



ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

HITAVEITA ÞORLÁKSHAFNAR
Eftirlit með jarðhitavinnslu 1988-1989

Auður Ingimarsdóttir, Guðrún Sverrisdóttir,
Helga Tulinius, Hrefna Kristmannsdóttir
og Sæþór L. Jónsson

OS-89029/JHD-13 B

Ágúst 1989

HITAVEITA ÞORLÁKSHAFNAR
Eftirlit með jarðhitavinnslu 1988-1989

Auður Ingimarsdóttir, Guðrún Sverrisdóttir,
Helga Tulinius, Hrefna Kristmannsdóttir
og Sæþór L. Jónsson

OS-89029/JHD-13 B

Ágúst 1989

EFNISYFIRLIT

1. INNGANGUR	3
2. VATNSVINNSLA	3
3. BREYTINGAR Á EFNASAMSETNINGU JARÐHITAVATNS	3
4. ÚTFELLINGAR	5
5. HELSTU NIÐURSTÖÐUR HEIMILDIR	6 6
VIÐAUKI: Aðferðir við greiningu útfellinga frá hitaveitu Þorlákshafnar	11

TÖFLUSKRÁ

1. Bakki, hola 1. Efnasamsetning vatns	4
2. Hjallakrökur, hola 2. Efnasamsetning vatns	4

MYNDASKRÁ

1. Vatnsborðsmæling í borholu í suðu	7
2. Vinnsla úr holu 1 á Bakka og holu 2 í Hjallakróki fyrir hitaveitu Þorlákshafnar	8
3. Hjallakrökur, hola 2. Styrkur klóríðs á móti tíma	9
4. Hjallakrökur, hola 2. Styrkur kísils á móti tíma	10

1. INNGANGUR

Skýrslan fjallar um eftirlit með jarðhitavinnslu samkvæmt samkomulagi milli Hitaveitu Þorlákshafnar og Jarðhitadeildar Orkustofnunar, vinnslueftirlitssamningi nr. 687171-1988. Einnig eru teknar með í skýrsluna niðurstöður greininga á útfellingu sem fannst nýlega í gufuskilju á holu 2 í Hjallakróki. Vegna ófullkominna vinnslugagna er ekki hægt að framfylgja verklysingum samningsins að fullu að þessu sinni. Til standa endurbætur á gagnasöfnun hjá Hitaveitunni svo vonandi tekst það að ári.

2. VATNSVINNSLA

Samkvæmt vinnslueftirlitssamningi milli Hitaveitu Þorlákshafnar og Orkustofnunar sem undirritaður var 15.2.88, er tekið fram að mæla skuli vatnsrennsli, þrýsting, gangtíma dælu, straum og spennu sem og aðrar tiltækar mælistærðir um vatnsvinnslu. Mæla skal einu sinni í viku. Með slíkum gögnum er hægt að gera spár um viðbrögð jarðhitakerfisins við frekari vinnslu og meta afkastagetu þess í framtíðinni. Reyndin er sú að nokkrar mælistærðir hafa verið mældar allt að fjórum sinnum á dag, þar af er aðeins ein, vatnsrennslið, sem segir til um vinnslu úr svæðinu.

Aftur á móti hefur ekkert verið mælt sem segir til um hvernig jarðhitakerfið bregst við þessari vinnslu. Þrýstingur í jarðhitakerfinu gefur upplýsingar um viðbrögð þess við vinnslu úr svæðinu. Vatnið er heitara en 100°C við holutopp og því er það sjóðandi. Suðan byrjar sennilega einhverstaðar niðri í holunni og gefur því holutoppþrýstingur eingöngu hita vatnsins sem upp kemur en ekki þrýsting í jarðhitakerfinu. Mjög brynt er að byrjað verði að mæla þrýsting í jarðhitakerfinu sem allra fyrst. Best er að mæla hann með því að koma röri um 20 m niður fyrir suðuborð og mæla þar. Mynd 1 sýnir nánari útfærslu á þessari aðferð.

Mynd 2 sýnir vatnsrennsli úr svæðinu frá 19.04.88 til ársloka 1988. Gögnin eru ekki

alveg samfelld því nokkra daga vantar í svo og heilan mánuð yfir sumarið eða frá 16.07.88 - 15.08.88. Ekki er hægt að greina hvað mikið kemur úr hvorri holu og er því teiknuð heildarvinnslan úr svæðinu. Til að byrja með, eða til 29.11.88 er aðeins gefin upp vinnsla í l/s, 1 - 4 sinnum á dag. Valið var eitt gildi á dag sem næst miðjum degi og rennslið teiknað upp (lína 1 á mynd 2). Eftir 30.11.88 er einnig gefið upp heildar-rúmmal þess vökva sem tekinn er úr svæðinu yfir heilan sólarhring (lína tvö á mynd 2). Eins og sést á myndinni var vinnslan töluvert minni yfir sumarmánuðina eða 28,3 l/s að meðaltali í júní - september. Yfir vetrarmánuðina (október - desember) var vinnslan um 33,2 l/s að meðaltali.

3. BREYTINGAR Á EFNASAMSETNINGU JARÐHITAVATNS

Þann 3. mars 1989 voru tekin sýni af heitu vatni úr holu 1 á Bakka, holu 2 í Hjallakróki og úr dreifistöð Hitaveitu Þorlákshafnar. Þetta er liður í árlegu vinnslueftirliti með veitunni. Hitastig var mælt við sýnatöku ásamt súrefnisstyrk í dreifistöðinni. Sýrustig og styrkur rokgjarnra efna (karbónat, brennisteinsvetni) voru mæld strax að sýnatöku lokinni. Greining annarra efna fór fram á Orkustofnun í vor. Meðfylgjandi töflur sýna niðurstöður efnagreininga undanfarin ár. Elsta sýnið úr holu 1 er frá árinu 1979 (tafla 1). Skemmra er síðan byrjað var að nýta holu 2, þar er elsta sýnið frá árinu 1985 (tafla 2). Í töflu 2 er einnig greining á sýni úr dreifistöð hitaveitunnar.

Í holu 1 hafa efnasamsetning vatnsins og efnahlutföll lítið breyst undanfarin ár og er ekki merkjanleg nein breyting á vatnskerfinu. Efnasamsetning vatnsins í holu 2 hefur aftur á móti tekið töluverðum breytingum frá því að byrjað var að nýta holuna og fer styrkur flestra efna í vatninu lækkandi. Magn uppleystra efna og klóríðs hefur lækkað um rösklega 30% frá upphafi árs 1987. Kísilstyrkurinn er nokkuð sveiflukenndur en virðist fara heldur lækkandi. Myndir 3 og 4

TAFLA 1:

BAKKI, HOLA 1

Efnasamsetning vatns (mg/kg)

Dagsetning Númer	790718 3034	850115 0006	870121 0009	880211 0008	880829 0114	890330 0023
Hiti (°C)	126,0	116,0	111,0	117,0	117,0	117,5
Sýrustig (pH/°C)	8,36/20	8,71/22	8,89/23	8,91/22	8,92/21	8,87/24
Kísill (SiO ₂)	133,6	132,6	129,9	131,4	131,4	130,6
Natríum (Na)	388	386	407	395	388	396
Kalíum (K)	19,6	19,2	17,9	18,2	21,0	19,0
Kalsíum (Ca)	67,1	74,4	73,9	72,9	75,6	70,9
Magnesium (Mg)	0,07	0,02	0,02	0,03	0,01	0,02
Karbónat (CO ₂)	6,7	7,7	6,8	10,2	6,4	6,4
Súlfat (SO ₄)	122,5	121,2	124,5	120,5	120,2	122,7
Brennist.vetni (H ₂ S)	0,56	0,29	0,36	0,47	0,35	0,37
Klóríð (Cl)	659	634	658	654	653	649
Flúoríð (F)	0,50	0,50	0,50	0,52	0,50	0,54
Uppleyst efni	1513	1470	1505	1423	1459	1468
Járn (Fe)	<0,025	-	0,05	<0,025	-	0,05
Mangan (Mn)	-	-	<0,05	<0,05	-	-
Bór (B)	0,33	0,27	-	-	-	0,30
Brómíð (Br)	-	-	2,28	-	2,31	2,36
Ál (Al)	-	0,08	-	-	-	-
δ ¹⁸ O ‰	-	-9,35	-	-	-9,30	-

TAFLA 2:

HJALLAKRÓKUR, HOLA 2

Efnasamsetning vatns (mg/kg)

Dagsetning Númer	850115 0007	870121 0010	880728 0097	880829 0112	890330 0022	890330 0024 dreifistöð
Hiti (°C)	108,0	102,0	98,8	99,1	99,2	93,0
Sýrustig (pH/°C)	8,72/22	8,82/23	8,94/23	9,01/20	9,00/24	8,84/24
Kísill (SiO ₂)	118,3	117,7	114,2	116,6	110,5	123,7
Natríum (Na)	402	427	322	335	300	358
Kalíum (K)	17,3	15,8	14,0	14,7	11,6	16,0
Kalsíum (Ca)	86,8	78,6	55,8	59,6	44,1	56,6
Magnesium (Mg)	0,02	0,02	0,06	0,03	0,02	0,02
Karbónat (CO ₂)	8,7	8,8	9,8	8,5	6,4	5,9
Súlfat (SO ₄)	127,3	128,4	100,1	101,6	93,5	110,7
Brennist.vetni (H ₂ S)	0,29	0,26	<0,03	0,11	0,10	0,10
Klóríð (Cl)	682	674	525	540	463	580
Flúoríð (F)	0,47	0,48	0,53	0,53	0,58	0,55
Uppleyst efni	1546	1555	1160	1202	1076	1291
Járn (Fe)	-	0,05	<0,025	-	<0,025	<0,025
Mangan (Mn)	-	<0,05	<0,05	-	-	-
Bór (B)	0,26	-	-	-	0,23	0,27
Brómíð (Br)	-	2,32	-	1,90	1,68	2,08
Ál (Al)	0,06	-	0,09	-	-	-
Súrefni (O ₂)	-	-	-	-	-	0,05
δ ¹⁸ O ‰	-9,39	-	-	-	-	-

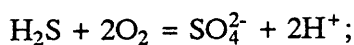
- ekki mælt

sýna styrk klóríðs og kísils á móti tíma, bæði í heilsýnum og hlutasýnum. Nýjustu punktarnir á ferlunum eru niðurstöður greininga á hlutasýni frá ágúst 1989. Sýni frá og með júlí 1988 eru tekin um krana á gasskilju, eldri sýni eru tekin af holutoppi. Í sýni sem tekið var í júlí 1988 reyndist styrkur magnesíums nokkru hærri en verið hafði undanfarin ár. Þessi breyting gat bent til blöndunar við kalt vatn. Hitamæling, sem gerð var skömmu síðar, sýndi engin merki um kalt innstreymi. Í næstu sýnum var magnesíumstyrkurinn síðan aftur eins og í fyrri sýnum.

Hrefna Kristmannsdóttir o.fl. (1988) komast að þeirri niðurstöðu að hlutfallslegt innstreymi úr vatnsæðum hafi breyst samfara þrýstingsbreytingu í holunni við nýtingu og að æð með ferskara og aðeins kaldara vatni gefi nú hlutfallslega meira en áður. Styrkur uppleysts kísils eykst með hækkandi hitastigi vatnsins, lækkanði kísilstyrkur gefur því vísendingu um hitalækkun í jarðhitakerfinu. Nýlega voru greind súrefnisísótópahlutföll í þremur síðustu sýnunum úr holu 2 og kom í ljós að vatnið hefur þyngst verulega frá 1985 og jafnt og þétt með tíma (sjá töflu 2). Jarðhitavatnið í Hjallakróki hafði $\delta^{18}\text{O}$ -gildi í kringum -9,40. Mælingar eru ekki til af köldu grunnvatni á svæðinu en það hefur líklega $\delta^{18}\text{O}$ -gildi um -8 miðað við δD gildi fyrir úrkomu á svæðinu (Bragi Árnason, 1976). Virðist því sem staðbundið þyngra grunnvatn hafi blandast jarðhitavatninu í holu 2 í Hjallakróki og að kalt vatn renni inn í jarðhitakerfið.

Þar sem seltubreyting er ör í holuvatninu og styrkur kísils sveiflukenndur og breytingar á súrefnisísótópagildum benda til kalds innstreymis, er ráðlegt að fylgjast vel með efnainnihaldi vatnsins framvegis.

Töluvert súrefni mælist í dreifistöð hitaveitunnar (0,05 mg/kg). Brennisteinsvetni eyðir súrefni samkvæmt efnahvarfinu;



og vinnur þannig á móti hugsanlegri súrefnistæringu. Þar sem brennisteinsvetni

mælist í töluverðu magni í dreifistöðinni ættu líkur á tæringu að vera hverfandi. Líklegast er að örlítið súrefni leki inn um inntaksgrindina og eigi eftir að hvarfast við brennisteinsvetnið.

4. ÚTFELLINGAR

Þegar gasskiljan á holu 2 í Hjallakróki var opnuð nú í júní kom í ljós nokkur útfelling í henni. Í skiljunni sem rekin hefur verið í mörg ár á holu 1 á Bakka, hefur ekki orðið vart við neitt svipað og því óskaði Guðlaugur Sveinsson hitaveitustjóri eftir að útfellingin væri rannsökuð.

Í ljós kom að ekki var um verulegt magn að ræða, en vegna þess að vart hefur orðið við breytingar á vatninu í holunni þótti rétt að ganga úr skugga um hvort útfellingin stæði í einhverju sambandi við þær. Í því sambandi skipti máli hvort magnesíum væri í útfellingunni, því það myndi benda til innstreymis kalds vatns. Þann 27. júní sl. voru tekin þrjú sýni af útfellingunni; sýni A, tekið af botni skiljunnar, sýni B, tekið af þilinu beint á móti inntaksbunu, og sýni C, tekið við inntakið en í skjóli við rennslið. Útfellingin var svört á lit og hörð í sýnum B og C, en sýni A af botni skiljunnar var svargrænt að lit og lausara í sér. Sýni A var í flögum og er vel líklegt að það hafi barist utan af veggjum skiljunnar og dottið niður á botn hennar. Sýni B og C eru dæmigerð húð sem sest innan á rör og skiljur úr vatni af svona samsetningu, og er hún úr járnsamböndum með kísilvafi. Ofur eðlilegt er að slík húð myndist við upphaf nýtingar, en hún verður aldrei þykk og hættir að myndast þegar vatnið og gufan kemst ekki lengur í snertingu við bert stálið. Líklegast er sýni A myndað á sama hátt, en af einhverjum orsökum hefur húðin barist af veggjunum og safnast fyrir á botni skiljunnar og því myndast meira en ella.

Greint var hvaða efni væru í sýnunum og gróflega í hvaða hlutföllum. Einnig var athugað hvort um kristölluð efni væri að ræða. Til að fá örugga vissu um að ekkert magnesíum væri í sýni A og til að fá betri

upplýsingar um byggingu sýnisins var farið með það í rafeindasmásjá á Iðntæknistofnun Íslands. Í viðauka með skýrslunni er lýst nánar aðferðum við greiningu sýnanna. Í töflu í viðauka eru einnig niðurstöður efna-greininga.

Niðurstaðan er sú að þessi svarta útfelling sé að mestu leyti járn, sennilega leyst út úr rörum og ef til vill skiljunni sjálfri. Járníð er að mestu bundið kísli í illa kristölluðum samböndum, en einnig sem oxíð og karbónat. Ekkert magnesíum finnst í útfellingunni þannig að ekki eru nein merki um innstreymi kaldara vatns í kerfið.

5. HELSTU NIÐURSTÖÐUR

Vegna skorts á mælingum er lítið unnt að meta áhrif vatnsvinnslunnar á jarðhitasvæðið.

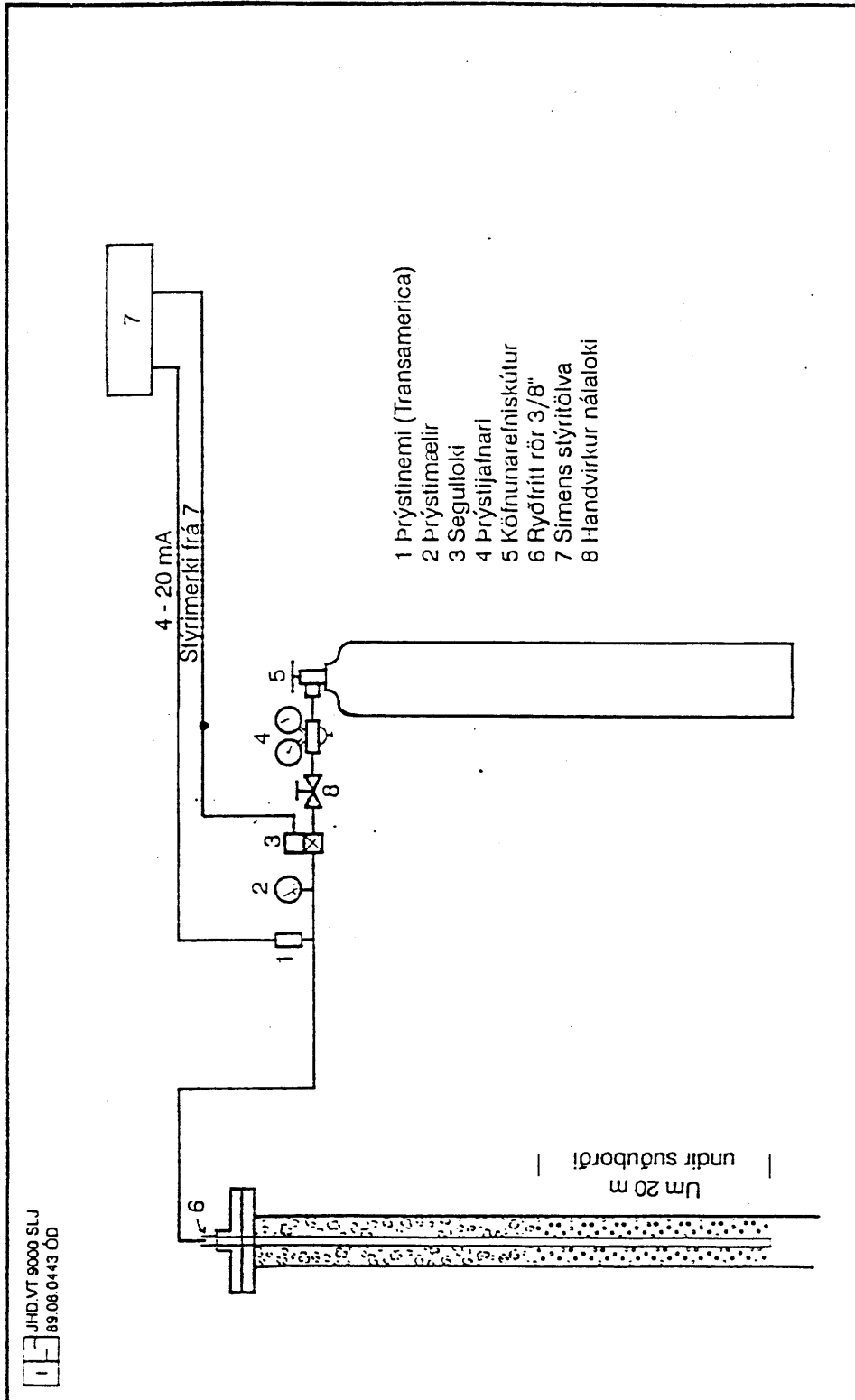
Efnasamsetning vatns í holu 1 hefur nær ekkert breyst undanfarin ár en vatnið í holu 2 er að þynnast og breytingar á efnasamsetningu benda til yfirvofandi kælingar. Órlítill kæling gæti þegar hafa orðið án þess að eftir því væri tekið þar sem ekki hefur verið mældur hiti né þrýstingur á síðasta ári.

Útfelling í skilju á holu 2 stafar af uppleysingu járns og eftirfarandi útfellingu járnsambanda. Slík útfelling verður oft við sam-bærilegar aðstæður og þótt hún sé meira áberandi þarna en í skilju á holu 1 er ekki talin hætta á ferðum.

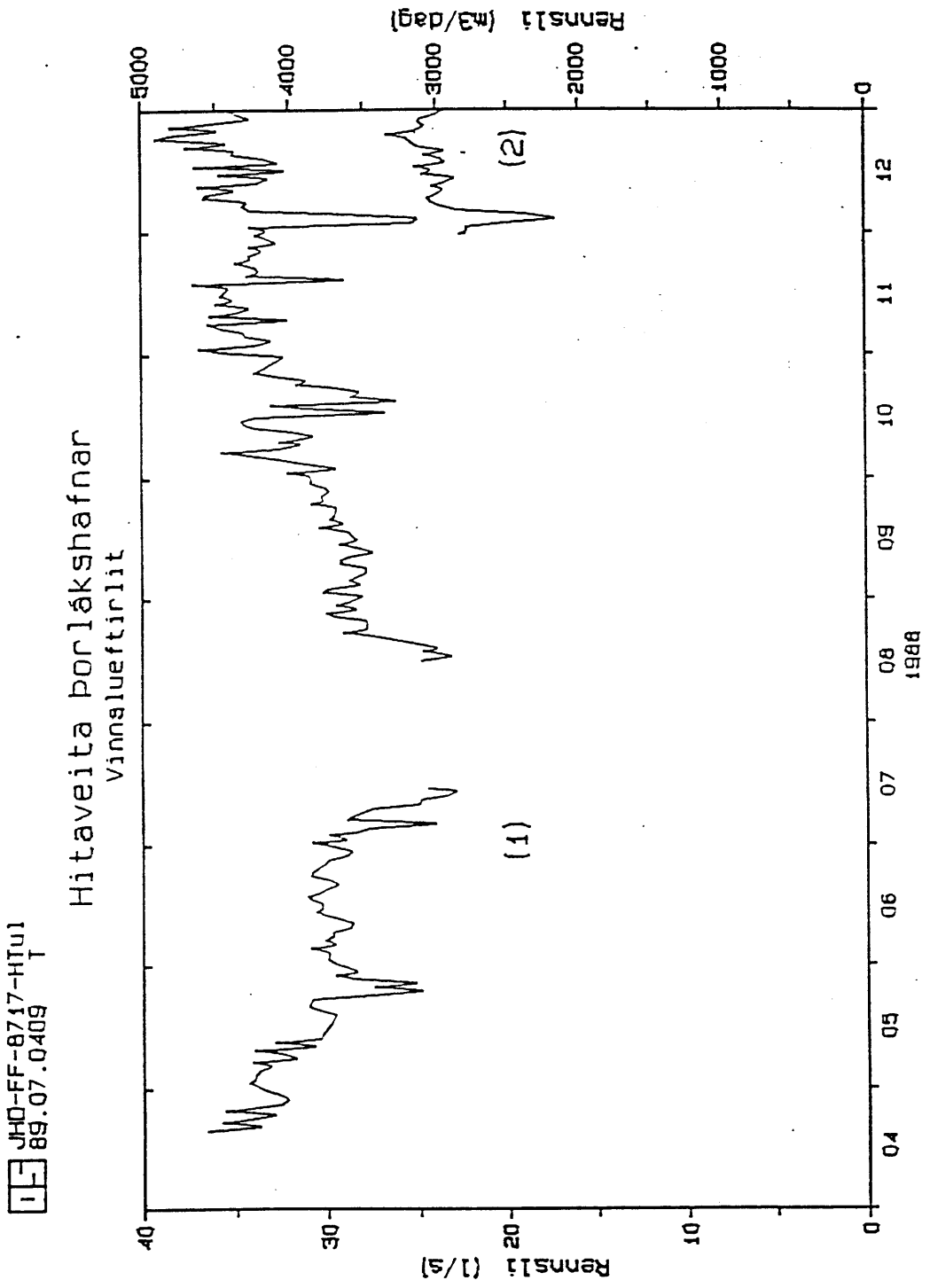
HEIMILDIR

Hrefna Kristmannsdóttir, Guðrún Sverrisdóttir, Guðjón Guðmundsson og Hilmar Sigvaldason, 1988: *Efnasamsetning holu-vatns í holu 1 á Bakka og holu 2 í Hjalla-króki, og hitamæling holu 2*. Orkustofnun, OS-88043/JHD-22 B

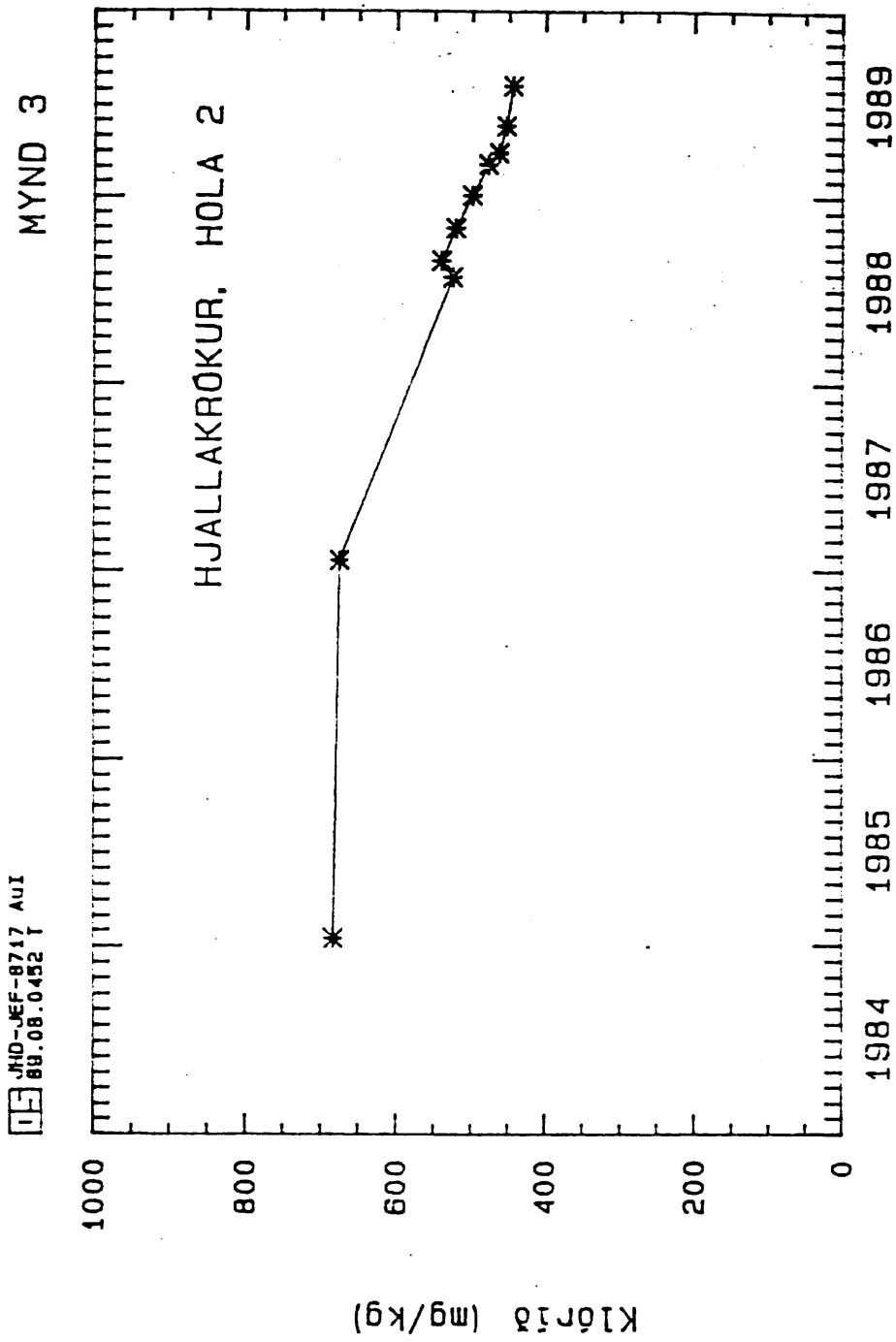
Bragi Árnason, 1976. *Groundwater systems in Iceland traced by deuterium*. Vísindafélag Íslendinga XLII, Reykjavík.



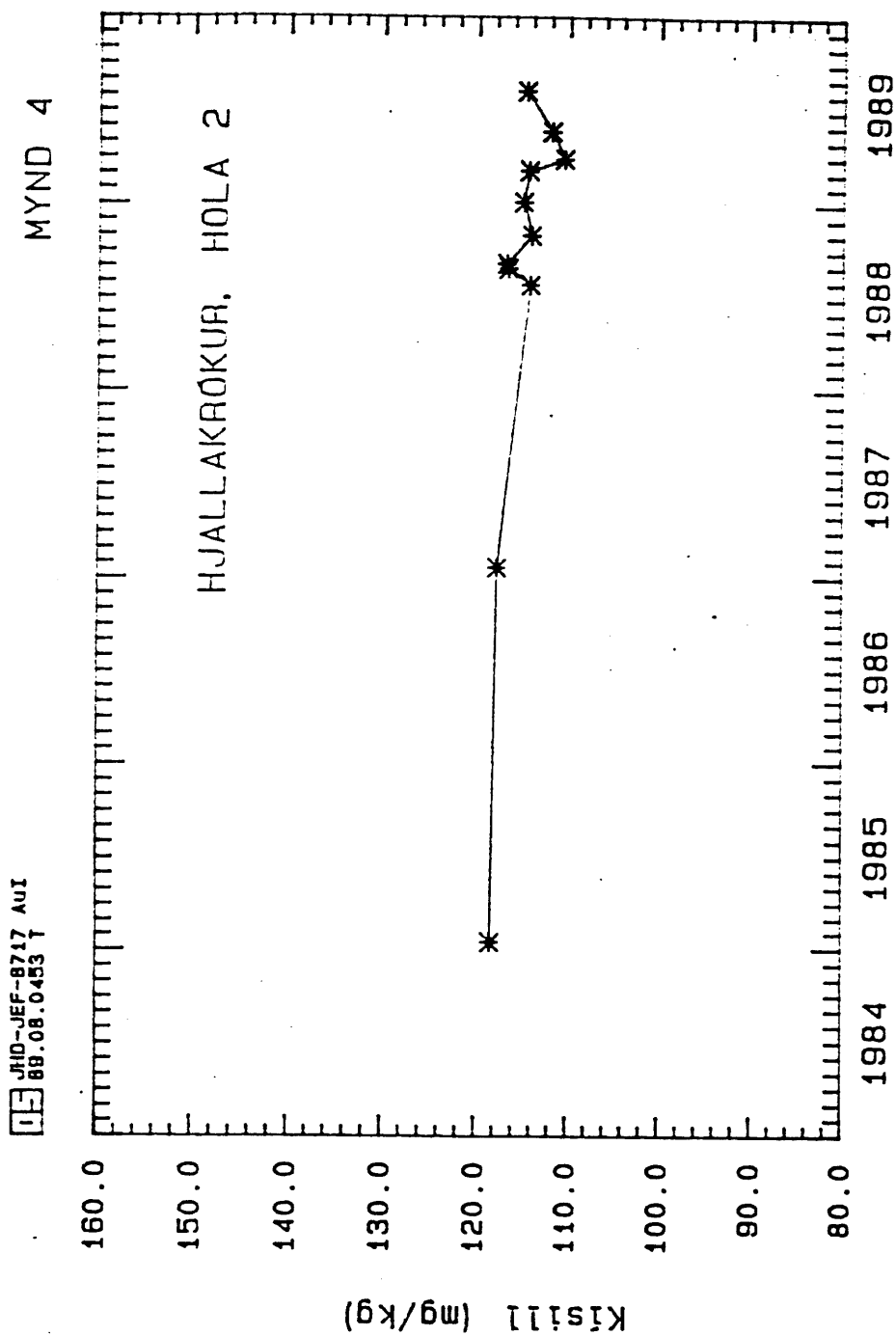
Mynd 1. Vatnsborðsmæling í borholu í suðu.



Mynd 2. Vinnsla úr holu 1 á Bakka og holu 2 í Hjallakróki fyrir Hitaveitu Porlákshafnar. Ferlarnir sýna heildarrennsli úr holunum; lína (1) í l/s og lína (2) í (m³/dag).



Mynd 3. Hjallakrökur, hola 2. Styrkur klórísá á móti tíma.



Mynd 4. Hjallakrókur, hola 2. Styrkur kísils á móti tíma.

VIÐAUKI.

Aðferðir við greiningu útfellinga frá hitaveitu Þorlákshafnar.

Öll sýnin voru greind með röntgen diffraksjón (XRD), fyrst með krómlampa en þar sem mikið járninnihald sýnisins kom glögglega fram í háum bakgrunni voru þau keyrð aftur með járnlampu. Í öllum sýnunum greindist magnetít (Fe_3O_4), í sýni B og C hematít (Fe_2O_3) og götít (FeOOH). Þá fundust á XRD-grafi sterkar líkur á síderíti (FeCO_3) í öllum sýnunum. Í sýnum A og B fannst einnig lagsílikat, sennilega úr svonefndum septechlorite steindaflokki.

Þá var sýni A efnagreint með SEM-rafeindasmásjá iðntæknistofnunar. Efnagreiningar á SEM-tækið eru enn sem komið er aðeins hálfmagnbundnar (semi-quantitative) þar sem staðlar fyrir hin ýmsu efnasambönd hafa ekki verið keyptir. Þáttbundin (qualitative) greining er hins vegar mjög áreiðanleg, þannig að efni sem er til staðar í sýninu finnst örugglega, eins er hægt að útiloka að ákveðin efni séu fyrir hendi. Hlutfallslegt magn efna sem eru í sýninu að einhverju ráði kemur allvel fram í efnagreiningunni.

Mynd 1. er tekin í rafeindasmásjóni af kornum sem voru efnagreind og niðurstöður þeirra greininga eru í töflu 1. Nokkuð erfiðlega gekk að fá góða mynd og greiningu á þessu sýni þar sem loftæmi var tregt í raf-eindatæki. Var það talið stafa af raka í sýni eða miklu af rokgjörnum efnasamböndum. greindir voru 15-20 punktar og 7 greiningar gefa marktæk hlutföll og eru birtar í töflu 1.

Forrit SEM-tækisins reiknaði efnin út sem oxíð eins og þau eru birt í töflunni og þar koma fram öll efni sem tækið skynjaði. Efni sem eru léttari en natríum eru ekki greinanleg á tækið, og er það vafalaust skýringin á hinni lágu summu sem fram kemur í þessum efnagreiningum. Það vekur athygli að öll kornin sem greind voru hafa mjög svipaða samsetningu, þrátt fyrir að merki um fleiri en eina steind myndust á röntgengrafi. Í greiningunni er langmest af járn og allmikill kísill, en önnur efni í mjög litlu magni. Samsetningin bendir til að hér sé um að ræða mjög vatnað og illa kristallað járn-sílikat. Í röntgen var greint lagsílikat úr septechlorite-flokki (7 Å). Járnrikasta afbrigði þess, cronstedtite ($\text{Fe}_4^{2+}\text{Fe}_2^{3+}$) ($\text{Si}_2\text{Fe}_2^{3+}\text{O}_{10}(\text{OH})_8$) hefur svipaða samsetningu og kemur fram í töflu 1.

Ástæða þess að magnetít eða önnur járnnoxíð og karbónat sem fram kemur í XRD-greiningunni greinast ekki á SEM tækið er líklega sú að verr kristallaða efnið er í miklum meirihluta. Einnig hefur áhrif að járn-sílikatið er þyngra en oxíð og kemur því betur fram í myndgreiningu SEM-tækisins.

Tafla 1. SEM-greiningar. (Wt %)

Sýni A korn nr	1	2	3	4	5	6	7
SiO ₂	16,44	16,14	19,11	17,54	19,74	8,71	13,98
Fe ₂ O ₃	51,34	56,58	47,34	38,05	48,37	47,41	56,54
Al ₂ O ₃	0,49	0,42	0,53	0,47	0,70	0,24	0,47
CaO	0,15	0,11	0,29	0,17	0,11	0,06	0,02
MnO	0,00	0,00	0,00	0,15	0,21	0,05	0,00
S	0,39	0,70	0,38	0,17	0,30	0,34	0,37
Cl	0,12	0,09	0,07	0,07	0,07	0,09	0,01
F	0,39	0,38	0,52	0,29	0,44	0,39	0,46
Σ	69,32	74,42	68,24	56,98	69,94	57,29	71,85

Mynd 1. Sýni í rafeindasmásjá, stækkun x15,2.

