



ORKUSTOFNUN

Rannsóknasvið

HITAVEITA ÞORLÁKSHAFNAR

**Eftirlit með jarðhitavinnslu
1997-1999**

**Magnús Ólafsson
Hrefna Kristmannsdóttir
Arnar Hjartarson**

Unnið fyrir Hitaveitu Þorlákshafnar

1999

OS-99041



ORKUSTOFNUN
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Verknr. 8-610-875

Magnús Ólafsson
Hrefna Kristmannsdóttir
Arnar Hjartarson

Hitaveita Þorlákshafnar

Eftirlit með jarðhitavinnslu
1997 - 1999

Unnið fyrir Hitaveitu Þorlákshafnar

OS-99041

Maí 1999



Skýrsla nr: OS-OS-99041	Dags: Maí 1999	Dreifing: <input checked="" type="checkbox"/> Opin <input type="checkbox"/> Lokuð til
Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill: HITAVEITA ÞORLÁKSHAFNAR Eftirlit með jarðhitavinnslu 1997-1999	Upplag: 25	
	Fjöldi síðna: 33	
Höfundar: Magnús Ólafsson Hrefna Kristmannsdóttir Arnar Hjartarson	Verkefnisstjóri: Hrefna Kristmannsdóttir	
Gerð skýrslu / Verkstig: Reglubundið vinnslueftirlit	Verknúmer: 8-610875	
Unnið fyrir: Hitaveitu Þorlákshafnar		
Samvinnuaðilar:		
Útdráttur: Fjallað er um eftirlit með jarðhitavinnslu Hitaveitu Þorlákshafnar á jarðhitasvæðinu við Bakka/Hjallakrök frá miðju ári 1997 til byrjunar árs 1999, og nær því yfir lengra tímabil en venja er. Vinnsluholur eru tvær, BA-01 og HJ-01. Starfsmenn Orkustofnunar sjá um töku heilsýna og efnagreiningar og annast úrvinnslu gagnanna, en Hitaveitan safnar gögnum um vatnstöku og vatnshita og tekur sýni til greininga á nokkrum efnum. Helstu niðurtöður eftirlitsins nú eru þær að meðalvinnsla veturinn 1998 til 1. mars 1999 hefur verið um 30 l/s eða 2-3 l/s meiri en tvo undanfarna vetur. Í jarðskjálftahrinum í júní og nóvember 1998 varð breyting á hitastigi og þrýstingi í vinnsluholunum en breytingarnar gengu að mestu til baka á tveimur vikum. Kalkmettun hefur lækkað í sýnum af vinnsluvatni. Engar marktækar breytingar hafa orðið á efnahita á vinnsluvatni úr BA-01, en í HJ-01 sýna efnahitamælar allt að 10°C lökkun sem stafar af innstreymi kaldara vatns frá upphafi vinnslu. Talið er að HJ-01 muni tæplega haldast mörg ár enn í sjálfðælingu og því æskilegt að flýta mælavæðingu hjá notendum. Til lengri tíma litið kemur bæði til álita að bora nýja vinnsluholu eða hefja dælingu úr annarri eða báðum vinnsluholunum.		
Lykilorð: Þorlákshöfn, hitaveita, eftirlit, vinnsla, hiti, efnasamsetning	ISBN-númer:	
	Undirskrift verkefnisstjóra: <i>Hrefna Kristmannsdóttir</i>	
	Yfirfarið af: HK	

EFNISYFIRLIT

1. INNGANGUR	5
2. VATNSVINNSLA OG HITI	5
3. EFNASAMSETNING VATNS	8
4. HELSTU NIÐURSTÖÐUR	13
5. HEIMILDIR/RITASKRÁ	14

TÖFLUSKRÁ

Tafla 1. Ársmeðalvinnsla Hitaveitu Þorlákshafnar síðastliðin sex ár	4
Tafla 2. Efnasamsetning vatns úr holu BA-01	7
Tafla 3. Efnasamsetning vatns úr holu HJ-01	7
Tafla 4. Efnasamsetning vatns að Knarrarbergi 5	8
Tafla 5. Efnasamsetning hlutsýna úr holum BA-01 og HJ-01	8

MYNDASKRÁ

Mynd 1. Heildarvinnsla Hitaveitu Þorlákshafnar og útihiti	16
Mynd 2. Orkuvinnsla Hitaveitu Þorlákshafnar á árunum 1992 til 1998	17
Mynd 3. Heildarvinnsla og útihiti	18
Mynd 4. Vinnsla úr holu HJ-01 og gufuhiti við holutopp	19
Mynd 5. Vinnsla úr holu BA-01 og gufuhiti við holutopp	20
Mynd 6. Hitamæling úr holu HJ-01	21
Mynd 7. Styrkur klóríðs í vatni úr holum BA-01 og HJ-01, 1995-1999	22
Mynd 8. Styrkur súlfats í vatni úr holum BA-01 og HJ-01, 1995-1999	22
Mynd 9. Styrkur kísils í vatni úr holum BA-01 og HJ-01, 1995-1999	23
Mynd 10. Hlutfall súrefnissamsæta í vatni úr holum BA-01 og HJ-01, 1995-1999	23
Mynd 11. Hlutfall vetnissamsæta í vatni úr holum BA-01 og HJ-01, 1995-1999	24
Mynd 12. Kalkmettun vatns úr holum BA-01 og HJ-01, 1985-1999	24
Mynd 13. Efnahiti vatns úr holu BA-01, 1985-1999	25
Mynd 14. Efnahiti vatns úr holu HJ-01, 1985-1999	25
Mynd 15. Styrkur klóríðs og rennsli úr holu BA-01	26
Mynd 16. Styrkur klóríðs og rennsli úr holu HJ-01	26
Mynd 17. Samband klóríðs og súrefnissamsæta í vatni úr holum BA-01 og HJ-01	27

Mynd 18. Styrkur kísils í BA-01	28
Mynd 19. Styrkur natríums í BA-01	28
Mynd 20. Styrkur kalíums í BA-01	28
Mynd 21. Styrkur magnesíums í BA-01	28
Mynd 22. Styrkur kalsíums í BA-01	28
Mynd 23. Styrkur bórs í BA-01	28
Mynd 24. Styrkur klóríðs í BA-01	29
Mynd 25. Styrkur súlfats í BA-01	29
Mynd 26. Styrkur flúoríðs í BA-01	29
Mynd 27. Styrkur uppleystra efna í BA-01	29
Mynd 28. Hlutfall súrefnissamsæta í BA-01	29
Mynd 29. Hlutfall vetnissamsæta í BA-01	29
Mynd 30. Styrkur áls í BA-01	31
Mynd 31. Styrkur mangans í BA-01	31
Mynd 32. Styrkur járns í BA-01	31
Mynd 33. Styrkur kísils í HJ-01	31
Mynd 34. Styrkur natríums í HJ-01	31
Mynd 35. Styrkur kalíums í HJ-01	31
Mynd 36. Styrkur magnesíums í HJ-01	31
Mynd 37. Styrkur kalsíums í HJ-01	31
Mynd 38. Styrkur bórs í HJ-01	31
Mynd 39. Styrkur klóríðs í HJ-01	32
Mynd 40. Styrkur súlfats í HJ-01	32
Mynd 41. Styrkur flúoríðs í HJ-01	32
Mynd 42. Styrkur uppleystra efna í HJ-01	32
Mynd 43. Hlutfall súrefnissamsæta í HJ-01	32
Mynd 44. Hlutfall vetnissamsæta í HJ-01	32
Mynd 45. Styrkur áls í HJ-01	33
Mynd 46. Styrkur mangans í holu HJ-01	33
Mynd 47. Styrkur járns í HJ-01	33

1. INNGANGUR

Í skýrslu þessari er fjallað um eftirlit með jarðhitavinnslu Hitaveitu Þorlákshafnar á jarðhitasvæðinu við Bakka/Hjallakrók í Ölfusi frá miðju ári 1997 til ársbyrjunar 1999. Skýrslan er unnin samkvæmt samningi hitaveitunnar og Orkustofnunar um vinnslueftirlit, eins og gert hefur verið undanfarin tíu ár (sjá heimildir/ritaskrá). Í þetta sinn nær þó skýrslan yfir lengra tímabil en venja er til. Hitaveitan safnar gögnum um vatnstöku og vatnshita og tekur sýni til greininga á nokkrum efnum. Orkustofnun sér um töku heilsýna, efnagreiningar og annast úrvinnslu gagnanna. Frá árinu 1989 hefur veitan annast samfellda skráningu á vatnsvinnslu og hita vatnsins.

Starfsmenn Orkustofnunar tóku sýni úr vinnsluholum og dreifikerfi þrisvar á tímabilinu, fyrst þann 5. mars 1998. Þá voru tekin heilsýni úr vinnsluholunum, auk þess sem hlutsýni var tekið úr dreifikerfi. Þann 16. nóvember 1998 voru tekin hlutsýni úr báðum vinnsluholunum í kjölfarið á jarðskálftahrinu í Ölfusinu (Sigurður Th. Rögnvaldsson o.fl., 1998). Loks voru tekin sýni úr vinnsluholum og dreifikerfi þann 16. febrúar síðastliðinn.

Á árinu 1998 vann Orkustofnun sérstaka skýrslu fyrir Hitaveitu Þorlákshafnar um holu HJ-01 og gerði tillögur um aðgerðir til að viðhalda vinnslugetu hitaveitunnar (Hrefna Kristmannsdóttir o.fl., 1998).

2. VATNSVINNSLA OG HITI

Upplýsingum um hita og rennsli úr vinnsluholunum við Hjalla (HJ-01) og Bakka (BA-01), sem Hitaveita Þorlákshafnar nýtir, er safnað með sjálfvirkum gagnasöfnunarbúnaði á sex tíma fresti. Starfsmaður Orkustofnunar sækir gögnin símleiðis í upphafi hvers mánaðar og varðveitir.

Mynd 1 sýnir heildar heitavatnsvinnslu úr vinnsluholum HJ-01 og BA-01 frá 1. júlí 1992 til 1. mars 1999. Gögnin hafa verið lagfærð þar sem óeðlilegir toppar og botnar komu í vinnsluna. Jafnframt er spáð fyrir um vinnslu síðari helming ársins 1994 og fyrir febrúar og mars 1995. Þessi gögn voru svo notuð til að reikna út meðalvatnsvinnslu úr jarðhitakerfinu og heildarorkuvinnslu hvers árs frá 1993 til og með 1998 (tafla 1).

Tafla 1. Ársmeðalvinnsla Hitaveitu Þorlákshafnar síðastliðin sex ár.

Ár	Meðalvinnsla (l/s)	Heildarorkuvinnsla GWh
1993	20,9	51,7
1994	21,1	52,2
1995	21,7	53,7
1996	21,8	53,9
1997	23,7	58,6
1998	25,1	62,1

Miðað við notkun vatnsins úr 100°C í 30°C

Í töflu 1 kemur fram skýr aukning í orkuvinnslu. Árið 1993 er hún 51,7 GWh en er komin í 62,1 GWh fimm árum síðar. Þetta samsvarar um 17 % aukningu en hún er mest á milli árána 1996 og 1997. Mynd 2 sýnir hvernig árleg orkuvinnsla hefur aukist undanfarin sex ár.

Meðalvinnslan, sem af er vetri 1998-1999, hefur verið um 30 l/s og er það um það bil 2-3 l/s meira en tvo undanfarna vetur. Þar á undan hefur vetrarvinnslan verið um 25 l/s. Þó hefur heildarvinnslan yfir sumarmánuðina lítið sem ekkert breyst yfir sama tímabil. Á mynd 1 má einnig sjá útihita í Hjallahverfi. Þar koma greinilega fram hinar árlegu sveiflur í útihita milli sumars og veturs og hvernig vinnslan eykst yfir vetrarmánuðina en dregst saman yfir sumarmánuðina. Aukninguna í notkun er hinsvegar ekki hægt að rekja til breytinga í veðurfari því ekki eru miklar breytingar á meðalhitastigi yfir vetrarmánuðina á milli ára.

Til fróðleiks hefur heildarvinnsla hitaveitunnar verið teiknuð sem fall af útihita eins og sést á mynd 3. Sambandi vinnslu við útihita má lýsa með jöfnunni:

$$Q=28-0,44T-0,013T^2$$

Þar sem Q er heildarvinnsla og T útihiti í Hjallahverfi. Reiknaði ferillinn lýsir meðalvinnslu sem falli af útihita. Samkvæmt honum er meðalvinnslan um 30 l/s í 5 stiga frosti en um 25,5 l/s í fimm stiga hita. Það skal tekið fram að ekki hefur verið leiðrétt fyrir vindstyrk en eins og þekkt er hefur aukinn vindur aukna kælingu í för með sér. Það getur að hluta til útskýrt dreifinguna í mæligildunum í kringum meðaltalið. Þetta má einnig rekja til þess að það tekur ákveðinn tíma fyrir húsin að kólna niður þegar kólnar í veðri.

Á myndum 4 og 5 má sjá vinnslu úr holum HJ-01 og BA-01 ásamt gufuhita við holu-topp. Dregið var úr vinnslu úr holu HJ-01 í 3 mánuði á síðari helmingi ársins 1998 en hinsvegar var hún aukin að sama skapi á sama tíma úr BA-01. Eins og búast mátti við

hækkaði hiti vatns úr holu HJ-01 en stóð hinsvegar í stað í BA-01. Eins og margoft áður hefur verið bent á (t.d. Hrefna Kristmannsdóttir og Sigvaldi Thordarson, 1997) er ekki hægt að nota þessi mældu hitastig til að segja til um hvernig jarðhitakerfið bregst við vinnslu, því hitastigið endurspeglar aðeins þrýsting vatnsins í suðu við holutopp. Því ekki er hægt að skera úr um hvort lækkun í mældum hita undanfarin ár stafi af kólnun vinnsluvatnsins eða þrýstingsbreytingum í kerfinu. Þó er líklegt að lækkunin í hita endurspegli bæði lækkandi þrýsting í kerfinu vegna massatöku og kólnun vegna kalds innstreymis.

Um miðjan nóvember 1998 varð greinileg breyting á mældum hita fyrir báðar holur eins og kemur fram á myndum 4 og 5. Sú breyting á rætur sínar að rekja til jarðskjálfta-hrinunnar, sem kennd hefur verið við Hjallahverfi (Sigurður Th. Rögnvaldsson o.fl. 1998). Hóla HJ-01 hætti að blása í kjölfar tveggja skjálfta sem riðu yfir þann 13. og 14. nóvember en blásturshiti holu BA-01 lækkaði hinsvegar. Þann 15. var HJ-01 hitamæld og henni hleypt upp með því að setja loftrör niður á 24 m dýpi og lofti dælt niður með loftpressu. Þeirri dælingu var viðhaldið í viku og eftir það hélst hún í blæstri. Hitamælinguna má sjá á mynd 6 ásamt hitamælingu, sem framkvæmd var þann 13. júní 1998, til viðmiðunar. Nánari lýsingu á framkvæmdinni er að finna í greinargerð Sverris Þórhalls-sonar og Gríms Björnssonar (1998). Í þeirri greinargerð er ályktað að seinni skjálftinn hafi virkað á þann hátt að bergátakið hafi lækkað og það hafi aukið holurými bergsins lítillega. Við það hefur þrýstingur jarðhitakerfisins lækkað sem endurspeglast í lægri hita. Þá var einnig gert ráð fyrir að þrýstingsbreytingin gengi til baka á 2-3 vikum. Sú spá hefur að hluta til staðist því hitinn hækkaði fljótlega aftur en þó ekki það mikið að fyrri ástandi væri náð. Hitinn er um þessar mundir 105°C í HJ-01 og um 115°C í BA-01 og aldrei áður hefur svo lágur hiti verið mældur í holunum tveimur. Það bendir til þess að þrýstingur í kerfinu sé lægri en áður, sem ekki er óeðlilegt vegna aukinnar vinnslu, eða að meiri kólnun hafi orðið í kerfinu heldur en áður.

Áhrif skjálftans, sem átti upptök sín á Hellsheiði í júní 1998, koma einnig fram í hitamælingunum. Skjálftinn leiddi hinsvegar til aukins þrýstings í jarðhitakerfinu og hækkunar á mældum hita eins og reifað er í áðurnefndri greinargerð. Sú breyting gekk til baka á tveimur vikum. Eins og bent hafði verið á áður og sannaðist með því að hola HJ-01 hætti blæstri í kjölfar jarðskjálftanna í nóvember 1998 gefur til kynna að lítið megi útaf bera til þess að hún hætti að blása til langframa. Því er nauðsynlegt að viðeigandi ráðstafanir verði gerðar eins og áður hefur verið lagt til í fyrri skýrslum (Hrefna Kristmannsdóttir og fl., 1998).

Vart varð við kalt innrennsli í holu HJ-01 út frá efnabreytingum vinnsluvatnssýna nánast frá því að hún var virkjuð. Reyndist innstreymið aðallega vera inn í botnæð holunnar og var gert við holuna árið 1990 með því að steypa botnæðina af. Tókst að stöðva innrennslið tímabundið og hægja verulega á kólnun. Nú virðist sem vatnið hafi fundið sér leið inn í holuna og meginvatnsæð holunnar á 435 m dýpi virðist einnig hafa kólnað um 1-2 °C. Kólnunin virðist vera mjög hægfara og því talið líklegt (Hrefna Kristmannsdóttir

o.fl., 1998) að holan verði nothæf í sjálfrennsli í einhver ár enn. Ekki er mælt með frekari viðgerð á holunni en fylgjast þarf vandlega með breytingum á henni og er nú í uppsetningu búnaður til að mæla þrýsting undir suðuborði. Vel kemur til greina að virkja holurnar með djúpdælum, en mun ódýrara og einfaldara er að reka holurnar með sjálfrennsli (suðu) eins og nú er og því talið æskilegt að viðhalda því eins lengi og unnt er. Í tillögum til hitaveitunnar í september 1998 var því lagt til að stefna að borun nýrrar holu á næstu 2-4 árum og gerð tillaga að staðsetningu holunnar.

Gagnasöfnunarbúnaður Orkustofnunar virkaði eins og til var ætlast undanfarið ár og truflanir sjást ekki í gagnasafninu, nema í holu HJ-01 í tengslum við jarðskjálftahrinuna. Um nákvæmni mælingana verður ekki fjölyrt hér en ganga þarf úr skugga um að mælarnir séu rétt kvarðaðir. Þetta á sérstaklega við um hitamælana.

Vinnsla hefur aukist að undanfögnu hjá hitaveitunni og má búast við að verði svo áfram muni þrýstingur halda áfram að lækka í jarðhitakerfinu og þá mun hola HJ-01 ekki haldast öllu lengur í sjálfrennsli. Til stendur að breyta sölufyrirkomulagi hjá veitunni úr hemlum í mæla. Reynslan annars staðar hefur sýnt að slík breyting á sölufyrirkomulagi hefur dregið verulega úr notkun, 20 - 40% eftir aðstæðum á viðkomandi stað. Líklegt er að svipað verði uppi á teningnum hjá Hitaveitu Þorlákshafnar og mun það hlífa jarðhitasvæðinu og lengja lífdaga holu HJ-01. Æskilegt væri því að flýta þessari breytingu eins og frekast er unnt.

3. EFNASAMSETNING VATNS

Starfsmenn Orkustofnunar tóku venjubundin vinnslueftirlitssýni 5. mars 1998 og aftur 16. febrúar 1999. Þá voru sýni tekin úr báðum vinnsluholum hitaveitunnar og úr dreifikerfi í Þorlákshöfn. Þann 16. nóvember 1998 voru loks tekin hlutsýni úr báðum vinnsluholum í kjölfarið á jarðskjálftahrinu í Ölfusinu (Sigurður Th. Rögnvaldsson o.fl, 1998). Stærstu skjálftarnir riðu yfir 13. og 14. nóvember og skömmu eftir þann síðari hætti hola HJ-01 að blása en var komið í gos daginn eftir með loftblæstri (Sverri Þórhallsson og Grímur Björnsson, 1998). Auk þessa tóku starfsmenn hitaveitunnar níu sýni úr hvorri holu til greininga á einstökum efnunum. Niðurstöður efnagreininga á heilsýnum og hlutsýnum, sem starfsmenn Orkustofnunar hafa tekið úr vinnsluholum, eru sýndar í töflum 2 og 3. Niðurstöður efnagreininga á hlutsýnum úr dreifikerfi veitunnar (Knarrarberg 5) eru sýndar í töflu 4 og niðurstöður efnagreininga á hlutsýnum, sem starfsmenn veitunnar hafa sent, eru sýndar í töflu 5.

Tafla 2. Efnasamsetning vatns úr holu BA-01 (mg/l).

Dagsetning Númer	1995.01.31 1995-0006	1996.02.12 1996-0037	1997.01.14 1997-0004	1998.03.05 1998-0073	1998.11.16 1998-0583	1999.02.16 1999-0048
Hiti (°C)	119,7	118,2	117,3	117,8	115,5	118
Uppleyst súrefni (O ₂)	0	0	0	0	0	0
Sýrustig (pH/°C)	8,9/23	8,9/22	8,9/21	8,8/22	8,9/22	8,8/22
Karbónat (CO ₂)	5,31	6	9,53	6,4	6,6	5,13
Brennisteinsvetni (H ₂ S)	0,49	0,66	0,65	0,64	0,58	0,61
Leiðni (µS/cm)	-	2260	2290	2320	2350	2160
Bór (B)	-	0,27	0,27	0,26	-	0,26
Kísill (SiO ₂)	130,2	130,1	129,5	132	129,4	130
Natríum (Na)	390,1	387	397	396	-	397
Kalíum (K)	19,2	17,2	17,2	18,8	-	17,5
Magnesium (Mg)	0,004	0,012	0,009	0,011	-	0,014
Kalsíum (Ca)	72	68	71,5	72	-	71,9
Flúoríð (F)	0,52	0,50	0,49	0,47	0,49	0,50
Klóríð (Cl)	626	655	634	628	-	647
Súlfat (SO ₄)	116	118	111	119	-	117,5
Ál (Al)	-	0,065	0,062	0,06	-	0,06
Mangan (Mn)	-	0,001	0,0012	0,0023	-	0,0009
Járn (Fe)	-	0,007	0,0148	0,0073	-	0,0106
Uppleyst efni	1310	1415	1476	1380	-	1390
δD (‰ SMOW)	-	-74,9	-69,6	-70,4	-	-
δ ¹⁸ O (‰ SMOW)	-9,21	-9,13	-9,14	-9,21	-9,11	-9,15

Tafla 3. Efnasamsetning vatns úr holu HJ-01 (mg/l).

Dagsetning Númer	1998.03.05 1998-0074	1998.06.18 1998-0356	1998.06.18 1998-0360	1998.06.18 1998-0366	1998.11.16 1998-0581	1998.11.16 1998-0582	1999.02.16 1999-0046	1999.02.16 1999-0045
Hiti	99,6	111	-	-	105	99,0	103,5	99,5
Uppleyst súrefni (O ₂)	0	-	-	-	2	0,025	0	0
Sýrustig (pH/°C)	9,0/22	8,8/25,4	8,8/22,5	8,9/23,5	8,9/22	9,0/21,7	8,9/21,6	9,0/21,4
Karbónat (CO ₂)	8,1	8,8	10,1	9,2	9,2	7,5	11,0	6,9
Brennisteinsvetni (H ₂ S)	0,20	0,11	0,17	0,13	0,26	0,15	0,25	0,19
Leiðni (*mS/cm)	1640	1813	1780	1814	1660	1680	1534	1559
Bór (B)	0,19	0,17	0,17	0,17	-	-	-	0,16
Kísill (SiO ₂)	104,2	105,4	106,4	105,3	103,1	103,3	-	101,2
Natríum (Na)	282	298	301	294	-	-	-	281
Kalíum (K)	11,0	-	-	-	-	-	-	10,3
Magnesium (Mg)	0,010	0,021	0,024	0,023	-	-	-	0,016
Kalsíum (Ca)	40,5	-	-	-	-	-	-	43,4
Flúoríð (F)	0,47	0,89	0,75	0,70	0,49	0,50	-	0,50
Klóríð (Cl)	429	444	461	429	-	-	-	442
Súlfat (SO ₄)	83,0	78,6	84,1	76,6	-	-	-	83,7
Ál (Al)	0,079	-	-	-	-	-	-	0,080
Mangan (Mn)	0,0007	-	-	-	-	-	-	0,0005
Járn (Fe)	0,0017	-	-	-	-	-	-	0,0041
Uppleyst efni	1100	970	1180	1100	-	-	-	940
δD (‰ SMOW)	-64,9	-65,1	-65,5	-65,0	-	-	-	-
δ ¹⁸ O (‰ SMOW)	-8,7	-8,7	-8,74	-8,7	-8,81	-8,68	-	-8,74

Tafla 4. Efnasamsetning vatns að Knarrarbergi 5 (mg/l).

Staður	Knarrarberg	Knarrarberg	Knarrarberg	Knarrarberg	Knarrarberg
Dags.	1999.02.16	1998.03.05	1997.01.14	1996.02.12	1995.01.31
Númer	1999-0047	1998-0075	1997-0005	1996-0039	1995-0008
Uppleyst súrefni (O ₂)	0	0	0	0	0
Sýrustig (pH/°C)	9,0/21	8,9/22	8,9/22	9,0/21	9,0/22
Karbonsat (CO ₂ (t))	8,6	8,0	10,1	6,5	5,7
Brennisteinsvetni (H ₂ S)	0,28	0,31	0,26	0,28	0,24
Leiðni ((μS/cm)/25°C)	1947	2110	-	-	-
Kísill (SiO ₂)	120,6	123,8	120,3	124,6	125,6
Klóríð (Cl)	567	571	541	585	621
Súlfat (SO ₄)	101	106	96	107	-

Tafla 5. Efnasamsetning hlutsýna úr holum BA-01 og HJ-01 (mg/l).

Dags.	Númer	Hiti (°C)	Rennsli (l/s)	Kísill (SiO ₂)	Klóríð (Cl)	Súlfat (SO ₄)
BA-01						
1997.04.01	1997-0126	100	12,4	134	688	118
1997.06.02	1997-0412	-	-	135	677	117
1997.08.01	1997-0633	99,4	9	134	671	-
1997.10.01	1997-0634	99,7	10	131	670	-
1997.12.01	1997-0843	100,5	15,8	136	663	-
1998.02.04	1998-0076	99,9	16	134	672	121
1998.06.08	1998-0369	-	6,6	136	689	-
1998.08.04	1998-0412	99,9	11,1	136	680	-
1998.10.05	1998-0177	97,8	10,8	135	672	123
1998.12.07	1998-0680	99,6	14	134	658	123
1999.02.03	1999-0049	99,0	-	134	663	123
HJ-01						
1997.04.01	1997-0125	100,1	14,1	103	428	72
1997.06.02	1997-0411	100,9	12,3	108	462	80,5
1997.08.01	1997-0635	99,9	10,4	107	470	-
1997.10.01	1997-0636	-	-	105	451	-
1997.12.01	1997-0844	101,7	12,6	105	446	-
1998.02.04	1998-0077	100,3	13,7	102	443	84,7
1998.06.08	1998-0370	-	12,2	107	476	-
1998.08.04	1998-0413	100,4	7,1	110	462	-
1998.10.05	1998-0178	99,5	13,9	104	455	84,3
1998.12.07	1998-0681	99,1	14,7	103	438	81,6
1999.02.03	1999-0050	99,4	15,1	102	445	83,5

Reglulega hefur verið fylgst með efnasamsetningu vatns úr vinnsluholum Hitaveitu Þorlákshafnar frá upphafi vinnslu. Sýni til heildarefnagreiningar eru að jafnaði tekin einu

sinni á ári, en hlutsýni til greininga á nokkrum efnum annað hvern mánuð. Á myndum 7 til 9 eru sýndar niðurstöður mælinga á styrk klóríðs, sulfats og kísils fyrir árin 1995 til 1999. Þetta eru þau efni sem fylgst er reglulega með. Á myndum 17 til 46 er aftur á móti sýnt hvernig styrkur allra efna í sýnum út vinnsluholum veitunnar hefur breyst frá því að vinnsla hófst úr hvorri holu fyrir sig. Styrkur efnanna þriggja, sem fylgst er reglulega með (myndir 7 til 9) hefur vart breyst svo marktæk sé á undanförunum árum. Þó er rétt að benda á, að styrkur klóríðs í vatni úr holu BA-01 hefur lækkað lítillega, en stöðugt, frá miðju ári 1998 fram í febrúar 1999. Breyting er lítil og getur stafað af mismikilli vinnslu úr holunni. Aðalbreytingar í efnastyrks vatns úr vinnsluholum veitunnar áttu sér þó stað í holu HJ-01 á árunum 1985 til 1990, og hefur þeim verið lýst í fyrri vinnslueftirlitsskýrslum.

Heildarmagn uppleystra efna sýnir svipaða fylgni og klóríðið og sama má segja um sulfat, kalsíum, natríum og kalíum. Magnesíum sýnir talsverðar sveiflur sem væntanlega stafa að mestu leyti af mælitæknilegum atriðum, en styrkur þess er einnig mjög lágur og hætt við mengun í sýnatöku. Þó er talið nokkuð öruggt að örlítil hægfara aukning magnesíums í BA-01 undanfarin 2-3 ár sé raunveruleg og einnig sveiflurnar sem komu fram í HJ-01 á árinu 1998 og benda til tímabundins innstreymis af kaldara vatni. Sveiflur sem koma fram í styrk járnstafa næsta örugglega af breytilegri greiningartækni og eru væntanlega ekki raunverulegar, enda styrkur þess stöðugur hin síðari ár eftir að farið var að nota nákvæmari greiningaraðferðir. Sú sveifla sem sést í bórstyrk í einu sýni í BA-01 er mjög sennilega vegna mengunar enda er bór stöðugur í holu HJ-01 og í báðum holum má merkja örlitla lækkun í styrk þessa efnis með tíma. Hlutfall milli bórs og klóríðstyrks virðist hafa verið stöðugt og lítið breyst frá upphafi, þótt einhverjar sveiflur virðast hafa komið fram í HJ-01 þegar þynning á vatninu þar var sem mest. Flúoríð sýnir einungis smávægilegar sveiflur á vinnslutímanum ef frá er talin nær tvöföldun í styrk þessa efnis sem kom fram rétt eftir skjálftahrinuna í júní (Hrefna Kristmannsdóttir o.fl., 1998). Styrkurinn fór svo niður í fyrra gildi í sýnum, sem tekin voru nokkrum dögum síðar. Líklegt er talið að þetta stafi af því að nýjar sprungur hafi opnast. Styrkur flúors er lágur í basalti og að mestu háður útskolun úr berggrunni og jafnvægi við flúorsteindir næst yfirleitt ekki nema þar sem súrt gosberg er í berggrunni. Þetta er þó eina dæmið sem þekkt er um slíkar efnabreytingar í kjölfar jarðskjálfta. Engar viðlíka breytingar sáust eftir jarðskjálftahrinuna í nóvember.

Hlutfall súrefnissamsæta í vatni úr vinnsluholum hitaveitunnar hefur verið nokkuð stöðugt undanfarin ár, að því frátöldu að það mældist óvenju hátt í holu HJ-01 í janúar 1997 (mynd 10). Sú breyting hefur algerlega gengið til baka og mælingar á sýnum frá 1998 og 1999 sýna sama hlutfall og áður. Hlutfall súrefnissamsæta vatns úr holu HJ-01 var nánast það sama og vatnsins úr holu BA-01 áður en vinnsla hófst úr holu HJ-01. Fljótlega eftir að vinnsla hófst úr holunni hækkaði hlutfallið snögglega samhliða þynningu og lækkun efnahita. Síðan hefur það að mestu haldist óbreytt ef undan er skilið ofangreint frávik. Þegar á heildina er lítið hefur hlutfallið þó hækkað lítillega. Vatnið í jarð-

hitakerfinu er því orðið þyngra (hlutfallið hærra) en það var við upphaf vinnslu úr kerfinu og er líklegast að því valdi innstreymi og blöndun við kalt grunnvatn á svæðinu. Í holu BA-01 hafa ekki orðið marktækar breytingar á hlutfalli súrefnissamsæta, þó e.t.v. megi einnig greina þar lítilsháttar breytingu til hækunar þegar litið er yfir vinnslutímabilið 1985 til 1999. Niðurstöður mælinga á hlutfalli vetnissamsæta (mynd 11) sýna að það hlutfall var einnig hið sama í holu HJ-01 og í BA-01 við upphaf vinnslu úr þeirri síðarnefndri. Það hækkaði hins vegar snögglega líkt og hlutfall súrefnissamsæta. Það lækkaði síðan lítillega í holu BA-01 fram til ársins 1997, þegar það hækkaði á ný. Þá hækkaði hlutfallið einnig í holu HJ-01, líkt og hlutfall súrefnissamsæta, en hefur síðan lækkað í báðum holum.

Innbyrðis hlutfall stöðugra samsætna í jarðhitavatninu á Bakka er sérstakt fyrir lág-hitavatn að því leyti að miðað við regnvatnslínu hefur orðið færsla á súrefnissamsætu-hlutfallinu. Þetta er algengt í háhitavatni en hefur hvergi sést í lághitavatni annars staðar á Íslandi og hefur verið skýrt með því að vatnið sé a.m.k. að hluta til að uppruna affallsvatn frá háhitasvæðunum í Hengli (Hrefna Kristmannsdóttir og Árný Erla Sveinbjörnsdóttir, 1992) og þá helst Kolviðarhólssvæðinu. Eigi þessi skýring við rök að styðjast ætti innstreymi staðbundins grunnvatns að valda meiri breytingum á vetnissamsætu-hlutfalli en súrefnissamsætu-hlutfalli. Hvað varðar vatn úr holu BA-01 þá gæti þetta skýrt samsetubreytingar síðustu ára en er ekki eins augsað í breytingum í HJ-01.

Mettunarstig kalks (kalsíts) hefur verið reiknað fyrir heilsýnin úr vinnsluholum veitunnar. Niðurstöður eru sýndar á mynd 12. Þar sést, að vatnið er yfirleitt yfirmettað með tilliti til kalks, eins og reyndar er langalgengast um jarðhitavatn hér á landi. Reynslan hefur sýnt að að kalkútfellingar verða sjaldan til vandræða fyrr en yfirmettun er orðin allnokkur, og er þá oft miðað við að $\log(Q/K)$ verði hærra en 0,4 til 0,5. Þau mörk eru sýnd með strikálínu á mynd 12. Í sýnum sem voru tekin í janúar 1997, og greint var frá í síðustu vinnslueftirlitsskýrslu (Hrefna Kristmannsdóttir og Sigvaldi Thordarson, 1997) reiknaðist kalkmettun talsverð í báðum holunum, hærri en hún hefur verið mörg undanfarin ár. Aftur á móti lækkaði yfirmettunin í sýnum frá ársbyrjun 1998 og enn hefur hún lækkað í sýnum frá því febrúar á þessu ári.

Efnahiti vatns úr vinnsluholum hitaveitunnar hefur verið reiknaður og er hann sýndur á myndum 13 (hola BA-01) og 14 (hola HJ-01). Þar eru sýndar niðurstöður þriggja efnahitamæla, kvars- og kalsedónhiti byggja á styrk kísils í vatninu og sýrustigi þess, en alkalíhiti byggir á hlutfalli natríums og kalíums í vatninu. Mynd 13 sýnir að engar marktækar breytingar hafa átt sér stað í efnahita vatns úr holu BA-01 á árunum 1985 til 1999. Er það í samræmi við önnur efnafræðileg gögn úr holunni. Aftur á móti sýna kísilhitamælarnir (kvars og kalsedón) að efnahiti vatns úr holu HJ-01 (mynd 14) hefur lækkað um u.þ.b. 10°C á þessu tímabili. Alkalíhiti hefur einnig lækkað, en breytingar eru þar óreglulegri en fyrir kvars- og kalsedónhita. Þessar niðurstöður eru í samræmi við önnur efnafræðileg gögn úr holunni. Breytingarnar eru þó mjög hægfara og eru ekki túlkaðar sem kæling

jarðhitakerfisins. Samspil mismunandi vatnsæða í holu HJ-01 og kólnun neðsta hluta holunnar, eins og lýst hefur verið í skýrslum Orkustofnunar (t.d. Hrefna Kristmannsdóttir o.fl., 1998), ræður sjálfsagt meiru þar um.

Á myndum 15 og 16 hafa verið teknar saman upplýsingar um styrk klóríðs og rennslis úr vinnsluholum Hitaveitu Þorlákshafnar, annars vegar fyrir holu BA-01 (mynd 15) og hins vegar fyrir holu HJ-01 (mynd 16). Upplýsingar um rennslis eru fengnar frá veitunni og fylgja oftast með þeim hlutsýnum sem hún sendir til Orkustofnunar. Myndirnar sýna að engin fylgni er milli þessara þátta í holu HJ-01 en í holu BA-01 má greina vísbendingar um lækkaðan styrk klóríðs með auknu rennslis úr holunni.

4. HELSTU NIÐURSTÖÐUR

- Meðalvinnsla veturinn 1998-1999 fram til 1. mars hefur verið um 2-3l/s meiri en tvo undanfarna vetur, eða um 30 l/s. Heildarvinnsla yfir sumarmánuðina hefur hins vegar lítið breyst. Aukning í vetrardælingu virðist ótengd veðurfari.
- Vegna tveggja jarðskjálftahrina, í júní og í nóvember 1998, varð breyting á hitastigi og þrýstingi í vinnsluholum. Í fyrri jarðskjálftahrinunni jókst þrýstingur í jarðhitakerfinu, en minnkaði í þeirri síðari með þeim afleiðingum að hola HJ-01 hætti að blása. Varð að reka holuna með loftpressu í rúma viku uns hún komst í sjálfðælingu á ný.
- Þær breytingar í hita og þrýstiástandi, sem fylgdu í kjölfar jarðskjálftanna gengu að mestu til baka á um tveimur vikum, en þó hefur fyrra þrýstingi í kerfinu enn ekki verið náð að fullu.
- Eins og fram hefur komið áður hefur vantað búnað til að fylgjast með hita- og þrýstibreytingum í jarðhitakerfinu, en slíkur búnaður er nú í uppsetningu.
- Gagnasöfnunarbúnaður Orkustofnunar virkaði með litlum truflunum s.l. ár.
- Snögg og skammvinn hækkun á flúorstyrk varð í vinnsluvatni HJ-01 í kjölfar jarðskjálftahrinunnar í júní, sem væntanlega stafar af rennslis vatns um nýja sprungufleti í berggrunninum. Engar viðlíka breytingar sáust eftir jarðskjálftahrinuna í nóvember.
- Kalkmettun hefur lækkað í sýnum af vinnsluvatni bæði frá 1998 og 1999.
- Engar marktækar breytingar hafa átt sér stað í efnahiti á vinnsluvatni í holu BA-01. Í holu HJ-01 sýna efnahilamælar allt að 10°C lækkun í samræmi við þær breytingar sem orðið hafa á holunni vegna innstreymis kaldara vatns, einkum inn um botnæð holunnar.

- Snögg breyting sem sást á súrefnissamsætu hlutfalli vatns úr holu HJ-01 árið 1997 hefur gengið til baka og vatnið hefur náð sama gildi og verið hafði í mörg ár þar á undan.
- Hækkun kom fram á hlutfalli vetnissamsæta í báðum holunum árið 1997. Hlutfallið hefur lækkað aftur en hefur þó ekki náð fyrra gildi. Þessar breytingar á hlutfalli súrefnis- og vetnissamsætna stafa mjög líklega af innstreymi staðbundins grunnvatns inn í jarðhitakerfið.
- Eins og fram hefur komið í tillögum til hitaveitunnar er talið að hola HJ-01 muni tæplega haldast mörg ár enn í sjálfðælingu. Æskilegt væri að flýta mælavæðingu hjá notendum til að hlífa jarðhitasvæðinu og halda holu HJ-01 sem lengst í sjálfðælingu.
- Sem langtímalausn kemur bæði til álita að bora nýja vinnsluholu og að hefja dælingu úr annari vinnsluholunni eða báðum og á hitaveitan djúpdælu til að grípa til með litlum fyrirvara. Allar líkur er hins vegar taldar á að unnt verði að halda sama rekstrarfyrirkomulagi með nýrri vinnsluholu og hefur nýrri vinnsluholu verið valinn staður.

5. HEIMILDIR/RITASKRÁ

Auður Ingimarsdóttir, Guðrún Sverrisdóttir, Helga Tulinius, Hrefna Kristmannsdóttir og Sæþór L. Jónsson, 1989. *Hitaveita Þorlákshafnar. Eftirlit með jarðhitavinnslu 1988-1989*. Orkustofnun, OS-89029/JHD-13 B, 12 s.

Hrefna Kristmannsdóttir, 1987. *Hitaveita Þorlákshafnar - Eftirlit með jarðhitavatni 1987*. Orkustofnun, HK-87/14, 2 s.

Hrefna Kristmannsdóttir, Guðrún Sverrisdóttir, Guðjón Guðmundsson og Hilmar Sigvaldason, 1988. *Hitaveita Þorlákshafnar. Efnasamsetning jarðhitavatns í holu 1 á Bakka og holu 2 í Hjallakróki, og hitamælingu holu 2*. Orkustofnun, OS-88043/JHD-22 B, 8 s.

Hrefna Kristmannsdóttir, Magnús Ólafsson, Hilmar Sigvaldason, Helga Tulinius, Sverrir Þórhallsson og Kristján Sæmundsson, 1990. *Hitaveita Þorlákshafnar. Áhrif vinnslu á jarðhitasvæðið og tillögur til úrbóta*. Orkustofnun, OS-90021/JHD-09 B, 40 s.

Hrefna Kristmannsdóttir og Helga Tulinius, 1991. *Hitaveita Þorlákshafnar. Eftirlit með jarðhitavinnslu 1990-1991*. Orkustofnun, OS-91030/JHD-16 B, 13 s.

Hrefna Kristmannsdóttir og Hilmar Sigvaldason, 1992. *Hitaveita Þorlákshafnar. Eftirlit með jarðhitavinnslu 1991-1992*. Orkustofnun, OS-92029/JHD-13 B, 13 s.

Hrefna Kristmannsdóttir og Árný Erla Sveinbjörnsdóttir, 1992. *Changes of stable isotopes and chemistry of fluids in the low-temperature geothermal field at Bakki-*

Thoroddsstadir, Olfus, SW Iceland. Water-Rock Interaction (eds. Kharaka & Maest), Balkema, Rotterdam, s. 951-954.

Hrefna Kristmannsdóttir, Guðrún Sverrisdóttir og Hilmar Sigvaldason, 1993. *Hitaveita Þorlákshafnar. Eftirlit með jarðhitavinnslu 1992-1993*. Orkustofnun, OS-93040/JHD-20 B, 10 s.

Hrefna Kristmannsdóttir og Hilmar Sigvaldason, 1994. *Hitaveita Þorlákshafnar. Eftirlit með jarðhitavinnslu 1993-1994*. Orkustofnun, OS-94029/JHD-16 B, 10 s.

Hrefna Kristmannsdóttir, Helga Tulinius og Hilmar Sigvaldason, 1995. *Hitaveita Þorlákshafnar. Eftirlit með jarðhitavinnslu 1994-1995*. Orkustofnun, OS-95035/JHD-22 B, 14 s.

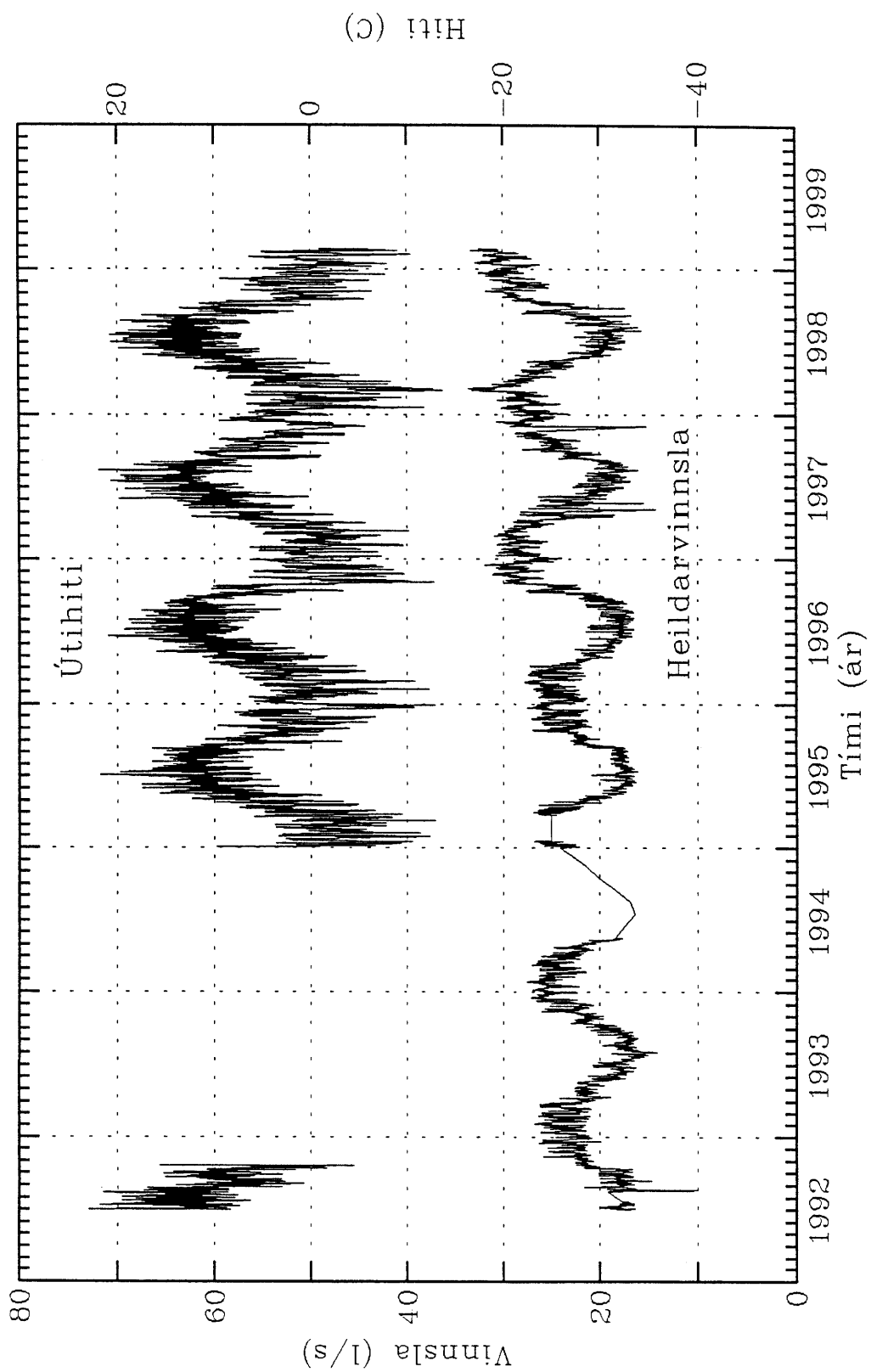
Hrefna Kristmannsdóttir og Hilmar Sigvaldason, 1996. *Hitaveita Þorlákshafnar. Eftirlit með jarðhitavinnslu 1995-1996*. Orkustofnun, OS-96049/JHD-21 B, 11 s.

Hrefna Kristmannsdóttir og Sigvaldi Thordarson, 1998. *Hitaveita Þorlákshafnar. Eftirlit með jarðhitavinnslu 1996-1997*. Orkustofnun, OS-97075, 20 s.

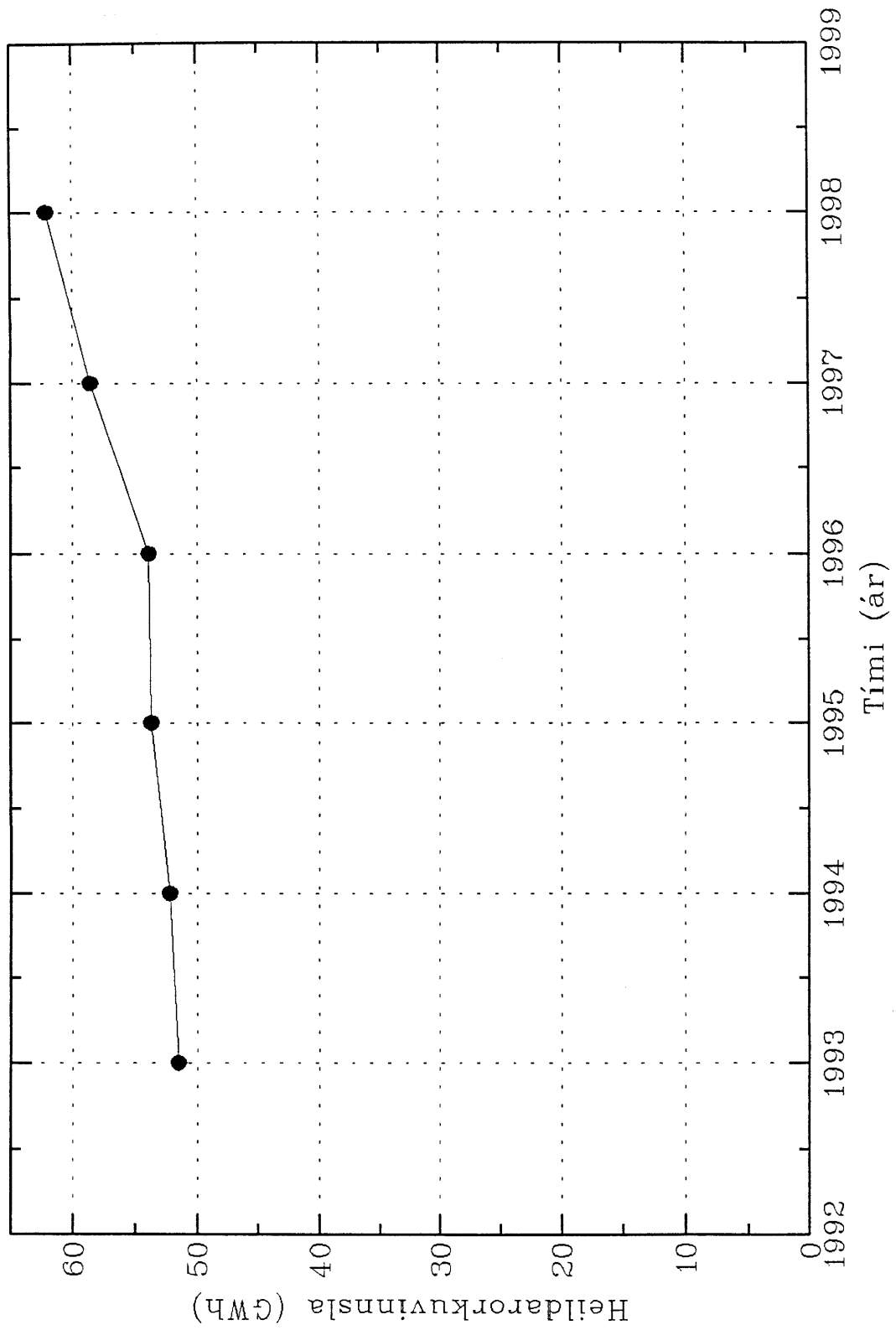
Hrefna Kristmannsdóttir, Steinun Hauksdóttir, Sverrir Þórhallsson, Kristján Sæmundsson, Guðni Axelsson og Sigvaldi Thordarson, 1998. *Hitaveita Þorlákshafnar. Niðurstöður hitamælinga og djúpsýnatöku úr holu HJ-01 og tillögur um aðgerðir til að viðhalda vinnslugetu hitaveitunnar*. Orkustofnun, OS-98048, 17 s.

Sigurður Th. Rögnvaldsson o.fl., 1998. *Skjálftahrina í Ölfusi í nóvember 1998*. Veðurstofa Íslands, VÍ-G98046-JA09,

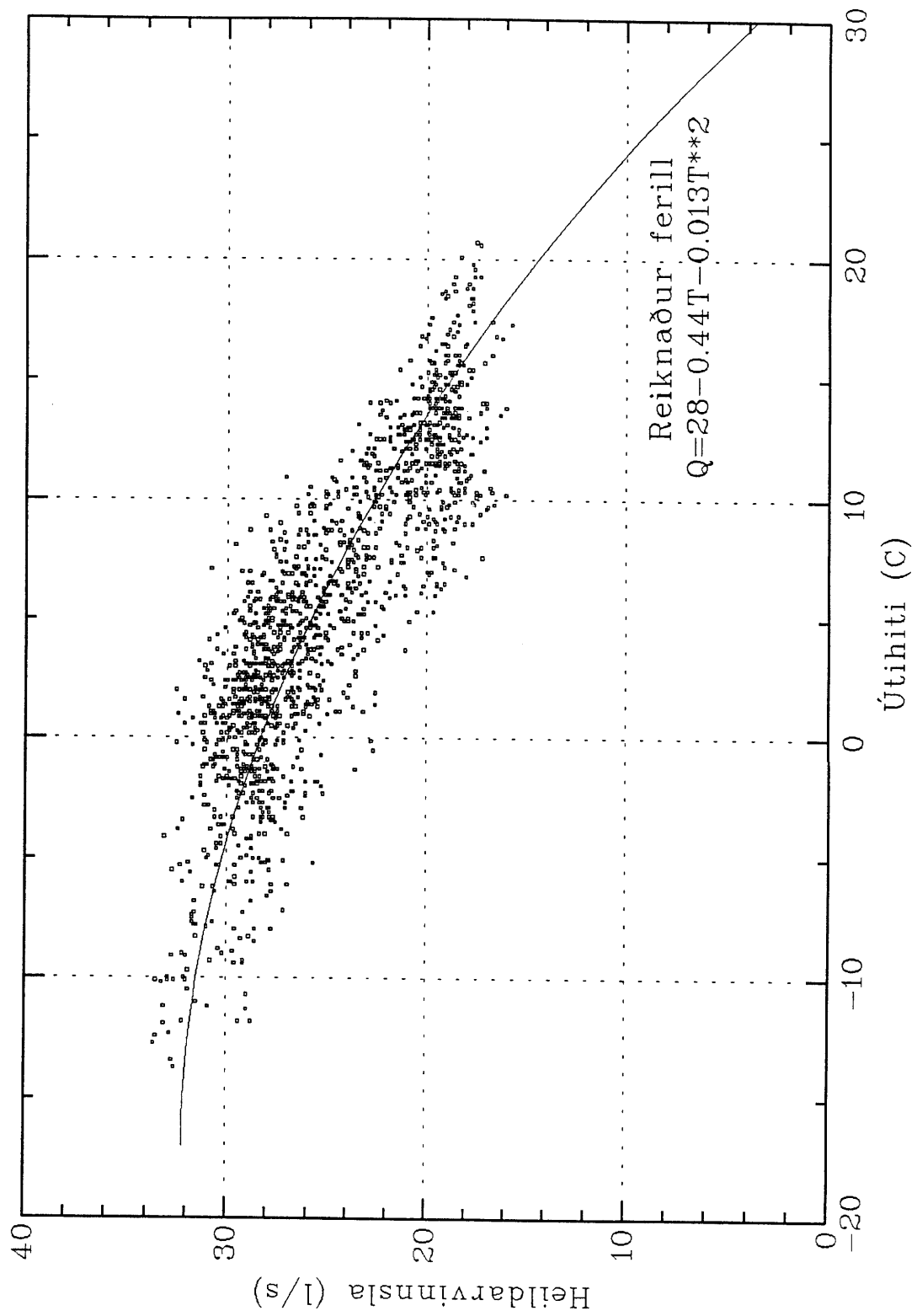
Sverrir Þórhallsson og Grímur Björnsson. *Áhrif jarðskjálftahrinu á borholur Hitaveitu Þorlákshafnar og tillögur til úrbóta*. Orkustofnun, Greinargerð SP/GrB-1998/01, 3s.



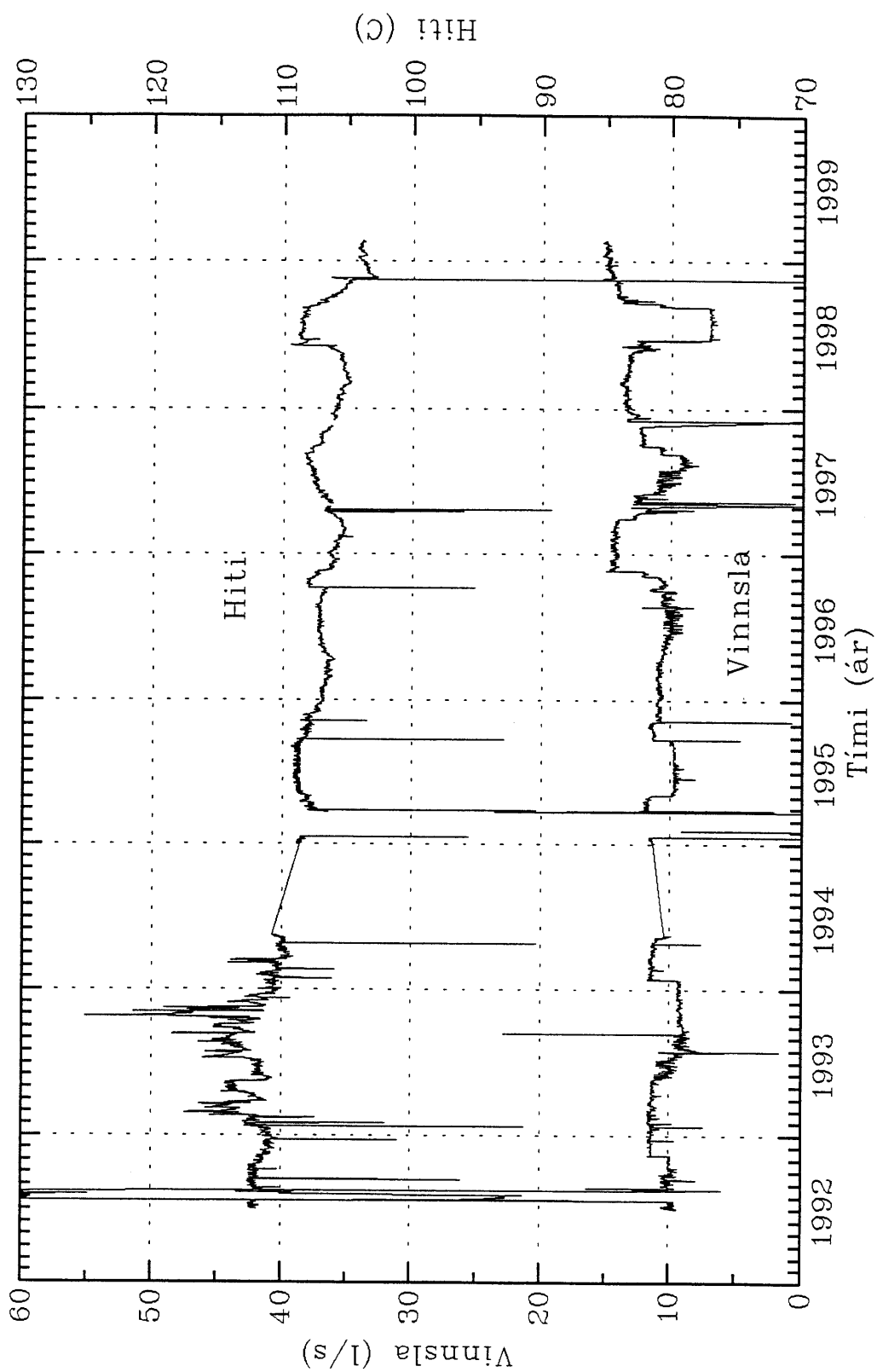
Mynd 1. Heildarvinnsla Hitaveitu Þorlákshafnar úr borholum HJ-01 og BA-01 frá júlí 1992 til og með febrúar 1999 ásamt útihita í Hjallahverfi.



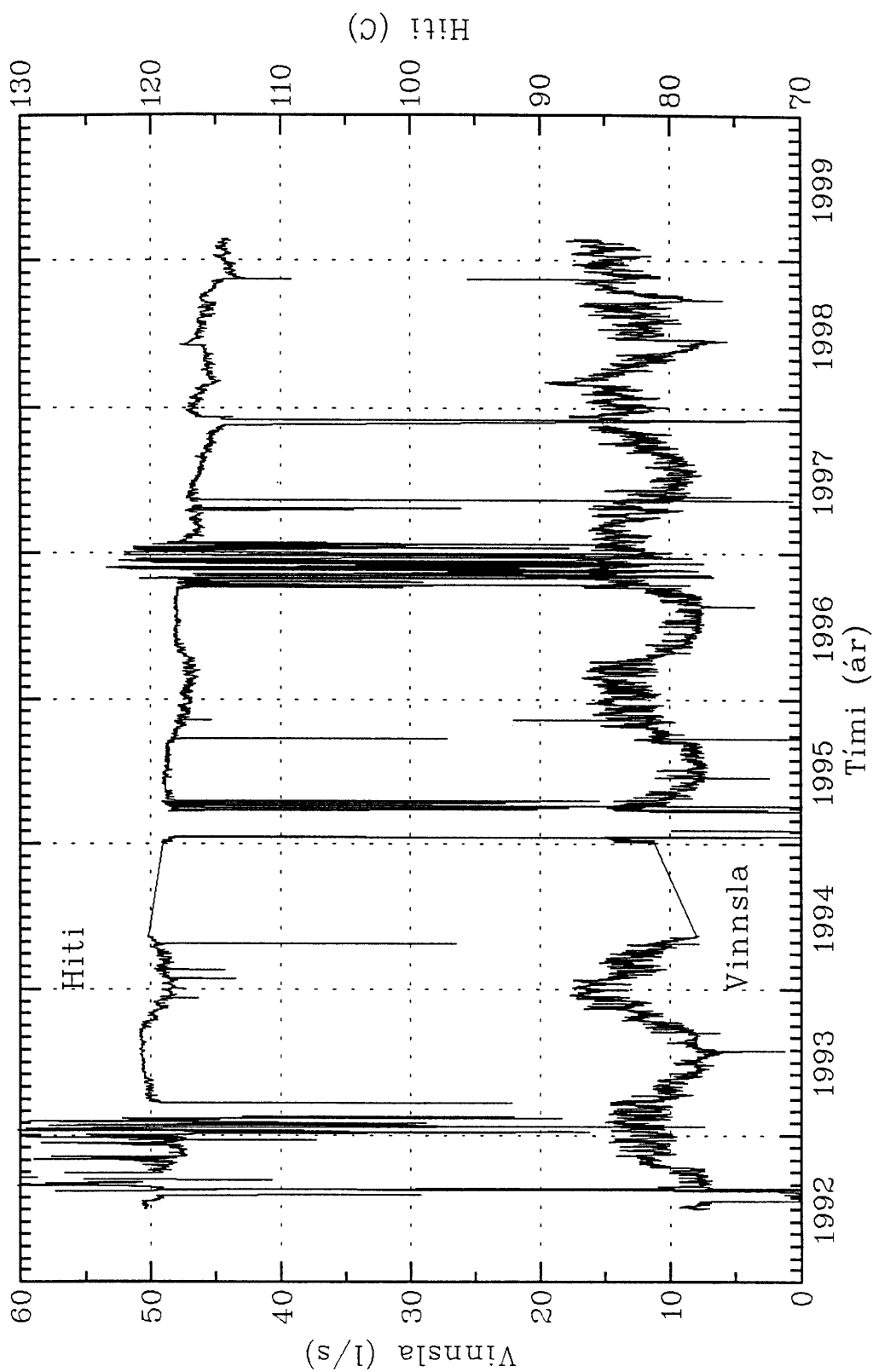
Mynd 2. Orkuvinnsla Hitaveitu Þorlákshafnar á árunum 1992 til 1998.



Mynd 3. Heildarvinnsla teiknuð sem fall af útihita fyrir árin 1992 til 1998.

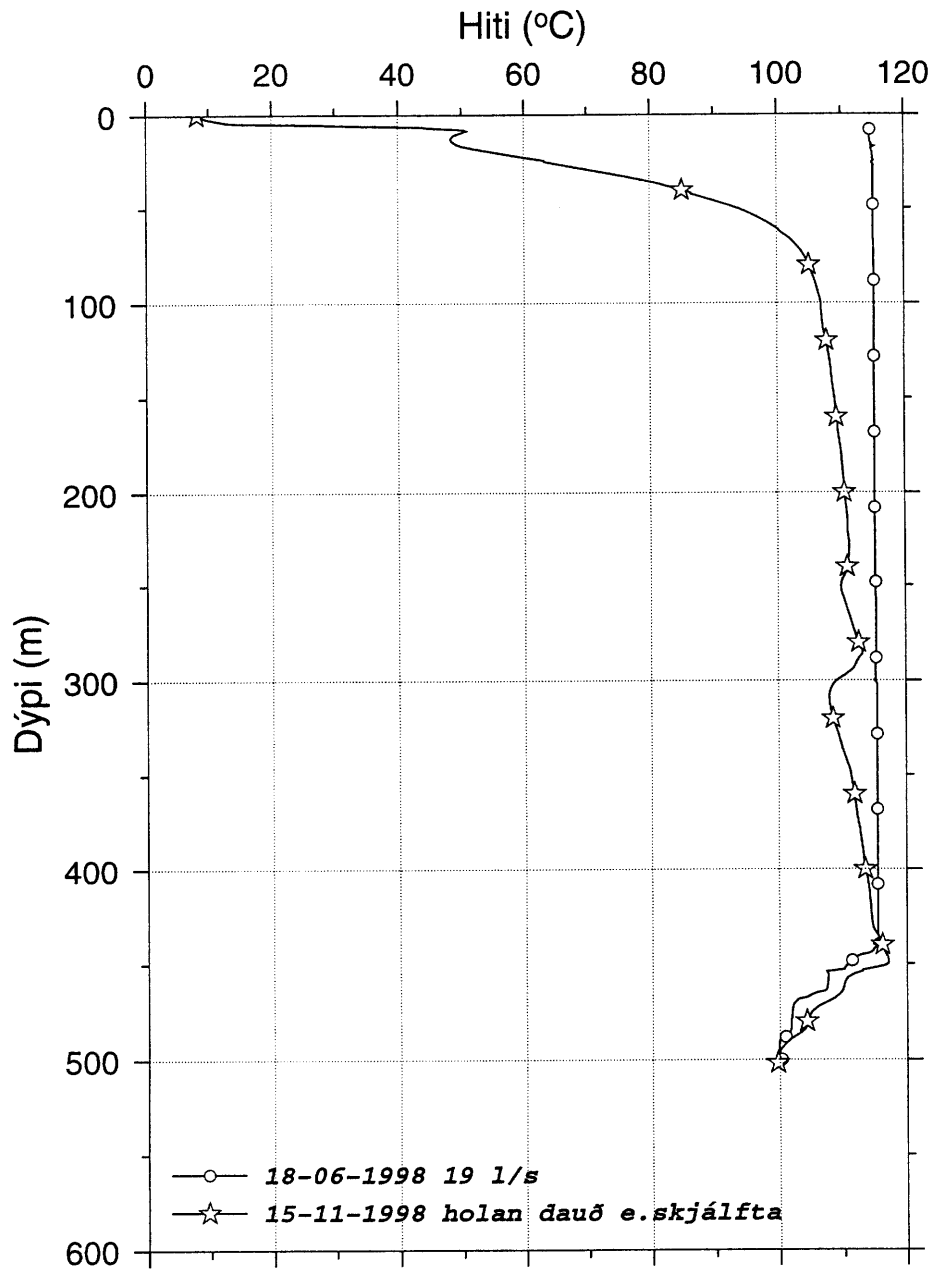


Mynd 4. Vinnsla úr holu HJ-01 ásamt gufuhita við holutopp.

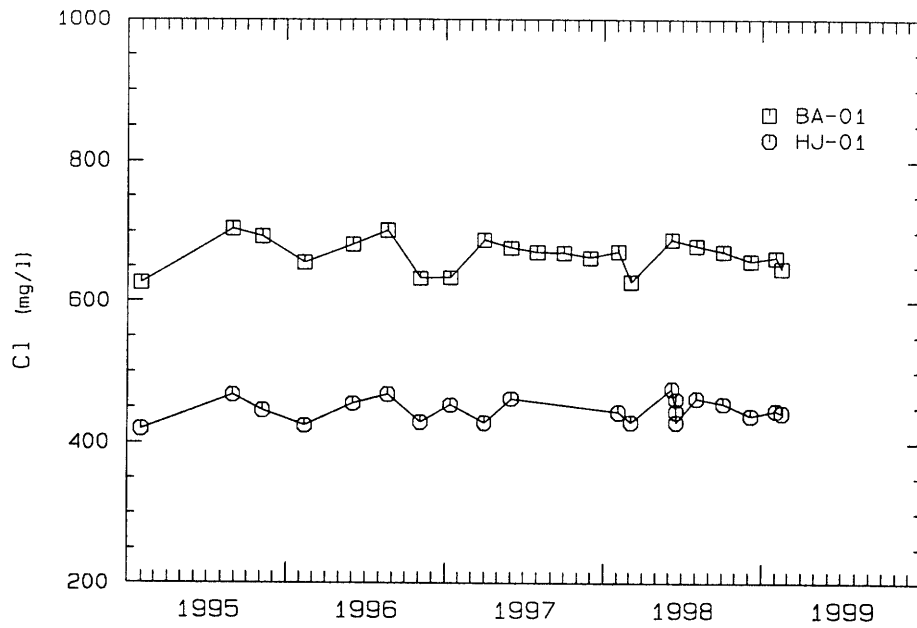


Mynd 5. Vinnsla úr holu BA-01 ásamt gufuhita við holutopp.

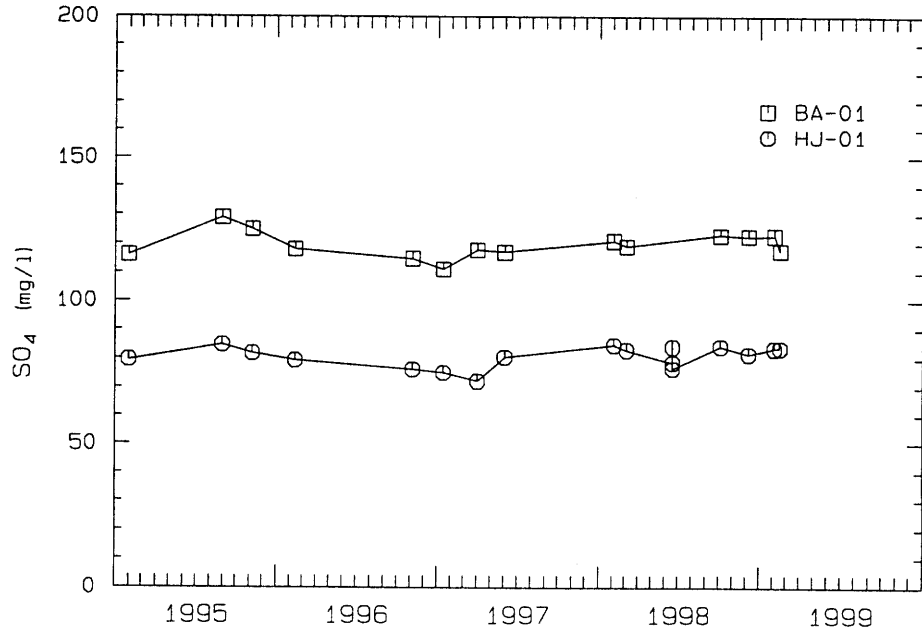
Hjallakrókur HJ-01 Árnessýsla



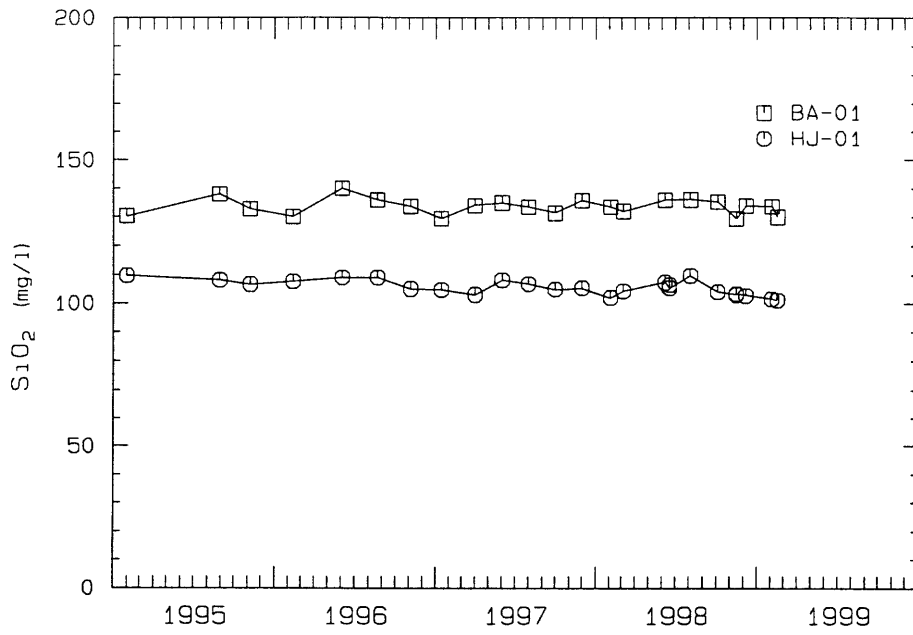
Mynd 6. Hitamæling úr holu HJ-01 eftir að hún hætti að blása í kjölfar tveggja jarðskjálfta daganna 13. og 14. nóvember 1998. Eldri hitamæling er sýnd til samaburðar.



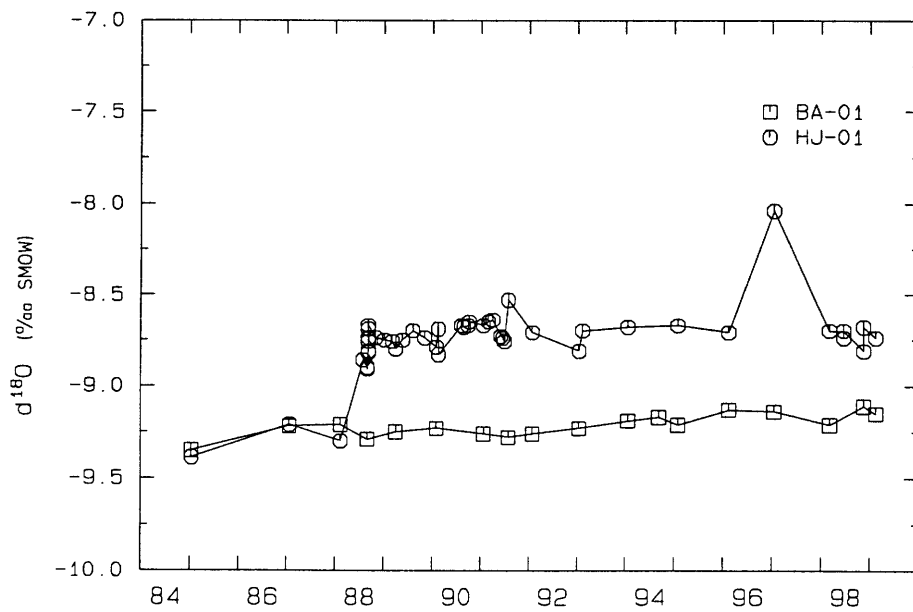
Mynd 7. Styrkur klóríðs í vatni úr holum BA-01 og HJ-01, 1995 - 1999.



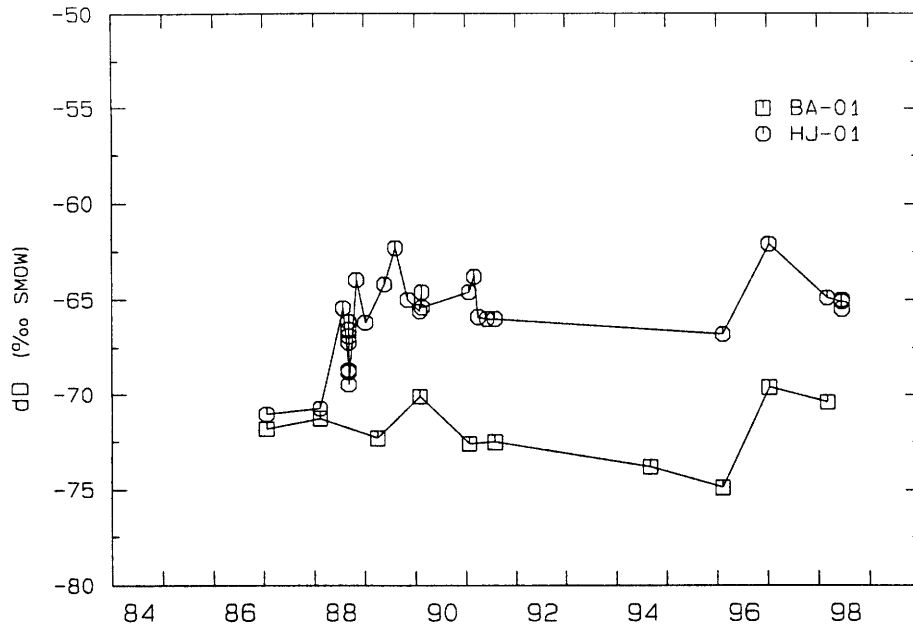
Mynd 8. Styrkur súlfats í vatni úr holum BA-01 og HJ-01, 1995 - 1999.



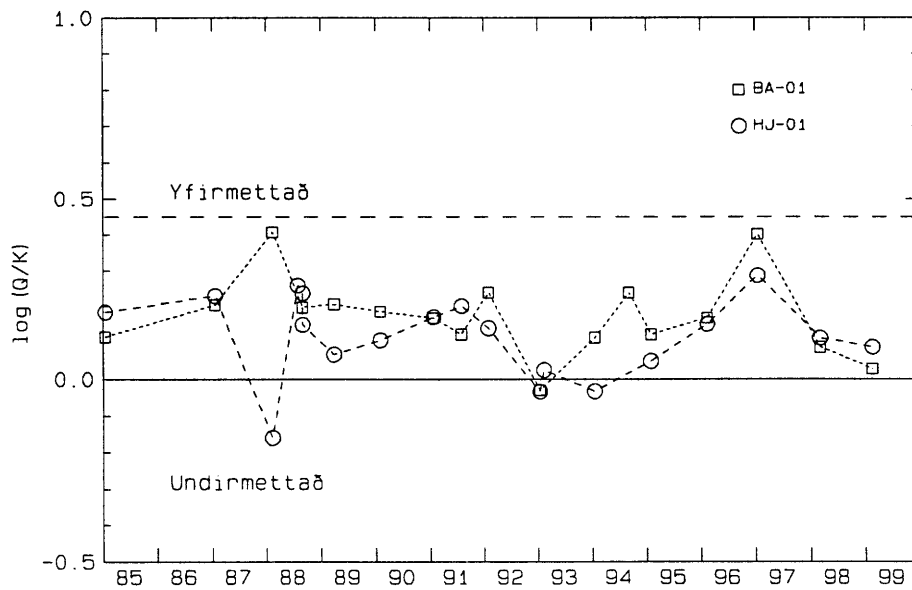
Mynd 9. Styrkur kísils í vatni úr holum BA-01 og HJ-01, 1995 til 1999.



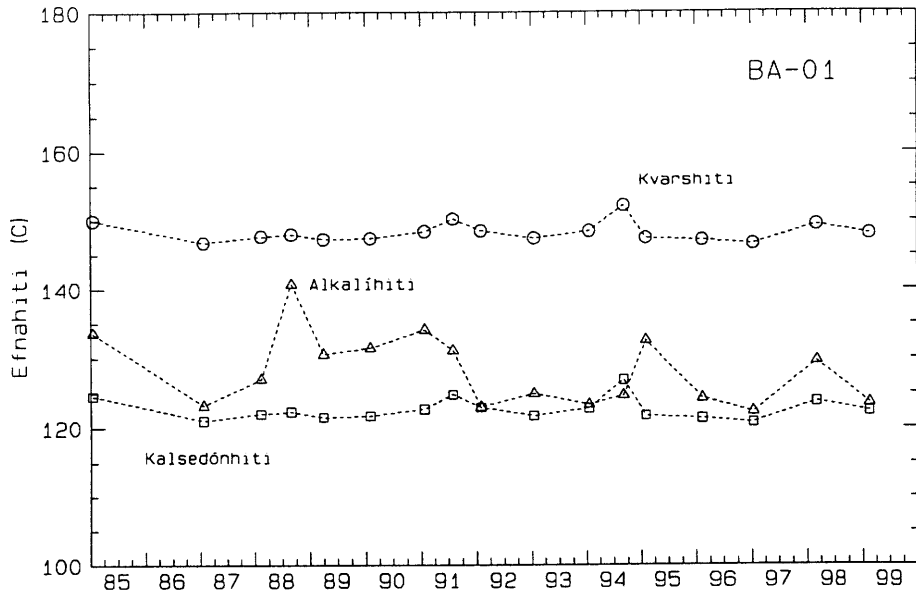
Mynd 10. Hlutfall súrefnissamsæta í vatni úr holum BA-01 og HJ-01, 1985 - 1999.



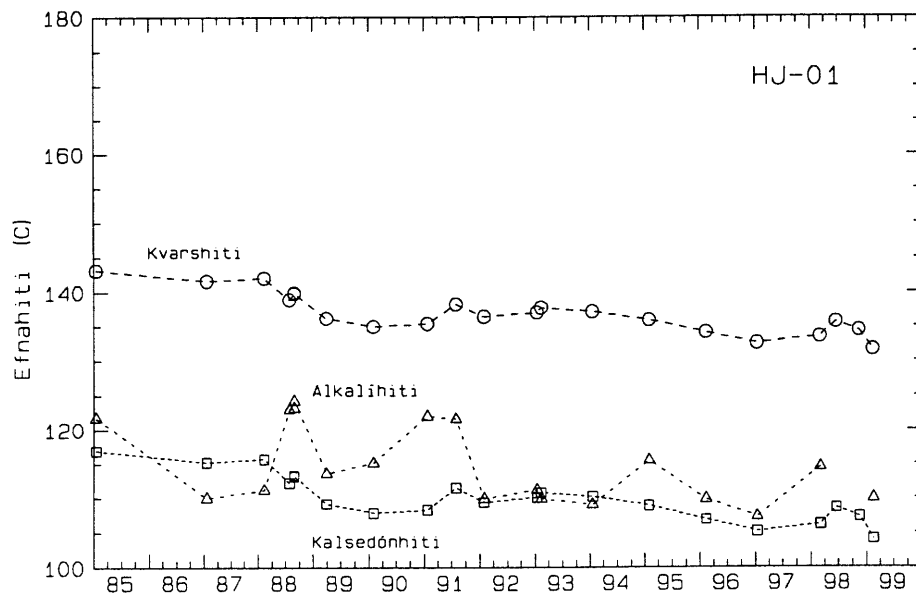
Mynd 11. Hlutfall vetnissamsæta í vatni úr holum BA-01 og HJ-01, 1985 - 1998.



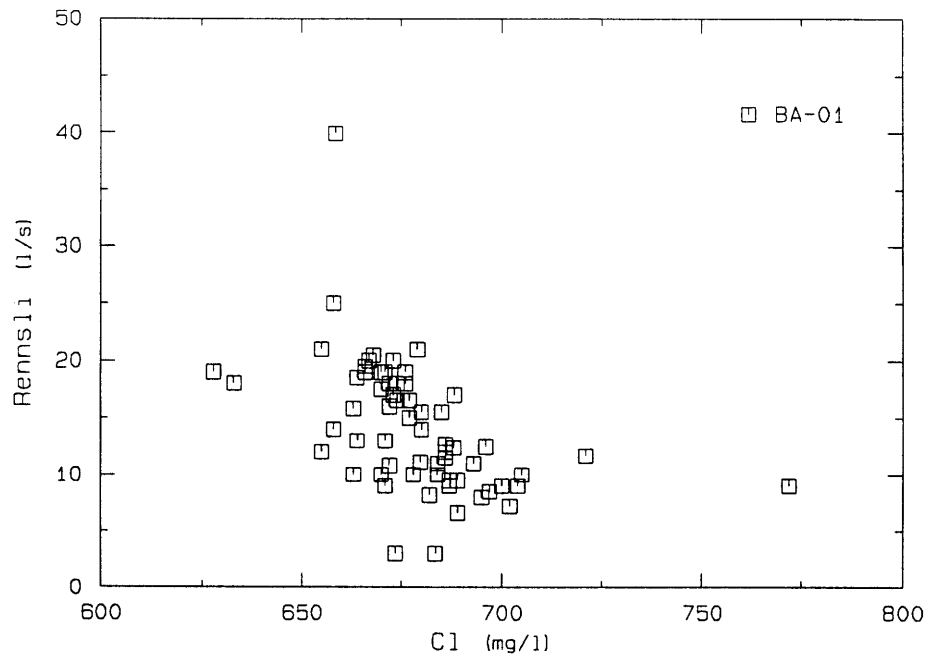
Mynd 12. Kalkmettun vatns úr holum BA-01 og HJ-01, 1985 - 1999.



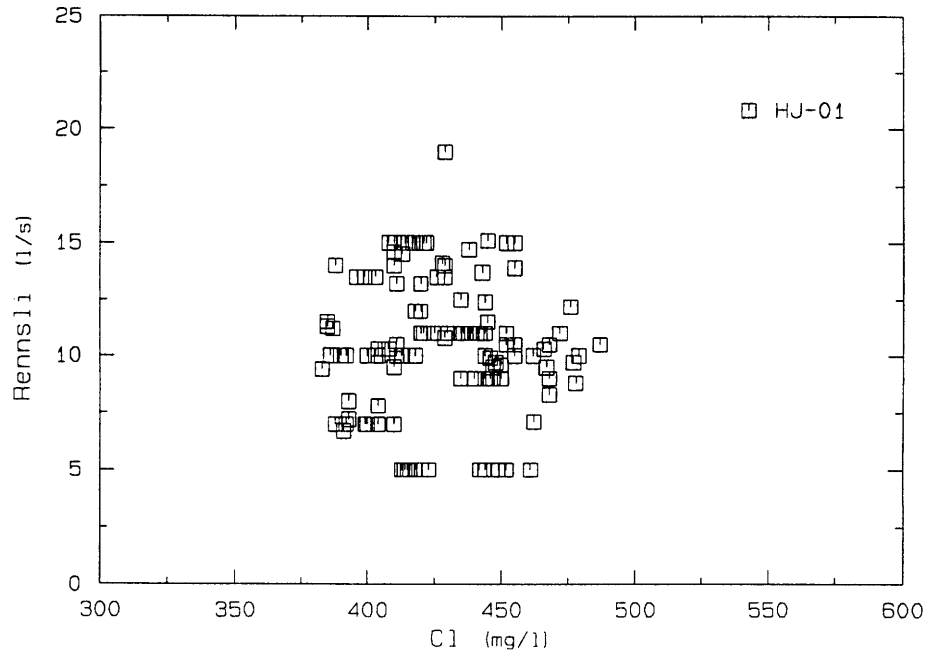
Mynd 13. Efnahiti vatns úr holu BA-01, 1985 - 1999.



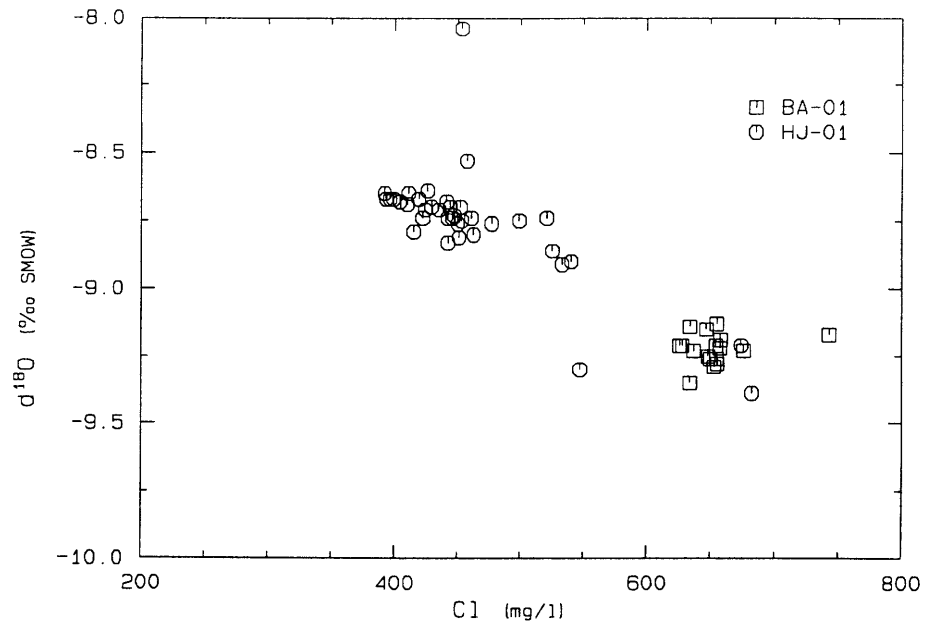
Mynd 14. Efnahiti vatns úr holu HJ-01, 1985 - 1999.



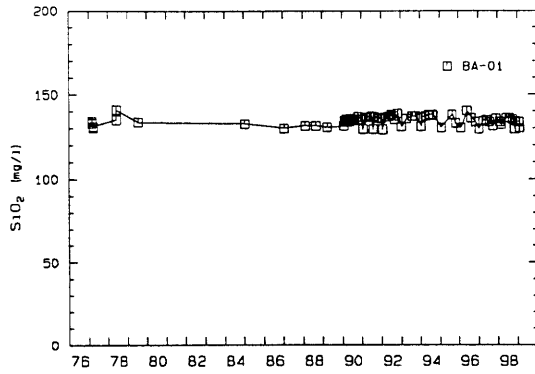
Mynd 15. Styrkur klóríðs og rennsli úr holu BA-01.



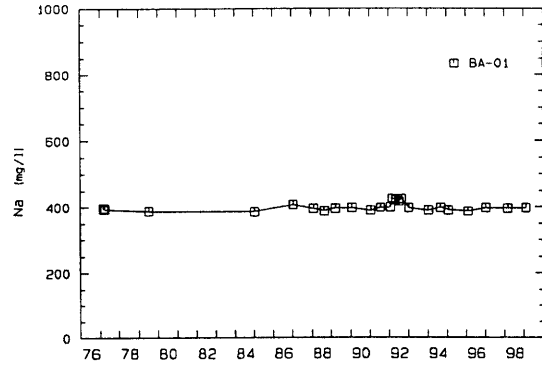
Mynd 16. Styrkur klóríðs og rennsli úr holu HJ-01.



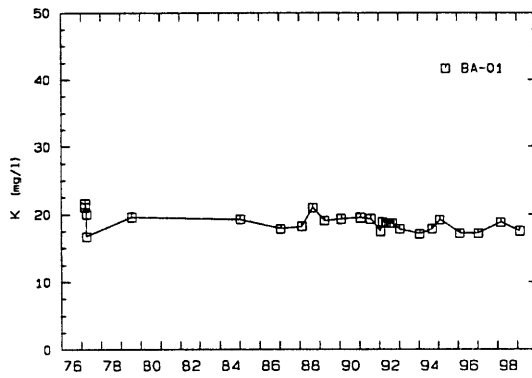
Mynd 17. Samband klóríðs og súrefnissamsæta í vatni úr holum BA-01 og HJ-01.



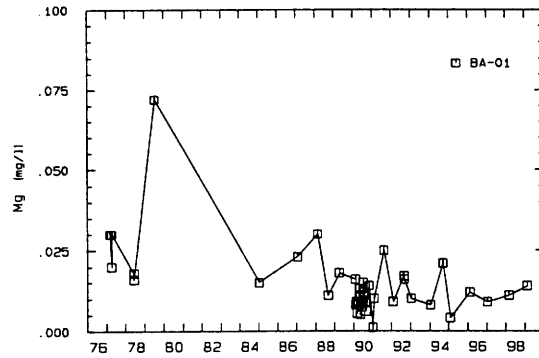
Mynd 18. Kísill í BA-01.



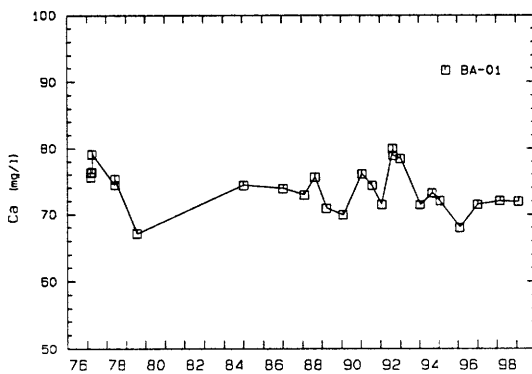
Mynd 19. Natríum í BA-01.



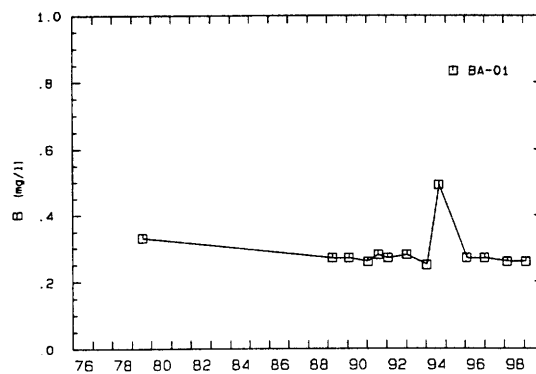
Mynd 20. Kalíum í BA-01.



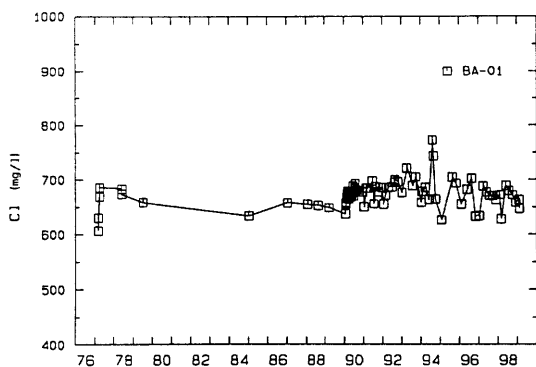
Mynd 21. Magnésíum í BA-01.



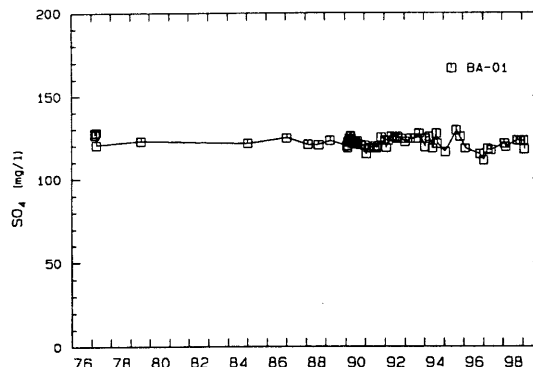
Mynd 22. Kalsíum í BA-01.



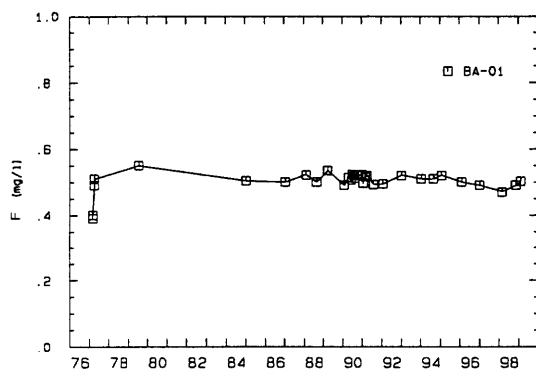
Mynd 23. Bór í holu BA-01.



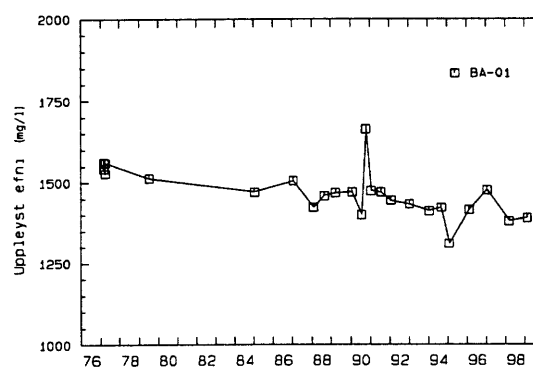
Mynd 24. Klóríð í BA-01.



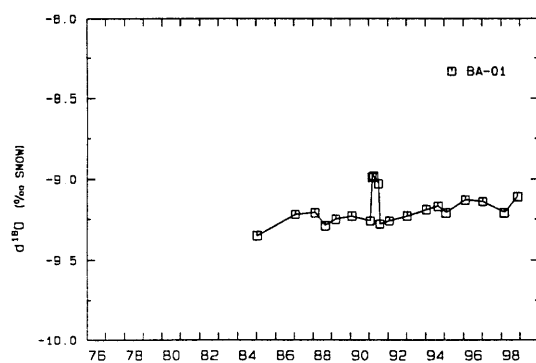
Mynd 25. Súlfat í BA-01.



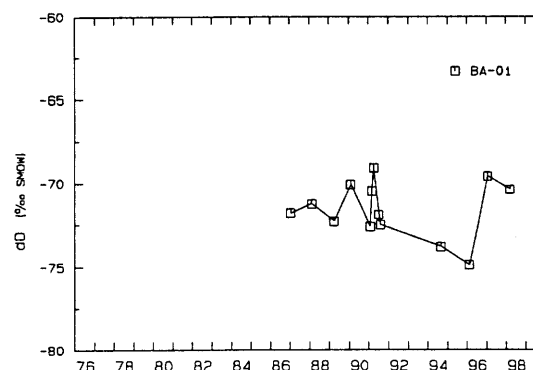
Mynd 26. Flúoríð í BA-01.



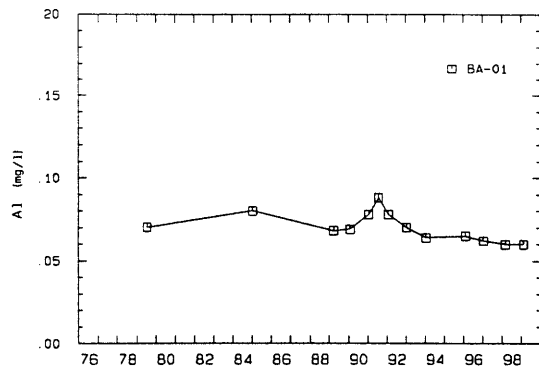
Mynd 27. Uppleyst efni í BA-01.



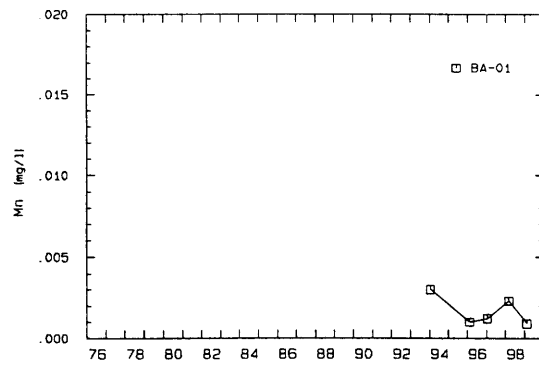
Mynd 28. Súrefnissamsætur í BA-01.



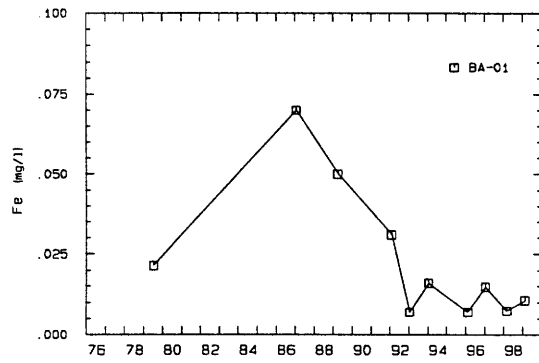
Mynd 29. Vetrissamsætur í BA-01.



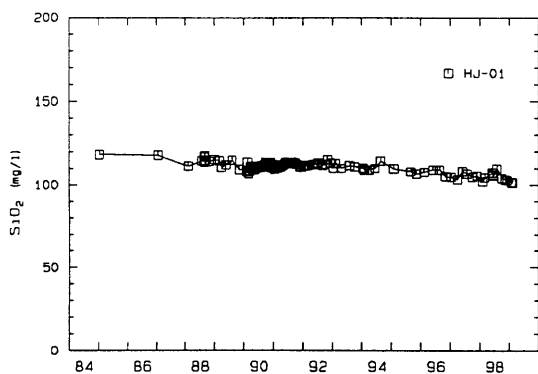
Mynd 30. Ál í BA-01.



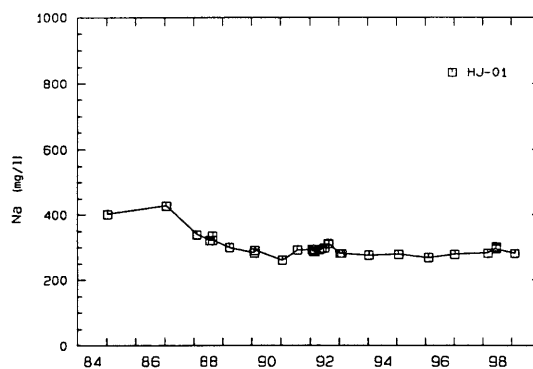
Mynd 31. Mangan í BA-01.



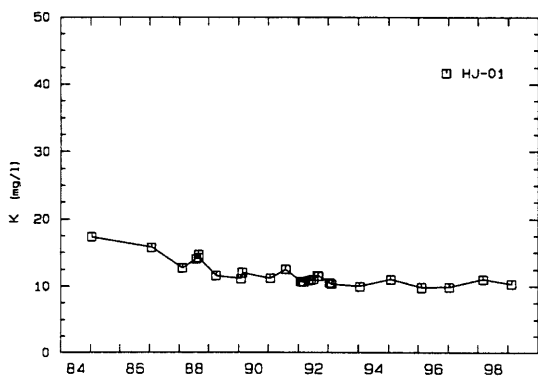
Mynd 32. Járn í BA-01.



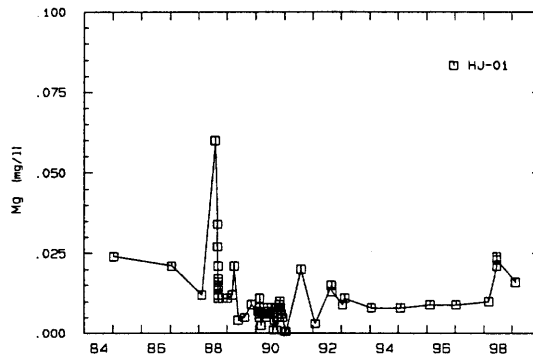
Mynd 33. Kísill í HJ-01.



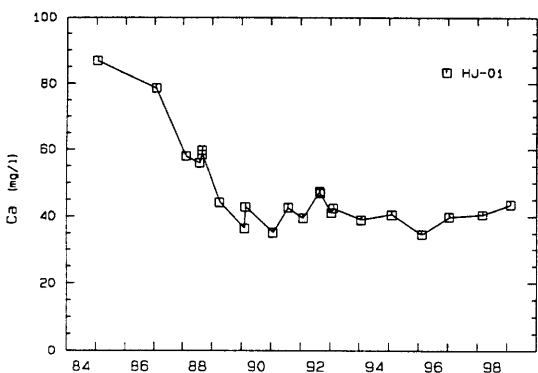
Mynd 34. Natríum í HJ-01.



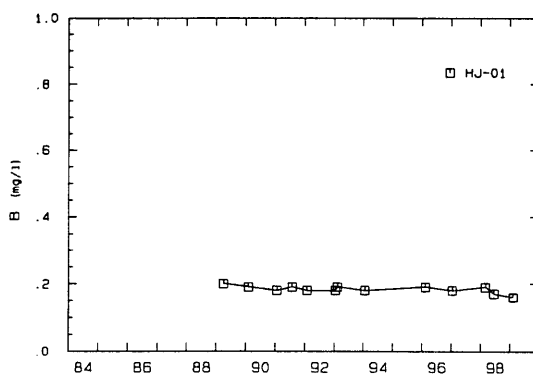
Mynd 35. Kalíum í HJ-01.



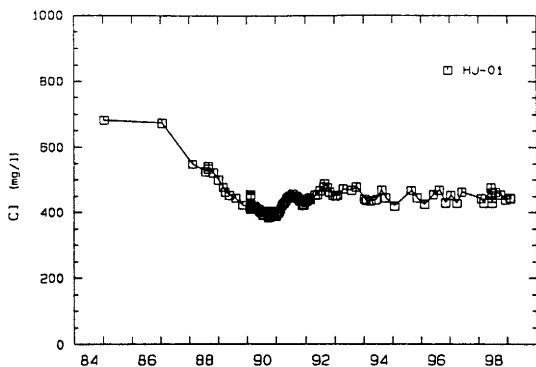
Mynd 36. Magnésíum í HJ-01.



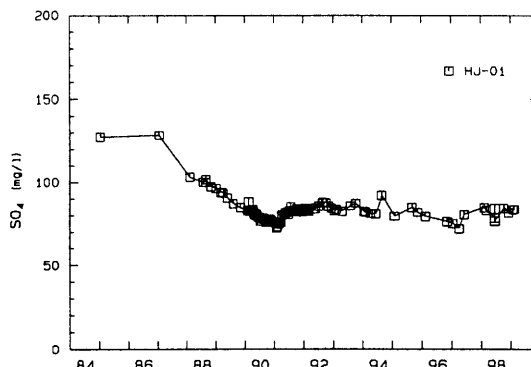
Mynd 37. Kalsíum í HJ-01.



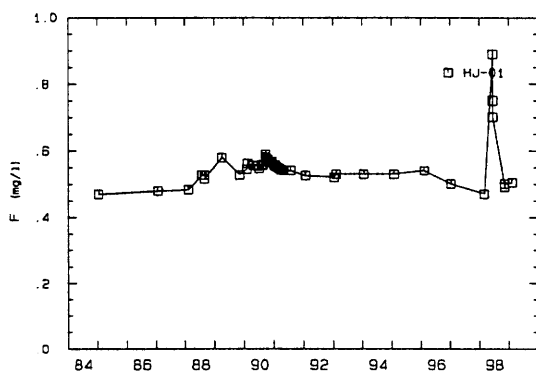
Mynd 38. Bór í HJ-01.



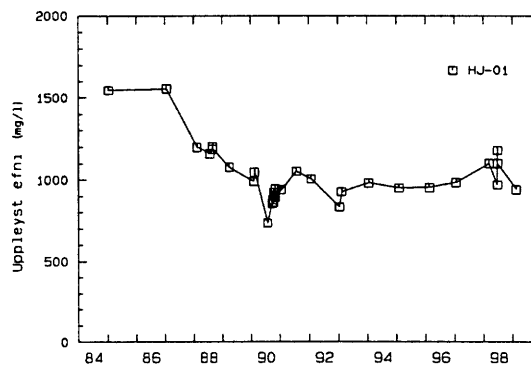
Mynd 39. Klóríð í HJ-01.



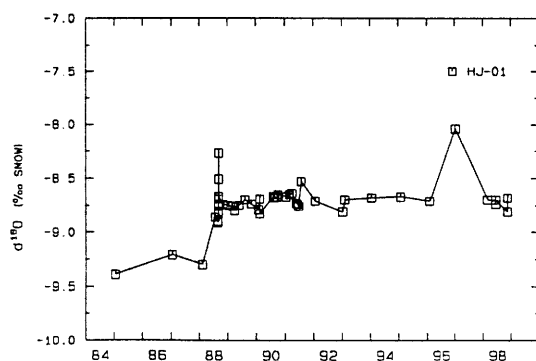
Mynd 40. Súlfat í HJ-01.



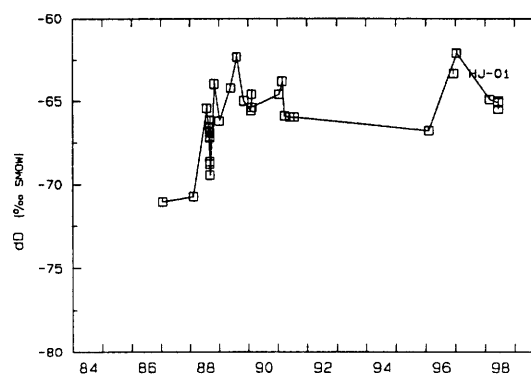
Mynd 41. Flúoríð í HJ-01.



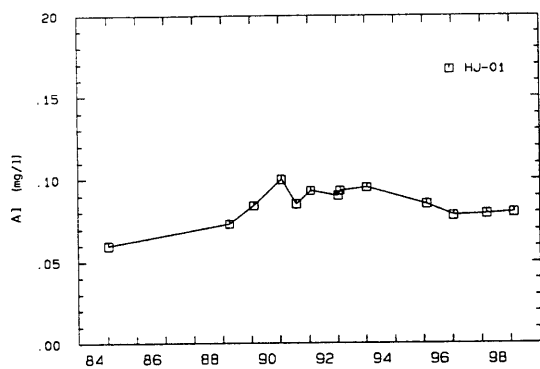
Mynd 42. Uppleyst efni í HJ-01.



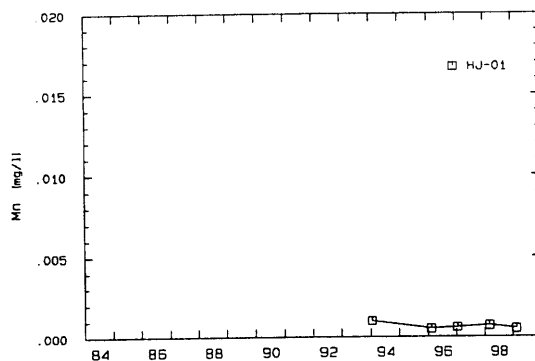
Mynd 43. Súrefnissamsætur í HJ-01.



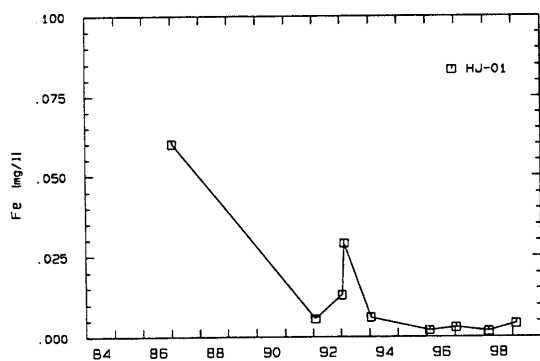
Mynd 44. Vetrissamsætur í HJ-01.



Mynd 45. Ál í HJ-01.



Mynd 46. Mangan í HJ-01.



Mynd 47. Járn í HJ-01.