



ORKUSTOFNUN

Vatnamælingar

Þróun efnavöktunarkerfis til varnar mannvirkjum við umbrot í jökli

**Hrefna Kristmannsdóttir, Sigurður Reynir Gíslason, Árni
Snorrason, Sverrir Óskar Elefsen, Steinunn Hauksdóttir,
Árný Sveinbjörnsdóttir, Hreinn Haraldsson**

*Unnið fyrir Rannís, Vegagerðina, Vatnamælingar Orkustofnunar
og Viðlagatryggingar Íslands*

OS-2006/014



ORKUSTOFNUN

Vatnamælingar

Þróun efnavöktunarkerfis til varnar mannvirkjum við umbrot í jökli

**Hrefna Kristmannsdóttir, Sigurður Reynir Gíslason, Árni
Snorrason, Sverrir Óskar Elefsen, Steinunn Hauksdóttir,
Árný Sveinbjörnsdóttir, Hreinn Haraldsson**

*Unnið fyrir Rannís, Vegagerðina, Vatnamælingar Orkustofnunar
og Viðlagatryggingar Íslands*

OS-2006/014

ISBN 9979-68-206-X

Orkustofnun – Vatnamælingar

Orkugarður • Grensásvegi 9 • 108 Reykjavík • Sími 569 6000 • Fax: 568 8896 • vm@os.is • www.vatn.is



Skýrsla nr.: OS-2006/014	Dags.: Desember 2006	Dreifing: Opin ☒ Lokuð ☐ Skilmálar:
Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill: Þróun efnavöktunarkerfis til varnar mannvirkjum við umbrot í jökli.	Upplag: 35	Fjöldi síðna: 54
Höfundar: Hrefna Kristmannsdóttir, Sigurður Reynir Gíslason, Árni Snorrason, Sverrir Óskar Elefsen, Steinunn Hauksdóttir, Árný Sveinbjörnsdóttir, Hreinn Haraldsson	Verkefnisstjóri: Hrefna Kristmannsdóttir Jórunn Harðardóttir	
Gerð skýrslu / Verkstig: Verklok	Verknúmer: 7-542921	
Unnið fyrir: Rannís, Vegagerðina, Vatnamælingar Orkustofnunar, Viðlagatryggingar Íslands		
Samvinnuaðilar: Íslenskar orkurannsóknir, Raunvísindastofnun Háskóla Íslands, Vegagerðin		
Útdráttur: Á árunum 1997—2001 unnu Orkustofnun ásamt Raunvísindastofnun Háskóla Íslands og Vegagerðinni sameiginlega að verkefni með því markmiði að koma á sjálfvirku efnavöktunarkerfi vegna jökulhlaupa og flóða frá eldsumbrotum í Vatnajökli og Mýrdalsjökli. Fyrsti áfangi verkefnisins var að afla bakgrunnsgagna um árstíðarsveiflur í efnastyrk í þeim tíu ám sem verkefnið tók til. Valin voru vaktgildi fyrir leiðni við mismunandi rennsli í þeim ám sem rannsakaðar voru og bent á aðra mögulega vaktþætti. Í síðari áfanga verkefnisins voru settir upp nokkrir leiðnimælar í tilraunarekstri samhliða eldri vatnshæðarmælum. Jafnframt hófust tilraunir með hönnun og uppsetningu vöktunarkerfisins og þróun hugbúnaðar tengdum honum. Mikilvægur hluti verkefnisins fólst í gerð sjálfvirs gagnasöfnunar- og gagnaskoðunarkerfis ásamt vefsíðugerð, sem tryggir almennan aðgang að gögnunum.		
Lykilorð: Skjálfafljót, Kreppa, Jökulsá á Fjöllum, Skeiðará, Gígja, Súla, Djúpa, Ása-Eldvatn, Leirá, Múlakvísl, Skaftá, efnagreiningar, efnavöktun, vaktgildi, leiðni, skráningartæki, mælistöð	ISBN-númer: 9979-68-206-X	
	Undirskrift verkefnisstjóra:	
	Yfirlit af: SAR, JHa	

EFNISYFIRLIT

ÁGRIP	9
ÁGRIP	9
1 INNGANGUR.....	11
2 FYRRI ÁFANGI VERKEFNIS – BAKGRUNNSMÆLINGAR.....	12
2.1 Fyrri rannsóknir.....	12
2.2 Verkpættir.....	13
2.2.1 Sýnataka	13
2.2.2 Efnagreiningar	15
2.2.3 Mælingar á kolefnissamsætum.....	43
2.2.4 Niðurstöður rafleiðnimælinga	44
2.3 Vaktgildi.....	45
2.3.1 Aðrir mögulegir vaktþættir.....	46
3 SÍÐARI HLUTI VERKEFNIS—UPPSETNING OG REKSTUR	
TILRAUNASTÖÐVA OG ÞRÓUN SKYNJARA.....	46
3.1 Verkpættir.....	46
3.2 Tilraunarekstur stöðva	46
3.3 Mikilvægustu hlutar vöktunarmæla.....	47
3.4 Frekari þróun vöktunarmælanna.....	48
3.5 Söfnun gasfasa	48
3.6 Dæmi um vaktaða atburði.....	49
4 NIÐURSTÖÐUR	50
Viðauki I.....	52

MYNDASKRÁ

Mynd 1: Afstöðumynd þeirra vatnsfalla sem tekin voru sýni úr í verkefninu.	14
Mynd 2: Leiðni vatns í Skjálfandafljóti með tíma.	17
Mynd 3: Samband leiðni og rennslis í Skjálfandafljóti.....	17
Mynd 4: Styrkur klóríðs og súlfats í Skjálfandafljóti.....	17
Mynd 5: Leiðni vatns í Kreppu með tíma.	19
Mynd 6: Samband leiðni og rennslis í Kreppu.....	19
Mynd 7: Styrkur klóríðs og súlfats í Kreppu.....	20
Mynd 8: Leiðni vatns í Jökulsá á Fjöllum með tíma.	23
Mynd 9: Samband leiðni og rennslis í Jökulsá á Fjöllum.	23
Mynd 10: Styrkur klóríðs og súlfats í Jökulsá á Fjöllum.	23

Mynd 11: Leiðni vatns í Skeiðará með tíma.	29
Mynd 12: Samband leiðni og rennslis í Skeiðará.....	29
Mynd 13: Styrkur klóríðs og súlfats í Skeiðará.....	29
Mynd 14: Leiðni vatns í Gígju með tíma.	30
Mynd 15: Samband leiðni og rennslis í Gígju.....	30
Mynd 16: Styrkur klóríðs og súlfats í Gígju.....	30
Mynd 17: Leiðni vatns í Súlu með tíma.	38
Mynd 18: Samband leiðni og rennslis í Súlu.	38
Mynd 19: Styrkur klóríðs og súlfats í Súlu.	38
Mynd 20: Leiðni vatns í Djúpá með tíma.....	39
Mynd 21: Samband leiðni og rennslis í Djúpá.	39
Mynd 22: Styrkur klóríðs og súlfats í Djúpá.	39
Mynd 23: Leiðni vatns í Ása-Eldvatni með tíma.	40
Mynd 24: Samband leiðni og rennslis í Ása-Eldvatni.....	40
Mynd 25: Styrkur klóríðs og súlfats í Ása-Eldvatni.....	40
Mynd 26: Leiðni vatns í Leirá með tíma.	41
Mynd 27: Samband leiðni og rennslis í Leirá.	41
Mynd 28: Styrkur klóríðs og súlfats í Leirá.	41
Mynd 29: Leiðni vatns í Múlakvísl með tíma.	42
Mynd 30: Samband leiðni og rennslis í Múlakvísl.....	42
Mynd 31: Styrkur klóríðs og súlfats í Múlakvísl.	42
Mynd 32: Rafleiðni mæld í Jökulsá á Fjöllum, Grímsstöðum frá september 1996 til júní 1999.	44
Mynd 33: Rafleiðni mæld í Skeiðará september 1996 til desember 1998.	45
Mynd 34: Grunneiningar sjálfvirku stöðvanna.	47
Mynd 35: Mælingar á vatnshæð og leiðni við Skeiðará í aðdraganda hlaups eftir gosið í desember 1998 og meðan á hlaupinu stóð.	49
Mynd 36: Leiðnimælingar í Skaftá við Sveinstind sumarið 2000 þar sem fram koma hlaup úr báðum Skaftárkötunum með einungis viku millibili.....	50

TÖFLUSKRÁ

Tafla 1: Efnastyrkur í Skeiðarárhlaupum 1954–1996 (mg/l).	13
Tafla 2: Skipting efnagreininga og annarra mælinga milli rannsóknarstofa og aðferðir notaðar við þær.	15
Tafla 3: Niðurstöður efnagreininga á sýnum úr Skjálfandafljóti (mg/L).	18
Tafla 4: Niðurstöður efnagreininga á sýnum úr Kreppu (mg/L).	21
Tafla 5: Niðurstöður efnagreininga á sýnum úr Jökulsá á Fjöllum við Upptýppinga (mg/L).	24
Tafla 6: Niðurstöður efnagreininga á sýnum úr Jökulsá á Fjöllum við Grímsstaði (mg/L). ...	25
Tafla 7: Niðurstöður efnagreininga á sýnum úr Skeiðará (mg/L).	27
Tafla 8: Niðurstöður efnagreininga á sýnum úr Gígjukvísl (mg/L).	28
Tafla 9: Niðurstöður efnagreininga á sýnum úr Súlu (mg/L).	33
Tafla 10: Niðurstöður efnagreininga á sýnum úr Djúpá (mg/L).	34
Tafla 11: Niðurstöður efnagreininga á sýnum úr Ása-Eldvatni (mg/L).	35
Tafla 12: Niðurstöður efnagreininga á sýnum úr Leirá (mg/L).	36
Tafla 13: Niðurstöður efnagreininga á sýnum úr Múlakvísl (mg/L).	37
Tafla 14: Niðurstöður kolefnissamsætumælinga og vetnis og súrefnissamsætumhlutföll í sömu sýnum. Frh. á næstu bls.	43
Tafla 15: Spönn leiðnigilda í ánum.	45

ÁGRIP

Á árunum 1997—2001 unnu Orkustofnun ásamt Raunvísindastofnun Háskóla Íslands og Vegagerðinni sameiginlega að verkefni með því markmiði að koma á sjálfvirku efnavöktunarkerfi vegna jökulhlaupa og flóða frá eldsumbrotum í Vatnajökli og Mýrdalsjökli. Tæknisjóður Rannsóknarráðs og Viðlagatrygging styrktu verkefnið og einnig fékkst sérfráveiting frá ríkisstjórninni á síðari hluta verkefnisins til að koma upp nokkrum aukastöðvum. Efnavöktunarkerfið byggist á því að við eldgos eða aukna jarðhitavirkni undir jöklum verða gjarna efnabreytingar í jökulám áður en vart verður við verulega aukningu rennslis. Lítið var til af bakgrunnsgögnum um efnasamsetningu jökulána og tengsl hennar við rennsli við eðlilegar aðstæður. Fyrsti áfangi verkefnisins var því að afla slíkra bakgrunnsgagna um árstíðasveiflur í efnastyrk í þeim tíu ám sem verkefnið tók til. Styrkur efna og breytingar á honum reyndust mjög mismunandi í þessum ám og hafa fengist mjög góð gögn til að byggja á vöktun í framtíðinni. Valin voru vaktgildi fyrir leiðni við mismunandi rennsli í þeim ám sem rannsakaðar voru og bent á aðra mögulega vaktþætti.

Í síðari áfanga verkefnisins voru settir upp nokkrir leiðnimælar í tilraunarekstri samhliða eldri vatnshæðarmælum. Jafnframt hófust tilraunir með hönnun og uppsetningu vöktunarkerfisins og þróun hugbúnaðar tengdum honum. Til hafði staðið að setja fyrst upp stöðvar í Jökulsá á Fjöllum og Skaftá en vegna umbrotanna í Vatnajökli riðlaðist sú áætlun og í kjölfar goss í Grímsvötnum í desember 1998 var sett upp stöð í Skeiðará með sérstökum stuðningi frá Vegagerðinni. Sumarið 1999 voru svo reistar stöðvar í Skaftá við Sveinstind og í Jökulsá á Fjöllum við Grímsstaði. Þá hefur ríkisstjórnin kostað uppsetningu og rekstur nokkurra stöðva í vatnsföllum kringum Mýrdals- og Eyjafjallajökul vegna jarðhræringa þar.

Mikilvægur hluti verkefnisins fólst í gerð sjálfvirs gagnasöfnunar- og gagnaskoðunarkerfis ásamt vefsíðugerð, sem tryggir almennan aðgang að gögnunum. Með því móti er tryggt að nýjustu gögn liggja fyrir á hverjum tíma. Að jafnaði er hringt einu sinni á sólarhring í hverja stöð en einnig er hægt að gefa skipun um upphringingu yfir vefinn.

Jafnframt voru skoðaðir nemar til sjálfvirkra mælingar viðvörunargilda fyrir kvikasilfur og súlfíð og gerðar tilraunir með að safna gassýnum úr vatninu til sjálfvirkra mælingar. Enn sem komið er er ekki talið unnt að koma slíkum vöktunarmælingum upp og reka þær sjálfvirkt en viðvörunargildi eru nú þekkt og gæti verið möguleiki á að koma mælingunum á í framtíðinni.

Þessi skýrsla var nánast tilbúin til útgáfu á árinu 2001. Þá voru gögn um ^{14}C enn í vinnslu og var því ákveðið að bíða eftir þeim. Síðan dróst að ganga endanlega frá útgáfunni vegna anna og þess að verkefnisstjóri skipti um vinnustað. Það kemur sér illa vegna notkunar á gögnum að skýrslan sé ekki til í formlegri útgáfu og var því ákveðið að ráða bót á því.

1 INNGANGUR

Markmið verkefnisins var að koma á sjálfvirku vöktunarkerfi byggðu á efnabreytingum í jökulám sem viðvörun við jökulhlaupum og flóðum vegna eldsumbrota í Vatnajökli og Mýrdalsjökli. Þar sem stór hluti virkra eldstöðva eru undir jökli er mikil hætt á að eldsumbrotum í þeim fylgi flóð sem eytt geta byggðum og skemmt mannvirki. Áður en eldsumbrot hefjast verður gjarna vart aukinnar jarðhitavirkni og aukins gasútstreymis vegna kvikuinnskota og efnabreytingar af þessum sökum endurspeglast í efnasamsetningu jökulvatns þaðan. Í Skeiðarárhlaupum hefur til dæmis lengi verið þekkt að breyting verður á efnainnihaldi áður en hlaup hefjast, oft nokkrum vikum áður. Þá seintar örlítið af jarðhitavatni út um hlaupþröskuldinn, en svo lítið að rennslisaukningar verður ekki vart.

Við umbrotin sem urðu í Vatnajökli 1996 kom í ljós að bakgrunnsþekkingu vantaði fyrir efnasamsetningu jökuláa frá Vatnajökli. Fram kom fljótlega eftir að umbrotin hófust merki um breytingar á efnasamsetningu í Jökulsá á Fjöllum, en örugg túlkun á orsökum þeirra krafðist mælinga á mörgum þáttum og söfnun gagna um efnasamsetningu eftir á. Hefðu verið til betri bakgrunnsgögn hefði sést strax að allt að 30 % árvatnsins var leki frá eldstöðvunum (Kristmannsdóttir o.fl., 1999). Miklar árstíðabundnar sveiflur eru í efnastyrk jökuláa. Þessar sveiflur eru þó mjög misjafnar milli svæða og fer það eftir rennslisleið, aurburðarmagni ásamt fleiru hvaða áhrif koma skýrast fram á hverjum stað. Með vitneskju um efnastyrk við mismunandi rennsli má því greina með meiri nákvæmni þær breytingar sem verða vegna áhrifa eldvirkni eða aukinnar jarðhitavirkni.

Fyrri hluti þessa verkefnis var að afla bakgrunnsgagna um efnasamsetningu og árstíðabundnar breytingar jökuláa þar sem áhrif vegna eldvirkni eru líkleg til að koma fram í. Af þessum niðurstöðum mætti svo ráða hvaða þættir yrðu heppilegastir til að nota til efnavöktunar og einnig viðvörunargildi fyrir styrk þeirra miðað við rennsli. Heppileg staðsetning vöktunarstöðvanna er líka ákveðin með hliðsjón af þessum gögnum svo vart verði marktækra breytinga sem allra fyrst. Valdar voru tíu ár með hliðsjón af afrennslissvæði og því að ekki var unnt að safna gögnum frá öllum ám vegna kostnaðarsjónarmiða.

Síðari áfangi verkefnisins fólst í því að setja upp leiðnimæla í tilraunarekstri samhliða eldri vatnshæðarmælum, hanna og setja upp vöktunarkerfin og þróa hugbúnað tengd þeim. Jafnframt að skoða nema til sjálfvirkra mælingar viðvörunargilda fyrir kvikasilfur og súlfíð og gera tilraunir með að safna gassýnum úr vatninu til sjálfvirkra mælingar.

2 FYRRI ÁFANGI VERKEFNIS—BAKGRUNNSMÆLINGAR

Tekin voru saman öll eldri gögn sem til voru um efnasamsetningu vatns í jökulám sem falla úr Vatnajökli og Mýrdalsjökli. Síðan voru valdar ár og staður til sýnatöku og þættir til efnagreiningar. Sýnataka var skipulögð og búnaður keyptur til hennar og síðan var safnað sýnum um rúmlega eins árs skeið eins og lýst er í kaflanum hér á eftir. Nauðsynleg úrvinnsla til uppbyggingar vöktunarkerfisins fór síðan fram og jafnframt hafa verið skrifaðar fjölmargar greinar og skýrslur um verkefnið (Viðauki I), fluttir um það kynningarerindi og sýnd um það veggspjöld á ráðstefnum og fundum.

2.1 Fyrri rannsóknir

Í gagnagrunni Jarðefnafræðideildar Orkustofnunar voru til eftirfarandi gögn um efnainnihald úr þeim tíu ám sem valdar voru til sýnatöku:

Jökulsá á Fjöllum: 1 sýni 1983 frá Grímsstöðum, 1 sýni 1984 og 6 sýni 1996 og 1997 frá Upptyppingum, 1 sýni 1987 og 1 sýni 1996 frá Öxarfirði. Auk þess hefur verið fylgst með leiðni í Jökulsá við Grímsstaði síðan í nóvember 1996.

Skeiðará: 2 sýni úr hlaupi 1976, 4 sýni úr hlaupi 1986, 20 (+2 ódagsett) sýni frá 1990–1991 ‘vöktunarverkefni’, 82 sýni 1996–1997 vegna Gjálpargoss og Skeiðarárhlaups, 2 sýni 1998 og 3 sýni 1999. Auk þess er til töluvert af leiðnimælingum úr Skeiðará.

Skjálfandafljót: 2 sýni 1996.

Kreppa: 1 sýni 1997

Gígja: 7 sýni 1983–1984, 1 sýni 1991, 16 sýni 1996–1997 og 1 sýni 1999.

Súla: 8 sýni 1983, 1 sýni 1985 og 3 sýni 1996–1997.

Djúpá: 4 sýni 1983, 3 sýni 1984, 5 sýni 1985, 14 sýni 1990–1991.

Ása-Eldvatn: 12 sýni 1994, 11 sýni 1995.

Skeiðarárhlaup

Til eru upplýsingar um efnasamsetningu hlaupvatns úr Skeiðará (tafla 1) frá 1954 (Sigurjón Rist, 1955) og úr flestum hlaupum eftir það en gögnin eru mjög mismunandi að magni og gæðum (Orkustofnun, óbirt gögn, Guðmundur Sigvaldason, 1965, Steinþórsson and Óskarsson, 1983, Björnsson and Kristmannsdóttir, 1984, Kristmannsdóttir and Björnsson, 1984, Bjarni Kristinsson o.fl., 1986, Svanur Pálsson o.fl., 1992). Í eldri hlaupunum hefur oft verið tekið aðeins eitt sýni og ekki víst að það sé tekið í hámarki hlaupsins, né heldur að hámark rennslis og efnastyrks fari saman. Fjöldi efna sem greind voru eru einnig mjög mismunandi eftir sýnum og oft vantar gildi fyrir pH og rokgjörn efni. Lítið hefur einnig verið greint af málum í flestum þeirra.

Fram til ársins 1982 hafði nánast aldrei verið tekið sýni úr Skeiðará né öðrum ám á sandinum utan hlaupa en hins vegar hafði verið fylgst nokkuð reglulega með heildarstyrk uppleystra efna í aurburðarsýnum frá um 1972 (Svanur Pálsson og Guðmundur Vigfússon, 1996). Á árunum 1982–1983 voru tekin reglulega sýni til efnagreininga úr Skeiðará, Gígju, Súlu, Djúpá, Hverfisfljóti og Skaftá. Þetta ‘efnaeftirlit’ var einungis reglulegt í Skeiðará en í hinum ánum náði eftirlitið einungis yfir apríl–desember 1983. Á árunum 1984 og fram yfir Skeiðarárhlaupið 1986 voru tekin sýni til efnagreininga nokkrum sinnum á ári úr Skeiðará og af og til úr öðrum ám á sandinum. Á árunum 1990–1991 voru svo aftur tekin mörg sýni til efnagreininga úr Skeiðará, úr Djúpá til samanburðar og fáein úr Hverfisfljóti og Gígju. Þá voru einnig hafnar vikulegar leiðnimælingar í Skeiðará sem stóðu í um hálf tannað ár og samhliða var leiðni mæld hluta tímabilsins í Skaftafellssá til viðmiðunar. Viðamikil sýnataka og leiðnimælingar fóru fram vegna gossins í Gjálp 30. september 1996 og hlaupsins sem því fylgdi í Skeiðará (Árni Snorrason o.fl. 1997, Sigurður R. Gíslason o.fl., 1997).

Tafla 1: Efnastyrkur í Skeiðarárhlaupum 1954–1996 (mg/l).

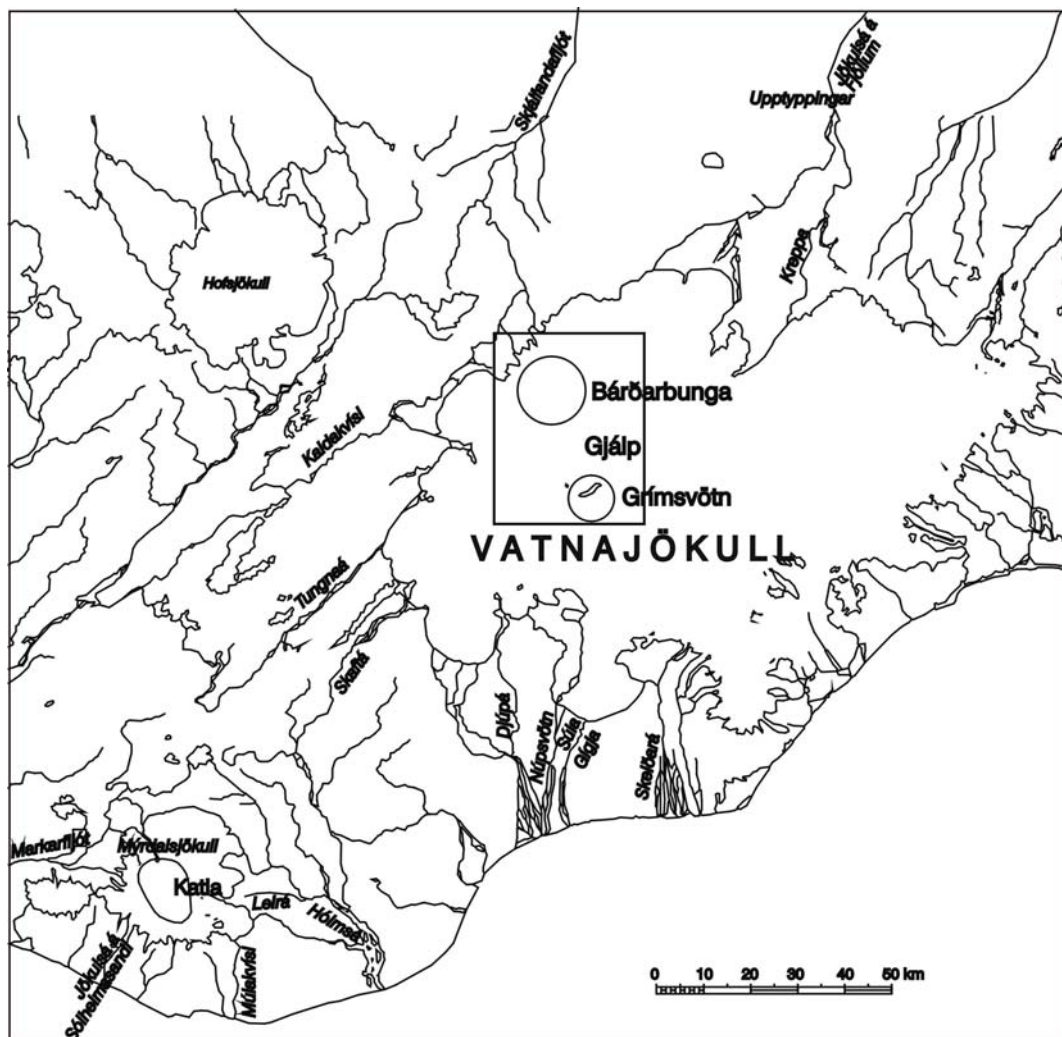
Tímasetning	1954	1965	1972	1976	1982	1983	1986	1991	1996a
pH / °C		7,0/	7,5/		6,02/22	6,45/21	6,26/24	6,20/24	6,15/18
Brennist.vetni (H ₂ S)	0,0				0,3	0,0	<0,03	<0,03	0,04
Heildarkarb. (CO ₂)		680	480		595	343	384	559	535
Uppleyst efni (TDS)	388	416			369	359	336	386	404
Kísill (SiO ₂)	57	56	44	50,5	60,0	56,5	62,4	67,0	65,4
Natríum (Na)		63,5	89,0	43,0	53,1	50,3	52,7	57,1	59,5
Kalíum (K)		19,0	3,0	3,8	4,2	4,8	4,4	3,9	4,2
Kalsíum (Ca)	60,9	59,5	28,0	45,6	50,4	38,9	43,2	51,0	60,8
Magnesíum (Mg)	15,6	10,4	10,0	9,9	10,8	11,8	10,7	12,6	14,4
Súlfat (SO ₄)	18,1	38,7	13,0	23,5	19,2	48,8	38,4	22,0	18,0
Klóríð (Cl)	8,7	42,7	11,0	13,5	13,2	7,6	13,7	14,8	12,0
Flúoríð (F)	0,3	0,5			0,17	0,31	0,26	0,16	0,18
Járn (Fe)	9,5					4,4	2,3	2,3	2,9

2.2 Verkpættir

2.2.1 Sýnataka

Fyrsta sýnatökuferðin var farin júní–júlí 1997 þar sem þátt tóku sérfræðingar í jarðefnafræði frá Rannsóknasviði Orkustofnunar og Raunvísindastofnun auk Vatnamælingamanna Orkustofnunar. Þeir síðastnefndu sáu eftirleiðis um sýnatökuna en þessi fyrsta ferð var farin til að samræma vinnubrögð við hana.

Sýni voru tekin mánaðarlega í heilt ár til efnagreininga úr eftirtöldum ám (mynd 1) sem renna úr Vatnajökli: Skjálfandafljóti við Aldeyjarfoss, Kreppu við brú, Jökulsá á Fjöllum bæði við Grímsstaði og Upptýppinga, Skeiðará við brú, Gígju af austurbakka við brú, Súlu við brú, Djúpá við brú, og Ása-Eldvatni af vesturbakka norðan við brú. Einnig voru tekin sýni úr tveimur ám sem eiga upptök í Mýrdalsjökli: úr Múlakvísl norðan brúar á vesturbakka og úr Leirá um 3 km norðan brúar. Rennsli var mælt og sýni til aurburðarmælinga tekin samhliða, hvort tveggja framkvæmt af starfsmönnum Vatnamælinga Orkustofnunar.



Mynd 1: Afstöðumynd þeirra vatnsfalla sem tekin voru sýni úr í verkefninu.

Sýnataka var misjafnlega viðamikil eftir því hvort um var að ræða heilsýnatöku eða svokallaða stórsýnatöku.

Í heilsýnatöku eru innifalin eftirtalin sýni:

- 1 síað sýni í glertúpu til mælinga á pH og basavirkni
- 1 síað sýni í 500 ml plastflösku til mælinga á anjónum
- 1 síað og sýrt sýni í 500 ml plastflösku (2 ml conc. HNO_3) til mælinga á málmum
- 1 síað sýni í 60 ml glerflösku til mælinga á ísótópum (súrefni og vetni)
- 4 síuð sýni í 60 ml plastflöskur fyrir næringarsölt.

Í stórsýnatöku voru auk þess tekin:

- síað sýni í glerflösku til kvikasilfursmælinga, meðhöndlað með saltpéturssýru og 5 ml af KNO_4 lausn
- 1 síað og sýrt sýni í 200 ml plastflösku (1 ml conc. HNO_3) til mælinga á þungmálmum
- 2 síuð sýni í 1 L brúna glerflösku fyrir ^{14}C mælingar
- 2 síuð sýni í 100 ml plastflösku með 5 ml af 5 M NaOH-lausn til mælinga á H_2S .

Öll sýni voru síuð með 142 mm teflonhúðuðum síuhaldara og notuð 0,45 μm síublöð og 0,2 μm síublöð fyrir þungmálma og næringarsölt. Þar sem því var komið við var dælt beint úr ánni annars var sýni tekið í plastfötu og sýni dælt úr henni.

2.2.2 Efnagreiningar

Greiningar á öllum aðalefnum og sporefnum fóru fram á Efnafræðistofum Rannsóknasviðs Orkustofnunar og Raunvísindastofnunar Háskólans, Jarðfræðistofu. Í töflu 2 er listi yfir hvaða efni voru efnagreind, á hvaða rannsóknarstofu og með hvaða aðferð. Greiningar á súrefnis- og vetnisisótópum framkvæmdar á Raunvísindastofnun og sýni til greininga á kolefnisisótópum til aldursgreininga með ^{14}C voru send erlendis.

Tafla 2: Skipting efnagreininga og annarra mælinga milli rannsóknarstofa og aðferðir notaðar við þær.

Efni/ þáttur	Framkvæmdaraðili	Aðferð/tæki
Rennsli (m^3/s)	VM	Rennslismælir
Leiðni ($\mu\text{S}/\text{sm}$)	ROS	Leiðnimælir
Hiti ($^{\circ}\text{C}$)	VM	Kvikasilfurshitamælir
pH/pH hiti ($^{\circ}\text{C}$)	ROS	Títurator
Kolsýra (CO_2)	ROS	Títurator
Brennist.vet. (H_2S)	ROS	Títurað með kvikasilfursacetati
Bór (B)	ROS	Litrófsmælir
Kísill (SiO_2)	ROS/RH *	Litrófsmælir /ICP
Uppleyst efni	ROS	Aðgreining-þyngdarmæling
$\delta^2\text{H}$ (‰ SMOW)	RH	Massagreininir
δO^{18} (‰ SMOW)	RH	Massagreininir
Natríum (Na)	ROS/RH*	Atómisogstæki /ICP
Kalíum (K)	ROS	Atómisogstæki
Magnesíum (Mg)	ROS/RH*	Atómisogstæki /ICP
Kalsíum (Ca)	ROS/RH*	Atómisogstæki /ICP
Strontíum (Sr)	RH	ICP
Flúor (F)	ROS	Selektróða
Klóríð (Cl)	ROS	Jónaskilja
Brómíð (Br)	ROS	Jónaskilja
Nítrít (NO_2)	RH	Litrófsmælir
Nítrat (NO_3)	RH	Litrófsmælir
Ammoníum (NH_4)	RH	Litrófsmælir
Fosfat (PO_4)	RH	Litrófsmælir
Súlfat (SO_4)	ROS	Jónaskilja
Ál (Al)	ROS	Atómisogstæki
Krómi (Cr)	ROS	Atómisogstæki
Mangan (Mn)	ROS	Atómisogstæki
Járn (Fe)	ROS	Atómisogstæki
Kopar (Cu)	ROS	Atómisogstæki
Sink (Zn)	ROS	Atómisogstæki
Arsen (As)	ROS	Atómisogstæki
Kadmíum (Cd)	ROS	Atómisogstæki
Kvikasilfur (Hg)	ROS	Atómisogstæki
Blý (Pb)	ROS	Atómisogstæki

RH – Raunvísindastofnun Háskóla Íslands, Jarðfræðastofa. ROS – Rannsóknasvið Orkustofnunar, Efnafræðistofa. VM – Vatnamælingar Orkustofnunar.

ROS/RH* - Greiningar voru gerðar á ROS fram til sep. 1997 þegar RH tók við þeim.

Niðurstöður efnagreininga af árvatninu eru sýndar í töflum 3–13, ásamt niðurstöðum mælinga á stöðugum samsætum vetnis og súrefnis og ^{14}C sýndaraldri. Í töflu 14 eru svo sýndar greiningar á ^{13}C og styrk ^{14}C ásamt greiningum á vetnis- og súrefnissamsætum í þeim sýnum sem greindar voru í kolefnissamsætur. Talsvert miklar sveiflur koma fram milli sýna á hverjum stað frá mismunandi tímum en við því hafði verið búist. Einnig er verulegur munur á efnastyrk og hvernig hann sveiflast með árstíma milli áa. Á því tímabili sem sýnataka fór fram varð vart leka úr Grímsvötnum í Skeiðará og efnasamsetning árvatsins þar því ekki dæmigerð. Sé hins vegar litið á gögn frá Jökulsá á Fjöllum er efnainnihald verulega lægra en mældist við eldsumbrotin í Vatnajökli 1996. Í engum tilvikum mældist brennisteinsvetni í árvatninu við eðlilegar aðstæður, þ. e. utan hlaupa. Kvikasilfur mældist alls ekki nema í einu tilviki þar sem staðfest var að sýni höfðu mengast. Arsen mælist í flestum tilvikum við eða undir næmnimörkum, 0,0001 mg/l. Kadmíum er oftast undir næmnimörkum við 0,00005 mg/l, eða rétt við þau. Þungmálmar sýna yfirleitt mjög lágan styrk en þó koma fram talsverðar sveiflur í styrk þeirra og einkum getur styrkur járn og áls hækkað um stærðargráðu milli sýna vegna augljósra breytinga í ytri aðstæðum. Styrkur næringarsalta er almennt lágur og lækkar yfir sumartímann.

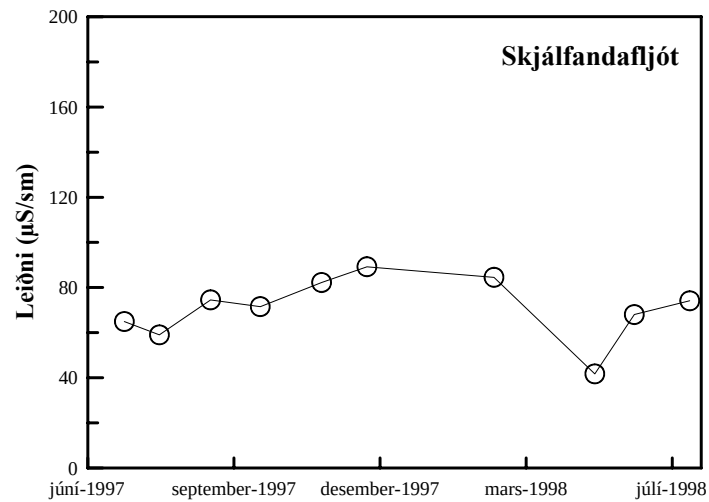
Um flestar árnar sem fylgst var með gildir að ekki eru til gögn til samanburðar en hér að neðan verður gert grein fyrir helstu einkennum í efnasamsetningu árvats hvernar ár fyrir sig.

Skjálfandafljót

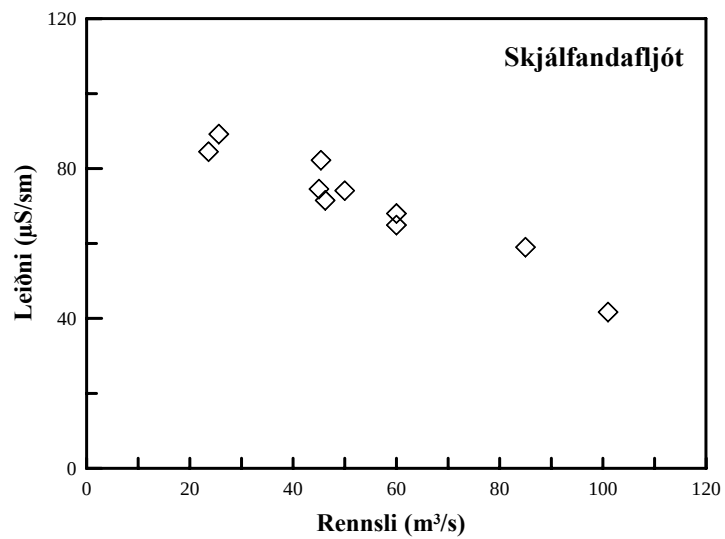
Tafla 3 sýnir niðurstöður 12 efnagreininga frá Skjálfandafljóti og stöðugar samsætur vetnis og súrefnis auk ^{14}C sýndaraldurs. Í töflu 14 eru síðan nákvæmari niðurstöður fyrir ^{14}C og einnig mælingar á ^{13}C . Á mynd 2 má sjá leiðni í árvatninu með tíma en hún mælist á bilinu 40–90 $\mu\text{S}/\text{cm}$ og mynd 3 sýnir að gott samband er milli rennslis og leiðni. Þetta samband er því sem næst línulegt þar sem aukið rennsli vegna leysinga á vorin skilar sér í lægri leiðni árvatsins.

Nokkuð góð samkvæmni er milli styrks klóríðs og sulfatstyrks (mynd 4) þar sem sýnin eru greinilega með hærri styrk SO_4 og Cl yfir vetrartímann. Styrkur næringarsaltanna NH_4 , NO_2 , NO_3 , PO_4 er mun hærri yfir veturinn, sem er í samræmi við það að lífríkið nýtir þau yfir sumartímann og er styrkur þeirra þá minni.

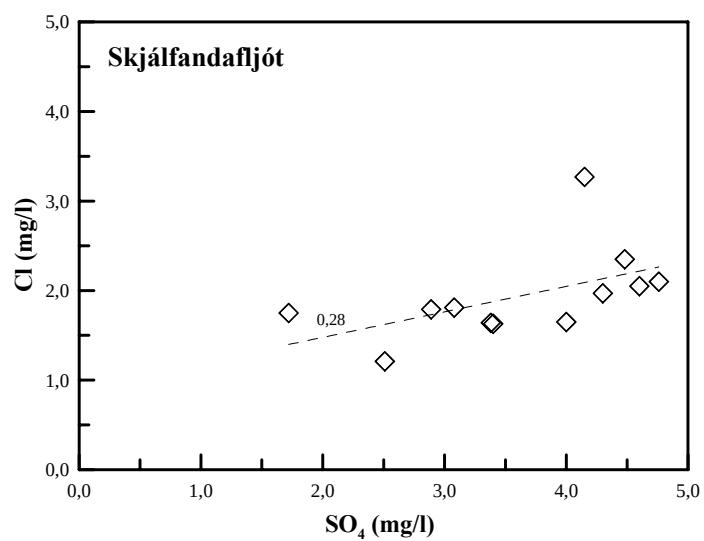
Hlutfall stöðugra samsætna súrefnis og vetnis er tiltölulega stöðugt yfir árið, þar sem $<1\%$ munur er í mældum $\delta^{18}\text{O}$ gildum. Lægstu gildin (-97% til -98% í $\delta^2\text{H}$) mælast í árvatninu í desember og janúar. Í 5 sýnum voru kolefnissamsætur greindar og samkvæmt þeim er árvatnið tiltölulega ungt (80 til 104 pMC, þar sem pMC stendur fyrir % modern carbon). September sýnið reynist yngst (modern) og þyngst í stöðugum samsætum súrefnis og vetnis, en mars sýnið elst og léttast í súrefni og vetni. $\delta^{13}\text{C}$ liggur á bilinu $-0,08\%$ til $-4,42\%$ og er þyngst í yngsta sýninu.



Mynd 2: Leiðni vatns í Skjálfandafljóti með tíma.



Mynd 3: Samband leiðni og rennslis í Skjálfandafljóti.



Mynd 4: Styrkur klóríðs og súlfats í Skjálfandafljóti.

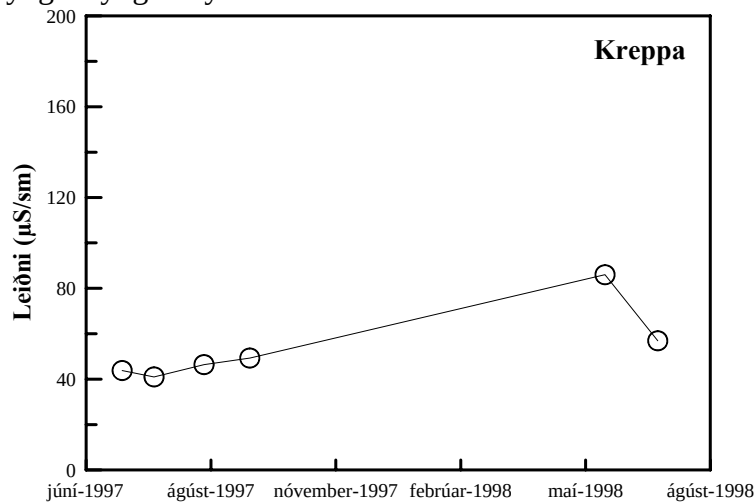
Tafla 3: Niðurstöður efnagreininga á sýnum úr Skjálfandafljóti (mg/L).

Dags Númer	26.06.1997 19970500	20.07.1997 19970511	24.08.1997 19970531	27.09.1997 19970546	08.11.1997 19970554	09.12.1997 19970563	28.01.1998 19980109	06.03.1998 19980118	02.04.1998 19980120	14.05.1998 19980133	10.06.1998 19980135	18.07.1998 19980146
Rennsli (m ³ /s)	60	85	45	46,2	45,4	25,6	27,8	23,6	30,4	101	60	50
Leiðni (μS/sm)	64,9	59,0	74,5	71,5	82,2	89,2	-	84,5	-	41,7	68,0	74,1
Hiti (°C)	12,3	9,7	5,9	3,5	0	0	0	0	0,6	7,6	9,9	5,2
pH/pH hiti (°C)	7,42/24	7,63/22	7,69/21	7,48/19	7,72/22	7,73/20	7,67/22	7,79/22	7,73/25	7,53/23	7,62/24	7,73/23
Kolsýra (CO ₂)	21,8	21,4	26,1	26,7	28,8	30,9	19,2	31,1	17,3	14,7	23,1	26,0
Brennist.vet.(H ₂ S)	<0,03	-	-	<0,03	-	-	-	<0,03	-	-	<0,03	<0,03
Bór (B)	0,03	<0,03	<0,03	<0,03	0,03	0,08	0,03	<0,03	<0,03	<0,03	0,03	0,08
Kísill (SiO ₂)	13,20	10,46	13,50	14,20	15,60	16,90	15,60	16,00	14,50	8,00	13,40	14,40
Uppleyst efni	29	55	59	46	44	0	41	53	50	22	44	41
δ ² H (‰ SMOW)	-94,7	-92,7	-94,0	-92,7	-94,2	-98,7	-97,4	-96,6	-95,9	-	-88,6	-93,5
δO ¹⁸ (‰ SMOW)	-13,19	-13,07	-13,09	-12,68	-13,05	-13,30	-13,25	-13,23	-13,28	-12,35	-12,81	-12,86
¹⁴ C age BP	310±44	-	-	-321±50	-	-	-	1803±50	-	-	353±46	485±50
Natríum (Na)	6,99	5,54	7,77	7,27	8,40	9,60	9,40	9,80	9,10	4,30	7,00	7,50
Kalíum (K)	0,40	0,29	0,30	0,32	0,37	0,41	0,40	0,47	0,45	0,31	0,40	0,40
Magnesium (Mg)	1,27	1,28	1,27	1,47	1,85	2,02	1,86	1,95	1,81	0,96	1,43	1,57
Kalsíum (Ca)	3,51	4,35	5,35	5,44	5,01	5,24	4,91	5,08	4,56	2,45	3,51	4,08
Strontíum (Sr)	0,030	0,020	0,002	0,003	0,003	0,003	0,003	0,004	0,004	0,002	0,003	0,003
Flúor (F)	0,08	0,06	0,09	0,09	0,10	0,12	0,11	0,12	0,10	0,06	0,09	0,10
Klóríð (Cl)	1,79	1,21	1,63	1,65	1,97	2,10	2,05	2,35	3,27	1,75	1,81	1,64
Brómið (Br)	0,008	0,004	0,006	0,004	0,006	0,007	0,007	0,007	0,011	0,005	0,006	0,003
Nítrít (NO ₂)	0,0020	0,0020	<0,002	0,003	0,007	0,005	0,005	-	0,003	0,002	0,005	0,002
Nítrat (NO ₃)	<0,009	<0,009	0,018	0,068	0,024	0,135	0,152	-	0,047	0,024	0,024	0,113
Ammoníum (NH ₄)	0,009	0,007	0,009	0,006	0,016	0,012	0,019	-	<0,004	<0,004	0,005	0,008
Fosfat (PO ₄)	0,103	0,010	<0,001	0,066	0,073	0,113	0,154	-	0,090	0,038	0,072	0,065
Súlfat (SO ₄)	2,89	2,51	3,40	4,00	4,30	4,76	4,60	4,48	4,15	1,72	3,08	3,38
Ál (Al)	0,030	0,038	0,098	0,219	0,032	0,024	0,027	0,019	0,019	0,047	0,024	0,063
Króm (Cr)	0,0002	<0,0001	-	0,0004	-	-	-	0,0005	-	-	0,0005	-
Mangan (Mn)	0,0009	0,0013	0,0021	0,0051	0,0027	0,0020	0,0006	0,0004	0,0008	0,0021	0,0007	0,0013
Járn (Fe)	0,0236	0,022	0,035	0,131	0,134	0,042	0,0127	0,028	0,039	0,086	0,0306	0,0444
Kopar (Cu)	0,0008	0,0016	-	0,0003	-	-	-	0,0047	-	-	0,0019	-
Sink (Zn)	0,0008	0,0011	-	0,0046	-	-	-	0,0020	-	-	0,0017	-
Arsen (As)	<0,0001	<0,0001	-	<0,0001	-	-	-	0,0001	-	-	<0,0001	-
Kadmíum (Cd)	<0,00005	<0,00005	-	<0,00005	-	-	-	<0,00005	-	-	<0,00005	-
Kvikasilfur (Hg)	<0,000005	-	-	<0,000005	-	-	-	0,000048	-	-	0,00007	-
Blý (Pb)	<0,0002	<0,0002	<0,0002	0,0002	-	-	-	0,0004	-	-	0,0002	-

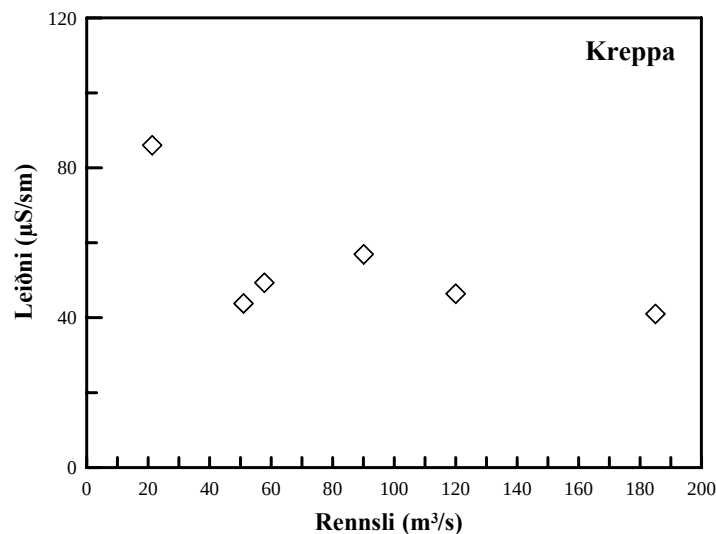
Kreppa

Sex sýni úr Kreppu voru efnagreind og eru niðurstöður þeirra greininga í töflu 4. Í töflu 14 eru síðan nákvæmari niðurstöður fyrir ^{14}C og einnig mælingar á ^{13}C . Ekki tókst að komast að sýnatöku yfir vetrartímann. Leiðni vatnsins sveiflast á milli 41 og 86 $\mu\text{S}/\text{cm}$ yfir sumarið (mynd 5) og samband hennar við rennsli virðist eðlilegt miðað við að um leysingu sé að ræða (mynd 6). Sveiflur eru töluverðar í styrk katjóna eins og hægt er að sjá fyrir flestar árnar og sambandið milli klóríðs og sulfats (mynd 7) er mjög óljóst vegna þess hve styrkur þessarra efna er lágur. Þegar litið er til málma og sporefna er ljóst að sýni tekið í júní 1996 hefur mengast, líklega vegna mikils sandfoks á meðan á sýnatöku stóð.

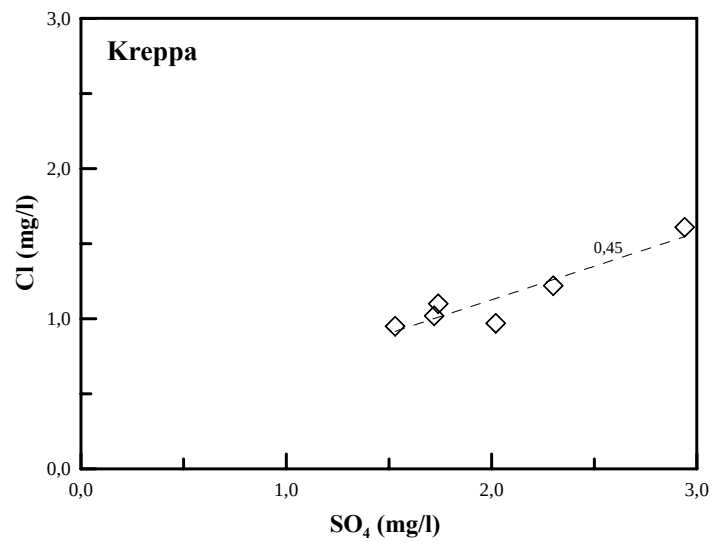
Hlutfall stöðugra samsætna súrefnis og vetnis sýnir að árvatnið er almennt mjög létt eða í kringum -100‰ í $\delta^2\text{H}$. Breytileikinn milli sýna er $<1\text{‰}$ í mældum $\delta^{18}\text{O}$ gildum. Í þremur sýnum voru kolefnissamsætur einnig mældar. Gefa tvö sýnanna mjög svipaðar niðurstöður (u.þ.b. 60 pMC), en eitt sýnanna reynist mun yngra (114 pMC). $\delta^{13}\text{C}$ liggur á bilinu $-0,51\text{‰}$ til $-4,58\text{‰}$ og er þyngst í yngsta sýninu.



Mynd 5: Leiðni vatns í Kreppu með tíma.



Mynd 6: Samband leiðni og rennslis í Kreppu.



Mynd 7: Styrkur klóríðs og súlfats í Kreppu

Tafla 4: Niðurstöður efnagreininga á sýnum úr Kreppu (mg/L).

Dags	27.06.1997	20.07.1997	25.08.1997	27.09.1997	10.06.1998	18.07.1998
Númer	19970501*	19970513	19970533	19970544	19980138	19980149
Rennsli (m ³ /s)	51	185	120	57,8	21,3	90,1
Leiðni (μS/sm)	43,8	41,0	46,4	49,3	86,0	56,9
Hiti (°C)	8,9	6,0	4,7	0,3	6,3	9,9
pH/pH hiti (°C)	7,39/25	7,69/23	7,71/22	7,62/17	7,57/25	7,61/24
Kolsýra (CO ₂)	18,6	15,0	16,9	19,0	32,7	20,8
Brennist.vet. (H ₂ S)	<0,03	-	-	<0,03	<0,03	<0,03
Bór (B)	0,03	<0,03	<0,03	<0,03	0,03	0,03
Kísill (SiO ₂)	11,40	5,97	5,29	7,80	11,80	7,50
Uppleyst efni	17	28	33	3	53	19
δ²H (‰ SMOW)	-97,2	-100,6	-102,5	-98,6	-100,1	-101,0
δO¹⁸ (‰ SMOW)	-13,58	-14,02	-14,39	-13,62	-13,61	-13,83
¹⁴C age BP	-	-	-	-1077±49	3955±60	4195±65
Natríum (Na)	6,93	4,73	5,22	5,89	10,70	6,70
Kalíum (K)	0,59	0,37	0,35	0,36	0,64	0,46
Magnesíum (Mg)	2,72	0,92	0,82	0,96	1,73	0,97
Kalsíum (Ca)	5,90	2,68	2,89	3,00	3,58	2,71
Strontíum (Sr)	0,032	0,002	0,002	0,002	0,003	0,002
Flúor (F)	0,06	0,05	0,06	0,07	0,11	0,07
Klóríð (Cl)	1,10	0,95	1,02	0,97	1,61	1,22
Brómíð (Br)	0,003	0,004	0,004	0,004	0,005	0,004
Nítrít (NO ₂)	0,004	0,004	<0,002	0,002	0,004	0,003
Nítrat (NO ₃)	0,012	0,015	<0,009	0,065	0,033	0,125
Ammoníum (NH ₄)	0,009	0,013	0,002	0,014	<0,004	<0,004
Fosfat (PO ₄)	0,029	0,051	0,047	0,096	0,138	0,112
Súlfat (SO ₄)	1,74	1,53	1,72	2,02	2,94	2,30
Ál (Al)	11,74	0,381	0,111	0,229	0,105	0,061
Króm (Cr)	0,0046	0,0003	-	0,0002	0,0005	-
Mangan (Mn)	0,100	0,0073	0,0029	0,0058	0,0018	0,0042
Járn (Fe)	5,42	0,424	0,020	0,069	0,075	0,207
Kopar (Cu)	0,025	0,0026	-	0,0005	0,0007	-
Sínk (Zn)	0,0115	0,0050	-	0,0038	0,0020	-
Arsen (As)	0,0001	<0,0001	-	<0,0001	<0,0001	-
Kadmíum (Cd)	<0,00005	<0,00005	-	<0,00005	0,00005	-
Kvikasilfur (Hg)	<0,000005	<0,000005	-	<0,000005	<0,000005	-
Blý (Pb)	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	-

* Gallað sýni

- ekki mælt

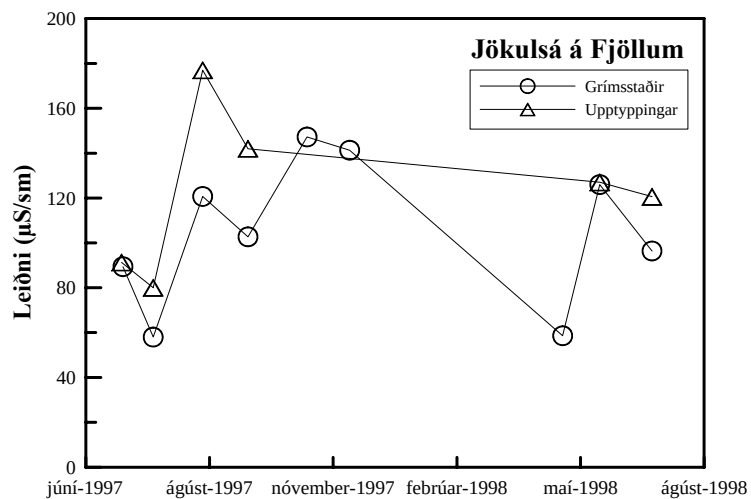
Jökulsá á Fjöllum

Sýni voru tekin á tveimur stöðum í Jökulsá á Fjöllum, annars vegar við Upptyppinga, áður en Kreppa rennur í hana og hins vegar við Grímsstaði. Öll áhrif eldvirkni í árvatninu ættu því að koma mun skýrar fram í sýnum við Upptyppinga en vegna snjóá er ekki hægt að komast þar að nema yfir sumartímann.

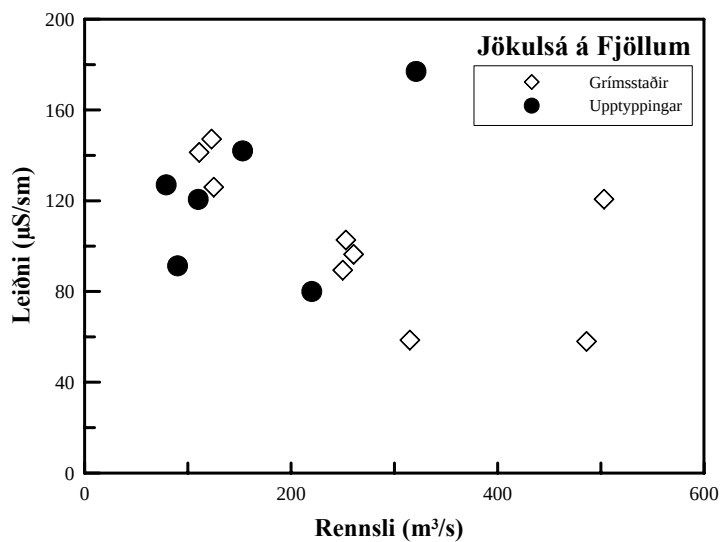
Við Upptyppinga voru tekin 6 sýni og eru niðurstöður efnagreininga að finna í töflu 5. Í töflu 14 eru síðan nákvæmari niðurstöður fyrir ^{14}C og einnig mælingar á ^{13}C . Fjögur sýni voru tekin í júní til september 1997 og tvö í júní og júlí 1998. Við Grímsstaði voru hins vegar tekin 11 sýni og eru niðurstöður efnagreininga á þeim í töflu 6. Mynd 8 sýnir samband leiðni og tíma fyrir þessa tvo staði og er leiðnin alltaf hærri eða jafnhá við Upptyppinga en hún er neðar í ánni, sem er í samræmi við það að öll merki um jarðhita eða eldvirkni eru orðin mun minni þegar dregur nær Grímsstöðum (Kristmannsdóttir et al. 1999). Þetta kemur einnig fram þegar samband rennslis og leiðni er skoðað á mynd 9. Sambandið er nokkuð eðlilegt þar sem leiðnin sveiflast milli 58 og 150 $\mu\text{S}/\text{cm}$ fyrir sýni frá Grímsstöðum en er nokkuð hærri fyrir Upptyppinga (91 til 177 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Tvö sýni, eitt frá hvorum sýnatökustað, skera sig úr þar sem leiðni þeirra mælist hærri en rennslí segir til um en þau sýni voru tekin sama daginn, 25. ágúst 1997. Líklega hefur komið hlaup í Jökulsá á þessum tíma, en þessi sýni skera sig ekki úr þegar skoðað er samband klóríðs og súlfats (mynd 10). Sýnin frá báðum sýnatökustöðum falla nokkurn vegin á línu sem hefur hallann 0,27, í átt að hærri styrk súlfats en klóríðs. Tvö sýni frá Grímsstöðum skera sig hins vegar úr og eru hærri í klóríðstyrk. Þessi sýni eru tekin í júní 1997 og 1998 og stafar líklega af áhrifum leysingarvatns sem hefur hærri styrk klóríðs en súlfats.

Athygli vekur að styrkur næringarsalta í árvatninu og þá helst nítrats og fosfats er mun meiri yfir sumarið 1998 en mældist í júní og júlí 1997.

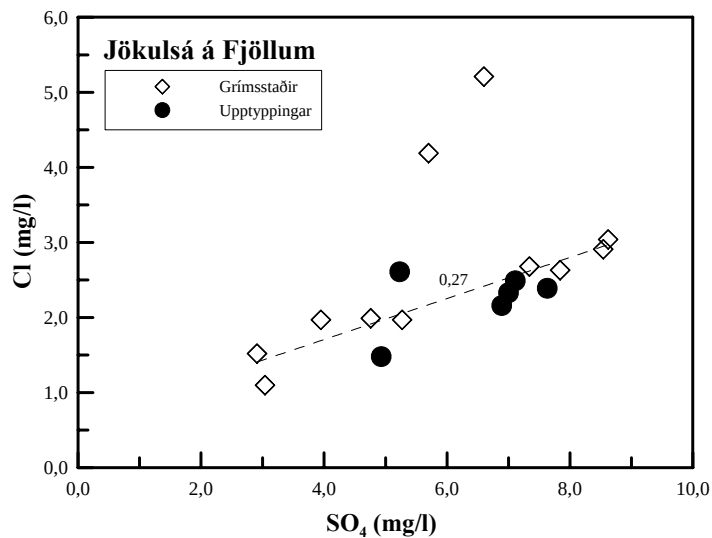
Hlutfall stöðugra samsætna súrefnis og vetnis er mjög lágt við Upptyppinga og eru lægstu gildin (-105,4‰ fyrir ^2H) eins og léttustu gildi rigningar á hálendi Íslands. Breytileikinn milli sýna er um 1‰ í mældum $\delta^{18}\text{O}$ gildum. Gildin frá sýnatökustað við Grímsstaði eru nokkuð hærri og breytilegri, enda er þar mun meira af lindarvatni og árstíðabundnu bræðsluvatni. Munur í $\delta^{18}\text{O}$ gildum á milli sýnatökustaðanna liggur á bilinu 0.5‰ til 1.7‰. Þessi munur kemur einnig skýrt fram í niðurstöðum kolefnissamsætumælinga, en þrjú sýni voru mæld frá hvorum stað. Sýnin sem tekin voru við Upptyppinga liggja á bilinu 15 til 28 pMC, en sýnin við Grímsstaði innihalda töluvert meira af ^{14}C og liggja á bilinu 52 til 84 pMC.



Mynd 8: *Leiðni vatns í Jökulsá á Fjöllum með tíma.*



Mynd 9: *Samband leiðni og rennslis í Jökulsá á Fjöllum.*



Mynd 10: *Styrkur klóríðs og sulfats í Jökulsá á Fjöllum.*

Tafla 5: Niðurstöður efnagreininga á sýnum úr Jökulsá á Fjöllum við Upptýppinga (mg/L).

Dags Númer	27.06.1997 19970502	20.07.1997 19970514	25.08.1997 19970534	27.09.1997 19970543	10.06.1998 19980137	18.07.1998 19980148
Rennsli (m ³ /s)	90	220	321	153	79	110
Leiðni (μS/sm)	91,3	80,0	177,0	142,0	127,0	120,6
Hiti (°C)	12,0	5,8	5,4	0,4	7,4	7,8
pH/pH hiti (°C)	7,92/22	7,84/22	8,01/23	8,12/16	8,09/25	8,00/24
Kolsýra (CO ₂)	35,4	27,5	71,2	55,7	43,4	41,0
Brennist.vet. (H ₂ S)	<0,03	-	-	<0,03	<0,03	<0,03
Bór (B)	0,04	0,06	<0,03	0,04	0,03	0,06
Kísill (SiO ₂)	16,70	8,92	13,20	13,60	17,70	13,40
Uppleyst efni	44	36	107	96	72	14
δ²H (‰ SMOW)	-100,6	-101,0	-105,2	-105,4	-103,2	-103,1
δO¹⁸ (‰ SMOW)	-13,99	-14,20	-14,89	-14,50	-14,05	-14,22
¹⁴C age BP	-	-	15270±130	-	10190±130	10890±130
Natríum (Na)	10,50	6,31	13,20	12,70	12,80	10,25
Kalíum (K)	0,49	0,40	0,62	0,52	0,60	0,54
Magnesium (Mg)	2,54	1,85	5,96	4,50	3,07	2,90
Kalsíum (Ca)	6,49	6,65	13,60	10,30	7,01	7,97
Strontíum (Sr)	0,050	0,005	0,013	0,009	0,006	0,007
Flúor (F)	0,12	0,09	0,11	0,14	0,19	0,13
Klóríð (Cl)	2,16	1,48	2,61	2,49	2,39	2,33
Brómið (Br)	0,009	0,006	0,010	0,009	0,007	0,008
Nítrít (NO ₂)	0,003	0,005	<0,002	0,002	-	0,005
Nítrat (NO ₃)	<0,006	0,014	0,078	0,124	0,058	0,092
Ammoníum (NH ₄)	0,007	0,009	0,036	-	<0,004	0,005
Fosfat (PO ₄)	0,072	0,030	0,015	0,088	0,189	0,125
Súlfat (SO ₄)	6,89	4,93	5,23	7,11	7,63	7,00
Ál (Al)	0,043	0,036	0,069	0,108	0,033	0,066
Króm (Cr)	0,0003	<0,0001	-	0,0002	0,0006	-
Mangan (Mn)	0,0025	0,0100	0,024	0,0173	0,0011	0,0100
Járn (Fe)	0,039	0,038	0,0072	0,035	0,0201	0,175
Kopar (Cu)	0,0004	0,0004	-	0,0003	0,0003	-
Sink (Zn)	0,0005	0,0018	-	0,0050	0,0009	-
Arsen (As)	0,0001	<0,0001	-	<0,0001	0,0001	-
Kadmíum (Cd)	<0,00005	<0,00005	-	0,00005	0,00007	-
Kvikasilfur (Hg)	<0,000005	-	-	<0,000005	<0,000005	-
Blý (Pb)	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	0,0007	-

- ekki mælt

Tafla 6: Niðurstöður efnagreininga á sýnum úr Jökulsá á Fjöllum við Grímsstaði (mg/L).

Dags Númer	28.06.1997 19970503	20.07.1997 19970512	25.08.1997 19970532	27.09.1997 19970545	09.11.1997 19970555	10.12.1997 19970564	28.01.1998 19980108	02.04.1998 19980119	14.05.1998 19980134	10.06.1998 19980136	18.07.1998 19980147
Rennsli (m ³ /s)	250	486	503	253	123	111	99,8	99,8	315	125	260,5
Leiðni (μS/sm)	89,4	58,0	120,7	102,7	147,2	141,3	-	-	58,6	126,0	96,4
Hiti (°C)	10,1	7,1	4,2	2,9	1,9	-	-	-	-	9,4	7,1
pH/pH hiti (°C)	8,14/22	7,73/22	8,03/22	8,12/17	8,00/22	7,95/20	7,80/22	7,94/25	7,82/23	7,92/24	8,00/24
Kolsýra (CO ₂)	32,5	20,6	46,8	39,2	53,1	50,3	26,2	27,0	21,0	43,7	33,7
Brennist.vet.(H ₂ S)	<0,03	-	-	<0,03	-	-	-	-	-	<0,03	<0,03
Bór (B)	0,04	0,03	<0,03	0,05	0,04	0,05	<0,03	<0,03	0,05	0,03	0,05
Kísill (SiO ₂)	17,60	8,04	10,40	12,50	18,40	19,40	17,80	17,20	9,20	18,50	12,60
Uppleyst efni	19	37	74	57	36	-	82	10	35	71	47
δ ² H (‰ SMOW)	-97,0	-99,1	-102,5	-100,2	-101,1	-100,9	-100,6	-99,6	-	-99,3	-100,3
δO ¹⁸ (‰ SMOW)	-13,55	-13,76	-14,42	-13,74	-14,01	-13,94	-13,76	-13,70	-12,65	-12,35	-13,74
¹⁴ C age BP	4725±65	-	-	1410±55	-	-	-	-	-	-	5255±65
Natríum (Na)	11,70	6,00	10,20	11,30	15,90	16,20	15,40	15,00	7,10	16,30	10,50
Kalíum (K)	0,60	0,39	0,50	0,52	0,61	0,60	0,56	0,61	0,42	0,84	0,55
Magnesíum (Mg)	1,82	1,23	3,42	2,62	3,92	3,43	2,69	2,59	1,20	2,22	1,86
Kalsíum (Ca)	4,64	3,90	8,74	6,34	8,51	7,99	6,68	6,45	3,13	4,90	5,11
Strontíum (Sr)	0,040	0,003	0,007	0,006	0,007	0,006	0,006	0,005	0,003	0,005	0,005
Flúor (F)	0,11	0,07	0,09	0,12	0,18	0,19	0,19	0,19	0,09	0,20	0,12
Klóríð (Cl)	4,19	1,10	1,97	1,97	3,04	2,91	2,63	2,68	1,52	5,21	1,99
Brómið (Br)	0,009	0,003	0,007	0,008	0,011	0,011	0,098	0,009	0,005	0,010	0,007
Nítrít (NO ₂)	0,002	0,004	<0,002	0,003	0,007	0,004	0,010	0,004	0,003	0,005	0,003
Nítrat (NO ₃)	<0,009	0,038	0,029	0,118	0,110	0,134	0,217	0,092	0,100	0,167	0,159
Ammoníum (NH ₄)	0,002	0,009	0,018	0,006	<0,004	<0,004	0,011	<0,004	<0,004	<0,004	0,005
Fosfat (PO ₄)	0,047	<0,01	<0,01	0,084	0,128	0,187	0,390	0,176	0,066	0,170	0,102
Súlfat (SO ₄)	5,70	3,04	3,95	5,27	8,62	8,54	7,84	7,34	2,91	6,60	4,76
Ál (Al)	0,045	0,086	0,033	0,215	0,024	0,044	0,040	0,031	0,041	0,102	0,053
Króm (Cr)	0,0003	<0,0001	-	0,0003	0,0047	-	-	0,0009	-	0,0009	-
Mangan (Mn)	0,0012	0,0044	0,0087	0,0088	0,1200	0,0030	0,0010	0,0009	0,0024	0,0009	0,0021
Járn (Fe)	0,0272	0,095	0,167	0,045	-	0,083	0,030	0,203	0,100	0,053	0,0344
Kopar (Cu)	0,0005	0,0007	-	0,0004	-	-	-	0,0032	-	0,0008	-
Sink (Zn)	0,0010	0,0013	-	0,0003	-	-	-	0,0015	-	0,0009	-
Arsen (As)	0,0001	<0,0001	-	<0,0001	-	-	-	-	-	0,0001	-
Kadmíum (Cd)	<0,00005	<0,00005	-	0,00005	-	-	-	-	-	<0,00005	-
Kvikasilfur (Hg)	0,000014	-	-	<0,000005	-	-	-	-	-	<0,000005	-
Blý (Pb)	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	-	-	-	0,0003	-	0,0003	-

Skeiðará

Niðurstöður efnagreininga á 13 sýnum úr Skeiðará eru í töflu 7 og myndir 11 og 12 sýna samband leiðni með tíma annars vegar og með rennsli hins vegar. Í töflu 14 eru síðan nákvæmari niðurstöður fyrir ^{14}C og einnig mælingar á ^{13}C . Hlaup sem kom í Skeiðará í febrúar 1998 kemur skýrt fram á mynd 11. Frá þeirri mynd er því erfitt að meta leiðni vatns í eðlilegu vetrarrennsli í ánni en líklegt er að það sé nálægt 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en í sumarrennsli fer leiðnin niður í um 67 S/cm . Algengt er að leiðnin nái gildi um 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ í hámarki hlaupa (Skeiðarárhlaup 1996) eins og hér gerist í febrúar 1998. Ferillinn sem lýsir leiðni með rennsli virðist vera veldisfall en ekki línulegt samband eins og í öðrum ám (mynd 12). Þau sýni sem þar standa út úr eru tekin við lok hlaupsins sem varð í febrúar 1998 þar hefur rennsli minnkað en leiðnin er enn há, líklega vegna leka úr Grímsvötnum.

Þegar litið er á styrk klóríðs og súlfats er ekki hægt að greina annað hlutfall efnanna í hlaupvatni og vatni við venjulegar aðstæður. Þau sýni sem tekin voru eftir hlaupið í Skeiðará innihalda hæstan styrk þessarra efna (mynd 13). Þau falla nálægt því á línu sem lýsir besta sambandi á milli klóríðs og súlfats og hefur hallatöluna 0,39.

Hlutfall stöðugra samsætna súrefnis og vetnis er mjög breytilegt eða um 1,7‰ í mældum $\delta^{18}\text{O}$ gildum og er allt frá því að vera úrkoma neðarlega við jökulsporð Skeiðarársjökuls og niður í hlutfall úrkomu hátt upp á Vatnajökli. Gildi með enn meiri dreifingu hafa mælst í hlaupvatni úr Skeiðará (Björnsson og Kristmannsdóttir, 1984). Kolefnissamsætur voru mældar í 4 sýnum og sýna að árvatnið liggur á bilinu 11 til 20 pMC, nema í sýni frá febrúar 1998 þar sem gildið er 2,6 pMC og má í þessu sýni sjá merki um hlaupáhrif. Það sést einnig í $\delta^{13}\text{C}$ gildi febrúarsýnisins, +0,26‰, sem er töluvert herra en í venjulegu árvatni Skeiðarár, sem liggur á bilinu -2 til 4‰

Gígja

Alls voru tekin 12 sýni úr Gígju og eru niðurstöður greininga sýndar í töflu 8. Í töflu 14 eru síðan nákvæmari niðurstöður fyrir ^{14}C og einnig mælingar á ^{13}C . Rafeiðni mælist í árvatninu minnst 32 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en hæst um 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (mynd 14) en samband leiðni við rennsli er mjög óljóst (mynd 15). Það eru miklar sveiflur í efnasamsetningu árvatsins og erfitt að sjá hvert samband efnastyrks og rennslis er. Þó er ljóst frá mynd 16 að vatnið er jarðhitamengað þar sem styrkur súlfats er hærri en klóríðs. Þar sem um mjög lágan styrk beggja efna er að ræða kemur ekki fram neitt skýrt samband milli styrks þeirra.

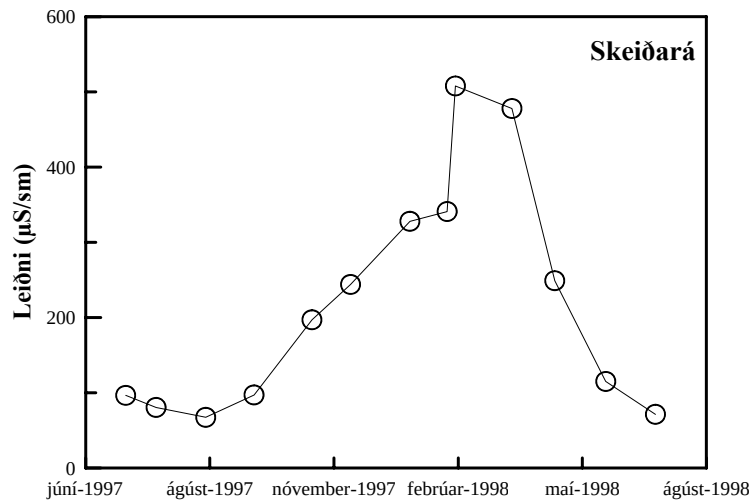
Hlutfall stöðugra samsætna súrefnis og vetnis í vatninu er herra og breytileikinn heldur minni (1,33 ‰ í $\delta^{18}\text{O}$ gildum) en í Skeiðará. Kolefnissamsætur voru mældar í 5 sýnum. Styrkur ^{14}C er talsvert breytilegur (28 til 60pMC) og mun hærri en í Skeiðará.

Tafla 7: Niðurstöður efnagreininga á sýnum úr Skeiðará (mg/L).

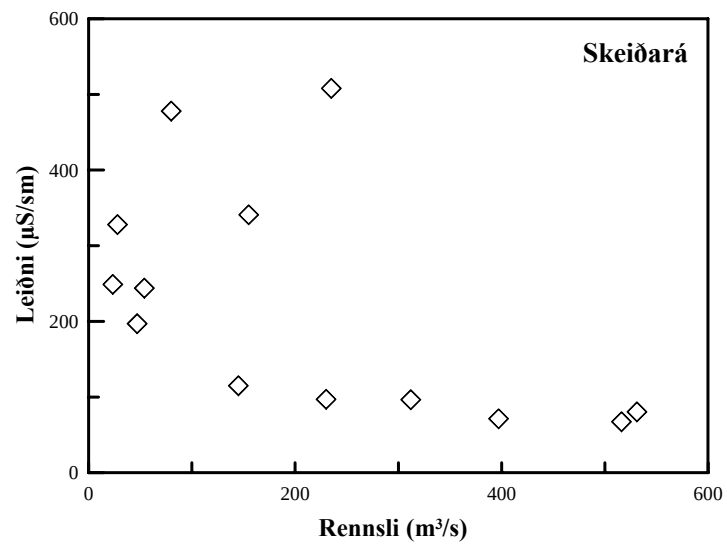
Númer	30.06.1997 19970504	22.07.1997 19970515	27.08.1997 19970536	01.10.1997 19970547	12.11.1997 19970556	10.12.1997 19970565	22.01.1998 19980101	18.02.1998 19980110	24.02.1998 19980117	06.04.1998 19980121	07.05.1998 19980132	13.06.1998 19980139	19.07.1998 19980150
Rennsli (m³/s)	312	531	516	230	47	54	28	155	235	80	23,5	145	397
Leiðni (µS/sm)	96,5	80,5	67,3	97,1	197,0	244	328	341	508	478	249	115	71,3
Hiti (°C)	1,3	0,7	0,6	0,2	0	-	0	0,3	-	1,8	-	4,9	5,3
pH/pH hiti (°C)	7,92/22	7,84/22	7,94/22	7,55/22	7,50/16	7,20/18	7,20/22	6,78/22	6,68/22	6,53/23	7,64/22	7,49/25	7,62/23
Kolsýra (CO₂)	35,1	28,6	24,7	37,6	77,4	96,0	154,9	187,6	317,2	344,5	105,3	44,1	25,9
Brennist.vet.(H₂S)	<0,03	-	-	<0,03	-	-	-	0,06	-	-	-	0	0
Bór (B)	0,03	0,03	<0,03	0,00	0,04	0,06	0,06	0,03	0,05	0,07	0	0,06	0,04
Kísill (SiO₂)	14,70	6,05	6,17	8,90	13,90	18,10	23,90	31,80	46,90	55,80	16,50	7,90	5,40
Uppleyst efni	25	23	41	36	100	91	178	188	251	200	143	52	30
δ²H (‰ SMOW)	-83,7	-84,8	-89,6	-88,8	-90,5	-86,4	-90,2	-86,0	-94,5	-94,6	-	-72,5	-83,3
δO¹⁸ (‰ SMOW)	-12,14	-12,24	-12,82	-12,49	-12,87	-12,09	-12,89	-12,01	-13,12	-13,14	-11,83	-11,27	-11,72
¹⁴C age BP	17530±150	-	-	-	-	-	-	29300±550	-	-	-	17670±180	12410±110
Natríum (Na)	6,62	5,61	5,21	6,70	11,70	13,70	19,40	23,20	35,70	41,90	15,20	6,70	4,80
Kalíum (K)	0,31	0,31	0,28	0,35	0,53	0,66	0,95	1,40	2,18	2,94	0,81	0,36	0,25
Magnesíum (Mg)	1,80	1,55	1,17	1,82	4,76	6,01	8,09	7,40	12,03	11,97	6,12	2,34	1,36
Kalsíum (Ca)	9,87	8,07	6,64	10,30	21,50	28,50	38,20	37,60	57,40	47,20	28,40	11,48	6,56
Strontíum (Sr)	0,060	0,006	0,006	0,007	0,019	0,028	0,036	0,035	0,061	0,063	0,023	0,008	0,005
Flúor (F)	0,10	0,10	0,09	0,11	0,15	0,16	0,20	0,22	0,21	0,27	0,18	0,09	0,06
Klóríð (Cl)	2,25	1,81	1,34	1,81	3,22	4,13	6,37	7,07	9,80	9,54	4,85	2,00	1,53
Brómið (Br)	0,013	0,008	0,006	0,007	0,012	0,014	0,021	0,022	0,028	0,029	0,015	0,007	0,005
Nítrít (NO₂)	0,007	0,004	<0,002	0,002	0,003	0,004	0,007	0,004	-	0,008	0,003	0,006	0,005
Nítrat (NO₃)	<0,009	0,080	0,016	0,066	0,185	0,173	0,209	0,086	-	0,099	0,108	0,068	0,095
Ammoníum (NH₄)	0,005	0,011	0,164	0,015	0,008	0,005	0,008	<0,004	-	-	0	0,029	0,008
Fosfat (PO₄)	0,046	0,041	0,031	0,026	0,018	0,018	0,046	<0,01	-	0,018	0,021	0,022	0,041
Súlfat (SO₄)	5,12	3,80	2,77	4,22	7,11	10,10	12,2	16,2	22,7	25,4	11,45	4,15	2,57
Ál (Al)	0,037	0,039	0,163	0,227	0,009	0,011	0,008	0,012	0,010	0,033	0,011	0,025	0,022
Króm (Cr)	<0,0001	<0,0001	-	0,0003	-	-	-	0,0002	0,0002	0,0004	-	0,0005	-
Mangan (Mn)	0,0109	0,0121	0,0084	0,0185	0,0690	0,1120	0,1500	0,1760	0,3150	0,3370	0,0810	0,0286	0,0120
Járn (Fe)	0,0373	0,029	0,046	0,0192	0,043	0,107	0,197	0,450	1,280	2,43	0,0204	0,0399	0,163
Kopar (Cu)	0,0007	0,001	-	0,0016	-	-	-	0,0002	0,0017	0,0034	-	0,0011	-
Sink (Zn)	0,0012	0,0010	-	0,0035	-	-	-	-	-	-	-	0,0046	-
Arsen (As)	<0,0001	<0,0001	-	<0,0001	-	-	-	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-	0	-
Kadmíum (Cd)	<0,00005	<0,00005	-	<0,00005	-	-	-	<0,00005	<0,00005	<0,00005	-	0,00005	-
Kvikasilfur (Hg)	<0,000005	-	-	0,000013	-	-	-	<0,000005	-	-	-	0	-
Blý (Pb)	<0,0002	<0,0002	<0,0002	0,0003	-	-	-	<0,0002	0,0003	0,0004	-	0,0005	-

Tafla 8: Niðurstöður efnagreininga á sýnum úr Gígjukvísl (mg/L).

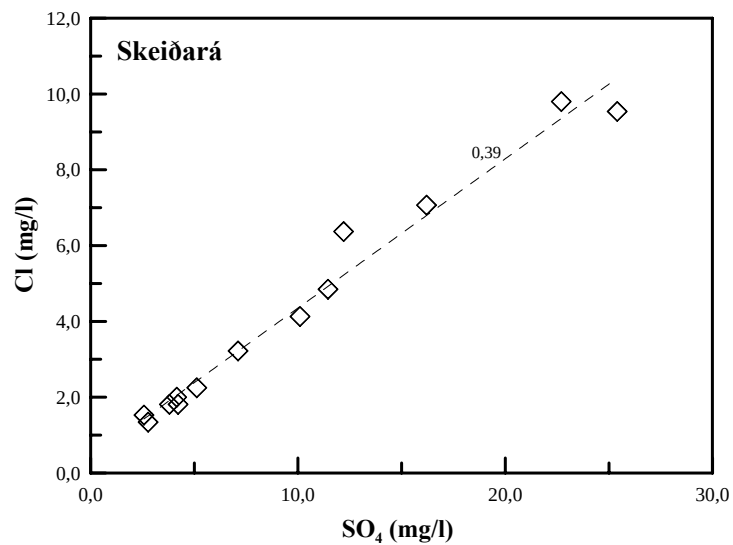
Dags	30.06.1997	22.07.1997	27.08.1997	01.10.1997	12.11.1997	10.12.1997	22.01.1998	18.02.1998	06.04.1998	07.05.1998	14.06.1998	19.07.1998
Númer	19970505	19970516	19970537	19970548	19970557	19970566	19980102	19980111	19980122	19980131	19980140	19980151
Rennsli (m ³ /s)	64	45	38	26	6,5	4	1	9,5	8,1	12	36,3	36,1
Leiðni (µS/sm)	85,3	81,6	86,5	45,0	102,3	68,7	99,4	67,4	79,3	75,6	63,0	32,7
Hiti (°C)	7,6	5,0	9,5	0,3	0	-	0	0,6	0,3	4,6	8,5	7,0
pH/pH hiti (°C)	7,87/23	7,82/22	7,89/22	7,60/22	7,76/20	7,68/17	8,02/22	7,57/22	7,55/23	7,73/20	7,58/26	7,37/24
Kolsýra (CO ₂)	26,1	24,1	25,8	14,0	30,0	21,1	29,4	20,4	24,3	23,9	19,9	14,2
Brennist.vet. (H ₂ S)	<0,03	-	-	<0,03	-	-	-	-	-	-	<0,03	<0,03
Bór (B)	<0,03	<0,03	<0,03	0,06	0,03	0,06	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	0,05	<0,03
Kísill (SiO ₂)	9,80	7,69	9,22	6,80	9,70	9,00	9,80	7,40	8,10	7,90	7,10	4,40
Uppleyst efni	34	45	63	12	53	33	57	43	50	42	1	15
δ²H (‰ SMOW)	-82,1	-81,5	-74,4	-78,1	-77,2	-78,2	-76,2	-72,6	-75,7	-	-82,2	-81,6
δO¹⁸ (‰ SMOW)	-11,76	-11,65	-10,72	-10,99	-10,88	-11,03	-10,68	-10,43	-10,69	-10,92	-11,43	-11,72
¹⁴C age BP	10240±90	-	-	4835±80	-	-	-	6880±90	-	-	6850±110	4160±70
Natríum (Na)	6,72	6,49	6,11	3,34	6,20	4,50	6,50	4,40	5,00	5,20	4,70	2,40
Kalíum (K)	0,38	0,35	0,37	0,18	0,32	0,22	0,33	0,31	0,33	0,32	0,30	0,16
Magnesium (Mg)	1,43	1,36	1,59	0,86	2,13	1,51	2,06	1,42	1,63	1,50	1,01	0,50
Kalsíum (Ca)	7,87	7,39	8,34	4,03	10,50	6,54	9,87	6,69	7,84	7,37	5,01	2,50
Strontíum (Sr)	0,050	0,003	0,004	0,002	0,004	0,003	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,001
Flúor (F)	0,16	0,20	0,20	0,08	0,20	0,12	0,20	0,14	0,15	0,15	0,12	0,05
Klóríð (Cl)	1,30	1,16	2,33	1,33	2,66	2,03	4,14	2,98	2,97	2,34	1,94	1,20
Brómið (Br)	0,005	0,004	0,009	0,005	0,009	0,007	0,015	0,010	0,010	0,007	0,004	0,002
Nítrít (NO ₂)	<0,002	0,004	<0,002	0,002	0,008	0,004	0,005	0,004	0,004	0,005	0,004	0,004
Nítrat (NO ₃)	<0,009	0,011	0,087	0,065	0,124	0,163	0,199	0,135	0,165	0,137	0,061	0,050
Ammoníum (NH ₄)	0,009	0,020	0,016	0,033	0,017	0,007	0,013	<0,004	<0,004	<0,004	0,004	<0,004
Fosfat (PO ₄)	0,033	<0,01	0,021	0,074	0,088	0,121	0,160	0,079	0,092	0,089	0,067	0,062
Súlfat (SO ₄)	9,42	8,79	7,44	3,62	9,42	5,61	8,19	5,48	6,33	6,08	4,39	1,99
Ál (Al)	0,046	0,039	0,092	0,085	0,104	0,168	0,047	0,030	0,033	0,0055	0,064	0,022
Króm (Cr)	<0,0001	<0,0001	-	<0,0001	-	-	-	0,0002	-	-	0,0003	-
Mangan (Mn)	0,0031	0,0026	0,0031	0,0027	0,0037	0,0044	0,0030	0,0008	0,0014	0,0032	0,0077	0,0050
Járn (Fe)	0,030	0,020	0,0147	0,033	0,238	0,023	0,057	0,024	0,021	0,088	0,049	0,277
Kopar (Cu)	0,0009	0,0006	-	0,0008	-	-	-	0,0026	-	-	0,0023	-
Sink (Zn)	0,0010	0,0012	-	0,0017	-	-	-	0,0008	-	-	0,0008	-
Arsen (As)	<0,0001	<0,0001	-	<0,0001	-	-	-	<0,0001	-	-	<0,0001	-
Kadmíum (Cd)	<0,00005	<0,00005	-	<0,00005	-	-	-	<0,00005	-	-	0,00005	-
Kvikasilfur (Hg)	<0,000005	<0,000005	-	0,000037	-	-	-	<0,000005	-	-	0,00008	-
Blý (Pb)	0,0003	<0,0002	<0,0002	0,0003	-	-	-	0,0003	-	-	<0,0002	-



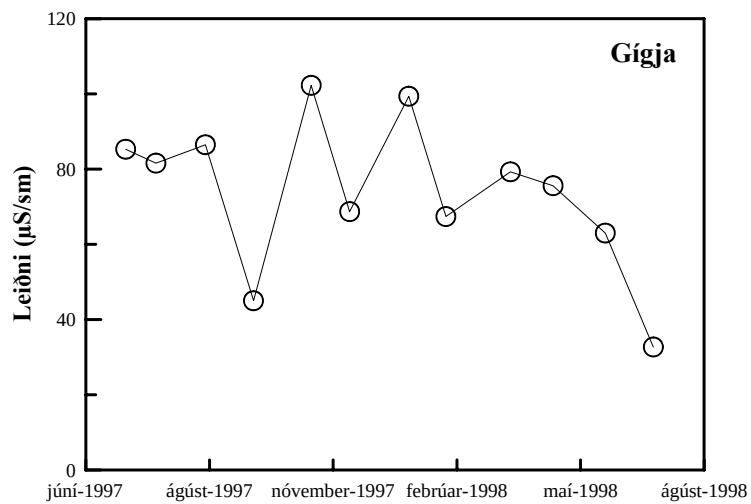
Mynd 11: Leiðni vatns í Skeiðará með tíma.



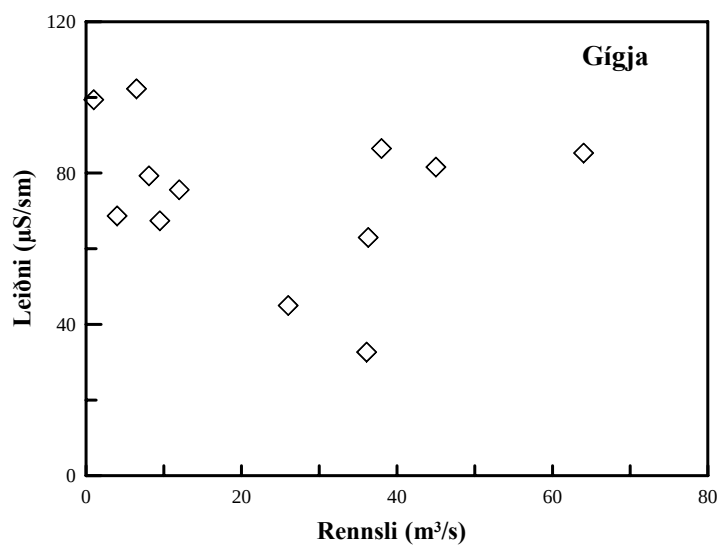
Mynd 12: Samband leiðni og rennslis í Skeiðará.



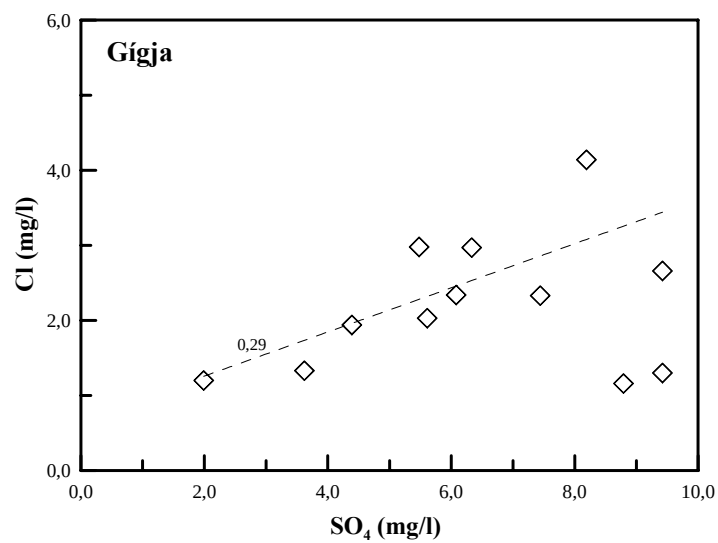
Mynd 13: Styrkur klóríðs og súlfats í Skeiðará.



Mynd 14: Leiðni vatns í Gígju með tíma.



Mynd 15: Samband leiðni og rennslis í Gígju.



Mynd 16: Styrkur klóríðs og sulfats í Gígju.

Súla

Niðurstöður efnagreininga á sýnum úr Súlu eru í töflu 9 en á meðan á verkefninu stóð var safnað 11 sýnum úr ánni. Í töflu 14 eru síðan nákvæmari niðurstöður fyrir ^{14}C og einnig mælingar á ^{13}C . Leiðni mælist á bilinu 44 til 97 $\mu\text{S}/\text{cm}$ og í grófum dráttum er hún hærri yfir vetrartímenn en sumarið eins og viðbúið er (mynd 17). Samband leiðni við rennsli (mynd 18) yfir veturinn virðist annað en í sumarvatninu en þau sýni sem hafa rennsli minna en 20 m^3/s eru mörg hver með lægri leiðni en ætla mætti af sambandi því sem kemur fram við meira rennsli. Styrkur klóríðs og súlfats er lágur í vatninu í Súlu og er ekki hægt að sjá sérstakt samband þar á milli (mynd 19).

Hlutfall stöðugra samsætna súrefnis og vetnis er nokkuð hærri en í Gígjukvísl, en svipaður breytileiki mælist milli sýna (1,5% í $\delta^{18}\text{O}$ gildum). Kolefnissamsætur voru mældar í 5 sýnum. Styrkur ^{14}C er talsvert breytilegur og heldur meiri en í sýnum frá Gígjukvísl. Í fjórum sýnum liggur hann á bilinu 39 til 58 pMC en í einu sýni (frá febrúar 1998) er hann talsvert hærri eða um 83 pMC.

Djúpá

Tafla 10 sýnir styrk efna í 13 sýnum úr Djúpá. Í töflu 14 eru síðan nákvæmari niðurstöður fyrir ^{14}C og einnig mælingar á ^{13}C . Efnastyrkur vatnsins er lágur enda að miklu leyti um lindarvatn að ræða. Rafleiðni vatnsins mælist á bilinu 35 til 60 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (mynd 20). Leiðnin reynist nokkuð hærri í vetrarrennsli en að sumri og samband hennar með auknu rennsli er fyrir flest sýnin eins og gerist við leysingar þegar leiðni lækkar með auknu rennsli (mynd 21). Þau sýni sem falla ekki eins vel inn í myndina eru tvö sýni tekin í júlí 1997, þar sem rennslið mælist mest og leiðnin hækkar. Því er hér farið eins og með fleiri af efnasnaðum á að styrkur þeirra er ekki nógu hár til að sýna afdráttarlausa fylgni með öðrum þáttum. Klóríð sýnir hér enga sérstaka fylgni með súlfatstyrk í vatninu í Djúpá (mynd 22).

Hlutfall stöðugra samsætna súrefnis og vetnis er svipað og í vatni úr Súlu en breytileiki milli sýna er heldur minni (ca. 1% í $\delta^{18}\text{O}$ gildum). Í 5 sýnum voru kolefnissamsætur greindar og samkvæmt þeim er árvatnið mun yngri og breytileikinn minni en í Súlu (90 til 104 pMC).

Ása-Eldvatn

Niðurstöður greininga á sýnum úr Ása-Eldvatni eru í töflu 11 en alls var safnað 13 sýnum þaðan. Í töflu 14 eru síðan nákvæmari niðurstöður fyrir ^{14}C og einnig mælingar á ^{13}C . Leiðni er nokkuð stöðug á bilinu 85 til 120 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en haustið 1997 hækkaði leiðni og mældist 242 $\mu\text{S}/\text{cm}$ í ágúst og nokkru lægra í október (mynd 23). Heildarkarbonsat (sem CO_2) mælist yfirleitt um 25–30 mg/l nema í fyrrnefndum sýnum þar sem rafleiðnin er mjög há, þar mælist styrkurinn allt að 100 mg/l (tafla 11). Sé litið framhjá þessum tveimur sýnum er samband leiðni og rennsli eðlilegt þar sem leiðni lækkar lítillega við aukið rennsli (mynd 24). Styrkur súlfats er nokkuð hár í Ása-Eldvatni og kemur fram nokkuð skýrt samband milli hækkunar í klóríði og súlfati (mynd 25).

Hlutfall stöðugra samsætna súrefnis og vetnis er heldur lægra (hærri mínustala) en í Súlu og Djúpá og breytilegra (ca 2% í $\delta^{18}\text{O}$ gildum). Vatnið í hlaupunum virðist langléttast. Styrkur ^{14}C er mjög breytilegur frá 37 til 121 pMC og mælist elsta vatnið í hlaupvatni og þar er $\delta^{13}\text{C}$ gildið, +2‰, sem er töluvert herra en í venjulegu árvatni, þar sem $\delta^{13}\text{C}$ gildið liggur á bilinu -1,7 til -2,7‰.

Leirá

Upptök Leirár eru í austanverðum Mýrdalsjökli og eru niðurstöður efnagreininga af 11 sýnum í töflu 12. Í töflu 14 eru síðan nákvæmari niðurstöður fyrir ^{14}C og einnig mælingar á ^{13}C . Leiðni mælist á bilinu 75 og 175 $\mu\text{S}/\text{cm}$ í þessum sýnum og er hún hærri um veturinn (mynd 26). Rennsli er lítið yfir veturinn og nær nálægt 60 m^3/s í mestu leysingum um sumarið 1997 og lækkar leiðni með auknu rennsli (mynd 27). Úrkoma og leysingarvatn hefur væntanlega hér meiri áhrif en í mörgum hinna áanna miðað við að hlutfall klóríðs og súlfats er mjög líkt og í úrkomu í þessum sýnum. Ástæðan er væntanlega það að klóríðstyrkur vatnsins er hlutfallslega hár (mynd 28).

Hlutfall stöðugu samsætnanna súrefnis og vetnis er ámóta og í Súlu og Djúpa, en ^{14}C mælingar sýna að vatnið inniheldur töluvert minna af geislakoli. Styrkur geislakols liggur á bilinu 16 til 26 pMC og er einna líkast gildunum í Jökulsá á Fjöllum við Upptyppinga. $\delta^{13}\text{C}$ gildin eru þyngrri en í öðrum ám hingað til og eru öll jákvæð.

Múlakvísl

Múlakvísl kemur undan Höfðabrekkujökli og viðbúið að eldstöðin Katla hafi nokkur áhrif á efnasamsetningu vatnsins í henni. Samtals voru tekin 11 sýni úr Múlakvísl og eru niðurstöður efnagreininga í töflu 13. Í töflu 14 eru síðan nákvæmari niðurstöður fyrir ^{14}C og mælingar á ^{13}C . Leiðni spannar allt frá 104 til 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ og þegar leiðnin hefur verið í hámarki er styrkur karbónats hæstur sem bendir til aukinnar jarðhitavirkni (mynd 29). Ekki er hægt að sjá skýrt samband milli leiðni og rennslis annars vegar og klóríðs og súlfats hins vegar (mynd 30, 31). Þau sýni sem sýna merki um aukna jarðhitavirkni innihalda auk þess hærri styrk ýmissa efna, t.d. kísils, súlfats, katjóna, járns, mangans og mæling á uppleystum efnum sýnir slíkt hið sama.

Hlutfall stöðugra samsætna súrefnis og vetnis er talsvert breytilegt (um 1.5% í $\delta^{18}\text{O}$ gildum). Kolefnissamsætur voru mældar í 5 sýnum og er styrkur geislakols svipaður eða ívíð lægri en í Leirá, nema í einu sýni þar sem hann mælist um 50 pMC. Í því sýni er $\delta^{13}\text{C} = -2.4\%$ en í hinum eru gildin pósitíf eins og í Leirá.

Tafla 9: Niðurstöður efnagreininga á sýnum úr Súlu (mg/L).

Dags	30.06.1997	22.07.1997	27.08.1997	02.10.1997	12.11.1997	11.12.1997	22.01.1998	18.02.1998	06.04.1998	14.06.1998	20.07.1998
Númer	19970506*	19970517	19970538	19970549	19970558	19970568	19980103	19980112	19980123	19980141	19980152
Rennsli (m ³ /s)	100	79	86	62	12	7,5	2	11,6	0,4	62	66
Leiðni (μS/sm)	48,9	63,1	56,8	72,0	69,0	64,6	96,8	44,3	94,8	67,0	68,4
Hiti (°C)	2,5	1,6	2,7	0,5	0,3	-	0	2,0	4,9	11,1	-
pH/pH hiti (°C)	8,06/22	8,49/22	8,05/21	8,11/22	7,80/22	7,67/21	8,33/22	7,29/22	7,66/23	8,25/24	7,79/25
Kolsýra (CO ₂)	21,7	21,9	21,4	22,0	21,5	20,8	21,9	21,7	23,4	24,4	24,8
Brennist.vet.(H ₂ S)	<0,03	-	-	<0,03	-	-	-	-	-	<0,03	<0,03
Bór (B)	0,06	<0,03	<0,03	<0,03	0,03	0,15	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Kísill (SiO ₂)	13,10	8,04	7,69	9,30	10,10	11,10	11,20	6,10	11,10	8,40	8,50
Uppleyst efni	16	33	45	34	26	36	5	16	40	-	6
δ ² H (‰ SMOW)	-73,8	-72,4	-72,5	-72,5	-70,2	-69,6	-71,8	-64,6	-68,9	-73,5	-73,9
δO ¹⁸ (‰ SMOW)	-10,73	-10,57	-10,59	-10,38	-9,99	-9,84	-10,09	-9,25	-9,88	-10,26	-10,43
¹⁴ C age BP	7630±80	-	-	5985±70	-	-	-	1518±45	-	4400±70	5025±60
Natríum (Na)	5,04	6,01	5,78	8,05	8,50	7,20	9,90	5,30	9,50	6,60	6,10
Kalíum (K)	0,21	0,18	0,20	0,25	0,16	0,20	0,23	0,18	0,29	0,26	0,23
Magnesium (Mg)	1,01	0,81	0,75	0,85	0,82	0,91	1,40	0,53	1,40	0,87	1,06
Kalsíum (Ca)	4,45	5,34	4,47	5,45	4,30	4,13	7,57	2,88	7,27	4,73	5,16
Strontíum (Sr)	0,090	-	0,001	0,001	0,002	0,001	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002
Flúor (F)	0,07	0,09	0,08	0,11	0,10	0,08	0,12	0,06	0,11	0,09	0,08
Klóríð (Cl)	1,16	1,57	1,34	1,99	2,20	2,59	4,37	3,27	4,24	4,06	2,02
Brómíð (Br)	0,006	0,006	0,006	0,008	0,008	0,009	0,018	0,012	0,017	0,007	0,007
Nítrít (NO ₂)	0,017	0,002	<0,002	0,002	0,007	0,004	0,005	0,003	0,004	0,007	0,004
Nítrat (NO ₃)	<0,009	0,040	0,065	0,146	0,158	0,213	0,385	0,104	0,347	0,097	0,336
Ammoníum (NH ₄)	0,068	0,022	0,029	0,030	0,008	0,003	0,016	<0,004	0,005	<0,004	<0,004
Fosfat (PO ₄)	0,036	0,023	0,035	0,052	0,056	0,058	0,187	0,034	0,142	0,089	0,076
Súlfat (SO ₄)	2,47	4,05	2,98	4,29	3,62	2,85	5,02	1,71	4,84	3,39	3,33
Ál (Al)	1,91	0,037	0,053	0,084	0,080	0,073	0,043	0,018	0,047	0,055	0,039
Króm (Cr)	0,0015	<0,0001	-	0,0002	-	-	-	0,0002	-	0,0003	-
Mangan (Mn)	0,0384	0,0010	0,0016	0,0027	0,0023	0,0024	0,0022	0,0010	0,0017	0,1040	0,0044
Járn (Fe)	1,85	0,0065	0,013	0,023	0,0052	0,0082	0,023	0,032	0,020	5,61	0,184
Kopar (Cu)	0,0058	0,001	-	0,0026	-	-	-	0,0007	-	0,0018	-
Sink (Zn)	0,0060	0,0008	-	0,0042	-	-	-	0,0024	-	0,0021	-
Arsen (As)	0,0001	<0,0001	-	0,0001	-	-	-	<0,0001	-	<0,0001	-
Kadmíum (Cd)	<0,00005	<0,00005	-	<0,00005	-	-	-	<0,00005	-	0,00005	-
Kvikasilfur (Hg)	<0,000005	-	-	-	-	-	-	<0,000005	-	<0,000005	-
Blý (Pb)	0,0002	<0,0002	<0,0002	0,0006	-	-	-	<0,0002	-	0,0002	-

Tafla 10: Niðurstöður efnagreininga á sýnum úr Djúpá (mg/L).

Dags Númer	30.06.1997 19970507	22.07.1997 19970518	29.07.1997 19970522	26.08.1997 19970535	02.10.1997 19970550	12.11.1997 19970559	11.12.1997 19970567	22.01.1998 19980104	18.02.1998 19980113	06.04.1998 19980124	07.05.1998 19980130	14.06.1998 19980142	20.07.1998 19980153
Rennsli (m ³ /s)	51	91	82	66	35	11,3	15,5	7,3	13,6	4,2	7,8	27	29,2
Leiðni (µS/sm)	26,0	40,7	34,4	29,4	47,9	59,6	57,9	60,6	45,4	59,0	49,9	43,0	45,9
Hiti (°C)	6,2	5,1	5,1	5,4	1,8	0,4	-	2,0	1,8	4,6	2,1	12,6	9,3
pH/pH hiti (°C)	7,23/22	7,50/22	7,38/22	7,30/21	7,52/22	7,47/22	7,43/20	7,46/22	7,37/22	7,49/24	7,52/18	7,36/25	7,31/24
Kolsýra (CO ₂)	7,9	11,2	10,8	9,3	15,0	18,3	16,9	17,6	13,3	18,1	15,1	12,8	24,4
Brennist.vet.(H ₂ S)	<0,03	-	-	-	<0,03	-	-	-	-	-	-	<0,03	<0,03
Bór (B)	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	0,03	0,13	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	0,08
Kísill (SiO ₂)	8,50	6,57	5,10	6,17	10,00	11,70	12,10	11,30	9,20	11,40	9,60	7,90	6,60
Uppleyst efni	4	20	18	24	0	36	32	8	16	36	27	-	9
δ ² H (‰ SMOW)	-71,5	-71,5	-71,4	-70,8	-73,8	-72,6	-68,1	-70,9	-69,0	-69,1	-	-73,4	-74,7
δO ¹⁸ (‰ SMOW)	-10,55	-10,51	-10,41	-10,45	-10,57	-10,36	-9,68	-9,95	-9,92	-9,89	-10,11	-10,35	-10,60
¹⁴ C age BP	-264±44	-	-	-	610±50	-	-	-	-245±50	-	-	-473±49	975±39
Natríum (Na)	2,59	3,93	2,92	2,84	4,60	5,40	5,70	6,00	4,70	6,00	5,00	4,10	3,60
Kalíum (K)	0,19	0,31	0,35	0,21	0,36	0,33	0,32	0,30	0,29	0,36	0,30	0,28	0,34
Magnesium (Mg)	0,45	0,74	0,63	0,51	0,89	1,09	1,11	1,20	0,91	1,15	0,94	0,72	0,84
Kalsíum (Ca)	1,70	2,73	2,63	2,06	3,41	4,16	3,86	3,78	2,85	3,58	2,97	2,32	3,30
Strontíum (Sr)	0,010	-	0,003	0,002	0,005	0,004	0,004	0,003	0,002	0,003	0,003	0,003	0,004
Flúor (F)	0,05	0,10	0,07	0,08	0,10	0,11	0,10	0,08	0,06	0,09	0,07	0,07	0,07
Klóríð (Cl)	1,44	1,68	1,38	1,29	2,07	2,65	2,83	4,67	3,91	3,91	3,36	2,58	1,85
Brómíð (Br)	0,006	0,006	0,006	0,004	0,008	0,010	0,011	0,018	0,013	0,014	0,012	0,008	0,007
Nítrít (NO ₂)	0,004	<0,002	0,005	0,007	0,003	0,005	0,004	0,005	0,004	0,003	0,002	0,005	0,004
Nítrat (NO ₃)	<0,009	0,091	0,066	<0,009	0,072	0,160	0,243	0,274	0,112	0,084	0,015	0,012	0,113
Ammoníum (NH ₄)	0,009	0,014	0,025	0,005	0,028	<0,004	<0,004	0,012	<0,004	<0,004	<0,004	0,007	0,005
Fosfat (PO ₄)	0,061	0,052	0,033	0,065	0,086	0,057	0,091	0,128	0,040	0,085	0,059	0,067	0,065
Súlfat (SO ₄)	1,09	3,08	1,90	1,52	2,78	3,27	3,04	2,76	1,82	2,60	1,89	2,03	2,77
Ál (Al)	0,066	0,013	0,010	0,075	0,208	0,049	0,130	0,024	0,02	0,035	0,031	0,022	0,017
Krómr (Cr)	0,0003	<0,0001	<0,0001	-	0,0002	-	-	-	0,0002	-	-	0,0003	-
Mangan (Mn)	0,0027	0,0039	0,0134	0,0590	0,0089	0,0113	0,0059	0,0014	0,0011	0,0007	0,0016	0,0015	0,0109
Járn (Fe)	0,082	0,0071	0,0066	0,025	0,026	0,0043	0,094	0,0176	0,015	0,0118	0,0207	0,044	0,060
Kopar (Cu)	0,0005	0,0007	0,0054	-	0,0023	-	-	-	0,0124	-	-	0,0002	-
Sink (Zn)	0,0014	0,0037	0,0022	-	0,0090	-	-	-	0,0038	-	-	0,0009	-
Arsen (As)	<0,0001	<0,0001	0,0001	-	0,00015	-	-	-	<0,0001	-	-	<0,0001	-
Kadmíum (Cd)	<0,00005	<0,00005	<0,00005	-	<0,00005	-	-	-	<0,00005	-	-	<0,00005	-
Kvikasilfur (Hg)	<0,000005	<0,000005	<0,000005	-	0,00003	-	-	-	<0,000005	-	-	<0,000005	-
Blý (Pb)	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	0,0005	-	-	-	0,0014	-	-	<0,0002	-

Tafla 11: Niðurstöður efnagreininga á sýnum úr Ása-Eldvatni (mg/L).

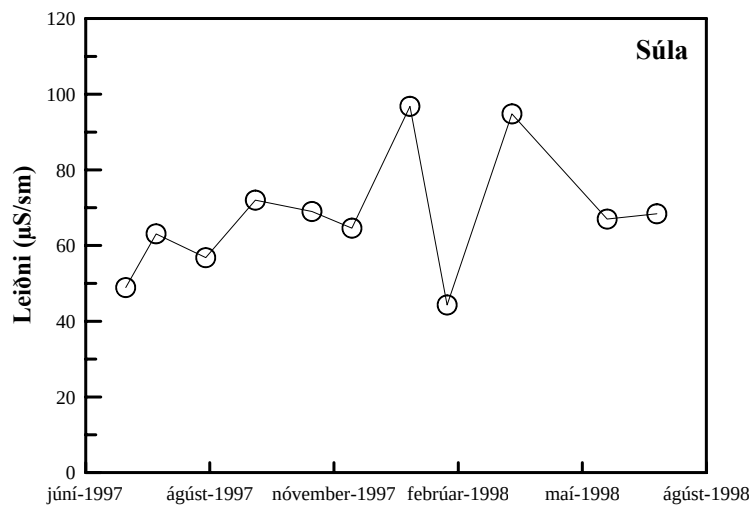
Dags Númer	01.07.1997 19970508	22.07.1997 19970519	29.07.1997 19970524	27.08.1997 19970539	02.10.1997 19970551	12.11.1997 19970560	20.12.1997 19970570	23.01.1998 19980105	19.02.1998 19980114	07.04.1998 19980125	06.05.1998 19980129	14.06.1998 19980143	20.07.1998 19980154
Rennsli (m ³ /s)	68	129	128	181	103	34,2	64,8	58,4	42	25,5	41,7	37,6	72,5
Leiðni (µS/sm)	92,7	84,6	85,1	242	160,5	121,4	97,7	114,5	96,8	113,5	98	112	102,3
Hiti (°C)	10,9	8,9	9,6	6,5	1,5	0	3,1	0	0	3,3	-	14,1	10,8
pH/pH hiti (°C)	7,78/23	7,82/22	7,80/23	8,21/22	8,01/22	7,73/21	7,67/20	7,74/22	7,64/21	7,68/24	7,73/22	7,73/26	7,85/25
Kolsýra (CO ₂)	26,2	25,2	26,2	100,5	57,1	33,6	27,1	30,9	27,1	31,2	26,3	30,2	30,8
Brennist.vet.(H ₂ S)	<0,03	-	-	-	<0,03	-	-	-	-	-	-	<0,03	<0,03
Bór (B)	0,03	0,03	<0,03	0,05	0,05	0,04	0,08	0,05	0,04	0,03	0,11	<0,03	<0,03
Kísill (SiO ₂)	16,60	10,63	10,00	22,90	19,00	17,10	15,00	16,70	14,30	15,20	12,90	15,60	11,50
Uppleyst efni	54	54	66	160	83	76	59	81	61	73	54	44	32
δ ² H (‰ SMOW)	-73,9	-76,5	-76,5	-82,9	-81,6	-71,8	-70,0	-72,3	-72,2	-72,2	-	-73,2	-78,5
δO ¹⁸ (‰ SMOW)	-10,82	-11,18	-11,02	-11,98	-11,61	-10,38	-10,06	-10,26	-10,39	-10,23	-10,34	-10,38	-11,17
¹⁴ C age BP	2190±60	-	-	-	8030±70	-	-	-	1624±45	-	-	-1542±35	2770±55
Natríum (Na)	7,85	5,78	6,05	11,60	10,20	9,40	8,30	9,90	8,70	9,90	7,80	9,40	6,70
Kalíum (K)	0,46	0,39	0,44	0,77	0,57	0,46	0,43	0,48	0,52	0,54	0,47	0,60	0,46
Magnesium (Mg)	2,24	1,95	1,92	5,04	3,66	2,95	2,31	2,77	2,42	2,86	2,25	2,62	2,39
Kalsíum (Ca)	6,94	7,52	7,51	31,10	16,70	9,26	7,11	7,86	6,64	7,57	6,00	6,94	8,72
Strontíum (Sr)	0,090	0,009	0,009	0,037	0,020	0,012	0,011	0,011	0,010	0,011	0,009	0,012	0,011
Flúor (F)	0,10	0,10	0,10	0,17	0,13	0,16	0,13	0,17	0,14	0,17	0,14	0,16	0,10
Klóríð (Cl)	3,31	2,37	2,45	2,87	4,15	4,09	3,84	4,92	4,64	4,84	4,07	5,14	2,63
Brómíð (Br)	0,012	0,009	0,076	0,008	0,012	0,014	0,018	0,017	0,016	0,017	0,015	0,013	0,008
Nítrít (NO ₂)	<0,002	0,003	0,006	<0,002	0,004	0,005	0,006	0,006	0,004	0,003	0,003	0,003	0,003
Nítrat (NO ₃)	0,068	0,027	0,073	0,073	0,071	0,116	0,188	0,300	0,162	0,136	0,043	0,028	0,066
Ammoníum (NH ₄)	0,009	0,016	0,020	0,007	0,028	<0,004	<0,004	0,015	<0,004	<0,004	<0,004	0,005	0,004
Fosfat (PO ₄)	0,032	0,044	0,494	0,082	0,245	0,086	0,068	0,153	0,064	0,095	0,071	0,049	0,049
Súlfat (SO ₄)	9,04	7,42	6,99	7,90	10,60	12,2	9,25	11,50	9,51	11,26	8,65	11,40	8,15
Ál (Al)	0,018	0,016	0,027	0,0035	0,037	0,044	0,034	0,011	0,022	0,022	0,039	0,047	0,018
Krómr (Cr)	0,0001	<0,0001	<0,0001	-	<0,0001	-	-	-	0,0003	-	-	0,0004	-
Mangan (Mn)	0,0014	0,0032	0,0036	0,1380	0,0247	0,0044	0,0040	0,0029	0,0021	0,0020	0,0018	0,0020	0,0028
Járn (Fe)	0,0158	0,0049	0,020	0,0062	0,0188	0,026	0,042	0,016	0,032	0,034	0,060	0,081	0,0461
Kopar (Cu)	0,0016	0,0002	0,0012	-	0,001	-	-	-	0,0005	-	-	0,0008	-
Sink (Zn)	0,0007	0,0011	0,0022	-	0,0019	-	-	-	0,0019	-	-	0,0025	-
Arsen (As)	0,0001	<0,0001	0,0001	-	0,0001	-	-	-	0,0001	-	-	0,0001	-
Kadmíum (Cd)	<0,00005	<0,00005	<0,00005	-	<0,00005	-	-	-	<0,00005	-	-	<0,00005	-
Kvikasilfur (Hg)	<0,000005	-	0,000016	-	0,000043	-	-	-	<0,000005	-	-	<0,000005	-
Blý (Pb)	<0,0002	<0,0002	<0,0002	0,0002	0,0003	-	-	-	<0,0002	-	-	<0,0002	-

Tafla 12: Niðurstöður efnagreininga á sýnum úr Leirá (mg/L).

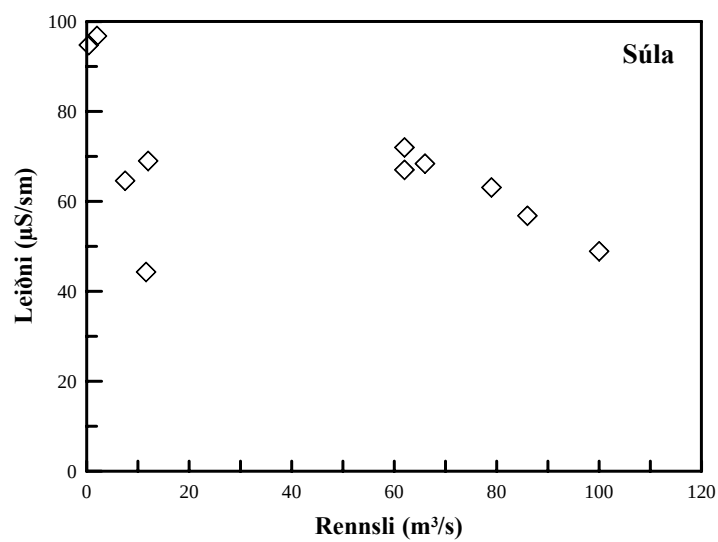
Dags Númer	01.07.1997 19970509	23.07.1997 19970520	28.08.1997 19970541	02.10.1997 19970552	13.11.1997 19970561	20.12.1997 19970569	23.01.1998 19980106	19.02.1998 19980115	05.05.1998 19980128	14.06.1998 19980144	20.07.1998 19980155
Rennsli (m ³ /s)	34	49	58	30	6,5	30	4,5	6,6	4	19,5	23
Leiðni (µS/sm)	86,2	93,9	74,8	132,3	174,6	103	171,6	131	146	70,0	95,4
Hiti (°C)	5,5	3,4	4,0	1,1	0	0,7	0,3	0,2	7,5	10,0	8,8
pH/pH hiti (°C)	7,63/23	7,47/21	7,60/-	7,68/22	7,85/22	7,46/18	7,76/22	7,70/22	7,93/20	7,64/26	7,66/25
Kolsýra (CO ₂)	29,7	34,1	27,0	48,3	52,3	32,9	58,7	41,7	49,8	24,5	35,8
Brennist.vet.(H ₂ S)	<0,03	-	-	<0,03	-	-	-	-	-	<0,03	<0,03
Bór (B)	0,03	<0,03	<0,03	0,04	0,04	0,10	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Kisill (SiO ₂)	16,30	10,89	10,60	16,90	21,80	12,20	20,80	15,10	14,10	7,70	10,40
Uppleyst efni	45	37	53	84	102	57	29	74	83	-	38
δ ² H (‰ SMOW)	-67,4	-61,6	-65,7	-70,2	-68,6	-65,0	-69,8	-69,9	-	-64,3	-64,8
δO ¹⁸ (‰ SMOW)	-10,09	-9,28	-9,84	-10,45	-9,98	-9,60	-10,07	-10,23	-9,85	-9,37	-9,50
¹⁴ C age BP	13420±110	-	-	14800±140	-	-	-	12770±130	-	10930±140	12080±90
Natríum (Na)	6,11	7,54	5,36	10,60	11,10	7,00	11,20	9,40	8,70	4,50	5,40
Kalíum (K)	0,72	0,75	0,66	1,16	1,20	0,77	1,16	1,02	1,02	0,61	0,73
Magnesium (Mg)	2,90	2,74	2,31	3,92	6,23	3,50	6,28	4,49	4,87	2,19	3,48
Kalsíum (Ca)	6,48	6,97	5,45	9,83	14,20	7,63	13,70	9,52	10,20	4,70	7,14
Strontíum (Sr)	0,017	0,015	0,015	0,025	0,041	0,022	0,041	0,028	0,030	0,014	0,021
Flúor (F)	0,15	0,29	0,20	0,37	0,34	0,22	0,33	0,30	0,27	0,16	0,19
Klóríð (Cl)	3,37	2,71	2,15	3,88	4,83	5,41	8,72	8,50	6,50	7,39	2,46
Brómíð (Br)	0,013	0,011	0,009	0,014	0,017	0,021	0,030	0,030	0,023	0,007	0,007
Nítrít (NO ₂)	<0,002	0,004	<0,002	<0,002	0,007	0,007	0,005	0,004	0,003	0,002	0,003
Nítrat (NO ₃)	<0,009	0,056	0,059	0,126	0,144	0,323	0,261	0,187	0,060	0,399	0,069
Ammoníum (NH ₄)	0,016	0,023	0,112	0,027	<0,004	0,008	0,016	<0,004	<0,004	<0,004	0,004
Fosfat (PO ₄)	0,035	<0,01	0,016	0,015	0,037	0,027	0,080	0,022	0,025	0,020	0,009
Súlfat (SO ₄)	3,10	3,25	2,79	6,12	8,55	4,34	8,25	5,94	4,44	2,21	2,83
Ál (Al)	0,023	0,024	0,022	0,018	0,026	0,029	0,010	0,013	0,016	0,034	0,011
Krómi (Cr)	<0,0001	<0,0001	-	<0,0001	-	-	-	0,0002	-	0,0004	-
Mangan (Mn)	0,0570	0,1130	0,0570	0,1330	0,0600	0,0560	0,0350	0,0345	0,0470	0,0299	0,0530
Járn (Fe)	0,034	0,085	0,0085	0,0129	0,0126	0,155	0,0122	0,030	0,163	0,015	0,0371
Kopar (Cu)	0,0003	0,0002	-	0,0001	-	-	-	0,0013	-	0,0003	-
Sink (Zn)	0,0011	0,0011	-	0,0018	-	-	-	0,0007	-	0,0011	-
Arsen (As)	<0,0001	<0,0001	-	<0,0001	-	-	-	<0,0001	-	<0,0001	-
Kadmíum (Cd)	<0,00005	<0,00005	-	<0,00005	-	-	-	<0,00005	-	<0,00005	-
Kvikasilfur (Hg)	<0,000005	-	-	-	-	-	-	<0,000005	-	<0,000005	-
Blý (Pb)	0,0003	<0,0002	<0,0002	<0,0002	-	-	-	0,0002	-	<0,0002	-

Tafla 13: Niðurstöður efnagreininga á sýnum úr Múlavísl (mg/L).

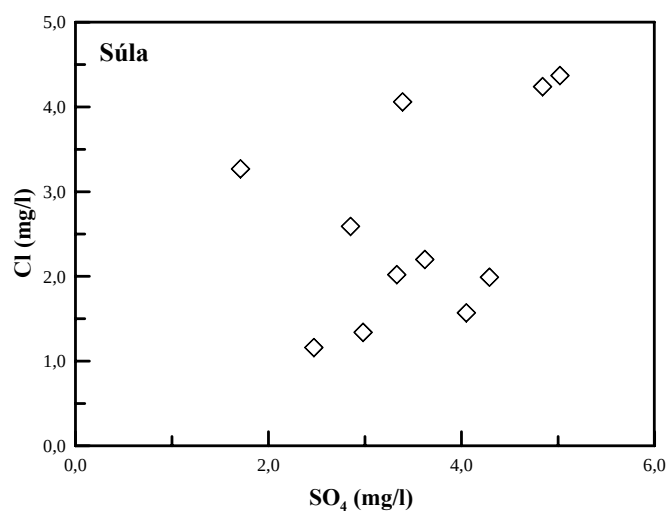
Dags	01.07.1997	23.07.1997	28.08.1997	03.10.1997	13.11.1997	20.12.1997	23.01.1998	19.02.1998	07.04.1998	05.05.1998	14.06.1998	20.07.1998
Númer	19970510	19970521	19970542	19970553	19970562	19970571	19980107	19980116	19980126	19980127	19980145	19980156
Rennsli (m ³ /s)	51	64	95	37	19	34	2,5	8,9	5	8	13,7	44,5
Leiðni (µS/sm)	124	104,5	136,7	164,7	256	121,7	164,4	104,6	301	166	131	117,9
Hiti (°C)	4,7	2,7	2,6	0,6	0	0,6	0,7	2,0	-	7,4	9,4	7,8
pH/pH hiti (°C)	7,32/22	7,38/21	7,25/-	7,77/22	7,56/22	7,62/21	7,80/22	7,63/22	7,64/24	7,96/16	7,22/26	7,57/26
Kolsýra (CO ₂)	40,0	33,2	51,9	62,9	96,4	36,1	51,8	30,0	117,8	51,4	48,1	41,0
Brennist.vet.(H ₂ S)	<0,03	-	-	<0,03	-	-	-	-	-	-	<0,03	<0,03
Bór (B)	0,05	<0,03	0,03	0,05	0,13	0,07	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	0,08	0,03
Kísill (SiO ₂)	28,40	13,31	17,90	21,30	41,70	12,20	18,40	13,10	38,10	14,40	17,30	11,10
Uppleyst efni	53	49	94	107	169	66	51	29	143	42	55	18
δ ² H (‰ SMOW)	-66,3	-67,9	-70,5	-71,6	-72,7	-63,3	-63,5	-63,1	-60,7	-	-62,7	-68,6
δO ¹⁸ (‰ SMOW)	-10,09	-10,17	-10,49	-10,38	-10,32	-9,45	-9,39	-9,16	-9,98	-9,38	-9,28	-10,05
¹⁴ C age BP	18570±200	-	-	17160±180	-	-	-	5960±50	-	-	16900±160	13790±130
Natríum (Na)	10,80	8,99	12,70	14,40	24,40	9,40	12,80	8,70	26,50	11,50	10,90	9,70
Kalíum (K)	1,21	1,00	1,22	1,39	2,86	0,98	1,08	0,81	2,70	1,18	1,34	0,93
Magnesíum (Mg)	2,21	1,73	2,17	2,59	4,24	2,37	3,64	2,44	4,93	3,62	2,32	2,04
Kalsíum (Ca)	10,60	8,65	11,60	15,20	22,10	10,20	14,50	8,13	25,60	12,90	9,66	9,51
Strontíum (Sr)	0,033	0,025	0,032	0,042	0,058	0,035	0,041	0,026	0,074	0,042	0,034	0,026
Flúor (F)	0,17	0,21	0,30	0,31	0,41	0,21	0,25	0,18	0,41	0,28	0,20	0,25
Klóríð (Cl)	6,03	4,75	3,10	4,97	5,83	6,87	8,89	8,33	8,92	7,36	9,88	4,30
Brómið (Br)	0,022	0,018	0,012	0,018	0,020	0,026	0,030	0,028	0,027	0,028	0,013	0,015
Nítrít (NO ₂)	<0,002	0,008	<0,002	<0,002	0,007	0,007	0,004	0,003	0,011	0,003	0,004	0,004
Nítrat (NO ₃)	0,016	0,070	0,069	0,024	0,069	0,316	0,120	0,146	0,131	0,143	0,038	0,115
Ammoníum (NH ₄)	0,005	0,018	0,009	0,027	<0,004	0,012	0,012	<0,004	-	<0,004	0,006	0,008
Fosfat (PO ₄)	0,032	<0,01	<0,01	0,016	0,030	0,061	0,128	0,084	0,017	0,041	0,020	0,019
Súlfat (SO ₄)	5,78	4,81	4,67	6,70	10,50	6,41	10,60	5,19	13,20	9,05	6,99	5,01
Ál (Al)	0,115	0,035	0,022	0,022	0,104	0,077	0,008	0,008	0,021	0,012	0,015	0,021
Króm (Cr)	<0,0001	<0,0001	-	<0,0001	-	-	-	0,0002	-	-	0,0002	-
Mangan (Mn)	0,0930	0,0750	0,1440	0,1310	0,2390	0,0510	0,0145	0,0087	0,2570	0,0910	0,1050	0,0700
Járn (Fe)	0,172	0,054	0,147	0,0079	0,160	0,050	0,0134	0,0122	0,240	0,0397	0,205	0,0282
Kopar (Cu)	0,0003	0,0003	-	0,0001	-	-	-	0,0011	-	-	0,0033	-
Sink (Zn)	0,0013	0,0011	-	0,0010	-	-	-	0,0164	-	-	0,0021	-
Arsen (As)	<0,0001	<0,0001	-	<0,0001	-	-	-	<0,0001	-	-	<0,0001	-
Kadmíum (Cd)	<0,00005	<0,00005	-	<0,00005	-	-	-	<0,00005	-	-	<0,00005	-
Kvikasilfur (Hg)	<0,000005	-	-	-	-	-	-	<0,000005	-	-	<0,000005	-
Blý (Pb)	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	-	-	-	0,0002	-	-	0,0003	-



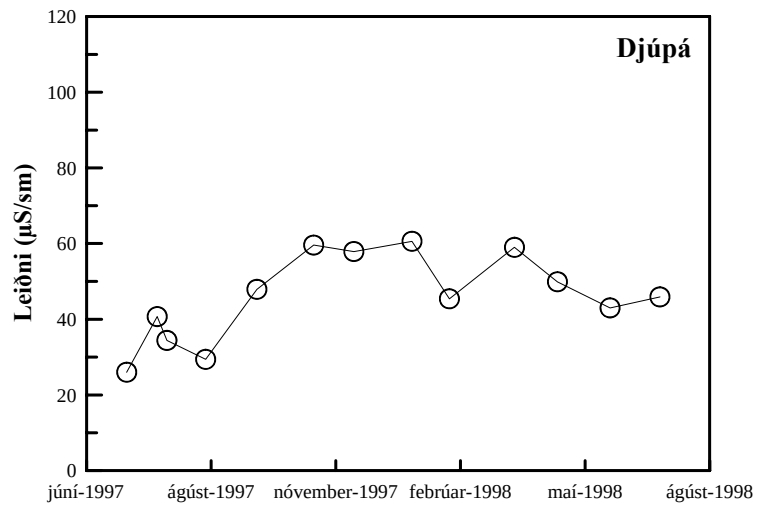
Mynd 17: Leiðni vatns í Súlu með tíma.



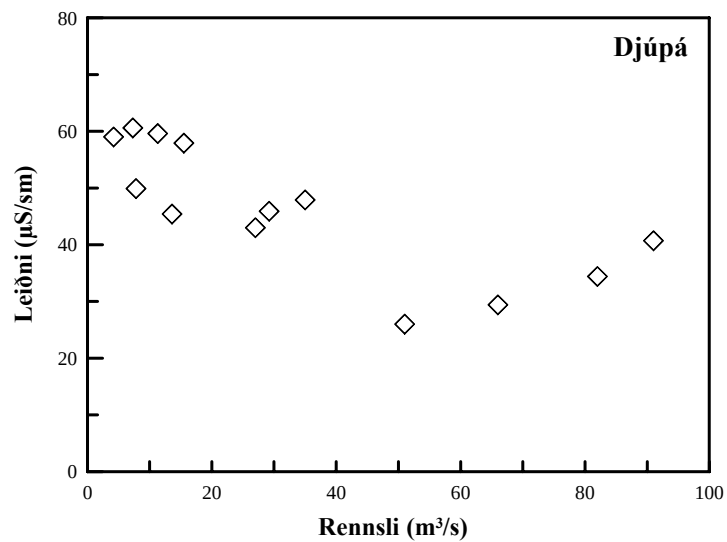
Mynd 18: Samband leiðni og rennslis í Súlu.



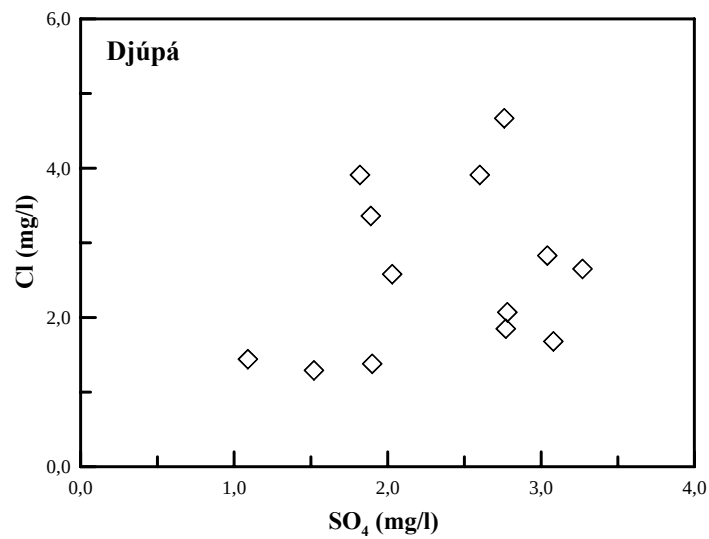
Mynd 19: Styrkur klóríðs og sulfats í Súlu.



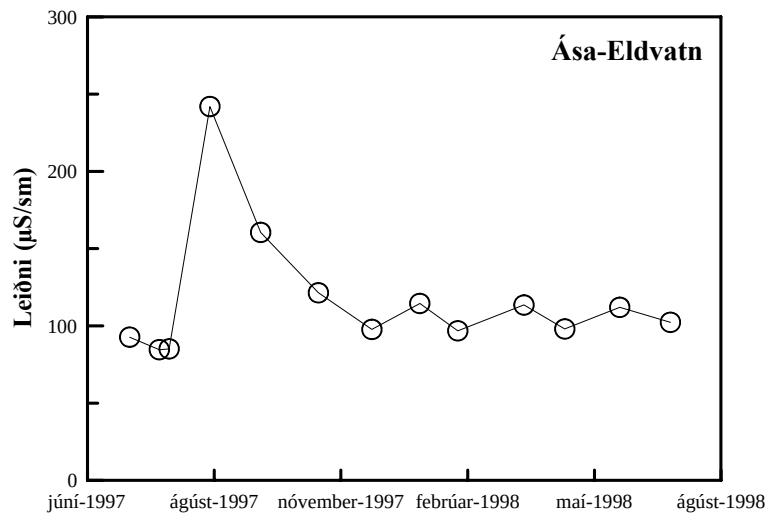
Mynd 20: Leiðni vatns í Djúpá með tíma.



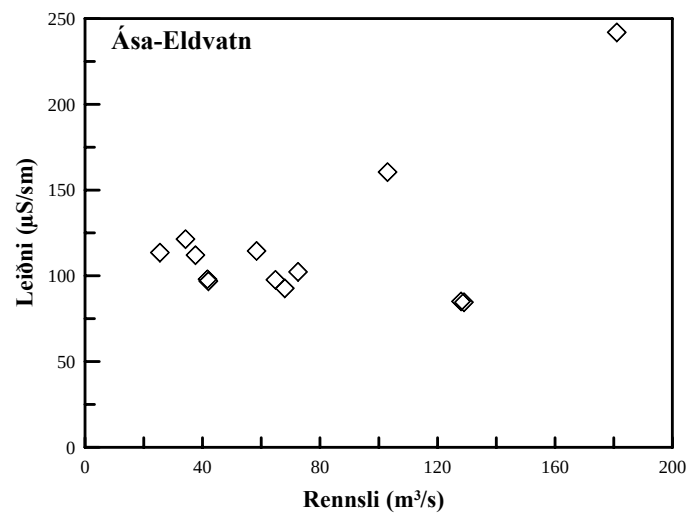
Mynd 21: Samband leiðni og rennslis í Djúpá.



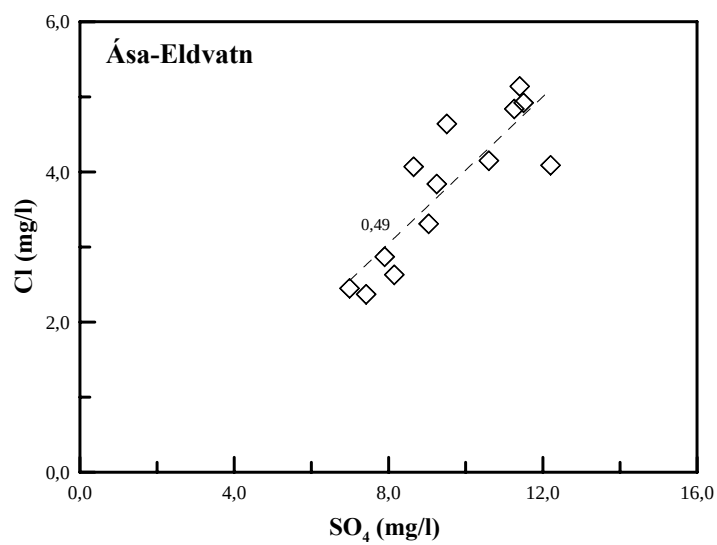
Mynd 22: Styrkur klóríðs og súlfats í Djúpá.



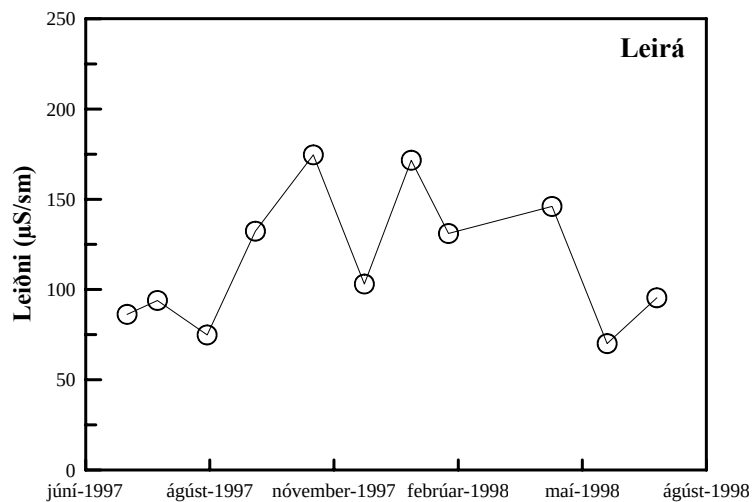
Mynd 23: Leiðni vatns í Ása-Eldvatni með tíma.



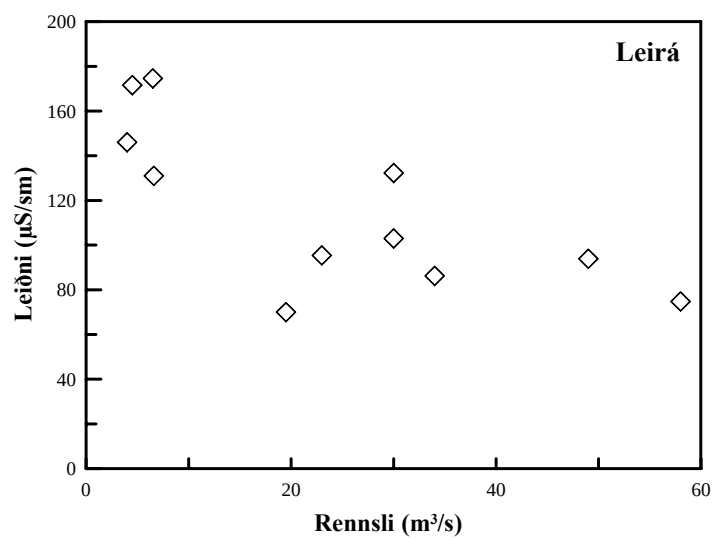
Mynd 24: Samband leiðni og rennslis í Ása-Eldvatni.



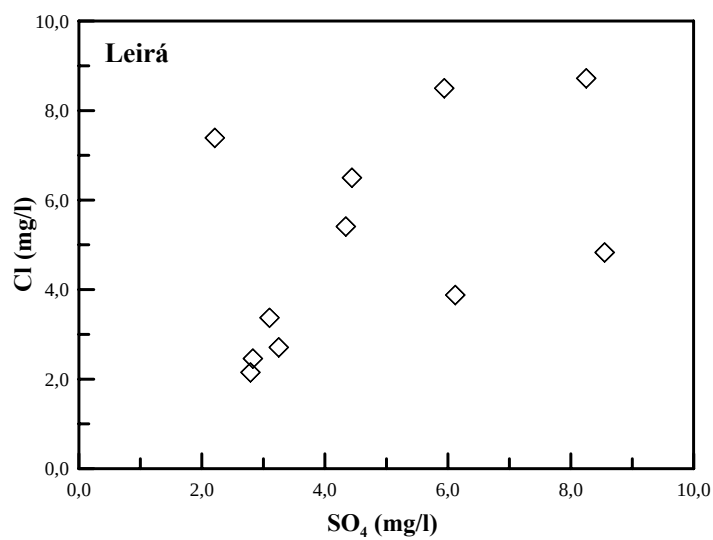
Mynd 25: Styrkur klóríðs og súlfats í Ása-Eldvatni.



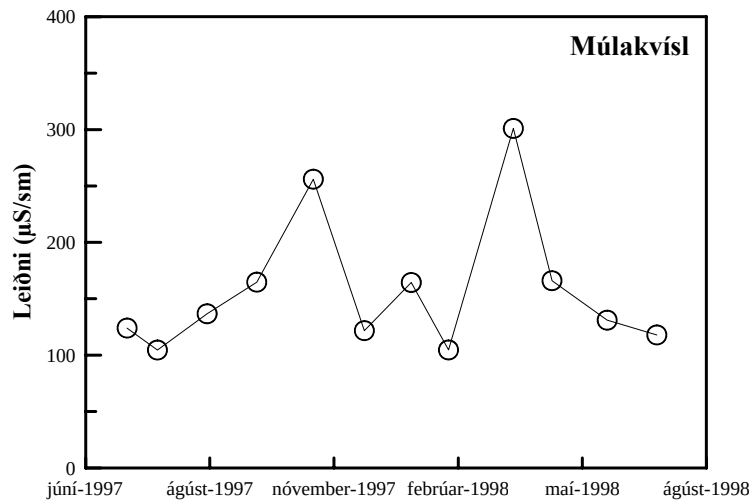
Mynd 26: Leiðni vatns í Leirá með tíma.



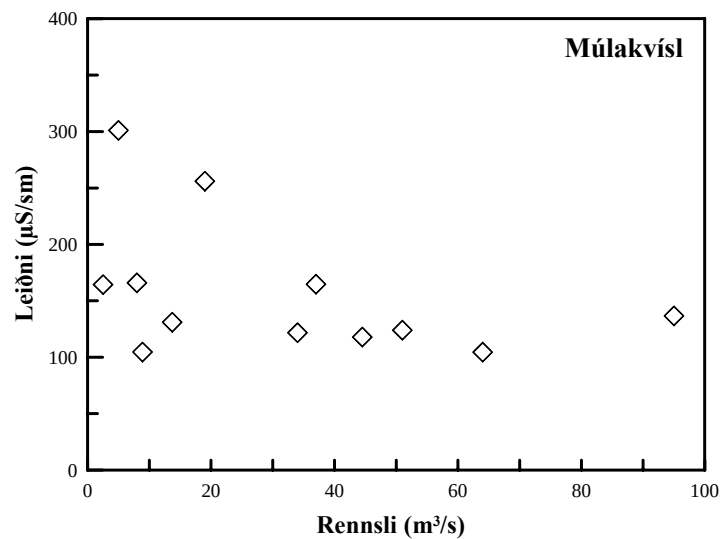
Mynd 27: Samband leiðni og rennslis í Leirá.



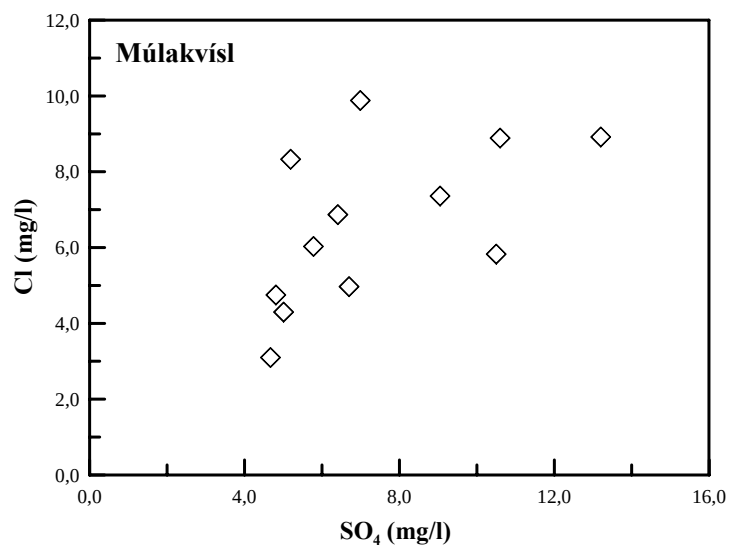
Mynd 28: Styrkur klóríðs og súlfats í Leirá.



Mynd 29: Leiðni vatns í Múlakvísl með tíma.



Mynd 30: Samband leiðni og rennslis í Múlakvísl.



Mynd 31: Styrkur klóríðs og súlfats í Múlakvísl.

2.2.3 Mælingar á kolefnissamsætum

Kolefni 14 og 13 var mælt í nær fimmtíu sýnum, eins og fjallað hefur verið um hér að framan. Einungis sýndaraldur frá ^{14}C mælingum er sýndur í efnagreiningartöflunum, þar sem ekki var unnt að koma við fleiri mælingum á síðu og eru því nákvæmari niðurstöður sýndar í töflu 14. Í töflunni eru sýndar niðurstöður á mælingum á ^{14}C og staðalfrávik mælinga, ^{13}C , ásamt sýndaraldi frá ^{14}C mælingum. Síðasti dálkurinn í töflunni er greiningarnúmer sýnanna frá rannsóknarstofunni í Árósum. Einnig er í töflunni sýndar til samanburðar mælingar á vetnis og súrefnissamsætuhlutföllum og tvívetnisaukinn (d ‰).

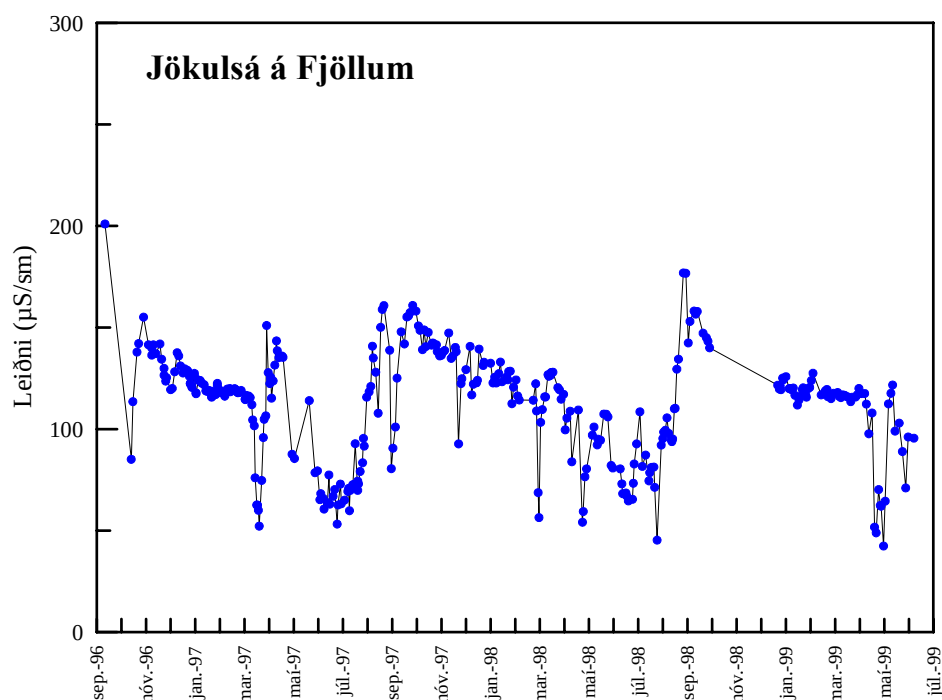
Tafla 14: Niðurstöður kolefnissamsætumælinga og vetnis og súrefnissamsætumhlutföll í sömu sýnum. Frh. á næstu bls.

Sýni	Dagsetning	Staður	$\delta^{18}\text{O}\%$	$\delta^2\text{H}\%$	d‰	^{14}C age BP	st. dev	^{14}C cont.	st.dev	^{13}C	AAR-no
97-0500	26-06-1997	Skjálfandafljót	-13,19	-94,7	10,8	310	±44	96,21	±0,53	-1,42	7643
97-0546	27-09-1997	Skjálfandafljót	-12,67	-92,7	8,7	-321	±50	104,07	±0,65	-0,08	7397
98-118	06-03-1998	Skjálfandafljót	-13,23	-96,6	9,2	1803	±50	79,89	±0,5	-4,42	7482
98-135	10-06-1998	Skjálfandafljót	-12,81	-88,6	13,9	353	±46	95,7	±0,55	-2,72	7380
98-146	18-07-1998	Skjálfandafljót	-12,86	-93,5	9,4	485	±50	94,14	±0,61	-2,73	7488
97-0544	27-09-1997	Kreppa	-13,62	-98,6	10,4	-1077	±49	114,34	±0,7	-0,51	7395
98-138	10-06-1998	Kreppa	-13,61	-100,1	8,8	3955	±60	61,1	±0,47	-3,21	7390
98-149	18-07-1998	Kreppa	-13,82	-101,0	9,6	4195	±65	59,32	±0,47	-4,58	7484
97-0543	27-09-1997	Jökulsá v. Upptýppingar	-14,5	-105,4	10,6	15270	±130	14,94	±0,24	0,23	7393
98-137	10-06-1998	Jökulsá v. Upptýppinga	-14,05	-103,2	9,2	10190	±130	28,14	±0,47	-3,84	7388
98-148	18-07-1998	Jökulsá v. Upptýppinga	-14,22	-103,1	10,7	10890	±120	25,76	±0,38	-2,24	7483
97-0503	28-06-1997	Jökulsá v. Gríms	-13,55	-97,0	11,4	4725	±65	55,52	±0,46	-2,97	7642
97-0545	27-09-1997	Jökulsá v. Gríms	-13,74	-100,2	9,7	1410	±55	83,92	±0,57	-0,22	7396
98-147	18-07-1998	Jökulsá á Fjöllum	-13,74	-100,3	9,6	5255	±65	52	±0,44	-4,1	7632
97-0504	30-06-1997	Skeiðará	-12,14	-83,7	13,4	17530	±150	11,27	±0,21	-3,53	7634
98-110	18-02-1998	Skeiðará	-12,01	-86,0	10,1	29300	±550	2,61	±0,18	0,26	7268
98-139	13-06-1998	Skeiðará	-11,27	-72,5	17,7	17670	±180	11,09	±0,24	-2,52	7389
98-150	19-07-1998	Skeiðará	-11,72	-83,3	10,5	12410	±110	21,34	±0,28	-4,43	7641
97-0505	30-06-1997	Gígjukvísl	-11,76	-82,1	12,0	10240	±90	27,96	±0,32	-3,56	7633
97-0548	01-10-1997	Gígja	-10,99	-78,1	9,8	4835	±80	54,77	±0,53	-4,3	7382
98-111	18-02-1998	Gígja	-10,43	-72,6	10,8	6880	±90	42,48	±0,46	-3,72	7269
98-140	14-06-1998	Gígja	-11,43	-82,2	9,2	6850	±110	42,62	±0,57	-4,51	7386
98-151	19-07-1998	Gígja	-11,72	-81,6	12,2	4160	±70	59,58	±0,54	-5,92	7485
97-0506	30-06-1997	Súla	-10,73	-73,8	12,0	7630	±80	38,67	±0,38	-2,21	7637
97-0549	02-10-1997	Súla	-10,38	-72,5	10,5	5985	±70	47,48	±0,41	-1,7	7383
98-112	18-02-1998	Súla	-9,25	-64,6	9,4	1518	±45	82,78	±0,46	-3,88	7381
98-141	14-06-1998	Súla	-10,26	-73,5	8,6	4400	±70	57,84	±0,50	-4,27	7398
98-0152	20-07-1998	Súla	-10,43	-73,9	9,5	5025	±60	53,51	±0,41	-3,35	7644
97-0507	30-06-1997	Djúpá	-10,55	-71,5	12,9	-264	±44	103,34	±0,57	-1,39	7638
97-0550	02-10-1997	Djúpá	-10,57	-73,8	10,8	610	±50	92,67	±0,60	-2,42	7273
98-113	18-02-1998	Djúpá	-9,92	-69,0	10,4	-245	±50	103,09	±0,66	-1,92	7391
98-142	14-06-1998	Djúpá	-10,35	-73,4	9,4	-473	±49	106,06	±0,65	-1,37	7384
98-153	19-07-1998	Djúpá	-10,6	-74,7	10,1	975	±39	88,57	±0,44	-1,18	7655
97-0508	01-07-1997	Ásar-Eldvatn	-10,82	-73,9	12,7	2190	±60	76,12	±0,59	-2,71	7639
97-0551	02-10-1997	Ásar Eldvatn	-11,61	-81,6	11,3	8030	±70	36,81	±0,32	2	7274
98-114	19-02-1998	Ásar Eldvatn	-10,39	-72,2	10,9	1626	±45	81,68	±0,46	-3,49	7385
98-143	14-06-1998	Ása-Eldvatn	-10,38	-73,2	9,8	-1542	±35	121,15	±0,52	-1,67	7481

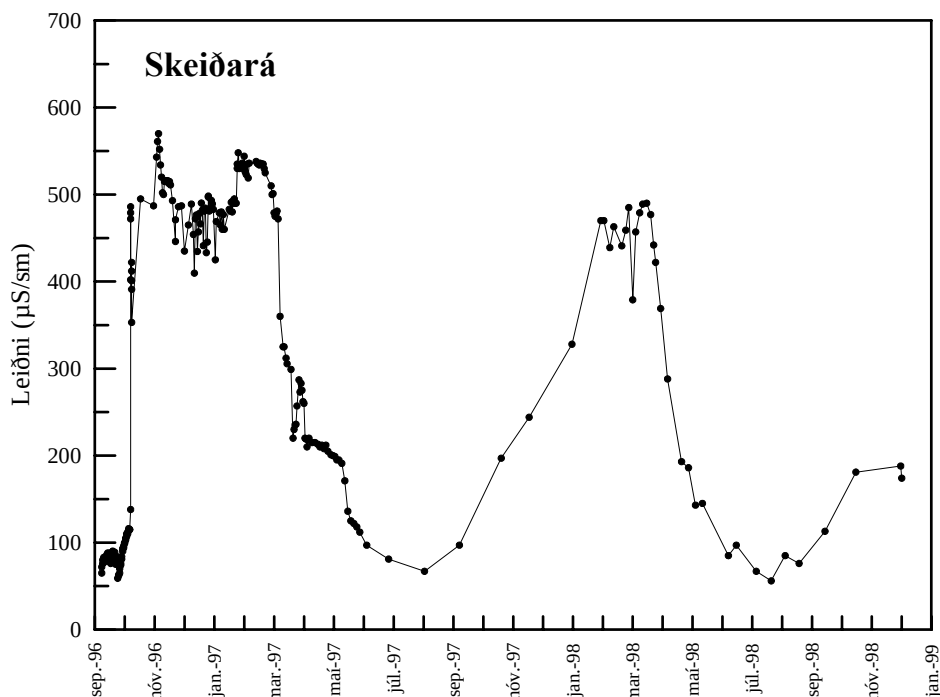
98-154	20-07-1998	Ása-Eldvatn	-11,17	-78,5	10,9	2770	±55	70,85	±0,49	-2,64	7486
97-0509	01-07-1997	Leirá	-10,09	-67,4	13,3	13420	±110	18,8	±0,26	2,29	7636
97-0552	02-10-1997	Leirá	-10,45	-70,2	13,4	14800	±140	15,84	±0,28	4,03	7379
98-115	19-02-1998	Leirá	-10,39	-72,2	10,9	12770	±130	20,4	±0,32	2,29	7276
98-144	14-06-1998	Leirá	-9,37	-64,3	10,7	10930	±140	25,65	±0,45	1,46	7387
98-155	20-07-1998	Leirá	-9,5	-64,8	11,2	12080	±90	22,24	±0,25	1,48	7656
97-0510	01-07-1997	Múlakvísl	-10,09	-66,3	14,4	18570	±200	9,91	±0,26	3,2	7640
97-0553	03-10-1997	Múlakvísl	-10,38	-71,8	11,2	17160	±180	11,81	±0,27	2,59	7275
98-116	19-02-1998	Múlakvísl	-10,23	-69,9	11,9	5960	±50	47,63	±0,31	-2,39	7378
98-145	14-06-1998	Múlakvísl	-9,28	-62,7	11,5	16900	±160	12,2	±0,24	2,35	7394
98-156	20-07-1998	Múlakvísl	-10,05	-68,6	11,8	13790	±130	17,96	±0,28	0,67	7487

2.2.4 Niðurstöður rafleiðnimælinga

Auk þeirra mælinga á rafleiðni sem birtar eru hér hefur leiðni verið mæld u.þ.b. tvisvar í viku í vatni Jökulsár við Grímsstaði þar til síritandi mælir tók við í maí 1999 og eru þær mælingar sýndar á mynd 32. Samhliða mælingunum var lesið á vatnshæðarmæli sem gefur samtímarennisli. Leiðni var mæld í Skeiðará frá því um mánuði fyrir hlaupið í nóvember 1996 og þar til að síritandi mælir tók við í desember 1998 nema þegar mælingar lögðust af í júní 1997 fram í mars 1998. Niðurstöður eru sýndar á mynd 33. Með slíkum síritandi mælingum fæst áreiðanlegri ákvörðun á viðvörunargildi þar sem rennslis- eða vatnshæðarmælingar eru gerðar samtímis. Hins vegar er nauðsynlegt að hafa upplýsingar um efnasamsetningu samhliða þeim til að geta túlkað hvaða þættir það eru sem ráða rafleiðninni í vatninu.



Mynd 32: Rafleiðni mæld í Jökulsá á Fjöllum, Grímsstöðum frá september 1996 til júní 1999.



Mynd 33: Rafleiðni mæld í Skeiðará september 1996 til desember 1998.

2.3 Vaktgildi

Frá mælingum á leiðni og samtímamælingum á rennsli voru valin viðvörunargildi miðað við rennsli. Jafnframt var athugað hvaða aðrir þættir væru mögulegir til vöktunar á eldsumbrotum og aukinni jarðhitavirkni.

Tafla 15 sýnir samantekin gögn um spönn leiðnigilda í ánum og hlutfall leiðni og rennslis. Þar koma fram viðvörunargildi fyrir þessa þætti í mismunandi ám. Í töflunni eru merkt gildi sem fram koma í jökulhlaupum eða við umbrot. Sýnd eru í aftasta dálki hámarksgildi sem alltaf mundu orsaka viðvörun, en síðan mundu lægri gildi orsaka viðvörun eftir því hversu hátt samtímarennslið mældist. Niðurstöðurnar af þessum hlutföllum voru notuð við forritun vöktunarmælanna eins og fram kemur síðar í skýrslunni.

Tafla 15: Spönn leiðnigilda í ánum.

Staður	Hámark leiðni	Hámark leiðni/rennsli	Lágmark leiðni	Lágmark leiðni/rennsli	Viðvörunargildi leiðni
Skjálfandafljót	90	3,5	42	0,4	100
Kreppa	86	4	41	0,2	90
Jökulsá/Uppt.	177	1,6	80	0,5	180
Jökulsá/Grímsst.	147	1,3	58	0,1	150
Skeiðará	510*	0,2	67	11,7	180
Gígja	100	15,7	33	0,9	100
Súla	97	8,6	44	0,5	100
Djúpá	61	14,1	26	0,5	70
Ása-Eldvatn	242*	4,5	85	0,7	130
Leirá	172	38,1	70	1,9	180
Múlakvísl	301	65,8	105	1,4	320

*gildi frá jökulhlaupum

2.3.1 Aðrir mögulegir vaktþættir

Þegar litið er til mögulegra þátta til að vakta eldsumbrot og aukna jarðhitavirkni koma einkum til greina efnin kvikasilfur og súlfíð. Bakgrunnsmælingarnar sýndu að í engu tilfelli hefur mælst kvikasilfur í marktækum styrk í árvatni við eðlilegar aðstæður. Þetta efni hefur hins vegar komið fram í árvatninu þegar eldsumbrot hafa átt sér stað (Axel Björnsson o.fl., 1999, Kristmannsdóttir et al., 1999). Jafnvel í þeim ám þar sem eru stöðug áhrif jarðhitavirkni sést ekki kvikasilfur og ekki þar sem þau sjást af og til. Því er vottur af kvikasilfri í árvatninu merki þess að eldsumbrot séu hafin og að bræðsluvatn þaðan renni í ána.

Súlfíð mælist í sumum ám þar sem bræðsluvatn frá jarðhitasvæðum berst í þær. Aukning á súlfíði gæti þannig bæði bent til aukinnar jarðhitavirkni og til eldvirkni. Líklegt er að við eldsumbrot yrði verulega meiri aukning á súlfíði en gæti orðið vegna breytinga á jarðhitavirkni. Jafnframt er líklegt að við eldsumbrot sjáist jafnframt önnur form brennisteinssambanda, eins og thíosúlfat.

3 SÍÐARI HLUTI VERKEFNIS—UPPSETNING OG REKSTUR TILRAUNASTÖÐVA OG ÞRÓUN SKYNJARA

3.1 Verkhættir

Eins og fram kom í inngangi fólst síðari hluti verkefnisins í að hanna og setja upp vöktunarkerfin, þróa hugbúnað tengd þeim og reka nokkrar stöðvar í tilraunaskyni. Áætlað hafði verið að reka tvær stöðvar um eins árs skeið en vegna umbrota á tímabilinu urðu þær mun fleiri. Jafnframt átti að skoða nema til sjálfvirkra mælingar viðvörunargilda fyrir kvikasilfur og súlfíð og gera tilraunir með að safna gassýnum úr vatninu til sjálfvirkrar mælingar.

3.2 Tilraunarekstur stöðva

Til hafði staðið að setja fyrst upp stöðvar í Jökulsá á Fjöllum og Skaftá en vegna umbrotanna í Vatnajökli riðlaðist sú áætlun og í kjölfar goss í Grímsvötnum í desember 1998 var sett upp stöð í Skeiðará með sérstökum stuðningi frá Vegagerðinni. Sumarið 1999 voru svo reistar stöðvar í Skaftá við Sveinstind og í Jökulsá á Fjöllum við Grímsstaði. Þá hefur ríkisstjórnin kostað uppsetningu og rekstur nokkurra stöðva í vatnsföllum kringum Mýrdals- og Eyjafjallajökul vegna jarðhræringa þar.

Nú þegar verkefninu er lokið samanstendur efnavöktunarkerfið af alls tíu mælum, sem vakta afrennsli frá norðanverðum Vatnajökli um Jökulsá á Fjöllum við Upptýppinga og Grímsstaði, útrennsli úr Grímsvötnum um Skeiðará, útrennsli úr Skaftárkötlum um Skaftá við Sveinstind, afrennsli Mýrdalsjökuls um Hólmsá, Skálm, Múlakvísl, Jökulsá á Sólheimasandi og Markarfljót auk afrennslis Eyjafjallajökuls um Lónið við Gígjökul. Á öllum þessum stöðum er mæld vatnshæð, vatnshiti og rafleiðni árvatnsins. Stöðvarnar eru allar í farsímasambandi og forritaðar þannig, að ef vatnshæð eða leiðni fara yfir valin viðmiðunarmörk gera þær aðvart með upphringingu. Í símatengda mælakerfinu eru að auki reknar sextán stöðvar, sem mæla vatnshæð og ýmsa veðurþætti.

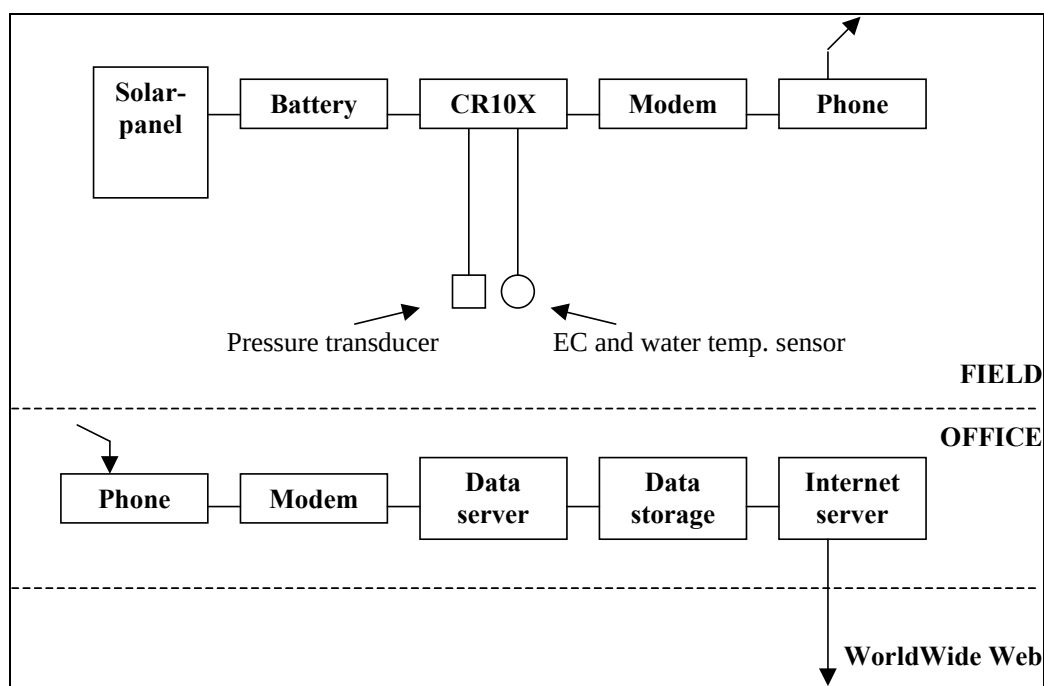
Sérstakt tölvukerfi er rekið á skrifstofu Vatnamælinga Orkustofnunar í Reykjavík sem sér um að sækja gögn í stöðvarnar, framkvæma fyrstu meðhöndlun gagna auk framsetningar þeirra á formi línurita, sem skoða má innanhúss eða á vefnum. Að baki þessum aðgerðum liggur LabView hugbúnaður, forritaður á Verkfræðistofunni Vista.

3.3 Mikilvægustu hlutar vöktunarmæla

Grunneining hvernar mælistöðvar (mynd 34) er stafrænt skráningartæki frá Campbell. Skráningartækið samanstendur af tengibretti og lítilli tölvu með nákvæmum mælibrúm. Í upphafi er tölvunni sent forrit þar sem tilgreint er, hvað á að mæla, hvernig geyma eigi gögnin í minni stöðvarinnar auk þess sem skildgreind eru aðvörunargildi fyrir vatnshæð og leiðni. Fari önnur hvor stærðin yfir valin aðvörunargildi gerir stöðin aðvart með því að hringja í vakt síma Neyðarlínunnar.

Vatnshæð er mæld með þrýstiskynjurum frá Druck. Algengt mælivið eru 10 psi g, sem svarar til 7 m vatns. Í skynjaranum er viðnámsbrú sem verður fyrir þrýstingi vatnsins um málmþynnu og breytir við það mótstöðu sinni (strain gauge). Mælingin er framkvæmd á þann hátt, að sett er föst spenna yfir brúna og mældur mættismunur milli enda hennar en stærð hans er í réttu hlutfalli við vatnshæðina.

Rafleiðni árvatnsins er mæld með sérstökum skynjara, sem framleiddur er fyrir Campbell. Í skynjaranum er hitanemi auk þriggja rafskauta úr ryðfríu stáli, en þau eru í snertingu við vatnið. Mælt er rafviðnám vatnsins milli skautanna og vatnshitinn notaður til að reikna leiðréttu leiðni miðað við 25°C. Oftast er leiðninemanum komið fyrir í plaströri nálægt botni árinna en í ám með miklum aurburði er nemanum komið fyrir í flotholti, sem flýtur á yfirborði árinna.



Mynd 34: Grunneiningar sjálfvirku stöðvanna.

Samið hefur verið við Neyðarlínuna um að taka á móti upphringingum frá sjálfvirku stöðvunum. Við upphringingu opnast “mál” hjá Neyðarlínunni og er fyrsta viðbragð að hringja í einn af 11 vaktmönnum Vatnamælinga. Vaktmaður byrjar síðan á því að hringja til baka í stöðina, sækja gögn og færa viðmiðunargildi. Þá skal tekin ákvörðun um, hvert fjögurra staðlaðra skilaboða skal komið til Neyðarlínunnar en þau eru: 1) upphringingunni olli hættulaus atburður og máli er lokið, 2) vaktmaður þarf meiri tíma til að skoða gögn, máli er haldið opnu og Almannavarnir látar vita, 3) atburðurinn er talinn getað valdið hættu, haft er samband við Almannavarnir, Veðurstofuna og þrjá vatnamælingamenn til viðbótar, 4) vekja skal alla vaktmenn Vatnamælinga til aðgerða.

3.4 Frekari þróun vöktunarmælinga

Lögð var sérstök áhersla á að koma upp vöktunarstöðvum til mælinga á vatnshæð, vatnshita og rafleiðni fremur en að þróa fleiri skynjaragerðir þar sem svo virðist sem rafleiðni og vatnshæð geti í flestum tilfellum gefið nægilega góða viðvörun. Auk þess var búnaður til þessara mælinga þegar fyrir hendi og nógur starfi að þróa uppsetningu þeirra á tímum aukinnar virkni íslenskra jarðhitasvæða en hún kallaði á uppsetningu margra stöðva á stuttum tíma.

Eins og áætlað var í upphaflegri markmiðssetningu verkefnisins var þó reynt að finna eða þróa skynjara til mælinga á fleiri þáttum. Eftir að fyrri áfanga verkefnisins lauk var talið að einkum kæmi til greina að mæla brennisteinsvetni og jafnvel kvikasilfur. Leitað var margra leiða í þessum efnum en öll mælitæki sem fundust voru ætluð til uppsetningar á tilraunastofu og óljóst hvernig ætti að koma þeim fyrir í nágrenni við íslensk jökulvötn, sem hafa mjög breytilegt rennsli og þar af leiðandi vatnshæð og frjósa auk þess á vetrum. Þá komu upp hugmyndir um að flytja vatnið upp í mælaskýli sem jafnan eru við stöðvarnar. Ekki þótti þetta fýsilegur kostur enda krefst það mikillar orku að dæla sýnum upp og sú orka er ekki til staðar við mælaskýlin. Auk þess frys vatnið á leiðinni á vetrum. Af þessu leiddi að hætt var við þróun sjálfvirkra mælinga á kvikasilfri en reynt að finna lausnir til að mæla brennisteinsvetni.

3.5 Söfnun gasfasa

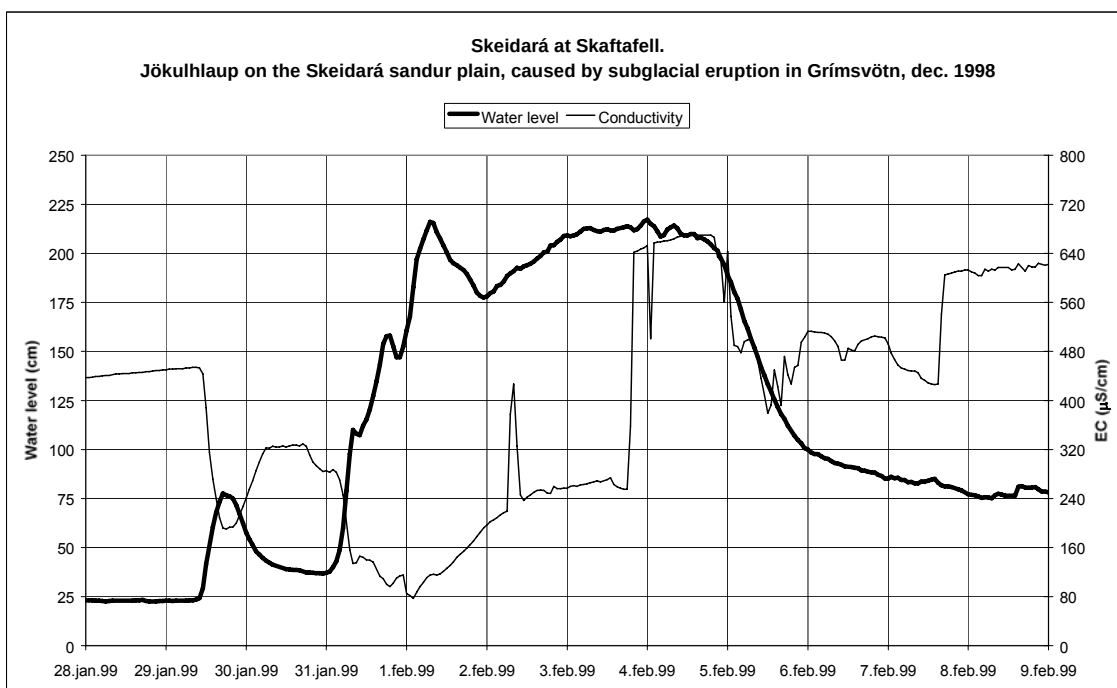
Í ljósi framangreindra annmarka við að flytja vatnssýni úr á í mælaskýli kom upp sú hugmynd að safna einungis gasfasa árvatnsins. Gassöfnunarbúnaðurinn var hugsaður þannig, að úti í ánni væri komið fyrir hylki með himnu, sem hleypti ekki vatni í gegnum sig heldur einungis gasfasa árinna. Við hylkið væru síðan tengdar tvær slöngur sem báðar leiddu upp í mælaskýlið. Við aðra slönguna tengist hylki með köfnunarefni er notað væri til að reka loftið áfram um hylkið og út um hina slönguna. Við enda opnu slöngunnar var síðan ráðgert að koma gasskynjaranum fyrir. Með þessu yrði tryggt að hlutþrýstingur brennisteinsvetnis og gastegunda annarra en köfnunarefnis yrði alltaf hverfandi inni í hylkinu miðað við í árvatninu umhverfis og því ættu gastegundirnar að leita inn í hylkið gegnum himnuna.

Gerð var tilraun með gassöfnunarbúnað af þessu tagi. Útbúið var lítið hylki og við það tengdar tvær slöngur, til samans um 20 metra langar. Köfnunarefni var leitt um kerfið og gasskynjara komið fyrir við opna enda kerfisins, langt frá vatnskeri. Í kerfið var látið renna hitaveituvatn úr krana (Grensásvegur, Reykjavík). Niðurstaða tilraunar var í stuttu máli sú, að skynjarinn sýndi svörun í fyrsta skipti sem hann var borinn við en eftir það mettaðist hann og

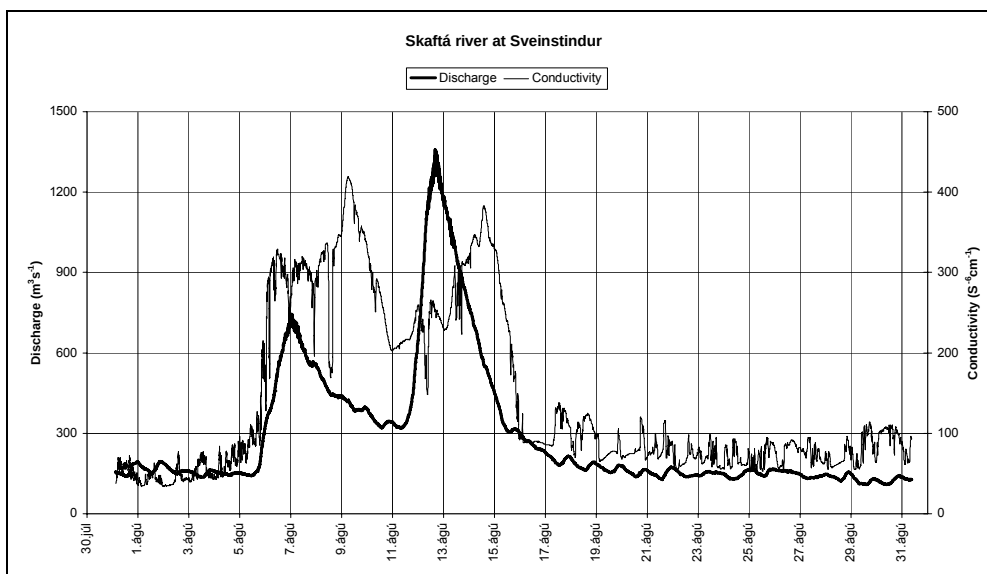
varð óvirkur nema ef blásið væri af honum milli tilrauna. Ekki var haldið lengra áfram með þessa tilraun vegna tímaskorts og takmarkaðra fjárveitinga.

3.6 Dæmi um vaktaða atburði

Auðvelt var að fylgjast með aðdraganda hlaupanna í Skeiðará í febrúar 1999 (mynd 35) og nóvember 1999 með fyrrgreindum vöktunarbúnaði. Þá var unnt að fylgjast með framrás hlaups úr Hnútlóni í Kverká, Kreppu og Jökulsá á Fjöllum en það varð um mánaðarmótin júlí–ágúst 1999. Í ljós kom að haustið 1999 urðu allmörg smáhlaup í Múlakvísl og Jökulsá á Sólheimasandi, sem sáust greinilega út frá leiðnimælingunni þó rennslisaukning væri óveruleg. Fullvíst er talið, að smáhlaupunum hafi valdið leki jarðhitavatns frá kötlum í barmi Kötluöskjunnar. Þá komu hlaup úr báðum Skaftáarkötlum með einungis viku millibili sumarið 2000 og var fylgst náið með þeim á mæli í Skaftá við Sveinstind (mynd 36).



Mynd 35: Mælingar á vatnshæð og leiðni við Skeiðará í aðdraganda hlaups eftir gosið í desember 1998 og meðan á hlaupinu stóð.



Mynd 36: Leiðnimælingar í Skaftá við Sveinstind sumarið 2000 þar sem fram koma hlaup úr báðum Skaftárkötlunum með einungis viku millibili.

4 NIÐURSTÖÐUR

Lokið er öllum skilgreindum verkþáttum innan verkefnisins “Þróun efnavöktunarkerfis til varnar mannvirkjum við eldsumbrot í jökli”. Verkefnið hefur skilað þeim árangri sem að var stefnt í upphafi og reyndar mun meiri þar sem það er nú komið í fullan rekstur og er umfang verkefnisins orðið mun meira en reiknað var með í upphaflegri skilgreiningu að næðist á líftíma verkefnisins.

Tæknilega hefur verkefnið gengið upp að mestu, en þó hefur ekki reynst mögulegt að koma á sjálfvirkri vöktun annarra þátta en rafleiðni. Vöktun á þeim þætti hefur hins vegar reynst skila mjög góðum árangri og fyrir þær ár sem kerfið er uppsett fyrir er talið að vöktunin uppfylli þær kröfur um öryggi sem stefnt var að.

Mjög æskilegt væri að leysa tæknilega það atriði að safna sýnum til mælinga á kvikasilfri með reglulegu millibili því það gæfi góða viðvörðun vegna eldsumbrota.

Á prófunartímanum urðu allnokkur umbrot og nýttist kerfið til vöktunar á þeim þótt það væri enn í tilraunarekstri. Það hefur því þegar náð að sanna efnahagslegt og þjóðhagslegt gildi sitt.

Aðgangur að upplýsingum um vöktunarkerfið er öllum aðgengilegur á alnetinu og er unnt að fylgjast þar með bæði augnabliksmælingum, mælingum yfir nokkurn tíma og eldri viðburðum.

Verkefnið hefur verið kynnt ítarlega bæði á innlendum og erlendum vettvangi og skrifaðar hafa verið um það fjöldi skýrsla, útdráttar og greina. Flutt hafa verið a.m.k. fimm erindi tengd verkefninu á opinberum ráðstefnum og níu veggspjöld kynnt, en auk þess hafa verið haldin um það kynningarerindi á ýmsum innlendum fundum og það hlotið allnokkra umfjöllun fjölmiðla.

HEIMILDIR

Axel Björnsson, H. Kristmannsdóttir, S. Pálsson and A. Sveinbjörnsdóttir (1999). Rennsli og efnainnihald í jökulám – Má greina þar áhrif eldgosa og jarðhita? Vorráðstefna Jarðfræðafélags Íslands, apríl 1999. Ágrip erinda og veggspjalda, 3–5.

Árni Snorrason, Hrefna Kristmannsdóttir, Oddur Sigurðsson, Páll Jónsson, Sigvaldi Árnason, Einar Hafliðason, Helgi Jóhannesson, Rögnvaldur Gunnarsson, Hreinn Haraldsson og Sigurður Reynir Gíslason (1997). *Hlaupið á Skeiðarársandi haustið 1996*. Jarðfræðafélag Íslands. Ráðstefna í Borgartúni 6, Reykjavík, 22. febrúar, 1997, bls. 19.

Bjarni Kristinsson, Snorri Zóphóníasson, Svanur Pálsson, Hrefna Kristmannsdóttir (1986). *Hlaup á Skeiðarársandi 1986*. Orkustofnun, OS-86080/VOD-23 B, 41 pp.

Björnsson, H. and Kristmannsdóttir, H. (1984). The Grímsvötn geothermal area, Vatnajökull, Iceland. *Jökull*, 34, 25–48.

Guðmundur Sigvaldason (1965). The Grímsvötn geothermal area. Chemical analysis of jökulhlaup water. *Jökull* 15, 125–128.

Steinþórsson, S. and Óskarsson, N. (1983). Chemical monitoring of jökulhlaupwater in Skeiðará and the geothermal system in Grímsvötn, Iceland. *Jökull* 33, 73–86.

Kristmannsdóttir, H., Björnsson, H. (1984). Subglacial geothermal and volcanic activity at Grímsvötn, Vatnajökull, Iceland, deduced from glacial water chemistry. *Abstract, EOS* 65, 1149.

Kristmannsdóttir, H., Björnsson, A., Pálsson, S. and Sveinbjörnsdóttir, Á. E. (1999). The impact of the 1996 subglacial volcanic eruption in Vatnajökull on the river Jökulsá á Fjöllum, North Iceland. *J. Volcanol., Geotherm. Res.* 93, 359–372.

Sigurður Reynir Gíslason, Hrefna Kristmannsdóttir, Steinunn Hauksdóttir, og Ingvi Gunnarsson (1997). Rannsóknir á efnasamsetningu árvatns á Skeiðarársandi eftir gosið í Vatnajökli 1966. Í Hreinn Haraldsson (Ritstj.), *Vatnajökull, gos og hlaup 1996*, pp. 139–171, Vegagerðin, Reykjavík.

Sigurjón Rist (1955). Skeiðarárhlaup 1954. *Jökull*, 5, 30–36.

Svanur Pálsson, Snorri Zóphóníasson, Oddur Sigurðsson, Hrefna Kristmannsdóttir og Hákon Aðalsteinsson (1992). *Skeiðarárhlaup og framhlaup Skeiðarárjökuls 1992*. Orkustofnun OS-92035/VOD-09 B, 41 pp.

Svanur Pálsson og Guðmundur H. Vigfússon (1996). *The database of sediment 1963–1995*. Orkustofnun, OS-96032/VOD-05 B, 270 pp.

Viðauki I

Skýrslur, greinar og prentuð ágrip í tengslum við verkefnið

Axel Björnsson, H. Kristmannsdóttir, S. Pálsson and A. Sveinbjörnsdóttir (1999). Rennsli og efnainnihald í jökulám – Má greina þar áhrif eldgosa og jarðhita? Vorráðstefna Jarðfræðafélags Íslands, apríl 1999. Ágrip erinda og veggspjalda, 3-5.

Árni Snorrason, Hrefna Kristmannsdóttir, Oddur Sigurðsson, Páll Jónsson, Sigvaldi Árnason, Einar Hafliðason, Helgi Jóhannesson, Rögnvaldur Gunnarsson, Hreinn Haraldsson og Sigurður Reynir Gíslason (1997). *Hlaupið á Skeiðarársandi haustið 1996*. Jarðfræðafélag Íslands. Ráðstefna í Borgartúni 6, Reykjavík, 22. febrúar, 1997, bls. 19.

Elefsen, S. Ó, Snorrason, Á., Haraldsson, H., Gíslason, S. R, Kristmannsdóttir, H. (2000). Real-time monitoring of glacial rivers in Iceland. Extremes of the extremes. Proc. Int. sym. Reykjavík. 2002. *IAHS Publ 271*, 199–204

Gíslason, S. R., Snorrason, Á, Kristmannsdóttir H. K., and Sveinbjörnsdóttir Á. E. (1998). The 1996 subglacial eruption and flood from the Vatnajökull glacier, Iceland: effects of volcanoes on the transient CO₂ storage in the ocean. Goldschmidt Conference Toulouse 1998. *Mineralogical Magazine*, 62A, 523–524.

Gíslason S. R., Snorrason Á, Kristmannsdóttir H. and Sveinbjörnsdóttir A. E. (1999). Effects of volcanoes on the transient CO₂ storage in the ocean: The 1996 subglacial eruption and flood from the Vatnajökull glacier, Iceland. Í Elíasson, J. (Ritstj.) *Northern Research Basins, Twelfth International Symposium and Workshop*, 94–97.

Gíslason, S. R., Kristmannsdóttir, H. K., Snorrason, Á., Sveinbjörnsdóttir, Á. E., and Ólafsson, J. (1998). The October 1996 eruption of the Vatnajökull glacier and the effect of volcanoes on the biology pulp of the oceans. Geochemistry of Crustal Fluids: Characterisation of Reactive Transport in Natural Systems. *European Research Conference, Aghia Pelaghia, Crete, Greece, 22–27 May 1998*, bls. 21.

Gíslason, S. R., Snorrason, Á., Kristmannsdóttir, H. and Sveinbjörnsdóttir, Á. E. (1998). The 1996 subglacial eruption and flood from the Vatnajökull glacier, Iceland: effects of volcanoes on the transient CO₂ storage in the ocean. *Mineralogical Magazine* 62 A, 523–524.

Hrefna Kristmannsdóttir (1999). *Bræðsluvatn frá Mýrdalsjökli*. Greinargerð Orkustofnunar Rannsóknarsviðs, HK-99/06, 11s.

Hrefna Kristmannsdóttir (1999). *Gangur verkefnisins “Þróun efnavöktunarkerfis til varnar mannvirkjum við eldsumbrot í jökli”*. Greinargerð Orkustofnunar Rannsóknarsviðs, HK-99/01, 13 s.

Hrefna Kristmannsdóttir, Árni Snorrason, Sigurður R. Gíslason, Hreinn Haraldsson, Ásgeir Gunnarsson, Steinunn Hauksdóttir og Sverrir Ó. Elefsen (2000). Þróun efnavöktunarkerfis til varnar mannvirkjum við eldsumbrot í jökli. I. Bakgrunnur. Febrúarráðstefna 2000. *Ágrip erinda og veggspjalda. Jarðfræðafélag Íslands*, 9–11.

Kristmannsdóttir, H., Snorrason, Á., Gíslason, S. R., Haraldsson, H., Gunnarsson, Á., Hauksdóttir S. and Elefsen, S. (2000). Geochemical warning for subglacial eruptions.

Background and history. Extremes of the Extremes. Proc. Int sym. Reykjavík. 2002. *IAHS Publ 271*, 231–236.

Kristmannsdóttir, H., Gíslason, S. R., Snorrason, Á., Haraldsson, H., Hauksdóttir, S. and Gunnarsson, Á. (2000). Seasonal changes in glacial water chemistry in Iceland. Extremes of the extremes. Proc. Int Sym. Reykjavík. 2002. *IAHS Publ 271*, 223–229.

Kristmannsdóttir, H., Snorrason, Á., Gíslason, S.R., Elefsen, S.Ó., Árnason, S., Haraldsson, H., Hauksdóttir, S. and Gunnarsson, Á. (2000). Flood warning system for subglacial eruptions. Útdráttur erindis á ráðstefnunni Extremes of the Extremes: International symposium on extraordinary floods, Reykjavík 17.–19. júlí.

Sigurður Reynir Gíslason, Ingvi Gunnarsson, Andri Stefánsson, Árný E. Sveinbjörnsdóttir, Hrefna Kristmannsdóttir, Árni Snorrason, Snorri Zophóníasson, Svanur Pálsson, og Stefán Benediktsson (1997). *Lekinn úr Grímsvötnum eftir Skeiðarárhlaupið 5.–6. nóvember, 1996*. Jarðfræðafélag Íslands. Ráðstefna í Borgartúni 6, Reykjavík, 22. febrúar, 1997, p. 32.

Sigurður Reynir Gíslason, Árný E. Sveinbjörnsdóttir, Hrefna Kristmannsdóttir, Árni Snorrason, Jón Ólafsson, og Hreinn Haraldsson (1997). Rannsóknir á vatnsleysanlegum efnum frá eldgosinu í Vatnajökli 1996. *Eldgosið í Vatnajökli 1996*, Jarðfræðafélag Íslands. Ráðstefna í Borgartúni 6, Reykjavík, 22. febrúar, 1997, 29–31.

Sigurður Reynir Gíslason, Ingvi Gunnarsson, Andri Stefánsson, Matthildur Bára Stefánsdóttir, Árný E. Sveinbjörnsdóttir, Hrefna Kristmannsdóttir, Steinunn Hauksdóttir, Árni Snorrason, Snorri Zophóníasson, Svanur Pálsson, og Stefán Benediktsson (1997). *Lekinn úr Grímsvötnum fyrstu mánuði ársins 1997*. Jarðfræðafélag Íslands. Ráðstefna í Borgartúni 6, Reykjavík, 22. apríl, 1997, 38–40.

Sigurður Reynir Gíslason, Hrefna Kristmannsdóttir, Steinunn Hauksdóttir, og Ingvi Gunnarsson (1997). Rannsóknir á efnasamsetningu árvatns á Skeiðarársandi eftir gosið í Vatnajökli 1966. Í Hreinn Haraldsson (Ritstj.), *Vatnajökull, gos og hlaup 1996*, pp. 139–171, Vegagerðin, Reykjavík.

Sveinbjörnsdóttir, Á.E., Heinemeier, H., Gíslason, S.R. and Kristmannsdóttir, H., (2003). Isotopic study of water-magma interaction in a sub-glacial volcanic eruption in Iceland. 18. *International Radiocarbon Conference*, New Zealand, 2003.

Sverrir Óskar Elefsen (1999). *Þróun efnavöktunarkerfis til varnar mannvirkjum við eldsumbrot í jökli. Áfangaskýrsla*. Vatnamælingar Orkustofnunar, Greinargerð, SE-1999/01, 15 s.

Sverrir Óskar Elefsen, Sigvaldi Árnason, Gunnar Sigurðsson, Árni Snorrason, Hrefna Kristmannsdóttir, Sigurður Reynir Gíslason og Hreinn Haraldsson (2000). Efnavöktunarkerfi til varnar mannvirkjum við eldsumbrot í jökli II. Kerfislýsing. *Febrúarráðstefna 2000. Ágrip erinda og veggspjalda*. Jarðfræðafélag Íslands, 24–25.