigt) en að meðaltali árin 1989, 1991 og 1992 (60 µg/kg votvigt) (1). Þessi mikli munur í styrk kvikasilfurs stafar líklega af mælitækninni sem hefur tekið miklum framförum á síðustu árum. Styrkur kvikasilfurs í holdi ískóðs frá 1994 og 1996 reyndist mjög svipaður og í þorski á árunum 1990-1996.

Niðurstöðurnar sýna að styrkur þungmálma í sel er mun hærri en almennt gerist í fiski. Þetta skýrist með því að selur er ofar í fæðukeðjunni. Athyglisvert er að styrkur kadmíns í lifur og nýrum útsela við Ísland er 100 til 150 sinnum hærri en mældist í Norðursjó 1982 (9). Þetta styrkir enn frekar tilgátuna um að staðbundnar náttúrulegar orsakir skýri hátt kadmíninnihald sjávarfangs hér við land, því engar vísbendingar eru um aðrar uppsprettur.

Tafla 8.7. Styrkur þungmálma í síld, ískóð og sel. Allar einingar eru miðaðar við votvigt.

Tegund	Tími	Pb µg/kg	Hg µg/kg	Zn mg/kg	Cd µg/kg	Cu mg/kg	As mg/kg	Se mg/kg	Heimild
Síld (hold)	1989		60	8,57	6,43	1,19			(1)
Síld (hold)	1991		50	8,65	12,4	1,2			(1)
Síld (hold)	1992		70	5,7	2,2	0,72			(1)
Síld (hold)	1994		7,0	19,8	4,3	0,87	3,14	0,25	Þessi skýrsla
Ískóð (hold)	1994		26,3						Þessi skýrsla
Ískóð (hold)	1996		25,3						Þessi skýrsla
Útselur (lifur)		190		204	1036	150			(9)
Útselur (nýru)		120		111	3290	18,72			(9)
Landselur (lifur)		<500		99,2	630	3,5-42,9			(9)
Landselur (nýru)		<1000			2200	11			(9)

8.4 Þrávirk lífræn efni

Þrávirku lífrænu efnin sem hér er fjallað um eru manngerð, og er tilvist þeirra í lífríkinu eingöngu vegna athafna manna ólíkt því sem gildir um þungmálma. Reglubundnar mælingar á styrk þrávirkra lífrænna efna í þorski, kræklingi og sandkolla hafa staðið frá árinu 1991. Auk þess hefur styrkur þeirra verið mældur í nokkrum sýnum af síld og selspiki. Niðurstöðum rannsókna fram til ársins 1992 hafa áður verið gerð skil (1) og niðurstöður mælinga á þorski árin 1994-1996 eru birtar í verkefnaskýrslu frá Rannsóknastofnun fiskiðnaðarins (4).

8.4.1 Þorskur

All viðtækum gögnum um styrk þrávirkra lífrænna efna í lifur og holdi þorsks á Íslandsmiðum hefur verið safnað frá árinu 1991. Niðurstöður þeirra mælinga gefa tækifæri til að meta áhrif líffræðilegra þátta, eins og stærðar, aldurs, fitu lifrar o.fl., á styrk efnanna og skoða breytileika frá ári til árs og milli miða. Þorsksýnum var skipt í hópsýni eins og lýst er hér að framan. Styrkur þrávirkra lífrænna efna var svo greindur í hverju hópsýni fyrir sig.

Þau þrávirku lífrænu efni sem voru mæld í þorsksýnum eru 13 mismunandi PCB-efni, HCB, α -HCH, β -HCH og γ -HCH (lindan), *trans-nonaklór*, *p,p'*-DDT og niðurbrotsefni þess *p,p'*-DDD og *p,p'*-DDE. Í umfjölluninni hér að neðan um PCB efni í þorski er notuð summa af styrk 7 þeirra algengustu (PCB-28, PCB-52, PCB-101, PCB-118, PCB-138, PCB-153 og PCB-180) en þau eru að meðaltali 90% af samanlögðum styrk allra 13 PCB efnanna sem mæld voru.

Meðalstyrkur helstu þrávirkra lífrænna efna í þorski af Íslandsmiðum í marsmánuði 1991 til 1996 er sýndur á mynd 8.17. Þar sést að styrkur PCB er svipaður milli miða og ára að öðru leyti en því að SV-mið virðast skera sig úr. Mikill breytileiki er í styrk HCB frá ári til árs. Þannig er styrkur HCB árin 1994 og 1996 að meðaltali um 17 $\mu\text{g}/\text{kg}$ en meðaltalið er 22 til 33 $\mu\text{g}/\text{kg}$ árin 1991, 1992 og 1995. Hins vegar er engin augljós munur á styrk HCB milli einstakra miða.

Styrkur DDE er all sambærilegur frá ári til árs og milli miða á árunum 1991 til 1995, er almennt lægstur á NA-miðum, að meðaltali 43 $\mu\text{g}/\text{kg}$, en hæstur á NV-miðum að meðaltali 70 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Styrkurinn mælist greinilega lægri árið 1996 á öllum miðum en á tímabilinu 1991-1995 eða allt að þrefalt lægri. Sömu sögu er að segja um HCH-efni (mynd 8.16). Styrkur þeirra er almennt nokkuð sambærilegur árin 1994 og 1995, að meðaltali 37 $\mu\text{g}/\text{kg}$, en tæplega átta sinnum lægri árið 1996.

Hingað til hafa gögn um þrávirk efni verið skoðuð út frá styrk þeirra og fituhlutfalli, einkánlega vegna þess að þau safnast fyrir í fitu. Í þessari skýrslu er hins vegar notuð sama nálgun og fyrir þungmálmana (skýringartexti 8.5), en eftir sem áður verður að bera saman styrk milli nærliggjandi svæða til að gæta samræmis. Magn þrávirkra lífrænna efna vex með aldri og fitu líkt og gerist með þungmálma. Það sem skilur hins vegar á milli gagna fyrir þrávirku lífrænu efnin og þungmálmana er að aldur bætti því sem næst engu við skýringargildi líkansins umfram það sem fitumagnið gerir og því er ekki tekið tillit til hans í úrvinnslunni. Þetta skýrist af því að samband milli fitu og þrávirkra efna er mjög sterkt og að fitan er að vissu marki háð aldri fiskisins. Þegar fiskurinn horast þá flyst hluti þrávirkra efnanna í blóðið og því helst magnið ekki stöðugt í lifrinni eins og raunin virðist vera um þungmálmana.

Skýringartexti 8.5. Samband þrávirkra lífrænna efna og líffræðilegra þátta

Notast er við sömu líkingu og fyrir þungmálma (sjá skýringartexta 8.2) þ.e.

$$\ln PCB_{\text{magn}} = k + \alpha_1 \ln Fita_{\text{magn}} + \alpha_2 \text{Aldur} \quad [1]$$

þar sem α_1 er stuðull sem lýsir framboði mengandi efna og upptökuhæfni hvers aldurshóps en:

α_2 er stuðull sem endurspeglar framboð mengandi efna og upptökuhæfni fiskanna

k er fasti sem endurspeglar mengandi efni sem skýrast með aldri, miðum, árstíma og lengdarflokk fiskanna

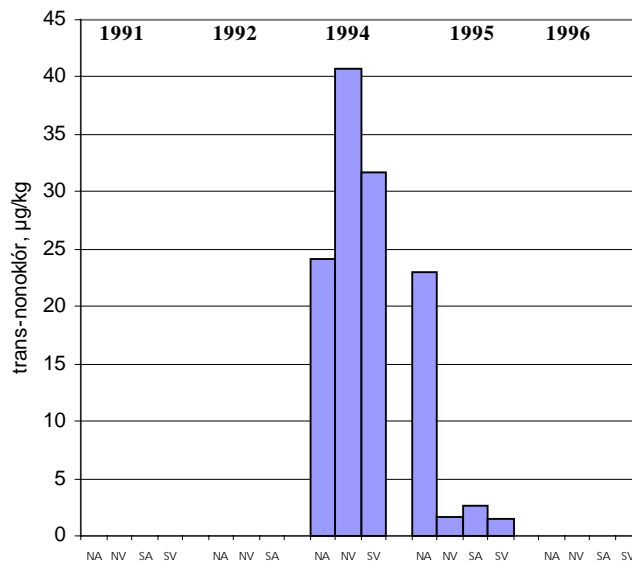
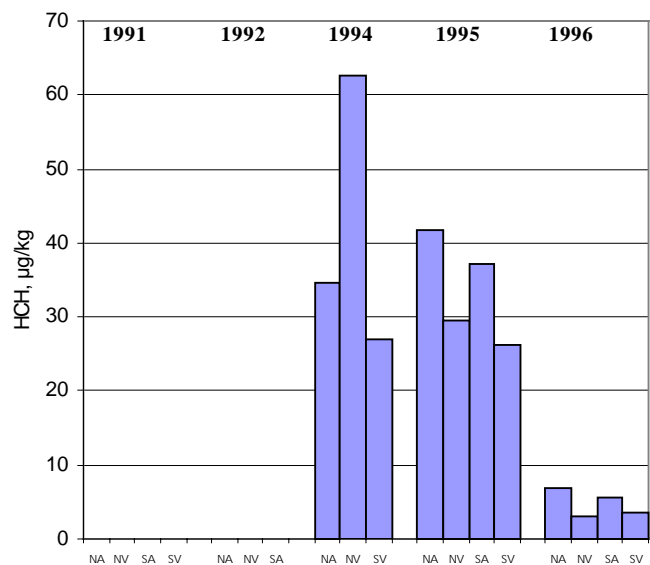
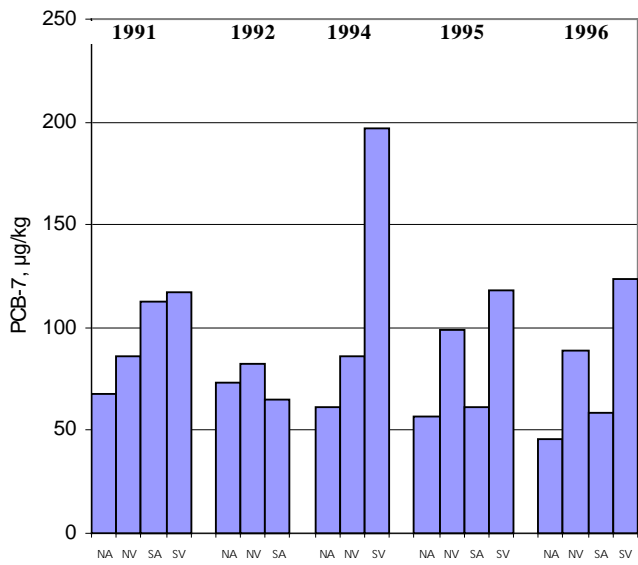
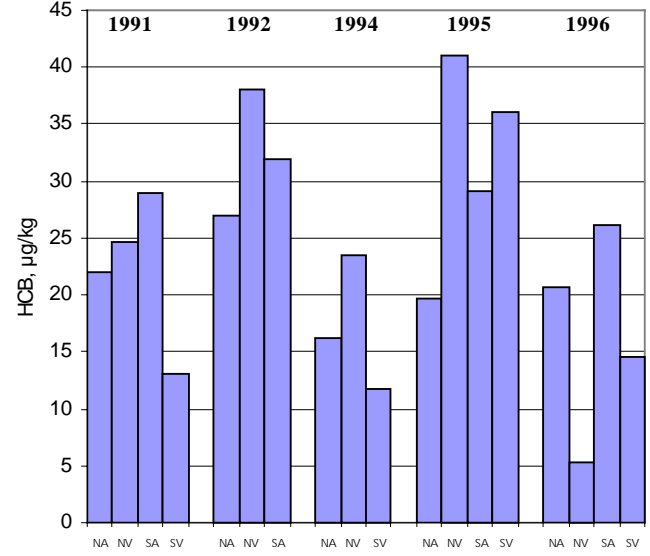
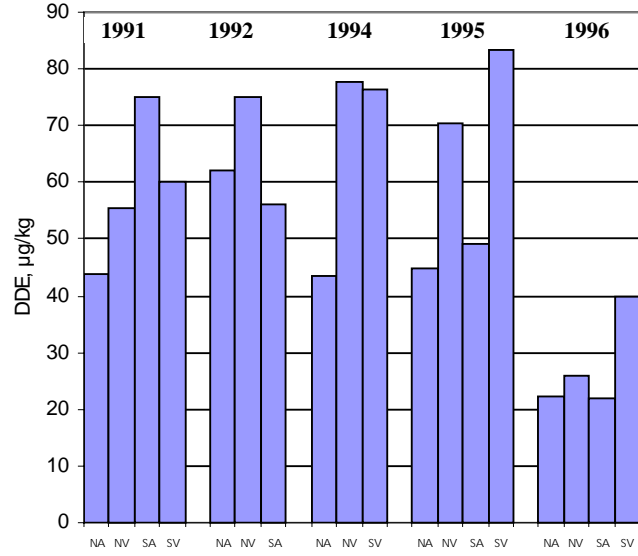
Í ljós kom að aldur bætti engu við skýringargildi líkansins og er honum því sleppt og verður líking þá:

$$\ln PCB_{\text{magn}} = k + \alpha_1 \ln Fita_{\text{magn}} \quad [2]$$

Upphefja verður lógaritmann til að fá út raunverulegt magn málsins og þá verður líkingin:

$$PCB_{\text{magn}} = K * Fita_{\text{magn}}^{\alpha} \quad [3]$$

Þar sem $K = e^k$, og er kallaður hlutfallsstuðull og er jafngildi magns þrávirkra efnisins við aldurinn 0 og fitu lifrar = 1 g. Stuðullinn α er hallatala þegar sambandið er lógaritmisk, en verður veldisvísar í líkingu [3].



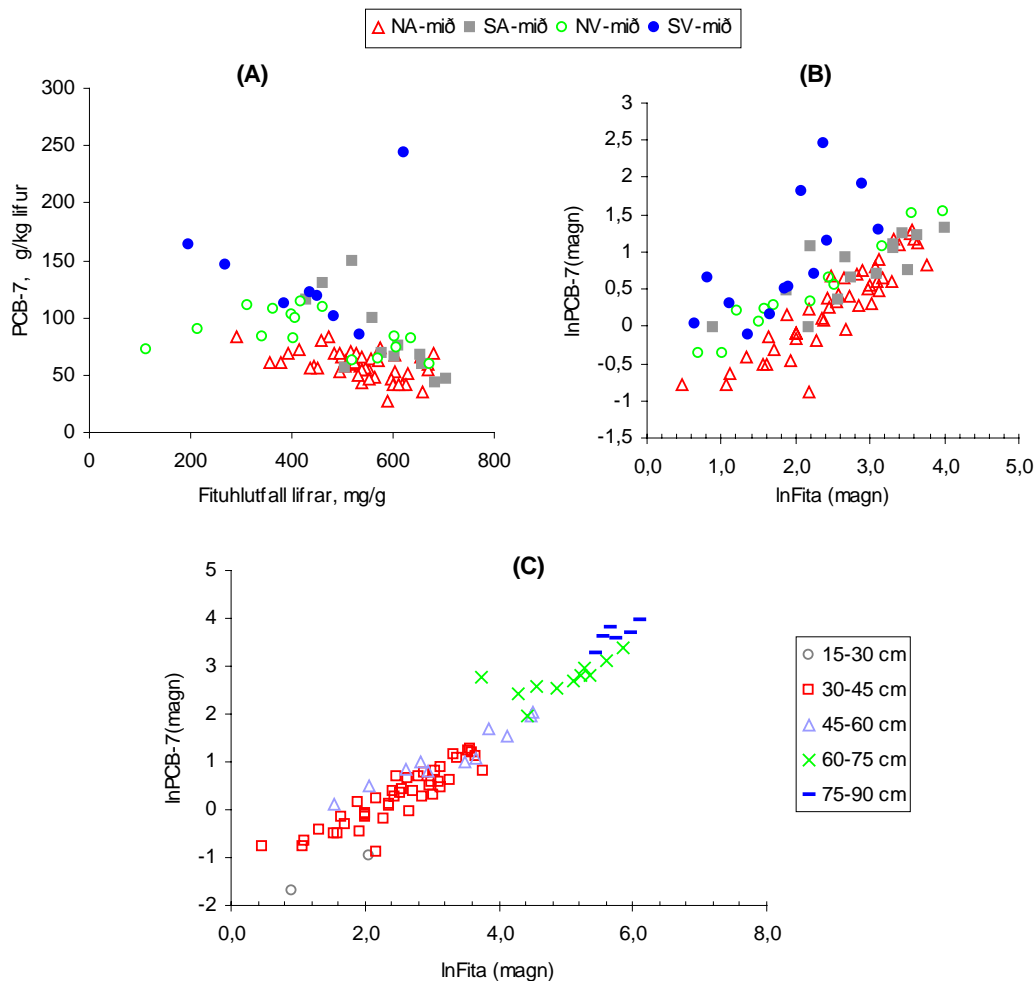
Mynd 8.17. Þrávirk lífræn efni í lifur 30-45 cm löngum þorski á Íslandsmiðum 1991-1996.

Með nálguninni sem lýst er í skýringartexta 8.5 var könnuð fylgni magns þrávirkra lífrænna efna við magn fitu í lifur. Við athugun á fylgnistuðlum kemur í ljós að fylgnin er mest þegar öll gögn frá NA-miðum eru borin saman, en minnst þegar 30-45 cm langur fiskur frá öllum miðum er borinn saman (sjá töflu 8.8). Lítil munur er á fylgni þegar 30-45 cm langur fiskur af NA-miðum er borinn saman við öll gögnin, að DDE undanskildu.

Tafla 8.8. Fylgnistuðlar þrávirkra efna við fitu.

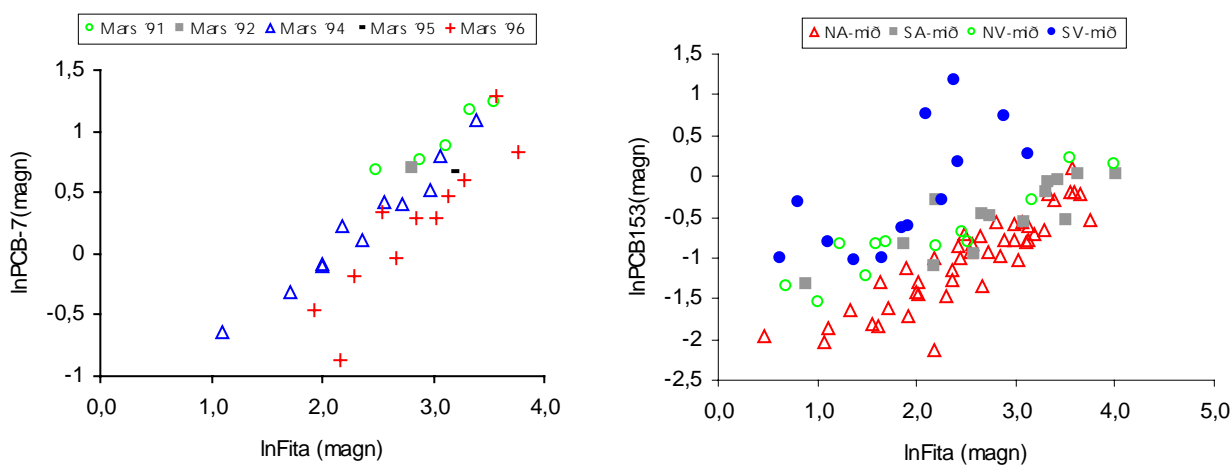
Þáttur	Allar stærðir NA mið	30-45 cm NA mið	Öll gögnin	30-45 cm öll mið
ln HCB	0,994	0,984	0,978	0,943
ln PCB (summa 7 efna)	0,962	0,905	0,894	0,711
ln PCB (öll)	0,953	0,863	0,886	0,695
ln PCB (afleiðan 153)	0,960	0,894	0,861	0,603
ln DDE	0,891	0,724	0,853	0,714

Við samanburð á fituhlutfalli lifrar og styrk PCB-efna í 30-45 cm löngum þorski kemur í ljós að styrkurinn lækkar almennt eftir því sem lifrin er fituríkari (mynd 8.18a), en magn PCB-efna eykst línulega með magni fitu (mynd 8.18b). Einnig ríkir mjög gott línulegt samband þegar allir stærðarflokkar á NA-miðum eru bornir saman (mynd 8.18c).



Mynd 8.18. Vensl a) styrks PCB-efna og fituhlutfalls lifrar og b) magns PCB-efna og fitumagns í lifur í 30-45 cm löngum þorski af Íslandsmiðum 1991-1996. c) vensl magns PCB-efna við fitumagn í lifur þorsks af NA-miðum, 1991-1996.

Sama er upp á teningnum þegar öll tiltæk gögn árána 1991–1996 eru skoðuð. Frekari athugun á gögnunum fyrir þorsk af NA-miðum leiðir í ljós að þar er munur frá ári til árs þannig að 1996 er magn PCB-efna lægra en fyrir hin árin (mynd 8.19a). Þessi þróun er marktæk og sést líka vel á hlutfallsstuðlum fyrir PCB í töflu 8.9.



Mynd 8.19. a) vensl magns PCB-efna við fitumagn í 30-45 cm löngum þorski af NA-miðum 1991-1996. b) vensl magns PCB-afleiðunnar 153 við fitumagn í lifur 30-45 cm langs þorsks af Íslandsmiðum, 1991-1996.

Tafla 8.9. Hlutfallsstuðlar fyrir þrávirk lífræn efni í 30-45 cm löngum þorski í mars á NA-miðum.

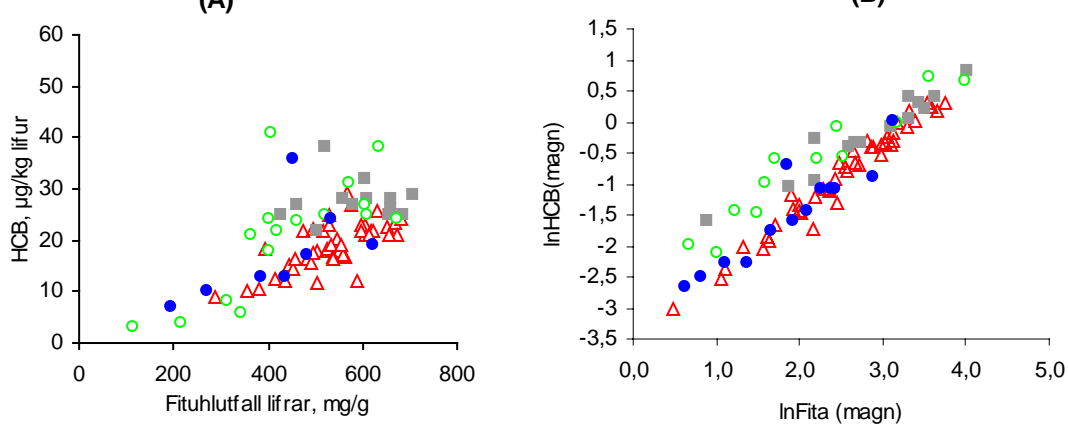
Ár	Fjöldi hópsýna	PCB	HCB	DDE
1991	5	0,219	0,034	0,171
1992	2	0,212	0,040	0,212
1994	12	0,186	0,030	0,151
1995	1	0,152	0,036	0,146
1996	11	0,130	0,030	0,067

Á mynd 8.19b kemur greinilega fram að magn PCB-efna á SV-miðum er hærra en á hinum miðunum enda er fylgnistuðullinn mun lægri fyrir 30-45 cm langan þorsk frá öllum svæðum en fyrir þorsk af NA-miðum eða öll gögnin (sjá töflu 8.8). Ennfremur sýna hlutfallsstuðlar í töflu 8.10 marktækan mun. Til að athuga betur muninn milli svæða var PCB-153 afleiðan dregin út og hún meðhöndluð á sama hátt. PCB-153 er hlutfallslega í mestu magni og ætti að því að gefa betur til kynna hvort um marktækan mun sé að ræða. Slíkt virðist vera raunin og á mynd 8.19b má sjá að munurinn verður greinilegri. Þetta sýnir enn betur að um raunverulegan mun milli svæða er að ræða. Hugsanlegt er að mismunandi uppsprettur mengunar skýri þennan mun en frekari rannsókna er þörf til að kanna betur orsakir þessa breytileika milli svæða.

Tafla 8.10. Hlutfallsstuðlar fyrir þrávirk lífræn efni eftir miðum í 30-45 cm löngum þorski.

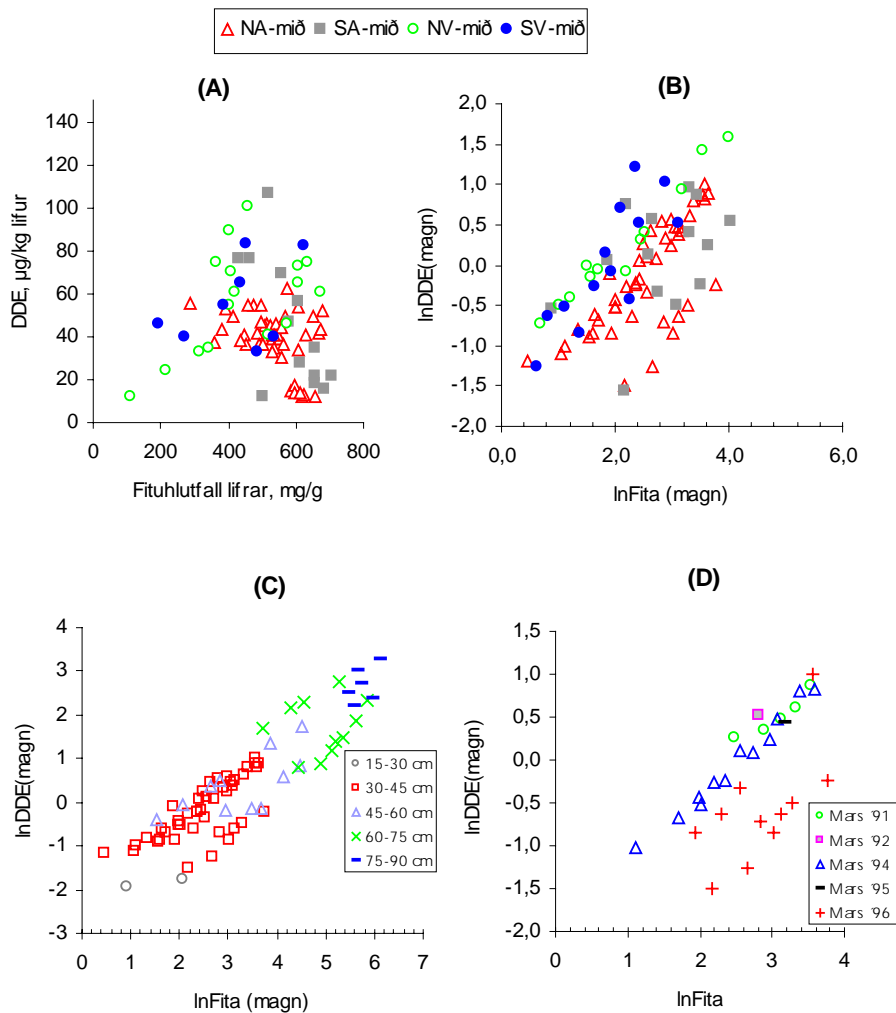
Mið	Fjöldi hópsýna	PCB(summa 7)		HCB		DDE	
		stuðull	frávik%	stuðull	frávik%	stuðull	frávik%
NA	30	0,28	0,0	0,03	0,0	0,12	0,0
NV	17	0,46	62,6	0,04	32,4	0,22	84,2
SA	15	0,39	37,6	0,05	39,4	0,14	18,9
SV	16	0,76	167,2	0,03	-0,8	0,26	111,7

Sambandið milli HCB og fitu er sýnt á mynd 8.20a og b, sem styrkur á móti fituhlutfalli annars vegar og sem magn á móti fitumagni hins vegar. Við nánari skoðun kemur í ljós að magn HCB er óháð stærð og stað (mynd 8.20b og töflur 8.9 og 8.10) sem bendir til að hér sé um hnattrænan uppruna að ræða og að efnið dreifist um heiminn samkvæmt hnatteimingsarlíkaninu (sjá kafla 2). Þetta er líka í fullu samræmi við þá eiginleika HCB sem þekktir eru en HCB er frekar lítil sameind og efnið því mun vatnsleysanlegra en önnur þrávirk efni sem hér er fjallað um. Ennfremur styður þetta hugmyndir um að HCB í fiskum sé í jafnvægi við ríkjandi styrk þess í sjónum enda á aðal upptaka þess sér stað í gegnum tálknin frekar en fæðu, öfugt við PCB (10).



Mynd 8.20. Vensl a) styrks HCB efna og fituhlutfalls lifrar og b) magns HCB og fitumagns í lifur í 30-45 cm löngum þorski af Íslandsmiðum 1991-1996.

Samband á milli DDE og fituinnihalds lifrar virðist vera mun flóknara en fyrir HCB og PCB. Sé litið á styrk þess á móti fituhlutfalli (mynd 8.21a) sést ekkert beint samband, en hins vegar má greina tvær línur með því að bera saman magn DDE og magn fitu (mynd 8.21b). Þetta verður enn skýrara þegar einungis er litið á gögn frá NA-miðum (mynd 8.21c og d).



Mynd 8.21. Vensl styrks DDE efna og fituhlutfalls lifrar a) annars vegar og magns DDE og fitumagns b) hins vegar í 30-45 cm löngum þorski af Íslandsmiðum 1991-1996. Á mynd c) eru venslin skoðuð með tilliti til allra lengdarflokka á NA-miðum og á mynd d) er skoðað samband magns DDE á móti fitumagns í 30-45 cm löngum þorski eingöngu af NA-miðum, árin 1991-1996.

Samanburður á hlutfallsstuðlum sýnir að magn DDE mælist mun minna 1996 en hin árin (tafla 8.9). Þessi munur er marktækur en of snemmt er að fullyrða hvort hér er um einstaka sveiflu að ræða eða þróun í magni. Skýring á þessu liggur ekki fyrir en hugsanlegt er að munurinn frá ári til árs endurspegli minni notkun DDT á nálægum og fjarlægum slóðum. Svipað mynstur er fyrir DDE og er fyrir PCB, þegar mismunandi mið eru borin saman (tafla 8.10). Þetta er mjög greinilegt fyrir SV-mið en þar er magn þessara efna mun meira 1994 en bæði árin fyrir og eftir (mynd 8.17). Ekki liggur fyrir skýring á þessari aukningu, en engin vísbending er um aukið magn í lofti eða úrkomu hér við land (kafla 4.4). Rétt er að benda á að vöktunarmælingar á þrávirkum efnunum í úrkomu og andrúmslofti hófust ekki fyrir en 1995. Samræmi í mynstri magns DDE og PCB rennir enn frekari stöðum undir samskonar uppruna og dreifingu. Innbyrðis fylgni á milli þessara efna er mjög góð eins og sést í töflu 8.11. og styður það þá ályktun að efnin hafi ekki staðbundinn uppruna þar sem DDT og HCB hafa sáralítið verið notuð hér á landi í dag og því líklegra að þau sé langt að komin og flutningsmátinn valdi þessari jöfnu blöndu á milli þeirra.

Tafla 8.11. Fylgni milli þrávirkra lífrænna efna í þorsklifur á NA-miðum.

Páttur	ln HCB	ln PCB (summa7)	ln PCB (öil)	ln PCB (afl. 153)	ln DDE
ln HCB	1				
ln PCB (summa7 efna)	0,968	1			
ln PCB (öil)	0,959	0,998	1		
ln PCB (afleiðan 153)	0,965	0,996	0,994	1	
ln DDE	0,900	0,954	0,965	0,950	1

Gerðar voru mælingar á þrávirkum efnunum í holdi þorsks 1994 og var styrkurinn að meðaltali hundraðfalt minni en í lifur. Mæliniðurstöður í holdi fylgdu sama mynstri og í lifur þar sem styrkur PCB-efna í fiski frá SV-miðum var fimm- til sexfalt hærra en mældist í holdi fiska á öðrum miðum. Enginn munur var hins vegar á HCB. Þetta rennir enn frekari stöðum undir að magn þrávirkra efna sé meira á SV- miðum en annars staðar við landið.

Samanburður við nærliggjandi hafsvæði sýnir að styrkur PCB-efna, HCB og p,p'-DDE hér við land er sambærilegur við það lægsta sem þar mælist (tafla 8.12). Styrkur PCB-efna í þorsklifur við Ísland er svipaður og mælist við Labrador og Nýfundnaland, við Færeyjar og út af Þrándheimi í Noregi. Styrkur HCH (lindans) er hins vegar hærra hér við land, en notkun þess var að mestu hætt 1987 (11). Þetta undirstrikar að mengun vegna þrávirkra lífrænna efna í lífríki hér við land er með því minnsta sem gerist en Íslandsmið eru þó ekki að öllu laus við hana.

Tafla 8.12. Samanburður á meðalstyrk þrávirkra lífrænna efna í þorsklifur ($\mu\text{g}/\text{kg}$ votvigt).

Staður	Σ PCB-7	HCB	DDE	Σ HCH	Trans-non	Heimild
Íslandsmið 1991-1996	86	20	48	28	26	
Labrador og Nýfundnaland	60	33	72			
Út af Þrándheimi	150					
Norðurhluti Norðursjávar 1985	260-560	28	160			
Norðursjór og Eystrasalt 1985	160-3200					
Mið-Norðursjór		63	270			
Finnland		30	230			
Við Færeyjar 1994	54	10	45	4,5	13	(12)
Haltenbanken 1994	290		253	7	63	(12)

Ef annað er ekki tekið fram þá eru heimildir fyrir styrk þrávirkra lífrænna efna á nálægum miðum að finna í (1).

8.4.2 Kræklingur

Þrávirk lífræn efni voru mæld í kræklingi frá 10 stöðum við Íslandsstrendur frá 1991 og eru niðurstöður mælinga á PCB sýndar í töflu 8.13.

Tafla 8.13. Meðalstyrkur PCB-efna í kræklingi 1991-1995 ($\mu\text{g}/\text{kg}$ þurrvigtt).

	Straums- vík	Hvítanes	Hvalfjarðar- eyri	Arnarnes	Grímsey	Vaðlavík	Vestmanna- eyjar	Hvassa- hraun	Hvalstöð	Mjóí- fjörður
<i>Summa 5 PCB-efna</i>										
1991	14,7	9,7	9,6	12,1	6,9	3,0	1,6		11,2	
1992	8,4	10,0	9,0	7,0	4,3	5,2	2,1	4,5		
1993	8,9	8,0	9,6	4,6	2,8			4,6	7,7	
1994	26,5	11,9		6,3	8,7		6,3	4,9	11,1	
1995	14,8	8,9		3,9	3,1		2,1	6,0	10,2	<3,2

PCB-efni eru algengustu þrávirku lífrænu efnin í kræklingi. Af þeim þrávirku eignum sem greind voru eru PCB-efni 65-95% af heildinni. Niðurstöður PCB-mælinga í kræklingi liggja oftast fyrir sem samtala 5 PCB-efna (PCB-101, PCB-118, PCB-138, PCB-153, PCB-180). Svipaður styrkur PCB-efna mælist í Ísafjarðardjúpi (Arnarnes) og við Hvalstöðina í Hvalfirði, en er mun meiri og breytilegri í kræklingi við Straumsvík. Við Grímsey og sérstaklega við Vestmannaeyjar mælist heldur minna magn. Ekki er talið að mismunandi hrygningartími skýri lágan PCB-styrkir við Vestmannaeyjar, þótt þekkt sé að styrkur PCB-efna minnki um allt að tvo þriðju við hrygningu (13), því sýnin í Hvalfirði eru tekin eftir hrygningu. Mögulegt er að staðsetning kræklingins á klettavegg fjarri botni hafi áhrif, en kræklingur tekur auðveldlega upp PCB úr botngruggi (14).

Styrkur α -HCH, HCB og p,p'-DDE er almennt lágur og er ýmist undir eða alveg við greiningarmörk. Hann virðist vera nokkuð svipaður frá ári til árs og staða. p,p'-DDE mælist þó meiri 1991 og 1992 en hin árin. Hér er hugsanlega um breytileika tengdan efnagreiningunum sjálfum að ræða, en þær eru vandasamar, sérstaklega þegar styrkur efnanna er við greiningarmörk eins og hér.

Styrkur PCB-efna í kræklingi hér við land er sambærilegur við það sem mælist fjarri byggð á vesturströnd Bandaríkjanna og við það lægsta sem mælist við Bretland og Írland eins og sést í töflu 8.14. Styrkur PCB-efna er mjög breytilegur og hefur nágrenni við þéttbýli mikil áhrif eins og kemur fram í niðurstöðum frá Bretlandi og Bandaríkjunum.

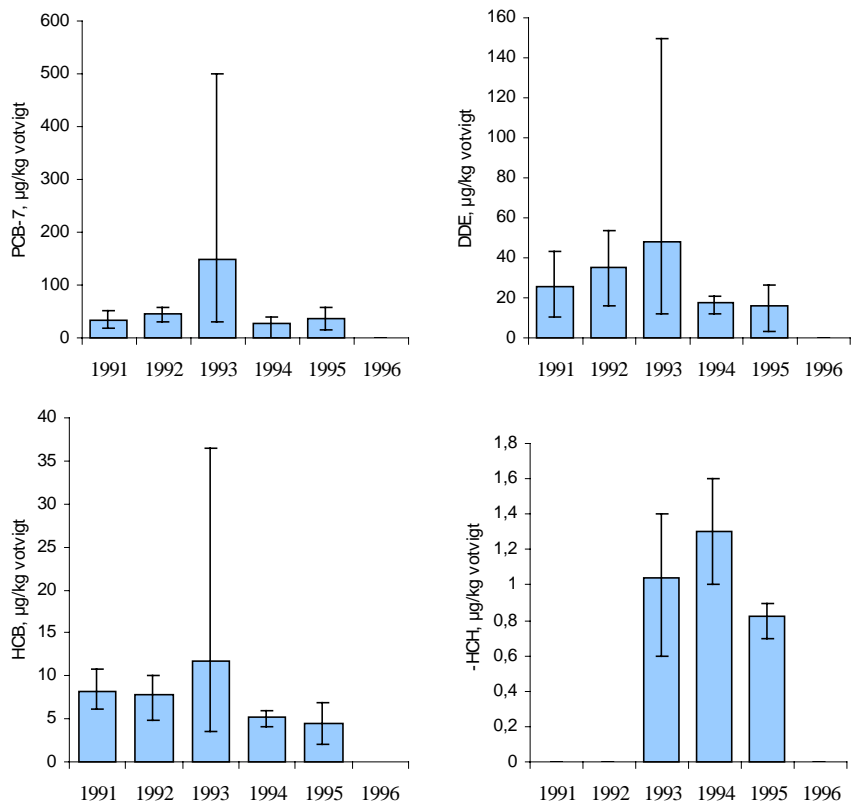
Tafla 8.14. Meðalstyrkur PCB í kræklingi á ýmsum svæðum.

Staður	PCB-5 $\mu\text{g}/\text{kg}$	
	votvigtt	þurrvigtt
Írland (1988)	4	
Bretland (1988)	<2-800	
Holland (1988)	67	
Ísland (1991-1995)	0,9	7,8
Vesturströnd Bandaríkjanna, fjarri byggð (1988)		16
Austurströnd Bandaríkjanna, við byggð (1988)		39
Vesturströnd Bandaríkjanna, við byggð (1988)		~80
Austurströnd Bandaríkjanna, við byggð (1988)		~195

8.4.3 Sandkoli

Styrkur þrávirkra lífrænna efna í sandkolla var, líkt og í þorski, mældur í lifur. Niðurstöður eru sýndar á mynd 8.22. Fitueinnihald lifrar var á bilinu 12-33 % sem er töluvert minna en í þorski. Ekki koma fram sömu þynningaráhrif á PCB, HCH og HCB vegna fitu í sandkolalífur eins og raunin er um þorsklífur. Jákvæð fylgni var hins vegar á milli þessara efna og lifrarfitu í sandkolla. Ef tekið er tillit til þessa er ekki marktækur munur á styrk þessara efna frá ári til árs og miða. Mjög góð fylgni er milli p,p'-DDE, PCB og HCB-innihalds í sandkolalífur. Árið 1993 sker sig nokkuð úr, en þá voru aðeins tekin sandkolasýni úr Faxaflóa. Bæði er meðalstyrkur efnanna hærri og breytileikinn meiri en á öðrum miðum. Þennan aukna breytileika er ekki hægt að skýra með mismunandi fitueinnihaldi lifrar í sandkolla

milli svæða. Því bendir þetta til þess að magn þrávirkra lífrænna efna sé meira á SV-miðum en á öðrum svæðum sem rannsóknirnar náðu til (sbr. kafli 7).



Mynd 8.22. Meðalstyrkur þrávirkra lífrænna efna í lifur sandkola 1991-1995. Línurnar tákna styrkbil.

8.4.4 Aðrar tegundir

Síldarsýni voru tekin árin 1990, 1992 og 1994. Mældur var styrkur þrávirkra lífrænna efna í holdi síldarinnar, þar sem hún safnar fitu í hold en ekki lifur (tafla 8.15). Mikill breytileiki er á styrk efnanna í sýnunum, en þau eru einnig mjög ólík hvaða varðar aldur, kynþroska, stærð og það á hvaða árstíma þau voru tekin.

Tafla 8.15. Meðalstyrkur þrávirkra lífrænna efna í síld og sel.

Tegund	Tími	Σ PCB-7 µg/kg	HCB µg/kg	p,p'-DDE µg/kg	Σ DDT µg/kg	Σ HCH* µg/kg	Heimild
Síld (hold)	sept.90	9,1	2,2	8,5			(1)
Síld (hold)	feb.92	3,2	1,3	2,7			(1)
Síld (hold)	1994	<2,4	0,6	0,9	<1,3	<0,8	Þessi skýrsla
Selur (spik, tvö sýni)	1995	814, 1109	6, 14		335, 383	<11, <12	Þessi skýrsla

* ΣHCH = αHCH + γHCH

Styrkur PCB-efna í íslenskri síld (<2,4-9,1 µg/kg hold) er sambærilegur við styrk þessara efna í síld frá ströndum Finnlands og úr Barentshafi (8,4-15,4 µg/kg hold) (15,16). Hins vegar mælist styrkur PCB-efna mun meiri í síld í Norðursjó (20-100 µg/kg hold) (16).

Styrkur þrávirkra lífrænna efna í selspiki er gefinn í töflu 8.17 og er hann hár miðað við fisk. Þetta er í samræmi við það að selur er mun ofar í fæðuvefnum, en hér er aðeins um tvær mælingar að ræða og því ekki raunhæft að draga of miklar ályktanir af þeim. Til eru nokkrar eldri mælingar á þrávirkum efnunum í landbel og útsel hér við land (17,18). Þær niðurstöður sýna að mest er af PCB-efnum og er afleiðan PCB-153 í mestum styrk. Styrkur p,p'-DDT og afleiða þess er einnig nokkuð hár. Sömu höfundar hafa notað hlutfall af summu ákveðinna PCB afleiða deilt með ΣDDT til að meta mengun

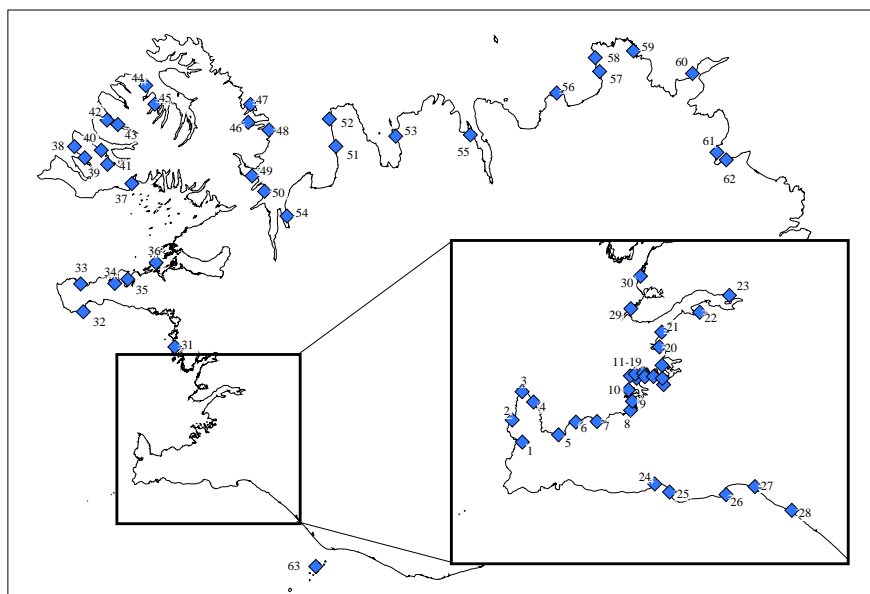
(18,19) og lækkar hlutfallið norður á bóginn frá iðnaðarsvæðum Evrópu. Þannig hefur hlutfallið (PCB-138/163+PCB-153)/ΣDDT verið reiknað sem 4,4 í sel í Norðursjó, 1,2 í sel norðvestur af Írlandi og 0,7 í sel frá Íslandi.

Í nýlegri grein (19) eru birtar niðurstöður greininga á þrávirkum lífrænum efnum í tveimur mismunandi hópum refa og í ísbirni. Helstu niðurstöður eru að íslenskir refir eru töluvert mengaðir af lífrænum þrávirkum efnum og þá sérstaklega þau dýr sem lifa nálægt sjó og segja má að þar sé refurinn í efsta þrepi í fæðuvef sjávar. Styrkur PCB (afleiður 118, 153, 138,163, 180, 170, 194) er á bilinu 671-8188 µg/kg votvigt í hópnum sem lifir við sjávarsíðuna meðan samsvarandi er 31-127 µg/kg votvigt í refunum sem lifa inn til landsins. Þetta sýnir glögglega að sjávardýr og dýr sem á þeim lifa verða mun meira fyrir barðinu á þrávirkum efnum en landdýr eins og rannsóknir á fuglum hafa einnig sýnt (20). Niðurstöður mælinga í ísbirni sem drepinn var norður af Horni 1993 bendir til að hann hafi komið frá Grænlandi en ekki Svalbarða miðað við hlutfall efnanna sem í honum fundust (19).

8.5 Tríbútyltin í nákuðungum

Tríbútyltin er talið vera eitt af hættulegustu efnum sem geta borist út í náttúruna og þar getur það haft margvísleg ófyrirséð áhrif. Tríbútyltin veldur vansköpun og vanþroska hjá mörgum lífverum, þar á meðal einkynja sniglum eins og nákuðungi. Vansköpunin felst í því að kvendýr mynda karlkyns kynfæri (getnaðarlim og sáðrás). Við mikla tríbútyltin mengun vex sáðrásin fyrir kynop kvendýrsins og lokar því svo dýrið verður ófrjótt. Þegar nákuðungur getur ekki lengur fjölgað sér hverfur hann úr viðkomandi samfélagi eins og þekktist víða við Bretlandseyjar (21). Karlkyns kynfæri geta myndast á kvendýrum við mjög lítinn styrk af tríbútyltini (2 ng TBT/lítra). Nákuðungur er því mjög næmur gagnvart tríbútyltinmengun og með athugun á tíðni þessarar vansköpunar má með einföldum hætti meta umfang tríbútyltinmengunar.

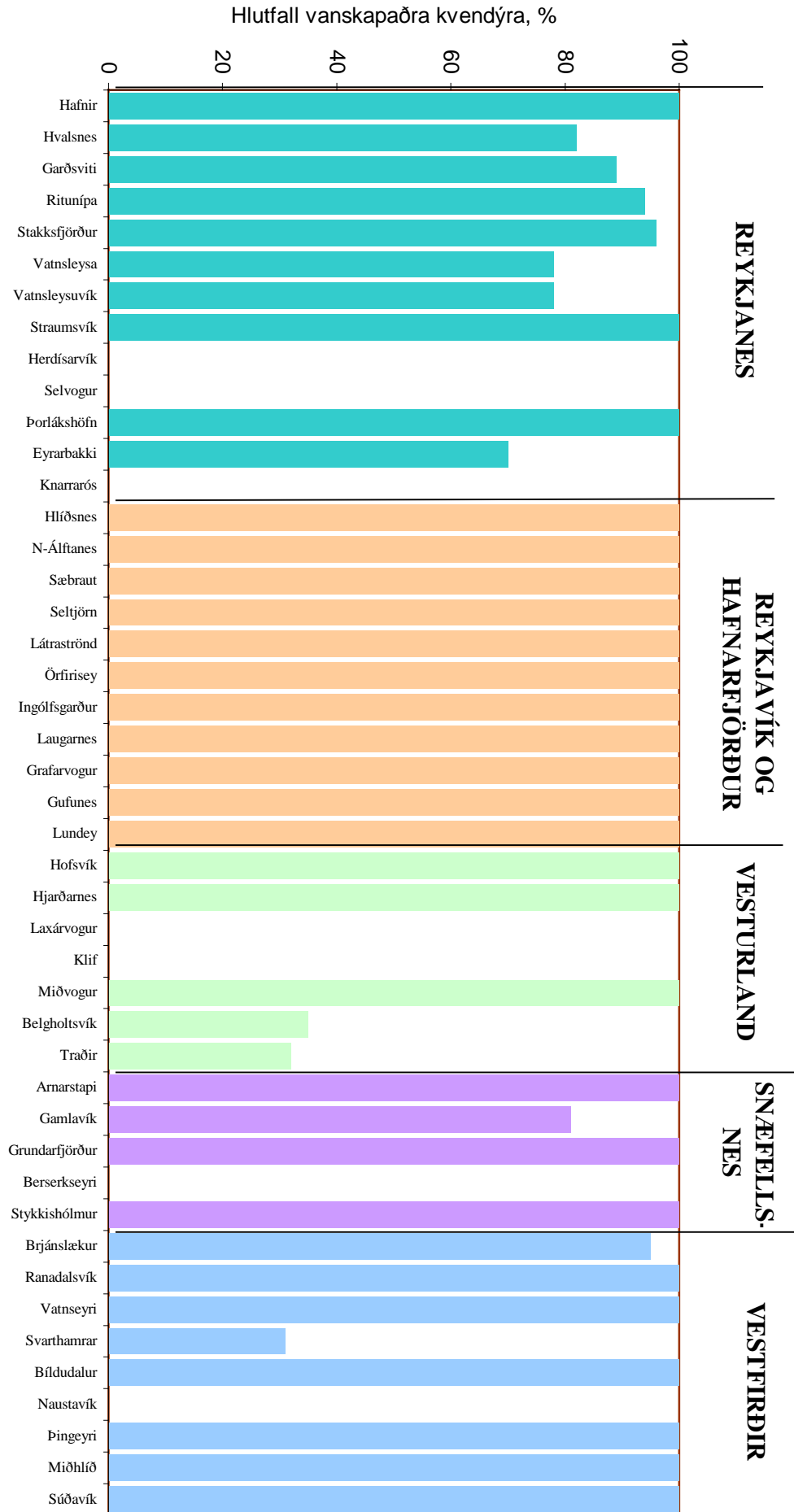
Á árunum 1992 til 1996 var nákuðungur safnað víða um land eins og sést á mynd 8.23. Dýrin voru kyngreind og vansköpun kvendýra metin. Greinilegur munur er á tíðni falskyns frá Suðvesturlandi til Vestfjarða miðað við aðra staði þar sem sýni hafa verið tekin. Af 45 stöðum á svæðinu frá Knarrarósi austan við Eyrarbakka vestur um til Súðavíkur (stöðvar 1-45 á mynd 8.23) fannst falskyn á 38 stöðum og á 35 af þessum stöðum var meira en 70% kvendýra vanskapað (mynd 8.24). Sé þetta borið saman við strandlengjuna frá Ströndum (Fell norðan Trékyllisvíkur) að Vopnafirði og í Vestmannaeyjum (stöðvar 46-63 á mynd 8.23) þá er vansköpun aðeins á 5 stöðum af 18 (mynd 8.24) og aðeins á einni þeirra var tíðnin yfir 30% (stöð 55 Árskógsströnd) en þar voru einstaklingar fáir sem getur haft áhrif á niðurstöður.



Mynd 8.23. Sýnatökustaðir nákuðungs. Tölurnar vísa á staðsetningu í töflu 8.17.

Nákuðungar finnast ekki á svæðinu frá Vopnafirði að Höfn í Hornafirði. Við samanburð milli svæða verður að hafa í huga að sýni frá stöðum 1-45 voru tekin 1992-1993 en á stöðum 46-63 1996. Árið 1996 voru einnig tekin sýni á stöðum 18 (Gufunes), 20 (Hofsvík) og 21 (Hjarðarnes) til samanburðar og hafði hlutfall vanskapaðra kvendýra minnkað eins og sjá má í töflu 8.16. Unnið er að því að kanna hvort þessar breytingar sjáist líka á öðrum stöðum.

Mynd 8.24. Hlutfall vanskapaðra kvendýra nákuðungs við ströndur Íslands.



Tafla 8.16. Hlutfall vanskapaðra kvendýra nákuðungs.

	Vansköpun (%)	
	1992-'93	1996
Gufunes við Reykjavík	100	97
Hofsvík á Kjalarnesi	100	83
Hjarðarnes í Hvalfirði	100	14

Sýni tekin við Laugarnes í Reykjavík sýna að styrkur TBT í nákuðungi sveiflast eftir árstíðum (22). Hámarkið er síðla sumars og lágmark er í febrúar-apríl, en falskyn mældist í öllum sýnum allt árið. Munurinn á hámarki og lágmarki er um það bil fimmfaldur. Þessi sveifla er talin tengjast fæðuöflun nákuðungs þar sem lítil munur er á ferðum skipa eftir árstíma á þessu svæði. Árstíðasveifla sést líka hjá kræklingi og er munurinn allt að tífaldur, lágmark í febrúar-apríl en hámark júlí-janúar. Tengja má styrk TBT í kræklingi við áthegðun hans því hann hliðrast um vissan tíma á samræmi við sveiflur í svifmagni. Þetta sýnir að velja verður hentugan árstíma til að fylgjast með styrk TBT í lífverunum.

Tafla 8.17. Sýnatökustaðir nákuðungs. Númerin eru í samræmi við mynd 8.23.

Nr.	Staður	Nr.	Staður	Nr.	Staður	Nr.	Staður
1	Hafnir	17	Grafavogur	33	Gamlavík	49	Steingrímsfjörður
2	Hvalsnes	18	Gufunes	34	Grundarfjörður	50	Bitrufjörður
3	Garðsviti	19	Lundey	35	Berserkseyri	51	Skagaströnd
4	Ritunípa	20	Hofsvík	36	Stykkishólmur	52	Kálffhamarsvíkurviti
5	Stakksfjörður	21	Hjarðarnes	37	Brjónslækur	53	Hofsós
6	Vatnsleysa	22	Laxárvogur	38	Raknadalshlíð	54	Hvammstangi
7	Vatnsleysuvík	23	Klif	39	Vatnseyri	55	Árskógsströnd
8	Straumsvík	24	Herdísarvík	40	Svarthamrar	56	Tjörnes
9	Hlíðsnes	25	Selvogur	41	Bíldudalur	57	Kópasker
10	N. Álftanes	26	Þorlákshöfn	42	Naustavík	58	Melrakkaslétta
11	Sæbraut	27	Eyrbakkinn	43	Þingeyri	59	Raufarhöfn
12	Seltjörn	28	Knarrarós	44	Miðhlíð	60	Langanes
13	Látraströnd	29	Miðvogur	45	Súðavík	61	Vopnafjörður 1
14	Örfirisey	30	Belgholtsvík	46	Reykjafjörður	62	Vopnafjörður 2
15	Ingólfsgarður	31	Traðir	47	Fell	63	Vestmannaeyjar
16	Laugarnes	32	Arnarstapi	48	Veidileysufjörður		

Vansköpun nákuðungs er mest við hafnir, 100%, en minnkar því fjær sem dregur frá þeim. Hlutfall vanskapaðra kvendýra er 100% í allt að 17 km fjarlægð frá Reykjavík og Hafnarfirði, en hlutfallið minnkar mun hraðar með fjarlægð frá minni höfnum (23).

Tríbútyltin hefur ekki fundist í vef kræklinga í innanverðum Hvalfirði. Hins vegar er lítið vitað hvort tríbútyltin hefur áhrif á afkomu íslenskra nytjafiska, en unnið er að rannsóknum á áhrifum tríbútyltin mengunar á egg og lírfur þorsks hér á landi.

8.6 Geislavirk efni í lífríki hafsins

Niðurstöðum mælinga á styrk Cs-137 í fiski og þangi á Íslandsmiðum og við Íslandsstrendur á árunum 1990-1996 hafa áður verið gerð skil í tveimur skýrslum (1,24). Í umræðu um niðurstöður geislamælinga hér að neðan, hefur einnig verið stuðst við þessi verk.

8.6.1 Geislavirk efni í fiski

Meðalstyrkur Cs-137 í þorski, sandkola, síld og kræklingi á tímabilinu 1989-96 er sýndur í töflu 8.18. Einnig eru í töflunni niðurstöður mælinga á skarkola og loðna, en þau sýni voru tekin á árunum 1989-1990. Samanborið við niðurstöður mælinga á geislavirkni í fiski í Barentshafi, Norðursjó og sunnar í Atlantshafi þá er styrkur þeirra á Íslandsmiðum með því lægsta sem finnst (1, 25,26,27,28,29,30).

Tafla 8.18. Meðalstyrkur Cs-137 á árunum 1989-1996 í fiski við Ísland (Bq/kg).

Staðsetning	Þorskur	Sandkoli	Síld	Kræklingur	Skarkoli	Loðna
Mið						
NV/V-mið	0,21	0,11	0,19			
NA-mið	0,24					0,21
SA/A-mið	0,17	0,13				
SV/S-mið	0,17	0,10			0,17	
Allt landið			0,30	0,24		

Til að kanna breytingar á geislavirkni í þorski eftir árstíðum var Cs-137 mælt í þorski af Norðausturmiðum í júlí og október 1994 og júní 1996 jafnframt því sem þorsksýni frá mars voru mæld. Út frá þeim gögnum er ekki hægt að sjá neinn afgerandi mun í geislavirkni þorsks á Íslandsmiðum eftir árstíma. Niðurstöður geislamælinga á þorski frá sömu árum sýndu heldur ekki merkjanlegan mun á styrk Cs-137 milli stærðarflokka þorsks.

8.6.2 Geislavirk efni í sel og hval við Ísland

Geislavirkni var könnuð í sel af Breiðamerkursandi, veiddum í september 1995, og sandreyð sem rak á land við Sandgerði í september 1996. Niðurstöður mælinga sýndu að í sel var styrkur Cs-137 0,2 Bq/kg, 0,28 Bq/kg í hvalkjötinu og <0,20 í hvalspikinu. Þessi gildi eru sambærileg við það sem mælist í fiski á Íslandsmiðum.

8.6.3 Geislavirk efni í þangi

Sýni til mælinga á Cs-137 í þangi hafa verið tekin á 6 stöðum hringinn í kringum landið á tímabilinu 1989-1996 (tafla 8.19). Á Fáskrúðsfirði og í Ólafsvík hefur klóþang verið tekið, en bóluþang á hinum stöðunum. Rannsóknir hafa sýnt að mæld gildi fyrir Cs-137 í klóþangi eru að jafnaði 30% lægri en í bóluþangi og er búið að leiðrétta fyrir því í töflu 8.19.

Tafla 8.19. Meðalstyrkur Cs-137 í þangi við Ísland á árunum 1989-1996.

Staður	Cs-137 (Bq/kg)
Fáskrúðsfjörður	0,40
Grímsey	0,45
Ísafjörður	0,27
Ólafsvík	0,33
Stokksnes	0,43
Vestmannaeyjar	0,29

Árin 1990 -1992 voru sýni tekin 2-4 sinnum á ári á hverjum stað, en niðurstöður sýna ekki marktækan breytileika milli árstíða. Hins vegar leiðir tölfræðiúrvinnsla á mæligögnum í ljós marktækan mun milli þeirra sex staða þar sem sýni voru tekin. Niðurstöður áruna 1990-1993 höfðu sýnt að flokka mátti mæligögn í tvennt eftir staðsetningu (1), það er

Suður- og Vesturland (Vestmannaeyjar, Ólafsvík og Ísafjörður)
Norður- og Austurland (Grímsey, Fáskrúðsfjörður og Stokksnes)

Sama niðurstaða fæst þegar allar mælingar á tímabilinu 1989-1996 eru teknar saman og er meðalgildi fyrir Suður- og Vesturland 0,30 Bq/kg, en meðalgildi Norður- og Austurlands er hærra, eða 0,42 Bq/kg ($p=0,0001$).

Þennan mun má skýra með yfirborðsstraumum í hafinu í kringum landið og er í samræmi við þau mæligildi sem fást fyrir sjó á sömu svæðum. Lægri mæligildin endurspeglar þannig lágan styrk Cs-137 í hlýjum Atlantssjónum sem kemur upp að Suðurlandi. Hærra gildi fyrir Cs-137 í þangi fyrir norðan og austan land má skýra með hærri styrk Cs-137 í sjó fyrir norðan land, aðallega vegna geislavirkra efna frá endurvinnslustöðvum í Evrópu (sjá umfjöllun í kafla 6).

Samanburður við nálæg svæði sýnir að styrkur Cs-137 í þangi við Ísland er svipaður og mælist við strendur Færeyja og vesturströnd Grænlands. Hann er hins vegar tveimur stærðargráðum minni en við strendur Noregs og allt að fimm þúsund sinnum lægri en mælist í þangi nálægt endurvinnslustöðinni í Sellafield (1).

Heimildir

- (1) Magnús Jóhannesson, Jón Ólafsson, Sigurður M. Magnússon, Davíð Egilson, Steinþór Sigurðsson, Guðjón Atli Auðunsson og Stefán Einarsson, 1995. Mengunarmælingar í sjó við Ísland. Lokaskýrsla. Gefið út af Umhverfissráðuneytinu, 137 bls.
- (2) ICES 1998. Report of the ICES Advisory Committee on the Marine Environment, Annex 5, 1988. ICES Cooperative Research Report (In press).
- (3) Jón Ólafsson, Guðjón Atli Auðunsson, Stefán Einarsson og Magnús Danielsson, 1994. Klórlífræn efni, þungmálmar og næringarsólt á Íslandsmiðum. Í: Íslendingar, hafið og auðlindir þess, ristj. Unnsteinn Stefánsson. Vísindafélag Íslendinga, Ráðstefnurit IV, 225-251.
- (4) Guðjón Atli Auðunsson, Björn Gunnarsson, Elín Árnadóttir, Eyrún Þorsteinsdóttir, Eva Yngvadóttir, Gavin Norman Grever, Guðrún I. Stefánsdóttir, Helga Halldórsdóttir, Þuríður Ragnarsdóttir, Övynnd Glömmi, 1997. Verkefnaskýrsla til AMSUM-hópsins, Efnasamsetning þorsks á Íslandsmiðum. Rannsóknarstofnun fiskiðnaðarins, 42 bls.
- (5) ICES 1988. ICES COOP.RES.REP. No. 151, 1988.
- (6) Oslo and Paris Commission Report 1991. Draft Report on the Results of the 1990. Supplementary Baseline Study of Contaminants in Fish and Shellfish.
- (7) AMAP, 1998. AMAP Assessment Report; Arctic Pollution Issues. Chapter 12 Pollution and Human Health, síður 775-844.. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway. xii+859 pp.
- (8) Cantillo, A.Y., 1998. Comparison of results of Mussel Watch Programs of the United States and France with Worldwide Mussel Watch Studies. Mar. Pollut. Bull., 36, 712-717.
- (9) Karl Skírnisson, 1993. Sjúkdómar í selum og íslenskar rannsóknir tengdar þeim. Í: „Villt íslensk spendýr“ ristj. Páll Hersteinsson og Guttormur Sigbjarnarson, Hið íslenska náttúrufræðifélag og Landvernd, 1993.
- (10) Boer, J. de, 1995. Spatial distribution and temporal trends of persistent halogenated micro-contaminants in livers of Atlantic cod (*Gadus morhua*) from the North sea. In: Analysis and biomonitoring of complex mixtures of persistent halogenated micro-contaminants, Jacob deBoer Ph.D. thesis, Vrije University, Amsterdam, 219-241.
- (11) Karl Skírnisson, 1994. Fréttabréf Heilbrigðisfulltrúafélags Íslands, apríl 1994.
- (12) Stange, K., Maage, A., & Klungsøyr, J., 1996. Contaminants in Fish and Sediments in the North Atlantic Ocean. Tema Nord 1996:522.
- (13) Hummel, H. et al., 1990. Spatial and seasonal differences in the PCB content of the Mussel *Mytilus Edulis*. The Science of Total Environment 92, 155-163.
- (14) Pruell, R.J. et al., 1986. Uptake and Depuration of Organic Contaminants by Blue Mussels (*Mytilus Edulis*) Exposed to Environmentally Contaminated Sediments Mar. Biol. 91, 497 – 507.
- (15) ICES, 1988. ICES COOP. RES. REP. No. 151.
- (16) Haathi, H. & Perttila, M., 1988. Levels and trends of organochlorines in cod and herring in the northern Baltic. Mar. Pollut. Bull., 19, 29-32.
- (17) Vetter, W., Hummert, K., Luckas, B & Karl Skírnisson, 1995. Organochlorine residues in two seal species from Western Iceland. The Science of the Total Environment 170, 159-164.
- (18) Vetter, W., Luckas, B., Heidemann, G., Skírnisson, K., 1996. Organochlorine residues in marine mammals from the Northern hemisphere – A consideration of the composition of organochlorine residues in the blubber of marine mammals. The Science of the Total Environment 1186, 29-39.
- (19) Klobes, U., Vetter, W., Glotz, D., Luckas, B., Skírnisson, K., & Hersteinsson, P., 1998. Levels and enantiomeric ratios of chlorinated hydrocarbons in livers of Arctic fox (*Alopex lagopus*) and adipose tissue and liver of a polar bear (*Ursus maritimus*) sampled in Iceland. Intern. J. Environ. Anal. Chem., 69 67-81.
- (20) Ævar Petersen, Kristín Ólafsdóttir, Þorkell Jóhannesson & Karl Skírnisson 1998. Er íslensk náttúra eins ómenguð og af er látíð? Morgunblaðið 23.10., 86(241): 30-31.
- (21) Bryan, G.W., Gibbs, P.E., Hummerstone, L.G. & Burt, G.R., 1986. The decline of the gastropod *Nucella lapillus* around south-west England: evidence for the effect of tri-n-butyltin from antifouling paints. J. Mar. Biol. Ass. U.K. 66, 611-640.
- (22) H. Skarphéðinsdóttir, Ólafsdóttir, K., Svavarsson, J. Jóhannesson, T., 1996. Seasonal Fluctuations of Tributyltin (TBT) and Dibutyltin (DBT) in the Dogwhelk, *Nucella lapillus* (L.), and the blue Mussel, *Mytilus edulis* L., in Icelandic Waters. Mar. Pollut. Bull. 32, 358-361.
- (23) Jörundur Svavarsson & Halldóra Skarphéðinsdóttir, 1995. ImPOSEX in the dogwhelk *Nucella lapillus* (L.) in Icelandic waters. Sarsia 80, 35-40.
- (24) Sigurður Emil Pálsson, 1990. An Assessment of the Use of Seaweed as Bioindicator for monitoring Low Level Radioactivity and Trace Elements in the Icelandic Marine Environment. M.Sc. ritgerð við University of Surrey, England.
- (25) Elísabet D. Ólafsdóttir, Sigurður E. Pálsson og Sigurður M. Magnússon, 1997. ¹³⁷Cs í vistkerfi sjávar og stöðuvatna 1993-1996. Geislavarnir ríkisins. 7 bls.

- (26) Hunt G.J., 1989. Radioactivity in surface and coastal waters of the British Isles, 1988 Aquat. Environ. Monit. Rep. MAFF Direct. Fish. Res. Lowestoft, (21)
- (27) Hunt, G.J., 1990. Radioactivity in surface and coastal waters of the British Isles, 1989. Aquat. Environ. Monit. Rep., MAFF Direct. Fish. Res. Lowestoft, (23).
- (28) Camplin, W.C., 1992. Radioactivity in surface and coastal waters of the British Isles, 1990. Aquat. Environ. Monit. Rep., MAFF Direct. Fish. Res., Lowestoft, (29).
- (29) Camplin, W.C., 1993. Radioactivity in surface and coastal waters of the British Isles, 1991. Aquat. Environ. Monit. Rep., MAFF Direct. Fish. Res., Lowestoft, (34).
- (30) Camplin, W.C., 1993. Radioactivity in surface and coastal waters of the British Isles, 1992. Aquat. Environ. Monit. Rep., MAFF Direct. Fish. Res., Lowestoft, (38).

9 Menn, önnur landspendýr og fuglar

Undanfarin ár hafa farið fram rannsóknir á styrk málma og þrávirkra lífrænna efna í fuglum, sláturafurðum og mannfólki á Íslandi. Einnig hefur styrkur geislavirkra efna verið mældur í ýmsum landbúnaðarafurðum. Þessar rannsóknir snúa öðrum þræði að almennu markaðs- og matvælaeftirliti meðan annar hluti þeirra beinist að því að kanna tengsl þessara efna við almenna heilbrigði dýra og manna. Árið 1974 mældist lítið magn þrávirkra lífrænna efna í íslenskum landdýrum miðað við nálæg lönd (1,2). Hins vegar er mjög brýnt að skilgreina og fylgjast með styrk þessara efna í íslenskum dýrum, matvælum og mannfólki út frá heilbrigðissjónarmiði. Einnig er mikilvægt að geta staðfest með mælingum að íslensk matvæli, m.a. landbúnaðarafurðir, séu ómengaðar og hreinar.

9.1 Þungmálmur og selen í blóði íslenskra mæðra.

Niðurstöður liggja fyrir um styrk þungmálma blýs (Pb), kadmíns (Cd) og kvikasilfurs (Hg) í blóði 40 íslenskra mæðra 1996. Helstu niðurstöður eru gefnar í töflu 9.1 ásamt styrk þessara efna í blóði mæðra í Noregi, Svíþjóð og á Grænlandi.

Tafla 9.1. Styrkur þungmálma í blóði mæðra (3).

	Pb	Cd	Hg	Se
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Ísland	<26	0,4	3,3	97
Noregur	15	0,5	3,4	107
Svíþjóð	28	1,1		63
Grænland	51	1,3	19,8	64

Styrkur blýs í blóði íslenskra mæðra var almennt við greiningarmörk (25 µg/l), utan eitt gildi sem var 30 µg/l. Það er sambærilegt því sem mælist í blóði sænskra mæðra en öllu hærra en í þeim norsku. Jafnframt má geta þess að styrkur blýs í blóði íslenskra karlmanna árið 1992 var á bilinu 25-88 µg/l (4). Kadmín mældist frá greiningarmörkum (0,2 µg/l) og upp í 1,25 µg/l. Styrkur þess er með því lágsta sem mælist á Norðurlöndum. Greinileg fylgni var hjá reykingafólki milli fjölda reykingaára og styrks kadmíns í blóðinu, þannig að ætla má að magn kadmíns í blóði sé meira háð lífsháttum einstaklinga en ytri umhverfispáttum. Til að mynda var meðalstyrkur í blóði mæðra sem aldrei höfðu reykt 0,29 µg/l en helmingi hærri hjá þeim sem reykja, eða 0,58 µg/l.

Styrkur kvikasilfurs í blóði íslenskra mæðra liggur á bilinu <2 til 7 µg/l. Þetta er sambærilegt og í Noregi, en mun meira kvikasilfur greinist í blóði grænlandska mæðra. Þessi munur hefur verið rakinn til neysluvenja, einkánlega þeirra að fita sjávarspendýra sé ríkur þáttur í fæðu grænlandska mæðra.

Selen mælist að meðaltali 97 µg/l sem er nær það sama og mælist í Noregi, en töluvert hærra en í Svíþjóð og á Grænlandi. Selen getur verndað lífverur gegn eituráhrifum þungmálma. Bein eituráhrif af völdum selens eru ekki talin verða fyrir en styrkur þess nær 1000 µg/l en hagstæð áhrif aukast að 80 µg/l, þannig að magn selens í íslenskum mæðrum virðist mjög ásættanlegt.

9.2 Þungmálmur í íslenskum búfjárafurðum og fuglum

Yfirdýralæknir hefur látið kanna styrk þungmálma í íslenskum sláturafurðum ár hvert frá 1992 (5). Þeir málmur sem hafa verið mældir eru; blý (Pb), kadmín (Cd), kvikasilfur (Hg) og arsen (As). Á árunum 1991-1992 voru einnig framkvæmdar rannsóknir á þungmálmum í lifur og nýrum íslenskra lamba á vegum Rannsóknastofnunar landbúnaðarins (6). Mælingarnar hafa beinst að magni þessara málma í innmat (nýrum og lifur) og í vöðvum hrossa, svína, sauðfjár og nautgripa. Einnig hefur styrkur efnanna verið greindur í nokkrum öðrum tegundum eins og hænsnum. Helstu niðurstöður mælinganna eru teknar saman í töflu 9.2. Styrkur málma er í mörgum tilfellum undir greiningarmörkum og því gefinn upp sem „minni“ en tiltekinn styrkur (<). Af sömu sökum er stuðst við miðgildi mælinga en ekki reiknað meðaltal.

Tafla 9.2. Meðalstyrkur þungmálma (µg/kg votvigt) í íslenskum sláturafurðum 1992-1997 (5). Styrkbil mælinga eru innan sviga.

Cd	Fjöldi mælinga	Hámark (7)	Hross	Svín	Sauðfé	Nautgripir
Vöðvi	40	100	<13 (<6-48)	<2	<2	<2
Lifur	50	500	153 (13-2945)	23 (9-203)	17 (8-226)	28 (6-91)
Nýru	50	500	2917 (150-24850)	123 (25-597)	18 (7-500)	128 (30-768)

Pb	Fjöldi mælinga	Hámark (7)	Hross	Svín	Sauðfé	Nautgripir
Vöðvi	40	50	<24 (<5-631)	<24 (<5-79)	<5 (<5-56)	<5 (<5-78)
Lifur	50	200	148 (<5-2938)	<24 (<5-81)	<24 (<5-321)	<17 (<5-87)
Nýru	50	200	<24 (<5-1040)	<24 (<5-294)	<17 (<5-76)	<24 (<5-2470)

Hg	Fjöldi mælinga	Hross	Svín	Sauðfé	Nautgripir
Vöðvi	40	<8	<35 (<10-64)	<10 (<10-35)	<10 (<10-53)
Lifur	50	<25 (<10-37)	40 (<10-133)	<10 (<10-39)	<10 (<10-85)
Nýru	50	64 (<10-171)	53 (<10-139)	<10 (<10-92)	<35 (<10-86)

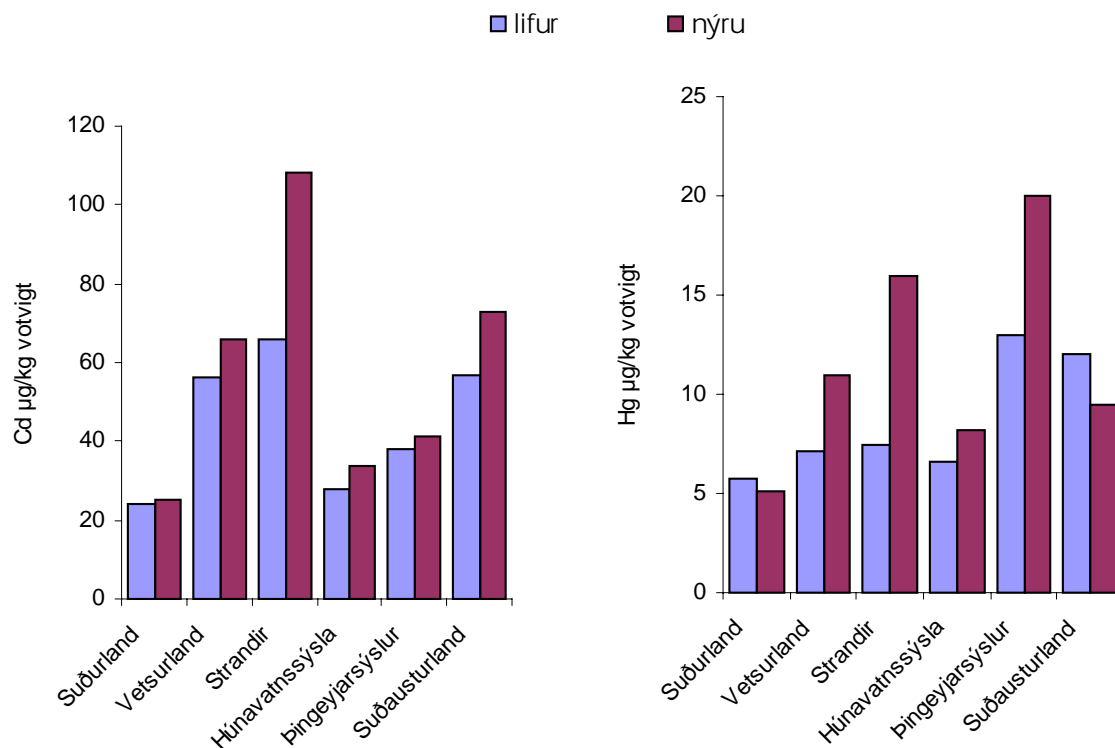
As	Fjöldi mælinga	Hross	Svín	Sauðfé	Nautgripir
Vöðvi	50	<10 (<10-23)	<10 (<10-17)	<10 ^{a)}	<10 (<10-34)
Lifur	40	<10	<10 (<10-37)	<10 ^{b)}	<10 (<10-71)
Nýru	40	<10 (<10-21)	<10 (<10-31)	<10	<10 (<10-81)

a) fjöldi mælinga=40

b) fjöldi mælinga=50

Almennt séð er styrkur efnanna vel undir viðmiðunarmörkum samkvæmt íslenskum reglugerðum. Ekkert miðgildanna fer yfir leyfilegan styrk kadmíns að undanskildu því sem mælist í nýrum hrossa. Nýru hrossa eru hins vegar ekki notuð til manneldis. Meðalstyrkur blýs, kvikasilfurs og arsens er í öllum tilfellum undir settum mörkum samkvæmt íslenskum reglum (7).

Marktækur munur á styrk kadmíns í sauðfé kemur fram eftir svæðum (6,8) (mynd 9.1). Flest hæstu gildin koma fram á Ströndum og Vesturlandi en lægstu gildin eru á Suðurlandi.



Mynd 9.1. Styrkur kadmíns og kvikasilfurs í íslensku sauðfé 1991-1992 (6).

Þessi dreifing er í nokkru ósamræmi við mælingar sem gerðar hafa verið á styrk þungmálma í mosa. Slíkar mælingar hafa verið notaðar víða erlendis til að meta loftborna mengun. Í íslenskum mosa er styrkur kadmíns hár í samanburði við það sem gerist á Norðurlöndunum. Hann er hæstur innan virka gosbeltisins (sjá kafla 3) en minnkar eftir því sem fjær dregur (9). Óljóst er hver ástæðan fyrir misræmi í styrk kadmíns í mosa og innmat er, en nefna má mismunandi áburðarnotkun og fjörubeit sem hugsanlega skýringu.

Hár styrkur kadmíns í nýrum hrossa er umhugsunarefni. Mikið magn þungmálma í líffærum hrossa er þó vel þekkt. Þá verður að hafa í huga að styrkur þeirra vex með auknum aldri dýranna. Þannig er hugsanlegt að hár styrkur kadmíns í nýrum nokkurra hrossa megi tengja háum aldri (8,10). Upplýsingar um aldur þeirra liggur því miður ekki fyrir.

Marktækur munur er á styrk kvikasilfurs í lifur og nýrum sauðfjár eftir svæðum (mynd 9.1) Að meðaltali er magn kvikasilfurs mest í sýnum úr Þingeyjarsýslum en minnst á Suðurlandi. Þá er athyglisvert að óverulegur munur er á styrk kvikasilfurs í nýrum og lifur sauðfjár sem bendir til lítillar uppsöfnunar (5).

Styrkur kadmíns, kvikasilfurs og blýs í lifur sauðfjár er með því lægsta sem finnst miðað við mælingar frá Þýskalandi, Ástralíu, Hollandi, Noregi og Finnlandi (Tafla 9.3). Athyglisvert er að styrkur kadmíns er með því lægsta sem mælist en kadmín mælist á hinn bóginn í þó nokkrum mæli í sjávarlíffverum við Ísland samanborið við önnur svæði.

Tafla 9.3. Samanburður á meðalstyrk þungmálma í lifur sauðfjár (5,11,12,13).

	Cd µg/kg	Hg µg/kg	Pb µg/kg
Ísland	17	<10	<24
Þýskaland	48	16	388
Ástralía	59	0	310
Holland	87	4	957
N-Noregur	177	4	71
S-Noregur	384	16	439
Finnland		3	31

Í íslenskri mjólk er magn blýs og kadmíns mjög lítið og kvikasilfur ekki mælanlegt. Lítil hluti þungmálma í fódri skilst út í mjólkina og jafnvel í menguðu umhverfi fer lítið af þessum efnunum í mjólk (14).

Nýlegar íslenskar rannsóknir á styrk kvikasilfurs í fjöðrum sex tegunda af sjófugli (álka, stuttnefja, langvía, lundi, rita og fýll) frá Látrabjargi staðfestu áður birtar niðurstöður um hlutfallslega háan styrk í fjöðrum fullorðinna fugla frá Látrabjargi borið saman við fugla frá stöðum í Noregi, Skotlandi og Hjaltlandseyjum (15). Ekki eru til skýringar á þessu en a.m.k. tvö atriði benda til að þessi háí styrkur endurspegli ekki ástand vistkerfisins, enda mælist kvikasilfur lágt í sjávardýrum. Hið fyrra er að styrkur kvikasilfurs í lifur langvíu og stuttnefju er lægri en annars staðar við Norðaustur-Atlantshaf og að styrkurinn minnkar í fjöðrum og dún unga eftir því sem þeir eldast. Þetta hvort tveggja bendir til að lágs kvikasilfursstyrk í fæðu fuglanna (15).

9.3 Þrávirk lífræn efni í móðurmjólk

Hjá kvenspendýrum fer hluti þrávirkra lífrænna efna út með móðurmjólkinni, en í karldýrum eykst hins vegar styrkur þeirra með aldri (16). Erlenlis hafa rannsóknir á mönnum einkum beinst að tilvist klórkolefnissambanda í móðurmjólk, þar sem minni fæðingarþyngd og óeðlilegur þroski nýbura hefur verið rakinn til PCB-efna (17). Við rannsóknir á styrk þrávirkra lífrænna efna í íslenski móðurmjólk (18) hefur komið í ljós að styrkur þeirra er svipaður og í móðurmjólk annars staðar á Norðurlöndum (19-21) nema í Færeyjum (tafla 9.4) þar sem hár styrkur efnanna var í beinum tengslum við hvalafurðir í fæðu mæðranna en ekki fiskafurðir (22). Það sama á við um Inúíta í Kanada, sem hafa mun meira magn þrávirkra efna í móðurmjólk en aðrir Kanadabúar (23). Í Þýskalandi er sömuleiðis meira magn

efnanna en hér á landi, en það er rakið til mikils iðnaðar (24). Víðast hefur magn efnanna í móðurmjólk farið töluvert minnkandi frá 1980-1990, sem rakið er til minni notkunar efnanna þannig að fæða fólks verður smátt og smátt minna menguð. Það sama virðist eiga sér stað á Íslandi, nema hvað snertir HCB, sem mældist heldur meira í konum utan af landi 1998 (Stykkishólmi, Grundarfirði, Ísafirði, Húsavík, Neskaupstað og Höfn) en í konum frá Reykjavík 1993. Þar sem hóparnir eru þó ekki þeir sömu, verður að skoða þá aftur á sama tíma til að fá úr því skorið hvort meira magn HCB sé í konum á landsbyggðinni en í Reykjavík.

Móðurmjólk er talin undir hættumörkum, varðandi áhrif á þroska nýbura, ef magn PCB-efna er undir 25 mg/kg fitu (17). Magnið sem finnst í íslenski móðurmjólk er að meðaltali um fimmfú sinnum lægra og hæstu gildi sem fundust voru um tvítugfalt lægri en hættumörkin.

Tafla 9.4. Þrávirk lífræn efni í móðurmjólk (µg/kg).

Staður ^{a)}	Fjöldi mælinga	HCB	Σ DDT	Σ PCB ^{b)}
Ísland Reykjavík 1993	22	47,4	357	757
Ísland landið 1998	27	69,8	274	402
Færeyjar 1995 (22)	88			1900-3500
Noregur 1991 (19)	28	31	269	521
Svíþjóð 1985 (21)	102	37	650	1160
Svíþjóð 1989 (21)	13	37	380	670
Finnland 1985 (20)	183	80	660	930
Kanada, Inúítar 1985 (23)	107	138	1212	1650
Kanada, aðrir 1991 (23)	16	28	336	192
Þýskaland 1985 (24)	220	463	922	1470
Þýskaland 1990 (24)	113	177	531	1162

a) Tilvitnanir í svigum

b) Σ PCB = PCB (afl. 138+153+180) x 2 = áætlað heildarmagn PCB-efna

9.4 Þrávirk lífræn efni í fugli

Nýlega lauk rannsóknum á styrk þrávirkra lífrænna efna í íslenskum fálkum (tafla 9.5) (25). Í ljós kom að magn PCB- og DDT-efna var hærra hér á landi en í sambærilegum tegundum annars staðar (25). Beint samband fannst milli styrks efnanna og aldurs fuglsins. Einnig virðist allt benda til þess að efnin berist á sambærilegan hátt í fálkann þar sem gott samband var á milli styrks efnanna í öllum 59 fuglunum sem rannsakaðir voru. Ólíklegt er að hér sé um staðbundna mengun að ræða heldur berast efnin sennilega í íslenska fæðukeðju erlendis frá, t.d. með farfuglum.

Rjúpur eru aðalfæða fálkans, en lítið magn þrávirkra lífrænna efna mældist í þeim (tafla 9.5). Því sýnist ljóst að önnur fæða fálkans hlýtur að vera mjög menguð, hugsanlega er um að ræða farfugla sem fá í sig eitrefni á erlendum vetrarstöðvum. Þannig er styrkur PCB efna 23 sinnum meiri og styrkur DDT-efna 115 sinnum meiri í lóu, sem er farfugl, en rjúpu, sem dvelur á Íslandi árið um kring (26).

Tafla 9.5. Þrávirk lífræn efni í fitu í brjóstvöðva fugla (27).

Tegund	Σ HCH µg/kg	HCB µg/kg	Σ PCB mg/kg	Σ DDT mg/kg
Fálki	<50-390	<50-1400	0,07-232	0,005-49,9
Rjúpa	0,06-0,3	0,09-0,3	0,0002-0,004	<0,0001
Æðarfugl		0,25-0,83	0,085-0,11	0,010-0,012

Rannsókn á æðarfugli sem veiddur var á Álftanesi 1993 leiddi í ljós talsverða mengun (tafla 9.5). Styrkur PCB- og DDT-efna í æðarfugli er þó töluvert minni en í fálka enda er æðarfuglinn mun neðar í fæðukeðjunni. Mikil árstíðasveifla sást á styrk efnanna í brjóstvöðva fuglsins, sem endurspeglar tilfærslu þeirra úr fituvef í önnur líffæri þegar fuglinn horast á varptímanum. Á þeim tíma er hætt við að styrkur efnanna í blóði fuglanna geti hækkað nóg til að valda bráðum eituráhrifum hjá fuglinum.

Nokkrum minni styrkur þrávirkra lífrænna efna hefur mælst í æðarfugli á öðrum norðlægum slóðum. Þar sem æðarfuglinn er staðbundinn hér við land og lifir að mestu á skeldýrum í fjörum, benda þessar niðurstöður til þess að strendur Íslands séu mengaðar af þrávirkum lífrænum efnum (tafla 9.6).

Tafla 9.6. Samanburður á styrk þrávirkra lífrænna efna í brjóstvöðva/lifur æðarfugls á norðlægum slóðum (ng/g).

	Heimild	HCB	Σ PCB	Σ DDT
Ísland		0,6/0,7	98/90	11/17
Svalbarði	(28)	-/2	-/100	-/11
	(29)		-/40	
	(30)	-/4,1	-/24	-/9,7
Frans Josefsland	(30)		-/2,8	
Norður Kanada	(31)	2-6/-	5-19/-	5-17/-

9.5 Þrávirk lífræn efni í búfjárafurðum

Yfirdýralæknisembættið hefur árlega frá árinu 1991 látið mæla magn nokkurra algengustu þrávirku lífrænu efnanna sem finnast í sláturafurðum hér á landi. Niðurstöður mælinganna frá 1992 til og með 1997 eru sýndar í töflu 9.7. Styrkur efnanna er mældur í fitu, en þrávirk lífræn efni hafa tilhneigingu til að safnast fyrir í henni. Mest er af PCB-efnum, 50-70% af heildarstyrk þeirra þrávirku lífrænu efna sem voru mæld. Einnig mælist DDT og afleiður þess í nokkrum mæli í sláturafurðum.

Tafla 9.7. Meðalstyrkur þrávirkra lífrænna efna í fitu í íslenskum sláturafurðum á árunum 1992-97 (µg/kg), fjöldi mælinga er 50 (5).

	Lindan	HCB	Σ DDT	Σ PCB *
Hámark (7)	100	20	100	200
Hross	<5	<5	<5	29,9
Svín	<5	3,6	16,9	55,7
Sauðfé	<5	<5	13,7	28,5
Nautgripir	<5	3,6	9	21,8

* miðað við 100% fitu

Styrkur þrávirku lífrænna efna er í öllum tilfellum langt undir íslenskum viðmiðunarreglum um aðskotaefni í matvælum (7). Athyglisvert er að styrkur lindans (γ-HCH) mælist í óverulegu magni í íslenskum sláturafurðum, en lindan hefur verið mikið notað á Íslandi sem baðlyf á sauðfé og hross eins og áður hefur komið fram.

Styrkur þrávirku lífrænna efna er mestur í fitu svína. Hins vegar er styrkur þeirra í fitu hrossa, sauðfjár og nautgripa svipaður. Hugsanleg skýring á þessu er að stór hluti fæðu svína er tilbúið fóður en í því er meira magn þrávirku lífrænna efna en í heyi, sem er aðalfæða hinna dýrategundanna.

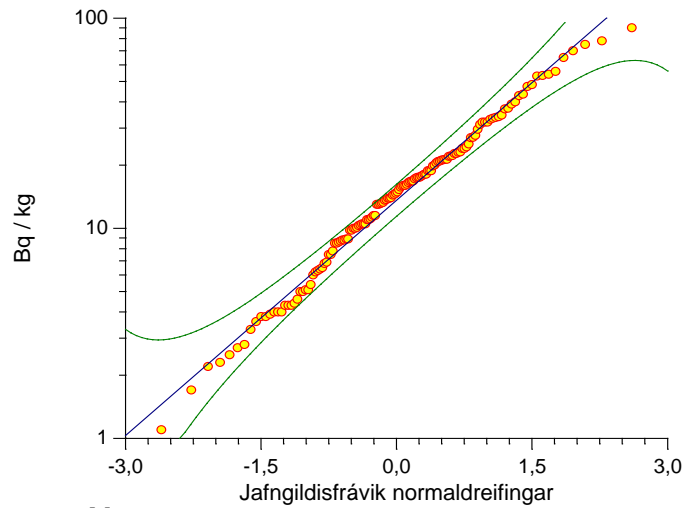
Í íslenskum mjólkurafurðum er yfirleitt mun minna af þrávirkum lífrænum efnum en í samskonar afurðum, útendum. Eina efnið sem mældist var DDE, umbrotsefni DDT, og reyndist styrkur þess vera 0,26 µg/kg_{mjólkur}. Leyfilegt hámarksgildi DDE í mjólk annarra landa er á bilinu 40-50 µg/kg_{mjólkur} (14).

9.6 Geislavirk efni í búfjárafurðum og fugli

Almennt er styrkur Cs-137 í íslenskum matvælum mjög lágur. Geislun af þess völdum er hverfandi miðað við þá grunngeislun sem kemur úr umhverfi okkar, sem er þó lítil fyrir á Íslandi miðað við önnur lönd. Talið er að um 40% af því sesíni sem er í fæðu á Íslandi komi úr mjólk. Meðalgildi fyrir Cs-137 í íslenskri mjólk er þó sáralágt, eða frá 1,5-3,5 Bq/lítra, en til samanburðar má geta að viðmiðunarmörk fyrir Cs-137 í alþjóðlegum viðskiptum eru 1000 Bq/lítra (14).

Styrkur Cs-137 hefur einnig verið mældur í nokkrum sýnum af sauðamjólk. Styrkur þess spannaði um 0,5-28 Bq/lítra. Ýmsir þættir hafa áhrif á hversu mikill styrkurinn verður. Meðal þeirra eru styrkur sesínsins í gróðri og átvenjur hvernar kindar (32).

Geislavarnir ríkisins hafa mælt reglulega styrk Cs-137 í íslensku lambakjöti frá árinu 1989. Undanfarið hafa verið tekin 4 sýni frá fjórum stærstu sláturhúsum landsins, einu sinni á ári, að hausti í sláturtíð. Niðurstöður sýna að mikil dreifing er í mæligildum (2-100 Bq/kg). Á mynd 9.2 má þó sjá að dreifing mæligildanna fellur engu að síður vel að svo kallaðri log-normal dreifingu. Nánari útlitun á tölfræðilegri dreifingu gagna er að finna í skýringartexta 9.1.



M

Mynd 9.2. Styrkur Cs-137 í lambakjöti, 1989-1997. Dreifing mæligilda um lognormaldreifingu.

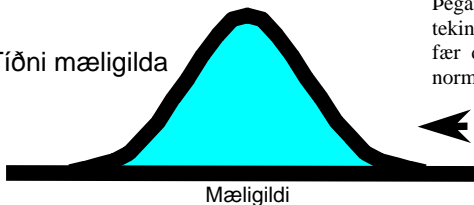
Skýringartexti 9.1. Tölfræðileg dreifing mæligilda og jafngildisfrávik

Hópar lífvera eða annarra náttúrulegra fyrirbrigða eru samsettur úr einstaklingum sem geta verið breytilegir að gerð, t.d. stærð, þyngd og þ.h.. Þess vegna er ekki einhlítt að mælingar á einstaklingum lýsi eiginleikum hópsins til fullnustu. Vilji menn fá nákvæmara mat á eiginleikum hópsins verður að mæla í nægilegum fjölda einstaklinga og styðjast við líkindareikning. Líkindadreifing mæligildanna er nokkuð breytileg eftir eiginleikum þess hóps sem verið er að mæla.

Normaldreifing

Normaldreifing er þekktust líkinda-dreifinga og á vel við til að lýsa t.d. hæðar- og lengdar-dreifingu einstaklinga í hóp. Sama gildir um dreifingu **algengra** frumefna t.d. jarðefnum.

Tíðni mæligilda

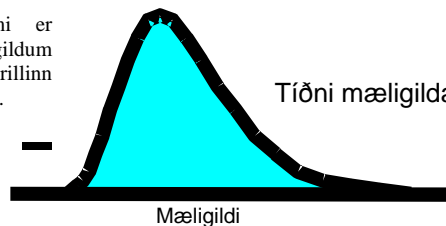


Ferillinn er samhverfur um meðaltalið

Lognormaldreifing

Lognormaldreifing vísar til þess að lógaritmi mæligildanna hefur normaldreifingu. Þessi dreifing lýsir vel styrk mengandi efna í hópi mismunandi einstaklinga sem verða fyrir mismikilli mengun, t.d. geislamengun og hafa misvirka hæfileika til upptöku mengandi efna úr umhverfinu.

Þegar lógaritmi er tekinn af mæligildum fær dreifingarferillinn normaldreifingu.



Tíðni mæligilda

Ferillinn er skekktur í átt til hærri gildanna

Jafngildisfrávik normaldreifingar

Lárétti ásinn á mynd 9.2 er kallaður *jafngildisfrávik normaldreifingar*, skammstafað *JFN* (normal equivalent deviate, NED).

Hann er fundinn á eftirfarandi hátt:

- Gögnunum er raðað í vaxandi röð.
- Skilgreint er gildið p fyrir hverja mælingu: $p = (\text{raðnúmer} - 0,5) / \text{heildarfjöldi gagna}$. Gildin p eru öll á milli 0-1 og sýna hlutfall mæligilda sem eru lægri en mæligildið.
- p er varpað yfir í nýja breytu, *jafngildisfrávik normaldreifingar* (JFN) með andhverfa fallinu af normaldreifingu [normsinv(p)] í Excel]. JFN sýnir þá fjölda staðalfrávikna yfir eða undir meðalgildi dreifingarinnar.
- JFN er ný breyta sem fylgir staðlaðri normaldreifingu en á það sammerkt með upphaflegu gögnunum að stærðarröð sýnanna er hin sama, hvor breytan sem notuð er.
- Upphaflegu mæligildin eru síðan teiknuð á lógaritmakvarða á móti JFN eins og sést á mynd 9.2. Séu punktarinn nálægt því að fylgja beinni línu má álykta að lógaritmi af upphaflegu gildunum fylgi nokkurn veginn normaldreifingu.

Mynd 9.2 sýnir að gildin eru innan öryggismarkanna þegar lógaritminn af mæligildunum er teiknaður á móti JFN. Niðurstaðan er þá að mæligildin fylgja því sem kallað er log-normal dreifing.

Einn af þeim þáttum sem virðast ráða styrk Cs-137 er hvort féð hefur gengið á afrétt en þá er styrkur þess hærri (32).

Tvö sýni af kýrkjöti af Suðurlandi hafa veið mæld, og mældist um 3,5 Bq/kg Cs-137 í báðum sýnum. Sýni af svínakjöti sem mælt var á Geislavörnum gaf hins vegar mun lægra gildi, eða 0,2 Bq/kg og í sýni af kjúklingakjöti mældist ekki nema 0,13 Bq/kg. Fjöldi sýna er hins vegar ekki nægur til þess að unnt sé að draga ályktanir af samanburði.

9.7 Geislavirk efni í jarðvegi og gróðri.

Frá árinu 1993 hefur verið unnið að samnorrænu verkefni um flutning efna úr jarðvegi í sauðfé. Meðal þess sem þar hefur verið mælt er jarðvegur, gróður (bæði samsett gróðursýni og tegundasýni) ásamt lambakjöti, sauðamjólki eins og talað var um á undan og skít úr lömbum og ám. Komið hefur í ljós að íslenskt vistkerfi er sérstakt á þann hátt að geislavirkt sesín virðist þaulsetnara þar en t.d. víðast í Skandinavíu. Í ljósi þess voru gerðar nánari athuganir á gróðri og jarðvegi.

Í jarðvegi fer styrkur Cs-137 á flatareiningu eftir ýmsum þáttum, þar á meðal staðbundnum eiginleikum (styrkur er meiri í dældum en ofan á þúfum) og meðalúrkomu á viðkomandi landsvæði (því meiri úrkoma, þeim mun hærri er styrkurinn að jafnaði). Algengt hefur verið að styrkur Cs-137 í sýnum frá tilraunabúunum að Hesti (í Borgarfirði) og Stóra Ármóti (á Suðurlandi, í grennd við Selfoss) spanni 2-8 kBq/m², en dæmigerðust gildi eru 4-5 kBq/m² (32).

Styrkur Cs-137 í gróðri fer mjög eftir aðstæðum og gróðurtegundum. Styrkur þess í gróðri og landbúnaðarafurðum frá tilraunabúinu að Hesti í Borgarfirði er að jafnaði um tífalt hærri en samsvarandi styrkur í gróðri og afurðum frá Stóra Ármóti á Suðurlandi (í grennd við Selfoss). Gildin á hvoru búi þurfa hins vegar ekki að vera dæmigerð fyrir hvort landsvæði, gerð jarðvegs á hverjum stað ræður miklu (t.d. hvort um mýrarjarðveg eða þurran jarðveg er að ræða). Samsett gróðursýni mismunandi tegunda gátu gefið um 3 Bq/kg þurrvigt á þurrum svæðum og upp í 90 Bq/kg á rökum. Breytileikinn er þó meiri séu einstakar tegundir athugaðar. Í rannsókninni á þessum tveimur tilraunabúum spönnuðu mæld gildi í einstökum tegundum allt frá 0,7 Bq/kg þurrvigt upp í 130 Bq/kg þurrvigt (32).

Styrkur Cs-137 er lágur í jarðvegi hér á landi og svipaður því sem gerist á sambærilegum stöðum erlendis. Rannsóknir benda hins vegar til að tilfærsla Cs-137 úr íslenskum jarðvegi í gróður sé oft töluvert meiri hér á landi en gengur og gerist erlendis (33). Af þeim sökum er styrkur sesíns í gróðri er hærri hér á landi þó svo að hann sé vel neðan hættumarka. Ástæðan er væntanlega sérstakir eiginleikar íslensks jarðvegs sem eru ekki að fullu kannaðir. Fyrir vikið er íslensk náttúra viðkvæm gagnvart geislavirku úrfelli og því full ástæða til frekari rannsókna.

9.8 Geislavirk efni í hreindýrakjöti, æðarfugli og í ísbirni

Árin 1990-1993 gengust Geislavarnir ríkisins fyrir rannsókn á tilfærslu á Cs-137 úr jarðvegi og gróðri í hreindýrakjöt. Rannsóknin var gerð í samvinnu við Náttúrfræðistofnun Íslands og embætti Veiðistjóra og var jafnframt hluti af norrænu rannsóknaverkefni. Styrkur Cs-137 mældist mjög lágur í hreindýrakjötinu. Meðaltal 43 kjötsýna reyndist 11 Bq/kg en þess má geta að fyrir slysið í Tsjernobyl voru dæmigerð vetrargildi í Noregi, Svíþjóð og Finnlandi um 200-400 Bq/kg. Rannsóknin sýndi einnig að dýr innan sömu hjarðar (og sem hafa verið á beit á svipuðu svæði) hafa á móta mikinn styrk af sesíni í kjöti sínu. Meðaltalið getur hins vegar verið mjög breytilegt eftir beitarhögum og árferði. Í kjöti dýra sem voru nýkomin úr Kringilsárrana (við norðurbrún Vatnajökuls) reyndist styrkurinn einstaklega lítill eða aðeins 0,5-0,8 Bq/kg. Styrkur sesíns er því mun minni en í hreindýrakjöti frá Skandinavíu og er annað fæðuval dýranna þar líklegasta skýringin. Þetta dæmi sýnir hins vegar vel mikilvægi þess að rannsóknir á hegðun geislavirkra efna séu stundaðar í íslenskri náttúru og erlendar niðurstöður séu ekki yfirfærðar hráar yfir á íslenskar aðstæður. (34,35).

Í tengslum við rannsóknarverkefni Karls Skírnissonar o.fl. (36) voru gerðar mælingar á geislavirku sesíni í æðarfugli. Reyndist styrkur þess neðan greiningarmarka í tveimur sýnum af þremur, en 0,1 Bq/kg í því þriðja.

Styrkur Cs-137 var einnig mældur í sýni af ísbirni sem fangaður var norður af Horni í júní 1996. Styrkurinn mældist 0,2 Bq/kg, sem er sambærilegt við það sem mældist í sel og hval af Íslandsmiðum (36).

Æðarfuglar og ísbjörninn sækja fæði í sjávarfang. Það kemur því ekki á óvart að styrkur Cs-137 í kjöti þeirra skuli vera svipaður og í fiski og mun minni en í kjöti dýra sem sækja fæðu á þurrt land.

Heimildir

- (1) Bengtson, S.A., and Södergren, A., 1974. DDT and PCB residues in airborne fallout and animals in Iceland. *Ambio* 3, 84-86.
- (2) J. Skaftason & T. Jóhannesson, 1982. Organochlorine compounds in Icelandic lake trout and salmon fry: Local and global source of contamination. *Acta Pharmacol. Toxicol.* 51, 398-400.
- (3) AMAP, 1998. AMAP Assessment Report; Arctic Pollution Issues. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway. xii+859 pp.
- (4) Svava Þórðardóttir og Þorkell Jóhannesson 1993. Blý í blóði manna í Reykjavík. *Læknablaðið*, 79: 403-408.
- (5) Yfirdýralæknir. Óbirt gögn.
- (6) Ólafur Reykdal og Arngrímur Thorlacius, 1995. Þungmálmar í lifur og nýrum lamba. Rannsóknarstofnun landbúnaðarins, fréttabréf 16, 8 bls.
- (7) Reglugerð um aðskotaefni í matvælum, Stjtið. B, nr. 818/1993. Viðaukar 2 og 4.
- (8) Ólafur Reykdal, 1998. Berst kadmín í búfjárafurðir? Ráðunautafundur 1998.
- (9) Ruhlingen, A., Brumelis, G., Goltsova, N., Kvietkus, K., Kubin, E., Liiv, S., Magnússon, S., Makinen, A., Pilegaard, K., Rasmussen, L., Sander, E. & Steinnes, E., 1992. Atmospheric heavy metal deposition in Northern Europe 1990. *Nord* 1992, 41, bls.
- (10) Salisbury, C.C., Chan, W. & Saschenbrecker, P., 1991. Multielement concentrations in liver and kidney tissues from five species of Canadian slaughter animals. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.* 72, 587-591.
- (11) Knöppler, H.O., Graunke, W., Mucke, W., Schulze, H. & Gedek, W., 1979. Blei-, Cadmium- und Quicksilbergehalte in Fleisch- und Organproben von Lammern und Schafen. *Fleischwirtschaft* 59, 241-247.
- (12) Vos, G.H., Lammers H. & Delft W., 1988. Arsenic, cadmium, lead and mercury in meat livers and kidneys of sheep slaughtered in the Netherlands. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* 187, 1-7.
- (13) Froslic, A., Norheim, G., Rambæk, J.P. & Steinnes, E., 1985. Heavy metals in lamb liver: contribution from atmospheric fallout. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 34, 175-182.
- (14) Ólafur Reykdal, 1993. Úttekt á aðskotaefnum í íslenskri mjólk. Skýrsla unnin fyrir Osta- og smjörsluna og Landsamband kúabenda. 64 bls.
- (15) Kristján Lillindahl, Jón Sólmundsson, Ólafur K. Pálsson, Þuríður Ragnarsdóttir og Guðjón Atli Auðunsson, 1997. Kvikasilfur í fjöðrum sjöfugla úr Látrabjargi. Í ritstj. Jakob Jakobsson og Ólafur Karvel Pálsson. Fjölstofna rannsóknir 1992-1995, Hafrannsóknastofnunin, fjölrit nr 57, bls. 283-295.
- (16) Luchas, B, Vetter, W, Fischer, P, Heideman, G, & Plötz, J, 1990. Characteristic chlorinated hydrocarbon patterns in the blubber of seals from different marine regions. *Chemosphere* 21:13-19.
- (17) Jacobson, J.L., Jacobson, S.W., and Humphrey, H.E.B. 1990. Effects of in utero exposure to polychlorinated biphenyls and related contaminants on cognitive functioning in young children. *Journ. of Pediatr.* 16,:38-45.
- (18) Kristín Ólafsdóttir, Hildur Atladóttir og Þorkell Jóhannesson, 1997. Þrásetin klórkolefnissambönd í íslenskri móðurmjólk. *Læknablaðið* 83, 382-389.
- (19) Johansen, H.R., Becher, G., Polder, A. & Utne Skaare J, 1994. Congener-specific determination of polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides in human milk from Norwegian mothers living in Oslo. *J. of Toxicol. and Environm. Health* 42:157-171.
- (20) Mussalo-Rauhamaa, H., Pyysalo, H., Antervo, K., 1988. Relation between the content of organochlorine compounds in Finnish human milk and characteristics of the mothers. *J. of Toxicol. and Environm. Health* 25: 1-19.
- (21) Vaz, R., Slorach, S.A. & Hofvander, Y., 1993. Organochlorine contaminants in Swedish human milk: studies conducted at the national food administration 1981-1990. *Food Addit. Contam.*; 10: 407-18.
- (22) Grandjean, P., Weihe, P., Needham, L.L., Burse, V.W., Patterson, D.G., Sampson, E.J., Jørgensen, P.J. & Vahter, M. 1995. Relation of a seafood diet to mercury, selenium, arsenic, and polychlorinated biphenyl and other organochlorine concentrations in human milk. *Environm. Res.* 71:29-38.
- (23) Dewailly E, Ayotte P, Bruneau S, Laliberté C, Muir DCG and Norstrom R 1993. Inuit exposure to organochlorines through the aquatic foodchain in arctic Québec. *Environm. Hlth. Persp.* 101:618-620.
- (24) Fürst, P., Fürst, C. & Wilmers, K., 1994. Human milk as a bioindicator for body burden of PCDDs, PCDFs, organochlorine pesticides, and PCBs. *Environ Health Persp.*; 102/suppl 1: 187-93.
- (25) Ólafsdóttir, K., Petersen, Æ., Thórdardóttir, S., and Jóhannesson, T. 1995. Organochlorine residues in Gyrfalcons (*Falco rusticolus*) in Iceland. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 55:382-389.
- (26) Kristín Ólafsdóttir, E. Magnúsdóttir, Ævar Petersen og Þorkell Jóhannesson. 1999. Persistent organochlorines in some prey species of the Icelandic gyrfalcon (*falco rusticolus*). *Environm. Poll.*, í prentun.
- (27) K. Ólafsdóttir, K. Skírnisson, G. Gylfadóttir & Þ. Jóhannesson 1998. Seasonal fluctuations of organochlorine levels in the common eider (*Somateria mollissima*) in Iceland. *Environm. Pollut.*, 103: 153-158.
- (28) Norheim, G. & Kjos-Hansen, B, 1984. Persistent chlorinated hydrocarbons and mercury in birds caught off the coast of Spitsbergen. *Environ. Poll.* 33, 143-152.
- (29) Mehlun F. & Daelemans F.F., 1995. PCBs in Arctic seabirds from the Svalbard region. *Sci. Total. Environ.* 160/161, 441-446.
- (30) Savinova T.N., Poldnes A., Gabrielsen G.W. & Skaare J.U., 1995. Chlorinated hydrocarbons from the Barents Sea area. *Sci. Total Environ.* 160/161, 497-504.
- (31) Braune B., 1994. Trends and effects of environmental contaminants in Arctic seabirds, waterfowl, and other wildlife. I. Contaminants in waterfowl: Native Harvest in NWT. Synopsis of research conducted under the northern contaminants program. *Environmental studies no 72:305-311.* Indian and Northern Affairs, Ottawa, Canada.
- (32) Geislavarnir ríkisins. Óbirt gögn.

- (33) Norrænar kjarnöryggisrannsóknir (NKS), óbirt skýrsla.
- (34) Sigurður Emil Pálsson, Sigurður M. Magnússon, Elísabet D. Ólafsdóttir, Kristbjörn Egilsson og Skarphéðinn Þórisson, 1993. Geislavirkni í íslensku hreindýrakjöti 1990-93. Í: „Villt íslensk spendýr“ ritstj. Páll Hersteinsson og Guttormur Sigbjarnarson, Hið íslenska náttúrufræði félag og Landvernd, bls. 319-326.
- (35) Pálsson, S.E., Egilsson, K., Þórisson, S., Magnússon, S.M., Ólafsdóttir, E.D. & Indriðason, K., 1994. Transfer of Radiocaesium from Soil and Plants to Reindeer in Iceland. *Journal of Environ. Radioactivity*, 24. 107-125.
- (36) Elísabet D. Ólafsdóttir, Sigurður Emil Pálsson og Sigurður M. Magnússon, 1997. ¹³⁷Cs í vistkerfi sjávar og stöðuvatna 1993-1996 - niðurstöður. Geislavarnir Ríkisins, 7 bls.

10 Stöðuvötn

Vaxandi kröfur eru um að komið verði á kerfisbundinni vöktun stöðuvatna á Íslandi. Þetta er að hluta til vegna þátttöku Íslands í alþjóðlegum samningum, en ekki síður vegna náttúruverndar, landnýtingar og skipulags. Lífríki Mývatns hefur verið vaktað um nokkurt skeið vegna náttúruverndar og líklegt er að næst verði komið á vöktun Þingvallavatns. Vöktun annarra vatna verður væntanlega ekki jafn ítarleg. Hins vegar er nauðsynlegt að gera úttekt á ástandi vatna, skilgreina vatnagerðir og mæla síðan reglulega vötn sem valin hafa verið sem einkennisvötn eða dæmi tiltekinna vatnagerða.

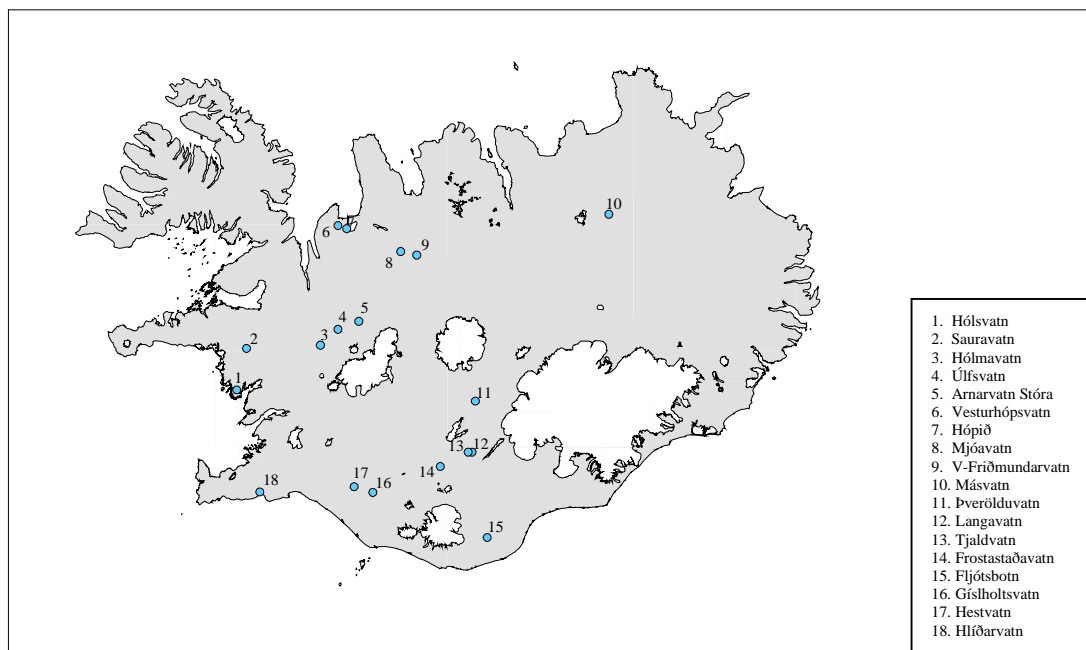
Samkvæmt mælingum Veðurstofu Íslands hefur dregið úr magni brennisteinssambanda í lofti sem hingað berst þó enn gæti dálítillur súrnunar. Einnig verður að hafa í huga að mikill breytileiki er í mælingum á milli ára sem stafar einkum af breytilegu veðurlagi (sjá kafla 4). Eins má gera ráð fyrir að breytingar í landnýtingu og gróðurfari hafi haft og kunni að hafa áhrif á lífríki og fæðuvefi í ferskvatni. Einstaka þéttbýlisstaðir eru við ár og vötn, auk þess sem losun á sér stað frá starfsemi inn til landsins. Mikilvægt er að upplýsingar fengnar með vöktun og vatnsgæðamat liggi fyrir við breytt skipulag eða þegar ný starfsemi, t. d. fiskeldi er ákveðin.

Viðamiklar rannsóknir á vistkerfi stöðuvatna á Íslandi hafa verið gerðar síðustu ár og hafa margir aðilar komið að því verki m.a. Líffræðistofnun Háskóla Íslands, Veiðimálastofnun, Náttúrufræðistofnun Kópavogs, Hólaskóli, Rannsóknastofnun fiskiðnaðarins og Hollustuvernd ríkisins.

Hér verður gerð grein fyrir niðurstöðum mælinga á efnainnihaldi nokkurra stöðuvatna en þær voru gerðar að tilstuðlan umhverfisráðuneytisins. Einnig verður gerð grein fyrir mælingum á ólífrænum snefilefnum og þrávirkum lífrænum efnum í lífríki Þingvallavatns. Þessum niðurstöðum hafa áður verið gerð skil í nokkrum skýrslum og vísað er til þeirra um frekari upplýsingar (1,2,3,4,5,6).

10.1 Ólífræn og lífræn efni í stöðuvötnum

Efnainnihald átján stöðuvatna var mælt árið 1997. Staðirnir eru sýndir á mynd 10.1. og eru flest vötnin á sunnan- og vestanverðu landinu. Niðurstöður efnamælinga eru sýndar í töflu 10.1. Heildarstyrkur uppleystra efna í ferskvötnum er á bilinu 7-94 mg/l. Í Hlíðarvatni á Reykjanesi er mun meira af uppleystum efnum (233 mg/l), enda er það sjóblandað.



Mynd 10.1. Staðsetning þeirra stöðuvatna sem rannsóknin náði til.

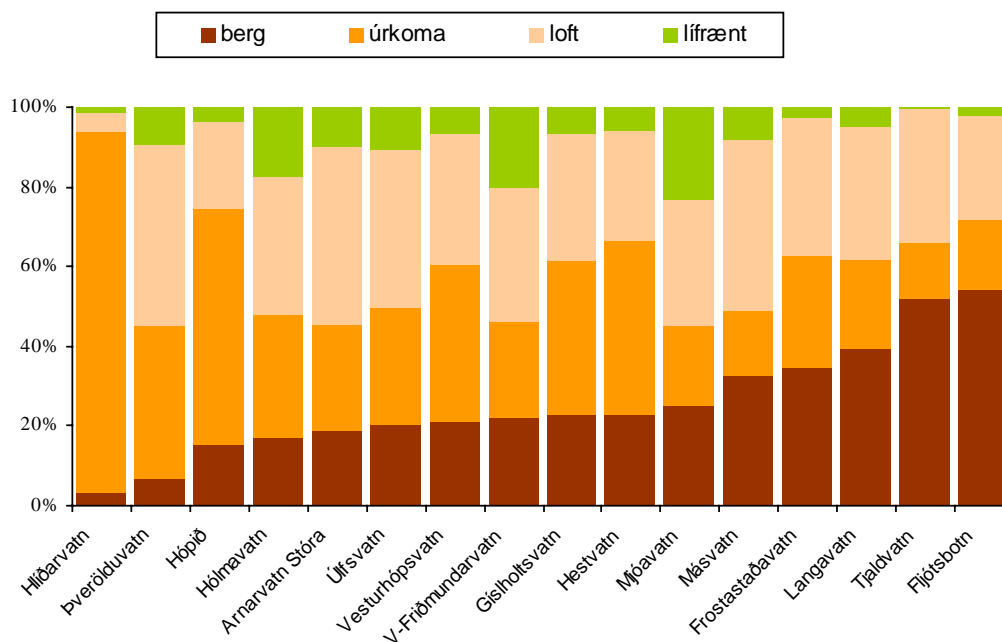
Tafla 10.1. Efnainnihald stöðuvatna á Íslandi

Nr. Vatn	leiðni μS	Basavirkni meq/l	pH	SiO ₂ mg/l	Na mg/l	K mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Fe μg/l	Al/R mg/l	Al/II μg/l	Cl mg/l	F μg/l	SO ₄ mg/l	PO ₄ -P μg/l	P _{Tot} μg/l	NO ₃ -N μg/l	N _{Tot} μg/l	TOC* mg/l
1 Hólsvatn	111			<0,1	11,2	0,53	2,91	3,7	282	11	<5	18,8	48	2,6	6	39	<1	790	6
2 Sauravatn	127		7,5	0,88	12,9	0,44	3,99	4,62	680	12	<5	15,5	44	2,4	3	21	<1	415	5,1
3 Hólmavatn	49	0,3	7,4	1,5	3,06	0,23	2,17	2,28	140	6	<5	5	39	0,4	2	7	<1	170	2
4 Úlfsvatn	79	0,46	7,2	0,63	5,36	0,62	4,22	2,46	154	10	<5	6,7	68	0,9	4	16	<1	225	1,7
5 Arnarvatn Stóra	64	0,52	7,4	0,35	5,39	0,61	3,03	1,73	73	7	<5	5,6	70	0,8	3	16	<1	220	1,5
6 Vesturhópsvatn	120	0,6	7,1	5,8	9,38	0,58	7,8	3,63	66	5	<5	14,7	58	3,7	3	8	<1	144	1,8
7 Hópið	222	0,58	6,8	10,4	21,6	1,29	7,64	6	520	9	<5	37,5	62	7,6	21	29	20	165	1,6
8 Mjóavatn	59,5	0,37	7,5	0,56	4,36	0,63	5,7	2,09	1080	9	<5	4,2	82	0,5	12	56	<1	750	3,5
9 V-Friðmundarvatn	62,4	0,4	7,4	0,16	5,01	0,6	4,62	2,1	266	11	<5	5,2	78	0,6	13	58	4	720	3,1
10 Mávavatn	82,4	0,62	8	4,5	5,41	0,52	6,92	3,09	25	6	<5	4,2	82	0,9	1	5	4	125	1,5
11 Þverölduvatn	15,5	0,05	5,9	0,63	1,59	0,09	0,61	0,38	5	8	7	2,8	84	0,5	<1	1	<1	20	0,5
12 Langavatn	81,4	0,54	8,1	12,9	8,63	0,99	5,23	1,85	143	8	<5	6,1	72	1,3	4	15	3	175	1
13 Tjaldvatn	107	0,82	7,3	23,5	15,6	1,19	7,58	5,29	13	41	9	6,5	340	10,7	106	107	32	54	0,22
14 Frostastaðavatn	69,3	0,32	6,8	3,4	6,31	0,73	4,35	1,85	23	15	<5	6,1	400	7,2	4	8	4	89	0,39
15 Fljótsbotn	96,3	0,48	8,8	16,7	7,45	0,54	7,92	3,25	95	12	7	5,2	230	14,8	22	38	<1	185	0,48
16 Gíslholtavatn	110	0,6	8,2	2,6	9,25	0,82	6,57	3,87	51	9	<5	12,5	98	1,5	1	6	4	144	1,5
17 Hestvatn	82,7	0,4	7,8	5,4	7,4	0,66	4,02	2,77	41	5	<5	10,8	45	2,1	<1	3	<1	74	1
18 Hlíðarvatn	504	0,4	8,3	5,1	63	2,3	10,3	8,62	19	20	19	127	49	16,3	4	14	4	125	1,2

* Heildarmagn lífræns kolefnis (total organic carbon)

10.2 Uppruni efnanna

Efni berast í stöðuvötn með úrkomu, andrúmslofti, vegna upplausnar bergs, úr jarðvegi og vegna lífræna ferla. Gera má ráð fyrir að allt klór í vötnunum sé úr úrkomu. Af því leiðir að hægt er að reikna þann hluta Na, K, Mg, Ca, SO₄ sem rekja má til úrkomu út frá mældum styrk klórs og hlutföllum hvers efnis og klórs í sjó. Í öðru lagi má gera ráð fyrir að allt ólífrænt kolefni og e. t. v. einnig köfnunarefni séu upprunalega komin úr andrúmsloftinu þó þessi efni geti hafa borist í vötn með lífrænum leifum, t.d. jarðvegi. Í þriðja lagi má gera ráð fyrir að heildarmagn lífræns kolefnis (TOC) sé mælikvarði á heildarmagn lífræns efnis í vötnunum, þ. e. nýmyndað efni í lifandi vef, uppleyst lífrænt efni utan lífvera og dautt svíflægt efni. Niðurstöður reikninganna eru sýndar á mynd 10.2.

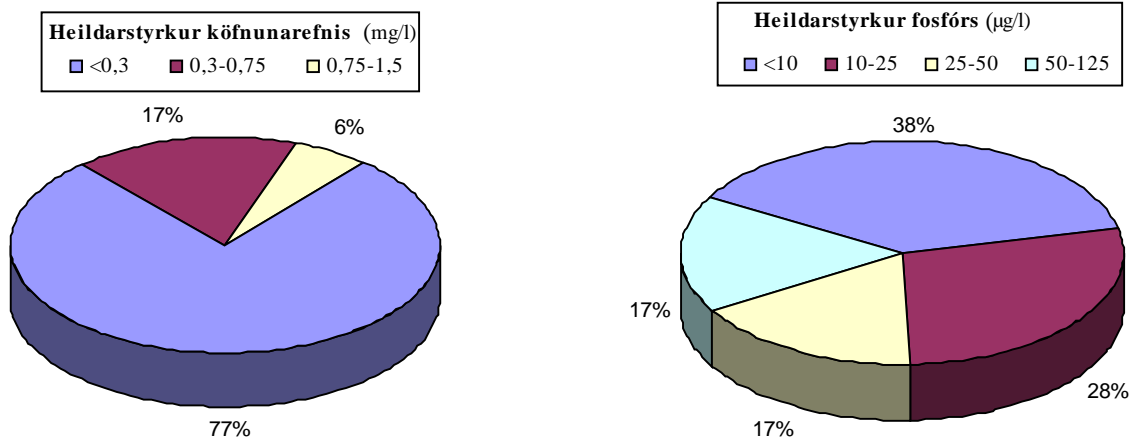


Mynd 10.2. Uppruni efna í stöðuvötnum á Íslandi

Langmest er af úrkomuættuðum/sjávarættuðum efnum í Hlíðarvatni á Reykjanesi, enda er það ísalt vatn (sjóblandað). Sama á einnig að nokkru við um Hópið. Í öðrum vötnum er hluti úrkomuættaðra efna á bilinu 15-60%, og vex almennt séð með minnkandi hluta bergættaðra efna í vatninu. Hluttur loftborinna efna er nokkuð svipaður í flestum vatnanna (20-45%). Mestur breytileiki er á hlutfallslegum styrk lífræna efna í vötnunum (0,7-23%). Basavirkni (alkalinity) og pH vaxa með aukinni upplausn bergs. Ef frá eru talin sjávarlón má segja að vötn sem hafa nokkuð hátt hlutfall bergættaðra efna séu ekki eins viðkvæm fyrir súrnun, t.d. vegna súrra loftborinna efna í úrkomu og vötn sem hafa lítinn hluta af bergættaðum efnunum. Algengasta berg á Íslandi er basalt og er allmikill hluti þess glerkenndur, sérstaklega í ungum jarðmyndunum. Basaltgler leysist mun hraðar upp en kristallað berg (7) og upplausn þess hlutleysir hratt súra ákomu vatna ólíkt því sem gerist t.d. í Skandinavíu, en þar leysist berg mun hægar upp og nær þ.a.l. ekki alls staðar að vega á móti súrnun vatna.

10.3 Áburðarefni

Niðurstöður mælinga á átján stöðuvötnum árið 1997 sýna mikinn breytileika í næringarefnainnihaldi íslenskra vatna. eru þau frá því að teljast örsnaud, eins og Þverölduvatn sem nánast er í algjörlega gróðurlausu landi og hefur afar lítið vatnasvið í hlutfalli við eigið flatarmál, í það að vera næringarefnaauðug, eins og V-Friðmundarvatn sem er á gróðurríku votlendissvæði. Vötnin eru talin án áhrifa, eða undir litlum áhrifum frá mönnum og er breytileikinn því náttúrulegur. Í Evrópu hafa stöðuvötn verið flokkuð og metin á grundvelli næringarefnainnihalds. Ef íslensk vötn eru flokkuð með sama hætti, dreifast þau á fjóra flokka m.t.t. fosförs og þrjá flokka m.t.t. köfnunarefnis (mynd 10.3).



Mynd 10.3. Heildarstyrkur köfnunarefnis og fosfórs í stöðuvötnum á Íslandi.

Heildarstyrkur fosfórs (P_{Tot}) og köfnunarefnis (N_{Tot}) í stöðuvötnum á Íslandi og á ómenguðum svæðum í Norður-Evrópu er borinn saman í töflu 10.2. Þess ber að geta að styrkgildi voru mæld á Íslandi haustið 1997 og á sama árstíma annars staðar í Norður-Evrópu 1995. Styrkur heildarfosfórs (P_{Tot}) er nokkuð hár á Íslandi samanborið við hina staðina og tengist það líklega því að berg á Íslandi inniheldur nokkra meiri fosfór en berg á meginlandi Evrópu.

Tafla 10.2. Miðgildi fyrir styrk heildarfosfórs og heildar-köfnunarefnis ($\mu\text{g/l}$) í stöðuvötnum í Norður-Evrópu (8).

Staður	Fjöldi mælinga	P_{Tot}	N_{Tot}
Ísland	18	16	168
Finland	873	13	501
Noregur	1006	2	173
Svíþjóð	3075	9	503
Danmörk	19	75	1640
Rússland (Kólaskagi)	500	6	252
Skotland	136	3	387
Wales	52	3	477

Styrkur köfnunarefnis er hins vegar að jafnaði með því lægsta sem fyrirfinnst á öðrum lítið menguðum svæðum í Evrópu sem gæti m.a. skýrst af því að ákoma köfnunarefnis með úrkomu er mun minni hér á landi og einnig að sum vatnanna eru á gróðurlitlum svæðum.

10.4 Þungmálmar og þrávirk lífræn efni í lífríki Þingvallavatns

Helstu niðurstöður mælinga á styrk þungmálma í fjórum afbrigðum bleikju (dvergbleikja, kuðungableikja, murta og sílableikja) og urriða úr Þingvallavatni eru sýndar í töflu 10.3. Styrkur allra efnanna nema kvikasílfurs var mældur í lifur fiskanna, en styrkur þess var greindur í holdi. Styrkur efnanna er lágur í Þingvallavatni í alþjóðlegum samanburði.

Tafla 10.3. Þungmálmar í silungi úr Þingvallavatni í maí 1996 mælt í votvigt (2,3).

Afbrigði/Tegund	Pb ng/g	Hg ng/g	As ng/g	Cd ng/g	Zn µg/g	Cu µg/g	Se µg/g	Mn µg/g
Dvergleikja	<300*	26	153	77	37,3	< gr. mörk	4,96	< gr.mörk
Kuðungableikja	<10	24	256	12	32,7	135	1,8	1,4
Murta	<10	95	33	83	30,8	9,6	3,07	2,1
Sílableikja	<10	91	17,5	19	26,6	7	3,46	1,91
Urriði	<20	59	643	122	34,5	166	1,48	2,12

* Mælingaraðferð með hærri greiningarmörkum en fyrir hin afbrigðin.

Einkar forvitnilegt er að nokkur munur virðist vera á styrk einstakra þungmálma milli bleikjuafbrigða. Þessar niðurstöður gefa tilefni til að kanna þennan mun nánar, t.d. með hliðsjón af fæðusérhæfingu.

Tafla 10.4 sýnir mælingar á þungmálum í kuðungnum vatnabobba annars vegar og síkjamara hins vegar en síkjamari er algeng planta í vötnum um land allt.

Tafla 10.4. Styrkur þungmálma í vatnabobba og síkjamara við Vatnskot við Þingvallavatn í µg/g, þurrefni.

Tegund	Ár	Pb	Hg	As	Cd	Zn	Cu	Se	Mn
Vatnabobbi	1994	≤ 0,3	<0,14	1,1	0,24	53,9		3,4	
	1995	1,22	0,001	1,3	0,14	60,5	35,4	1,58	85,3
Síkjamari	1994	0,7	<0,14	1,8	0,3	81,3		1,8	
	1995	175	0,02	0,56	0,05	87	32,7	1,39	190,8

Rétt er að taka tölum um styrk blýs og kvikasilfur með fyrirvara þar sem mismunandi greiningartækni var notuð.

Niðurstöður mælinga á styrk þrávirkra lífrænna efna í lifur í fjórum afbrigðum bleikju og urriða eru gefnar í töflu 10.5. Styrkur allra þrávirkra lífrænna efnanna er mjög lágur. Hann er hæstur í sílableikju og murta. Sýnt hefur verið fram á að þennan mun megi e.t.v. skýra með mismunandi aldri fiskanna (4), því eldri sem þeir eru því meira mælist af þrávirkum lífrænum efnum í lifur þeirra.

Tafla 10.5. Þrávirk lífræn efni í silungi úr Þingvallavatni í ng/g votvigt (4).

Afbrigði/Tegund	Σ HCH	Σ DDT	Σ PCB 7	HCB
Dvergleikja	<0,2	<0,6	<1,7	0,2
Kuðungableikja	<0,2	<0,6	<1,8	0,3
Sílableikja	<0,2	<0,6	<3,1	0,9
Murta	<1,3	<0,6	<3,2	0,6
Urriði	<0,2	<0,6	<1,4	<0,2

Haustið 1996 voru þrávirk lífræn efni einnig skoðuð í seti úr Þingvallavatni. Sýni voru tekin á tveimur stöðum nálægt landi og þau greind. Sýnunum var skipt í þrjá hluta eftir dýpi; 0-5 cm (yfirborðslag), 5-10 cm og 10-15 cm dýpi.

Almennt mældist styrkur lífrænna klórsambanda lágur en merkja má að styrkur þeirra lækkar með dýpi (4), enda er styrkur í flestum tilvikum undir greiningarmörkum neðan við yfirborðslagið. Í yfirborðslaginu mælast nokkur efnanna rétt ofan greiningarmarkanna sem gefur þó ekki tilefni til frekari túlkana.

10.5 Geislavirk efni í stöðuvötnum

Cs-137 var mælt í sýnum úr Þingvallavatni sem tekin voru árið 1989 og á árunum 1994-1996 (9). Niðurstöður þessara mælinga eru í töflu 10.6. Mæligildi fyrir set eru mjög lág og svo má einnig segja um þann fisk sem mældur var (0,5-0,7 Bq/kg) sem er sambærilegt við það sem mælist í sjávarfiski við Ísland. Ein undantekning var þó á þessu, en það var sýni af sílableikju, þar sem styrkur Cs-137 mældist 2,9 Bq/kg. Skýringin á þessu gæti falist í mismunandi fæðuvali fiskanna. Sílableikja, oft kölluð ránbleikja, lifir fyrst og fremst á smáfiskum á meðan að hin afbrigðin sem mæld voru nærast einkum á botndýrum.

Tafla 10.6. Styrkur Cs-137 í sýnum úr Þingvallavatni.

Tegund sýnis	Dags.	Staður	Cs-137 Bq/kg	Fjöldi mælinga
set	10.11.1994	Vatnskot	<2,8	
set	9.11.1994	Varmagjá	<1,1	
dvergableikja	1989	Varmagjá	0,7	13
dvergableikja	1989	Varmagjá	0,7	12
dvergableikja	1994	Vatnskot	0,5	20
dvergableikja	1994	Vatnskot	0,5	19
sílableikja	15.5.1996	Mjóanes	2,9	8
murta	15.5.1996	Mjóanes	0,6	15
kuðungableikja	1994	Vatnskot	0,47	28
dvergableikja	20.12.1995	Vatnskot	0,52	15
urriði	9.10.1995	Ölfusvatnsá	0,57	12

Heimildir

- (1) Guðjón Atli Auðunsson, 1995. Könnun á snefilefnum í lífríki Þingvallavats. Skýrsla Rf 94.
- (2) Guðjón Atli Auðunsson, 1996a. Könnun II á snefilefnum í lífríki Þingvallavats. Skýrsla Rf 128.
- (3) Guðjón Atli Auðunsson, 1996b. Niðurstöður mælinga á snefilefnum í murtu, sílableikju og kuðungableikju úr Þingvallavatni. Skjal Rf 2.09.1996.
- (4) Guðjón Atli Auðunsson, 1997. Könnun á ólífrænum og klórlífrænum snefilefnum í vistkerfi Þingvallavats. Sýnataka 1994-1996. Skýrsla Rf 27.
- (5) Sigurður S. Snorrason og Gunnar S. Jónsson, 1995. Könnun á snefilefnum í nokkrum lífverum í Varmagjá í Nesjavallahrauni og við Vatnskot. Könnun I. Líffræðistofnun Háskólans.
- (6) Sigurður S. Snorrason og Gunnar S. Jónsson, 1996. Könnun á snefilefnum í nokkrum lífverum í Varmagjá í Nesjavallahrauni og við Vatnskot. Könnun II. Líffræðistofnun Háskólans, 14 bls.
- (7) Gíslason S.R. and Eugster H.P., 1987. Meteoric water-basalt interactions: I. A laboratory study. Geochim. Cosmochim. Acta 51, bls. 2827-2840.
- (8) Henriksen, A., Skjelvåle, B.L., Mannio, J., Wilander, A., Harriman, R., Curtis, C., Jensen, J.P., Fjeld, E. and Moiseenko, T., 1998. Northern European Lake Survey, 1995. Ambio, Vol. 27, No. 2: 80-91.
- (9) Elísabet D. Ólafsdóttir, Sigurður Emil Pálsson og Sigurður M. Magnússon, 1997. ¹³⁷Cs í vistkerfi sjávar og stöðuvatna 1993-1996 - niðurstöður. Geislavarnir Ríkisins, 7 bls.