



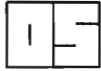
**Niðurstöður rennslis-,
aurburðar- og efnamælinga í
Skeiðarárhlaupi haustið 2004**

Jórunn Harðardóttir
Bergur Sigfússon
Páll Jónsson
Sigurður Reynir Gíslason
Gunnar Sigurðsson
Sverrir Óskar Elefsen



Unnið fyrir Vegagerðina

HÁSKÓLI ÍSLANDS



ORKUSTOFNUN
Vatnamælingar

Verknr.: 7-645797



HÁSKÓLI ÍSLANDS

**Jórunn Harðardóttir
Bergur Sigfússon
Páll Jónsson
Sigurður Reynir Gíslason
Gunnar Sigurðsson
Sverrir Óskar Elefsen**

Niðurstöður rennslis-, aurburðar- og efnamælinga í Skeiðarárhlaupi haustið 2004

Unnið fyrir Vegagerðina

OS-2004/025

Desember 2004

ISBN 9979-68-163-2

ORKUSTOFNUN – VATNAMÆLINGAR

Reykjavík: Grensásvegi 9, 108 Rvk. – Sími: 569 6000 – Fax: 568 8896
Netfang Vatnamælinga: vm@os.is – Veffang: <http://www.os.is/vatnam>

Skýrsla nr.: OS-2004/025	Dags.: Desember 2004	Dreifing: <input checked="" type="checkbox"/> Opin <input type="checkbox"/> Lokuð til
Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill: Niðurstöður rennslis-, aurburðar- og efnamælinga í Skeiðarárhlaupi haustið 2004		Upplag: 25
		Fjöldi síðna: 33
Höfundar: Jórunn Harðardóttir Bergur Sigfússon Páll Jónsson Sigurður Reynir Gíslason Gunnar Sigurðsson Sverrir Óskar Elefsen		Verkefnisstjóri: Sverrir Óskar Elefsen
Gerð skýrslu / Verkstig: Mælingar á rennslis, efnasamsetningu og aurburði		Verknúmer: 7-645797
Unnið fyrir: Vegagerðina		
Samvinnuaðilar: Jarðvísindastofnun Háskóla Íslands		
Útdráttur: Hlaup hófst í Skeiðará 29. október 2004 og hófst eldgos í Grímsvötnum fjórum dögum síðar. Skeiðará var rennslismæld í sjö skipti í hlaupinu og ferill hlauprennslis reiknaður. Hlaupið náði hámarki 2. nóvember og fór rennslis í rúmlega 3300 m ³ /s en var komið niður í tæplega 500 m ³ /s 4. nóvember. Frá upphafi hlaups og fram á kvöld 3. nóvember var heildarrúmmál hlaupvatns um 0,45 km ³ . Jarðhitaættað vatn virðist hafa runnið í Skeiðará fram í byrjun desember og er heildarvatn í hlaupinu um 0,8 km ³ ef þetta vatn er talið með. Tíu svifaurssýni voru tekin dreift yfir hlauptoppinn og var stærstur hluti þeirra af kornastærðinni mélu (0,002–0,02 mm). Heildarframburður svifaurs var 4 milljónir tonn í kringum hlauptoppinn en 4,9 milljónir tonn ef framburður var framreiknaður fram í desember. Efnasýni voru tekin frá 30. október til 4. nóvember og voru ákveðnir þættir mældir á staðnum en aðrir á rannsóknarstofu. Heildarstyrkur uppleystra efna jókst frá upphafi mælinga og fram yfir flóðtopp fyrir utan í einu sýni en féll hratt eftir að það. Greinileg eldgosaáhrif mældust í vatninu eftir að flóðtoppur kom fram.		
Lykilorð: Skeiðará, Grímsvötn, Skeiðarársandur, jökulhlaup, eldgos, rennslismælingar, rennslislíkan, vatnshæðarmælingar, leiðnimælingar, kornastærðarmælingar, svifaur, svifaursframburður, efnagreiningar		ISBN-númer: 9979-68-163-2
		Undirskrift verkefnisstjóra: Sverrir Ó. Elefsen
		Yfirfarið af: KE, OSig

EFNISYFIRLIT

1	INNGANGUR	6
2	RENNSLISMÆLINGAR	7
2.1	Aðferðir við rennslismælingar	7
2.2	Niðurstöður rennslismælinga	8
3	SAMFELLDAR MÆLINGAR Á VATNSHÆÐ OG LEIÐNI	10
3.1	Aðferðir við samfelldar vatnshæðar- og rafleiðnimælingar.....	10
3.2	Vatnshæðar- og rafleiðnibreytingar í hlaupinu.....	11
4	SVIFAURSSÝNI	11
5	EFNASÝNI	17
5.1	Sýnataka.....	17
5.2	Meðhöndlun sýna	17
5.3	Efnagreiningar og meðhöndlun sýna á rannsóknarstofu að lokinni söfnun....	18
5.4	Uppleyst efni	18
5.4.1	Efnafræði svifaurs	19
5.5	Niðurstöður mælinga	19
5.5.1	Reikul efni	20
5.5.2	Anjónir	21
5.5.3	Katjónir.....	21
5.5.4	Snefilefni og þungmálmar	21
5.5.5	Leiðni eftir hlaup	21
6	SAMANTEKT	27
6.1	Rennsli.....	27
6.2	Samfelldar vatnshæðar- og rafleiðnimælingar.....	27
6.3	Svifaursmælingar	28
6.4	Efnagreiningar	28
7	HEIMILDIR	29
	Viðauki	31

MYNDASKRÁ

Mynd 1: Séð til vesturs yfir Skeiðarárbrú þann 5. nóvember 2004.	7
Mynd 2: Spilbúnaður sem var notaður við rennslismælingar og svifaurssýnatöku.	8
Mynd 3: Rennsli Skeiðarár í Grímsvatnahlaupi í október og nóvember 2004.....	10
Mynd 4: Vatnshæð og leiðni við Skeiðarárbrú í október, nóvember og desember 2004.	11
Mynd 5: Tímasetning svifaurssýnatöku og miðtími rennslismælinga.	12
Mynd 6: Skipting heildarsvifaurssýna í kornastærðarflokka.	13
Mynd 7: Heildarstyrkur svifaurssýna og svifaurssýna í hlaupsýnum.....	14
Mynd 8: Venl heildarstyrks svifaurssýna og svifaurssýna við rennsli.....	15
Mynd 9: Heildarframburður svifaurssýna og heildarrúmmál hlaupvatns í Skeiðarárhlaupum.	16
Mynd 10: Venl heildarframburðar svifaurssýna við heildarrúmmál.....	16
Mynd 11: Niðurstöður mælinga á einstökum eignum í Skeiðarárhlaupi 2004.	23

TÖFLUSKRÁ

Tafla 1: Niðurstöður rennslismælinga sem gerðar voru í Skeiðará í 2004 hlaupi.....	8
Tafla 2: Kornastærðarflokkun svifaurssýna.	12
Tafla 3: Niðurstöður kornastærðargreininga svifaurssýna.	12
Tafla 4: Efnasamsetning Skeiðarár í hlaupi, október/nóvember 2004.	22
Tafla 5: Leiðni í helstu vatnsföllum á Skeiðarársandi dagana 4.–5. nóvember.	25
Tafla 6: Næmi efnagreiningaraðferða og hlutfallsleg skekkja milli mælinga.....	26

1 INNGANGUR

Á síðustu áratugum hefur Skeiðará á Skeiðarársandi hlaupið oft, ýmist í tengslum við eldgos í Grímsvötnum eða nágrenni eins og stóra hlaupið í nóvember 1996 (sjá greinar í skýrslu Vegagerðarinnar frá 1997 sem Hreinn Haraldsson ritstýrði) eða minni hlaup sem verða vegna uppsöfnunar vatns í Grímsvötnum, eins og t.d. hlaupið í mars-apríl 1996 (Svanur Pálsson o.fl. 1999).

Vegna hinna tíðu jökulhlaupa og hugsanlegra áhrifa þeirra á samgöngumannvirki á Skeiðarársandi hafa Vatnamælingar Orkustofnunar (VM) mælt rennsli og aurburð í ánum á Skeiðarársandi fyrir Vegagerðina nokkuð reglulega síðastliðin 30 ár, stundum á mánaðarfresti (sjá t.d. samantekt um samtímarenslismælingar á Skeiðarársandi í greinargerð Odds Sigurðssonar og Jórunnar Harðardóttur frá 2004, og skýrslur um einstök jökulhlaup, t.d. Haukur Tómasson o.fl. 1980; 1985; Bjarni Kristinsson o.fl. 1986; Svanur Pálsson o.fl. 1992; Árni Snorrason o.fl. 2002). Vatnamælingar hafa rekið siritandi vatnshæðarmæli í Skeiðará fyrir Vegagerðina frá því í desember 1998 og er nú fylgst með vatnshæð, leiðni og hitastigi í lofti og vatni við Skeiðarárbrú. Mælirinn var settur upp í kjölfar eldgoss í Grímsvötnum í desember 1998. Mælirinn er símtengdur þannig að ef vatnshæðar- og/eða leiðnigildi fara upp fyrir fyrirfram ákveðin viðvörunargildi hringir mælirinn í Neyðarlínuna og sér starfsfólk hennar um að hringja út fólk af vöktunarlista VM.

Þann 24. október síðastliðinn kólnaði í veðri og fór lofthiti við Skeiðará niður fyrir frostmark samkvæmt hitamæli VM. Samtímis virðist vatnshæð í þeim hluta árinna sem leiðniskynjarinn er í hafa lækkað svo að skynjarinn kom upp úr vatni. Aftur snerti hann vatn daginn eftir en kom aftur upp úr samdægurs og hélst svo fram til 29. október þegar hann snerti vatn aftur. Leiðni hafði þá aukist úr 200 í um 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ sem benti til að jarðhitavatn hefði aukist í ánni. Þessar niðurstöður voru í samræmi við upplýsingar frá Veðurstofu Íslands sem hafði bent á að skjálftavirkni hefði aukist undir Vatnajökli sömu daga og hugsanlegt að hlaupvatn úr Grímsvötnum væri að brjóta sér leið undir jöklinum. Tveir starfsmenn VM hófu í vikunni að undirbúa ferð að Skeiðará til að laga leiðniskynjarann og mæla hugsanlegt hlaup og voru komnir þangað 30. október. Samkvæmt siritanum hafði hlaupið hafist í mælda álnum þann 29. október og var það staðfest við komu mælingamanna. Reikna má með að upphaf hlaupsins hafi hins vegar verið að kvöldi 28. október. Ekki reyndist mögulegt að rennslismæla sama dag og komið var á staðinn, en tekin voru svifaus- og efnasýni. Fyrsta rennslismælingin var gerð 31. október og var rennsli mælt einu sinni á dag fyrstu tvo dagana en tvisvar á dag í sjálfum hlaupoppinum og daginn eftir þegar hlaupið var í rénun. Síðast var rennsli mælt 4. nóvember.

Vel var fylgst með jarðskjálftamælum á Veðurstofu Íslands og Jarðvísindastofnun Háskóla Íslands í kjölfar hlaupsins og bentu skjálftar til þess að gos væri í aðsigi. Veðurstofan sendi út viðvörun til almannavarnadeildar Ríkislögreglustjóra kl. 20:10 þann 1. nóvember og er ályktað út frá óróatíðnigröfum að gos hafi byrjað um kl. 21:50 sama kvöld (sjá t.d. vefsíður Veðurstofu Íslands www.vedur.is og Norræna Eldfjallasetursins www.norvol.hi.is) Ekki var um stórt gos að ræða og er talið að því hafi verið lokið þann 6. nóvember.

Rennslismælingar í hlaupinu gengu hægar en venjulega vegna bilunar í einum og endurnýjunar á öðrum bíl VM sem eru sérútbúnir í slíkar mælingar. Með breytingum og nýsmíði á tækjabúnaði á staðnum var þó hægt að útbúa gálga sem virkaði ágætlega til mælinga. Um rennslismælingar í hlaupinu sáu Gunnar Sigurðsson, Þórarinn Jóhannsson,

Snorri Zóphóníasson og Bjarni Kristinsson, en Sverrir Elefsen aðstoðaði einnig fyrstu tvo dagana. Bergur Sigfússon sá um töku efnasýna, og efnagreiningar sem gerðar voru á staðnum.

Í þessari skýrslu er greint frá rennslismælingum og rennslisferill hlaupsins reiknaður út frá þeim, enn fremur er greint frá svifaursmælingum og efnagreiningum.



Mynd 1: Séð til vesturs yfir Skeiðarárbrú þann 5. nóvember 2004. Mynd: Gunnar Sigurðsson.

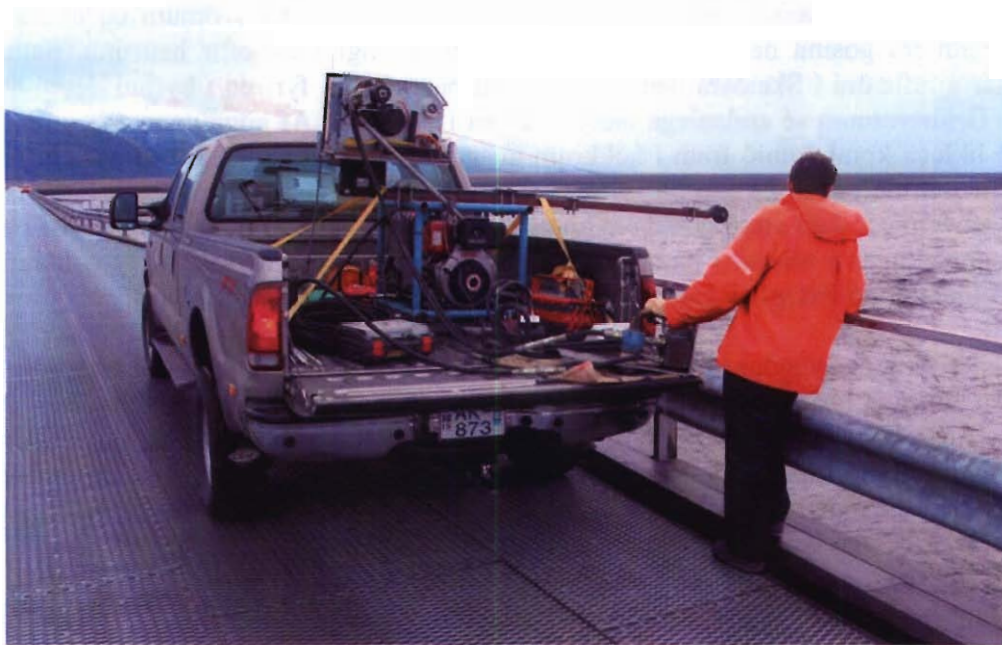
2 RENNSLISMÆLINGAR

2.1 Aðferðir við rennslismælingar

Rennsli í hlaupinu var metið með hefðbundinni dýptar- og rekmælingu eins og venja er í hlaupum sem þessum. Erfiðara var að mæla dýpið en venjulega þar sem mælingabíll með brúargálga var bilaður.

Til að meta dýpi var notað 100 kg lóð sem slakað var niður í vatnið þar til það nam við botn. Notaður var pallbíll sem hafði sérstaka festingu fyrir spil, sem notað var til að slaka lóðinu niður í vatnið. Í fyrstu mælingunni var spilið fest í dráttarkróksfestingu aftanvert á bílinn og vírinn færður yfir brúarhandriðið með járnstöng eða spjóti með trissu fyrir vírinn. Sú aðferð gekk illa vegna þess að ekki var hægt að reisa spjótið nægilega hátt yfir handriðið. Því var brugðið á það ráð að færa spilfestinguna og spjótið upp á pall bílsins og festa hana á grind dælustöðvar, sem jafnframt var notuð til að knýja vökvamótor á spilinu (mynd 2). Þessi aðferð gafst mun betur en sú fyrri.

Til mælinga á yfirborðshraða var notaður brúsi sem festur var í band með þekktri lengd (19 m). Í brúsann voru sett um 1–2 kg af mól til að þyngja hann. Tíminn sem það tók brúsann að fljóta undan brúnni og þar til strekktist á bandinu var mældur með skeiðklukku. Hæð viðmiðunarpunkts á brú yfir vatnsborði var mæld með dýptarmælingalóði.



Mynd 2: *Spilbúnaður sem var notaður við rennslismælingar og svifaursýnatöku í Skeiðarárhlaupi 2004. Mynd: Gunnar Sigurðsson.*

2.2 Niðurstöður rennslismælinga

Rennslismælt var í sjö skipti frá 31. október til 4. nóvember með fyrrnefndum aðferðum. Fyrstu tvær mælingarnar tóku lengstan tíma þar sem útbúnaðurinn til mælinga var ekki hraðvirkur en eftir að búið var að breyta honum var hægt að mæla tvisvar á dag. Niðurstöður sjálfra rennslismælinganna eru sýndar í töflu 1 en tímasetning þeirra er ákvörðuð út frá mati á miðtíma mælinganna. Dýptarsnið samkvæmt rennslismælingunum eru sett fram í viðauka aftast.

Tafla 1: *Niðurstöður rennslismælinga í Skeiðará frá 31. október til 4. nóvember 2004.*

Dagsetning	Kl.	Rennsli (m ³ /s)
2004-10-31	14:00	524
2004-11-01	16:00	1435
2004-11-02	12:00	2740
2004-11-02	19:30	2617
2004-11-03	11:30	1028
2004-11-03	17:00	528
2004-11-04	11:30	449

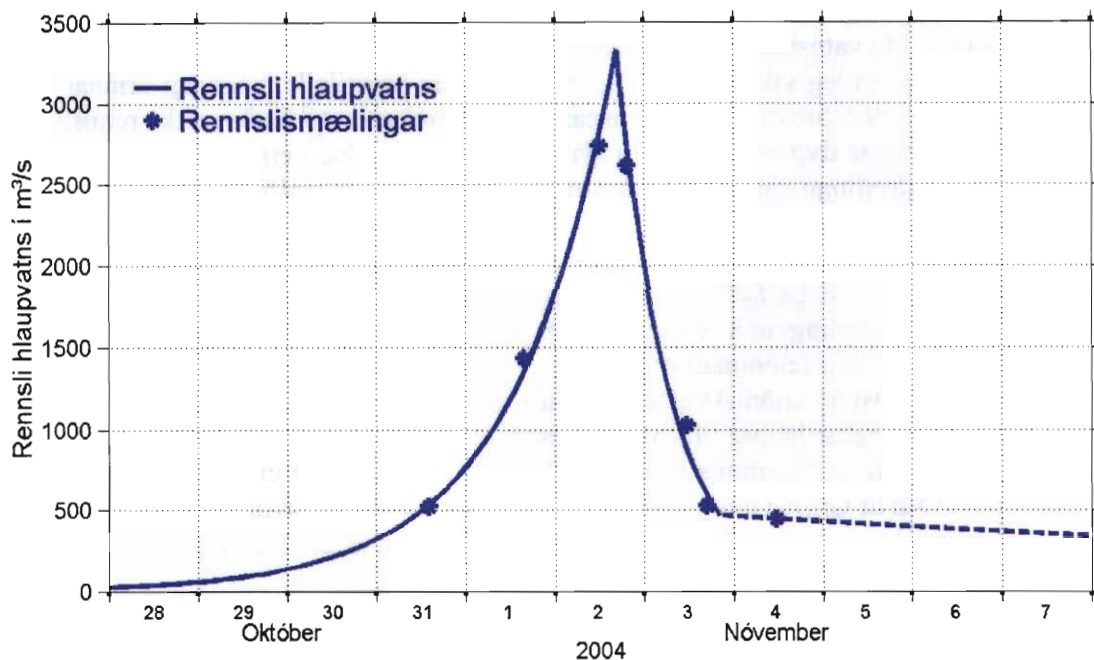
Líkan Vatnamælinga Orkustofnunar fyrir rennsli Skeiðarár í Grímsvatnahlaupum byggir á því að vöxtur og hnignun hlaupsins fylgi vísifalli (exponential function) (Árni Snorrason o.fl. 1997; Svanur Pálsson o.fl. 1999). Í Grímsvatnahlaupinu um mánaðarmótin október-nóvember 2004 sýndu þrjár mælingar í stíðanda hlaupsins að þetta líkan passar vel fyrir vöxtinn og einnig hnignunina fyrir fyrstu þrjár rennslismælingarnar eftir að hámarki er náð. Síðasta rennslismælingin sem gerð var 4. nóvember 2004 virðist hins vegar benda til þess að hnignun rennslisins sé miklu hægari milli síðustu mælingar þann 3. nóvember og þessarar síðustu rennslismælingar. Ástæður þessa eru líklega áhrif gossins í Grímsvötnum og er líklegt að bræðsluvatn frá gosinu hafi runnið úr Grímsvötnum lengi fram eftir haustinu. Samfelldar mælingar á rafleiðni í Skeiðará benda til þess að það sé ekki fyrir en í byrjun desember sem vatn úr Grímsvötnum sé endanlega hætt að koma í Skeiðará. Af gögnunum um rafleiðni má ráða að líklega komi vatnið fram í nokkrum gusum ofan á grunnrennslið en ekki er hægt að líkja eftir því með neinni vissu þar sem ekki eru til neinar rennslismælingar í Skeiðará eftir þann 4. nóvember. Rétt er að geta þess að nokkurt hlaupvatn kom fram í Gígjukvísl og Súlu, en engar mælingar á rennsli í þeim ám liggja fyrir. Samkvæmt reyngu af fyrri hlaupum úr Grímsvötnum er þó líklegt að það rennsli sé miklu minna en rennsli Skeiðarár.

Rennslisferillinn er byggður upp af þremur bútum sem hver um sig byggir á vísifalli (mynd 3). Fyrsti búturinn lýsir vexti hlaupsins fram að hámarki þess þann 2. nóvember 2004 klukkan 16:40. Annar búturinn lýsir hraðri hnignun hlaupsins frá hámarki til 3. nóvember 2004 klukkan 20:15, en eftir það er gert ráð fyrir mjög hægri hnignun fram til 7. desember 2004 þegar reiknað er með að rennslið sé orðið svipað og fyrir hlaup, eða u.þ.b. 40 m³/s. Þriðji búturinn lýsir þessari hægu hnignun og er sýndur með brotalínu á mynd 3.

Samkvæmt þessu líkani hefur tvöföldunartíminn í vexti hlaupsins verið 19 klst., en það er miklu hraðari vöxtur en mælst hefur áður í venjulegum Grímsvatnahlaupum. Þannig mældist rúmlega 50 klst. tvöföldunartími í hlaupinu vorið 1996. Einnig er ljóst að hnignunin í þessu hlaupi er miklu hraðari en áður hefur sést í venjulegu hlaupi, þar sem helmingunartími mældist tæpar 10 klst., en til samanburðar mældist helmingunartíminn í hlaupinu vorið 1996 tæpar 18 klst. Í líkaninu er gert ráð fyrir að rennslið í Skeiðará fyrir hlaup hafi verið 40 m³/s, en samkvæmt því hefur hlaupið hafist að kvöldi 28. október 2004 og er það í samræmi við mat mælingamanna.

Niðurstöður mælinganna og keyrsla líkansins sýna að hámarksrennsli Skeiðarár í hlaupinu hafi verið 3.300 m³/s klukkan 16:40 þann 2. nóvember 2004, en það var komið niður fyrir 500 m³/s þegar að kvöldi 3. nóvember 2004.

Heildarrúmmál hlaupvatns sem kom fram í Skeiðará má áætla af rennslisferlinum, sé gert ráð fyrir ákveðnu grunnrennsli í Skeiðará. Í útreikningum á því er hér gert ráð fyrir að þetta grunnrennsli hafi verið 50 m³/s allan tímann sem hlaupið var í gangi, en það er að sjálfsögðu gróf nálgun. Að gefnum þessum forsendum fæst að heildarrúmmál vatns, sem kom fram í Skeiðará úr Grímsvötnum sjálfum, hafi verið 0,45 km³ frá upphafi hlaupsins og til 3. nóvember 2004 klukkan 20:15, en eftir það er um hægfara hnignun hlaupsins að ræða, meðan nýtt bræðsluvatn vegna gossins virðist hafa runnið úr Grímsvötnum fram til 7. desember 2004. Á þessum langa tíma hafa samkvæmt þessu skilað sér í Skeiðará 0,35 km³ til viðbótar og hefur þá heildarrúmmál hlaupvatns úr Grímsvötnum, sem kom fram í Skeiðará, verið 0,80 km³. Þegar hægt verður að ná í gögn um vatnshæð í Grímsvötnum verður fróðlegt að bera þetta rúmmál saman við niðurstöður reikninga á rúmmáli vatns í Grímsvötnum fyrir og eftir hlaupið, en þeir reikningar byggja á samfelldum mælingum á vatnshæðinni í Grímsvötnum.



Mynd 3: Rennslí Skeiðarár í Grímsvatnahlaupi í október og nóvember 2004

3 SAMFELLDAR MÆLINGAR Á VATNSHÆÐ OG LEIÐNI

3.1 Aðferðir við samfelldar vatnshæðar- og rafleiðnimælingar

Vatnshæð Skeiðarár er mæld af sjálfvirkri stöð sem fest er utanvert á brúna, sunnanmegin, nær vesturendanum. Um er að ræða hljóðbylgjumæli sem festur er í hæð við brúargólfíð og var ákveðið að hann hefði hæðina 1000 cm. Vatnshæðin er fundin með því að draga mælda fjarlægð niður á vatnsborð frá hæð nemans, 1000 cm. Hljóðbylgjuneminn er frá Campbell Scientific og er af gerðinni SR50. Hann hefur 10 m mælisvið og nákvæmnin er 1 cm.

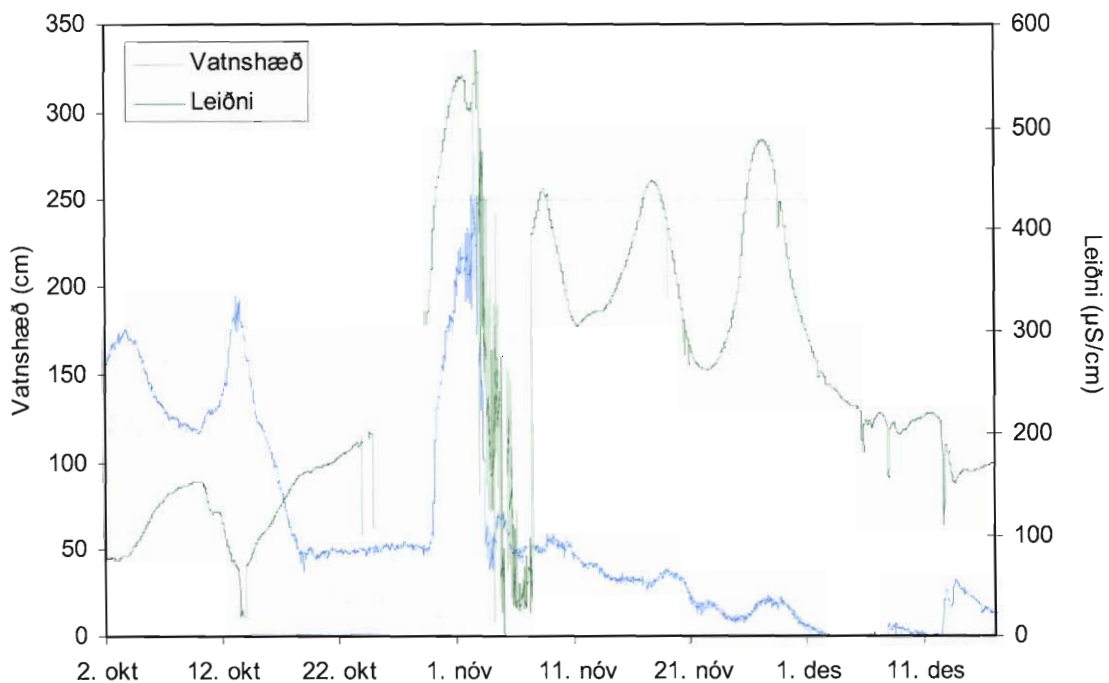
Sambyggður leiðni- og vatnshitanemi er tengdur við sömu stöð og vatnshæðarneminn. Neminn er í röri úr ryðfríu stáli, sem fest er utanvert á brúna, sunnanmegin og hangir niður í vatnið. Til að koma í veg fyrir að rörið láti svo mikið undan straumþunga vatnsins að neminn fari upp úr er það stagað frá norðurhlið brúarinnar. Skráð leiðni er hámarksleiðni milli hveira tveggja skráninga. Sambyggður leiðni- og vatnshitanemi er af gerðinni CS547A og er framleiddur af Campbell Scientific.

Til viðbótar við þessar svo til samfelldu leiðnimælingar var leiðni mæld í stökum svifaurs- og efnasýnum, sjá síðar.

3.2 Vatnshæðar- og rafleiðnibreytingar í hlaupinu

Niðurstöður samfelldu vatnsborðs- og leiðnimælinganna eru sýndar á mynd 4. Vatnshæð (blár ferill) var nokkuð breytileg vikurnar í kringum hlaupið en breytileiki á farvegi árinna hefur haft mikið að gera með breytingar á vatnshæðinni og því er vatnshæðin ekki rennslisgæf. Bæði er þar um að ræða dýptarbreytingar í sjálfum farveginum þar sem vatnsborðið er mælt, en einnig misjafna dreifingu vatns á milli ála eftir gangi í hlaupinu sjálfu og eftir staðbundinni upphleðslu og rofi sets.

Leiðnigildi vantar fimm daga fyrir hlaup þar sem leiðnineminn var kominn upp úr vatninu. Einnig er vitað út frá mælingum á stökum sýnum, að þar sem breytileikinn verður sérstaklega mikill í lok hlaupsins sýnir leiðnimælirinn ekki rétt gildi. Líklegasta ástæðan fyrir þessu flökti er sú að loft hafi komist að leiðniskynjaranum en slík hegðun hefur áður sést í sambærilegum hlaupum. Leiðnin er frekar há þar til í byrjun desember og koma í hana púlzar sem ná um og yfir 450 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (mynd 4). Samtímis þessum púlsum hækkar vatn að einhverju marki svo að líklegt er að lekavatn úr Grímsvötnum hafi runnið niður á sandinn í þessum púlsum.



Mynd 4: Vatnshæð og leiðni við Skeiðarárbrú í október, nóvember og desember 2004.

4 SVIFAURSSÝNI

Svifaursýnin voru tekin með fyrrgreindum spilbúnaði (sjá kafla 2.1) í svokallaðan S49 svifaursýnataka. Flest sýnin voru tekin á þremur stöðum á brúnni; yfirlétt í fjórar flöskur úr vestari álum og tvær flöskur úr austari álum. Áður en sýnin voru kornastærðargreind samkvæmt hefðbundnum aðferðum, sem lýst er í greinargerð Svans Pálssonar og Guðmundar H. Vigfússonar frá árinu 2000, var innihaldi allra flaskna blandað saman í eitt stórt sýni. Til viðbótar við mælingar á kornastærð var mældur heildarstyrkur svifaurs og styrkur uppleystra efna $<0,045 \mu\text{m}$ (TDS). Í töflu 2 má sjá yfirlit yfir þá flokka sem kornastærðinni var skipt í.

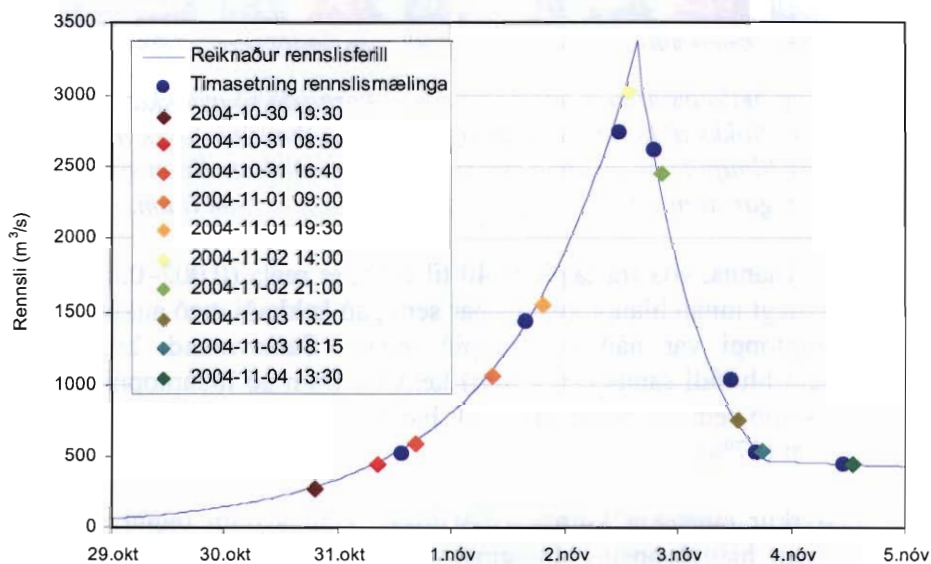
Tafla 2: Kornastærðarflokkun svifaurssýna.

Heiti kornastærðarflokks	Kornastærð
Sandur	0,2–2 mm
Grófmór	0,06–0,2 mm
Fínmór	0,02–0,06 mm
Méla	0,002–0,02 mm
Leir	<0,002 mm

Í töflu 3 má sjá niðurstöður þessara mælinga en þar má einnig finna leiðni sem mæld var samtímis sýnatökunni. Tekið er fram hvort leiðnigildin séu fyrir austari (A) eða vestari (V) álinn þar sem í upphafi og í lok hlauptopsins var mikill munur á leiðni milli álanna.

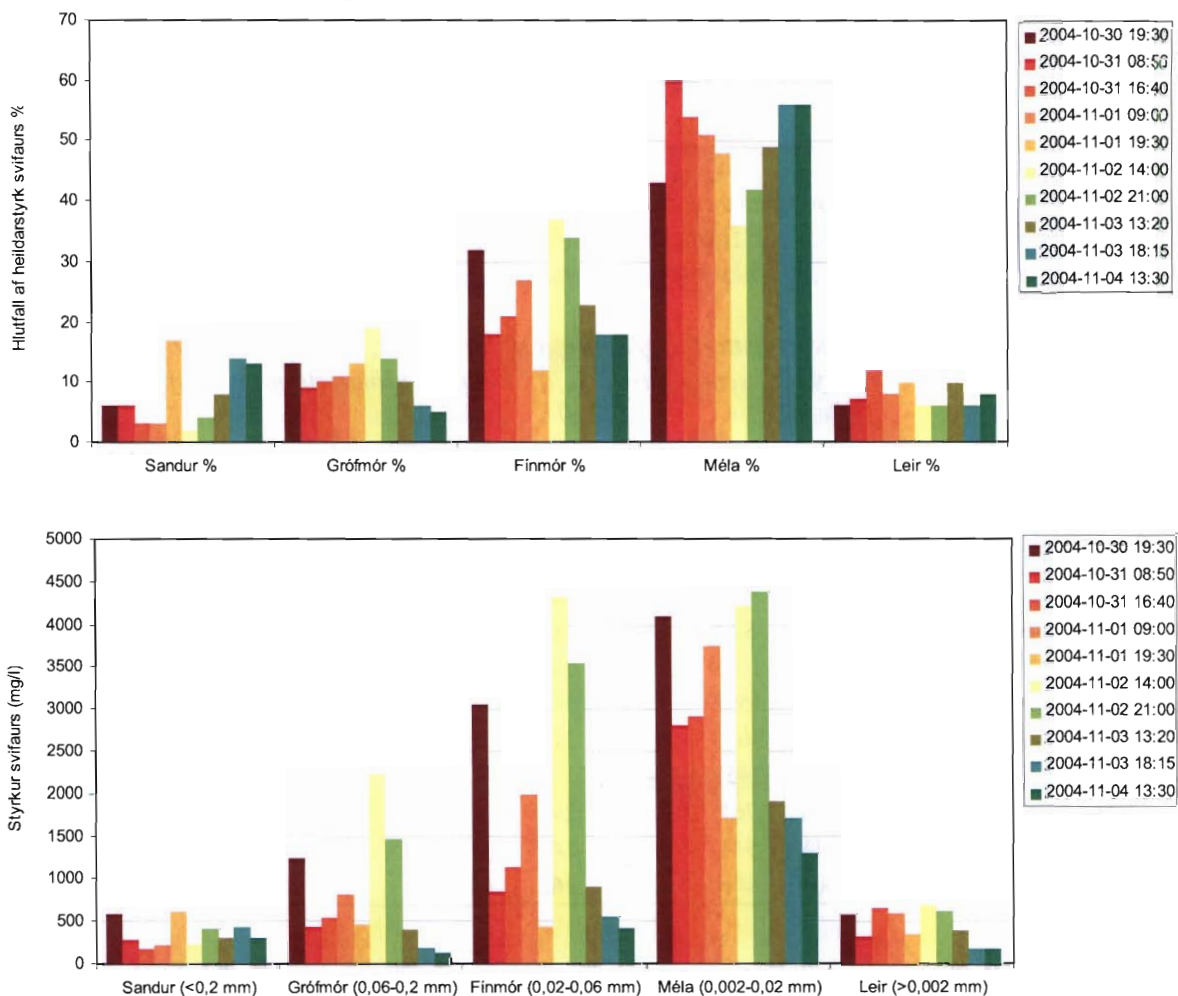
Tafla 3: Niðurstöður kornastærðargreininga svifaurssýna, auk upplýsinga um rennsli, svifaursstyrk og leiðni í sýnum sem tekin voru úr Skeiðará í jökulhlaupi í október/nóvember 2004.

Tími	Leiðni (μS/cm)	Rennsli (m ³ /s)	Aur-styrkur (mg/l)	TDS (mg/l)	Kornastærð % stærðir í mm					Stærsta korn (mm)	Sýna-gerð
					>0,2	0,2-0,06	0,06-0,02	0,02-0,002	<0,002		
2004-10-30 19:30	391A/437V	275	9543	316	6	13	32	43	6	2,1	S2
2004-10-31 08:50	486V	447	4678	292	6	9	18	60	7	2,1	S1
2004-10-31 16:40	—	597	5401	301	3	10	21	54	12	1,5	S1
2004-11-01 09:00	517A	1063	7359	340	3	11	27	51	8	1,85	S1
2004-11-01 19:30	521A	1552	3564	269	17	13	12	48	10	2	S1
2004-11-02 14:00	503A	3026	11712	326	2	19	37	36	6	1,5	S1
2004-11-02 21:00	544A	2451	10444	326	4	14	34	42	6	1,7	S1
2004-11-03 13:20	201A/423V	761	3895	295	8	10	23	49	10	2	S1
2004-11-03 18:15	187A/401V	544	3046	240	14	6	18	56	6	2	S1
2004-11-04 13:30	330A/400V	446	2306	262	13	5	18	56	8	2	S1



Mynd 5: Tímasetning svifaurssýnatöku (rauð-, gul- og grænleit tákn) og miðtími rennsli mælinga (bláir deplar) í vetrarhlaupi í Skeiðará 2004.

Dreifing svifaursýnatökunnar er sýnd á mynd 5 og var sýnatakan vel dreifð yfir hlaupoppinn. Á mynd 6 eru niðurstöður kornastærðargreiningarinnar settar fram á myndrænan máta, bæði fyrir hundraðshlutfall hvers kornstærðarflokks af heildarsvifaum og heildarstyrk hvers flokks í mg/l.

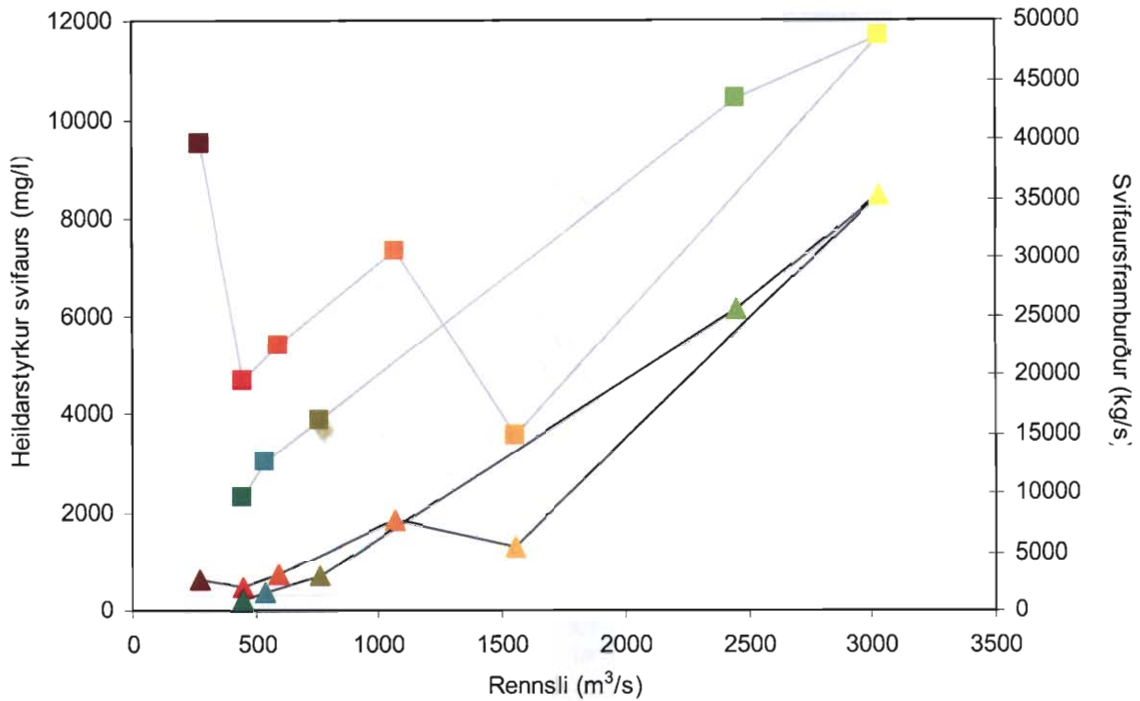


Mynd 6: Skipting heildarsvifaurs Skeiðarársýna í kornastærðarflokka. Efri mynd sýnir hundraðshluta hvers flokks af heildarsvifaum og neðri myndin sýnir styrk hvers flokks. Sýnin sem voru tekin þegar hlaupið var að vaxa eru sýnd með rauðleitum lit en sýnin sem tekin voru þegar hlaupið var í rénun eru sýnd með grænum litum.

Langstærstur hluti sýnanna, eða frá tæplega 40 til 60%, er méla (0,002–0,02 mm) en hlutfall hennar var þó breytilegt innan hlauptoppsins þar sem það lækkaði með auknu rennsli, en jókst aftur eftir að hlauptoppi var náð og hlaupið rénaði. Samsvarandi breytingu má sjá í sandhlutfalli þar sem hlutfall sands (>0,2 mm) lækkaði fram að hlauptoppi og hækkaði eftir það ef frá er talið sýnið sem var tekið kl. 19:30 þann 1. nóvember sem hafði áberandi hærri hlutfall en önnur sýni (17%).

Ef skoðaður er styrkur einstakra kornastærðarflokka kemur fram önnur mynd enda mjög misjafn styrkur innan hlauptoppsins. Langmestur var hann í sýnum sem tekin voru næst hámarki hlaupsins (sýni frá kl. 14 og 21 þann 2. nóvember) en í þeim nær styrkur mélu og finmós (0,02–0,06 mm) yfir 3500 mg/l. Þessi háí svifaursstyrkur í þessum tveimur sýnum sést

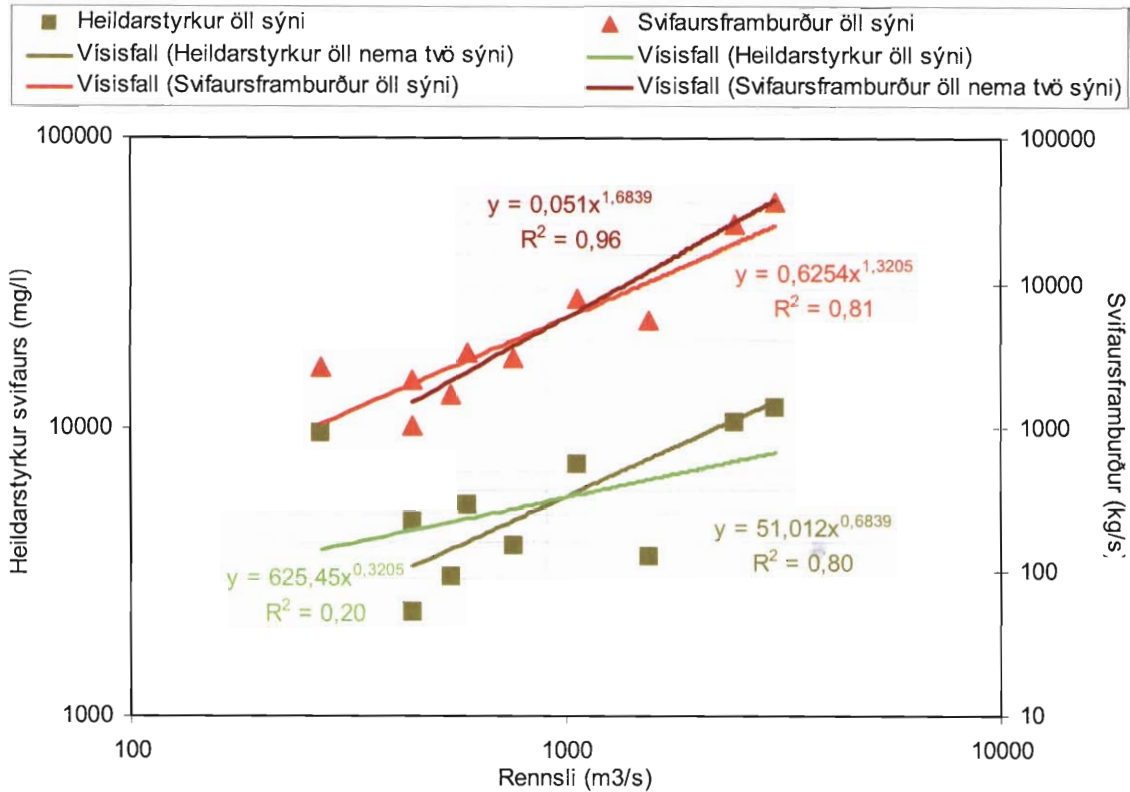
líka á mynd 7 sem sýnir bæði heildarstyrk svifaurs (ferningar) og svifaursframburð (þríhyrningar).



Mynd 7: Heildarstyrkur svifaurs (ferningar) og svifaursframburður (þríhyrningar) í hlaupsýnum úr Skeiðará 2004. Sömu litir eru notaðir fyrir hvert sýni og á myndum 5 og 6.

Í fyrsta sýninu sem tekið var kl. 19:30 þann 30. október var styrkur svifaurs hár, tæplega 10000 mg/l (mynd 7), þó að rennsli hafi enn verið tiltölulega lítið, eða um 275 m³/s. Hugsanlegt er að svifaursstyrkur hafi verið sérstaklega hár í byrjun hlaupsins þar sem efni skolaðist úr farveginum. Styrkur svifaurs og framburður eykst með rennsli í næstu þremur sýnum sem tekin voru á risandi hluta hlaupferilsins (rauð og rauðgul tákn á mynd 7) og minnkar með dvínandi rennsli í síðustu þremur sýnunum sem tekin voru í hlaupinu (dökkgræn tákn). Langhæstur styrkur og svifaursframburður er í sýnunum sem tekin voru sittthvoru megin við hlauptoppinn þann 2. nóvember (gul og ljósgræn tákn á mynd 7), en þá náði svifaursframburður yfir 25000 kg/s í báðum sýnum á meðan svifaursstyrkur var á milli 10000 og 12000 mg/l. Sýnið sem tekið var að kvöldi 1. nóvember sker sig nokkuð úr með lægri svifaursstyrk og framburð, þá sér í lagi styrkur finmós (0,02–0,06 mm) sem er mjög lágur (mynd 6). Ekki er að sjá neitt óeðlilegt við sýnatöku eða mælingar sýnisins svo að ekki er vitað hvað veldur hinum lága heildarstyrk í samanburði við önnur sýni sem tekin voru á vaxandi hluta rennslisferilsins.

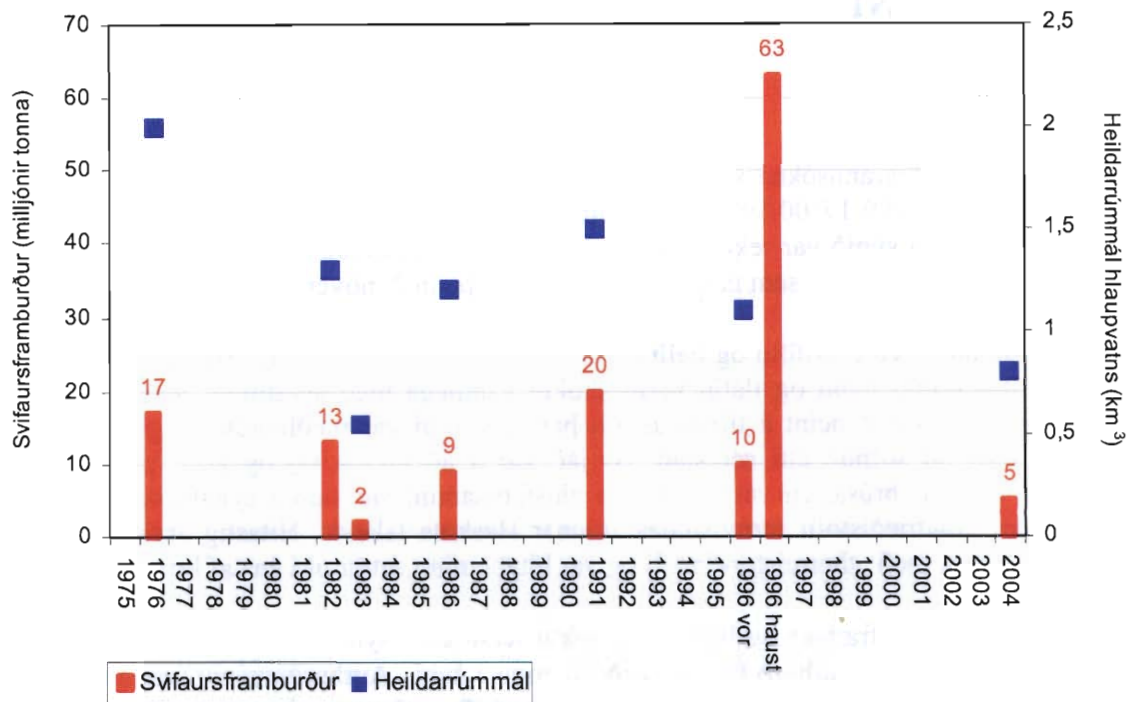
Svifaursstyrkur fylgir rennsli illa ($R^2=0,20$) en svifaursframburður hins vegar töluvert betur ($R^2=0,81$) eins og eðlilegt er þar sem svifaursstyrkur er háður rennsli. Hins vegar eykst fylgnin verulega ef tekið er út sýnið frá 30. október og kvöldsýnið frá 1. nóvember. Fylgni vísisfalls fyrir svifaursstyrk eykst þá í 0,80 og fyrir svifaursstyrk upp í 0,96, sem telst vera skýr fylgni.



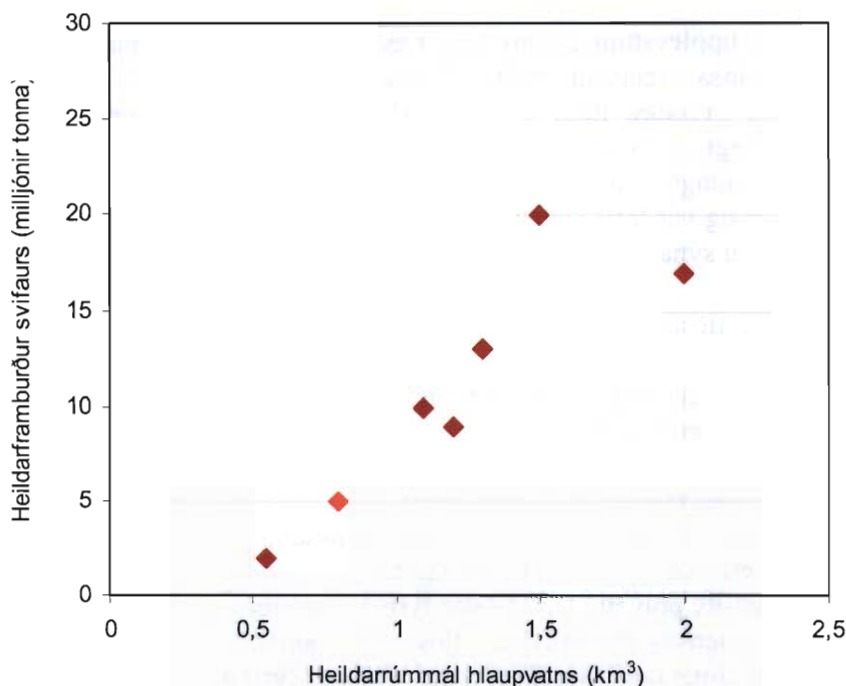
Mynd 8: Vensl heildarstyrks svifaurs (græn tákn) og svifaursframburðar (rauðleit tákn) við rennsli. Sýnd eru vísiföll og fylgni þeirra (R^2) fyrir öll sýni og fyrir öll sýni nema sýnið frá 30. október og kvöldsýnið frá 1. nóvember.

Hægt er að nota jöfnuna fyrir svifaursframburð þar sem tveimur sýnum er sleppt og reiknaðan rennslisferil til þess að meta heildarframburð svifaurs í mældum hlaupum á Skeiðarársandi. Samkvæmt þeim útreikningum var svifaursframburður í 2004 hlaupinu alls tæpar 5 milljónir tonna ef miðað er við alla daga frá 29. október og fram til 7. desember. Ef aðeins er reiknaður framburður fram til 5. nóvember minnkar heildarframburður svifaurs niður í 4 milljónir tonna. Á mynd 9 er heildarframburður í 2004 hlaupinu borinn saman við reiknaðan framburð í sjö öðrum jökulhlaupum eftir að árnar yfir Skeiðarársand voru brúaðar. Fyrir öll hlaup er aðeins sýndur framburður í Skeiðará sjálfri. Ekki er reynt að draga frá svifaursframburð vegna grunnrennslis í Skeiðará. Á myndinni er einnig sýnt heildarrúmmál hlaupvatns sem kom niður á Skeiðarársand, en í hlaupunum árin 1976, 1982 og 1983 kom einnig hlaupvatn í Gígjukvísl, og í stóra hlaupinu 1996 kom vatn í allar ár á sandinum. Ekki er sett fram heildarrúmmál hlaupvatns fyrir það hlaup þar sem aðeins minnihluti vatnsins er talið hafa komið í Skeiðará sjálfa.

Á mynd 10 eru sýnd vensl heildarframburðar svifaurs við heildarrúmmál hlaupvatns í sömu hlaupum og sýnd eru á fyrri mynd. Skýr fylgni er þarna á milli, sér í lagi þegar tekið er tillit til þess hve ónákvæmir framburðarútreikningarnir eru og að misjafnt er eftir rúmmáli og framburði hvort tekið er inn í útreikningana hlaupvatn í öðrum ám en Skeiðará.



Mynd 9: Heildarframburður svifaus og heildarrúmmál hlaupvatns í átta Skeiðarárhlaupum. Aðeins er sýndur framburður í Skeiðará (áætlaður í hausthlaupi 1996). Heildarrúmmál hlaupvatns er hins vegar fyrir allt vatn sem í hlaupunum 1976, 1982, 1983 og 1996 fór í fleiri ár en í Skeiðará. Ekki er þó sett fram hlauprúmmál fyrir hausthlaupið 1996 þar sem meirihluti hlaupvatnsins fór í aðrar ár. (Svanur Pálsson o.fl. 1999; Árni Snorrason o.fl. 1997; 2002).



Mynd 10: Vensl heildarframburðar svifaus við heildarrúmmál í sömu jökulhlaupum og sýnd eru á mynd 9 fyrir utan hausthlaup 1996. Hlaupið 2004 er sýnt með ljósum lit.

5 EFNASÝNI

5.1 Sýnataka

Fyrsta sýnið til efnarannsóknna var tekið af vestasta hafi Skeiðarárbrúar við vatnshæðar- og leiðnimæli (63°58.499 17°00.890) en öll seinni sýni á næst vestasta hafi í útskoti (63°58.500 17°00.825). Fyrsta sýnið var tekið á laugardagskvöldi 30. október en annars voru sýni tekin kvölds og morgna auk þess sem hádegissýni var tekið þann 2. nóvember.

Vatni var safnað með plastfötu og hellt á einn 5 l og einn 10 l plastbrúsa sem voru vandlega fylltir. Áður höfðu fatan og ílátin verið skoluð vandlega með árvatninu. Þegar sýni hafði verið safnað var keyrt beint á tilraunastofu þar sem sýni var meðhöndlað eigi síðar en 30 mínútum eftir að söfnun átti sér stað. Byrjað var á að greina O₂ og H₂S, pH, leiðni og basavirkni úr fyrri brúsa, en vatn úr seinni plastbrúsanum var síað á sýnaflöskur til frekari rannsókna á efnafræðistofu Jarðvísindastofnunar Háskóla Íslands. Hitastig árvatnsins ásamt lofthita var mælt með „thermistor“-mæli og var hitaneminn settur út í ána af brú.

Sýni til greininga á lífrænum aurburði voru tekin sérstökum sýnataka úr meginál ána þannig að sýnið endurspegladi aurburð frá yfirborði til botns í áni. Aurburðarsýnið sem notað var til mælinga á lífrænum aurburði (POC/PON) var tekið með sama hætti og fyrir ólífrænan aurburð. Það var ávallt tekið eftir að búið var að taka sýni fyrir ólífrænan aurburð. Sýninu var safnað í sýruþvegnar aurburðarflöskur sem höfðu verið þvegnar á tilraunastofu í fjórar klukkustundir í 1 N HCl sýru. Flöskurnar voru merktar að utanverðu, en ekki með pappírsmarki inni í flöskuhálsinum eins og tíðkast fyrir ólífrænan aurburð.

5.2 Meðhöndlun sýna

Sýni til rannsókna á uppleystum efnum voru meðhöndluð strax á sýnatökustað. Vatnið var síað í gegnum sellulósa asetat síu með 0,2 µm porustærð. Þvermál síu var 142 mm og Sartorius® („in line pressure filter holder, SM16540“) síuhaldari úr tefloni var notaður. Sýninu var þrýst í gegnum síuna með peristaltik dælu. Slöngur voru úr Masterflex® efni. Síur, síuhaldari og slöngur voru þvegnar með því að dæla a.m.k. einum lítra af árvatni gegnum síubúnaðinn og var lofti hleypt af síuhaldara með þar til gerðum loftventli. Áður en sýninu var safnað voru sýnaflöskurnar þvegnar þrisvar sinnum hver með síuðu árvatni.

Síuðu vatni var dælt á flöskur í eftirfarandi röð:

- Í 50 ml erlenmayer flösku með loftþéttu loki fyrir O₂
- Í 50 ml erlenmayer flösku fyrir H₂S
- Í 60 ml brúna glerflösku fyrir pH og leiðni
- Í 250 ml brúna glerflösku fyrir basavirkni
- Í 60 ml brúna glerflösku fyrir súrefnis- og vetnissamsætur
- Í 1 l brúna glerflösku fyrir kolefnissamsætur
- Í 1 l „high density polyethylen“ flösku fyrir brennisteinssamsætur
- Í 190 ml „low density polyethylen“ flösku fyrir anjónir
- Í tvær 100 ml „high density polyethylen“ flöskur fyrir aðal- og snefilefni
- Í 100 ml „low density polyethylen“ flösku fyrir heildar N og P.
- Í 30 ml „polycarbonate“ flösku fyrir DOC
- Í fjórar 20 ml „high density polyethylen“ flöskur fyrir NO₃, NO₂, NH₄, PO₄.

Fyrst var vatn sem ætlað var til mælinga á O_2 og H_2S síað. H_2S var títrað með kvikasilfurslausn (Stefán Arnórsson, 2000) og O_2 var bundið áður en frekar var síað. Að því loknu var vatn sem ætlað var til mælinga á reikulum efnum, pH, leiðni og basavirkni safnað og flöskur stútfylltar. Vatni til mælinga á kolefnis-, vetnis- og súrefnissamætum var síðan safnað. Á meðan vatn rann í 1 l glerflösku var O_2 títrað með Winkler titrun (Stefán Arnórsson, 2000). Síðan var síað til mælinga á stöðugum samsætum brennisteins. Á meðan rann í þá flösku voru flöskur sem á eftir komu skolaðar þrisvar með sýni. Því næst var vatn síað til að mæla styrk anjóna. Þá var sýnum safnað til aðal- og snefilefnagreininga. Þessar flöskur voru sýrupvegnaðar í Luleå, af rannsóknaraðilanum SGAB Analytica sem annaðist snefilefnagreiningar og aðalefnagreiningar utan anjóna. Út í þessa flösku var bætt einum millilítra af fullsterkri hreinsaðri saltpéturssýru í lok söfnunar á hverjum stað. Sýni til mælinga á DOC var þá safnað og sýrt með 0,4 ml af 1,2 N HCl og geymd í kæli þar til þau voru send til Svíþjóðar þar sem þau voru greind af Umeå Marine Sciences Center. Því næst var vatn ætlað til mælinga á heildarmagni lífrænu og ólífrænu uppleystu næringarefnanna N og P síað. Þá var síuðu árvatni safnað á flöskur til næringarsaltagreininga: NO_3 , NO_2 , NH_4 , PO_4 . Þær voru þvegnaðar með 1 N HCl og stóð sýrulausnin í flöskunum í a.m.k. 4 klst., en þær tæmdar fyrir leiðangur og skolaðar með afjónuðu vatni. Ammóníum (NH_4), og PO_4 sýnin voru sýrð með 0,5 ml af þynntri (1/100) brennisteinssýru. Þessi sýni voru geymd í kæli í söfnunarleiðangrinum en fryst í lok leiðangursins. Aurburðarflöskurnar sem settar voru í aurburðartakann fyrir söfnun á POC og PON voru þvegnaðar í fjórar klukkustundir í 1 N HCl sýru áður en farið var í söfnunarleiðangur. Allar flöskur og sprautur sem komu í snertingu við sýnin fyrir POC, PON og DOC voru þvegnaðar í fjórar klukkustundir í 1 N HCl sýru og síurnar sem POC var síað í gegnum voru „brenndar“ við $450^\circ C$ í fjórar klukkustundir.

5.3 Efnagreiningar og meðhöndlun sýna á rannsóknarstofu að lokinni söfnun

Efni voru greind á Raunvísindastofnun, SGAB Analytica (Svensk Grundämnesanalys AB) í Luleå í Svíþjóð, Umeå Marine Sciences Center, í Umeå í Svíþjóð og við Stokkhólmsháskóla.

5.4 Uppleyst efni

Basavirkni („alkalinity“), pH og leiðni voru mæld með rafskauti og leiðnimæli um leið og sýni voru tekin. Aðalefni og snefilefni voru mæld af SGAB Analytica í Svíþjóð með ICP-AES, ICP-MS (Mass Spectrometry with Inductively Coupled Plasma), og atóm-ljómun; AF (Atomic Fluorescence). Notaðar voru tvær tegundir massagreina með plasmanu, svokallað ICP-QMS, þar sem „quadrupole“ er notaður til að nema massa efnanna, og hins vegar ICP-SMS þar sem massi efnanna er aðgreindur í blöndu segulsviðs og rafsviðs. Þegar styrkur efnanna var lítill var notast við ICP-SMS. Næringarsöltin NO_3 , NO_2 , NH_4 , og PO_4 , heildarmagn af uppleystu lífrænu og ólífrænu nitri og fosfór, N_{tot} , og P_{tot} voru greind með sjálfvirkum litrófsmæli Jarðvísindastofnunar („autoanalyzer“). Sýni til næringarsaltagreininga voru tekin úr frysti og látin standa við stofuhita nóttina fyrir efnagreiningu þannig að þau þiðnuðu að fullu. Sýni til mælinga á P_{tot} og N_{tot} voru geisluð í kísilstautum í tvær klukkustundir í orkuríku útfjólubláu ljósi. Fyrir geislun voru settir 0,01 ml af fullsterku vetnisperoxíði í 10 millilítra af sýni. Þessi sýni voru greind innan tveggja daga eftir geislun. Flúor, klór, súlfat og þíosúlfat (S_2O_3) voru mæld með jónaskilju Jarðvísindastofnunar. Sýni til að mæla uppleyst lífræn kolefni, DOC voru geymd í kæli þar til þau voru send til Svíþjóðar þar sem þau voru greind.

Sýni til brennisteinssamsætumælinga voru látin seytla í gegnum jónaskiptasúlu með sterku anjóna jónaskiptaresini. Sýnaflöskur voru vigtaðar fyrir og eftir jónaskipti til þess að hægt væri að leggja mat á heildarmagn brennisteins í jónaskiptaefni. Þegar allt sýnið hafði seytlað í gegn eftir rúmlega tvo tíma og loft komið í jónaskiptasúlurnar var þeim lokað og þær sendar til Stokkhólms til samsætumælinga. Loft var látið komast inn í súlurnar til þess að tryggja að nægt súrefni væri í þeim til að allur brennisteinn héldist á formi súlfats (SO₄).

5.4.1 Efnafræði svifaurs

Svifaursstyrkur var mældur á Orkustofnun samkvæmt staðlaðri aðferð (sjá nánar í kafla 4). Sýni til mælinga á lífrænum aurburði (POC, Particle Organic Carbon og PON Particle Organic Nitrogen) sem tekin voru í sýruþvegnar aurburðarflöskur voru síuð í gegnum þar til gerðar bórsilikat glersíur með 0,7 µm porustærð. Glersíurnar og álpappír sem notaður var til þess að geyma síurnar í voru „brennd“ við 450°C í 4 klukkustundir fyrir síun. Síuhaldarar og vatnssprautur sem notaðar voru við síunina voru þvegnar í fjórar klukkustundir í 1 N HCl. Allt vatn og aurburður sem var í aurburðarflöskunum var síað í gegnum glersíurnar og magn vatns mælt með því að vigta flöskurnar fyrir og eftir síun. Síurnar voru þurrkaðar í álumslögum við um 50°C í einn sólarhring áður en þær voru sendar til Svíþjóðar til efnagreininga.

5.5 Niðurstöður mælinga

Niðurstöður mælinga sem búið er að framkvæma eru sýndar í töflum 4 og 5. Ennfremur verða næringarsöltin, NO₃, NO₂, PO₄ og NH₄ ásamt þíósúlfati og lífrænum aurburði greind síðar. Næmi og samkvæmni mælinga eru gefin í töflu 6.

Leiðni og pH vatns eru hitastigsháð. Þess vegna er getið um hitastig vatnsins þegar leiðni og pH voru mæld á rannsóknarstofu. Leiðni var yfirleitt mæld í síuðum sýnum (tafla 5). Undantekning frá þessu eru sýnin sem tekin voru 4. og 5. nóvember, þau voru ekki síuð. Styrkur uppleystra aðalefna er gefinn í millimólum í kíló vatns (mmól/kg), styrkur snefilefna sem mikrómol í kíló vatns (µmól/kg) og nanómólum í lítra vatns (nmól/l). Basavirkni, skammstöfuð Alk. („Alkalinity“) í töflum 4 og 6, er gefin upp sem „milliequivalent“ mínushleðslna í lítra vatns. Heildarmagn uppleysts ólífræns kolefnis (Dissolved Inorganic Carbon, DIC) er gefið sem millimól C í hverju kg vatns í töflu 4 og er reiknað samkvæmt eftirfarandi jöfnu (1), út frá mælingum á pH, hitastigi, sem pH-mælingin var gerð við, mældri basavirkni (Alk) og mældum styrk kísils (Si_T).

$$DIC = 1000 \frac{\left(Alk - \frac{K_w}{10^{-pH}} - \frac{Si_T}{\left(\frac{10^{-pH}}{K_{Si}} + 1 \right)} + 10^{-pH} \right)}{\left(\left(\frac{10^{-pH}}{K_1} + 1 + \frac{K_2}{10^{-pH}} \right)^{-1} + 2 \left(\frac{(10^{-pH})^2}{K_1 K_2} + \frac{10^{-pH}}{K_2} + 1 \right)^{-1} \right)} \quad (1)$$

K₁ er hitastigsháður kleyfnistuðull kolsýru (Plummer og Busenberg 1982), K₂ er hitastigsháður kleyfnistuðull bíkarbónats (Plummer og Busenberg 1982), K_{Si} er hitastigsháður kleyfnistuðull kísilsýru (Stefán Arnórsson o.fl. 1982), K_w er hitastigsháður

kleyfnistuðull vatns (Sweeton o.fl. 1974) og Si_T er mældur styrkur Si (töflur 4 og 6). Allar styrktölur eru í mólum á lítra nema „alkalinity“ sem er í „equivalentum“ á lítra. Þessi jafna gildir svo lengi sem pH vatnsins er lægra en 9. Við hærra pH þarf að taka tillit til fleiri efnasambanda við reikningana.

Heildarmagn uppleystra efna (TDS: „total dissolved solids“) er samanlagður styrkur uppleystra aðalefna í milligrömmum í lítra vatns (mg/l) reiknaður á eftirfarandi hátt;

$$TDS_{\text{reiknað}} = Na + K + Ca + Mg + SiO_2 + Cl + SO_4 + CO_3 \quad (2).$$

Heildarmagn uppleysts ólífræns kolefnis sem gefið er í millimólum DIC í hverjum lítra vatns í töflum 4 og 6 er umreiknað í karbónat (CO_3) í jöfnu 2.

Hægt er að leggja mat á gæði mælinga á aðalefnum, eða hvort mælingar vanti á aðalefnum eða ráðandi efnasamböndum, með því að skoða hleðslujafnvægi í lausn. Ef öll aðalefni og ríkjandi efnasambönd eru greind og styrkur þeirra er réttur er styrkur neitkvætt hlaðinna efnasambanda og jákvætt hlaðinna efnasambanda jafn. Hleðslujafnvægið er reiknað með eftirfarandi jöfnu:

$$\begin{aligned} \text{Hleðslujafnv.} &= \text{Katjónir} - \text{Anjónir} = \\ &Na + K + 2 Ca + 2 Mg - Alk - Cl - 2 SO_4 - F \end{aligned} \quad (3).$$

Og mismunur sem hlutfallsleg skekkja

$$\text{Mism\%} = \frac{\text{Hleðslujafnv.}}{\text{(Katjónir+anjónir)}} \quad (4)$$

2

Mismunurinn milli anjóna og katjóna var að jafnaði undir 2% í vatni í fyrri hluta hlaups. En í seinni hluta hlaups þegar „eldgosavatnið“ var komið í ána var hlutfallsleg skekkja um og yfir 15 % (tafla 4, a dálkur fyrir hleðslujafnvægi). Sé gert ráð fyrir að brennisteinn sé á thíosúlfat formi með eingilda hleðslu í stað súlfats með tvígilda hleðslu í „eldgosavatni“ reiknast hleðslujafnvægið með um 2–5% skekkju (b dálkur fyrir hleðslujafnvægi). Samanburð á magni heildar S sem var mældur í ICP-AES greiningu af SGAB (fylltir kassar) og súlfat magni mældu í jónaskilju (opnir þríhyrningar) má sjá á mynd 11h. Heildar brennisteinn mælist ávallt töluvert hærra en súlfat í „eldgosavatni“. Það skal þó tekið fram að eftir er að greina thíosúlfat í vatninu.

5.5.1 Reikul efni

Gildi pH í hlaupvatninu lækkaði stöðugt úr pH 7,0 skömmu eftir upphaf hlaups niður í 6,5 í kringum flóðtopp (11. mynd). Þegar flóðtoppur hafði liðið hjá hækkaði pH gildið aftur upp fyrir pH 7. Basavirkni vatnsins náði hámarki þann 1. nóvember, féll svo nokkuð um morguninn 2. nóvember, reis aftur á hádegi en féll svo hratt eftir að flóðtoppur fór um Skeiðará. Leiðni vatnsins óx nokkuð stöðugt samkvæmt siritandi mæli Vatnamælinga fram að kvöldi 1. nóvember, lækkaði þá nokkuð og náði hámarki skömmu eftir að flóðtoppur rann um

sandinn. Stakar leiðnimælingar eru í nokkru samræmi við síritandi mælingar en jukust ekki eins og síriti í aðdraganda hlauptopps. H₂S mældist í nokkru magni á laugardegi 30. nóvember en var nálægt greiningarmörkum allt þar til síðasta sýni var tekið á fimmtudeginum 4. nóvember. Erfitt var að greina lykt af ánni á meðan söfnun stóð yfir. Hins vegar var greinileg lykt af vatni sem geymt var með aurburði, þegar sýnaflöskur voru opnaðar á rannsóknastofnu nokkrum vikum eftir hlaup. Mælingar á uppleystu súrefni sýndu að súrefnismettun lækkaði frá 30. október til morguns 1. nóvember en mælingar voru nokkuð á reiki allt frá því að vera undir 50% upp í 80% mettnun. Þau efni sem jukust í styrk eftir að „eldgosavatnið“ kom í Skeiðará voru S, F, Cd, Cu og Hg.

5.5.2 Anjónir

Styrkur klórs jókst stöðugt í upphafi hlaups og náði hámarki u.þ.b. sólarhring fyrir flóðtopp, hélst svo nokkuð stöðugur fram að flóðtoppi og féll hratt í hala hlaups en hafði aftur aukist við síðustu sýnatöku. Flúor jókst hægt í byrjun hlaups en tvöfaldaðist í styrk eftir flóðtopp og hélt áfram að aukast til loka sýnatöku. Styrkur súlfats jókst hægt í upphafi hlaups og tók stökk eftir að flóðtoppur kom og hélst hár til loka sýnatöku. Heildarmagn brennisteins í vatninu u.þ.b. sexfaldaðist við flóðtopp (11. mynd).

5.5.3 Katjónir

Styrkur flestra katjóna jókst í upphafi hlaups, féll síðan rétt fyrir flóðtopp og náði hámarki í kringum flóðtopp en féll svo nokkuð hratt niður í hala toppsins.

5.5.4 Snefilefni og þungmálmar

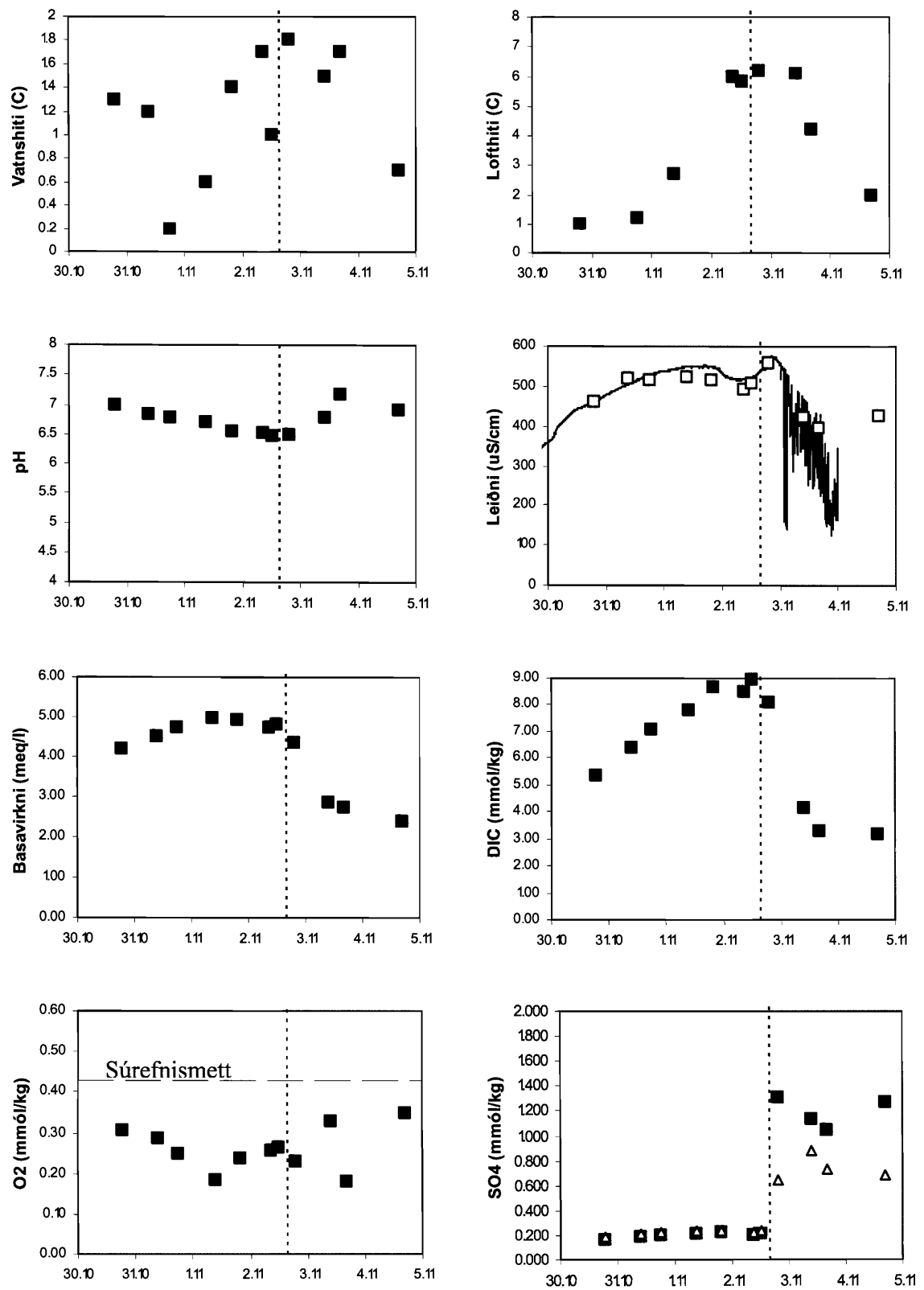
Styrkur snefilefna var mjög breytilegur eftir efnum en sýndi oft á tíðum nokkuð skýra svörun við rennslisferilinn, þ.e. styrkur breyttist oft á tíðum markvert um flóðtoppinn.

5.5.5 Leiðni eftir hlaup

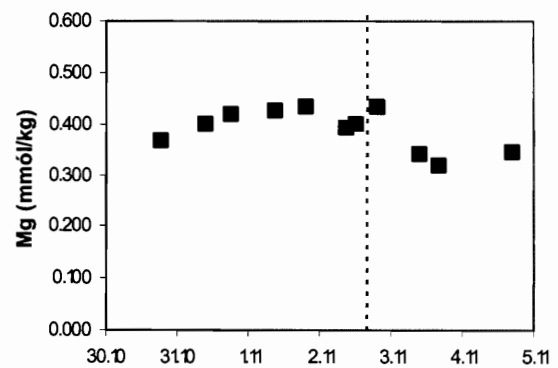
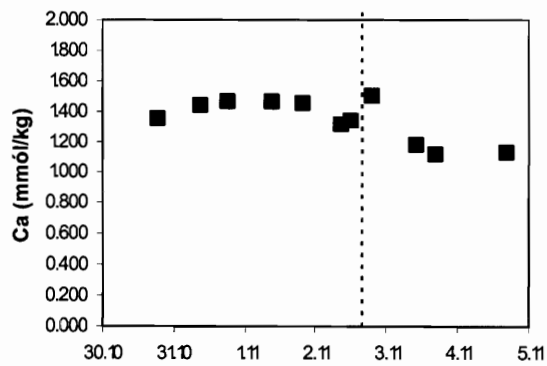
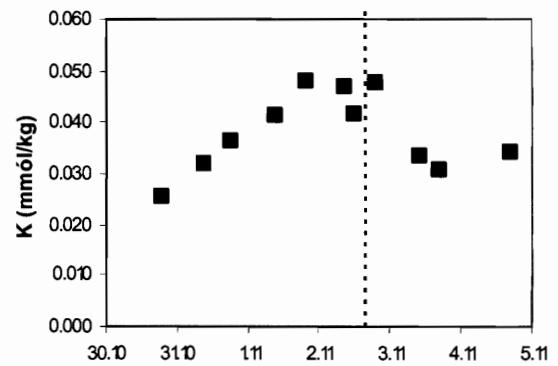
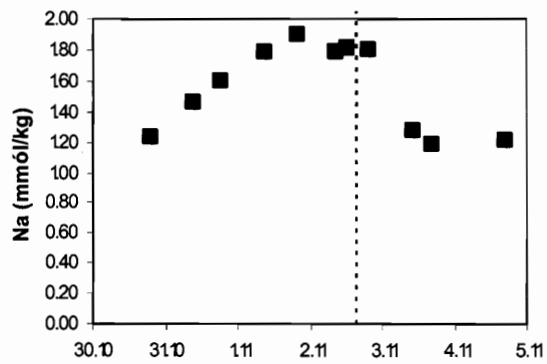
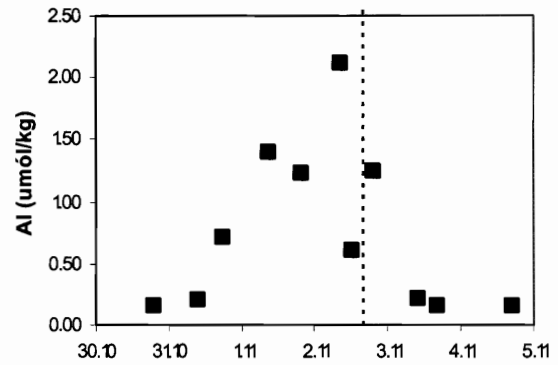
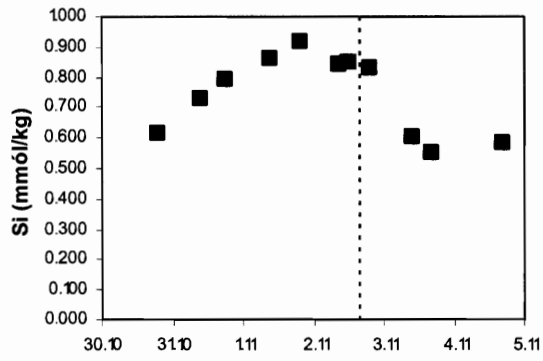
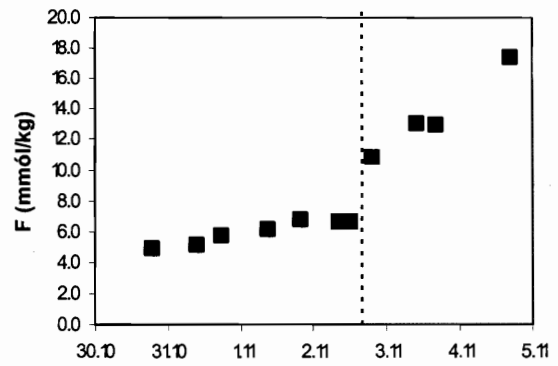
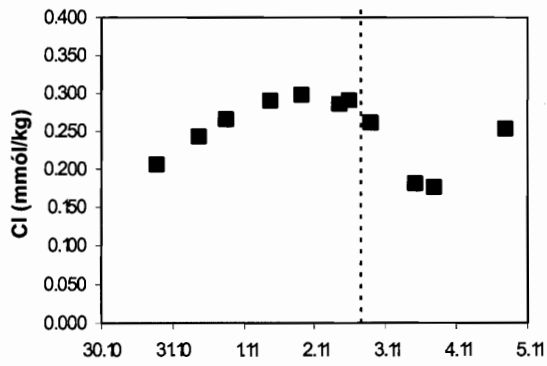
Leiðni var mæld í öllum straumvötnum á Skeiðarársandi 4. og 5. nóvember (tafla 5). Af þessum mælingum má ráða að það hafi verið hlaupvatn í öllum straumvötnum þessa daga, en þó mismikið.

Tafla 4: Efnasamsetning Skeiðarár í hlaupi, október/nóvember 2004.

Sýni	Staðsetning (WGS-84)	Dagsetning	Rennsli Vatnshiti Lofthiti m ³ /sek °C	pH	(pH,leidd Leiddni µS/sm	O ₂ mmól/kg	H ₂ S µmól/kg	Si mmól/kg	Na mmól/kg	K mmól/kg	Ca mmól/kg	Mg mmól/kg		
04V001	63°58.499 17°00.890	30.10.2004 19:00	269 1,3	7,00	14,9	0,305	0,400	0,616	1,23	0,025	1,35	0,366		
04V002	63°58.500 17°00.825	31.10.2004 09:25	453 1,2	6,83	11,6	0,287	0,080	0,730	1,46	0,032	1,43	0,400		
04V003	63°58.500 17°00.825	31.10.2004 18:05	620 0,2	6,77	10,3	0,250	0,080	0,790	1,60	0,036	1,46	0,416		
04V004	63°58.500 17°00.825	1.11.2004 09:15	1070 0,6	6,71	9,6	0,182	0,080	0,862	1,78	0,041	1,46	0,424		
04V005	63°58.500 17°00.825	1.11.2004 19:45	1570 1,4	6,54	15,3	0,237	0,080	0,915	1,91	0,048	1,44	0,432		
04V006	63°58.500 17°00.825	2.11.2004 08:50	2510 1,7	6,52	14,6	0,256	0,080	0,840	1,79	0,047	1,31	0,391		
04V007	63°58.500 17°00.825	2.11.2004 12:15	2840 1	6,48	15,1	0,265	0,080	0,851	1,81	0,042	1,34	0,398		
04V008	63°58.500 17°00.825	2.11.2004 19:15	2770 1,8	6,2	13,3	0,231	0,080	0,830	1,80	0,048	1,49	0,432		
04V009	63°58.500 17°00.825	3.11.2004 10:00	976 1,5	6,78	12	0,330	0,120	0,598	1,27	0,033	1,17	0,339		
04V010	63°58.500 17°00.825	3.11.2004 16:25	619 1,7	7,16	11,5	0,180	0,080	0,552	1,19	0,031	1,12	0,318		
04V011	63°58.498 17°00.880	4.11.2004 16:50	441 0,7	6,90	15,9	0,346	0,930	0,580	1,21	0,034	1,13	0,344		
Sýni	Alk (meq/l)	DIC mmól/kg	S mmól/kg	SO ₄ mmól/kg	Cl mmól/kg	F mmól/kg	Hleðslu- jónaskilja % stökkja jainvægi ^(a) meq/l	Hleðslu- % stökkja jainvægi ^(b) meq/l	TDS _{relas} mg/l	P µmól/kg	Al µmól/kg	Fe µmól/kg	B µmól/kg	
04V001	4.20	5.30	0.165	0.182	0.204	4.81	-0.05	0.7	470	0.247	0.151	0.192	7.28	
04V002	4.50	6.37	0.187	0.207	0.243	5.15	0.05	0.6	554	0.245	0.198	0.510	9.99	
04V003	4.73	7.05	0.197	0.221	0.266	5.71	0.00	0.0	605	0.267	0.715	0.951	10.5	
04V004	4.96	7.80	0.208	0.232	0.290	6.04	-0.07	0.9	661	0.268	1.39	1.88	12.5	
04V005	4.94	8.66	0.218	0.232	0.297	6.72	0.05	0.5	719	0.241	1.23	2.04	12.9	
04V006	4.72	8.49	0.193	0.220	0.286	6.60	-0.15	1.9	693	0.273	2.11	2.29	11.7	
04V007	4.80	8.96	0.214	0.239	0.289	6.61	-0.18	2.3	726	0.241	0.608	1.48	12.0	
04V008	4.35	8.08	1.30	0.646	0.260	10.8	-1.52	16	782	0.139	1.25	11.0	11.5	
04V009	2.83	4.14	1.13	0.879	0.181	13.1	-0.96	14	485	0.039	0.217	5.96	6.65	
04V010	2.75	3.29	1.04	0.730	0.176	12.9	-0.94	14	418	<0,032	0.149	1.64	6.71	
04V011	2.39	3.17	1.27	0.688	0.253	17.4	-0.98	14	438	<0,032	0.156	7.29	5.95	
Sýni	Mn µmól/kg	Sr µmól/kg	V µmól/kg	As mmól/kg	Ba mmól/kg	Cd mmól/kg	Co mmól/kg	Cr mmól/kg	Cu mmól/kg	Ni mmól/kg	Pb mmól/kg	Zn mmól/kg	Mo mmól/kg	Ti mmól/kg
04V001	2.44	0.441	0.080	<0,667	0.896	0.061	9.08	0.302	3.43	46.5	0.265	11.2	<0,010	3.86
04V002	3.02	0.488	0.073	1.17	0.961	0.047	12.3	0.267	2.93	50.9	0.301	8.35	<0,010	3.21
04V003	3.31	0.509	0.078	0.721	1.12	0.060	15.4	0.544	3.86	55.2	0.319	14.7	<0,010	2.97
04V004	3.75	0.517	0.074	0.841	1.39	0.061	16.4	1.01	3.68	52.1	0.286	17.0	<0,010	2.94
04V005	4.13	0.543	0.073	1.90	1.35	0.055	19.6	0.785	2.64	56.2	0.283	20.6	<0,010	2.74
04V006	3.59	0.478	0.071	1.62	1.50	0.055	16.4	1.11	4.72	48.2	0.237	20.6	<0,010	2.68
04V007	3.66	0.492	0.076	0.942	1.16	0.058	18.0	0.531	3.65	51.1	0.174	39.0	0.014	2.85
04V008	6.66	0.633	0.065	2.11	1.52	0.103	28.2	0.608	73.3	61.0	0.161	30.9	0.018	3.21
04V009	5.04	0.495	0.034	1.90	0.976	0.093	19.2	0.287	112	49.6	0.069	16.1	0.011	3.11
04V010	4.22	0.447	0.030	2.18	0.808	0.068	14.0	<0,192	98.4	40.2	<0,048	9.37	0.015	2.78
04V011	4.97	0.478	0.026	1.95	0.932	0.108	18.6	0.317	142	53.3	<0,048	22.9	0.031	3.04



Mynd 11: Niðurstöður mælinga á einstökum efnum í Skeiðarárhlaupi í október/nóvember 2004.



Niðurstöður mælinga á einstökum efnum í Skeiðarárhlaupi í október/nóvember 2004 frh.

Tafla 5: Leiðni í helstu vatnsföllum á Skeiðarársandi dagana 4.–5. nóvember.

Vatnsfall	Tími	Hnit (WGS-84)	leiðni μS/sm	Hitastig C
Núpsvötn, vestur	4.11.2004 14:37	63°57,355 17°27,963	181	20.3
Núpsvötn, austur	4.11.2004 14:43	63°57,360 17°28,202	248	19.7
Gígja	4.11.2004 14:55	63°56,354 17°21,887	341	19.8
Skeiðará, vestur við mæli	4.11.2004 15:20	63°58,498 17°00,880	414	20.0
Skeiðará, austur	4.11.2004 15:30	63°58,509 16°59,944	371	20.3
Skeiðará, vestur við mæli	4.11.2004 20:50	63°58,498 17°00,880	432	16.7
Núpsvötn, vestur	5.11.2004 14:15	63°57,355 17°27,963	141	19.8
Núpsvötn, austur	5.11.2004 14:10	63°57,360 17°28,202	190	20.6
Gígja	5.11.2004 14:03	63°56,354 17°21,887	356	21.1
Skeiðará, vestur við mæli	5.11.2004 13:20	63°58,498 17°00,880	432	21.6
Skeiðará, miðja	5.11.2004 13:12	63°58,503 17°00,563	422	21.3
Skeiðará, austur	5.11.2004 13:00	63°58,509 16°59,944	141	19.8

Tafla 6: Næmi efnagreiningaraðferða og hlutfallsleg skekkja milli mælinga

Efni	Næmi	Skekkja og/eða hlutfallsleg skekkja
Leiðni	μS/cm	± 1.0
T°C	°C	± 0,1
pH		± 0,05
	μmól/l	
SiO ₂ ICP-AES (SGAB)	1.00	4%
Na ICP-AES (SGAB)	4.35	4%
K ICP-AES (SGAB)	10.2	4%
Ca ICP-AES (SGAB)	2.50	4%
Mg ICP-AES (SGAB)	3.70	4%
Alk.		3%
CO ₂		3%
SO ₄ Jónaskilja (JHI)	0.520	5%
SO ₄ ICP-AES (SGAB)	1.67	15%
Cl	28.2	5%
F	1.05	20-30 μg/l ±10% >30μg/l ±3%
P ICP-MS (SGAB)	0.032	3%
B ICP-AES (SGAB)	0.925	
B ICP-MS (SGAB)	0.037	
Sr ICP-MS (SGAB)	0.023	4%
Ti ICP-MS (SGAB)	0.002	4%
Fe ICP-AES (SAGB)	0.143	10%
	nmól/l	
Mn ICP-MS (SGAB)	0.546	8%
Al ICP-MS (SGAB)	7.412	12%
As ICP-MS (SGAB)	0.667	9%
Cr ICP-MS (SGAB)	0.192	9%
Ba ICP-MS (SGAB)	0.073	6%
Fe ICP-MS (SAGB)	7.162	4%
Co ICP-MS (SGAB)	0.058	8%
Ni ICP-MS (SGAB)	0.852	8%
Cu ICP-MS (SGAB)	1.574	8%
Zn ICP-MS (SGAB)	3.059	12%
Mo ICP-MS (SGAB)	0.521	12%
Cd ICP-MS (SGAB)	0.018	9%
Hg ICP-AF (SGAB)	0.010	4%
Pb ICP-MS (SGAB)	0.048	8%
V ICP-MS (SGAB)	0.098	5%
Sn ICP-MS (SGAB)	0.421	10%
Sb ICP-MS (SGAB)	0.082	15%

6 SAMANTEKT

Hlaup hófst í Skeiðará að kvöldi 28. október 2004 og hófst gos í Grímsvötnum þann 1. nóvember sem stóð fram til 6. nóvember. Teymi frá Vatnamælingum og Jarðvísindastofnun Háskóla Íslands var komið að Skeiðará 30. október og tóku vísindamenn svifaurs- og efnasýni fyrsta daginn og rennslismældu í fyrsta skipti þann 31. október. Alls voru tekin 10 svifaursýni og 11 efnasýni, en rennsli var mælt í sjö skipti, síðast þann 4. nóvember. Í þessari skýrslu eru birtar niðurstöður sýnagreininga og rennslismælinga, auk þess sem sýndar eru breytingar á vatnshæð og leiðni samkvæmt skynjurum Vatnamælinga sem eru staðsettir á vesturhluta Skeiðarárbrúar.

6.1 Rennsli

Rennslismælt var af Skeiðarárbrú í sjö skipti með rekmælingum frá 31. október til 4. nóvember. Til að reikna rennslisferil hlaupsins var notað líkan VM fyrir rennsli Skeiðarár í Grímsvatnahlaupum en það byggist á að vöxtur og hnignun hlaupsins fylgi vísisfalli. Tvöföldunartíminn í vexti hlaupsins reyndist vera rúmar 19 klst. og helmingunartíminn í hnignuninni mældist tæpar 10 klst, en þetta er miklu hraðari vöxtur og hnignun en áður hefur mælt í venjulegum Grímsvatnahlaupum. Samkvæmt líkaninu hefur hámarksrennsli Skeiðarár verið um $3300 \text{ m}^3/\text{s}$ klukkan 16:40 þann 2. nóvember 2004, en rennslið var komið niður fyrir $500 \text{ m}^3/\text{s}$ þegar að kvöldi 3. nóvember 2004. Rennsli í lok hlaupsins virðist hafa minnkað mun hægar en í hefðbundnum Skeiðarárhlaupum og virðist hlaupvatn hafa runnið fram á sandinn fram í byrjun desember. Heildarrúmmál hlaupvatns sem kom fram á Skeiðarársandi áætlast $0,80 \text{ km}^3$ á tímabilinu frá kvöldi 28. október 2004 til 6. desember 2004. Af þessu rúmmáli komu $0,45 \text{ km}^3$ fram á tímabilinu frá upphafi hlaupsins til 3. nóvember 2004 klukkan 20:15, áður en áhrifa gossins í Grímsvötnum fór að gæta. Samkvæmt þessu gætu því hafa runnið fram á Skeiðarársandi $0,35 \text{ km}^3$ bræðsluvatns vegna gossins.

6.2 Samfelldar vatnshæðar- og rafleiðnimælingar

Vatnamælingar hafa rekið vatnshæðarmæli við Skeiðará fyrir Vegagerðina frá árinu 1998 og er nú til viðbótar við vatnshæð mæld rafleiðni og hitastig í vatni og lofti. Samkvæmt þessum mælum tók vatn við mælinn að hækka rétt fyrir miðnætti 29. október, en rafleiðni hafði aukist fyrr um daginn og var komin í um $300 \mu\text{S}/\text{cm}$, úr um $200 \mu\text{S}/\text{cm}$ þann 25. október (mynd 4). Því miður eru ekki til samfelldar leiðnimælingar dagana fyrir hlaup þar sem mælirinn fór upp úr vatni þann 25. vegna lækkunar vatnsborðs í kjölfar kuldakasts. Áberandi hlauptoppur er í vatnshæð í álnum sem skynjarinn er í frá aðfaranótt 30. október og fram til 4. nóvember þegar vatn náði aftur sömu hæð og fyrir hlaup. Greinilegur leiðnitoppur sést einnig í upphafi hlaupsins en svo virðist sem leiðniskynjarinn ruglist þegar hlaupið rénar og því er hinn mikli breytileiki sem sést í leiðnigildum fram til 7. nóvember ekki marktækur. Tveir leiðnitoppur sjást eftir aðalhlauptoppinn sem bendir til að jarðhitavatn hafi borist í Skeiðará í nokkrar vikur eftir hlaup. Litlir púlsar í vatnshæð samtímis leiðnitoppunum styrkja þessa túlkun.

6.3 Svifaursmælingar

Tíu svifaurskýni voru tekin úr Skeiðará frá 30. október til 5. nóvember og í þeim mældur heildarstyrkur svifaurs og uppleystra efna $<0,45 \mu\text{m}$, auk þess sem í þeim var greind kornastærð. Langstærstur hluti sýnanna var af kornastærðinni mélu ($0,002\text{--}0,02 \text{ mm}$), eða um 40 til 80% af heildarþyngd sýnanna, en minnst af sandi ($>0,2 \text{ mm}$) sem var 5% eða minni í yfir helmingi sýnanna (mynd 6). Fínmór ($0,02\text{--}0,06 \text{ mm}$) var næstalgengasta kornastærðin og þar á eftir grófmór ($0,06\text{--}0,2 \text{ mm}$) sem var frá um 5% til tæplega 20% af heildarþyngd. Mikill breytileiki var á hegðun kornastærðarflokka innan hlaupsins og var töluverður munur á því hvort skoðað væri hlutfall þeirra eða raunstyrkur flokkanna. Þannig var hlutfall mélu nokkuð lægra í sýnunum í kringum hlauptoppinn miðað við flest önnur sýni, en hins vegar var raunstyrkur mélu töluvert hærri í hlauptoppsýnum en sýnum sem tekin voru við lægra rennsli (mynd 6).

Heildarstyrkur svifaurs breyttist mikið yfir hlaupferilinn og var hann minnstur tæplega 4000 mg/l , en fór mest upp í tæpa 12000 mg/l nálægt hámarki hlaupsins. Töluvert hærri svifaursstyrkur var í sýnum sem tekin voru í upphafi hlaupsins en þeirra sýna sem tekin voru þegar hlaupið var í rénun þó að rennsli samkvæmt rennslisferli hafi verið svipað. Að auki skera tvö sýni sig aðeins úr hvað varðar heildarstyrk svifaurs, þ.e. fyrsta sýnið, sem hefur frekar háan styrk (tæplega 10000 mg/l) og kvöldsýnið frá 1. nóember sem hefur lágan styrk (tæplega 4000 mg/l). Þessi breytileiki veldur því að svifaursstyrkur fylgir rennsli ekki vel ($R^2=0,20$) fyrr en búið er að taka þessi tvö sýni út ($R^2=0,80$). Mun betri fylgni er með svifaursframburði og rennsli enda er framburður ekki sjálfstæð breyta. Ef tekin eru öll sýnin er fylgnin (R^2) $0,81$ en nær $0,96$ ef sömu tvö sýni eru tekin út.

Heildarframburður svifaurs í hlaupinu voru um $4,9$ milljónir tonna ef reiknaður er framburður fyrir allt hlaupið frá 29. október til 7. desember. Ef aðeins er reiknaður framburður fyrir hlaup tímamann fram til 5. nóvember lækkar framburður um $0,9$ milljónir tonna.

6.4 Efnagreiningar

Efnasýnum var safnað nálægt vatnshæðar- og leiðnimæli á Skeiðarárbrú frá laugardagskvöldi 30. október til fimmtudags 4. nóvember. Í þessum sýnum voru reikulir þættir ákvarðaðir á staðnum (pH, basavirkni, leiðni, uppleyst súrefni og H_2S). Helstu an- og katjónir, snefilefni og þungmálmur ásamt lífrænum aurburði voru síðar efnagreindar á rannsóknarstofu.

Heildarstyrkur uppleystra efna jókst jafnt og þétt frá upphafi mælinga til kvölds þann 1. nóvember. Heildarstyrkur hafði fallið að morgni 2. nóvember frá kvöldinu áður en náði svo hámarki í kvöldsýni þann 2. nóvember stuttu eftir að flóðtoppur kom. Styrkur uppleystra efna féll hratt eftir það en náði nokkru jafnvægi þangað til sýnatöku var hætt. Greinileg eldgosaáhrif (t.d. aukið flúor, brennisteinn og kvikasilfur) mældust í vatninu eftir að flóðtoppur kom fram. Flúor, brennisteinn og kvikasilfur hegðuðu sér með svipuðum hætti í Skeiðarárhlaupi 1996 í kjölfar Gjálpargoss (Gíslason o.fl. 2002).

7 HEIMILDIR

Árni Snorrason, Páll Jónsson, Svanur Pálsson, Sigvaldi Árnason, Oddur Sigurðsson, Skúli Víkingsson, Ásgeir Sigurðsson og Snorri Zóphóníasson 1997. Hlaupið á Skeiðarársandi haustið 1996. Útbreiðsla, rennsli og aurburður. Í: Hreinn Haraldsson (ritstj.), *Vatnajökull. Gos og hlaup 1996*. Reykjavík, Vegagerðin, 79–137.

Árni Snorrason, Páll Jónsson, Oddur Sigurðsson, Svanur Pálsson, Sigvaldi Árnason, Skúli Víkingsson og Ingibjörg Kaldal 2002. November 1996 jökulhlaup on Skeiðarársandur outwash plain, Iceland. *Flood and megaflood processes and deposits : recent and ancient examples*. Blackwell Science Special Publication 23, International Association of Sedimentologists, 55-65.

Bjarni Kristinsson, Snorri Zóphóníasson, Svanur Pálsson og Hrefna Kristmannsdóttir 1986. *Hlaup á Skeiðarársandi 1986*. Orkustofnun, OS-86080/VOD-23 B, 42 s.

Haukur Tómasson, Svanur Pálsson og Páll Ingólfsson 1980. Comparison of Sediment load Transport in the Skeiðará Jökulhlaups in 1972 and 1976. *Jökull* 30, 21-33.

Haukur Tómasson, Sigurjón Rist, Svanur Pálsson og Hrefna Kristmannsdóttir 1985. *Skeiðarárhlaup 1983. Rennsli, aurburður og efnainnihald*. Orkustofnun, OS-85041/VOD-18 B, 27 s.

Hreinn Haraldsson (ritstj.) 1997. *Vatnajökull. Gos og hlaup 1996*. Reykjavík, Vegagerðin, 184 s.

Oddur Sigurðsson og Jórunn Harðardóttir 2004. *Samanburður rennslismælinga á Skeiðarársandi og niðurstöður mælinga á rennsli, svifaurstyrk og efnainnihaldi í Skeiðará, Gígjukvísl og Súlu þann 22. apríl 2004*. Orkustofnun, Greinargerð, OSig/JHa-2004/01, 6 s.

Plummer, N.L. og Busenberg, E. 1982. The solubility of calcite, aragonite and vaterite in CO₂-H₂O solutions between 0 and 90°C, and an evaluation of the aqueous model for the system CaCO₃-CO₂-H₂O. *Geochemica et Cosmochemica Acta* 46, 1011–1140.

Gíslason S. R., Snorrason Á., Kristmannsdóttir H. K., Sveinbjörnsdóttir Á. E., Torsander P., Ólafsson J., Castet S. og Durpé B. 2002. Effects of volcanic eruptions on the CO₂ content of the atmosphere and the oceans: the 1996 eruption and flood within the Vatnajökull Glacier, Iceland. *Chemical Geology* 190, 181-205. Editors' Choice, Science 298, p. 1681.

Stefán Arnórsson 2000. *Isotopic and chemical Techniques in geothermal exploration, development and use*. Vienna, International Atomic Energy Agency, 351 s.

Stefán Arnórsson, Sven Sigurdsson og Hörður Svavarsson 1982. The chemistry of geothermal waters in Iceland. I. Calculation of aqueous speciations from 0° to 370°C. *Geochimica et Cosmochemica Acta* 46, 1513–1532.

Svanur Pálsson, Snorri Zóphóniasson, Oddur Sigurðsson, Hrefna Kristmannsdóttir og Hákon Aðalsteinsson 1992. *Skeiðarárhlaup og framhlaup Skeiðarárjökuls 1991*. Orkustofnun, OS-92035/VOD-09 B, 41 s.

Svanur Pálsson, Snorri Zóphóniasson, Hrefna Kristmannsdóttir og Páll Jónsson 1999. *Grímsvatnahlaupið fyrra 1996*. Orkustofnun OS-99115, 26 s.

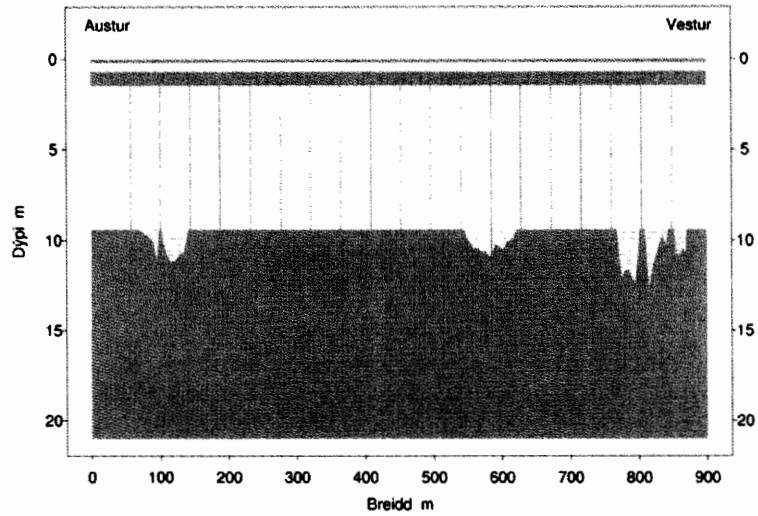
Svanur Pálsson og Guðmundur G. Vigfússon 2000. *Leiðbeiningar um mælingar á svifaur og úrvinnslu gagna*. Orkustofnun, Greinargerð, SvP-GHV-2000/02, 12 s.

Sweeton, R.H., Mesmer, R.E. og Baes, C.R. Jr. 1974. Acidity measurements at elevated temperatures. VII. Dissociation of water. *J. Soln. Chem.* 3, 191–214.

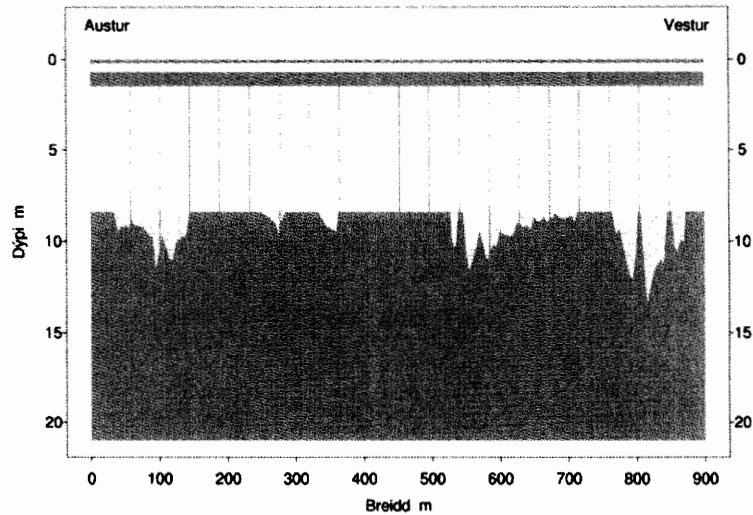
Viðauki.

Dýptarsnið við Skeiðarárbrú samkvæmt rennismælingum í 2004 hlaupi. Lóðréttu línurnar tákna brúarstólpa og 0-dýpi miðast við brúarhandrið.

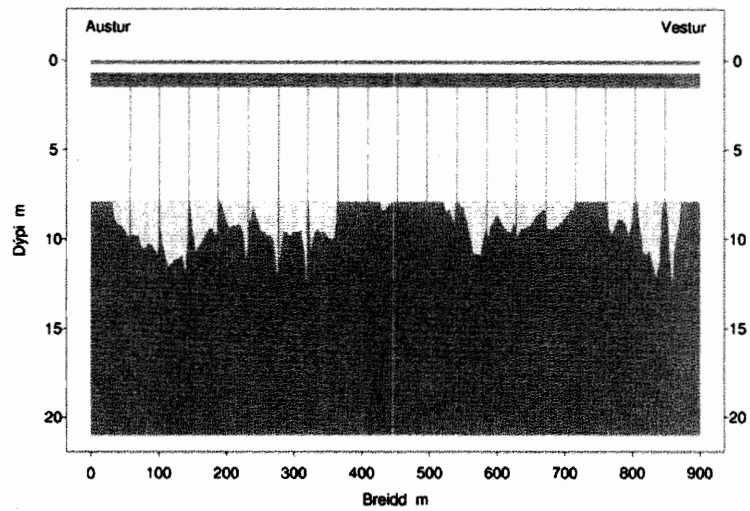
Skeiðará, 31. október 2004 kl. 14:00. Rennsli 524 m³/s.



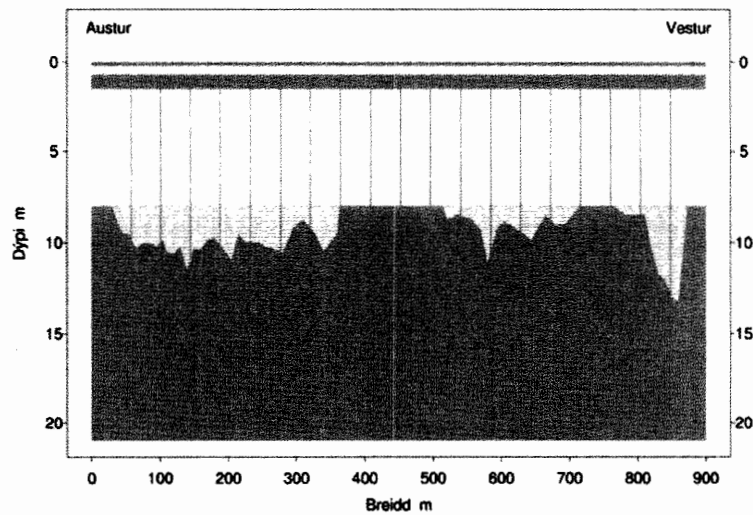
Skeiðará, 1. nóvember 2004 kl. 16:00. Rennsli 1435 m³/s.



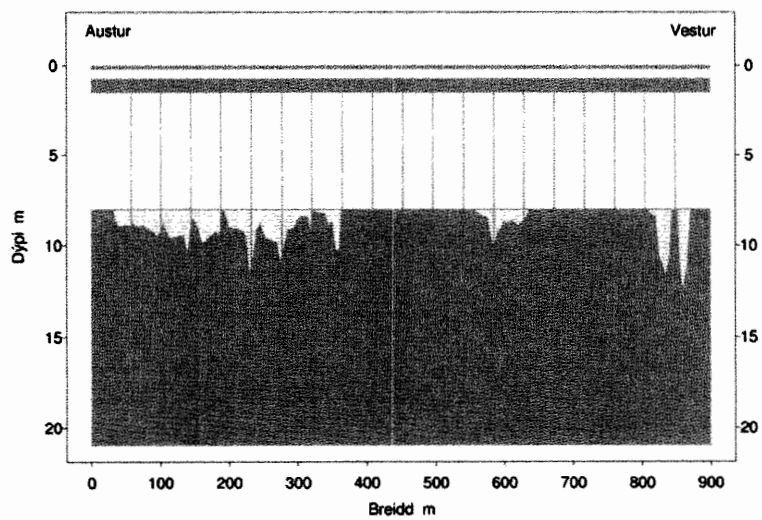
Skeiðará, 2. nóvember 2004 kl. 12:00. Rennsli 2740 m³/s.



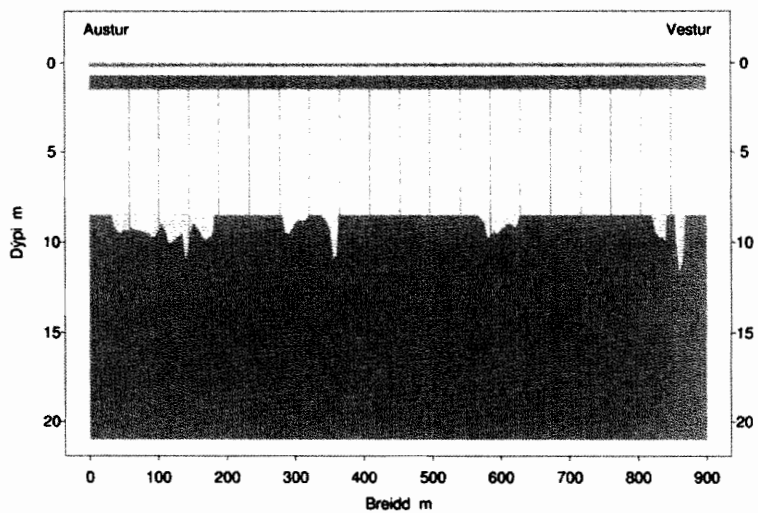
Skeiðará, 2. nóvember 2004 kl. 19:30. Rennsli 2617 m³/s.



Skeiðará, 3. nóvember 2004 kl. 11:30. Rennsli 1027 m³/s.



Skeiðará, 3. nóvember 2004 kl. 17:00. Rennsli 528 m³/s.



Skeiðará, 4. nóvember 2004 kl. 11:30. Rennsli 450 m³/s.

