



ORKUSTOFNUN

Rannsóknasvið

Ferilprófun á Mývatnssvæðinu

Hrefna Kristmannsdóttir
Steinunn Hauksdóttir
Guðni Axelsson
Magnús Ólafsson
Halldór Ármannsson

Unnið fyrir Landsvirkjun

1999

OS-99028



Skýrsla nr: OS-OS-99028	Dags: Apríl 1999	Dreifing: <input checked="" type="checkbox"/> Opin <input type="checkbox"/> Lokuð til
Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill: FERILPRÓFUN Á MÝVATNSSVÆÐINU		Upplag: 40
		Fjöldi síðna: 48
Höfundar: Hrefna Kristmannsdóttir, Steinunn Hauksdóttir Guðni Axelsson, Magnús Ólafsson, Halldór Ármannsson		Verkefnisstjóri: Hrefna Kristmannsdóttir
Gerð skýrslu / Verkstig: Grunnvatnsrannsókn, ferilprófun		Verknúmer: 8-760133
Unnið fyrir: Landsvirkjun		
Samvinnuaðilar:		
Útdráttur: Í skýrslunni er gerð grein fyrir framkvæmd og niðurstöðum ferilprófana á Kröflu- og Námafjalls- svæðum sumarið 1998 og samanburði við ferilprófanir frá 1981-1982. Megintilgangur verksins var að fá sem gleggsta mynd af rennislíðum affallsvatns frá virkjunum á þessum svæðum, ekki síst m.t.t. þess hversu lengi affallsvatn er á leiðinni til Mývatns og styrks hugsanlegra spilliefna. Gerðar voru fjórar prófanir, þrjár með niðursetningu ferilefna í affallssvelg frá lóninu í Bjarnarflagi og ein í affallssvelg Hlíðardalslækjar í Búrfellshrauni. Notuð voru ferilefnin rhódamín WT, Na-flúoreschein og kalíumjodíð. Gögn frá mælingunum 1998, bæði um endurheimtu ferilefna og grunnvatnsrennsli, eru of takmörkuð til að hægt sé að túlka þau af nokkurri nákvæmni. Niðurstöðurnar sýna þó að ferilefnið dreifist mjög vel um allt grunnvatnskerfið, og hið sama gildir væntanlega um affalls- vatn frá virkjun í Bjarnarflagi. Mörgum atriðum er ósvarað varðandi rennislíð jarðhitaaffalls til Mývatns og rennislíferli grunnvatns frá Bjarnarflagi. Prófanirnar gáfu engar mælanlegar niður- stöður um rennsli affallsvatns frá Kröflu. Settar eru fram tillögur um þær viðbótarrannsóknir sem taldar eru nauðsynlegar varðandi þessi atriði.		
Lykilorð: Mývatn, grunnvatnsrennsli, ferilefni, flúoreschein, rhódamín, jodíð, ferilprófanir, sýnataka	ISBN-númer: 9979-68-034-2	
	Undirskrift verkefnisstjóra: <i>Hrefna Kristmannsdóttir</i>	
	Yfirfarið af: HK	



ORKUSTOFNUN
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Verknr. 8-760133

Hrefna Kristmannsdóttir
Steinunn Hauksdóttir
Guðni Axelsson
Magnús Ólafsson
Halldór Ármannsson

Ferilprófun á Mývatnssvæðinu

Unnið fyrir Landsvirkjun

OS-99028

Apríl 1999

ISBN 9979-68-034-2

ORKUSTOFNUN: Kennitala 500269-5379 - Sími 569 6000 - Fax 568 8896
Netfang os@os.is - Heimasíða <http://www.os.is>

Efnisyfirlit

1. Inngangur	5
2. Fyrri ferilprófanir	6
3. Val á ferilefni í tilraun 1998	8
4. Fyrsta ferilprófun 1998 með flúoresceini og rhódamíni	9
4.1 Niðursetning	9
4.2 Sýnataka	9
4.3 Mælingar	9
4.4 Samanburðarmælingar á rhódamín WT og Na-flúoreschein með Turner 111 fluoromæli	11
4.5 Helstu niðurstöður	13
5. Önnur ferilprófun með kalíumjodíði	21
5.1 Val á ferilefni, magn og bakgrunnur	21
5.2 Niðursetning og sýnataka	21
5.3 Mælingar	22
5.4 Helstu niðurstöður	22
6. Lokaáfangi prófana í nóvember 1998 með flúoresceini	27
6.1 Efnisval og niðursetning	27
6.2 Sýnataka	27
6.3 Mælingar og helstu niðurstöður	28
7. Túlkun á endurheimtu jodíðs	30
8. Túlkun niðurstaðna	39
9. Meginniðurstöður	42
10. Tillögur	43
11. Heimildir	44
Viðauki: Sýnatöku- og niðursetningarstaðir í Mývatnssveit	47

MYNDIR

Mynd 1. Staðir þar sem tekin hafa verið sýni til rannsókna á efnasamsetningu grunnvatns	7
Mynd 2. Vesturjaðar affallslónsins í Bjarnarflagi og afrennislækur þess	14
Mynd 3. Nærmynd af svelgnum í affallslæk Bjarnarflagslónsins	14
Mynd 4. Niðurstöður mælinga á flúoresceini á rannsóknarstofu í Kröflu sem fall af tíma fyrir hvern sýnatökustað	15-16
Mynd 5. Niðurstöður mælinga á rhódamíni á rannsóknarstofu í Kröflu sem fall af tíma fyrir hvern sýnatökustað	17-18
Mynd 6. Mælingar Orkustofnunar á styrk beggja efnanna, flúoresceins og rhódamíns, sem fall af tíma fyrir hvern sýnatökustað	19-20
Mynd 7. Mælingar á kalíumjoðíði með tíma á sýnatökustöðum	24-25
Mynd 8. Mælingar á kalíumjoðíði í Grjótagjá fram í janúar 1999	26
Mynd 9. Niðurstöður mælinga á flúoresceini á sýnatökustöðunum sex á móti tíma frá niðursetningu	29
Mynd 10. Leiðréttar mælingar á kalíumjoðíði á öllum sýnatökustöðunum	33-35
Mynd 11. Leiðréttar mælingar á kalíumjoðíði í Grjótagjá fram í janúar 1999	35
Mynd 12. Meðalgildi endurheimtu e/q fyrir alla sýnatökustaðina	35-37
Mynd 13. Samband milli hita grunnvatnsstreymis og fjarlægðar frá Bjarnarflagi	38
Mynd 14. Hraði grunnvatnsstreymisins sem fall af fjarlægð frá frá Bjarnarflagi	38
Mynd 15. Samband hitastigs grunnvatns á móti hraða grunnvatnsstreymis	38

TÖFLUR:

Tafla 1. Staðir þar sem tekin hafa verið sýni á Mývatnssvæðinu til rannsókna á grunnvatni	10
Tafla 2. Greiningar á Na- flúoresceini úr sýnum á Mývatnssvæði	12
Tafla 3. Greiningar á rhódamíni úr sýnum á Mývatnssvæði	12
Tafla 4. Samanburðarmælingar á flúoresceini og rhódamíni	13
Tafla 5. Niðurstöður mælinga á kalíumjoðíði úr sýnum á Mývatnssvæði	23
Tafla 6. Sýnatökustaðir í lokaáfangu ferilprófunar í desember 1998-janúar 1999	28
Tafla 7. Niðurstöður túlkunar endurheimtu joðíðs	31
Tafla 8. Áætlanir um endurheimtu joðíðs í Mývatni á prófunartímanum	32

1. Inngangur

Vegna virkjunarframkvæmda í Kröflu og á Námafjallssvæði er mikilvægt að fá haldgóða mynd af því hvert hugsanlegt affallsvatn frá virkjunum myndi leita, þar sem á Mývatnssvæðinu er eitt sérstæðasta og fallegasta lífríki á landinu og það er jafnframt eitt mikilvægasta ferðamannasvæði landsins. Einkum skiptir máli hvort affallsvatnið endar í Mývatni í háum styrk og hversu lengi það er á leiðinni. Landsvirkjun hefur í samvinnu við ýmsa aðila, m.a. Orkustofnun (Halldór Ármannsson, Hrefna Kristmannsdóttir og Magnús Ólafsson, 1999) stundað rannsóknir á grunnvatni á þessu svæði. Ýmsar rannsóknir sem fram hafa farið þarna tengjast einnig grunnvatnsrannsóknum (Pétur M. Jónsson, 1979; Arnþór Garðarsson og Árni Einarsson, 1991; Iðnaðarráðuneytið, 1992; Umhverfiráðuneytið, 1993a og b; Vatnaskil, 1991 og 1993).

Mælingar á rennsli og ferilprófanir, sem gerðar voru á Mývatnssvæðinu 1981-1983, gáfu mikilvægar upplýsingar um grunnvatnrennsli á svæðinu. Þeirri rannsókn var einkum beint að því að kanna afdrif affalls frá Kísiliðjunni og var ferilefnið sett í affallsvatn frá dælustöðinni við Helgavog. Var ferilefnið sett niður í hraunið sunnan við leiðsluna frá Helgavogi til Kísiliðjunnar, ásamt affalli, um 1 km frá botni Helgavogs. Einnig var þá sett niður ferilefni NA við borholu í Búrfellshrauni og fylgst með hvernig það kæmi fram í borholunni. Ferilprófunin hefði því helst átt að gefa upplýsingar um rennislisleiðir grunnvatns á norður- og vesturhluta svæðisins og frá förgunarstöðum Kísiliðjunnar á affalli. Niðurstöður frá þessum prófunum verða að teljast fremur takmarkaðar hvað varðar leiðir affallsvatns frá hugsanlegum virkjunarstöðum í Bjarnarflagi og Kröflu.

Því var ráðist í það að nýju sumarið 1998 að gera ferilprófanir á Kröflu- og Námafjallssvæði til að kanna afrennsli vatns, sem fargað væri á yfirborði þar. Haft var samráð við Hollustuvernd ríkisins um málið og fengið samþykki heilbrigðisnefndar Norðurlands fyrir því að setja efnin niður. Prófunin fór fram í þremur áföngum. Í fyrsta áfanga var sett niður ferilefni á tveimur stöðum: í fyrsta lagi í aðalniðurfall lónsins í Bjarnarflagi og í öðru lagi í svelg þar sem lækurinn frá Kröfluvirkjun (framhald Hlíðardalslækjar) hverfur í Búrfellshraun. Í tveimur síðari áföngunum var einungis sett niður ferilefni í aðalniðurfall lónsins í Bjarnarflagi, þar sem sýnt þótti að til þess að ferlun í Búrfellshrauni skilaði einhverjum niðurstöðum þyrfti að bora nokkrar grunnar borholur vestan við Búrfellshraun til sýnatöku. Margar greinargerðir hafa komið út um áætlanir og verkáfangar ferilprófananna (Hrefna Kristmannsdóttir, 1998 a,b,c; Hrefna Kristmannsdóttir, Steinunn Hauksdóttir og Guðni Axelsson, 1998; Steinunn Hauksdóttir, 1998; Steinunn Hauksdóttir og Hrefna Kristmannsdóttir, 1999; Guðni Axelsson, 1999). Í þessari skýrslu er tekið saman heildaryfirlit og niðurstöður verkefnisins ásamt tillögum um frekari athuganir.

2. Fyrri ferilprófanir

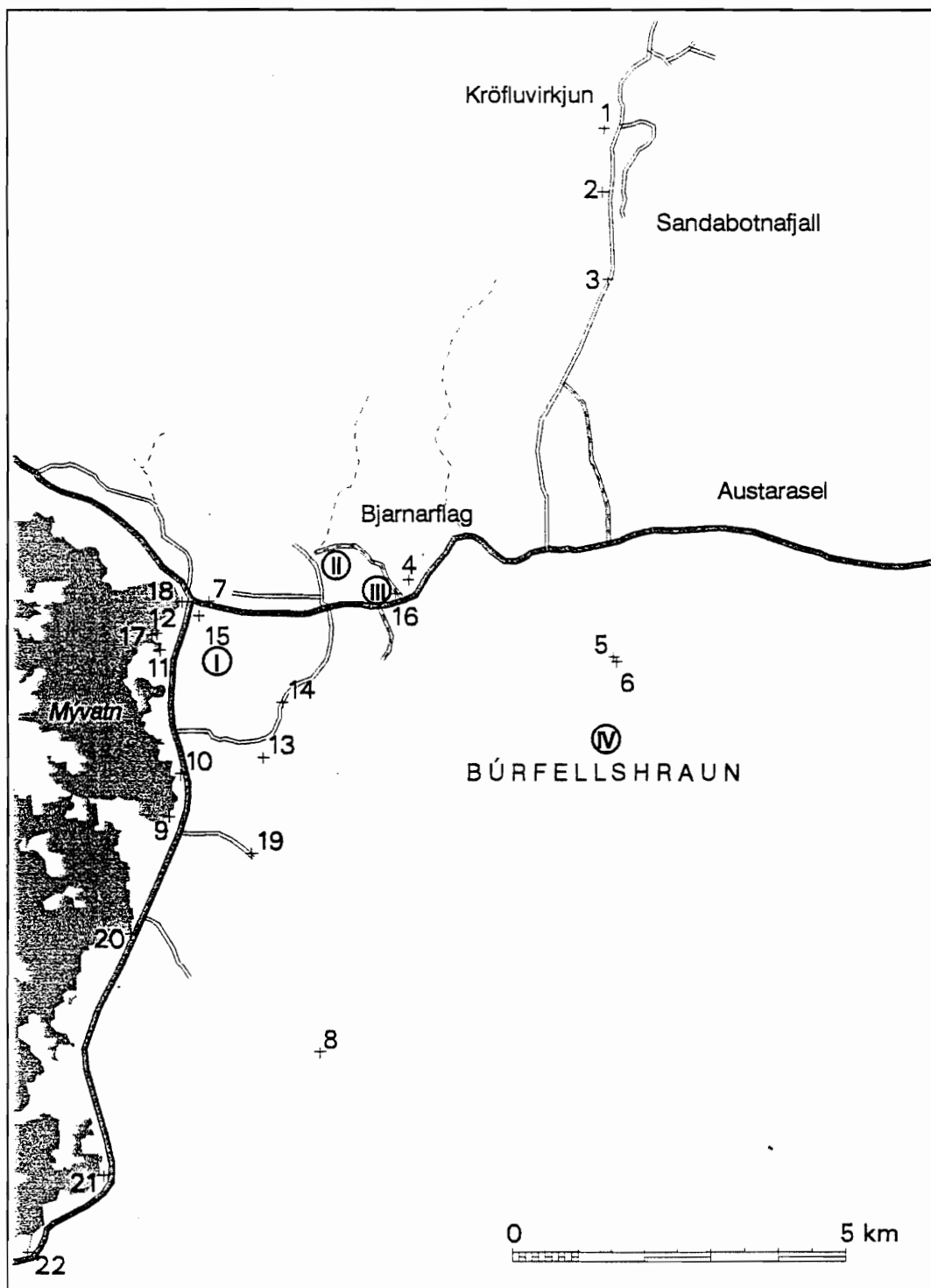
Í ferilprófun á Mývatnssvæðinu 1981 og 1982 (Þóroddur F. Þóroddsson og Guttormur Sigbjarnarson, 1983) var notað flúorescein sem ferilefni. Sú rannsókn var unnin fyrir Kísiliðjuna í Reykjahlíð og var ætlað fyrst og fremst að kanna afdrif affalls frá verksmiðjunni. Ferilprófanirnar gáfu fremur takmarkaðar upplýsingar um leiðir affallsvatns frá hugsanlegum virkjunarstöðum í Bjarnarflagi og Kröflu eins og fram kom í inngangi.

Í þessum prófunum var ferilefninu safnað í kolagildirur sem skipt var um á nokkurra daga fresti. Þannig er ekki unnt að greina endurheimtu og rennslishraða eins nákvæmlega og þegar sýnum er safnað beint til mælinga. Næmnin ætti þó að vera nokkru meiri en með beinni sýnatöku, en vegna annarra annmarka, eins og hárra gilda á blindsýnum, er ekki víst að næmnin sé neitt meiri með gildrunum.

Árið 1981 var ferilefnið sett niður í hraunið sunnan við leiðsluna frá Helgavogi til Kísiliðjunnar, ásamt affalli frá dælustöðinni við Helgavog (mynd 1), um 1 km frá botni Helgavogs. Sett voru niður 450 g af flúoresceini. Komið var fyrir nemum (kolagildru) á þremur stöðum: í Helgavogi, við Kálfstjörn og í Langavogi. Í skýrslunni kemur fram að svanir hefi fengist á öllum stöðum en yfirgnæfandi mest í Helgavogi. Nánari athugun á gögnunum sýnir þó, að mati höfunda þessarar skýrslu, að varla sé um marktæka svörun að ræða nema í Helgavogi. Árið 1982 var sett niður 1 kg af flúoresceini með affallsvatni Kísiliðjunnar norðan við hráefnisþrær hennar (mynd 1). Komið var fyrir sams konar nemum og árið áður á sex stöðum: þrem þeim sömu og árið áður og auk þess í lind í Langavogi, í Grjótagjá og í borholum Kísiliðjunnar. Helstu niðurstöður þessarar prófunar voru taldar þær að affallsvatn Kísiliðjunnar bærst suður um borholusvæði Kísiliðjunnar og þaðan bærst meginstraumurinn til Helgavogs og Kálfsstrandar. Lítið hluti rennslisins virtist berast suður til Grjótagjár og þaðan til Langavogssvæðisins. Sé litið á mæligögn í þessum prófunum sést að mjög skýr svörun er í vestari borholu Kísiliðjunnar og nokkuð ljós svörun er í Helgavogi, en á öðrum stöðum er svörun mun óljósari.

Einnig var 1981 sett niður ferilefni í Hlíðardalslæk NA við borholu í Búrfellshrauni og fylgst með hvernig það kæmi fram í borholunni. Nokkrur svörun kom fram í holunni í púlsum og var sá fyrsti eftir 10 daga (óbirt gögn frá Jóni Ólafssyni). Upplýsingar um ytri aðstæður við þessa prófun eru litlar, en ekki virðist hafa verið tekin sýni á öðrum stöðum en í holunni.

Ferilprófun 1981 gaf nánast engar upplýsingar um farveg vatns úr Búrfellshrauni. Í ferilprófun í Bjarnarflagi og á vesturhluta Mývatnssvæðis 1981 voru niðursetningarstaðir valdir miðað við affall frá aðfærsluleiðslu og hráefnisþróum Kísilgúrverksmiðjunnar, sem eru talsvert aðrir en affall frá Bjarnarflagslóni og Kröfluvirkjun. Svelgurinn frá affallslóninu í Bjarnarflagi tengist öðrum sprungukerfum og gætti veitt affallsvatni annað en affall bæði frá leiðslu og þróum Kísiliðju.



Mynd 1. Sýnatökustaðir 1997 - 1998 eru númeraðir frá 1 - 22. Einnig eru sýndir staðir þar sem ferilefni voru sett niður 1981 (I), 1982 (II) og 1998 (III).

3. Val á ferilefni í tilraun 1998

Við val á hentugum ferilefnum (Gaspar, 1987; Jón Benjamínsson, 1984) þarf að hafa að leiðarljósi að þau séu auðleysanleg, í engum eða litlum styrk fyrir í grunnvatninu og unnt að mæla þau í mjög lágum styrk. Æskilegt er að efnin séu ekki mjög dýr og einnig að mæling sé sem ódýrust þar sem fjöldi sýna verður fljótt mjög mikill. Til eru nokkur efni, sem uppfylla flest framangreind skilyrði. Um er að ræða flúrljómandi litarefni (Jón Benjamínsson, 1984) og efni eins og jodíð og brómíð, sem eru í lágum styrk í grunnvatninu en auðvelt að mæla. Geislavirk efni hafa einnig verið notuð í slíkum tilgangi en vart kemur til greina að nota þau á Mývatnssvæðinu. Algjört skilyrði er að efnin séu meinlaus lífverum í þeim styrk sem þau gætu borist út í lífkerfið. Þau efni sem helst kom til greina að nota eru flúrljómandi litarefni og kalíumjod. Flúrljómandi efnin eru NA-flúorescein, sem notað var í fyrrnefndum ferilprófunum á svæðinu, og rhódamín WT. Sá kostur er við að nota þessi tvö litarefni að þau eru mæld með sama tæki, mælitækni er svipuð fyrir bæði og auk þess tiltölulega einföld og mælingin þar af leiðandi ódýr. Na-flúorescein hefur alloft verið notað hérlandis og er ódýrt í innkaupum og fremur ódýrt og einfalt að mæla það. Rhódamín WT hefur ekki verið mikið notað hérlandis og það er nokkuð dýrt í innkaupi, en einfalt í mælingu. Flúorescein brotnar fljótt niður í birtu, en rhódamíníð er ljóspolnara. Bæði efnin aðsogast hins vegar nokkuð leir og gætu því rýrnað á leiðinni. Af túlkun niðurstaðna í eldri ferilprófun mátti þó ráða að flúoresceinið hafi þá skilað sér all-vel á a.m.k. næstu athugunarstöðum og var því talið að flúrljómandi efni gætu hentað við aðstæður þarna.

Alkalíbrómíð (natríum- og kalíumbrómíð) og alkalíjodíð eru efni sem eru auðleyst og í litlum styrk fyrir í grunnvatninu. Einnig er unnt að mæla þau í mjög lágum styrk. Jodíð er talið hentugra ferilefni en brómíð þar sem mælinæmni er meiri, minna þarf af því og bakgrunnur er lægri í grunnvatninu. Kalíumjodíð reyndist svo heldur ódýrara en natríumjodíð. Bæði jodíð og brómíð þarf að mæla á flóknari og dýrari tækjabúnaði (jónagreini) en flúrljómandi efnin. Því er ekki um að ræða að flytja þann búnað á staðinn og reka mælingar með sumarstarfsfólki. Bæði efnin eru verulega dýrari en natríumflúorescein og rhódamín WT. Kostnaðarsjónarmiðum réðu því að nota flúrljómandi efni við ferilprófanirnar, enda fyrirfram talið að það mundi reynast vel og gefa góðar niðurstöður.

4. Fyrsta ferilprófun 1998 með flúoresceini og rhódamíni

4.1 Niðursetning

Í fyrstu ferilprófuninni, sem gerð var á Mývatnssvæðinu nú s.l. sumar voru sett niður samtímis tvö mismunandi flúrljómandi ferilefni, flúorescein í affallslæk frá Kröflu í Búrfellshrauni (mynd 1) og rhódamín WT í svelt frá lóninu í Bjarnarflagi (myndir 1,2,3). Í Búrfellshrauni hverfur lækurinn frá Hlíðardalnum með affalli frá Kröflu niður í vel afmarkaðan svelt, talsvert sunnan við holuna í Búrfellshrauni, en hana átti að nota til að fylgjast með mengun frá affallsvatni. Í Bjarnarflagi rennur skiljuvatn (úr "lóninu") frá Skiljustöðinni í afmörkuðum læk og hverfur niður um sprungu ofan í hraunið. Rennsli í læknum var ekki mælt, en talið vera margir lítrar á sekúndu. Hiti vatns í læknum, þar sem hann hverfur í hraunið, mældist 33,4°C en 35,4°C í lóninu þar sem lækurinn fellur úr því, u.þ.b. 50 m austar. Óleiðrétt GPS staðsetning niðursetningastaðanna er í viðauka 1 við skýrsluna.

Efnin voru sett niður 27. júní. Settir voru niður 3 l lausn af 20 % rhódamíni WT í svelginn úr Bjarnarflagslóninu og 4,9 kg af flúoresceini í niðurfallssvelt Hlíðardalslækjar í Búrfellshrauni. Fyrirverandi starfsmaður Orkustofnunar sem þekkti til meðhöndlunar efnanna var sendur norður sérstaklega til að annast niðursetningu þeirra. Vegna mengunarhættu mega sýnatökumenn ekki koma nálægt þeim sem setur efnin niður eftir niðursetningu né heldur staðnum. Teknir voru frá tveir 100 ml brúsar af hvorri blöndu um sig til að búa til staðallausn fyrir mælingarnar.

4.2 Sýnataka

Fylgst var með dreifingu efnanna með því að taka sýni í mörgum þeim lindum og gjám, sem sýni hafa verið tekin úr í tengslum við rannsóknarverkefni Orkustofnunar og Landsvirkjunar á áhrifum eldvirkni og jarðhita á grunnvatn (Halldór Ármannsson o. fl. 1999). Sýnatökustaðirnir 16 eru sýndir á mynd 1 ásamt stöðum þar sem fylgst hefur verið með efnasamsetningu grunnvatns síðustu tvö ár. Einnig eru sýndir á myndinni þeir staðir þar sem ferilefnin voru sett niður. Í viðauka með skýrslunni eru mæld GPS hnit fyrir alla þessa staði. Í töflu 1 er listi yfir nöfn staðanna ásamt tilsvarendi númerum á myndinni. Sýnin voru tekin á 60 ml glerflöskur og efnagreindu sumarstarfsmenn Landsvirkjunar þau samdægurs, eða daginn eftir, á rannsóknarstofu í Kröfluvirkjun. Vikulega voru sýni send til Orkustofnunar og þau greind til samanburðar. Bæði efnin brotna niður í sólarljósi. Flúorescein brotnar fljótt niður í birtu, en rhódamínið er talsvert ljóspólnara. Gæta verður þess að sýnin séu geymd í algjöru myrkri fram að greiningu og þau mega helst ekki verða eldri en fjögurra daga.

4.3 Mælingar

Sýnin voru mæld í mælitæki í eigu Orkustofnunar, Turner 111 fluoromæli, sem er traust og þolir vel flutning. Sumarstarfsmenn hjá Landsvirkjun önnuðust mælingar í aðstöðu, sem sett var upp í rannsóknarstofu Kröfluvirkjunar. Þeir fengu þjálfun á Rannsóknarstofu Orkustofnunar áður en þeir fóru með tækið í Kröflustöð, þar sem mælingarnar fóru fram.

Tafla 1. *Sýnatökustaðir merktir á mynd 1.*
Sýnatökustaðir í ferilpröfun eru feitletraðir í töflunni.

1) Sandabotnalind - Tekið er úr dæluskúr í Kröflu
2) Gamla kaldavatnsholan í Kröflu, sem er 35 m djúp. Dælt er úr holunni á um 22 m d.
3) Hlíðardalslækur við Skarðssel
4) Austaraselslindir - Tekið í dæluskúr í Námafjalli
5) Hola AB-01 í Búrfellshrauni-tekið á 55 m d
6) Hlíðardalslækur við holu AB-02
7) Egilshola í Reykjahlíðarþorpi til móts við Stórugjá
8) Helgagjá sunnan Dimmuborga
9) Lind á bakka Mývatns við Vogaflóa
10) Lind á bakka Mývatns við Langavog
11) Lind á bakka Mývatns við Helgavog
12) Lind á bakka Mývatns N við Helgavog
13) Leynigjá-suðurhluti Grjótagjár við nýja baðstaðinn
14) Grjótagjá-karlagjain
15) Stóragjá við aðalop
16) Glerhallarvatn-affallslón í Bjarnarflagi rétt N vegar
17) Borhola í Helgavogi
18) Bakki Mývatns rétt neðan Bjargs
19) Hverfjallsgjá
20) Strandarvogur. Lind á bakka Mývatns
21) Grjótavogur. Lind á bakka Mývatns
22) Garðslind

Á Orkustofnun voru jafnframt gerðar vikulegar samanburðarmælingar á báðum efnunum fyrstu 7 vikunar með nákvæmara mælitæki. Meiri óreglu varð vart í mælingunum í Kröflu enda þar um daglegar mælingar að ræða og ónákvæmara tæki notað til mælinganna. Á myndum 4 og 5 eru sýndar niðurstöður mælinga í Kröflu. Eins og sést á myndunum eru miklar sveiflur og bakgrunnur virðist hár.

Á Orkustofnun voru efnin greind með Perkin Elmer 204S Spectrophotometer (Steinunn Hauksdóttir, 1998). Greiningarmörk fyrir Na-flúoreschein reyndust vera um 5 ng/l. Grunnljómun á flúoreschein er mismikil fyrir sýnatökustaðina og breytingar á þeim gildum fyrir hvern stað eru ekki marktækar. Grunnljómunargildi eru hæst í Grjótagjá, Bjargi, Egilsholu og Stórugjá en þessir sýnatökustaðir eru nálægt byggðinni í Reykjahlíð og er hér líklega um einhvers konar mengun að ræða.

Við þrjár fyrstu greiningarnar á rhódamín WT var stillingu á tækinu ábótavant sem olli því að greiningarmörk hækkuðu upp í u.þ.b. 100 ng/l. Næmni rhódamín WT greininganna reyndist vera mun minni en fyrir Na-flúoreschein greiningar og oft var ekki hægt að greina breytingu minni en 25 ng/l. Því er ekki hægt að segja að breyting á styrk rhódamíns WT fyrir hvern athugunarstað sé marktæk og er einungis um sveiflur í grunnljómun efnisins að ræða.

Niðurstöður mælinga á flúoresceini eru sýndar í töflu 2 og mælingar á rhódamíni í töflu 3. Á mynd 6 má sjá mælingar Orkustofnunar á styrk efnanna sem fall af tíma fyrir hvern sýnatökustað fyrir sig. Flúorescein styrkur er lágur og frekar stöðugur en styrkur rhódamíns virðist í fljótu bragði vera mun breytilegri. Ástæða þess eru fyrrgreind hærri og breytileg greiningarmörk rhódamíns WT. Í mælingum Orkustofnunar er því hvergi talinn mælast marktækur styrkur á hvorugu efnanna.

Eftir að mælingar höfðu staðið í rúma tvo mánuði þótti ljóst að efnin hefðu enn ekki komið fram á neinum sýnatökustaðanna í marktækum styrk, eða a.m.k. hefði ekki reynst unnt að greina efnin vegna óreglu og hás bakgrunns. Mælingum á Orkustofnun var þá hætt, en rétt þótti þó að halda áfram sýnatöku og mælingum í Kröflu um 1-2 mánaða skeið. Starfsmenn Landsvirkjunar í Kröflu héldu svo mælingunum áfram fram á haustið en tæki og áhöldum var skilað til Orkustofnunar í desember 1998.

4.4 Samanburðarmælingar á rhódamín WT og Na-flúorescein með Turner 111 fluoromæli

Við nákvæmari skoðun gagna sem safnað var í Kröflu síðsumars og fram á haust þótti ástæða að athuga hvort rhódamín WT hafi hugsanlega komið fram en hafi mælst bæði sem rhódamín WT og Na-flúorescein með Turner 111 fluoromælinum (Steinunn Hauksdóttir og Hrefna Kristmannsdóttir, 1999). Grunnlína hækkaði bæði í mælingum á rhódamín WT og Na-flúorescein með tímanum og einnig var grunnlínan mjög óregluleg (myndir 4 og 5). Há útslög sem birtust á mörgum sýnastaðanna samtímis, oft bæði í rhódamín WT og Na-flúorescein, vöktu grun um að sama efnið væri að mælast á sitt hvorri bylgjulengdinni. Ákveðið var að kanna þetta með samanburðarmælingum þar sem reynt var að mæla rhódamín WT sem bæði rhódamín WT og Na-flúorescein.

Þegar framkvæmd samanburðarmælinganna átti að hefjast á Orkustofnun var búnaður úr Kröflu tekinn upp úr kössum. Kom þá í ljós að kúvettur sem notaðar höfðu verið til mælinganna um sumarið voru mjög óhreinar, og ljóslega ekki nothæfar í því ástandi. Þær voru þvegnar úr krómsýru og skolaðar vel úr eimuðu vatni á eftir, en nokkrar óhreinar voru teknar til hliðar og notaðar til samanburðar.

Útbúnir voru staðlar af rhódamín WT samkvæmt lýsingu (Jón Benjamínsson, 1984) og þeir settir bæði í hreinar og óhreinar kúvettur. Þeir voru fyrst mældir með rhódamín lampa og síðan mældir með flúorescein lampa. Einnig voru mæld tvö sýni frá Grjótagjá (A60) og Leynigjá (B60) tekin 20. ágúst 1998. Niðurstöður mælinganna er að finna í töflu 4.

Niðurstöður samanburðargreininganna eru þær að ekki reyndist unnt að mæla rhódamín WT sem Na-flúorescein með Turner 111 fluoromælinum. Hins vegar valda óhreinindi á glösunum valda töluverðri hækkun álestursins, bæði hvað varðar rhódamín WT og Na-flúorescein mælingarnar. Mögulega eru óhreinindin einnig völd að óvæntum toppum og óreglu í grunnlínu, eins og kemur fram þegar mæld eru misjafnlega óhrein glös. Ekki mældist rhódamín WT í sýnunum tveimur.

Tafla 2. Greiningar á Na-flúorescheini úr sýnum af Mývatnssvæði (ng/l).

Dagsetning		29.6.1998	2.7.1998	9.7.1998	16.7.1998	23.7.1998	30.7.1998	6.8.1998	13.8.1998	20.8.1998
Grjótagjá	a	14	11	13	15	11	13	15	18	9
Leynigjá	b	5	7	6	4	n.d.	7	7	7	7
Hverfjall	c	n.d.	7	8	5	6	10	5	12	n.d.
Helgagjá	d	5	n.d.	2	4	n.d.	n.d.	n.d.	7	7
Garðslind	e	n.d.	14	4	n.d.	6	n.d.	n.d.	4	n.d.
Syðri Vogar	f	n.d.	5	4	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	4	n.d.
Strandavogur	g	n.d.	5	4	5	n.d.	n.d.	n.d.	4	n.d.
Vogaflói	h	n.d.	n.d.	4	4	n.d.	n.d.	7	7	6
Langivogur	i	7	n.d.	8	11	3	n.d.	5	4	n.d.
Helgavogur	j	5	5	6	5	n.d.	n.d.	7	5	4
Dælustöð	k	5	7	6	4	n.d.	n.d.	5	5	4
Bjarg	m	9	11	11	9	5	13	16	16	13
Egilshola	n	14	11	11	15	9	13	11	11	9
Stóragjá	o	9	9	11	7	5	7	15	11	13

n.d.: Undir greiningarmörkum

Tafla 3. Greiningar á rhódamíni WT úr sýnum af Mývatnssvæði (ng/l).

Dagsetning		29.6.1998	2.7.1998	9.7.1998	16.7.1998	23.7.1998	30.7.1998	6.8.1998	13.8.1998	20.8.1998
Grjótagjá	a	n.d.	n.d.	30	75	69	68	64	100	50
Leynigjá	b	n.d.	n.d.	n.d.	25	12	41	43	100	75
Hverfjall	c	n.d.	n.d.	30	50	58	55	21	75	n.d.
Helgagjá	d	n.d.	n.d.	n.d.	50	23	14	21	n.d.	n.d.
Garðslind	e	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	35	14	21	25	n.d.
Syðri Vogar	f	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	12	14	21	25	25
Strandavogur	g	n.d.	n.d.	n.d.	50	12	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Vogaflói	h	n.d.	n.d.	n.d.	50	23	27	n.d.	n.d.	n.d.
Langivogur	i	n.d.	n.d.	30	100	n.d.	n.d.	43	n.d.	n.d.
Helgavogur	j	n.d.	n.d.	n.d.	75	23	14	n.d.	25	50
Dælustöð	k	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Bjarg	m	n.d.	n.d.	n.d.	50	35	27	21	n.d.	75
Egilshola	n	n.d.	n.d.	30	75	23	55	43	125	25
Stóragjá	o	n.d.	n.d.	30	75	35	27	21	50	100

n.d.: Undir greiningarmörkum

Tafla 4. Samanburðarmælingar á flúoresceini og rhódamíni.

Staðlar ng/l nnn	Álestur rhódamín WT		Álestur Na-flúorescein	
	Hreinar kúvettur	Óhreinar kúvettur	Hreinar kúvettur	Óhreinar kúvettur
Eimað vatn	6,0		1,5	
150	12,0	29,0*	2,0	8,5*
300	17,5	18,5**	1,5	3,0**
750	34,0	46,0	1,5	6,5
1500	64,5	77,5	1,5	5,5
Sýni A60	6,0		3,0	
Sýni B60	7,0		3,0	

* Kúvetta var áberandi mikið óhrein

** Kúvetta var minna óhrein en aðrar

Ástæða þess að styrkur beggja efnanna breytist á sama hátt á hverjum sýnatökustað er því ekki vegna þess að tækið skilji illa milli efnanna heldur er líklegt að sömu glösin hafi verið notuð til mælinga á báðum efnunum og því sömu óhreinindin mæld í bæði skiptin. Það er því illmögulegt að greina milli þess að verið sé að mæla endurheimtu rhódamíns WT eða hvort um hækkun álesturs vegna óhreininda sé að ræða.

4.5 Helstu niðurstöður

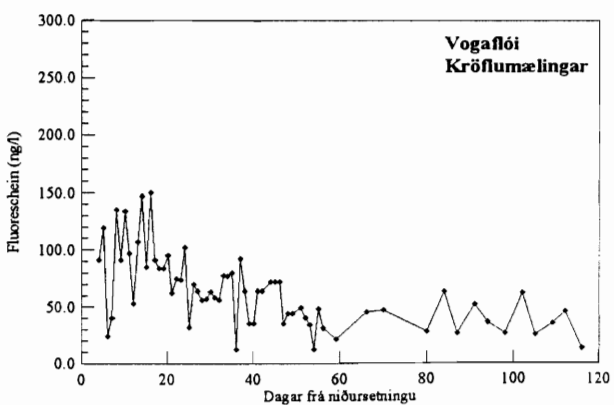
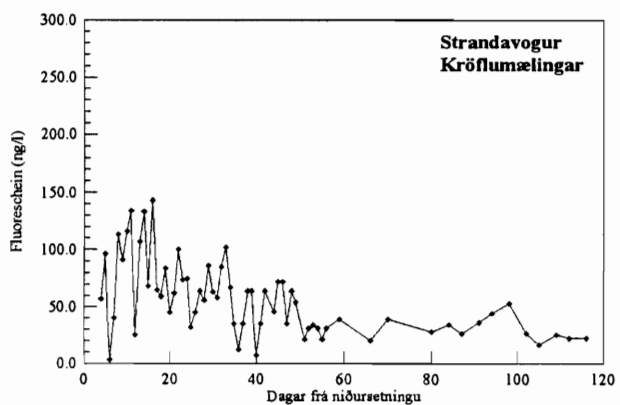
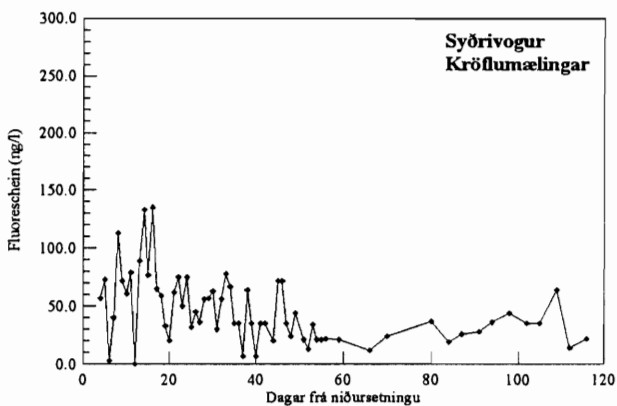
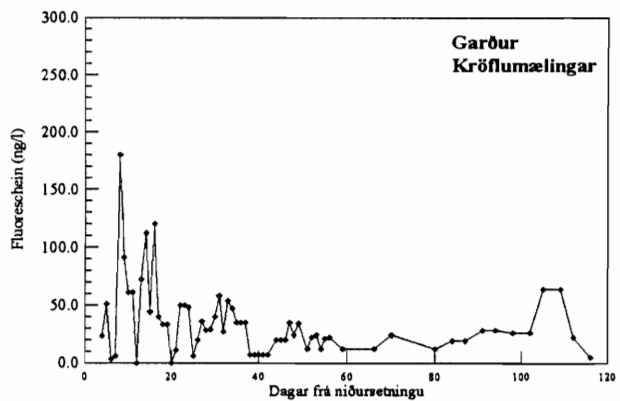
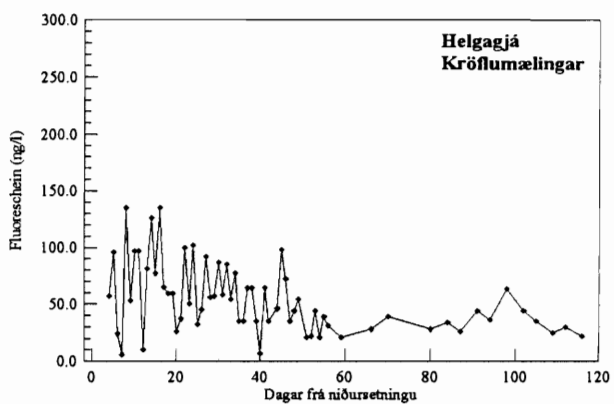
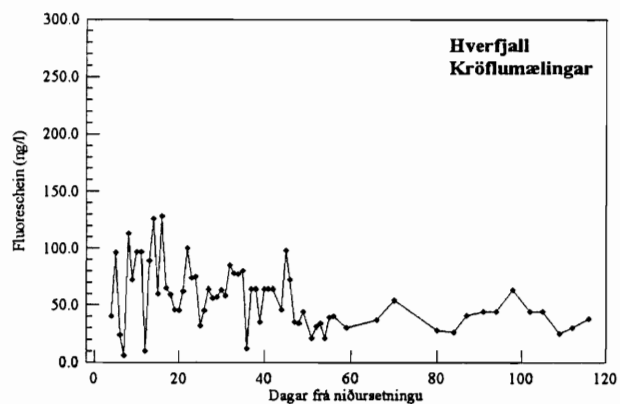
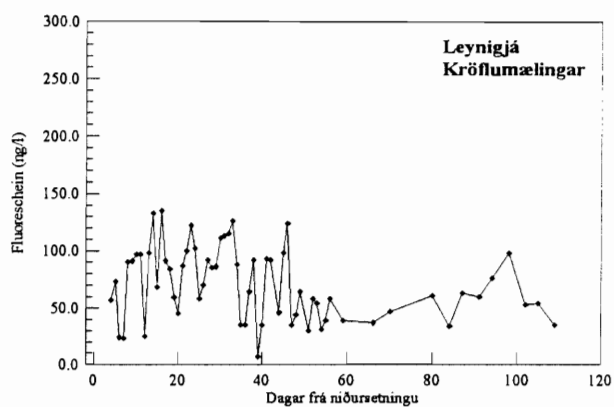
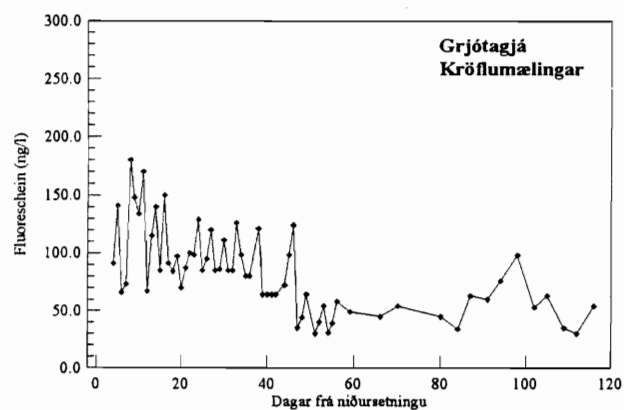
Þrátt fyrir að mistök virðist hafa átt sér stað í mælingum í Kröflu þá mældust ekki marktæk frávík í samanburðarmælingum á Orkustofnun. Þar sem þær mælingar voru einungis vikulegar gætu þó hafa komið fram toppar í styrk sem mælingarnar hafa ekki hitt á. Sérstaka óheppni virðist þó þurfa til að tapa af þeim á öllum sýnatökustöðum. Því virðist nokkuð ljóst að hvorugt efnanna skilaði sér á þeim mánuðum sem prófunin stóð yfir. Hvað flúoresheinið varðar kom það ekki mjög á óvart, þar sem mjög langt er frá niðurstetningarástandnum í Búrfellshrauni í næstu sýnatökustaði. Einnig er óvíst hvort grunnvatn rennur yfirleitt til vesturs frá Búrfellshrauni. Lagt hafði verið til að bora nokkrar athugunarholur vestan Búrfellshrauns til að geta fylgst með hugsanlegri dreifingu efnisins til vesturs, en það komst ekki í framkvæmd. Hins vegar hafði verið talið næsta öruggt að rhódamínið kæmi fram í einhverjum sýnatökustaðanna. Til að skýra það að efnið mældist ekki var einkum litð til aðsogunar á kísilgúr. Þegar fyrir 1980 varð vart við kísilþörungum í grunnvatni á Mývatnssvæðinu (Jón Ólafsson, 1979a) og líklegt að enn meiri uppsöfnun hafi átt sér stað á undanförunum tuttugu árum. Rhódamín WT aðsogast talsvert á jarðveg og einkum leir og talið að talsvert meiri hætta sé á aðsogun þess efnis en flúoresheins.



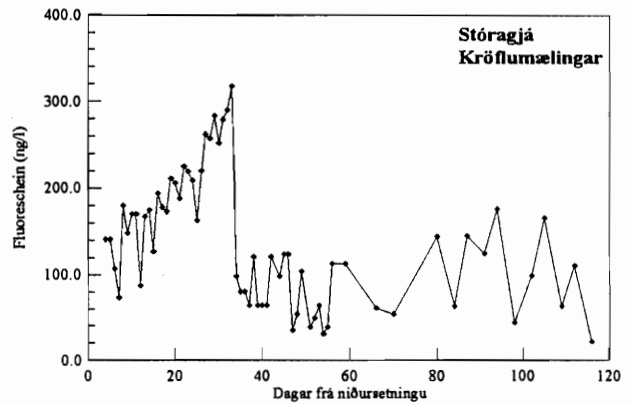
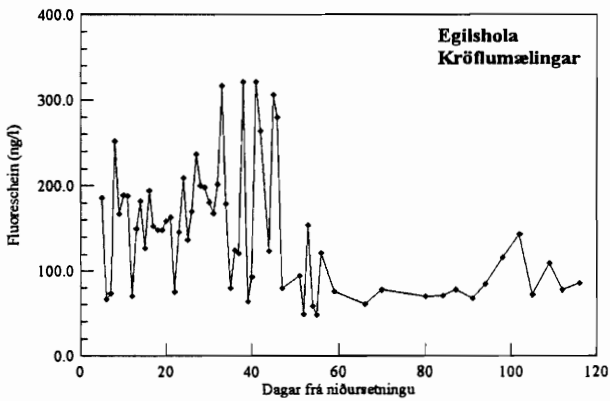
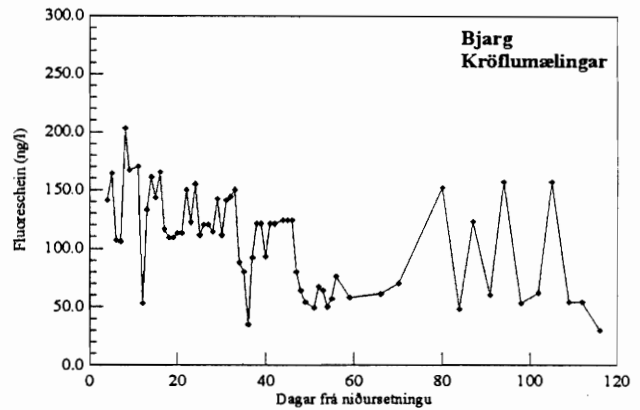
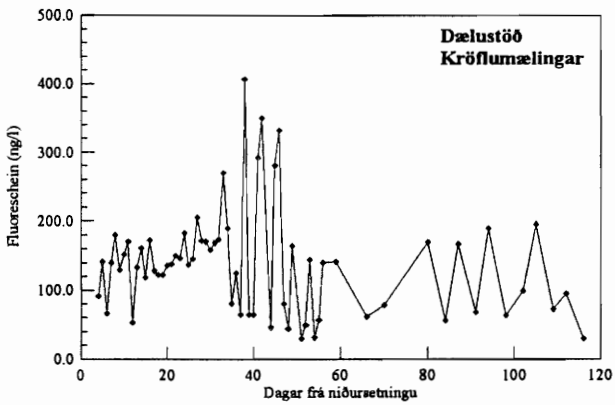
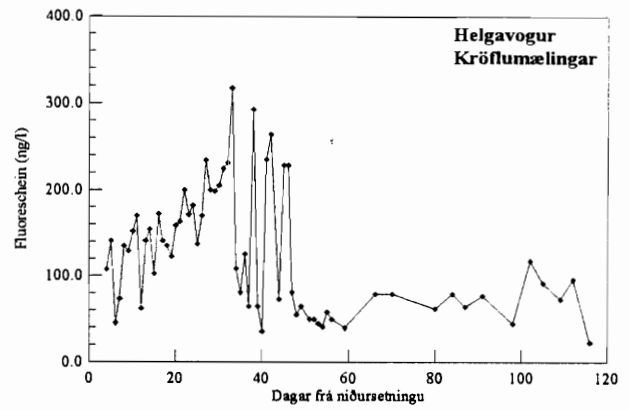
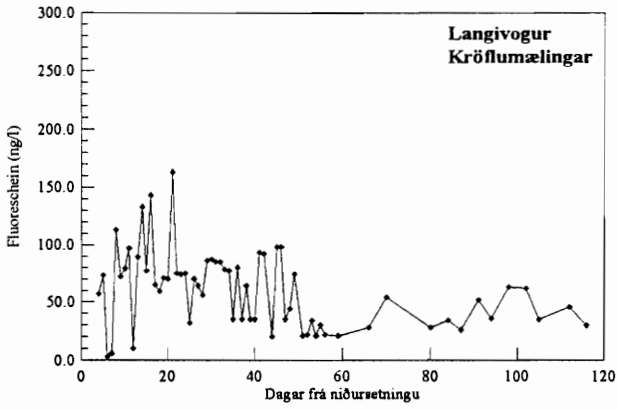
Mynd 2. Vesturjaðar affallslónsins í Bjarnarflagi og afrennislækur þess. Við svelginn þar sem lækurinn hverfur ofan í lónið sjást tveir plaststampar. *Ljós m. Magnús Ólafsson.*



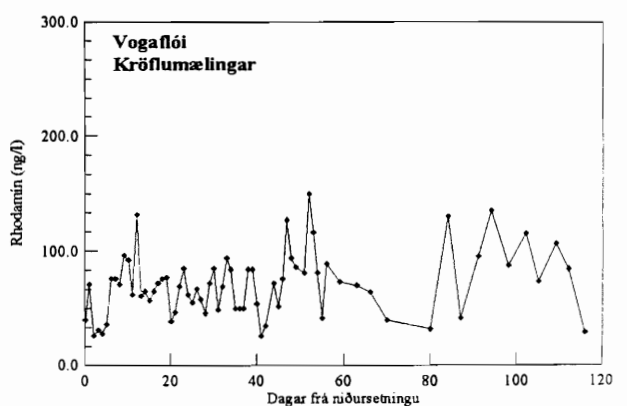
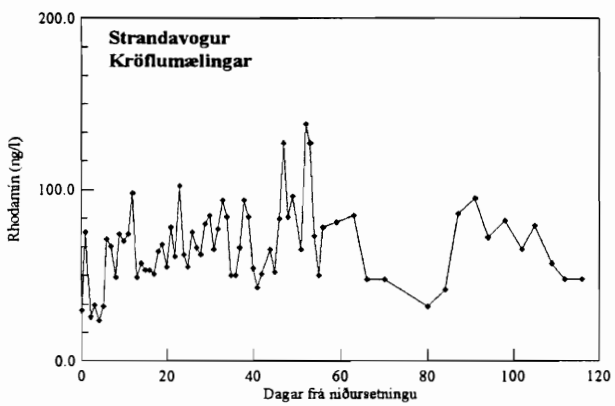
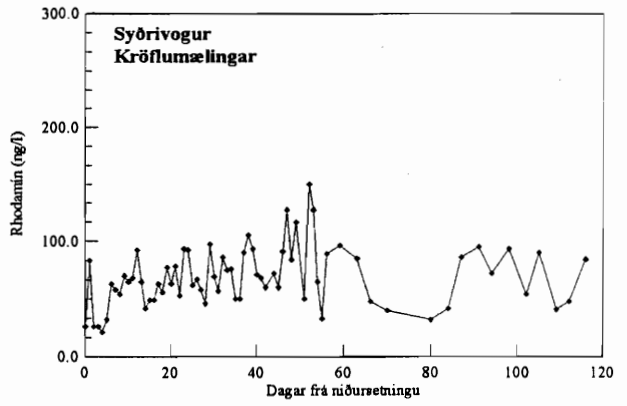
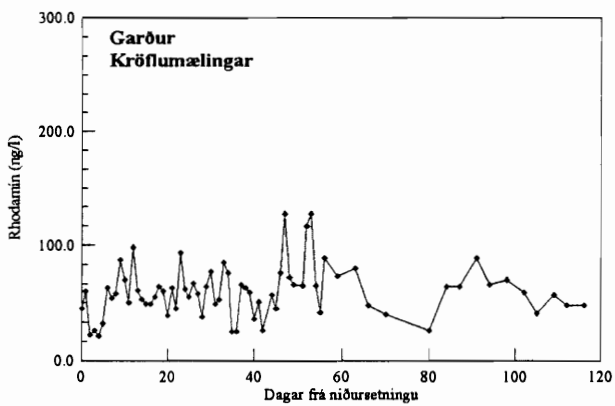
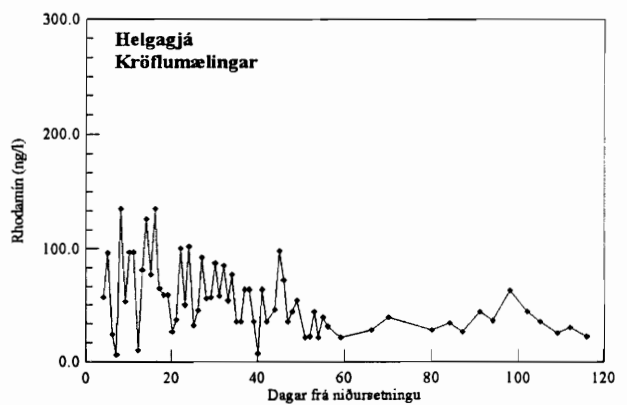
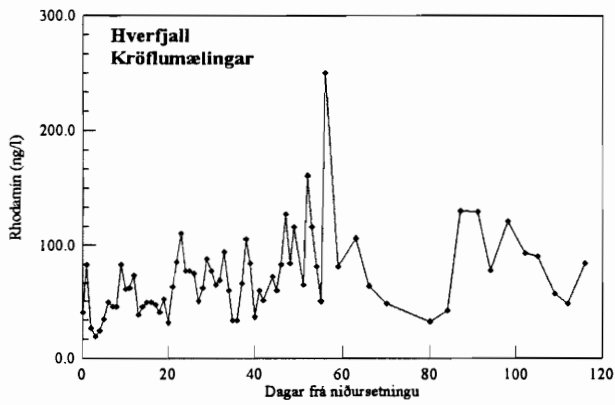
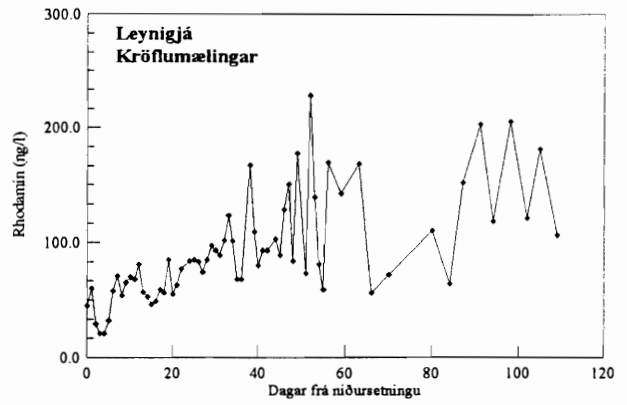
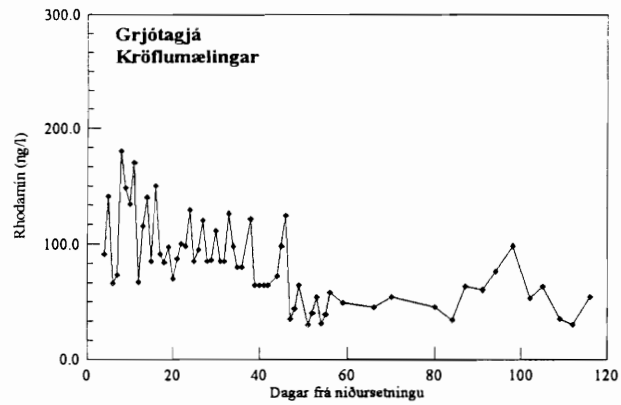
Mynd 3. Nærmynd af svelgnum í affallslæk Bjarnarflagslónsins. *Ljós m. Magnús Ólafsson.*



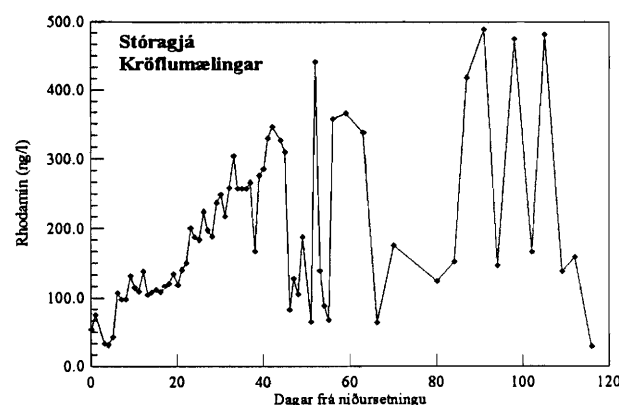
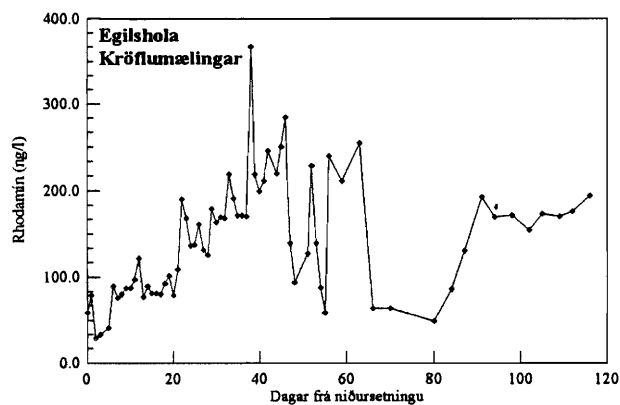
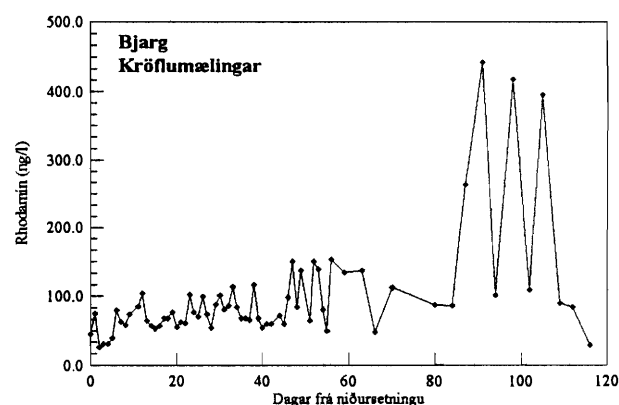
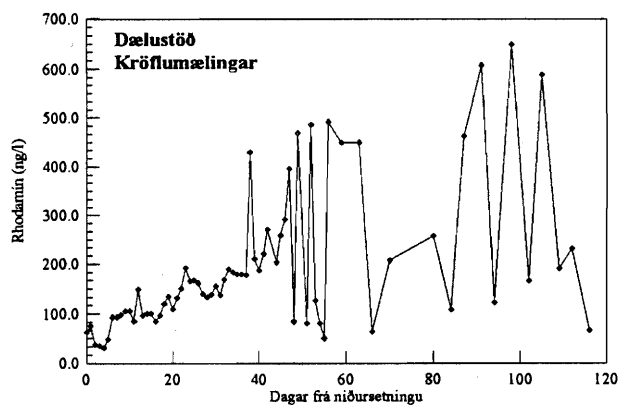
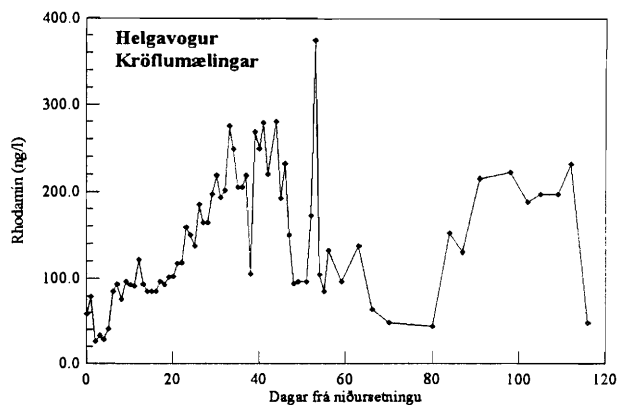
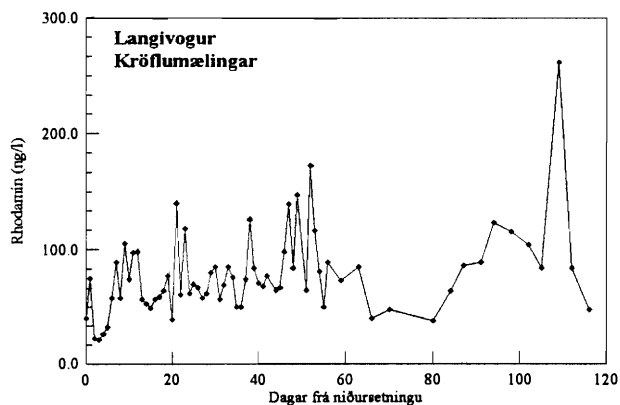
Mynd 4. Niðurstöður mælinga á flúoresceíni á rannsóknarstofu í Kröflu sem fall af tíma fyrir hvern sýnatökustað.



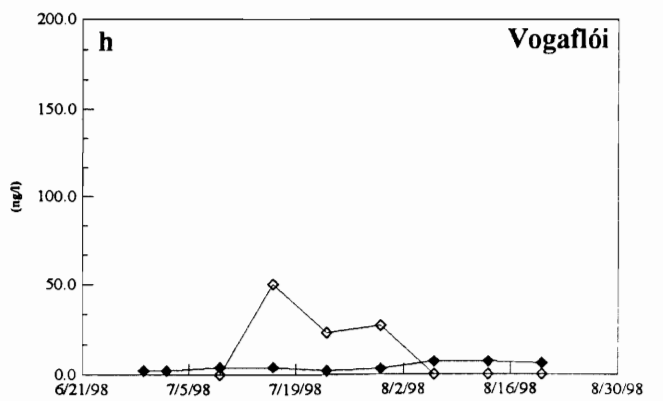
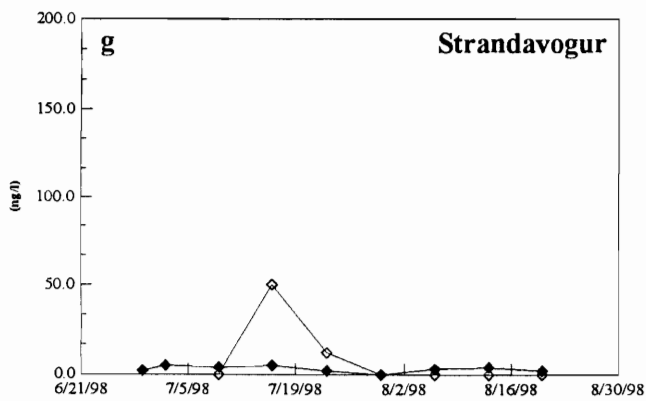
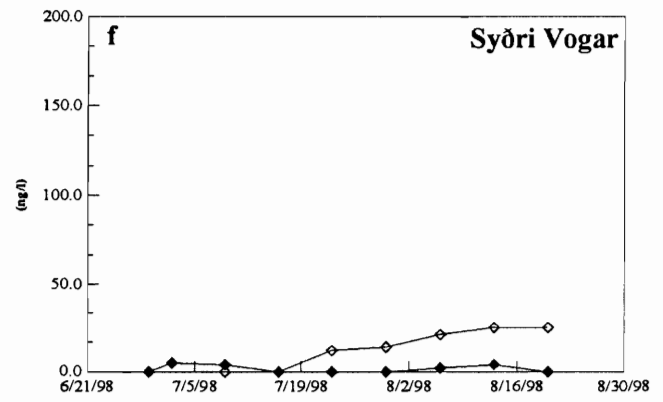
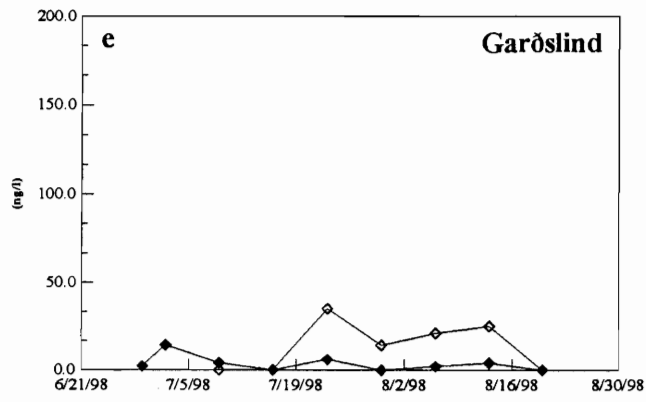
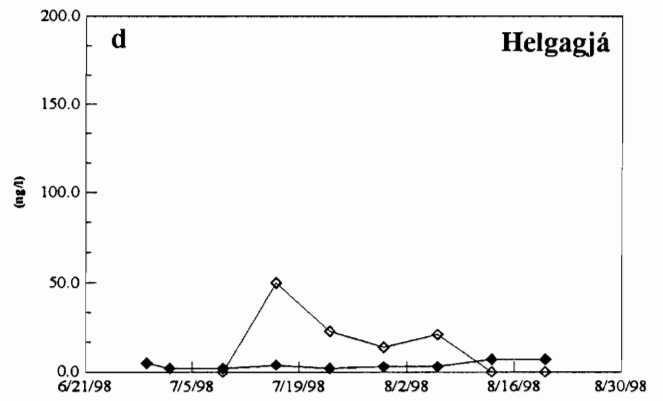
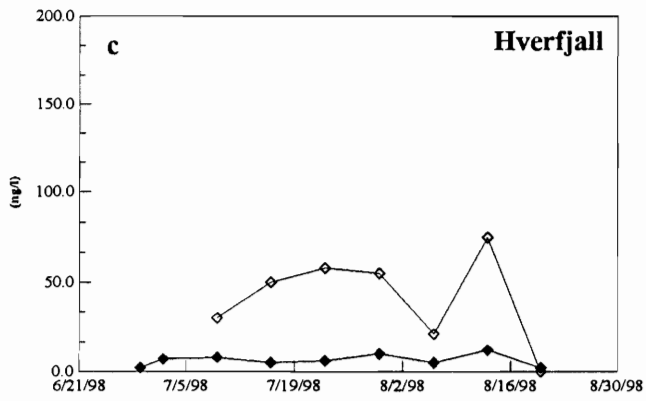
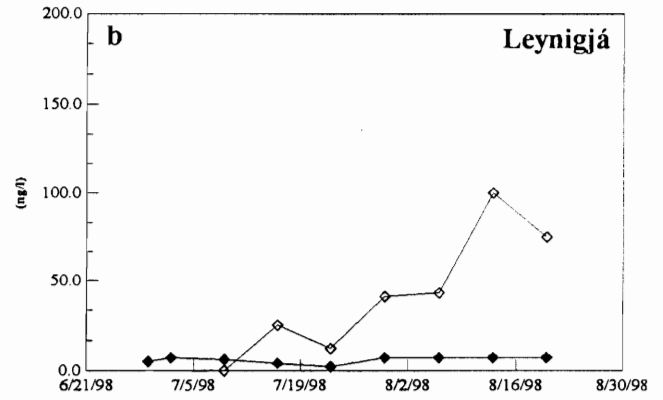
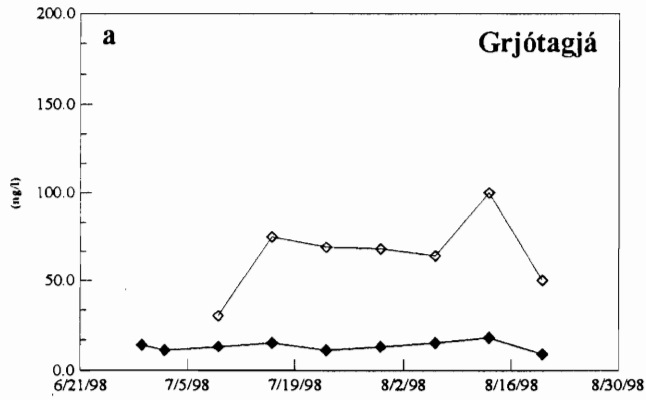
Mynd 4 frh. Niðurstöður mælinga á flúoresceini á rannsóknarstofu í Kröflu sem fall af tíma fyrir hvern sýnatökustað.



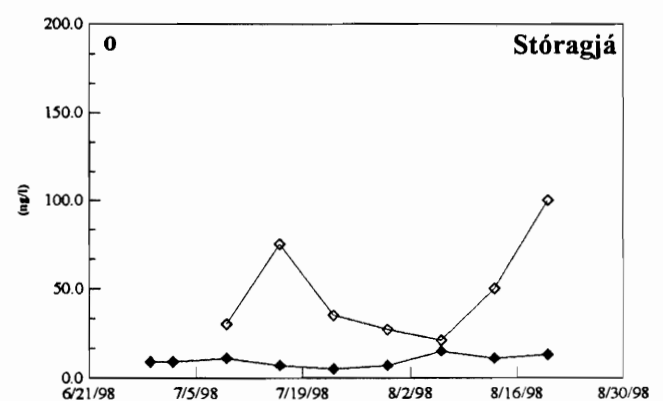
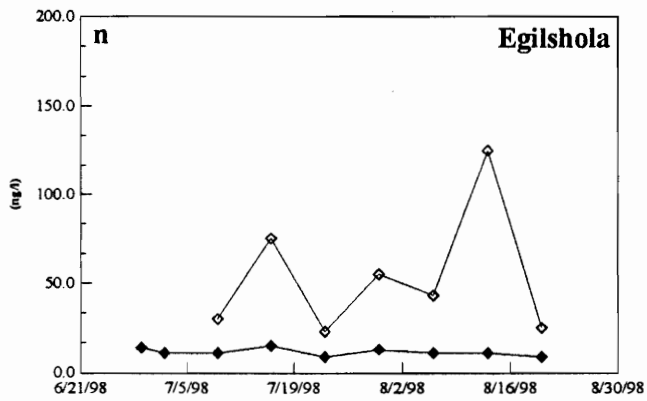
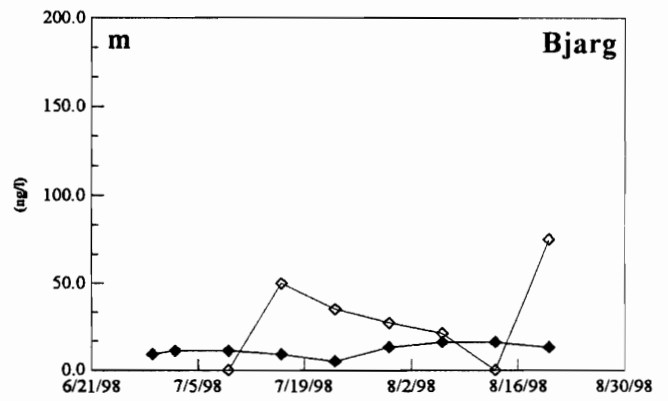
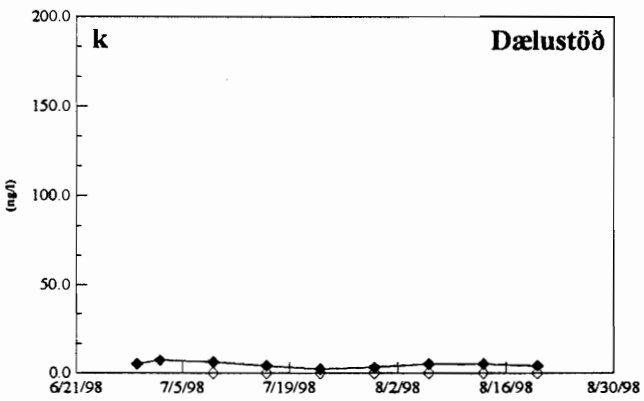
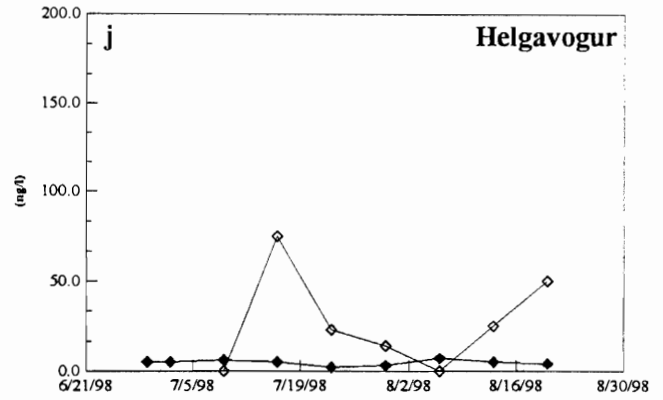
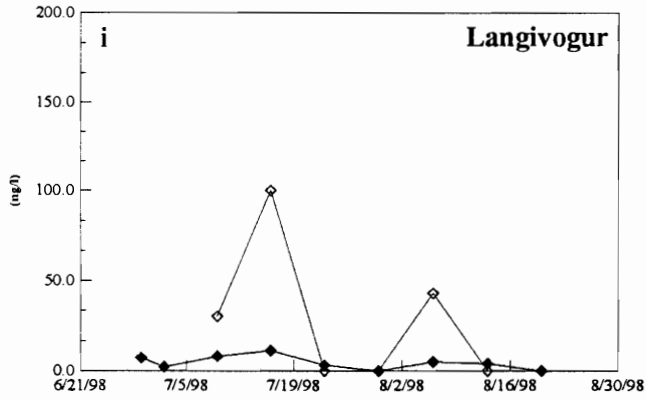
Mynd 5. Niðurstöður mælinga á rhodamíni á rannsóknarstofu í Kröflu sem fall af tíma fyrir hvern sýnatökustað.



Mynd 5 frh. Niðurstöður mælinga á rhódamíni á rannsóknarstofu í Kröflu sem fall af tíma fyrir hvern sýnatökustað.



Mynd 6. Mælingar Orkustofnunar á styrk beggja efnanna, flúoresceins og rhódamíns, sem fall af tíma fyrir hvern sýnatökustað. Opnir tíglar rhódamín, fylltir tíglar flúorescein.



Mynd 6 frh. Mælingar Orkustofnunar á styrk beggja efnanna, flúoresceins og rhódamíns, sem fall af tíma fyrir hvern sýnatökustað. Opnir tíglar rhódamín, fylltir tíglar flúorescein.

5. Önnur ferilprófun með kalíumjoðiði

5.1 Val á ferilefni, magn og bakgrunnur

Þegar flúrljómandi ferilefnin úr fyrstu prófuninni höfðu ekki komið fram eftir um tvo mánuði og líkur á að prófunin reyndist nánast gagnslaus, var metið hvað gera skyldi. Þótti freistandi að halda áfram prófunum með því að setja annað ferilefni niður í Bjarnarflag-slónið. Envar talið gagnslítið að gera frekari ferilprófanir á affalli frá Búrfellshrauni fyrir en búið væri að bora athugunarholur á svæðinu vestan við hraunið samkvæmt fyrri tillögum. Sumarstarfsmaður þjálfaður í sýnatöku var enn á staðnum og talið æskilegt að halda áfram sýnatöku og greiningu flúrljómandi efnanna nokkru lengur. Vegna grunsemda um aðsog á kísilgúr þótti ekki álitlegt að setja niður litarefni skyld þeim sem notuð voru í fyrri prófun auk þess sem það gæti hugsanlega truflað niðurstöður fyrri prófananna. Að athuguðu máli var talið að hentugasta ferilefnið við áframhaldandi prófun væri kalíumjoðið. Það er að vísu dýrara en alkalíbrómíð en þar sem mælinæmni er meiri þarf minna af því og bakgrunnur er lægri í grunnvatninu.

Á grundvelli mælinga á bakgrunnsgildi í öllum sýnatökustöðum var lagt til að sett væri niður um 80-100 kg af efninu í svelginn frá lóninu í Bjarnarflagi. Styrkur joðiðs er um 0,006 mg/l í lóninu en < 0,0005 mg/l í köldu grunnvatni á svæðinu. Miðað var við, út frá eldri forsendum um rennslisraða og írennsli í Mývatn, að styrkur í grunnvatninu væri alltaf undir 1 mg/l þegar vatnið komi fram á athugunarstöðum. Eins og áður var haft samráð við Hollustuvernd ríkisins um málið og taldi hún að efnið væri hættulaust í þeim styrk sem það gæti náð í grunnvatnskerfinu. Heilbrigðisfulltrúinn á Húsavík fékk síðan í framhaldi af þeirri umsögn, og umsögn Náttúruverndar ríkisins, samþykki heilbrigðisnefndar Norðurlands fyrir því að setja efnið niður.

5.2 Niðursetning og sýnataka

Miðvikudaginn 16. september 1998 voru sett niður 100 kg af kalíum joðiði á sama stað og rhódamín var sett niður tæpum þremur mánuðum fyrr, þann 27. júní. Starfsmaður Orkustofnunar fór sérstaklega norður til að koma efninu niður, en ekki var sama varúð höfð og við niðursetningu litarefnanna vegna minni hættu á mengun. Efnið kom í fjórum 25 kg stömpum og var hver skammtur leystur upp í 50 l af vatni sem tekið var úr affallsslæknum. Fyrsti skammturinn fór niður kl. 11:20, sá næsti kl. 11:25 sá þriðji kl. 11:30 og loks sá fjórði og síðasti kl. 11:35. Efnið leystist vel upp og var upplausnin brúnleit. Nokkur grömm voru tekin úr stömpum 1 og 3 í þeim tilgangi að búa til staðallausn fyrir mælingarnar.

Safnað var sýnum á sömu sýnatökustöðum og fyrri ferilprófun. Þar sem kalíumjoðið er stöðugt í lausn og því ekki nauðsynlegt að greina sýnin jafnóðum var þeim safnað saman í tvær vikur áður en þau voru send á Orkustofnun til greiningar. Vegna misskilnings og anna starfsmanns í Kröflu hófst sýnataka ekki fyrr en á öðrum til þriðja degi eftir niðursetningu og var auk þess strjál fyrstu dagana. Vegna niðurstöðu úr fyrri prófunum töldu menn einnig ólíklegt að efnið kæmi fram á fyrstu 1-2 dögum. Í ljós kom að það var mjög bagalegt að sýnatakan var svona strjál fyrstu dagana. Sýnum sem tekin voru til

mælinga á flúrljómandi efnum hafði verið fargað nær jafnóðum þar sem þau efni geymast ekki svo ekki var unnt að mæla kalíumjodíð í þeim.

Sýnatöku og mælingum á jodíði var svo haldið áfram fram í nóvember og einnig var mælt jodíð í sýnum, sem tekin voru á nokkrum sýnatökustaðanna (sbr. kafla 6) í desember og í janúar 1999.

5.3 Mælingar

Jodíðið var mælt með jónaskilju á rannsóknarstofu Orkustofnunar. Eins og fram kom hér að ofan var sýnum safnað saman í tvær vikur áður en þau voru send á Orkustofnun til greiningar og voru þá mældar stikkprufur og þétt eftir þörfum til að lágmarka greiningarkostnað. Greiningarmörk jodíðs eru um 0,0005 mg/l. Allar mælingar á styrk jodíðs í sýnunum eru sýndar í töflu 5 og á mynd 7 og 8. Niðurstöður úr mælingunum koma talsvert á óvart þar sem hæstu mæligildin koma fram við Hverfjall, Helgavog og Bjarg þann 19. september, sem er fyrsti sýnatökudagur á þessum stöðum. Verulega lægri gildi mælast í Grjótagjá þar sem búist hafði verið við hæstum styrk. Í Leynigjá mælist hærri styrkur en í Grjótagjá og þar kemur fram hámark u.þ.b. viku eftir niðursetningu. Efnið virðist koma fram bæði í Garðslind og í Syðri Vogum eftir 3-6 daga. Í Langavogi koma fram nokkrir púlsar 3-10 dögum eftir niðursetningu. Á Bjargi kemur fram vottur á 11. og 12. degi og í Hverfellsgrjá um svipað leyti. Eftir tvær vikur mælist grunnigildi í öllum mælistöðum nema í Egilsholu þar sem 3. og 8. nóvember koma fram hækkuð mæligildi. Í Grjótagjá fór jodíð aftur að greinast um síðustu áramót, en sýnum var safnað þar í desember og janúar í síðasta hluta ferilprófananna. Ekkert mældist í sýnum frá öðrum sýnatökustöðum sem safnað var úr þá.

5.4 Helstu niðurstöður

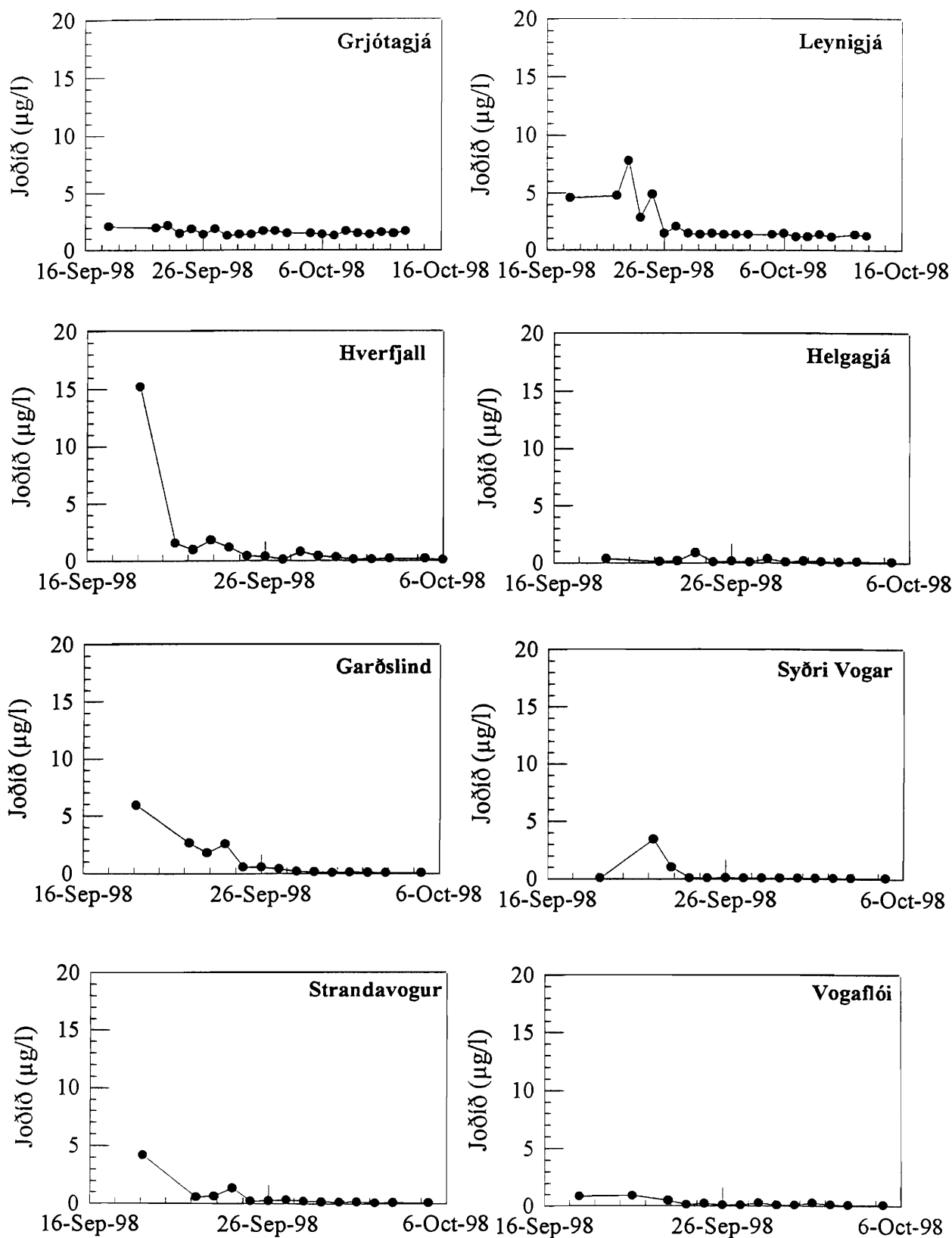
Vegna strjálra mælinga er nokkuð erfitt að túlka niðurstöður mælinganna en ljóst er að ferilefnið hefur komið fram. Hugsanlegt er að það hafi að mestu verið farið fram hjá á sumum sýnatökustöðunum þegar fyrstu sýnin voru tekin. Sé það tilfellið hlýtur hluti affallssins úr lóninu að berast um svæðið með hröðum yfirborðsstraumum. Miðað við niðurstöður úr fyrri ferilprófunum var það fremur óvænt niðurstaða. Reiknað hafði verið með að affallið blandaðist og bærst niður í grunnvatnskerfið og þar væri rennslis hraði svipaður og fyrri ferilprófanir gáfu til kynna. Mældur rennslis hraði í gjám á svæðinu (Þóroddur F. Þóroddsson og Guttormur Sigbjarnarson, 1983) er 1-3 m/mín, en fremur ólíklegt var talið að affallið bærst um allt svæðið með þeim hraða þótt hluti þess gæti borist hratt um eftir að það kemst í gjárnar. Afgangurinn skilar sér væntanlega á mun lengri tíma með hægari hluta grunnvatnsstraumsins. Það að jodíð fer aftur að greinast í sýnum úr Grjótagjá um síðustu áramót styrkir þessa tilgátu. Hvaða löngu leið það hefur borist er erfitt að segja, en athyglisvert væri að hafa mælingar á jodíðstyrk í sýnum úr fleiri vatnsbólum í jafnlangan tíma.

Tafla 5. Greiningar á jodíð úr sýnum af Mývatnssvæði ($\mu\text{g/l}$).

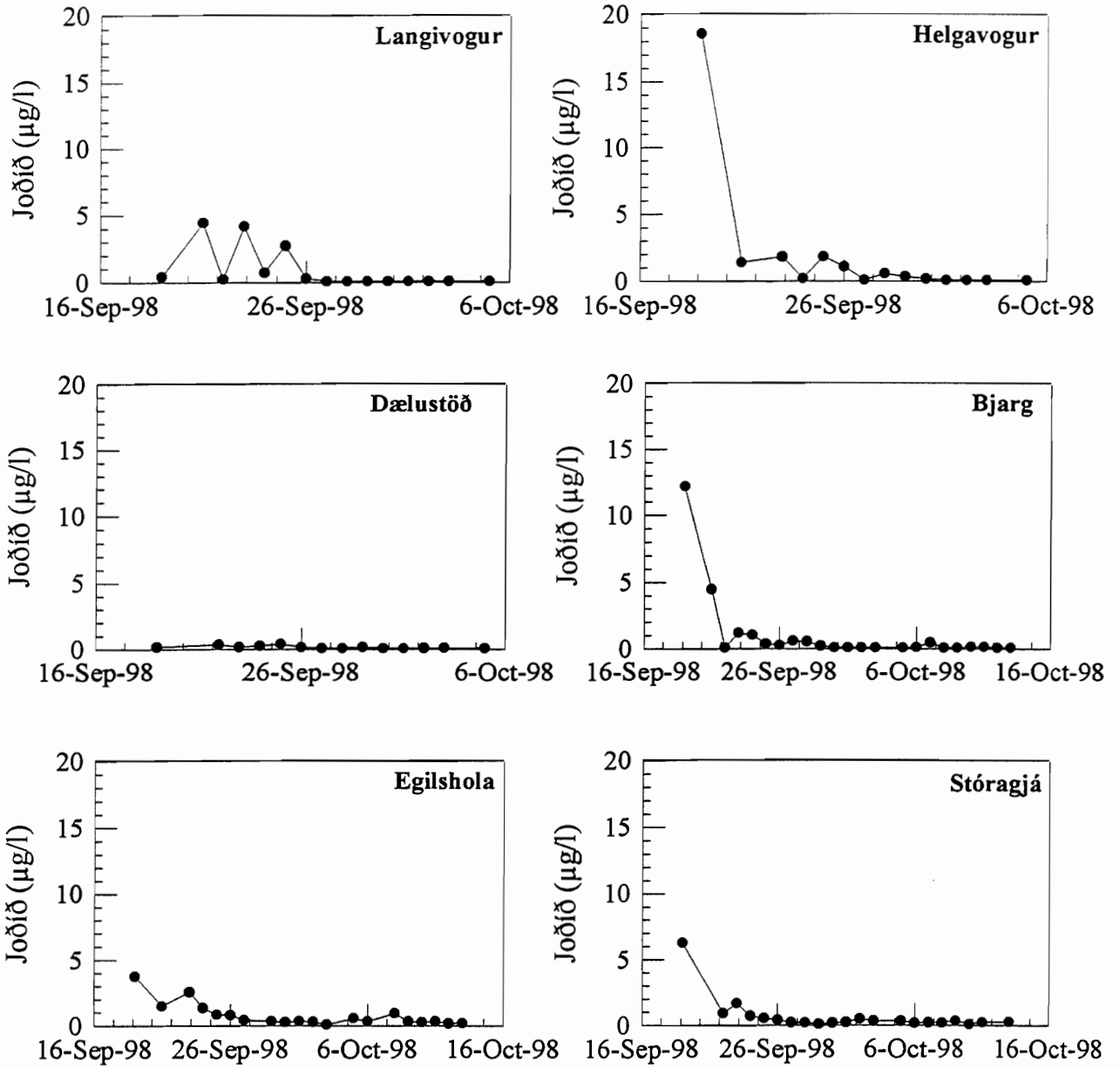
Tafla 4. Greiningar á jodíð úr sýnum af Mývatnssvæði ($\mu\text{g/l}$)

Dagsetning	Grjótagj	Leynigi	Hverfjal	Helgaj	Garðslin	Syðri Voga	Strandavogu	Vogafló	Langivogu	Helgavogu	Dælustó	Bjarg	Egilshol	Stóragjá
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	m	n	o
18.9.1998	2,1	4,6	-	<0,5	5,93	<0,5	-	0,88	<0,5	-	<0,5	12,18	3,73	-
19.9.1998	-	-	15,21	-	-	<0,5	4,2	-	4,44	18,57	-	4,47	1,49	6,29
21.9.1998	-	-	1,56	<0,5	2,66	-	-	0,93	<0,5	1,41	<0,5	<0,5	-	-
22.9.1998	2	4,8	0,98	<0,5	3,45	3,45	0,59	-	<0,5	-	<0,5	<0,5	-	0,92
23.9.1998	2,2	7,8	1,81	<0,5	1,81	1,03	0,68	<0,5	4,19	1,82	<0,5	1,21	2,54	1,66
24.9.1998	1,5	2,9	1,18	0,91	2,6	<0,5	1,39	<0,5	0,74	<0,5	<0,5	1,07	1,36	0,72
25.9.1998	1,9	4,9	<0,5	<0,5	0,58	<0,5	<0,5	<0,5	2,76	1,86	<0,5	<0,5	0,85	0,55
26.9.1998	1,4	1,5	<0,5	<0,5	0,59	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	1,09	<0,5	<0,5	0,82	<0,5
27.9.1998	1,9	2,1	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,62	<0,5	<0,5
28.9.1998	1,3	1,5	0,8	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,57	<0,5	0,56	-	<0,5
29.9.1998	1,4	1,4	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
30.9.1998	1,4	1,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
1.10.1998	1,7	1,4	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
2.10.1998	1,7	1,4	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
3.10.1998	1,5	1,4	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
5.10.1998	1,5	1,4	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
6.10.1998	1,4	1,4	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,58	<0,5
7.10.1998	1,3	1,5	<0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,5	<0,5	<0,5
8.10.1998	1,7	1,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,5	-	<0,5
9.10.1998	1,5	1,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,5	0,96	<0,5
10.10.1998	1,4	1,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,5	<0,5	<0,5
11.10.1998	1,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,5	<0,5	<0,5
12.10.1998	1,5	1,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,5	<0,5	<0,5
13.10.1998	1,7	1,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,5	<0,5	<0,5

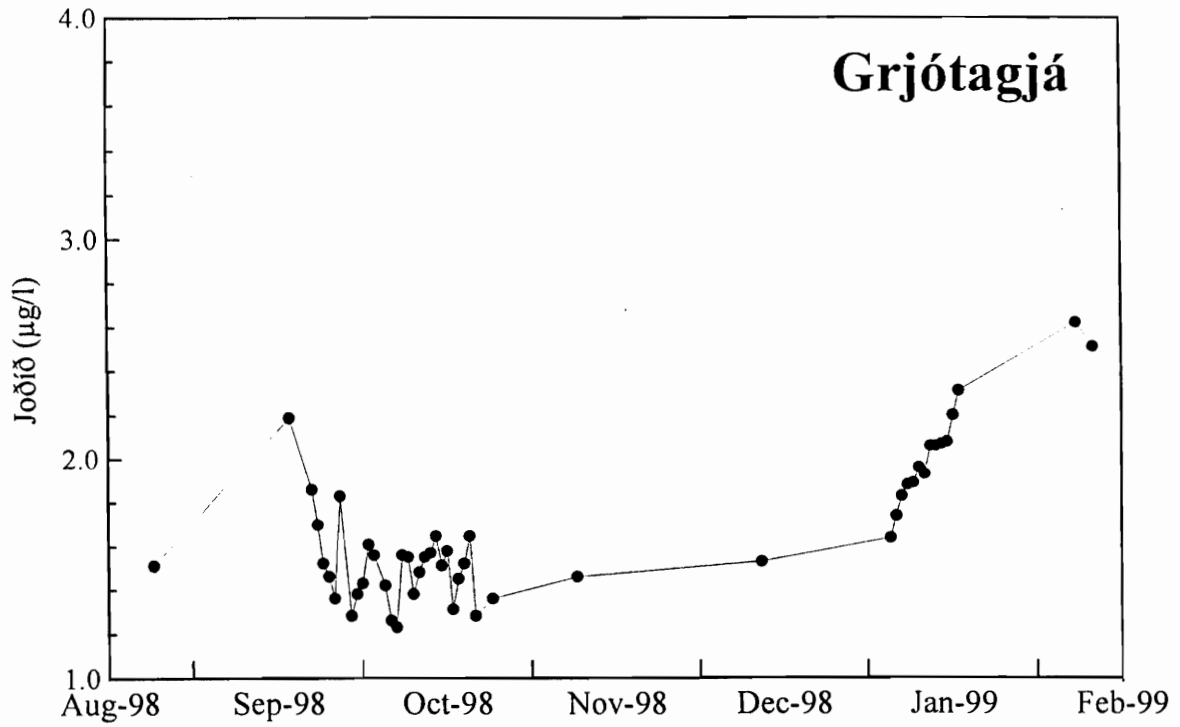
- ekki sýni



Mynd 7. Mælingar á kalíumjodíði með tíma á sýnatökustöðum.



Mynd 7 frh. Mælingar á kalíumjoðiði með tíma á sýnatökustöðum.



Mynd 8. Mælingar á kalíumjodíði í Grjótagjá fram í janúar 1999.

6. Lokaáfangi prófana í nóvember 1998 með flúoresceini

6.1 Efnisval og niðursetning

Síðasti áfangi ferilprófananna var stutt prófun með flúoresceini sem ferilefni. Tilgangurinn var fyrst og fremst að fylla upp í þær eyður sem stöfuðu af strjálly sýnatöku í fyrri ferilprófun og sannreyna tilvist hraðra strauma sem prófun með kalíumjodíði benti til. Ástæða þess að freistað var að nota flúoresceini en ekki kalíumjodíði aftur var í fyrsta lagi kostnaðarsjónarmið, en flúoresceini er miklu ódýrara en kalíumjodíði og mun ódýrara að mæla það. Einnig var lítið til þess hversu stutt var liðið frá síðustu prófun með kalíumjodíðinu og ljóslega einungis hluti þess kominn fram. Samkvæmt fyrirbyggjandi upplýsingum um efnin var jafnframt talið að minni líkur væru á aðsogi flúoresceins en rhódamíns WT á kísil og kísilgúr og því líklega minni hættu á að það hyrfi en rhódamínið. Þó er ljóst að flúoresceini getur einnig aðsogast, einkum á lífræn efni, og það er jafnframt mun viðkvæmara fyrir dagsbirtu og brotnar fyrir niður í ljósi en rhódamín. Á þessum árstíma ætti sú hættu reyndar að vera í lágmarki.

Setja átti flúoresceinið niður 14. desember en vegna óveðurs dróst það fram til 4. janúar. Efnið var sett niður á sama stað í svelg í affallslæk Bjarnarflagsslónsins og rhódamínið og kalíumjodíðið í tveimur fyrri ferilprófununum um sumarið. Eins og fyrr var gætt mikillar varkárni til að komast hjá mengun. Mánudaginn 4. janúar flaug starfsmaður Orkustofnunar, norður með ferilefnið uppleyst á kút og hellti því niður í svelginn kl. 11:15. Efnið var 10 kg af Na-flúoresceini, sem var leyst upp í 2 x 20 lítrum af vatni. Sama varúð var höfð vegna mengunarhættu og við fyrri niðursetningar á litarefnum. Hafði starfsmaðurinn, sem setti efnið niður, því engin samskipti við sýnatökumenn eftir niðursetninguna og þeir komu ekki nálægt niðursetningastað meðan á prófun stóð. Hann kom heldur ekki nálægt mælingu efnanna á rannsóknarstofu Orkustofnunar.

6.2 Sýnataka

Í þessari prófun voru einungis voru valdir úr sex af fyrri sýnatökustöðum, bæði vegna kostnaðar og einnig vegna erfiðleika á sýnatöku á þessum árstíma. Við staðarval var höfð hliðsjón af niðurstöðum úr prófuninni á undan með kalíumjodíði. Listi yfir sýnatökustaðina er í töflu 6.

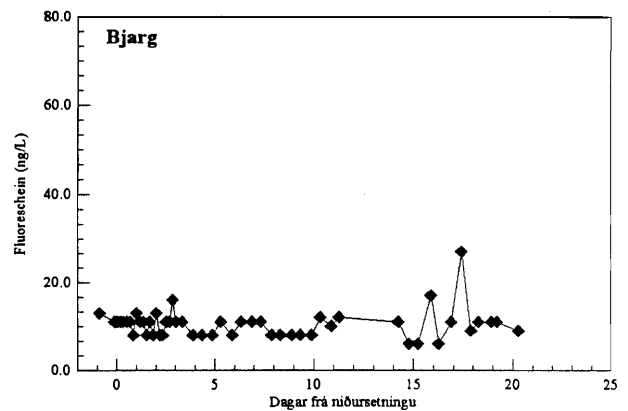
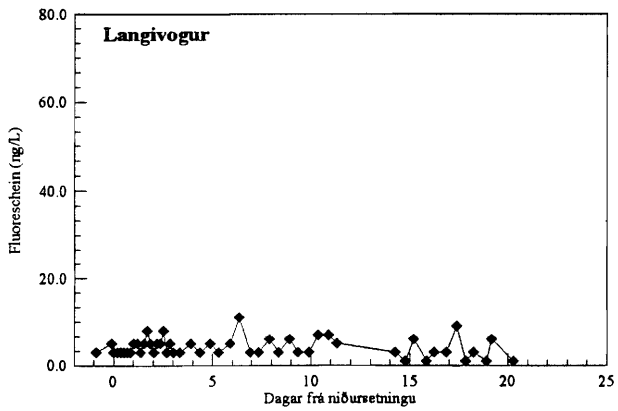
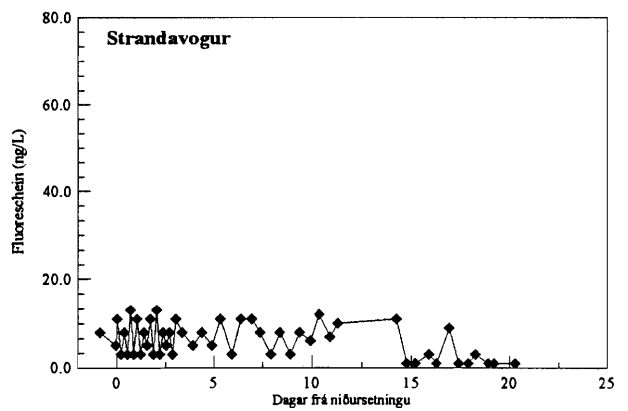
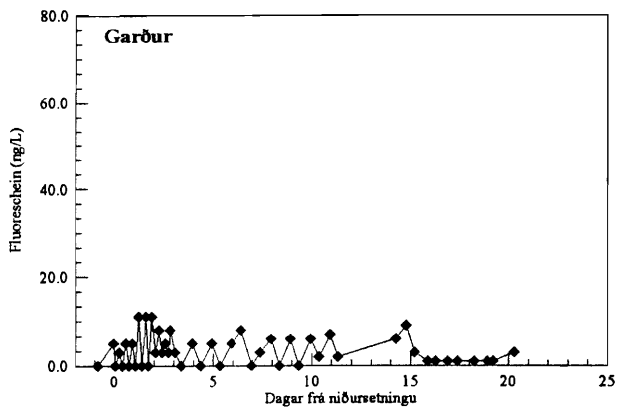
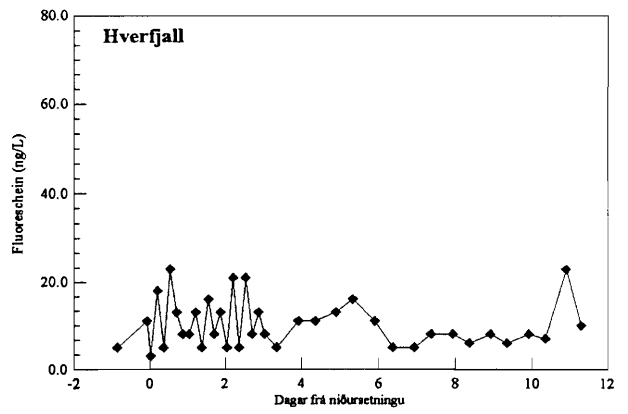
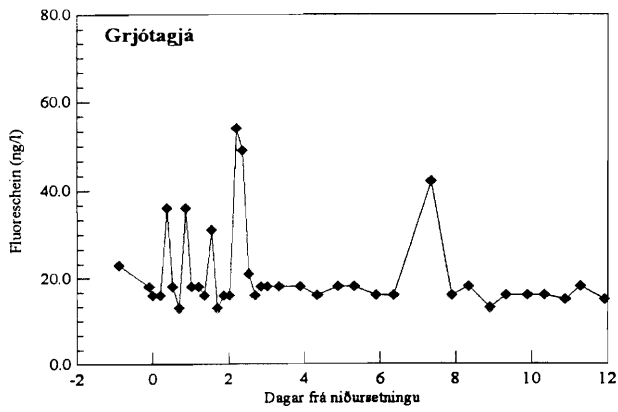
Sýnum til mælinga á grunngildum var safnað í fjóra daga fyrir niðursetningu á öllum sýnatökustöðum og þau mæld á Orkustofnun í einu lagi þremur dögum síðar. Strax að niðursetningu lokinni var hafin sýnataka á u.þ.b. fjögurra tíma fresti í þrjá sólarhringa (4. til 7. janúar). Sýnum var sem fyrr safnað í brúna 60 ml glerflöskur og geymdar í alveg þéttum kassa í myrkri. Sýnin voru send til Orkustofnunar í nokkrum áföngum þannig að unnt væri að greina þau innan fjögurra daga. Sýnum var síðan safnað tvisvar á dag í sex daga og lauk síðan þessari prófun.

Tafla 6. Sýnatökustaðir í lokaáfangafæringu í desember 1998-janúar 1999.

10) Langivogur
14) Grjótagjá-karlagjái
18) Bakki Mývatns rétt neðan Bjargs
19) Hverfjallsgjá
20) Strandavogur
22) Garðslind

6.3 Mælingar og helstu niðurstöður

Flúoresceinið var mælt á Orkustofnun með Perkin Elmer 204S Spectrophotometer eins og lýst er í kafla 4.3. Niðurstöður mælinga á sýnatökustöðunum sex á móti tíma frá niðurstöðunum eru sýndar á mynd 9. Efnin virðist koma fram mjög fljótt í Grjótagjá, eða strax á fyrsta sólarhring. Þar sjást nokkrir púlsar fyrstu tvo sólarhringana en styrkurinn er lágur. Hugsanlegt er að eitthvað hafi skilað sér af efninu í Garðslind og í Hverfjallsgjá en það er fremur óljóst. Mesta svörunin er í Grjótagjá, en þar nær hækkun í styrk þó ekki þreföldu grunnildi. Þessi niðurstaða styður það, sem prófun með kalíumjodíði benti til, að hluti affallsins berist með hröðum yfirborðsstraumum og að blöndun sé mikil. Jafnframt virðist flúorescein skila sér illa og því líklegt að það sé síð úr vatninu þótt í eitthvað minna mæli en rhódamínið. Í fyrstu prófunum var erfitt að meta líkur á því hvort litarefnið hefðu horfið vegna aðsogunar eða hvort óregla og hár bakgrunnur hefði komið í veg fyrir að þau kæmu fram í mælingum. Þegar niðurstöður frá kalíumjodíði sýndu mjög hraða svörun og endurheimtur fyrir hluta efnisins var talið ólíklegra að efnin hefðu horfið alveg vegna aðsogunar. En niðurstöður þessara prófana til að aðsogun eigi sér stað í talsverðum mæli.



Mynd 9. Niðurstöður mælinga á flúoresceíni á sýnatökustöðunum sex á móti tíma frá niðurstöðum.

7. Túlkun á endurheimtu jodíðs

Af þeim þremur ferilprófunum sem fram fóru í Mývatnssveitinni á síðasta ári virðist helst eitthvað hægt að byggja á mælingunum á endurheimtu jodíðs til magnbundinna reikninga á endurheimtu. Greinilega er um nokkra endurheimtu þess á flestum sýnatökustaðanna, þó sýnatakan hafi verið allt of strjál fyrstu dagana (Hrefna Kristmannsdóttir o.fl., 1998).

Mynd 1 sýnir sýnatökustaðina í ferilprófununum og vísa númerin í töflu 7 hér á eftir. Mynd 10 (a-u) sýnir síðan mælda endurheimtu jodíðsins, sem sett var niður í Bjarnarflagi (stað III) um miðjan dag 16. september 1998. Þær mælingar hafa verið leiðréttar fyrir bakgrunnsstyrk á hverjum stað, sem ákvarðaður var sem lægsta mæligildið á hverjum stað. Myndirnar sýna vel að mælingarnar eru allt of strjálar fyrstu dagana, en þá virðist jodíðið vera að skila sér á flestum staðanna. Myndirnar sýna mælingar yfir u.þ.b. mánað-artímabil, nema mynd 11 sem sýnir mælingar úr Grjótagjá fram í febrúar í ár. Sú mynd sýnir að jodíðið virðist byrja að skila sér aftur í Grjótagjá um 3 1/2 mánuði eftir niðursetningu. Um það verður fjallað seinna. Annars virðist jodíðið skila sér í hæstum styrk við Hverfjall, í Helgavogi og við Bjarg (10-20 ppb).

Túlkun þessara mælinga fór fram á tvennan hátt: Annars vegar var endurheimta jodíðsins á hverjum stað reiknuð með því að tegra mynd 10 (a-u). Þannig fékkst reyndar stærðin e/q sem fall af tíma, þar sem e er endurheimtan (kg) og q er massastreymið á hverjum stað (kg/s), en það er að vísu óþekkt. Mynd 12 (a-u) sýna e/q fyrir alla sýnatökustaðina. Hins vegar var reynt að reikna meðalhraða grunnvatnsstraumsins frá Bjarnarflagi til sýnatökustaðanna, út frá áætluðum tíma hámarksstyrks á hverjum stað og vegalengd þarna á milli.

Niðurstöðurnar eru birtar í töflu 7. Þar er auk þess birtur mældur hiti vatns hvers staðar. Gögnin frá hverjum stað er í raun ekki hægt að túlka frekar, því ekki eru til upplýsingar um rennsli á hverjum stað (q). Áætlaður rennslis hraði, en hann er á bilinu 0,3 - 2,0 m/mín, virðist þó eðlilegur borið saman við þær afar takmörkuðu rennslismælingar sem til eru (Þóroddur F. Þóroddsson og Guttormur Sigurbjarnason, 1983). Ekki virðist hægt að greina samband milli þátta eins og endurheimtu, hraða, fjarlægðar og hita. Helst virðist hægt að greina þau sambönd sem sýnd eru á myndum 13-14. Í fyrsta lagi beint samband milli hita og fjarlægðar frá Bjarnarflagi (mynd 13), sem þó er óháð ferilprófuninni. Þetta samband sýnir hvernig jarðhitavatnið kólnar er fjær dregur upptökum þess í Bjarnarflagi/Námafjalli. Væntanlega er kólnunin að hluta vegna blöndunar við kalt grunnvatn. Í öðru lagi virðist hraði grunnvatnsstreymisins vaxa með fjarlægð frá Bjarnarflagi (mynd 14). Þannig tengsl virðist undarleg, en skýringin er væntanlega sú að hraði kalda grunnvatnsstreymisins sé meiri en volga/heita hluta þess. Þetta samband sést betur á mynd 15.

Tafla 7. Niðurstöður túlkunar endurheimtu jodíðs. Upplýsingar um hita frá Halldóri Ármannssyni o.fl (1998).

Staður (nr.)	dagar	fjarl (km)	endurh./q (kg.s/kg)	toppur (dagar)	hraði (m/min)	hiti (°C)
Grjótagjá (14)	27	2,5	0,000462	4,5	0,39	47
Leynigjá (13)	27	3,0	0,00303	5,0	0,42	42
Hverfjall (19)	20	4,5	0,00397	3,0	1,0	6
Helgagjá (8)	19	7,0	0,000207	8,0	0,61	7
Garðslind (22)	19	11,5	0,00246	4,0	2,0	6
Syðrivogar (21)	19	10,0	0,000664	5,5	1,3	5
Strandavogur (20)	19	6,5	0,00140	3,0	1,5	7
Vogaflói (9)	19	5,0	0,000413	3,5	1,0	6
Langivogur (10)	19	4,0	0,00130	6,5	0,43	23
Helgavogur (11)	19	3,5	0,00476	3,0	0,81	26
Dælustöð (17)	19	3,5	0,000150	7,0	0,33	27
Bjarg (18)	27	3,0	0,00355	3,0	0,69	20
Egils-hola (7)	27	2,5	0,00199	4,5	0,39	31
Stóragjá (15)	27	2,5	0,00224	3,0	0,58	29

Einu áætlanirnar sem tiltækar eru um grunnvatnsrennslið í Mývatnssveit eru birtar af Jóni Ólafssyni (1979b og c). Þar er áætlað að grunnvatnsstreymið til Ytri-flóa sé $7 \text{ m}^3/\text{s}$ að jafnaði, en $21 \text{ m}^3/\text{s}$ til Syðri-flóa. Þessar tölur má nota til þess að áætla gróflega heildarmagn jodíðs sem streymt hafi út í Mývatn þennan tæpa mánuð sem mælingar fóru fram. Byggt er á eftirfarandi:

Ytri-flói: Meðalgildi endurheimtu (e/q) fyrir Vogaflóa, Langavog, Helgavog og Bjarg er $\langle e/q \rangle = 0,0034 \text{ kg.s/kg}$ og meðalhraðinn fyrir þessa fjóra staði er $\langle v \rangle = 0,73 \text{ m/mín} = 0,012 \text{ m/s}$. Þá áætlum við að meðalrennsli grunnvatns um austurströnd Ytri-flóa sé um $Q = 3.5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Syðri-flói: Meðalgildi endurheimtu (e/q) fyrir Garðslind, Syðrivoga og Strandavog er $\langle e/q \rangle = 0,0015 \text{ kg.s/kg}$ og meðalhraðinn fyrir þessa þrjá staði er $\langle v \rangle = 1,3 \text{ m/mín} = 0,022 \text{ m/s}$. Þá áætlum við að meðalrennsli grunnvatns um austurströnd Ytri-flóa sé um $Q = 7 \text{ m}^3/\text{s}$.

Til þess að meta magn jodíðs sem streymdi út í Mývatn notum við jöfnuna:

$$M = \langle e/q \rangle \rho_v Q$$

þar sem ρ_v er eðlismassi vatns 1000 kg/s . Því til viðbótar má nota jöfnuna:

$$A = \frac{Q}{\langle v \rangle}$$

til þess að meta samanlagt þverskurðarflatarmál þeirra rása sem grunnvatnið streymir eftir um austurhlið hvors hluta vatnsins. Þá fást niðurstöðurnar sem dregnar eru saman í töflu 8.

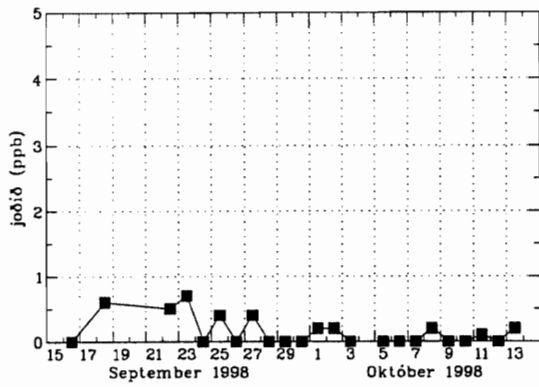
Tafla 8. Áætlanir um endurheimtu jodíðs í Mývatni á prófunartímanum.

	lengd strandar (km)	$\langle e/q \rangle$ (kg.s/kg)	$\langle v \rangle$ (m/s)	Q (m ³ /s)	M (kg)	A (m sup 2)
Ytri-flói	4	0,0025	0,012	3,5	8,8	290
Syðri-flói	6	0,00115	0,022	7,0	10,5	320
Samtals	10			10,5	19,3	610

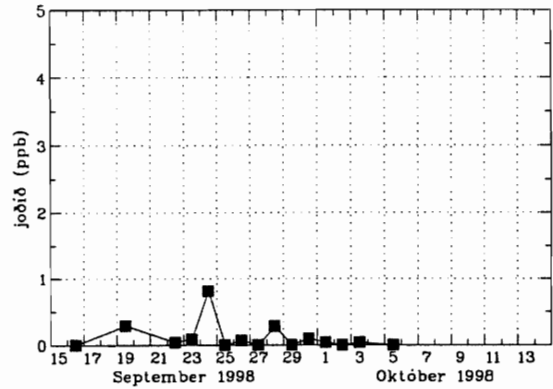
Samkvæmt niðurstöðum í töflu 8 ættu um 1/4 þeirra 76,6 kg af jodíði, sem niður fóru í Bjarnarflagi, að hafa skilað sér út í Mývatn. Þetta verður að teljast mjög sennileg tala, sem kemur skammtilega á óvart ef öll ónákvæmnin sem á bak við hana liggur er höfð í huga. Líkur eru á því að grunnvatnsstreymið út um austurströnd Mývatns sé meiri en gert er ráð fyrir í töflunni. Ef það er t.d. tvöfalt meira fæst að endurheimta jodíðsins sé 50%.

Niðurstöðurnar um samanlagt þverskurðarflatarmál (A) þeirra rása sem grunnvatnið streymir eftir inn um austurhlið vatnsins, þ.e. 600 m² á 10 km, verða einnig að teljast sennilegar einkum ef haft er í huga að það á fyrst og fremst við um þær rásir, sem mest rennslið er eftir. Það gæti einnig verið vanmetið eins og massi jodíðsins í töflunni.

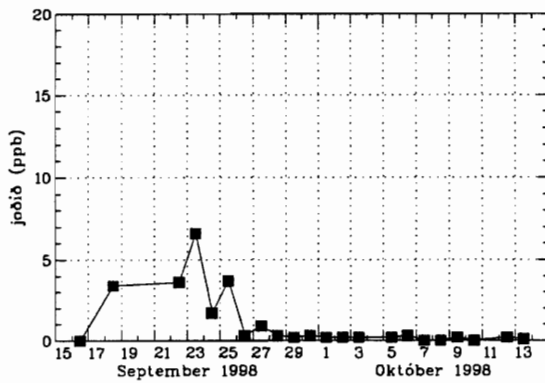
Afgangurinn af jodíðinu skilar sér svo væntnalega á mun lengri tíma með hægari hluta grunnvatnsstraumsins. Athygli vekur t.d. að mælingar úr Grjótagjá sýna að jodíð fer aftur að greinast þar um síðustu áramót. Hvaða löngu leið það hefur borist er erfitt að segja. Athyglisvert væri að mæla jodíðstyrk í sýnum úr lindum við vatnsbakkann yfir jafn langan tíma og í Grjótagjá.



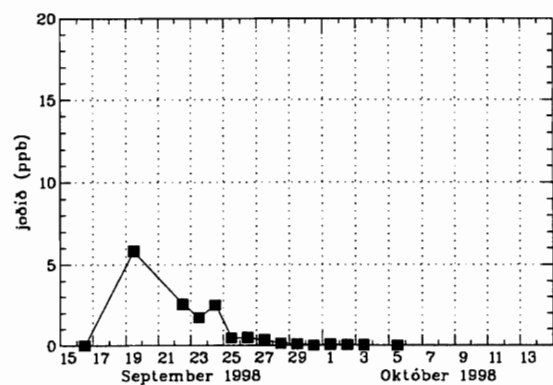
Mynd 10a. Leiðréttur styrkur í Grjótagjá.



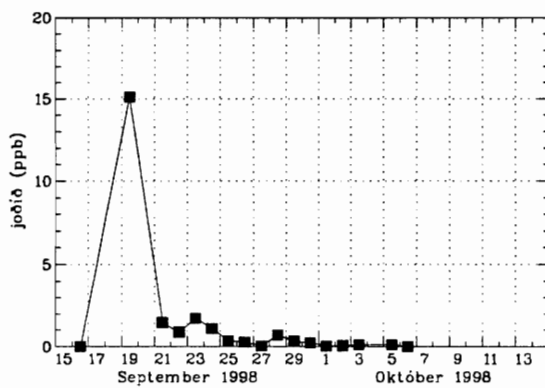
Mynd 10d. Leiðréttur styrkur í Helgagjá.



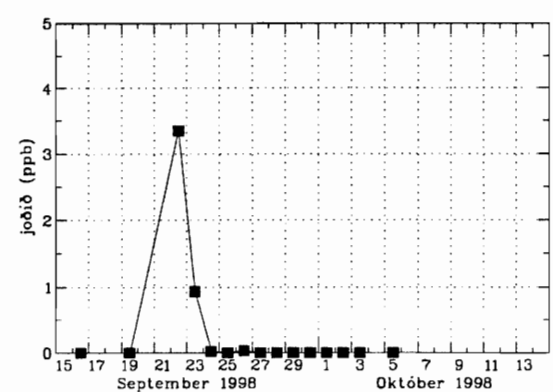
Mynd 10b. Leiðréttur styrkur í Leynigjá.



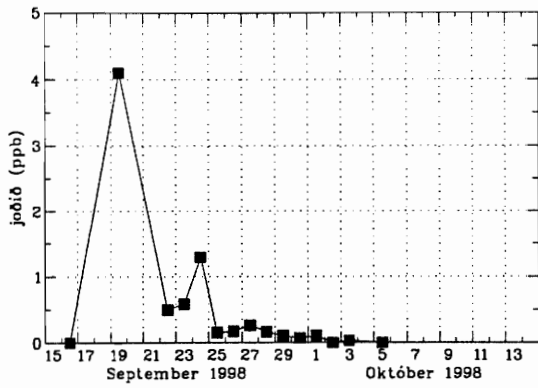
Mynd 10e. Leiðréttur styrkur í Garðslind.



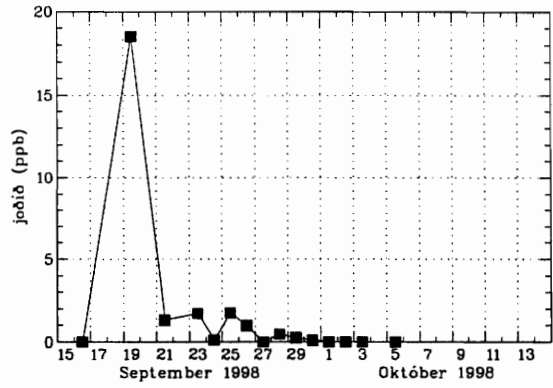
Mynd 10c. Leiðréttur styrkur við Hverfjall.



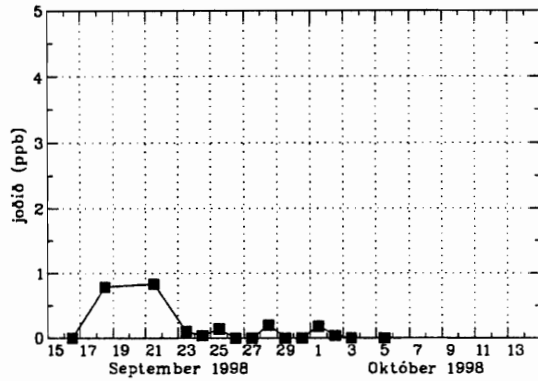
Mynd 10f. Leiðréttur styrkur í Syðrivogum.



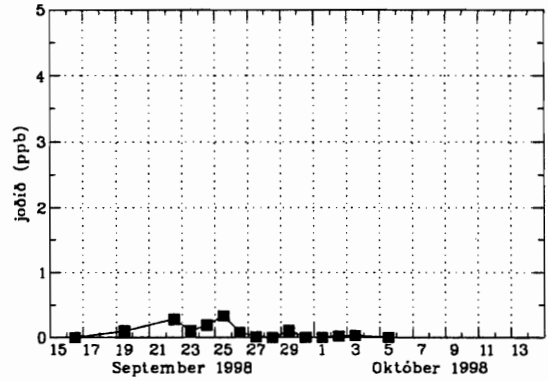
Mynd 10g. Leiðréttur styrkur í Strandavog.



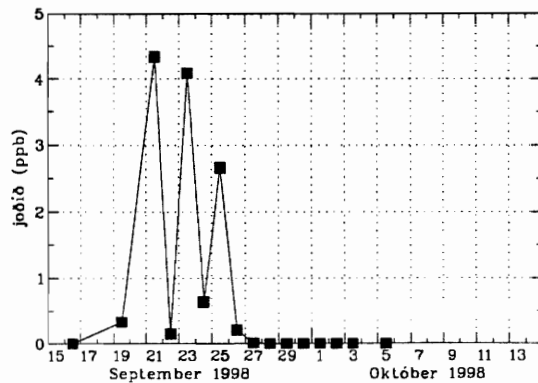
Mynd 10j. Leiðréttur styrkur í Helgavog.



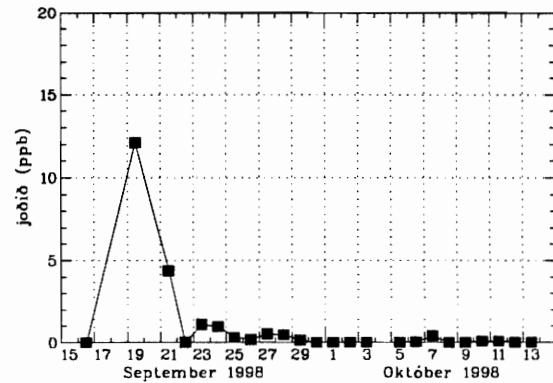
Mynd 10h. Leiðréttur styrkur í Vogafloa.



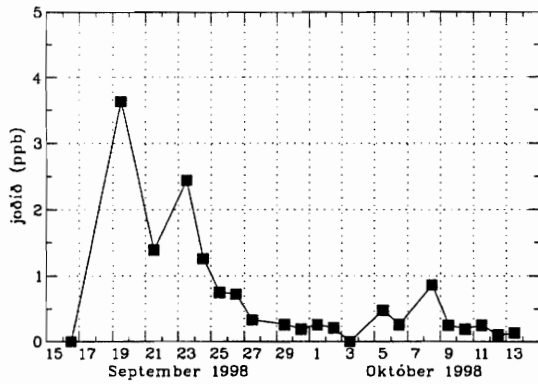
Mynd 10k. Leiðréttur styrkur í dælustöð.



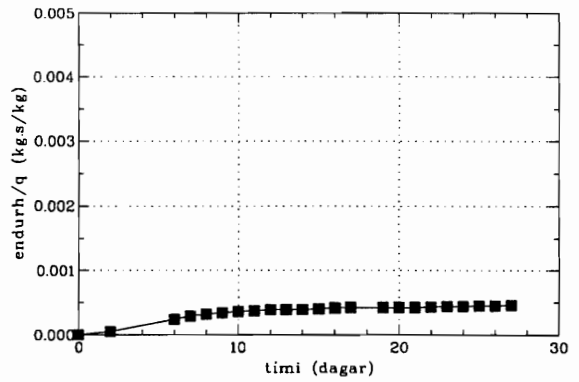
Mynd 10i. Leiðréttur styrkur í Langavog.



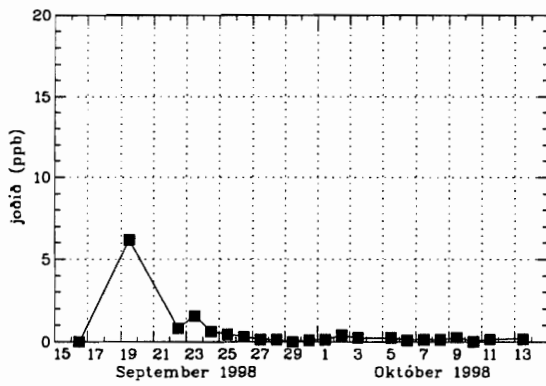
Mynd 10l. Leiðréttur styrkur við Bjarg.



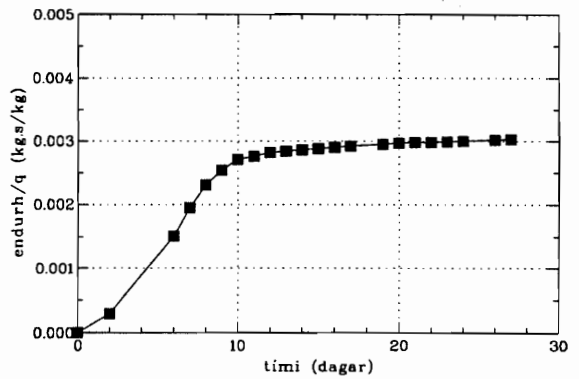
Mynd 10m. Leiðréttur styrkur í Egilsholu.



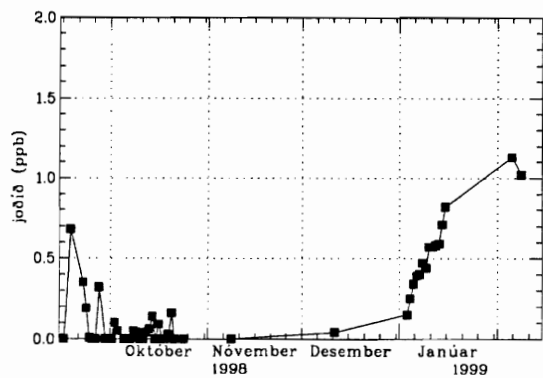
Mynd 12a. Endurheimta í Grjótagjá.



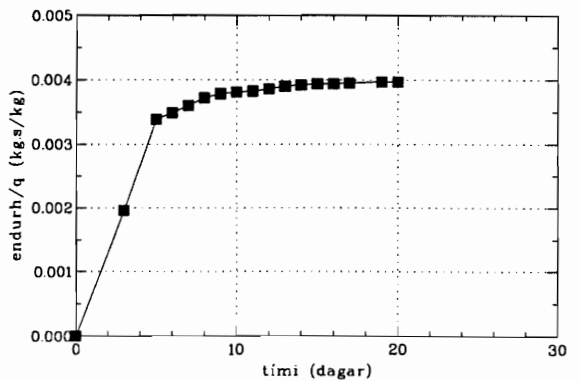
Mynd 10n. Leiðréttur styrkur í Stórugjá.



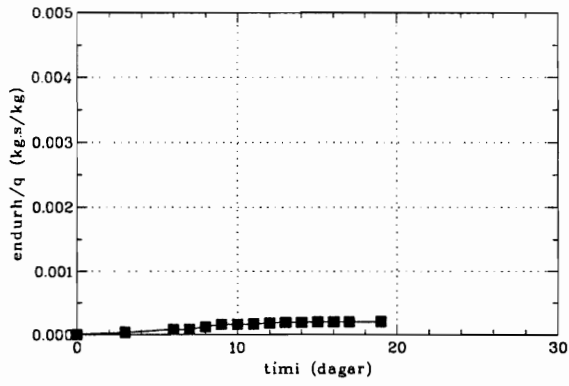
Mynd 12b. Endurheimta í Leynigjá.



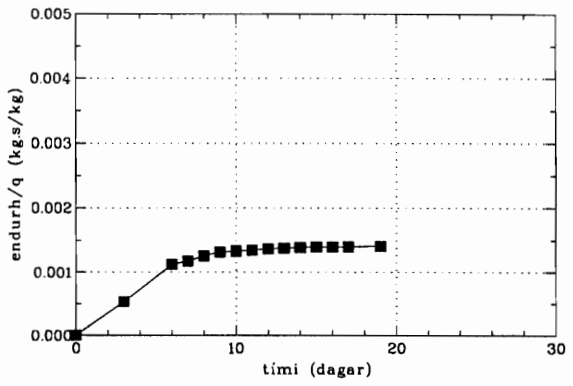
Mynd 11. Styrkur í Grjótagjá til feb. 1999.



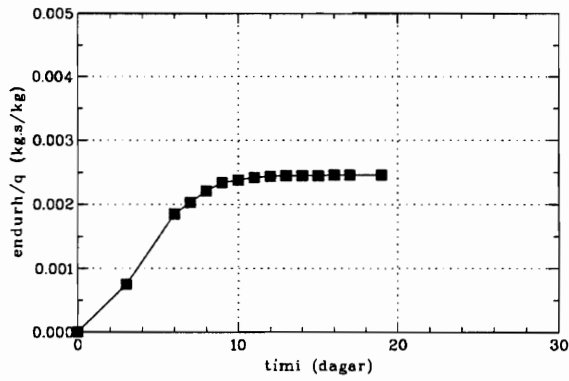
Mynd 12c. Endurheimta við Hverfjall.



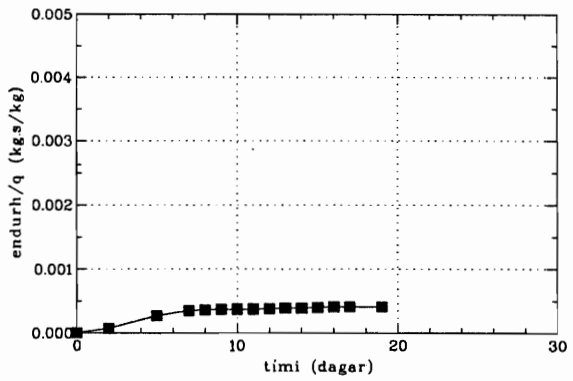
Mynd 12d. Endurheimta í Helgagjá.



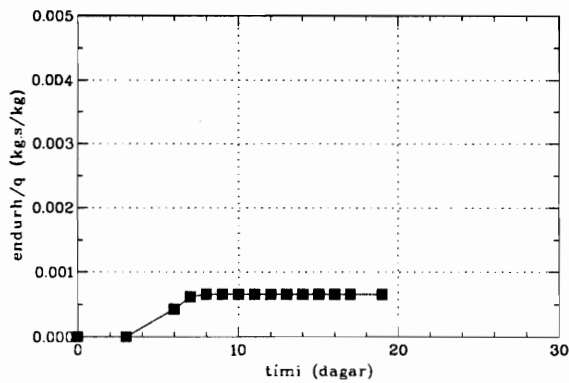
Mynd 12g. Endurheimta í Strandavogi.



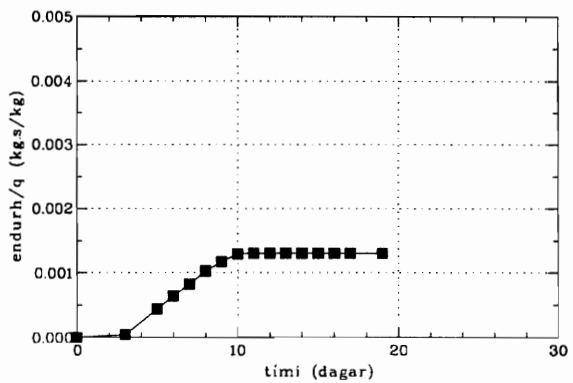
Mynd 12e. Endurheimta í Garðslind.



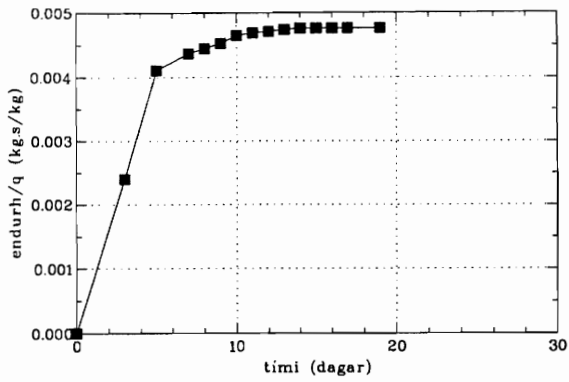
Mynd 12h. Endurheimta í Vogaflóa.



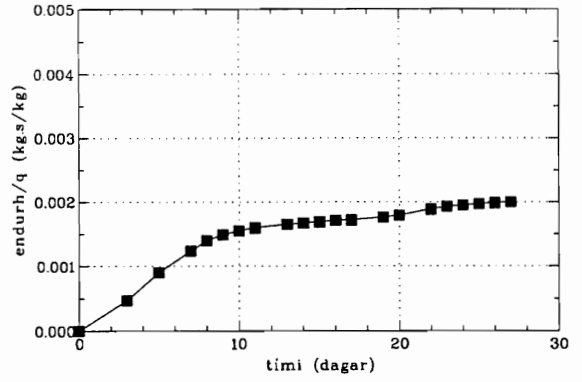
Mynd 12f. Endurheimta í Syðrivogum.



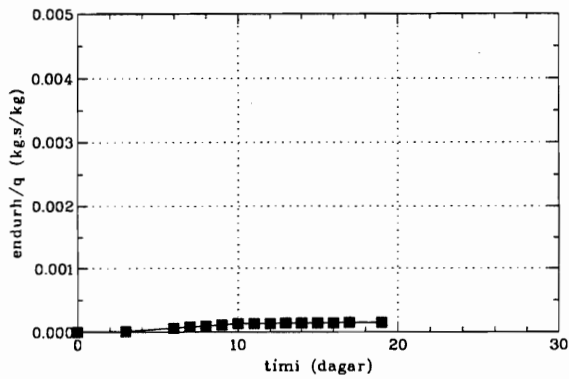
Mynd 12i. Endurheimta í Langavogi.



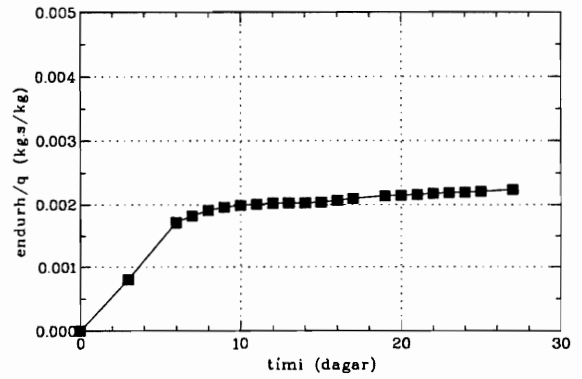
Mynd 12j. Endurheimta í Helgavogi.



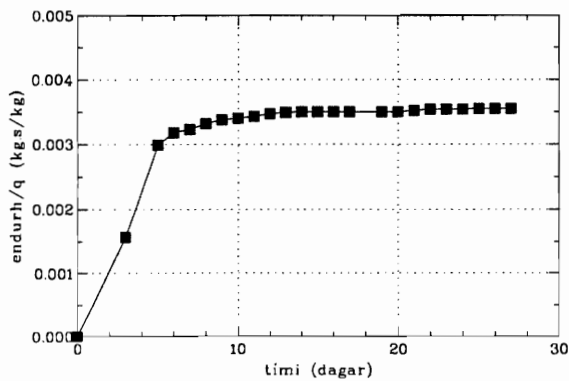
Mynd 12m. Endurheimta í Egilsholu.



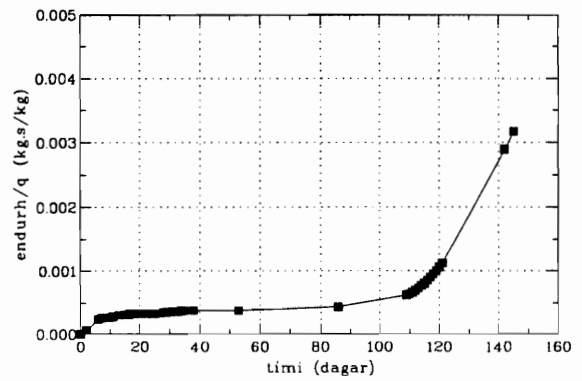
Mynd 12k. Endurheimta í dælustöð.



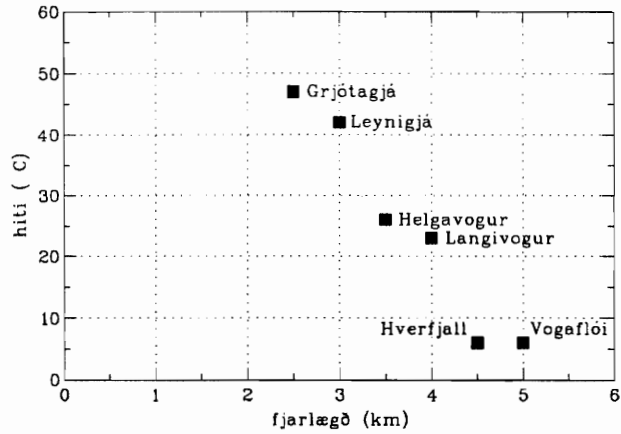
Mynd 12n. Endurheimta í Stórugjá.



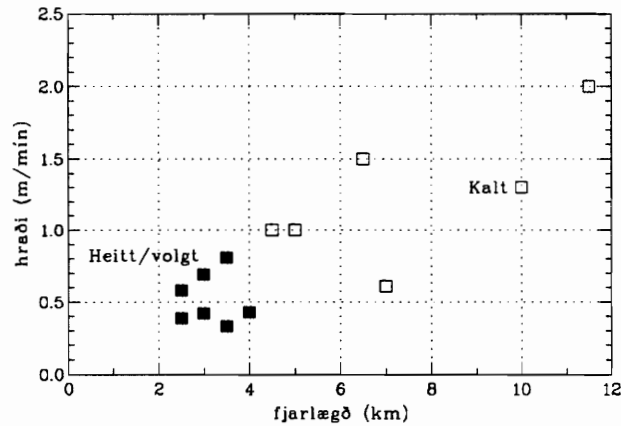
Mynd 12l. Endurheimta við Bjarg.



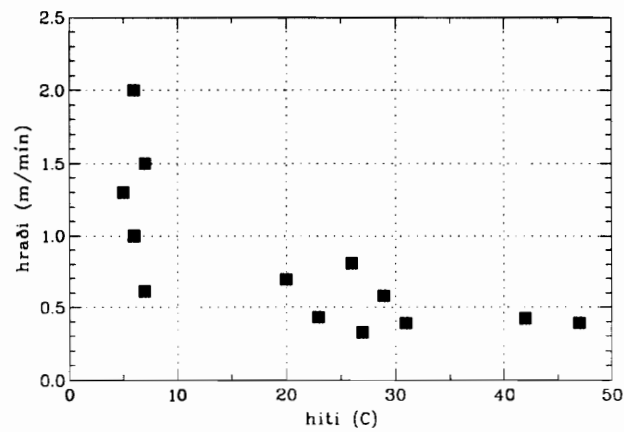
Mynd 12o. Endurheimta í Grjótagjá til feb. 1999.



Mynd 13. Samband hita á nokkrum sýnatökustöðum og fjarlægðar frá Bjarnarflagi.



Mynd 14. Samband áætlaðs hraða á sýnatökustöðum og fjarlægðar frá Bjarnarflagi.



Mynd 15. Samband áætlaðs hraða og hita á sýnatökustöðum.

8. Túlkun niðurstaðna

Tiltæk gögn frá ferilprófunum á Mývatnssvæðinu 1998 eru of takmörkuð til þess að leyfa nákvæma túlkun. Á það bæði við um mælingar á endurheimtu ferilefnanna og magnbundnar upplýsingar um grunnvatnsrennsli á svæðinu. Ónákvæmar áætlanir benda til þess að um fjórðungur þess jodíðs, sem sett var niður í affallslónið í Bjarnarflagi, hafi skilað sér út í Mývatn á u.þ.b. 1/2 mánuði, sem sýnir mikinn hraða grunnvatnsstreymis á svæðinu. Það er í samræmi við það sem talið hefur verið til þessa. Þá sýna niðurstöðurnar að ferilefnið dreifist mjög vel um grunnvatnskerfið allt. Sama mun væntanlega gilda um hugsanlega mengun í Bjarnarflagi.

Hvorugt flúrljómandi efnanna í fyrstu prófuninni skilaði sér á þeim mánuðum sem prófunin stóð yfir. Fyrirfram var talið fremur óvíst að flúorescein sem sett var niður í affallssvelginn í Búrfellshrauni til að kanna rennislleiðir affallsvatns frá Kröflu kæmi yfirleitt fram í fyrirhuguðum athugunarstöðum. Þótt grunnvatnið hugsanlega rynni til vesturs þá eru ekki nein opin vatnsból til í grennd við niðursetningarstaðinn. Því hafði verið lagt til að fyrir þá prófun yrðu boraðar grannar borholur niður í grunnvatnsborð á 2-3 stöðum, sunnan við Leirhnjúk og austan og sunnan við Hverfjall. Það reyndist ekki unnt að gera. Eini athugunarstaðurinn á mögulegri leið grunnvatnsins til vesturs áður en komið er í lindir Mývatns er Helgagjá. Þegar engin merki sáust um efnið í Helgagjá né öðrum enn fjarlægari stöðum var lagt til að bíða með frekari prófanir. Alls er óvíst hvort efnið hefur yfirleitt borist til vesturs og hvort grunnvatnið rennur þangað.

Ferilprófun með rhódamíni á Mývatnssvæðinu gaf heldur enga niðurstöðu, þar sem ekki mældust neinar endurheimtur.

Að öllu eðlilegu hefði það rhódamín sem sett var niður í Bjarnarflag átt að skila sér á einhvern athugunarstaðanna. Ástæður þess að svo varð ekki voru taldar tvíþættar. Bæði rhódamín og flúorescein aðsogast auðveldlega í jarðveg, einkum þó rhódamínið. Kísill í Bjarnarflagslóni var talinn geta haldið eftir einhverju af efninu, en ólíklegt að það yrði í miklum mæli. Ekki var talið að mikil hætta á því að í hraununum væri mikið um leir eða jarðveg, sem gæti síað efnin út úr vatninu. Kísilþörungur greindust í grunnvatni úr borholum í Bjarnarflagi þegar um 1978. Holurnar hafa síðan verið ónýttar og þar af leiðandi ekki verið unnt að fylgjast þar með vatni. Fosfat, sem er í affalli Kísiliðjunnar, skilar sér ekki nema að hluta út í Mývatn og hefur sú skýring verið sett fram að það geti hafa aðsogist kísilgúr í affalli verksmiðjunnar (Jón Ólafsson, 1979a).

Líklegt er að allmikil uppsöfnun á kísilgúr hafi orðið í hrauninu umhverfis Bjarnarflag. Frá því að fyrri ferilprófanir voru gerðar hefur verið losað mikið affall frá Kísiliðjunni og gæti hafa orðið veruleg uppsöfnun á kísilgúr í hrauninu. Þá var sett niður rúmlega tíu sinnum minna magn ferilefnis en í sumar. Í rannsóknarstofuþrófunum Orkustofnunar á aðsogi rhódamíns í kísilríku Svartsengisvatni (Anna E. Ólafsdóttir, 1984) tók það a.m.k. nokkra daga að hverfa úr lausn. Miðað við það og niðurstöður í prófun með kalíumjodíði og eldri prófanir með flúoresceini hefði einhver hluti þess átt að skila sér í nálægum athugunarstöðum. Vera má þó að kísilgúrin sé betri sía en kísilríkt Svartsengisvatn, en þetta mál er ekki að fullu skýrt.

Mismunandi niðurstöður virðast fást úr ferilprófunum á Mývatnssvæðinu nú og þeim sem gerðar voru 1981 og 1982, en þess ber að geta að þessar prófanir eru ekki sambærilegar. Í ferilprófun 1981 var efnið sett niður í hraunið við Varmholtsgjá (I á mynd 1), 1982 var það sett niður norðan við þrær Kísiliðju (II á mynd 1) og nú í sumar var það sett niður vestan við affallslón frá skiljustöðinni í Bjarnarflagi (III á mynd 1). Í fyrri ferilprófunum var tilgangurinn að ákveða leið affalls frá Kísiliðjunni, en í þeim síðari að ákveða leið affallsvatns frá lóninu. Vera má að svelgurinn frá affallslóninu eigi greiðari leið út í opnar gjár og rennur, en affall bæði frá leiðslu og þróm Kísiliðju gæti borist dýpra í grunnvatnskerfið. Séu gögn frá eldri ferilprófunum skoðaðar er reyndar ljóst að túlkun á niðurstöðum úr a.m.k. þeirri síðari getur orkað tvímælis. Flúoresceinið kom þó óumdeilanlega fram í næstu athugunarstöðum í báðum eldri ferilprófununum. Það magn sem þá var sett niður var tífalt minna en tilsvareandi rhódamínamagn og magn flúoresceins í síðustu ferilprófuninni. Ekki er unnt að meta endurheimtur magnbundið í fyrri ferilprófununum, en ljóst er að það skilaði sér betur en í prófunum 1998 og 1999, þegar ekkert rhódamín og mjög lítið flúorescein skilaði sér.

Ekkert bendir til að í eldri prófunum hafi ferilefnið borist álíka hratt um og prófunin 1998 með kalíumjodíðinu bendir til. Sú tilgáta að allt rhódamínið hafi aðsogast kísilgúr og því ekki komið fram virðist ólíkleg í ljósi niðurstaðna frá ferilprófuninni með kalíumjodíði um að rennslið frá allallslæknum sé nánast eins hratt og í gjánum. Hins vegar gæti truflun á mælingum í Kröflu og strjalar viðmiðunarmælingar hafa gert það að álíka lítill toppur og fram kom af flúoresceini í síðustu prófuninni hafi ekki sést. Jafnframt er líklegt að aðsog rhódamínsins sé meira en flúoresceins og þar sem virkt magn efnanna var mjög á móta í prófununum sumarið 1998 og haustið 1999 hefði toppur rhódamínsins getað verið enn lægri.

Við túlkun niðurstaðna hefði verið æskilegt að hafa betri upplýsingar um rennslishraða grunnvatns á svæðinu. Möguleiki er að komast að til að mæla straumhraða beint í sumum gjánum. Nokkrar slíkar mælingar á straumhraða voru gerðar árið 1981, en það eru einu mælingarnar. Mjög æskilegt væri að fara í allar opnar gjár á svæðinu og mæla straumhraða og straumstefnu í þeim á mismunandi dýpi og jafnframt reyna að mæla straumhraða í þeim lindum þar sem slíkt er mögulegt. Þessar mælingar verði gerðar í samvinnu við Vatnamælingar Orkustofnunar.

Niðurstöður ferilprófananna benda eindregið til að ekki sé mögulegt að nota litarefni af svipaðri gerð og rhódamín og flúorescein sem ferilefni til að fá magnbundna endurheimtu, a.m.k. ekki á Bjarnarflagssvæðinu. Til að fá betri upplýsingar um rennslishraða og blöndun í grunnvatnskerfinu á Námafjallssvæðinu virðist þó augljóslega þurfa fleiri slíkar prófanir í tengslum við beinar mælingar. Samkvæmt ofangreindu er lagt til að fjórða ferilprófunin í Bjarnarflagi verði framkvæmd fljótlega annaðhvort með endurtekinni niðurstöðunni kalíumjodíðs eða með því að setja niður alkalíbrómíð. Af kalíumjodíði er lagt til að sett verði niður 150-200 kg, en af alkalíbrómíði þarf talsvert meira, 500-800 kg, þar sem mælinæmni er lægri fyrir brómíð en jodíð og bakgrunnur í grunnvatninu hærri. Af þessum sökum er æskilegra að nota jodíðið. Eins og fram kom í kafla 3 hér að framan er verð svipað á því magni sem niður fer af hvoru fyrir sig. Leggja þarf áherslu á tíðari sýnatöku fyrstu dagana í þessari ferilprófun og er lagt til að hún verði með svipaðri tíðni og í síðustu ferilprófun með flúoresceininu. Tekin verði sýni úr öllum sömu stöðum

og í fyrstu ferilprófununum. Eftir fyrstu 3-5 dagana verði dregið úr sýnatökutíðni niður í 1-2 á dag og eftir 3 vikur verði einungis tekin sýni tvisvar í viku. Þeirri sýnatöku verði hins vegar haldið áfram í 3-4 mánuði a.m.k. í nokkrum völdum sýnatökustöðum. Varðandi sýnatökustað þá er væntanlega eðlilegt að halda sig við niðurfalssvelg Bjarnarflag-slóns, þar sem það er aðalförgunarstaður affallsvatns á svæðinu. Ætti að setja efnið niður nær áætluðum nýjum virkjunarstað, t.d. í Krummagjármisgengið eða við Jarðbaðshóla, þá þyrfti að farga þar vatni tímabundið eða a.m.k. dæla á eftir ferilefninu í einhvern tíma til að skola því niður í grunnvatnskerfið.

Ekki virðist ástæða til að gera fleiri ferilprófanir með affalli frá Búrfellshrauni fyrr en boraðar hafa verið þær grunnvatnsholur sem lagðar hafa verið til vestan og sunnan við förgunarsvæðið. Mjög æskilegt væri að bora þær holur sem fyrst og gera síðan nýja ferilprófun þar til að ganga úr skugga um hvort og hversu mikið af affallinu skilar sér til vesturs og til Mývatns.

Að loknum nýjum ferilprófunum og rennslismælingum á svæðinu er brýnt að huga að því að setja upp nákvæmt reiknilíkan af grunnvatnskerfinu, sem yrði grundvöllur að eftirliti með svæðinu í framtíðinni. Gögn frá vinnslurannsóknnum á jarðhitasvæðunum, efnarannsóknnum og grunnvatnsathugunum í framtíðinni yrðu jafnframt notuð til að gera líkanið nákvæmara og treysta stöðir þess.

9. Meginniðurstöður

Tiltæk gögn frá ferilprófunum á Mývatnssvæðinu 1998 eru of takmörkuð til þess að leyfa nákvæma túlkun. Ástæða þess er bæði skortur á magnbundnum upplýsingum um grunnvatnsrennsli á svæðinu og lélegar heimtur ferilefna.

Ónákvæmar áætlanir benda til þess að um fjórðungur þess joðíðs, sem sett var niður í affallslónið í Bjarnarflagi hafi skilað sér út í Mývatn á u.þ.b. 1/2 mánuði, sem sýnir mikinn hraða grunnvatnsstreymis á svæðinu.

Svo virðist sem grunnvatnsstreymi svæðisins skiptist í kaldan og volgan/heitan hluta og er hraði þess kalda mun meiri en hins.

Þá sýna niðurstöðurnar að ferilefnið dreifist mjög vel um grunnvatnskerfið allt. Sama mun væntanlega gilda um áhrif hugsanlegs affallsvatns í Bjarnarflagi.

Ferilprófun með rhódamíni á Mývatnssvæðinu gaf litlar niðurstöðu, þar sem ekki mældust neinar endurheimtur. Truflun á mælingum í Kröflu og strjalar viðmiðunarmælingar gætu hugsanlega hafa valdið því að álíka lítill toppur og fram kom af flúoresceini í síðustu prófuninni hefði ekki sést. Önnur ástæða þess að rhódamín kom ekki fram er talin aðsog kísils og kísilþörungna frá affalli Kísilgúrverksmiðjunnar, en ekki er ólíklegt að allmikil uppsöfnun á kísilgúr hafi átt sér stað í hrauninu umhverfis Bjarnarflag.

Flúorescein í síðustu prófuninni skilaði sér í litlum mæli á næstu athugunarstaði. Líklegt er að þar skipti aðsog einnig nokkru máli.

Verulega mismunandi niðurstöður virðast fást úr ferilprófunum á Mývatnssvæðinu nú og þeim sem gerðar voru 1981 og 1982. Þessar prófanir eru ekki beint sambærilegar og ekki er unnt að meta endurheimtur magnbundið í fyrri ferilprófununum. Ljóst er þó að ferilefnið skilaði sér betur þá en í prófunum 1998 og 1999.

Prófanir sumarsins gáfu engar mælanlegar niðurstöður varðandi rennsli affallsvatns frá Kröflu. Þótt grunnvatnið hugsanlega rynni til vesturs þá eru ekki nein opin vatnsból til í grennd við niðursetningarstaðinn. Lagt hafði verið til að fyrir þá prófun að bora grannar borholur niður í grunnvatnsborð á 2-3 stöðum. Stóð til að bora holurnar s.l. haust, en hætta varð við það vegna veðurfars í október.

Niðurstöður sýna að mörgum atriðum er enn ósvarað varðandi leið jarðhitaaffalls til Mývatns og nauðsynlegt að gera frekari athuganir til að fá ítarlegri niðurstöður um rennsliferli grunnvatns frá Bjarnarflagssvæðinu.

10. Tillögur

Til þess að öðlast betri þekkingu á grunnvatnsstreymi í Mývatnssveit er lagt til að eftirfarandi verði rannsakað:

1. Gerðar verði ítarlegar mælingar á grunnvatnsstreymi í Mývatnssveit í samvinnu við Vatnamælingar Orkustofnunar.
2. Fjórða ferilprófunin verði gerð, t.d. með endurtekinni niðursetningu kalíumjodíðs (100-200 kg). Þá þarf að leggja áherslu á tíða sýnatöku fyrstu dagana og nákvæmar styrkmælingar.
3. Huga þarf að því hvort ekki væri rétt að setja upp nákvæmt reiknilíkan af grunnvatnskerfinu. Gögn úr 1 og 2 væru þó forsenda þess að það væri hægt, auk fyrirbyggjandi gagna um efnainnihald og vatnshita.
4. Lagt er til að boraðar verði nokkrar grunnar borholur sunnan Námafalls og Hverfjalls til að fá betri upplýsingar um grunnvatnsborð.
5. Gerð verði ferilprófun að loknum borunum með því að setja niður ferilefni niður í niðurfallssvelginn frá læknum Búrfellshrauni til að ganga úr skugga um hvort og hversu mikið af affallinu skilar sér til vesturs og til Mývatns.

11. Heimildir

- Anna E. Ólafsdóttir, 1984. Könnun áhrifa Svartsengisvatns á rhodamin W.T. Orkustofnun greinargerð, AEÓ-84/01, 9 s.
- Arnþór Garðarsson og Árni Einarsson (ritstj.) 1991. Náttúra Mývatns. Hið íslenska náttúrufræðifélag, Reykjavík, 372 s.
- Gaspar, E., 1987. Modern Trends in tracer hydrology, vol 1. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida, 145 s.
- Guðni Axelsson, 1999. Ferilprófanir í Mývatnssveit. Túlkun á endurheimtu jodíðs. Orkustofnun, greinargerð, GAx-99/02, 9 s.
- Halldór Ármannsson, Hrefna Kristmannsdóttir og Magnús Ólafsson, 1998. Krafla-Námalfjall. Áhrif eldvirkni á grunnvatn. Samstarfsverk Orkustofnunar og Landsvirkjunar. OS-98066, 33 s.
- Hrefna Kristmannsdóttir, 1998a. Áætlun um ferilprófun sumarið 1998 í grunnvatnskerfi Mývatnssvæðis. Greinargerð HK-98/03, 4 s.
- Hrefna Kristmannsdóttir, 1998b. Áætlun um ferilprófun sumarið 1998 í grunnvatnskerfi Mývatnssvæðis. Greinargerð HK-98/04, 4 s.
- Hrefna Kristmannsdóttir, 1998c. Framhald ferilprófana á Kröflu-Námalfjallssvæði. Greinargerð HK-98/05, 3 s.
- Halldór Ármannsson, Hrefna Kristmannsdóttir og Magnús Ólafsson, 1998. Krafla-Námalfjall. Áhrif eldvirkni á grunnvatn. Orkustofnun, OS-98066, 33 s.
- Hrefna Kristmannsdóttir, Steinunn Hauksdóttir og Guðni Axelsson, 1998. Frumniðurstöður ferilprófunar með kalíum-jodíði á Kröflu-Námalfjallssvæðiog tillögur um lokaáfangu prófana 1998. Orkustofnun, greinargerð HK/StH/GAx-98/06, 8 s.
- Iðnaðarráðuneytið, 1992. Könnun á áhrifum kísilgúrnáms á setflutninga í Mývatni og mikilvægi þeirra fyrir lífríki vatnsins. Rannsóknaráætlun 1992-1995. Mars 1992, 137 s.
- Jón Benjamínsson, 1984. Kenniefni. Um notkun flúrefnanna rhódamíns WT og flúoresceins við ferlunar- og streymisathuganir. OS-84076/JHD-14, 44 s.
- Jón Ólafsson, 1979a. Könnun á aukningu fosfórs og köfnunarefnis í jarðvatni við Mývatn. Náttúruverndarráð, Fjölrit nr. 5, 48-58.
- Jón Ólafsson, 1979b. Physical characteristics of Lake Mývatn and River Laxá. OKIOS, 32, 38-66.
- Jón Ólafsson, 1979c. Chemical characteristics of Lake Mývatn and River Laxá. OKIOS, 32, 82-112.
- Pétur M. Jónasson (ed.), 1979. Lake Mývatn. Ecology of eutropic, subarctic Lake Mývatn and the river Laxá. The Icelandic Literature Society in Copenhagen, 308 s.

- Steinunn Hauksdóttir, 1998. Greiningar á ferilefnum á Kröflu-Námafjallssvæði. Greinargerð StH-98/02.
- Steinunn Hauksdóttir og Hrefna Kristmannsdóttir, 1999. Samanburðarmælingar á Rhodamin WT og Na-flúorescein með Turner 111 fluoromæli. Ferilprófun í Mývatnssveit. Greinargerð StH/HK-99/01. 30 s.
- Umhverfisráðuneytið, 1993a. Mývatnsrannsóknir. Greinargerð um niðurstöður ársins 1992. Mars 1993, 27 s.
- Umhverfisráðuneytið, 1993b. Mývatnsrannsóknir. Tillaga að rannsóknaráætlun fyrir 1993-1995. Maí 1993, 34 s.
- Vatnaskil, 1991. Straumar í Mývatni. Unnið fyrir sérfræðinganefnd um Mývatnsrannsóknir. Apríl 1991, 94 s.
- Vatnaskil, 1993. Mývatn. Lake circulation and sediment transport. Ministry for the Environment. project management team for research on Lake Mývatn. 75 s.
- Þóroddur F. Þóroddsson og Guttormur Sigbjarnarson, 1983. Kísiliðjan við Mývatn. Grunnvatnsrannsóknir. Orkustofnun, OS-83118/VOD-10, 41 s.

VIÐAUKI 1

Sýnatöku- og niðursetningarstaðir í Mývatnssveit.

Staðsetning mæld með Geoexplorer II og skrár "eftirá-leiðréttar" (Hnathnit er WGS-84)

Nr.	Staður	Punktar	Breidd	Staðalfrávik	Lengd	Staðalfrávik	Hæð m y.s.
1	Brunadæluhús í Kröflu, Sandabotnalindir	103	65°42'10,706'	0,601	16°46'24,6 29"	0,979	468
2	AE-01, Gamla kaldavatnsholan	135	65°41'40,208'	0,426	16°46'27,5 54"	0,480	457
3	Hlíðardalslækur v/Skarðssel	284	65°40'58,223'	0,351	16°46'23,3 43"	0,419	393
4	Varmaskiptastöð í Bjarnarflagi, Austaraselslindir	153	65°38'34,207'	0,738	16°50'27,3 09"	0,713	357
5	AB-02 í Búrfellshrauni	136	65°37'54,157'	0,578	16°46'26,2 91"	0,427	349
6	Hlíðardalslækur v/AB-02	114	65°37'51,651'	0,290	16°46'23,0 14"	0,282	349
7	AF-01 "Egilshola"	143	65°38'25,216'	0,837	16°54'23,4 20"	0,294	291
8	Helgagjá	152	65°34'44,560'	0,498	16°52'21,9 33"	0,708	284
9	Vogaflói	144	65°36'40,490'	0,317	16°55'13,9 22"	0,881	279
10	Langivogur	117	65°37'00,953'	0,732	16°55'00,0 11"	0,155	282
11	Helgavogur	210	65°38'01,360'	0,595	16°55'21,1 72"	0,437	279
12	N-Helgavogar	126	65°38'09,455'	0,889	16°55'25,4 27"	1,837	277
13	Vogagjá (Leynigjá)	153	65°37'08,410'	0,444	16°53'22,4 64"	1,331	292
14	Grjótágjá	103	65°37'35,020'	0,601	16°52'58,7 28"	0,287	287
15	Stóragjá	154	65°38'18,037'	0,711	16°54'35,3 41"	0,446	288
16	Glerhallarvatn	106	65°38'27,310'	0,254	16°50'42,3 54"	0,296	320
17	Dælustöð Kísiliðjunnar	127	65°38'08,707'	0,520	16°55'30,3 32"	0,539	281
18	Bjarg/Eldá	126	65°38'25,186'	0,624	16°54'54,7 81"	0,529	279
19	Hverfjallsgjá	204	65°36'22,005'	0,474	16°53'37,6 86"	0,608	283
20	Strandarvogur	133	65°35'43,184'	0,471	16°56'01,0 81"	0,607	277
21	Grjótavogur	301	65°33'46,464'	0,481	16°56'38,2 61"	0,134	280
22	Garðslind	99	65°33'09,362'	0,682	16°58'08,5 33"	0,677	279
23	Svelgur í Búrfellshrauni	124	65°37'23,555'	0,224	16°46'39,1 95"	0,199	344
24	Svelgur í Bjarnarflagi, stök mæling, ekki leiðrétt	1	65°38'25,605 "		16°51'04,2 73"		320