



**ORKUSTOFNUN**

**Rannsóknasvið**

# **Krafla - Námafjall Áhrif eldvirkni á grunnvatn**

**Samstarfsverk Orkustofnunar  
og Landsvirkjunar**

**Halldór Ármansson  
Hrefna Kristmannsdóttir  
Magnús Ólafsson**

**1998**

**OS-98066**





**ORKUSTOFNUN**  
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Verknr. 8-760133

**Halldór Ármansson  
Hrefna Kristmannsdóttir  
Magnús Ólafsson**

# **KRAFLA-NÁMAFJALL**

**Áhrif eldvirkni á grunnvatn**

**Samstarfsverk Orkustofnunar og Landsvirkjunar**

**OS-98066**

**Október 1998**

ISBN 9979-68-024-5



# ORKUSTOFNUN

Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Lykilsíða

Skýrsla nr.:	Dags.:	Dreifing:
OS-98066	Október 1998	<input checked="" type="checkbox"/> Opin <input type="checkbox"/> Lokuð til
<b>Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill:</b>  KRAFLA-NÁMAFJALL Áhrif eldvirkni á grunnvatn		<b>Upplag:</b> 30
		<b>Fjöldi síðna:</b> 33
<b>Höfundar:</b>  Halldór Ármannsson Hrefna Kristmannsdóttir Magnús Ólafsson		<b>Verkefnisstjóri:</b> Hrefna Kristmannsdóttir
<b>Gerð skýrslu / Verkstig:</b>  Grunnvatnsrannsókn, áfangaskýrsla		<b>Verknúmer:</b> 8-760133
<b>Unnið fyrir:</b> Samstarfsverk Orkustofnunar og Landsvirkjunar		
<b>Samvinnuaðilar:</b> Að hluta unnið með styrk frá Rannsóknarráði Íslands		
<b>Útdráttur:</b>  Gerð er grein fyrir samstarfsverkefni Orkustofnunar og Landsvirkjunar um grunnvatnsrannsóknir á Kröflu- Námafjallssvæðinu. Samkvæmt áætlun um verkefnið, sem hófst sumarið 1997, skyldi rannsaka efnainnihald og samsætuhlutföll í heitu og köldu vatni á Mývatns-Kröflu-Námafjallssvæði næstu 2 ár. Meginmarkmið þess er að skýra uppruna grunnvatnsstrauma og blöndun þeirra austan Mývatns, og meta breytingar með samanburði við eldri gögn. Í upphafi eru raktar fyrri rannsóknir, og síðan fjallað um framkvæmd og niðurstöður efnagreininga, rennslisleiðir grunnvatns og upp-töku efna í grunnvatni. Helstu niðurstöður eru þær að grunnvatni á Mývatnssvæði hefur verið skipt í fimm flokka eftir efna- og samsætusamsetningu. Talið er sennilegt að kalt grunnvatn sé af þrennum uppruna, þ.e. vatn runnið frá Kröflu og nágrenni, vatn frá Dalfjalls-, Hlíðarfjallssvæði og vatn komið langt sunnan að. Ekki hefur tekist að sýna fram á rennsli affalls frá Kröfluvirkjun beint til Mývatns. Frumkönnum á því hvort unnt er að rekja breytingu grunnvatns yfir í háhitavatn leiddi ekki til ákveðinnar niðurstöðu, en reikningar benda til að þrengja megi val á aðstæðum þannig að tölverð nálgun verði.		
Lykilord:	ISBN-númer: 9979-68-024-5	
Krafla-Námafjall, eldvirkni, grunnvatn, efnagreiningar, rennslisleiðir	Undirskrift verkefnisstjóra:  <i>Hrefna Kristmannsdóttir</i>	
	Yfirlærið af: HK	

## **EFNISYFIRLIT**

1.	INNGANGUR	4
2.	FYRRI RANNSÓKNIR	4
3.	FRAMKVÆMD	5
4.	NIÐURSTÖÐUR EFNAGREININGA	7
5.	ÚRKOMA OG RENNSLISLEIÐIR GRUNNVATNS Á KRÖFLU- OG NÁMAFJALLSSVÆÐI	23
6.	UPPTAKA EFNA Í GRUNNVATN	23
7.	HELSTU NIÐURSTÖÐUR	30
8.	HEIMILDIR	31
 <b>TÖFLUSKRÁ</b>		
1.	Sýnatökustaðir	5
2.	Sýnatökur ágúst 1997 – ágúst 1998	7
3.	Upprunahópar grunnvatns á Mývatnssvæði	7
4.	Mældur hiti og kaledónhihi í grunnvatnssýnum frá Kröflu og Námafjalli, ágúst 1997	7
5.	Niðurstöður efnagreininga	14
6.	Efnasamsetning basalts á Kröflusvæði (%). Stílfært meðaltal með ofgnótt K <sub>2</sub> O	28
7.	Efnasamsetning vatns úr Austaraselslindum notað til titrunar (mg/kg)	29
8.	Samsetning eldfjallagass frá Surtsey (frá því snemma í gosi, mól %)	29
9.	Reiknuð efnasamsetning lindarvatns (ppm) eftir snertingu við berg og blöndun við eldfjallagas við 205°C	29
10.	Efnasamsetning djúpvatns í völdum holum í Kröflu og Námafjalli.	30

## MYNDASKRÁ

1.	Sýnatökustaðir	6
2.	$\delta D$ á móti $\delta^{18}O$ í sýnum af grunnvatni frá Kröflu og Námafjalli, regnlína, flokkun eftir $\delta D$ hlutfalli	9
3.	$Cl-SO_4-HCO_3$ línurit fyrir grunnvatn frá Kröflu og Námafjalli	10
4.	$Cl/100-Li-B/4$ línurit fyrir grunnvatn frá Kröflu og Námafjalli	11
5.	B á móti Cl í sýnum af grunnvatni frá Kröflu og Námafjalli	12
6.	Cl á móti Cl/B í sýnum af grunnvatni frá Kröflu og Námafjalli	13
7.	$Na/1000-K/100-\sqrt{Mg}$ línurit fyrir grunnvatn frá Kröflu og Námafjalli	21
8.	Hitastig í Grjótagjá nóvember 1996-júní 1998	22
9.	Hitastig í Stórugjá nóvember 1996-júní 1998	22
10.	Árleg úrkoma á Kröflu-Námafjallssvæði 1931-1960 miðuð við mælingar í Reykjavík og á Grímsstöðum á Fjöllum	24
11.	Grunnvatnshæð á Kröflu-Námafjallssvæði	25
12.	Vatnsborð í nokkrum Kröfluholum ágúst 1996-september 1997	26
13.	Krafla KJ-6. Vatnsborð 1976-1992	27
14.	Hola AB-02, Búrfellshrauni. Vatnsborð 1979-1998	28

## 1. INNGANGUR

Í skýrslunni segir frá samstarfsverkefni Orkustofnunar og Landsvirkjunar um grunnvatn á Kröflu- og Námafjallssvæðum sem að hluta var unnið að með styrk frá Rannsóknaráði Íslands.

Vinna við verkefnið hófst sumarið 1997 og hljóðaði áætlun fyrir það upp á rannsóknir á efnainnihaldi og samsætuhlutföllum í heitu og köldu vatni á Mývatns-Kröflu-Námafjallssvæði næstu 2 ár. Meginmarkmiðið er að skýra uppruna grunnvatnsstrauma og blöndun þeirra austan Mývatns og jafnframt hugsanlegar árstíðasveiflur. Um leið á að taka saman eldri gögn og meta breytingar út frá þeim og hinum nýrri.

Grunnvatnskerfið er samsett úr nokkrum meginstraumum. Hluti er aðrunninn langt sunnan af hálandi landsins en hluti er staðbundinn og kemur úr nærliggjandi fjallendi. Jarðhitakerfi og eldsumbrot hafa haft veruleg áhrif á efnainnihald grunnvatns á þessu svæði, bæði til skamms og langs tíma.

Ætlunin er að varpa ljósi á áhrif eldvirkni á háhitakerfi og áhrif jarðhitavinnslu á grunnvatnskerfi í nágrenni háhitasvæða. Ennfremur verður reynt að skýra sampil staðbundins grunnvatns og fjarlægs aðrunnins vatns.

Þannig er stefnt að því að fá heildarmynd af uppruna og rennslisleiðum grunnvatns á þessum slóðum og mun hún auðvelda mat á umhverfisáhrifum fyrirhugaðra virkjana og annarra mannvirkja á viðkvæmt lífríki og leit að leiðum til tiltölulega óskaðlegrar auðlindanýtingar.

## 2. FYRRI RANNSÓKNIR

Darling and Ármannsson (1989) sýndu fram á að vatn í jarðhitakerfinu í Kröflu er staðbundið grunnvatn en vatn í kerfinu í Námafjalli aðrunnið sunnan úr hálandinu. De Zeeuw and Gíslason (1988) og Ólafsson and Kristmannsdóttir (1989) sýndu fram á veruleg áhrif eldsumbrota á grunnvatnskerfið í Námafjalli, sem hitnaði um leið og efnainnihald vatnsins gjörbreyttist. Jafnframt rann þá mikið kalt vatn niður í dýpri hluta jarðhitakerfisins í Bjarnarflagi og grunn kvíkuinnskot ullu tímabundnu yfirkrítísku ástandi í hlutum þess kerfis (Ásgrímur Guðmundsson o.fl. 1989, Ómar Sigurðsson 1993, Tole o. fl. 1993). Þá er ógetið áhrifa kvíkugasa á jarðhitakerfið í Kröflu sem hafa dvínað en gætir þó enn (Ármannsson o. fl. 1982, 1989, Truesdell o. fl. 1989, Trausti Hauksson og Jón Benjamínsson 1997).

Eðlisástandi jarðhitakerfanna og efnainnihaldi vökva þeirra hefur verið lýst (Ármannsson o. fl. 1987, Halldór Ármannsson 1993). Talsverð vinna hefur verið lögð í að meta áhrif breytinga á vinnslueiginleika en minni í að kanna uppruna vatnsins og langtímaþreytingar á samsetningu þess. Lýst hefur verið rannsóknum á og hugmyndum um grunnvatnskerfin (Stefán Arnórsson og Einar Gunnlaugsson 1976, Guttormur Sigbjarnarson o.fl. 1974, Halldór Ármannsson 1995, Björn Jóhannesson 1980, Þóroddur F. Þóroddsson og Guttormur Sigbjarnarson 1983). Ekki hefur verð fylgst reglulega með afdrifum affalls frá virkjununum, en Orkustofnun hefur séð um töku sýna á fáeinum stöðum þó að ekki hafi verið unnið mikið úr þeim.

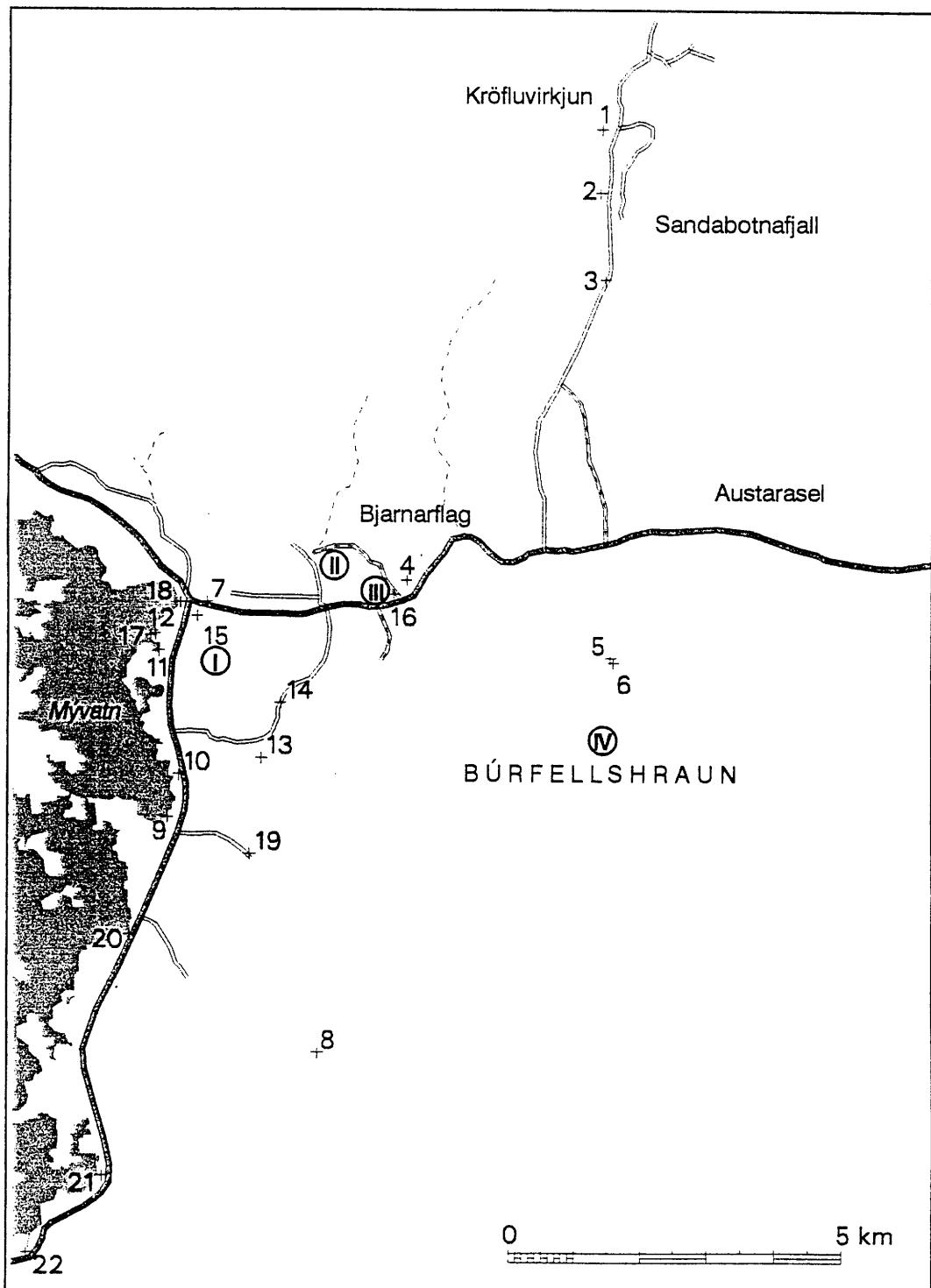
### 3. FRAMKVÆMD

Farin var sýnatökuferð í ágúst 1997 og safnað 18 sýnum á völdum stöðum. Í ljósi niðurstaðna voru sex þessara staða valdir til sýnatöku á 2ja mánaða fresti og sáu starfsmenn Landsvirkjunar um þá framkvæmd. Í sýnatökuferð í júní 1998 var bætt við 4 stöðum sem einnig eru notaðir við ferilprófanir sem eru í gangi á Kröflu-Námafjallssvæði. Staðsetning sýnatökustaða var ákvörðuð með GPS gervitunglaviðtæki og er staðsetning sýnd í töflu 1. Á hverjum stað var yfirleitt safnað 100 til 200 punktum og staðsetning síðan leiðrétt eftir á. Allir sýnatökustaðir eru sýndir á mynd 1. Eftirfarandi þættir voru mældir í fyrstu 18 sýnum: pH, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, B, leiðni, SiO<sub>2</sub>, Li, Na, K, Mg, Ca, F, Cl, Br, SO<sub>4</sub>, Al, Cr, Mn, Fe, Cu, Zn, As, Pb, heildarstyrkur uppleystra steinefna, δD og δ<sup>18</sup>O. Auk þess var Hg mælt í 3 þeirra. Í sýnum sem tekin eru á 2ja mánaða fresti er mælt: pH, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, B, SiO<sub>2</sub>, Na, K, Mg, Ca, Cl, SO<sub>4</sub> og δ<sup>18</sup>O en leitast er við að mæla sömu þætti og í 18 fyrstu sýnum einu sinni á ári og var það haft í huga í sýnatökuferð í júní 1998 (töku nr. 6, sbr. Töflu 2).

Tafla 1. Sýnatökustaðir (hnatthnit WGS-84)

Nr.	Staður	Breidd	Lengd	Hæð m. y.s.
1	Sandabotnalind-Dæluskúr, Kröflu	65°42'10,706"	16°46'24,629"	468
2	AE-01 Gamla kaldavatnsholan , Kröflu	65°41'40,208"	16°46'27,554"	457
3	Hlíðardalslækur v/Skarðssel	65°40'58,223"	16°46'23,343"	393
4	Austaraselslindir.-Varmaskiptastöð, Bjarnarflagi	65°38'34,207"	16°50'27,309"	357
5	AB-02, Búrfellshrauni	65°37'54,157"	16°46'26,291"	349
6	Hlíðardalslækur v/AB-02	65°37'51,651"	16°46'23,014"	349
7	AF-01, Helluhrauni 12, Reykjavíð	65°38'25,216"	16°54'23,420"	291
8	Helgagjá, sunnan Dimmuborga.	65°34'44,560"	16°52'21,933"	284
9	Vogafloi. Lind á bakka Mývatns	65°36'40,490"	16°55'13,922"	279
10	Langivogur. Lind á bakka Mývatns	65°37'00,953"	16°55'00,011"	282
11	Helgavogur. Lind á bakka Mývatns	65°38'01,360"	16°55'21,172"	279
12	Norðan Helgavogar Lind á bakka Mývatns	65°38'09,455"	16°55'25,427"	277
13	Vogagjá (Leynigjá), sunnan í Grjótagjá	65°37'08,410"	16°53'22,464"	292
14	Grjótagjá-karlagján	65°37'35,020"	16°52'58,728"	287
15	Stóragjá við aðalop	65°38'18,037"	16°54'35,341"	288
16	Glerhallarvatn-affallslón, Bjarnarflagi rétt N vegar	65°38'27,310"	16°50'42,354"	320
17	Helgavogur. Dælustöð Kísiliðjunnar, brunnar	65°38'08,707"	16°55'30,332"	281
18	Bjarg. Lind á bakka Mývatns	65°38'25,186"	16°54'54,781"	279
19	Hverfjallsgjá	65°36'22,005"	16°53'37,686"	283
20	Strandarvogur. Lind á bakka Mývatns	65°35'43,184"	16°56'01,081"	277
21	Grjótavogur. Lind á bakka Mývatns	65°33'46,464"	16°56'38,261"	280
22	Garðslind	65°33'09,362"	16°58'08,533"	279

Í töflu 2 er yfirlit um sýnatökur:



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)

Tafla 2. Sýnatökur ágúst 1997 – ágúst 1998

Taka nr.	Dagsetning	Sýni nr.
1	1997.08.08 - 11	1997-0438 – 0455
2	1997.11.14 - 15	1997-0701 – 0707
3	1998.01.22	1998-0011 – 0016
4	1998.04.01	1998-0251 – 0256
5	1998.05.12	1998-0290 – 0295
6	1998.06.16 - 20	1998-0334 – 0355
7	1998.08.25	1998-0461 – 0466

#### 4. NIÐURSTÖÐUR EFNAGREININGA

Niðurstöður þeirra efnagreininga, sem fyrir liggja, eru sýndar í Töflu 3. Tvívetnislutfall er breytilegt frá  $-80.4$  að  $-92.9 \text{ \textperthousand}$  og súrefnis-18 hlutfall frá  $-5.97$  að  $-12.85 \text{ \textperthousand}$  og því augljóst að uppruni vatnsins er allmismunandi. Var vatninu skipt í 6 hópa á grundvelli tvívetnis- og súrefnis-18-hlutfalla (Tafla 3).

Tafla 3. Upprunahópar grunnvatns á Mývatnssvæði

Hópur nr.	Sýnatökustaðir nr.
I	3, 6
II	1, 2, 4
III	5, 7, 11, 12, 15, 17, 18
IV	8, 9, 19, 20, 21, 22
V	10, 13, 14
VI	16

Eins og við var að búast skera sýni úr Hlíðardalslæk annars vegar og Glerhalla-vatni hins vegar sig úr og bera einkenni affallsvatns úr jarðhitakerfunum í Kröflu (Hópur I) og Námafjalli (Hópur VI). Hinum sýnum má skipta í 4 hópa eftir tvívetnis- og súrefnis-18 hlutföllum. Á mynd 2 er dregið  $\delta D$  á móti  $\delta^{18}\text{O}$ , sýndar regnlínur og flokkar miðaðir við  $\delta D$  auðgreindir. Svo virðist sem vatnið í flokkum I til III sé staðbundið að uppruna en vatnið í hópum IV og V, þ.e. vatn frá suðausturhluta rannsóknarsvæðisins, komið sunnan að. Nokkur dreifing er á gildum fyrir helstu anjónir,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  og  $\text{HCO}_3^-$ , sem dregin eru á línurit á mynd 3. Hlutfall klóríðs er alls staðar lágt en afstæður styrkur súlfats og karbónats mismunandi. Má ætla að súlfatstyrkur ráðist af áhrifum jarðhita. Þar greinast hópar I og VI frá vegna hás súlfatinnihalds enda um affall frá háhitavatni að ræða. Vatn úr hópi V sýnir nokkuð dreift súlfathlutfall og getur það bent til einhverrar en mismikillar blöndunar við háhitavatn. Nokkur súrefnistilfærsla kemur og fram í hópi V (mynd 2) og styður hún þessa túlkun. Allt vatn úr hópi III er mjög svipað og sýnir einhver jarðhitaáhrif. Afstæður súlfatstyrkur er síðan minni í hópi IV og minnstur í hópi II sem er kalt grunnvatn sem sennilega hefur ekki orðið fyrir miklum áhrifum af jarðhita.

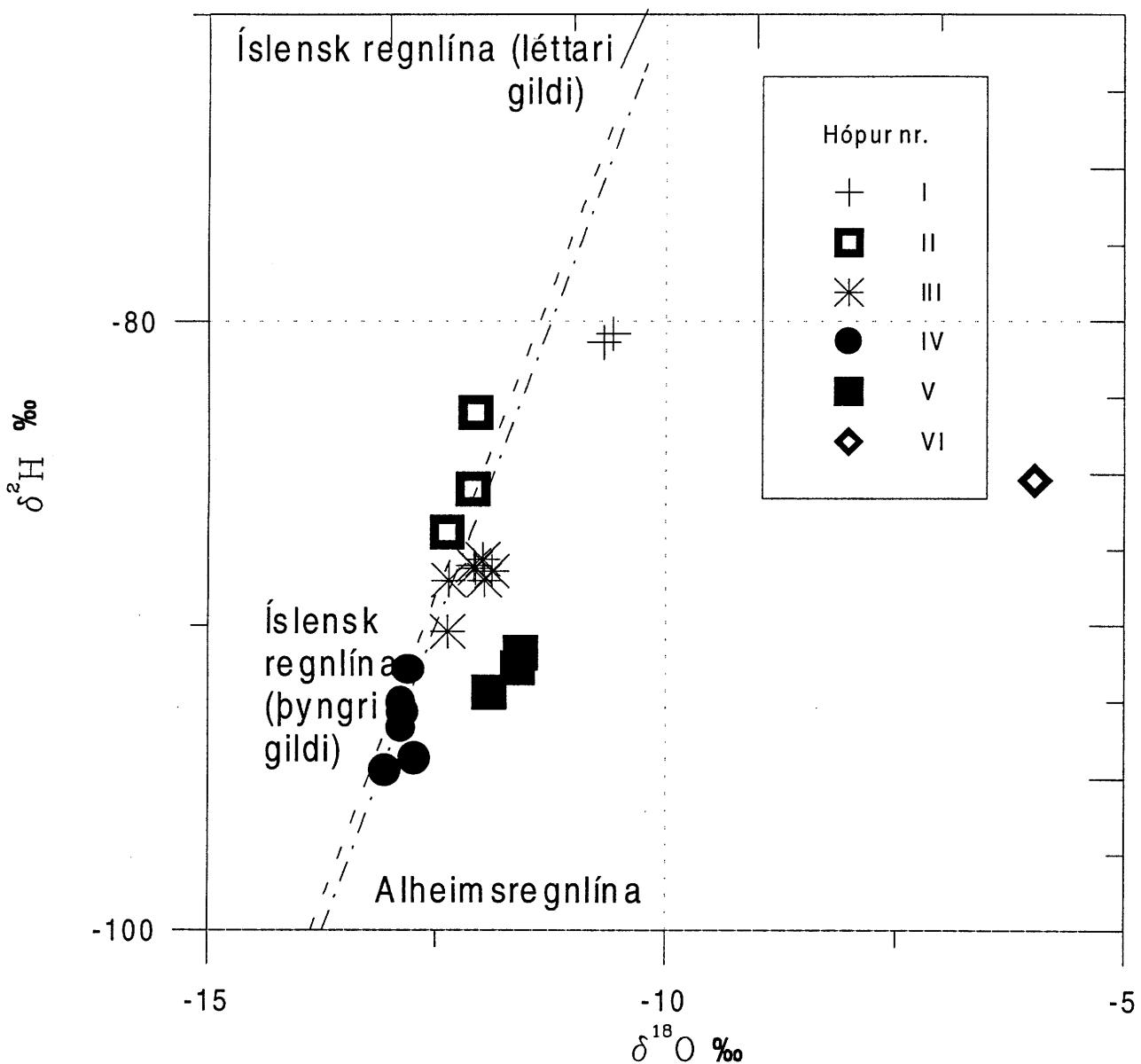
Önnur leið til að gera sér grein fyrir uppruna og rennslisleiðum er að líta á efni sem ekki taka þátt í útfellingar- eða jónaskiptahvörfum. Á mynd 4 er afstæður styrkur Li, B og Cl túlkaður með samanburði við styrk þeirraí bergi og afdrif við hugsanleg ferli, t.d. tap

eða ísog efnanna og ísog kvíkugufu (Giggenbach 1991). Teiknast niðurstöðurnar á það svæði sem gerir ráð fyrir leysingu úr bergi en ísog gufu síðar og benda til að tiltölulega gamall jarðhiti ráði styrk þessara efna. Arnórsson (1995) hefur fjallað um afstæðan styrk klóríðs og bórs og gerir ráð fyrir að uppruni sé þrenns konar í íslensku jarðhitavatni, þ.e. regnvatn, leysing úr bergi og jarðsjór. Á mynd 5 er B dregið á móti Cl en á mynd 6 Cl á móti Cl/B. Ekki er unnt að sjá blöndun við jarðsjó og benda öll gildin til tölverðrar upptöku bórs úr bergi eftir að vatnið fíll sem regn. Áhrifin eru mismikil, minnst í ferskvatnssýnum úr köldum lindum og holum (hópum II og IV og sýni úr AB-02 í hópi III) en mest í affalli frá háhitasvæðum (hópum I og VI) og langt að runnu vatni á bakka Mývatns sem orðið hefur fyrir áhrifum jarðhita (Hópi V).

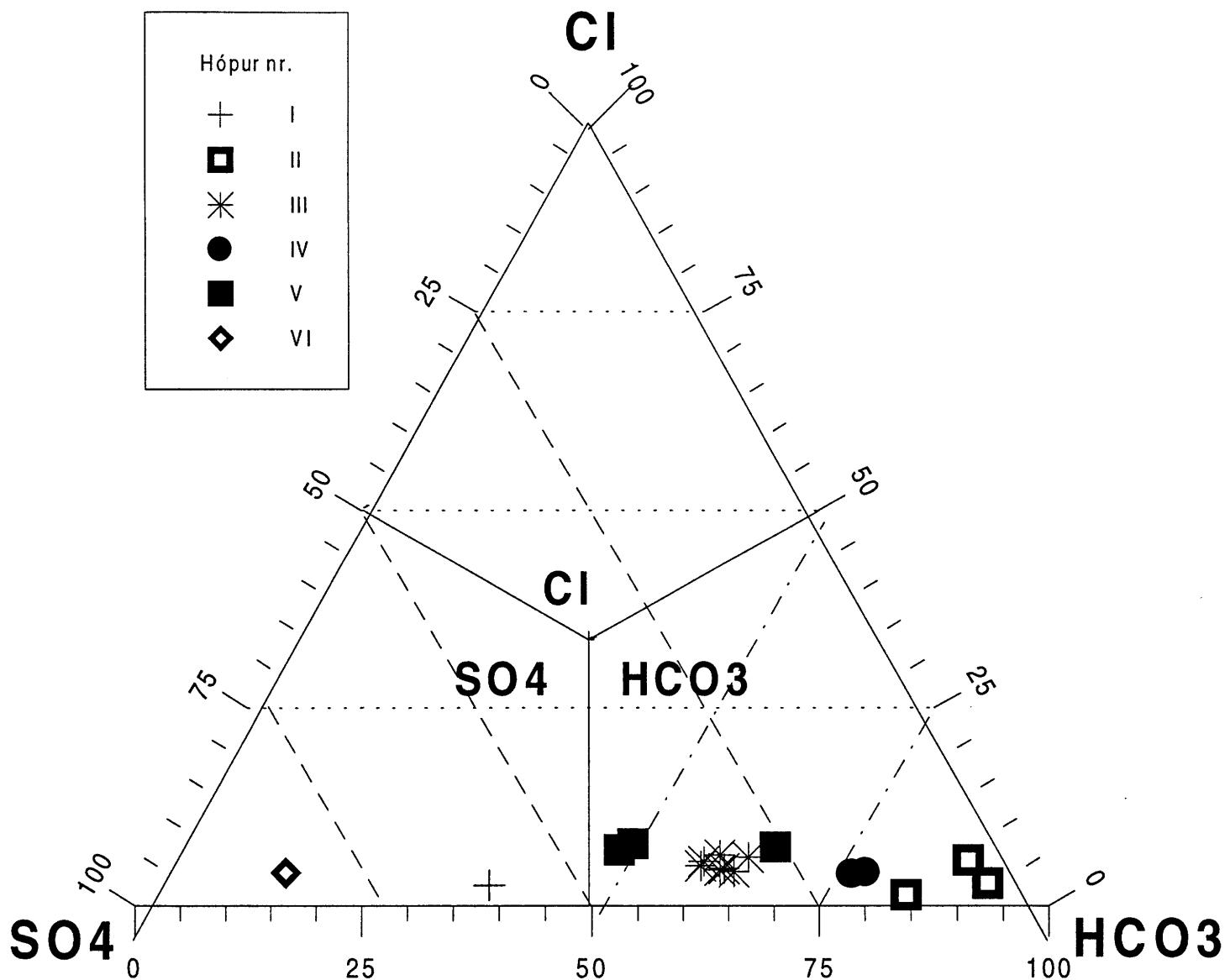
Sé litið til þeirra efna, sem hitastig stjórnar styrk á, er athyglisvert að kalsedónhiti er yfirleitt verulega miklu hærri en mældur hiti (tafla 4). Bendir það til vatns sem nýlega hefur kólnað en getur einnig verið til marks um blöndun við jarðhitavatn. Undir fyrri flokkinn falla augljóslega vatn úr Hlíðardalslæk og Glerhallarvatni og sennilega Grjótagjá, Vogagjá og Stórugjá. Aðrar volgar lindir eru að öllum líkindum blanda jarðhitaaffalls og kalds grunnvatns. Einhværra áhrifa frá jarðhitagini gætir e.t.v. í Austaraselslindum og skýr þau styrk kísils og CO<sub>2</sub>, pH og kíslhita. Áhrif jarðhita á vatn í Sandabotnalindum eru og greinileg. Til að kanna slík áhrif nánar eru niðurstöður dregnar inn á Na/1000-K/100- $\sqrt{Mg}$  graf (Giggenbach 1988) (mynd 7). Myndin bendir til kalds óþroskaðs vatns í öllum tilvikum. Þó virðist Na/K hiti á þróngu bili (180-220°C) og gæti þetta tvennt bent til blöndunar við svo heitt vatn fremur en snöggrar kólnunar.

Tafla 4. Mældur hiti og kalsedónhiti í grunnvatnssýnum frá Kröflu og Námafjalli, ágúst 1997

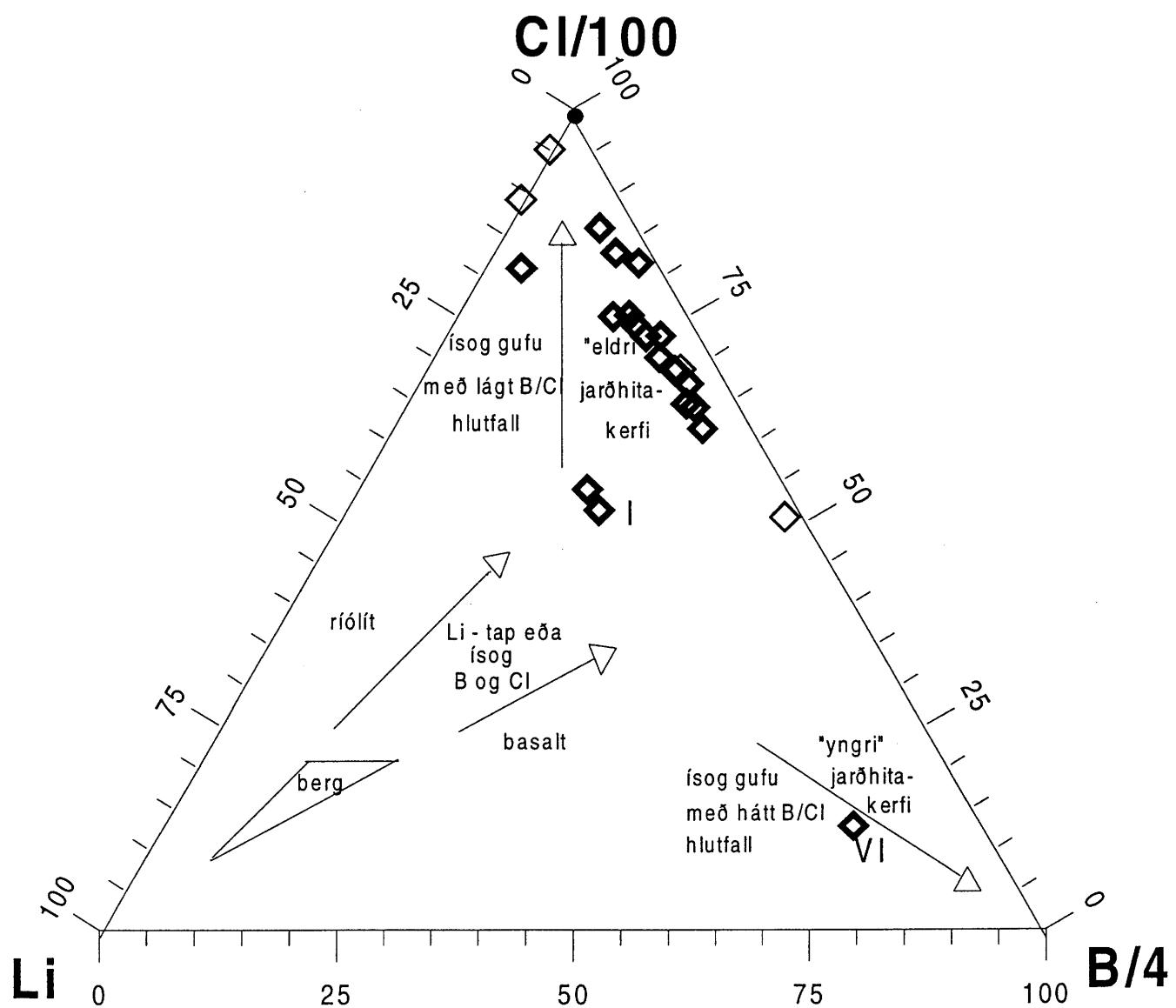
Hópur nr.	Sýni nr.	Staður	Mældur hiti °C	Kalsedónhiti °C
I	440	Hlíðardalslækur við Skarðssel	13.6	137.6
I	443	Hlíðardalslækur v/holu AB-02	9.5	124.6
II	438	Sandabotnalind/Dæluskúr	13.2	47.1
II	439	Krafla/Gamla kaldavatnshola	26.5	113.2
II	441	Austaraselslindir/Dælustöð	4.1	43.7
III	442	Búrfellshraun/Hola AB-02	2.3	47.1
III	444	Reykjahlíð/Egilshola	30.8	105.3
III	448	Helgavogur S	26.2	94.1
III	449	Helgavogur N	26.3	102.0
III	452	Stóragjá	29.7	102.1
III	454	Helgavogur/brunnur	27.2	96.2
III	455	Bjarg/Eldá	20.3	83.7
IV	445	Helgagjá	6.5	31.9
IV	446	Vogaflói	5.7	32.4
V	447	Langivogur	24.8	109.5
V	450	Vogagjá	42.8	133.2
V	451	Grjótagjá/karlagjá	47.9	137.8
VI	453	Glerhallarvatn	35.7	187.0



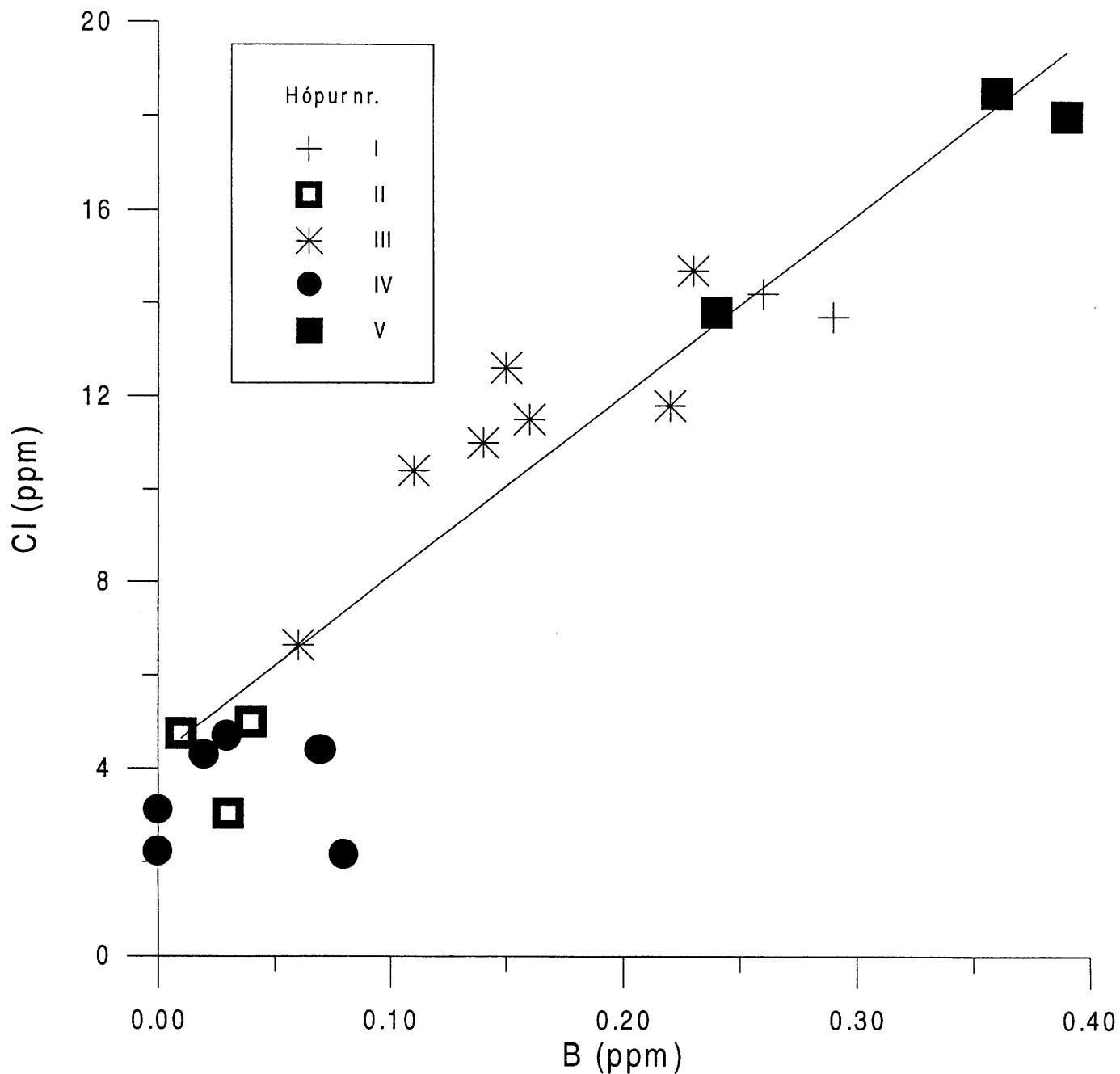
Mynd 2.  $\delta\text{D}$  á móti  $\delta^{18}\text{O}$  í sýnum af grunnvatni frá Kröfli og Námafjalli, regnlínur (Craig 1961, Sveinbjörnsdóttir o. fl. 1995), flokkun eftir  $\delta\text{D}$  hlutfalli



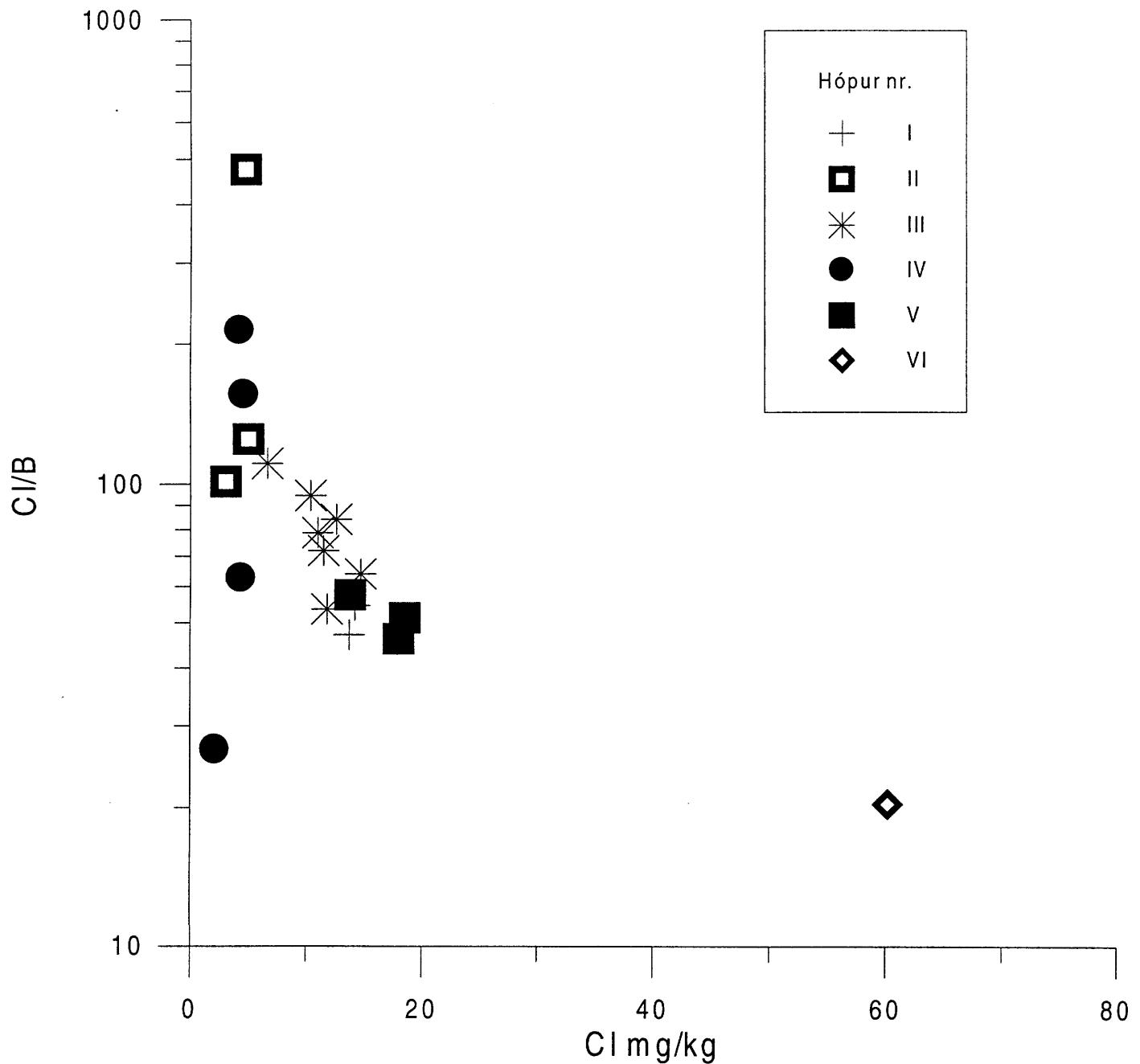
Mynd 3. Cl<sup>-</sup>-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> línurit fyrir grunnvatn frá Kröflu og Námafjalli.



Mynd 4: CI/100-Li-B Línurit fyrir grunnvatn frá Kröflu og Námafjalli



Mynd 5. B á móti Cl í sýnum af grunnvatni frá Kröflu og Námafjalli



Mynd 6. Cl á móti Cl/B í sýnum af grunnvatni frá Kröflu og Námafjalli

### Tafla 5. Niðurstöður efnagreininga

	Stadur nr.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
Taka nr.	1	2	3	4	5	6	7	1	1	1	1	1	6	6
Sýni nr.	438	705	11	251	290	351	465	439	439	439	439	439	350	350
Hiti (°C)	13.2	4.8	4.6	4.8	4.8	5.1	5.1	26.5	26.5	26.5	26.5	26.5	28.3	28.3
pH/°C	7.10/22	7.04/20	6.97/22	7.73/24	6.95/21	6.96/23	7.02/23	6.87/21	6.87/21	6.87/21	6.87/21	6.87/21	6.83/25	6.83/25
CO <sub>2</sub>	70.2	69.1	66.2	69.1	66.2	82.6	83.6	213.2	213.2	213.2	213.2	213.2	332.2	332.2
H <sub>2</sub> S	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
B	0.03							0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.03
Leiðni (μS/sm)/25°C	166	171	166	171	163	170	181	528	528	528	528	528	553	553
SiO <sub>2</sub>	29.4	29.4	29.3	29.5	29.5	29.9	29.8	104.5	104.5	104.5	104.5	104.5	104.7	104.7
Uppl. steinefni	93							377	377	377	377	377		
Li	0.0027					0.0030	0.0030	0.0089	0.0089	0.0089	0.0089	0.0089	32.0	32.0
Na	11.5	12.7	11.6	12.6	12.6	11.1	13.0	30.9	30.9	30.9	30.9	30.9		
K	1.20	1.34	1.42	1.26	1.25	1.23	1.27	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21	4.38	4.38
Mg	6.27	6.44	6.40	6.33	6.29	6.19	6.19	24.6	24.6	24.6	24.6	24.6		
Ca	13.8	14.1	13.5	13.2	13.2	13.0	13.6	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5		
F	0.116					0.120	0.120	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200		
Cl	3.04	2.59	2.54	2.79	2.73	2.82	3.03	4.36	4.36	4.36	4.36	4.36		
Br	0.009							0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.0039	0.0039
SO <sub>4</sub>	5.61	5.37	5.64	5.90	5.92	5.60	5.63	52.5	52.5	52.5	52.5	52.5	41.0	41.0
Al	0.0030	0.0080				0.0015	0.0015	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0039	0.0039
Cr	0.0003							0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003		
Mn	0.0047	0.0010				0.0002	0.0002	0.0970	0.0970	0.0970	0.0970	0.0970	0.3200	0.3200
Fe	0.0460	0.0024				0.0035	0.0035	0.0760	0.0760	0.0760	0.0760	0.0760		
Hg								0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002		
Pb	<0.0002							0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002		
As	<0.0001													
Hg														
Pb	<0.0002													
As	-83.0	-85.2	-12.05	-12.03	-12.01	-85.5	-85.5	-82.7	-82.7	-82.7	-82.7	-82.7	-12.10	-12.10
Hg														
Pb	<0.0002													
δ <sup>18</sup> O (‰SMOW)	-12.07	-12.04	-12.05	-12.03	-12.01	-12.01	-12.01	-12.10	-12.10	-12.10	-12.10	-12.10	-12.16	-12.16

Tafla 5. (fiah)

Stadur nr.	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4
Taka nr.	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
Sýni nr.	440	706	12	252	291	345	466	441	703	13	253	292	344	462
Hiti (°C)	13.6	22.5	23.6	24.3	25.9	31.0	4.1	3.4	3.4	4.4	4.5	3.7		
pH°C	8.69/21		9.11/22		8.86/25	9.36/23	7.63/22	7.68/23	7.64/22		7.64/23	7.70/23	7.64/23	
CO <sub>2</sub>	149.5		101.3	103.1	84.0	97.0	78.6	55.4	56.2	56.2	57.6	54.0	61.3	61.4
H <sub>2</sub> S	<0.03		<0.03		0.05			<0.03		<0.03		<0.03		
B	0.26				0.55			0.04					0.07	
Leiðni (µS/sm)/25°C	971	849	874	663	880	804	140	147.6	145.2	149.0	137.0	153.0	158.0	
SiO <sub>2</sub>	159.0	249.8	134.2	261.9	200.8	128.1	159.3	27.2	26.0	26.5	26.0	25.6	26.1	27.0
Uppl. steinefni	738							103						
Li	0.0573				0.1190			0.0015					0.0019	
Na	114.5	153.5	158.6	113.4	143.6	141.4	9.50	10.5	9.09	10.0	9.66	10.3	10.4	
K	11.2	18.16	18.3	17.9	12.3	16.4	16.8	1.13	1.24	1.40	1.23	1.19	1.22	1.27
Mg	19.2	4.44	5.89	5.35	4.41	7.29		5.88	6.21	6.24	6.20	5.98	6.19	
Ca	70.4	23.1	19.1	17.4	21.8	23.4	11.8	10.4	10.5	10.2	10.5	10.6	10.5	10.8
F	0.430					0.750		0.117					0.120	
Cl	14.2	24.9	26.7	25.4	20.1	25.8	34.0	5.00	2.79	2.73	3.20	2.55	3.02	3.14
Br	0.038					0.079		0.011					0.010	
SO <sub>4</sub>	326.0	241.9	199.3	207.9	182.7	236.4	181.8	5.17	5.13	5.40	5.38	5.16	5.18	5.26
Al	0.0570	0.5900				0.5450		0.0030	0.0030				0.0033	
Cr	0.0056							0.0003						
Mn	0.0180	0.0410				0.0156		0.0008	0.0015				0.0006	
Fe	0.0510	0.3070						0.0048	0.0033				0.0022	
Cu	0.0005							0.0012						
Zn	0.0004							0.0158						
As	0.0172							<0.0001						
Hg														
Pb	0.0002							<0.0002						
δD (‰ SMOW)	-80.7	-77.5				-73.2		-86.9	-88.0				-88.0	
δ <sup>18</sup> O (‰ SMOW)	-10.67	-9.18	-8.97	-8.42	-9.30	-8.44	-12.37	-12.40	-12.37	-12.30	-12.41	-12.30	-12.41	

Taflla 5. (frh.)

Staður nr.	5	5	6	6	7	7	8	8	8	8	8
Taka nr.	1	6	1	6	1	6	1	2	3	4	5
Syni nr.	442	347	443	348	444	349	445	707	16	255	294
Hiti (°C)	2.3	3.0	9.5	20.3	30.8	30.8	6.5	2.3	5.8	7.2	6.8
pH°C	7.95/23	7.74/24	8.52/23	8.86/25	8.11/28	8.16/25	8.77/23	8.77/21	8.78/22	8.75/24	8.73/26
CO <sub>2</sub>	50.2	54.7	146.7	104.8	113.3	112.5	60.9	61.5	60.9	61.1	59.9
H <sub>2</sub> S	<0.03	0.05	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
B	0.06	0.07	0.29	0.58	0.23	0.22	0.02				0.11
Leiðni (µS/sm)/25°C	205	214	969	886	477	507	199	207	204	206	197
SiO <sub>2</sub>	29.9	28.2	129.1	125.1	93.7	93.1	21.4	20.9	21.0	20.8	21.0
Uppl. steinefni	1.8		726		382		49				
Li	0.0075	0.0074	0.0581	0.1180	0.0112	0.0121	0.0022				0.0024
Na	17.7	16.4	112	147	66.8	68.8	21.7	23.4	21.2	23.8	23.6
K	2.08	2.10	11.2	16.8	6.02	6.26	1.69	1.81	1.90	1.74	1.73
Mg	6.04	6.36	21.0	6.57	5.24	5.40	5.88	6.23	6.04	5.96	5.96
Ca	13.7	13.6	71.7	22.5	25.6	25.8	10.7	11.4	10.4	10.9	10.5
F	0.253	0.230	0.413	0.710	0.302	0.340	0.235				0.350
Cl	6.65	6.27	13.7	26.1	14.7	12.8	4.29	3.59	3.61	3.80	4.15
Br	0.028	0.028	0.035	0.081	0.047	0.045	0.016				0.014
SO <sub>4</sub>	32.3	30.1	324	249	92.2	94.5	21.4	20.6	21.6	21.1	21.0
Al	0.0490	0.0620	0.1000	0.5000	0.0090	0.0075	0.008	0.0060			0.0104
Cr	0.0007		0.0017		0.0005		0.0010				<0.0001
Mn	0.0110	0.0230	0.0230	0.00220	0.0002	0.0003	0.0001	0.0008			0.0006
Fe	0.0720		0.0440		0.0025	0.0032	0.0038	0.0010			
Cu	0.0018		0.0023		0.0012		0.0010				
Zn	0.0435		0.0017		0.0012		0.0020				
As	0.0015		0.0162		0.0001		0.0001				
Hg					0.000040		0.000010				
Pb	<0.0002		0.0003		<0.0002		<0.0002				
δD (‰ SMOW)	-88.5	-86.9	-80.4	-72.4	-88.2	-88.2	-91.5	-93.1			-93.5
δ <sup>18</sup> O (‰ SMOW)	-12.36	-12.34	-10.57	-8.10	-11.89	-11.89	-12.79	-12.76	-12.75	-12.72	-12.80

Tafla 5. (frh.)

Staður nr.	9	9	10	10	11	11	12	12	13	13
Taka nr.	1	6	1	6	1	6	1	6	1	6
Sýni nr.	446	337	447	338	448	335	449	336	450	353
Hiti (°C)	5.7	5.5	24.8	22.8	26.2	26.0	26.3	26.2	42.8	42.0
pH°C	8.66/23	8.67/23	8.56/23	8.53/24	8.23/23	8.30/21	8.20/23	8.20/23	8.39/23	8.47/24
CO <sub>2</sub>	64.3	70.1	83.0	112.0	109.6	108.0	107.1	86.4	91.0	
H <sub>2</sub> S	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	
B	0.03	0.05	0.23	0.46	0.11	0.26	0.15	0.28	0.36	0.37
Leiðni (µS/sm)/25°C	204	221	404	460	437	469	460	488	471	485
SiO <sub>2</sub>	21.4	21.5	102.9	126.7	77.5	85.7	88.7	83.8	146.5	145.2
Uppl. steinefni	130	339	287	339	291	354	396			
Li	0.0024	0.0027	0.0094	0.0143	0.0094	0.0104	0.0108	0.0114	0.0154	0.0156
Na	21.9	22.1	67.6	72.2	57.5	60.6	64.8	65.9	79.9	79.6
K	1.71	1.74	4.78	6.10	5.14	5.38	5.60	5.69	6.55	6.49
Mg	6.23	6.07	2.97	3.33	5.64	5.40	5.23	5.16	2.41	2.43
Ca	11.2	11.6	10.7	13.4	26.1	26.6	24.6	25.1	12.9	11.9
F	0.2223	0.310	0.343	0.370	0.282	0.390	0.293	0.460	0.418	0.490
Cl	4.69	4.31	13.8	16.0	10.4	10.8	12.6	14.8	18.5	17.82
Br	0.017	0.015	0.048	0.055	0.038	0.036	0.007	0.040	0.064	0.063
SO <sub>4</sub>	20.3	20.2	85.4	84.4	78.9	90.4	89.4	81.9	98.6	97.1
Al	0.0160	0.0082	0.0320	0.0025	0.0080	0.0058	0.0360	0.0120	0.0180	0.0096
Cr	0.0010	<0.0001	0.0003	<0.0001	0.0001	<0.0001	0.0012	0.0002	<0.0001	0.0001
Mn	0.0001	0.0013	0.0009	0.0037	0.0015	0.0018	0.0035	0.0297	0.0028	0.0011
Fe	0.0025		0.0031		0.0008		0.0015		0.0008	
Cu	0.0021		0.0031		<0.0001		0.0038		0.0004	
Zn	0.0001		<0.0001		0.0001		0.0001		<0.0001	
As										
Hg						<0.000005				
Pb	<0.0002		<0.0002		<0.0002		0.0002		<0.0002	
δD (‰ SMOW)	-92.9	-93.7	-92.2	-91.2	-88.0	-89.6	-88.9		-91.4	-92.1
δ <sup>18</sup> O (‰ SMOW)	-12.85	-12.77	-11.92	-11.61	-12.09	-12.08	-11.97	-11.95	-11.61	-11.61

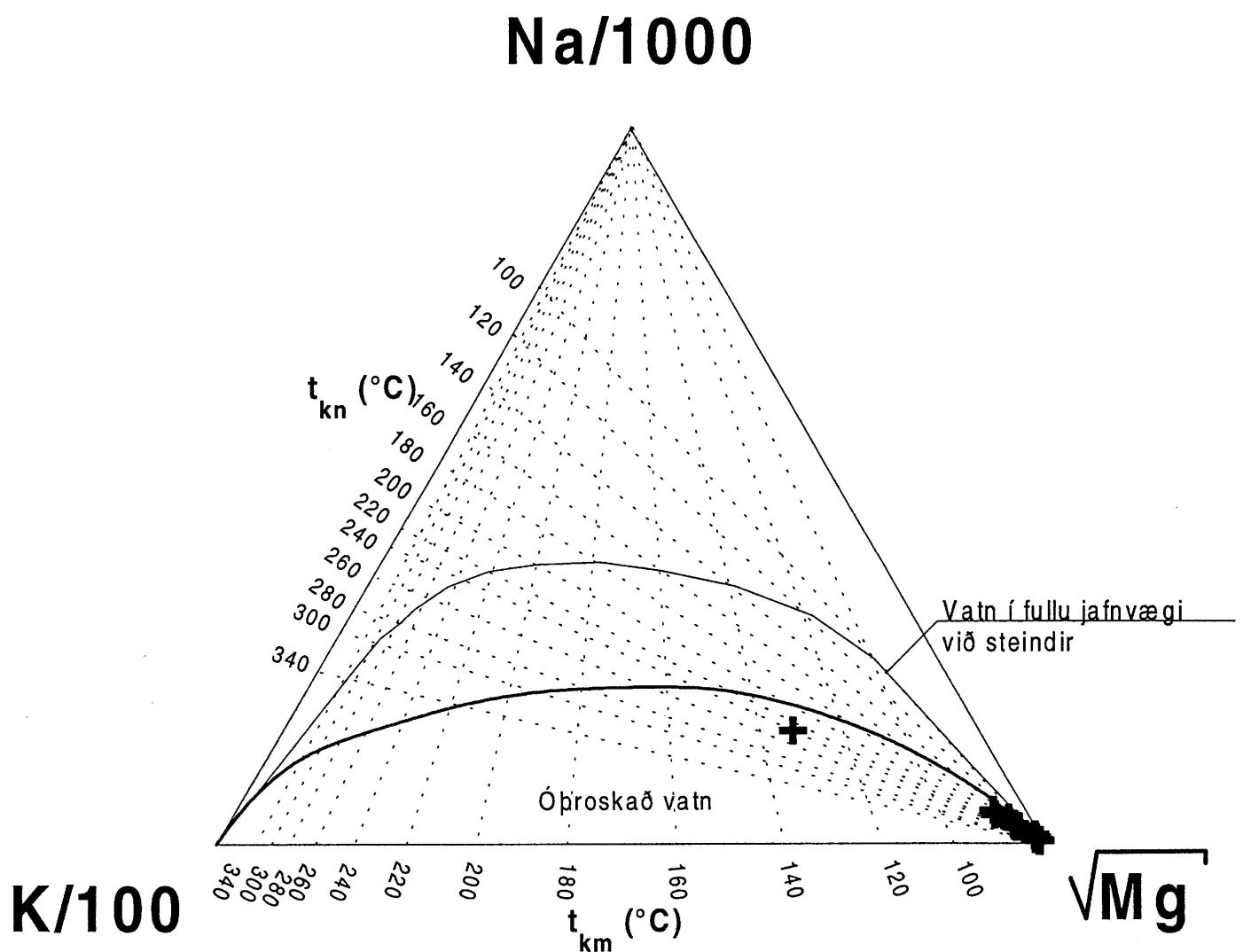
Tafla 5. (fríh.)

	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	15	15	15	15	16	16
Staður nr.	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	15	15	15	15	16	16
Taka nr.	1	2	3	4	5	6	7	1	2	6	1	2	6	1	6	1	6	1	6	
Sýni nr.	451	704	14	254	293	352	463	452	702	355	453	453	453	453	346					
Hiti (°C)	47.9	47.7	47.5	47.2	47.3	47.1		29.7	29.3	29.5	35.7	35.7	35.7	35.7	35.0					
pH/°C	8.23/24	8.30/22	8.31/22	8.29/24	8.30/23	8.27/24	8.35/23	8.24/24	8.25/22	8.21/24	7.04/24	7.04/24	7.04/24	7.04/24	7.68/24					
CO <sub>2</sub>	116.5	110.9	110.4	111.6	110.4	111.7	115.7	117.7	114.8	114.8	30.1	30.1	30.1	30.1	35.9					
H <sub>2</sub> S	0.06	0.06	<0.03		<0.03	0.06		<0.03		<0.03	0.14	0.14	0.14	0.14	0.11					
B	0.39	0.32				0.35		0.22	0.17	0.17	0.20	0.20	0.20	0.20	2.96	3.11				
Leiðni (µS/sm)/25°C	46.5	459	445	444	428	453	469	492	511	511	825	825	825	825	813					
SiO <sub>2</sub>	155.5	154.6	158.1	153.8	152.6	154.1	158.8	89.3	87.6	87.6	89.4	89.4	89.4	89.4	280.8	143.1				
Uppl. steinefni								337	383	383	1094	1094	1094	1094						
Li	0.0170					0.0174		0.0110		0.0118	0.1311	0.1311	0.1311	0.1311						
Na	75.7	77.1	73.2	78.1	78.6	75.3	80.4	65.0	68.4	68.4	144.3	144.3	144.3	144.3	144.3					
K	7.35	8.40	7.48	7.31	7.36	7.35	7.57	5.86	6.26	6.26	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2					
Mg	2.91	2.92	3.04	3.01	2.98	3.00		5.54	5.85	5.85	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34					
Ca	12.8	13.2	12.8	12.6	12.5	12.6	12.6	27.0	27.8	27.8	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67					
F	0.420	0.410				0.480		0.290	0.280	0.280	0.840	0.840	0.840	0.840	0.840					
Cl	18.0	20.6	17.9	17.3	17.7	17.4	18.0	11.8	13.0	13.0	59.0	59.0	59.0	59.0	59.0					
Br	0.064					0.060		0.043		0.041	0.174	0.174	0.174	0.174	0.216					
SO <sub>4</sub>	63.4	61.8	60.7	59.4	60.3	60.0	60.3	89.0	92.6	92.6	199	199	199	199						
Al	0.0180	0.0070				0.0110		0.0070	0.0050	0.0038	0.8900	0.8900	0.8900	0.8900	1.020					
Cr	<0.0001							0.0005		0.0004										
Mn	0.0420	0.0260						0.0033	0.0016	0.0002	0.0049	0.0049	0.0049	0.0049	0.0057					
Fe	0.0115	0.0012						0.0027	0.0003	0.0015	0.0324	0.0324	0.0324	0.0324						
Cu	0.0001							0.0006		0.0019		0.0019	0.0019	0.0019						
Zn	0.0001							0.0008		0.0040		0.0040	0.0040	0.0040						
As	<0.0001							0.0001		0.2290		0.2290	0.2290	0.2290						
Hg											0.0002	0.0002	0.0002	0.0002						
Pb	<0.0002										-85.2	-85.2	-85.2	-85.2	-88.0					
δD (‰ SMOW)	-90.9	-93.0						-93.5	-88.9	-88.9										
δ <sup>18</sup> O (‰SMOW)	-11.58	-11.59	-11.67	-11.62	-11.61	-11.61	-11.61	-11.99	-11.96	-11.96	-6.24	-6.24	-6.24	-6.24	-5.97					

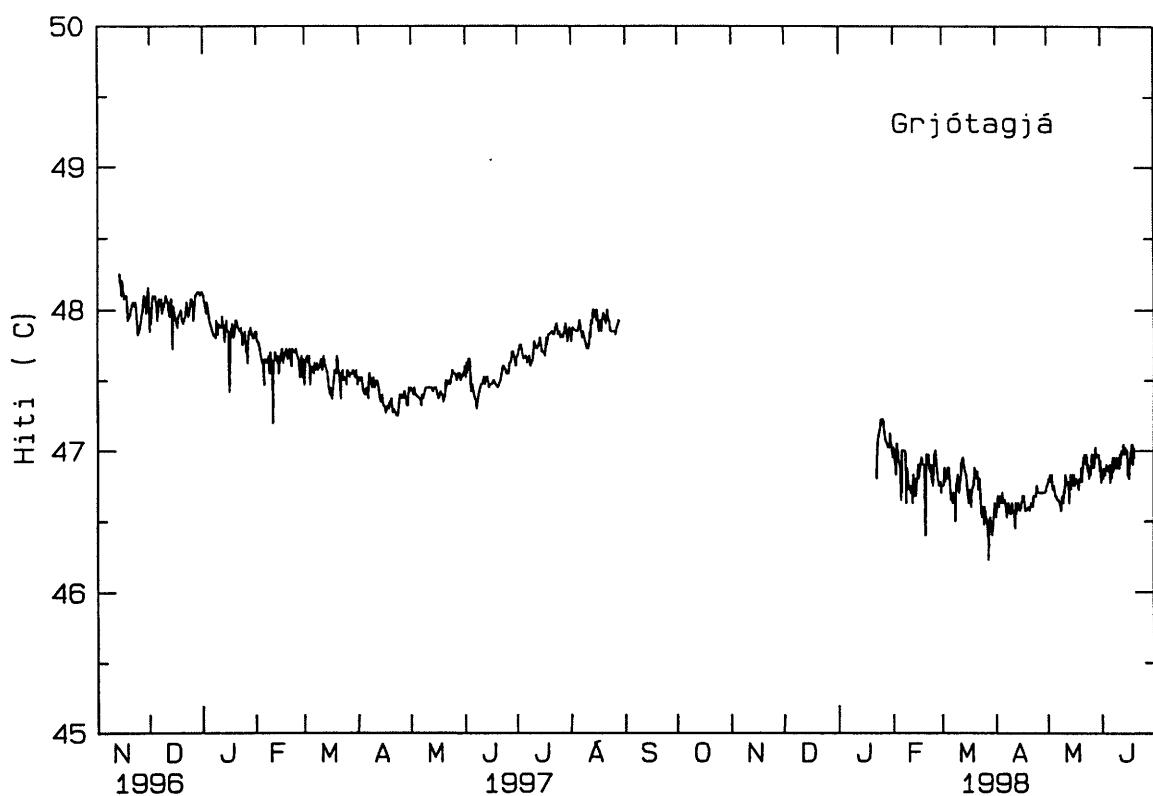
Tafla 5. (frh.)

	17	17	18	18	18	18	18	18	18	18	19	20	21	22
Staður nr.	1	6	1	2	3	4	5	6	7	6	6	6	6	6
Taka nr.	454	334	455	701	16	256	295	339	461	354	342	340	341	
Sýni nr.	27.2	26.8	20.3	20.0	19.8	19.6	19.5	19.7		5.8	6.7	5.3	5.9	
Hiti (°C)	8.22/24	8.32/19	8.09/24	8.38/22	8.48/22	8.42/123	8.43/23	8.36/24	8.07/22	8.52/24	9.02/26	9.14/25	8.82/25	
pH°C	110.8	108.5	75.5	72.1	71.0	71.4	71.7	73.4	80.9	71.4	49.2	46.3	57.4	
CO <sub>2</sub>														
H <sub>2</sub> S		<0.03		<0.03	<0.03		<0.03			<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	
B	0.16	0.26	0.14					0.12		0.07	0	0.08	<0.03	
Leiðni ( $\mu$ S/sm)/25°C	461	464	339	330	327	319	315	342	369	225	182	132	165	
SiO <sub>2</sub>	80.5	78.6	63.8	61.9	60.7	60.4	61.1	62.3	68.0	23.3	21.1	18.3	18.4	
Uppl. steinefni	246	316	265											
Li	0.0099	0.0104	0.0070					0.0074		0.0029	0.0016	0.0010	0.0027	
Na	59.4	61.2	46.8	47.0	45.3	47.3	48.4	46.9	52.4	21.5	22.7	17.8	18.6	
K	5.23	5.39	3.91	3.76	3.86	3.72	3.82	3.85	4.21	1.85	1.38	0.93	1.38	
Mg	5.49	5.19	3.47	3.47	3.61	3.43	3.53	3.34	6.80	3.46	2.04	4.48		
Ca	25.7	26.4	75.9	15.0	16.1	14.8	15.0	15.4	16.2	12.1	7.46	5.29	7.36	
F	0.290	0.420	0.286					0.270		0.230	0.270	0.180	0.200	
Cl	11.5	11.0	11.0	9.37	10.2	9.82	10.1	10.2	10.7	4.39	3.10	2.13	2.20	
Br	0.044	0.036	0.032					0.036		0.015	0.011	0.007	0.007	
SO <sub>4</sub>	81.8	82.6	56.3	52.1	54.8	52.3	54.4	55.1	22.1	19.0				
Al	0.0050	0.0055	0.0120	0.0060			0.0087		0.0058	0.0105	0.0144	0.0131		
Cr	0.0004		0.0003											
Mn	0.0003	<0.0001	0.0004	0.0029				<0.0001		0.0001	0.0002	<0.0001		
Fe	0.0036	0.0048	0.0017	0.0008				0.0011		0.0015	0.0024	0.0015	0.0012	
Cu	0.0008		0.0016											
Zn	0.0006	0.0003												
As	0.0001	0.0002												
Hg													<0.000005	
Pb	<0.0002		<0.0002											
δD (% SMOW)	-88.1	-87.7	-90.2	-91.5						-94.4	-92.6	-93.4	-94.8	
δ <sup>18</sup> O (%SMOW)	-12.07	-12.06	-12.37	-12.45	-12.46	-12.51	-12.42	-12.45	-12.72	-12.87	-12.87	-13.03	-13.03	

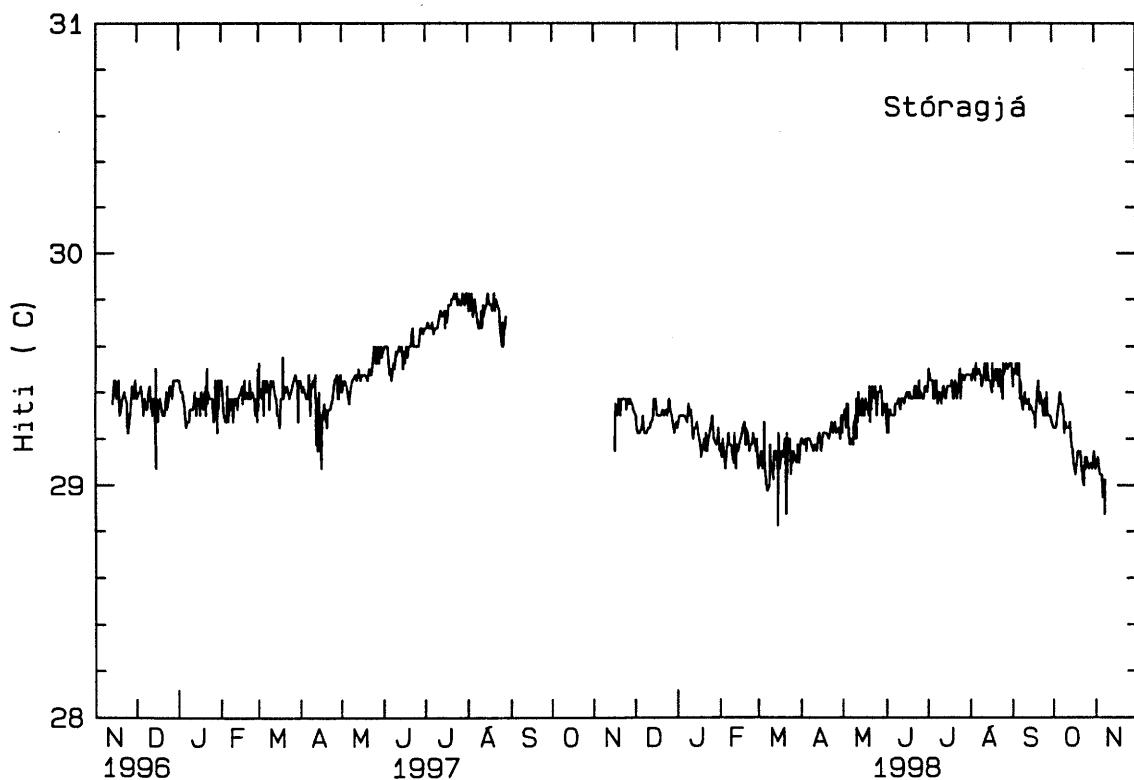
Fyrri athuganir á samsætum (Friedman o.fl. 1963, Bragi Árnason 1976) og á hitastigi í lindum og gjám í Mývatnssveit benda til þess að árstíðabundnar sveiflur séu í uppruna vatnsins. Til þess að ganga nánar úr skugga um þetta hafa verið settir síritandi hitamælar í Stórugjá og Grjótagjá. Náðst hafa sam-felldar raðir mælinga frá nóvember 1996 til júní 1998 og eru niðurstöður þeirra sýndar á myndum 8 og 9. Vegna bilana í búnaði varð hlé á mælingum frá ágústlokum 1997 fram í nóvember í Stórugjá en fram í janúar 1998 í Grjótagjá. Ekki er víst að hitafall það sem fram kemur er mælingar hófust að nýju sé raunverulegt heldur getur verið um stillingar óvissu að ræða. Þar kemur fram að hitastig sveiflast um  $2^{\circ}\text{C}$  (frá  $46.2$  að  $48.2$ ) á þessu tímabili en um  $1^{\circ}\text{C}$  (frá  $28.8$  að  $29.8^{\circ}\text{C}$ ) í Stórugjá sé gert ráð fyrir að hitafallið sé raunverulegt en um  $1^{\circ}\text{C}$  í Grjótagjá og  $0.7^{\circ}\text{C}$  í Stórugjá sé það ekki raunverulegt. Í báðum gjám er hiti lægstur í mars apríl, en hann er hæstur í ágústí Stórugjá en hæstur í nóvember í Grjótagjá. Líklegast er um að ræða kælingu af völdum leysinga á vorin en hitnun vegna lítils rennslis að hausti.



Mynd 7. Na/1000-K/100- $\sqrt{\text{Mg}}$  línurit fyrir grunnvatn frá Kröflu og Námafjalli



Mynd 8. Hitastig í Grjótagjá nóvember 1996 – júní 1998



Mynd 9. Hitastig í Stóragjá nóvember 1996 – nóvember 1998

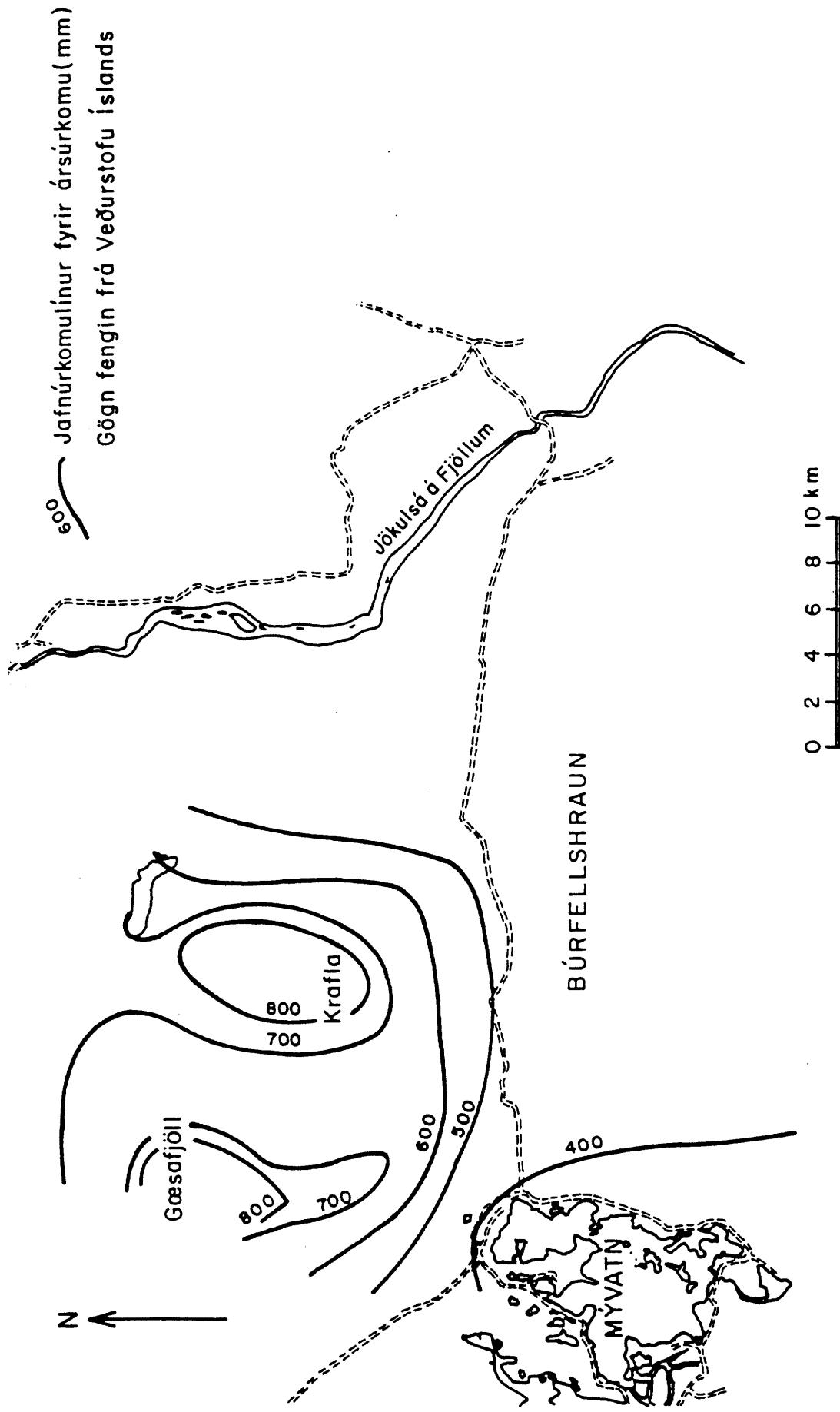
## 5. ÚRKOMA OG RENNSLISLEIÐIR GRUNNVATNS Á KRÖFLU- OG NÁMAFJALLSSVÆÐI

Gögn hafa fengist um úrkomu 1931 – 1960 (Adda Bára Sigfúsdóttir pers. uppl. 1975) og 1961-1990 (Þórnar Pálsdóttir pers. uppl. 1998) á öllum nálægum veðurathugunarstöðum. Næstu staðir eru Reykjahlíð og Grímsstaðir og út frá úrkomu þar 1931-1960 útbjó Veðurstofan úrkomukort fyrir Kröflu- og Námafjallssvæði (mynd 10). Lausleg athugun á gögnum frá 1961-1990 bendir ekki til mikilla breytinga og myndu þau leiða til áþekks korts ef sömu forsendur væru notaðar til reikninga.

Nokkrar tilraunir hafa verið gerðar til að meta grunnvatnsstreymi frá Kröflu til Mývatns (Guttermur Sigbjarnarson o. fl. 1974, Stefán Arnórsson og Einar Gunnlaugsson 1976, Jón Ingimarsson o.fl. 1976, Björn Jóhannesson 1977, 1980) en yfirgrípsmest er kort Freys Þórarinssonar og Báru Björgvinsdóttur (1980). Um Námafjallssvæðið sérstaklega hefur og verið fjallað (Þóroddur F. Þóroddsson og Guttermur Sigbjarnarson 1983, Eric de Zeeuw og Gestur Gíslason 1988). Að auki hefur Kristján Sæmundsson (pers. uppl.) mælt vatnsborð þar sem unnt er bæði á Námafjalls- og Kröflusvæðum. Ennfremur hafa samsæturannsóknir (Friedman o. fl. 1963, Bragi Árnason 1976, Darling and Ármannsson 1989) gefið nokkra hugmynd um uppruna og rennsli. Ofangreindum upplýsingum hefur verið safnað saman og gert eitt vatnshæðarkort af svæðinu frá Kröflu að Mývatni (mynd 11). Bendir það til að rennsli gæti verið frá Kröflu í átt til Mývatns en að það virðist hins vegar geta farið langt suður áður en það blandast vatni sem kemur sunnan að og rennur til Mývatns. Vatn frá Námafjalli rennur hins vegar beint til Mývatns. Reynt hefur verið að taka tillit til þess að mælingar eru gerðar á mismunandi tínum og hafa verður í huga að vatnsborðssveiflur geta verið tölverðar. Á vinnslusvæðum jarðhita eru slíkar breytingar háðar vinnslu og hafa tölverð áhrif á streymi a.m.k. innan Kröfluöskjunnar. Á mynd 12 er sýnd árssveifla vatnsborðs í nokkrum holum sem ekki voru nýttar á þeim tíma og er hún mjög mismunandi. Mest var sveiflan í holu KJ-6 en yfirlit um vatnsborðsmælingar í henni 1976 – 1992 er sýnt á mynd 13. Mætti túlka það sem hækkun vatnsborðs þar en athugun á mynd 10 bendir til þess að slík túlkun sé varhugaverð. Þrátt fyrir slíka óvissu virðist einsýnt að vatn streymir frá Kröflu og suður. Halldór Ármannsson (1995) hefur fjallað um holu AB-02 í Búrfellshrauni sem boruð var til þess að fylgjast með rennsli affallsvatns frá Kröflu. Ekki hefur orðið vart áhrifa þess þar en vatnsborðsmælingar benda til þess að nokkur sveifla sé í grunnvatnsborði á þessum slóðum (mynd 14). Lindir suðvestan Mývatns voru ekki hafðar með á kortinu en athuganir benda til þess að þar streymir vatn sunnan frá (Þóroddur F. Þóroddsson og Guttermur Sigbjarnarson 1983, Friedman o. fl. 1963, Bragi Árnason 1976).

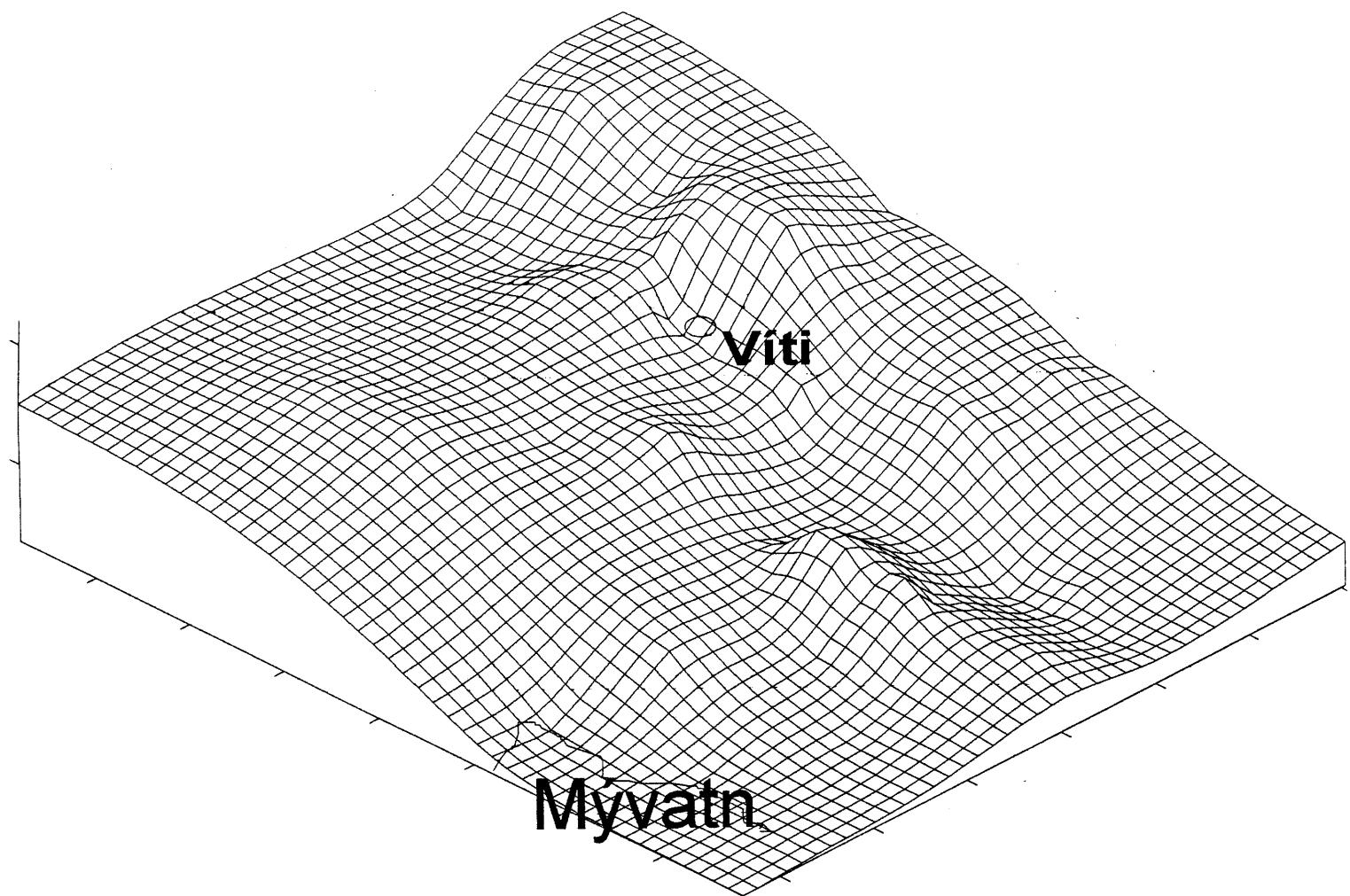
## 6. UPPTAKA EFNA Í GRUNNVATN

Til þess að kanna hugsanlega upptöku efna í staðbundið grunnvatn við jarðhitaaðstæður og blöndun þess síðar við eldfjallagas hafa verið gerðir frumreikningar þar sem basalt (Jan Swanteson og Hrefna Kristmannsdóttir 1978) er titrað með vatni með samsetningu vatns úr Austaraselslindum (Guðrún Sverrisdóttir 1991) við 205°C sem er algengt hitastig í efrakerfinu í Kröflu. Loks hefur eldfjallagasi með þá samsetningu sem mæld og reiknuð var fyrir gas sem safnað var í Surtsey (Sigvaldason and Elísson 1968, Gerlach 1980) verið bætt við í þrepum og kannað hvaða áhrif það

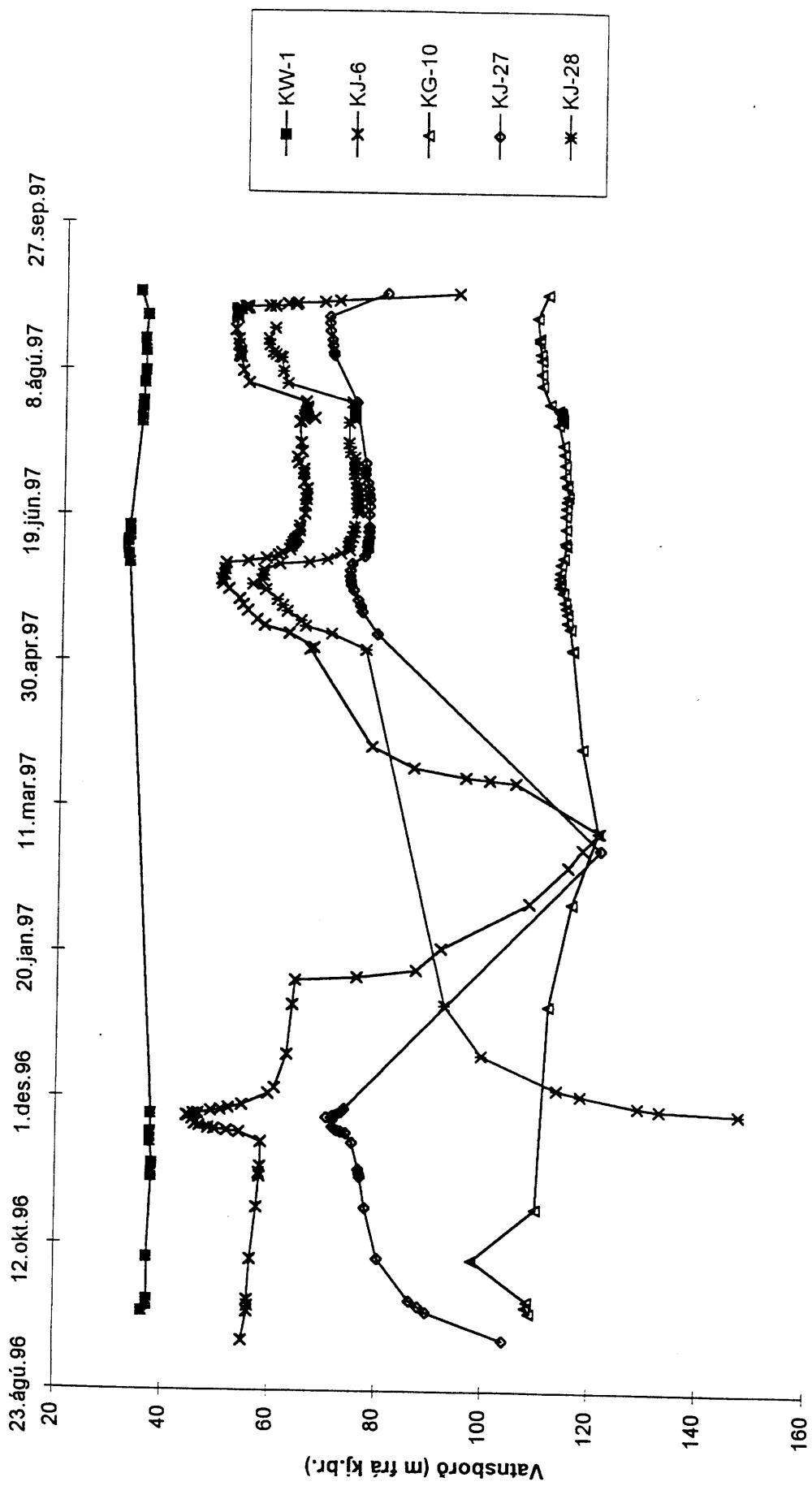


Mynd 10.

Árleg úrkoma á Kröflu – Námafjallssvæði 1931 – 1960 miðuð við mælingar í Reykjahlíð og á Grímsstöðum á Fjöllum

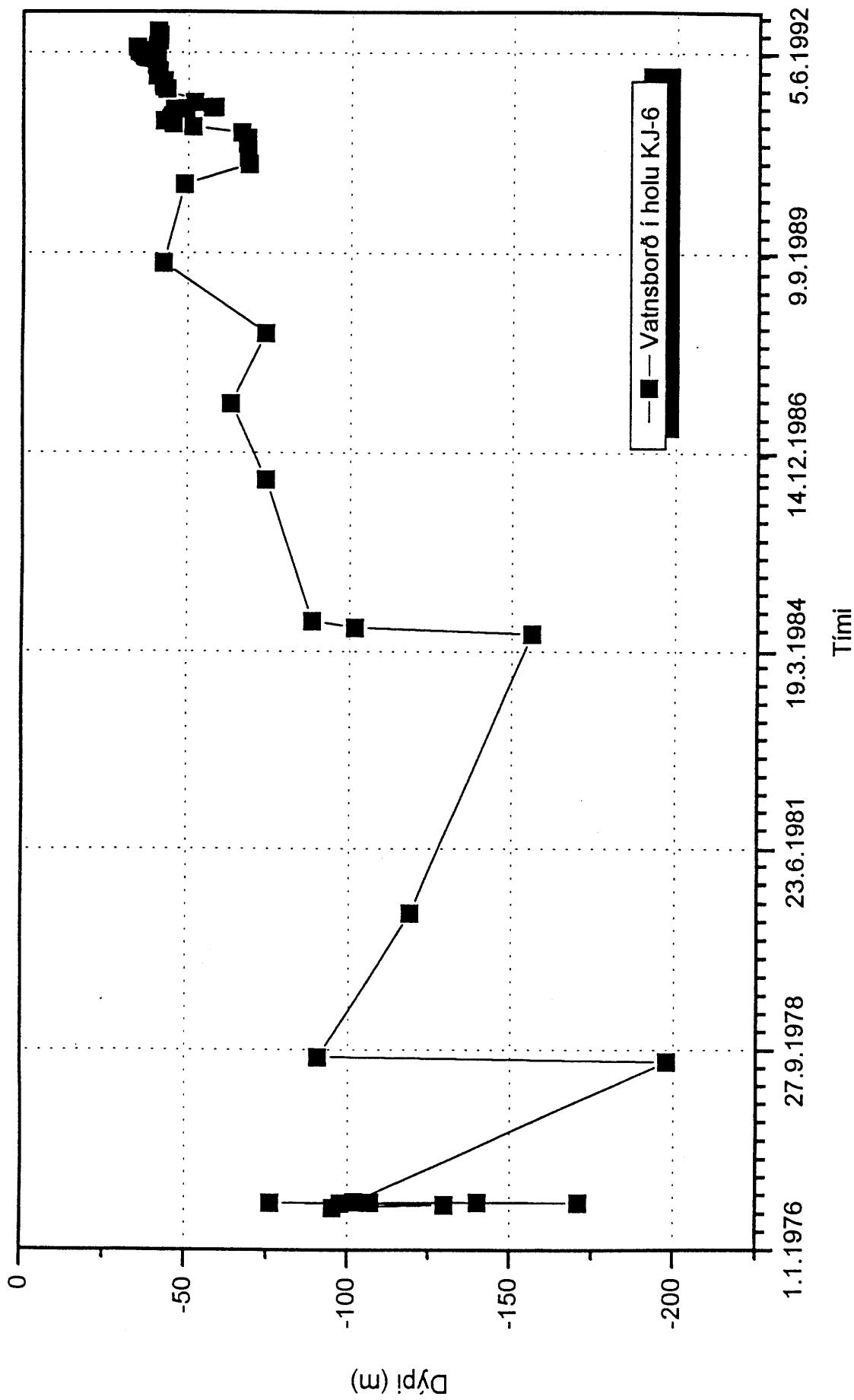


Mynd 11. Grunnvatnshæð á Kröflu-Námafjallssvæði

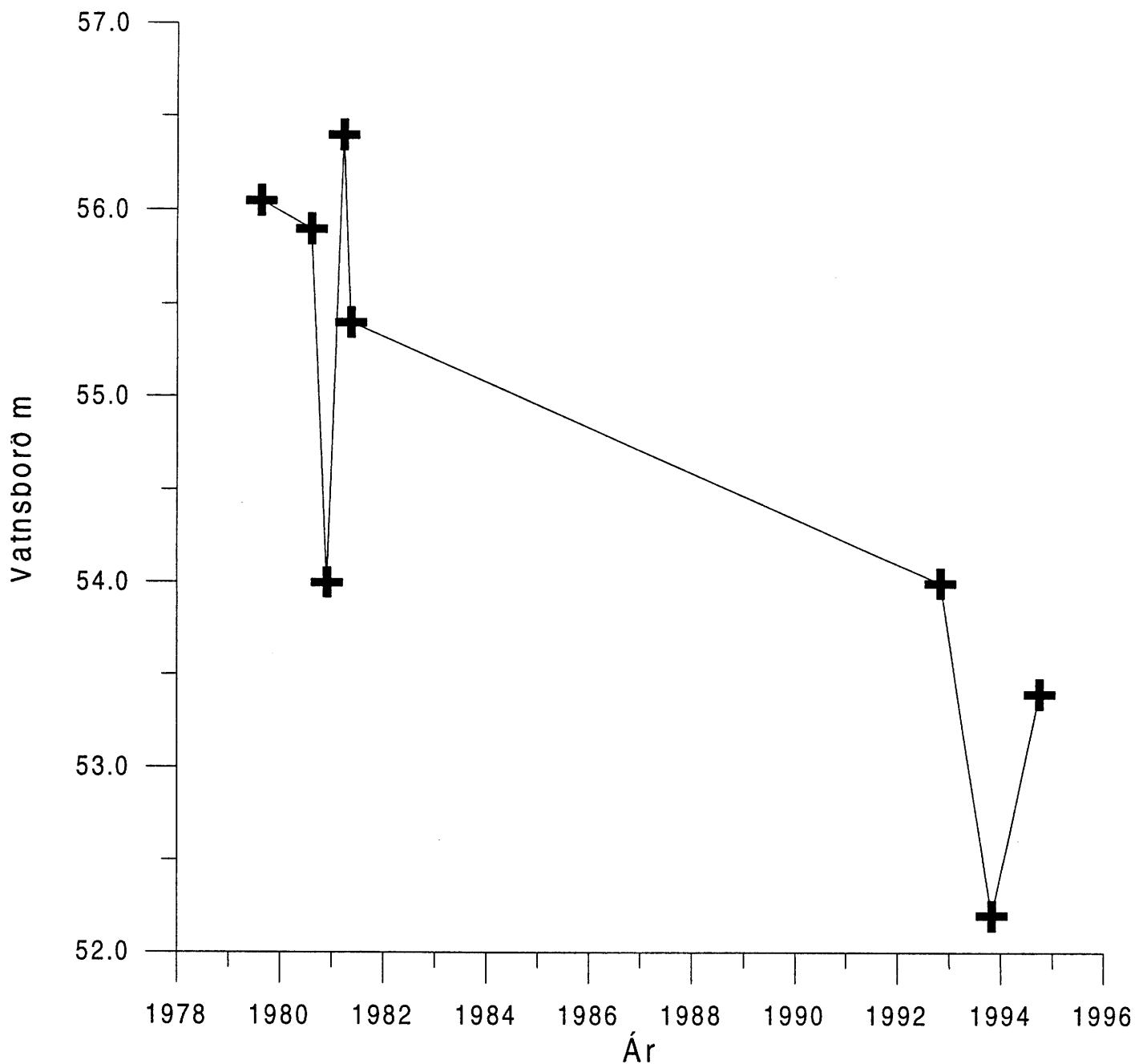


Mynd 12.

Vatnsborð í nokkrum Kröfuhólum ágúst 1996 – september 1997



Mynd 13. Krafla KJ-6. Vatnsbord 1976 - 1992



Mynd 14. Hola AB-02, Búrfellshrauni. Vatnsborð 1979-1998

hefði á efnasamsetningu vökvans. Sú efnasamsetning sem byrjað er með er sýnd í töflum 6-8.

Tafla 6. Efnasamsetning basalts á Kröflusvæði (%). Stílfært meðaltal með ofgnótt K<sub>2</sub>O

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O
50.0	13.7	5.0	7.0	0.1	6.0	10.0	3.0	5.0	3.0

Tafla 7. Efnasamsetning vatns úr Austaraselslindum notað til titrunar (mg/kg)

pH/°C	SiO <sub>2</sub>	Na	K	Ca	Mg	CO <sub>2</sub>	SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> S	Cl	F	U.e. <sup>1)</sup>
7.6/23	26.4	7.8	1.1	8.7	5.0	40.0	5.7	0.00	2.9	0.05	164

<sup>1)</sup> U.e.: Uppleyst efni

Tafla 8. Samsetning eldfjallagass frá Surtsey (frá því snemma í gosi, mól %)

CO	CO <sub>2</sub>	HCl	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> S	SO <sub>2</sub>	S <sub>2</sub>
0.70	9.54	0.81	2.78	81.56	0.76	3.64	0.19

Útkomur útreikninga fyrir nokkur skilyrði eru rakin í töflu 9.

Tafla 9. Reiknuð efnasamsetning lindarvatns (ppm) eftir snertingu við berg og blöndun við eldfjallagas við 205°C

V/B:gas-hluti <sup>1)</sup>	1000:0	40:0	10:0	1:0	1:0.001	1:0.01	1:0.1	1:0.1+H <sub>2</sub> <sup>2)</sup>	1:1+H <sub>2</sub>
Cl <sup>-</sup>	2.9	2.9	2.9	2.9	14.9	134	1118	1194	6545
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	1.5	0	0	0	0	0	125	30.9	496
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	55.4	55.4	55.4	55.7	221	1861	1614	1234	227
HS <sup>-</sup>	1.5	7.5	35.9	97.9	246	1673	73.4	68.4	1.21
SiO <sub>2</sub>	190	243	369	722	713	669	204	190	237
Al <sup>+3</sup>	0.75	4.9	4.8	5.7	5.7	4.2	0.66	0.73	0.05
Ca <sup>+2</sup>	0.035	0.0048	0.0030	0.0036	0.0037	0.0035	0.064	0.074	104
Mg <sup>+2</sup>	2.5*10 <sup>-5</sup>	4.0*10 <sup>-6</sup>	3.0*10 <sup>-6</sup>	2.5*10 <sup>-6</sup>	2.5*10 <sup>-5</sup>	3.1*10 <sup>-5</sup>	8.1*10 <sup>-5</sup>	3.0*10 <sup>-5</sup>	0.03
Fe <sup>+2</sup>	0.00012	0.00011	0.00013	0.00023	0.00023	0.00023	0.00018	0.00015	0.0018
K <sup>+</sup>	25.8	15.3	54.8	316	321	341	111	95.0	327
Mn <sup>+2</sup>	3.4*10 <sup>-4</sup>	6.0*10 <sup>-5</sup>	1.5*10 <sup>-5</sup>	8.4*10 <sup>-5</sup>	8.5*10 <sup>-5</sup>	9.5*10 <sup>-5</sup>	0.0018	0.0018	1.34
Na <sup>+</sup>	26.8	171	422	1424	1449	1703	1446	1246	4197
F	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.03

1) V/B = vatns-berghlutfall. <sup>2)</sup> +H<sub>2</sub> : vetni hvarfast

Til samanburðar er sýnd samsetning djúpvatns frá völdum holum í Kröflu og Námafjalli í töflu 10. Athuga ber að engin klórgreining var gefin upp fyrir berg og engin flúorgreining fyrir berg og gas og bera tölurnar merki þess. Greinilegt er að V/R = 1 er of lágt en V/R=10 nær lagi. Þá virðist eins og gashluti milli 0.001 og 0.01 ætti að duga til að fá skynsamlegar tölur. Styrkur Mg<sup>+2</sup> og Fe<sup>+2</sup> reiknast yfirleitt mjög lítt en Al<sup>+3</sup> heldur mikill. Helst virðist sem hvarf við H<sub>2</sub> breyti því en við það virðist klóríð aukast mjög. Greinilegt er að reikna þarf áhrif gasviðbótar við V/R = 10-40 og kanna áhrif efnahvarfs við H<sub>2</sub> við þær aðstæður. Ekki er víst að ofgnótt sú fyrir K sem gefin er upp hafi áhrif á efnasamsetningu vatnsins þar sem jafnvægi er sennilega náð og eftir situr ofgnótt K í bergen..

Tafla 10. Efnasamsetning djúpvatns í völdum holum í Kröflu og Námafjalli. Stuðst er við efnagreiningar á gufu og vatni, afsmælingar og reikninga með forritinu WATCH (Stefán Arnórsson o. fl. 1982, Jón Örn Bjarnason 1994)

Svæði	Krafla	Krafla	Krafla	Krafla	Námafjall	Námafjall
Undir-svæði	Leir-botnar	Leir-botnar	Suður-hlíðar	Hvíthólar	Bjarnarflag	Bjarnarflag
Staður	Efrihluti	Neðrihluti			Vestan Krummagjár	Austan Krummagjár
Hola nr.	KG-8	KJ-13 <sup>1)</sup>	KJ-14	KJ-21 <sup>1)</sup>	B-04	BJ-11
Dags.	77.03.22	83.10.29	80.09.20	83.11.01	73.05.13	92.05.01
Hiti °C <sup>2)</sup>	224	310	295	267	250	248
Cl <sup>-</sup>	25.14	27.37	45.82	137.22	7.19	30.8
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	185.17	134.69	62.27	20.22	58.2	18.6
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	383.26	548.96	8011.66	213.25	145.57	25.23
HS <sup>-</sup>	62.68	847.22	313.98	67.41	148.5	141.71
SiO <sub>2</sub>	366.13	645.62	644.68	569.81	552	484
Al <sup>+3</sup> <sup>3)</sup>	1.15	0.46	0.038	0.96		0.38
Ca <sup>+2</sup>	1.36	3.16	0.81	0.85	1.18	0.56
Mg <sup>+2</sup>	0.025	0.005	0.047	0.005	0.034	0.009
Fe <sup>+2</sup> <sup>3)</sup>	0.024		0.046		0.008	
K <sup>+</sup>	19.11	26.42	39.75	28.03	21.1	14.2
Na <sup>+</sup>	184.41	165.42	170.16	151.27	135.0	91.1
F	0.91	0.89	0.84	0.55	1.52	0.66

<sup>1)</sup> Í þessum tilvikum reiknuðust holar KJ-13 og KJ-21 í suðu, og í djúpgufu KJ-13 reiknuðust 11926.6 mg/kg CO<sub>2</sub>, 872.9 mg /kg H<sub>2</sub>S og gufuhluti 0.24, en í KJ-21 10104.0 mg/kg CO<sub>2</sub>, 1077.7 mg/kg H<sub>2</sub>S og gufuhluti 0.10. <sup>2)</sup> Viðmiðunarhiti; ýmist kvarshiti eða hiti valinn með hliðsjón af mælingum. <sup>3)</sup> Al og Fe mælingar voru ekki til fyrir hin völdu sýni en meðaltöl styrks þessara efna í þeim tilvikum þar sem gildi fyrir þessa málma voru til látin ráða.

## 7. HELSTU NIÐURSTÖÐUR

Grunnvatni á Mývatnssvæði hefur verið skipt í fimm flokka eftir efna- og samsætusamsetningu. Sennilega er um þrennan uppruna kalds grunnvatns að ræða, þ.e. vatn runnið frá Kröflu og nágrenni, vatn frá Dalfalls-, Hlíðarfjallssvæði og vatn komið langt sunnan að. Alls staðar gætir jarðhitaáhrifa en mismikið. Í sumum tilvikum er um að ræða kólnandi jarðhitavatn en í öðrum blöndu jarðhitaaffalls og kalds grunnvatns. Ekki hefur tekist að sýna fram á rennsli affalls frá Kröfluvirkjun beint til Mývatns.

Frumkönnun á því hvort unnt er að rekja breytingu grunnvatns í háhitavatn með því að athuga líkleg efnahvörf milli vatns og bergs ásamt hugsanlegri blöndun við kvíkugas leiddi ekki til þess að nákvæm samsvörum fengist milli hinnar reiknuðu samsetningar og samsetningar vatns í Kröflu- og Námafjallskerfunum. Helstu ástæður voru að ekki hafði náðst í nægileg gögn um öll efni og reikningar voru gerðir fyrir fá mengi aðstæðna. Engu að síður benda reikningar til þess að þrengja megi val á aðstæðum þannig að tölverð nálgun verði, t.d. með því að bæta kvíkugasi í við annað vatns/bergs

hlutfall en gert var í frumrekningunum. Einnig ætti að vera unnt að fá betri upplýsingar um styrk klórs og flúors í bergi og flúors í kvíkugufu til þess að bæta grunnupplýsingar.

## 8. HEIMILDIR

Arnórsson, S 1995: Geothermal systems in Iceland: Structure and conceptual models – II. Low-temperature areas. *Geothermics*, 24: 603-629.

Arnórsson, S., Sigurdsson, S., and Svavarsson, H., 1982: The chemistry of geothermal waters in Iceland. I. Calculation of aqueous speciation from 0° to 370°C. *Geochim. Cosmochim. Acta* 46, 1513-1532.

Ármansson, H., Benjamínsson, J. og Jeffrey, A.W.A. 1989: gas changes in the Krafla geothermal system, Iceland. *Chem. Geol.*, 76: 175-196.

Ármansson, H., Gíslason, G. og Hauksson, T 1982: Magmatic gases in well fluids aid the mapping of the flow pattern in a geothermal system. *Geochim. cosmochim. Acta*, 46: 167-177.

Ármansson, H., Guðmundsson, Á og Steingrímsson, B.S. 1987: Exploration and development of the Krafla geothermal area. *Jökull*, 37: 31-49

Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt Steingrímsson, Sæþór L. Jónsson og Sverrir Þórhallsson 1989: borholur í Bjarnarflagi. *Orkustofnun OS-89046/JHD-21 B*, 87 s.

Björn Jóhannesson 1977: Um grunnvatnsstrauma á landræmu frá Dyngjufjöllum og norður í Öxarfjörð. *Tímarit verkfræðingafélags Íslands*, 62, 33-38

Björn Jóhannesson 1980. Um grunnvatn á vatnsvæði Mývatns. *Tímarit Verkfræðingafélags Íslands*, 65, 74-77.

Bragi Árnason 1976. Groundwater systems in Iceland traced by deuterium. *Vísindafélag Íslendinga*, 42, 236 bls.

Craig, H. 1961: Isotope variations in meteoric waters. *Science*, 133: 1702-1703.

Darling, W.G., and Ármansson, H., 1989: Stable isotopic aspects of fluid flow in the Krafla, Námafjall and Theistareykir geothermal systems of northeast Iceland. *Chem. Geol.*, 76, 197-213.

Eric de Zeeuw og Gestur Gíslason 1988. The effect of Volcanic Activity on the Groundwater System in the Námafjall Geothermal Area, NE Iceland. *Orkustofnun, OS-88042/JHD-07*, 39 bls.

Friedman, I., Sigurgeirsson, Th. and Garðarsson, Ö. 1963. Deuterium in Iceland waters. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 27, 553-561.

Freyr Þórarinsson og Bára Björgvinsdóttir 1980: Krafla – Námafjall: Grunnvatnshæð. *Orkustofnun, FÞ-BB-80/01*, 3 s.

Gerlach, T.M. 1980: Evaluation of volcanic gas analyses from Surtsey volcano, Iceland, 1964-1967. *J. Volc. Geoth. Res.*, 8: 191-198.

Giggenbach, W.F. 1988: Geothermal solute equilibria. Derivation of Na-K-Mg geoindicators. *Geochim. cosmochim. Acta*, 52: 2749-2765.

Giggenbach, W.F. 1991: Chemical techniques in geothermal mineral exploration. In Application of Geochemistry in Geothermal Reservoir Development (Ritstjóri: F. D'Amore). UNITAR/UNDP Centre on Small Energy Resources, Rome: 119-144.

Guðrún Sverrisdóttir 1991: Efnasamsetning neysluvatns á Íslandi. Orkustofnun, GSv-91/05: 3 s.

Guttormur Sigbjarnarson, Haukur Tómasson, Jónas Elíasson og Stefán Arnórsson 1974. Álitsgerð um mengunarhættu vegna affallsvatns frá gufuvirkjun við Kröflu eða Hverarönd. Orkustofnun, OS JHD 7427, OS ROD 7421, 16 bls.

Halldór Ármannsson 1993: Jarðhitakerfið í Námafjalli. Efnafræðileg úttekt. Orkustofnun, OS-93053/JHD-29 B: 30 s.

Halldór Ármannsson 1995: Um affallsvatn frá kröfluvirkjun. Niðurstöður athugana á holu AB-02, Búrfellshrauni. Orkustofnun, OS-95046/JHD-30 B: 14 s.

Jan Swanteson og Hrefna Kristmannsdóttir 1978: Efnasamsetning ummyndaðs bergs í Kröflu. Orkustofnun, OSJHD-7822:

Jón Örn Bjarnason 1994: The speciation program WATCH, version 2.1. Orkustofnun, 7 s.

Jón Ingimarsson, Jónas Elíasson og Sven P. Sigurðsson 1976: Frárennsli Kröfluvirkjunar. Orkustofnun, OSSFS-7602: 30 s.

Ólafsson, M. og Kristmannsdóttir, H. 1989: The influence of volcanic activity on groundwater chemistry within the Námafjall geothermal system, north Iceland. In Water-Rock Interaction (Ritstjóri: D.L. Miles). Balkema, Rotterdam: 537-540.

Ómar Sigurðsson 1993: Jarðhitakerfið í Bjarnarflagi. Mat á hita, þrýstingi og afköstum. Orkustofnun, OS-93016/JHD-08 B, 45 s.

Sigvaldason, G.E. og Elísson, G. 1968: Collection and analysis of volcanic gases at Surtsey, Iceland. *Geochim. cosmochim. Acta*, 32: 797-805.

Stefán Arnórsson og Einar Gunnlaugsson 1976. Vatnasvið Hlíðardalslækjar og affallsvatn frá Kröfluvirkjun. Orkustofnun, OS JHD 7602, 13 bls.

Sveinbjörnsdóttir, Á.E., Johnsen, S. og Arnórsson, S. 1995: The use of stable isotopes of oxygen and hydrogen in geothermal studies in Iceland. Proc. World geothermal Congress (Ritstjórar: Barbier, E., Frye, G. Iglesias, E. og Pálmasón, G.), 1043-1048.

Tole, M.P., Ármannsson, H., Pang Zhong-He og Arnórsson, S. 1993: Fluid/mineral equilibrium calculations for geothermal fluids and chemical geothermometry. *Geothermics*, 22: 17-37.

Trausti Hauksson og Jón Benjamínsson 1997: Krafla og Bjarnarflag. Afköst borhola og efnainnihald vatns og gufu í borholum og vinnslurás í júlí 1997. *Landsvirkjun, Kröflustöð*, 70 bls.

Truesdell, A.H., Haizlip, J.R., Ármannsson, H. og D'Amore, F. 1989: Origin and transport of chloride in superheated geothermal steam. *Geothermics*, 18: 295-304.

Þóroddur F. Þóroddsson og Guttormur Sigbjarnarson 1983. Kísiliðjan við Mývatn. *Grunnvatnsrannsóknir. Orkustofnun, OS83118/VOD-10*, 42 bls.