



ORKUSTOFNUN  
Jarðhitadeild

**KRAFLA - HOLA KG-26**

**Upphitun, upphleyping og blástur**

Halldór Ármannsson, Grímur Björnsson  
og Ásgrímur Guðmundsson

Unnið fyrir Landsvirkjun

OS-93033/JHD-16 B

Júní 1993

## **KRAFLA - HOLA KG-26**

### **Upphitun, upphleyping og blástur**

Haldór Ármannsson, Grímur Björnsson  
og Ásgrímur Guðmundsson

Unnið fyrir Landsvirkjun

OS-93033/JHD-16 B

Júní 1993



## EFNISYFIRLIT

	Bls.
1. INNGANGUR	5
2. UPPHITUN HOLU KG-26 OG MAT Á BÆRGHITA OG ÞRÝSTINGI	5
3. UPPHLEYPING HOLU KG-26 FYRIR DÝPKUN	15
4. UPPHLEYPING HOLU KG-26 EFTIR DÝPKUN	23
5. ÁDÆLING Í HOLU KG-26	32
6. NIÐURSTÖÐUR	33
7. HEIMILDIR	34

## TÖFLUSKRÁ

Tafla	Bls.
1. Yfirlit um mælingar í holu KG-26 að borun afstaðinni	6
2. Gildi Amerada hitamælinga í upphitnun KG-26	6
3. Gildi Amerada þrýstimælinga í upphitnun KG-26	7
4. Áætlaður berghiti og þrýstingur í holu KG-26	11
5. Aflmælingar á KG-26 fyrir dýpkun	15
6. Afkastamælingar á holu KG-26 fyrir dýpkun	16
7. Niðurstöður efnagreininga á sýnum úr holu KG-26 fyrir dýpkun	19
8. Efnahiti reiknaður út frá efnasamsetningu sýna úr holu KG-26 fyrir og eftir dýpkun	20
9. Tegundir borholuvökva í Kröflu	20
10. D og <sup>18</sup> O hlutföll í grunnvatni á Kröflusvæði, í jarðhitavökva frá Leirbotnum og Suðurhlíðum-Hvíthólum og í vökva úr holum KG-25 og KG-26	21
11. Dæmigert CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> S hlutfall í Efrakerfisholum	21
12. Aflmælingar á KG-26 eftir dýpkun	24
13. Afkastamælingar á KG-26 eftir dýpkun	25
14. Niðurstöður efnagreininga á sýnum úr KG-26 eftir dýpkun	26
15. Holur, sem svartar járnsúlfíðútfellingar hafa myndast í	29
16. Innstremishiti, sýrustig, og log (Q/K) fyrir pýrít og pýrrhótít í innstremisvökva nokkurra Kröfluhola	30
17. Radonstyrkur í blásandi Kröfluholum	31
18. Efnagreiningar á sýni úr borlóni frá 21. október 1992.	32

## MYNDASKRÁ

Mynd	Bls.
1. GO hitamælingar í holu KG-26 eftir að borun lauk	8
2. Amerada hitamælingar í holu KG-26 eftir að borun lauk	9
3. Amerada þrýstimælingar í holu KG-26 eftir að borun lauk	10
4. Áætlaður berghiti við holu KG-26	12
5. Áætlaður upphafsþrýstingur við holu KG-26	13
6. Vatnsborð holu KG-26 fram að upphleypingu	14
7. Afmælingar á holu KG-26 fyrir dýpkun	17
8. Afkastamælingar á holu KG-26 fyrir dýpkun	18
9. KG-26. Leysnimargfeldi kalsíts móti hitastigi	22
10. Afmælingar á KG-26 eftir dýpkun	27
11. Afköst holu KG-26 eftir dýpkun	28

## 1. INNGANGUR

Hola KG-26 var boruð í tveimur lotum, sú fyrri stóð frá 6. júní til 7. júlí 1991 og hin síðari frá 5. nóvember til 18. desember 1991. Hefur borverkinu þegar verið lýst í þremur áfangaskýrslum (Ásgrímur Guðmundsson o.fl. 1991a, b, 1992).

Í fyrri lotunni var borað í 1210 m. Að afloknum örvunaraðgerðum í borlok og upphitun var holunni hleypt upp í byrjun september 1991. Eftir u.þ.b. tveggja mánaða blástur þótti sýnt að holan væri fremur aflrýr. Var því ákveðið að fódra hana í botn og dýpka síðan í 2000 m. Er seinni lotunni lauk þótti holan enn ekki efnileg. Fóru fram töluverðar örvunaraðgerðir, sem stóðu fram í janúar 1992, en síðan var holunni leyft að hitna í rólegheitum. Var henni svo hleypt upp í lok júní 1992.

Í þessari skýrslu verður greint frá mælingum sem söfnuðust í upphitun og blæstri holu KG-26 fyrir og eftir dýpkun. Sýndar eru hita- og þrýstimælingar í upphitun, mat á berghita og þrýstingi, og niðurstöður aflmælinga og efnagreininga frá fyrri og síðari upphleypingu holunnar. Þessar niðurstöður eru bornar saman við upplýsingar sem fengist hafa um aðrar holur á svæðinu. Að lokum er lagt mat á vinnslueiginleika holu KG-26.

## 2. UPPHITUN HOLU KG-26 OG MAT Á BERGHITA OG ÞRÝSTINGI

Eins og áður kom fram var hola KG-26 boruð í tveimur lotum. Í fyrstu lotunni var borað niður í gegnum Efra-Leirbotnakerfið og rétt í toppinn á Neðrakerfinu, holunni leyft að hitna og henni hleypt upp. Þegar er lokið ítarlegri skoðun á upphitunarmælingum ásamt blástursmælingum og aflmælingum úr holunni. eru niðurstöður hennar birtar í greinargerð (Grímur Björnsson og Benedikt Steingrímsson, 1991). Þær leiddu til þess að holan var fódruð í botn og dýpkuð.

Fjölmargar mælingar hafa verið gerðar í holu KG-26 frá því að síðari borlotu hennar lauk um miðjan desember 1991. Þessum mælingum má skipta í tvo flokka. Í þann fyrri teljast mælingar sem voru gerðar með GO-rafeindamælum meðan holan var enn köld af ádælingu. Í síðari flokkinn koma hins vegar Amerada mælingar sem voru gerðar meðan holan var að hitna eftir ádælinguna fram að blæstri. Alls er um 15 mælingar að ræða og er yfirlit um þær gefið í töflu 1. Töflu 2 og 3 sýna mæligildi Ameradamælinganna. Mæligildi GO hitamælinga eru hins vegar ekki sýnd sökum umfangs.

Mynd 1 sýnir GO hitamælingar í holu KG-26, gerðar eftir að borun hennar lauk. Sýnt er dýptarbilið 1200-2100 m sem er vinnsluhluti holunnar. Greina má 7 æðar í hitaferlunum á 1320-1340, 1400, 1440-1450, 1480-1490, 1670-1690, 1775 og 2110 m dýpi. Eins og áður hefur komið fram opnaðist botnæðin á 2110 m við örvunaraðgerðir (Ásgrímur Guðmundsson o.fl., 1992). Er áberandi hve vel holan kælist til botns í fyrstu mælingunni á mynd 1 frá 9. janúar 1992. Þá hafði verið dælt í holuna rúmum 40 l/s í 14 daga. Ádælingin var síðan tekin af og mæld þrýstijöfnun á 1400 m dýpi í u.þ.b. 3 klst. Að því búnu var hitamælt til botns og upp aftur á ný. Þá hafði holan hitnað töluvert og skýrist það af niðurrennsli um 115 °C vatns sem kom úr æðum á 1400-1490 m. Virðast því allar æðar holunnar hafa tekið við vatni í ádælingunni, efstu æðarnar þó óverulega sökum þess hve þær hitna hratt upp að ádælingunni slepptri.

Þegar neminn var svo á rúmlega 1300 m dýpi á uppleið fór holan í gos sem frægt er orðið (Ás-

grfmur Guðmundsson o.fl., 1992). Hafði töluvert af lofti slokrast niður í tveggja vikna ádælingunni og dugði það til að setja gosið í gang. Mælirinn ásamt 1300 m af vír skutust upp úr holunni á 1 ½ mínútu og höfnuðu uppi í brekku. Eftir að allur vírinn var kominn upp lokuðu mælingamenn holunni og byggði hún þá upp um 60 bar á toppi. Blæðing var sett á og nægði hún til að hleypa af holutoppsprýstingnum. Morguninn eftir var hitamælt (með GO-hitamæli) á ný en ekki komist dýpra en í 1320 m vegna hás hita (200 °C).

**TAFLA 1:** Yfirlit um mælingar í holu KG-26 að borun afstaðinni.

Oracle svunta	Mæli-dagur	Mæli-aðgerð	Dýptarbil (m)	Athugasemdir
11089	14-12-91	Híti GO	4-2110	Fyrir niðurstetningu leiðara
11093	15-12-91	Híti GO	1500-2110	Eftir 35 l/s ádælingu
11094	15-12-91	Híti GO	199-2110	Eftir 35 l/s ádælingu
11095	16-12-91	Híti GO	159-2110	Eftir 35 l/s ádælingu
11148	09-01-92	Híti GO	0-2115	Í 43 l/s ádælingu frá 27/12 '91
11149	09-01-92	Híti GO	1500-2115	Eftir 43 l/s ádælingu frá 27/12 '91
11150	09-01-92	Híti GO	1320-2115	Hola fer í gos þega nemi í 1320 m
11152	10-01-92	Híti GO	160-1320	Daginn eftir holugos
11116	16-01-92	Híti Amer.	300-1800	Gaslykt úr holu
11128	16-01-92	Þrýst. Amer.	300-2096	
11127	17-01-92	Híti Amer.	400-2099	
11245	10-03-92	Híti Amer.	200-2097	
11246	10-03-92	Þrýst. Amer.	200-2097	
12100	29-06-92	Híti Amer.	200-2095	
12101	29-06-92	Þrýst. Amer.	100-1800	

**TAFLA 2:** Gildi Amerada hitamælinga í upphitnun KG-26.

Mælidagur	16/1	17/1	10/3	29/6	Mælidagur	16/1	17/1	10/3	29/6
Dýpi(m)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	Dýpi(m)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)
200.0			153.0	168.0	1350.0	250.1		305.4	
300.0	100.7		162.2	197.2	1375.0	247.1			
400.0	128.2	128.2	165.4	194.5	1400.0	253.7	257.5	307.8	304.6
500.0	135.0		169.6	194.5	1450.0		211.5	289.1	300.5
600.0	138.4	145.1	178.6	196.6	1500.0	161.8	165.4	251.8	306.6
700.0	144.9		181.8	198.6	1600.0	166.1	169.4	261.0	313.4
800.0	158.3	161.4	208.2	219.2	1700.0	173.6	176.8	272.6	325.1
900.0	154.8		235.7	220.9	1800.0	178.4	181.5	278.0	330.4
1000.0	172.1	174.5	281.6	254.5	1900.0		187.5	285.4	333.8
1100.0	225.7		289.6	291.6	2000.0		195.2	295.1	336.5
1150.0	244.8				2075.0		202.8	301.5	
1200.0	246.4	251.9	295.5	297.0	2095.0				340.9
1250.0	257.9				2097.0			296.5	
1300.0	270.6	272.4	302.8	303.8	2099.0		125.7		

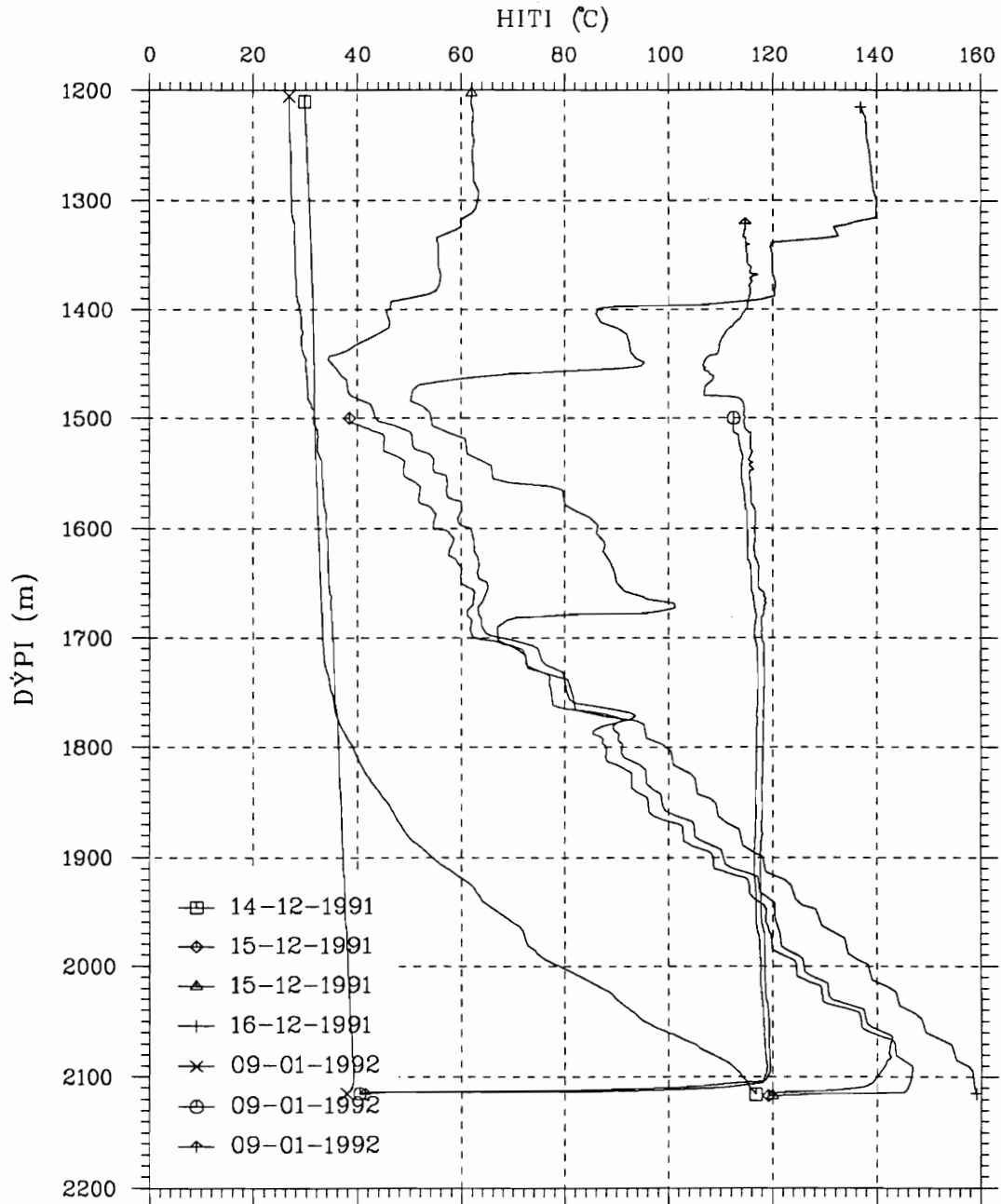
**TAFLA 3: Gildi Amerada þrýstimælinga í upphitnun KG-26.**

Mældagur	16/1	10/3	29/6	Mældagur	16/1	10/3	29/6
Dýpi(m)	(bör)	(bör)	(bör)	Dýpi(m)	(bör)	(bör)	(bör)
100.0			2.4	1200.0	71.2	84.6	92.3
200.0		4.5	10.5	1300.0	78.5	91.4	99.3
300.0	2.7	12.3	19.0	1400.0	86.6	98.0	106.3
400.0	9.2	21.0	27.7	1500.0	96.0	107.0	113.2
500.0		29.6	36.2	1600.0	104.0	113.7	120.6
600.0	23.6	38.4	45.0	1700.0	112.3	120.9	126.6
700.0		47.3	53.4	1800.0	120.9	128.3	133.2
800.0	39.8	55.6	61.5	1900.0	129.3	135.5	
900.0	48.2	63.6	69.9	2000.0	137.8	142.6	
1000.0	56.7	70.5	78.0	2096.0	145.8		
1100.0	63.8	77.7	85.0	2097.0		149.7	

Holu KG-26 var svo ekki hleypt upp fyrr en 29. júní 1992. Í millitíðinni voru farnar 3 ferðir til Amerada mælinga í holunni. Myndir 2 og 3 sýna mælingarnar sem söfnuðust. Ef hitamælingarnar á mynd 2 eru fyrst skoðaðar, sést að æðakaflinn á 1300-1400 m hitnar hratt upp og nær æðin á 1400 m hæst um 308 °C hita. Þar neðan við er svo niðurrennsli í holunni og virðist það koma að mestu leyti úr 1440-1450 og 1480-1490 m æðunum. Þetta niðurrennsli er til staðar í janúar og mars en virðist hafa stöðvast eða er við það að stöðvast í mælingunni frá 29. júní. Þá er hiti botnæðarinnar kominn í rúmar 340 °C.

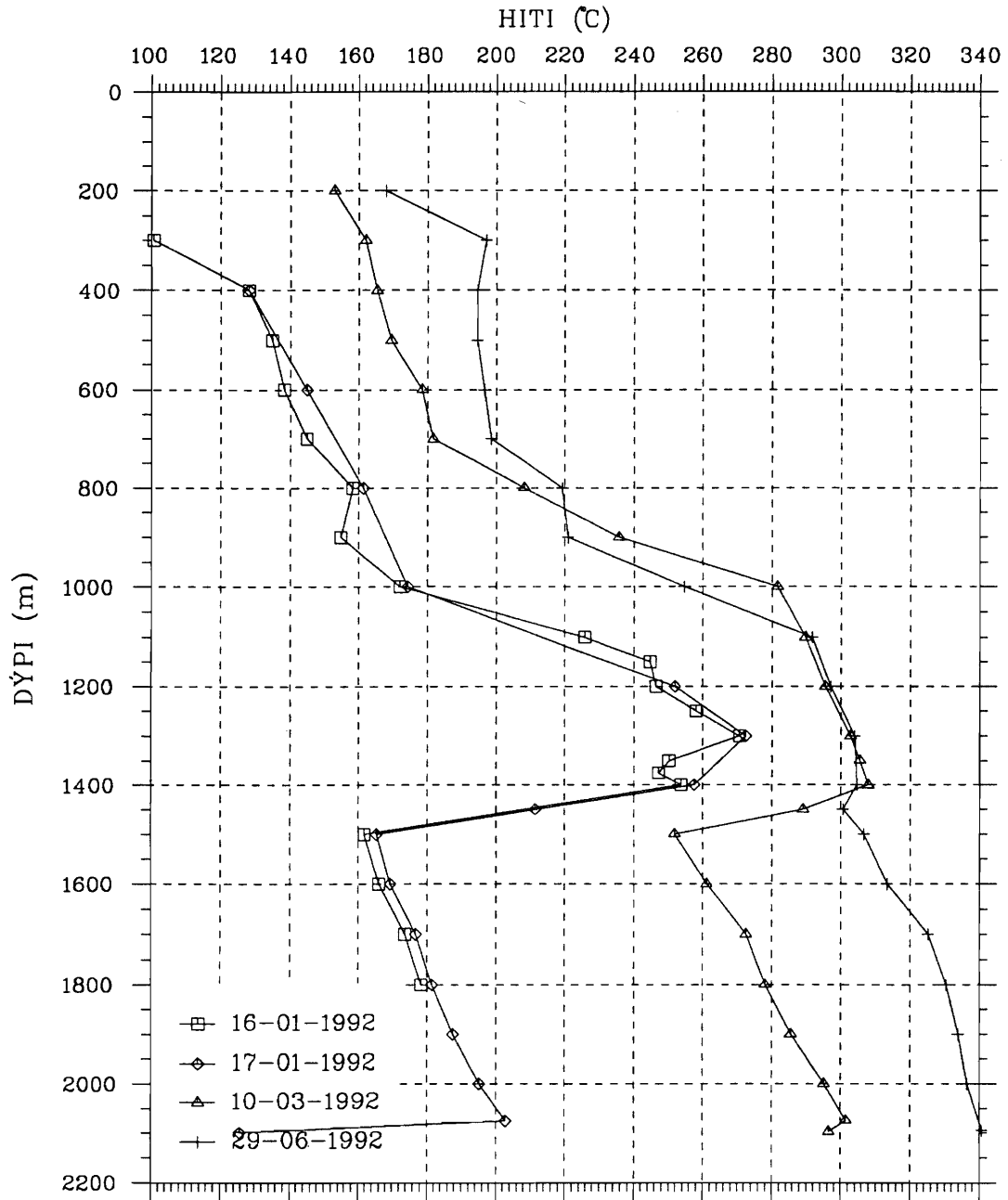


11 Jun 1993 grb  
L= 58026 Oracle



Mynd 1: GO hitamælingar í holu KG-26 eftir að borun lauk.

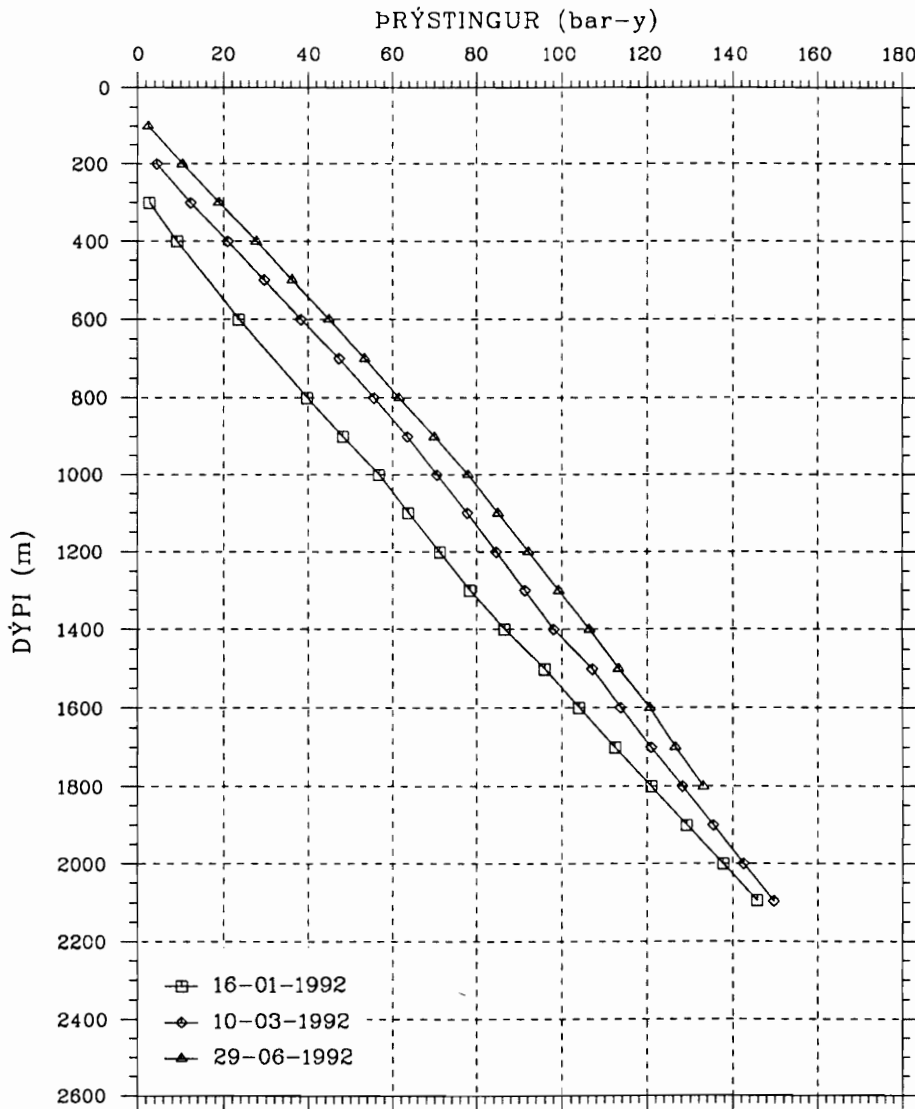
11 Jun 1993 grb  
L= 58026 Oracle



Mynd 2: Amerada hitamælingar í holu KG-26 eftir að borun lauk.

Mynd 3 sýnir þrýstimælingarnar sem safnað var í upphitnun holu KG-26. Þrýstiferlarnir eru mjög óvenjulegir fyrir þá sök að þeir eiga sér engan sameiginlegan skurðpunkt innan holunnar. Ef ferlarnir eru hins vegar framlengdir niður á við kemur í ljós að allir skerast á 2400 m dýpi við þrýstinginn 173 bar-y. Þar kann að vera sú "æð" sem stjórna þrýstingi holunnar. Ekki er það þó einhlítt. Vera má að 2ja vikna ádælingin hafi raskað þrýstiástandi jarðhitakerfisins svo mjög að skurðpunktur þrýstiferla lýsi ekki lengur dýpi til bestu æðar holu. Þannig má hugsa sér að kaldi vökvinn, sem fer út í jarðhitakerfið við holubotn, þétti gufu sem var þar til staðar í sjóðandi jarðhitakerfinu. Rúmmálið sem tapast við þéttinguna er meira en það sem kemur með niðurdælingunni og þrýstingur fellur þar af leiðandi. Þegar ádælingu lýkur hækkar þrýstingur botnæðarinnar á ný fyrir áhrif niðurrennslisins að ofan og upphitnunar bergsins.

11 Jun 1993 grb  
L= 58026 Oracle



Mynd 3: Amerada þrýstimælingar í holu KG-26 eftir að borun lauk.

Samanburður hita- og þrýstiferla sýnir að lengstan hluta upphitunar KG-26 er þrýstingur ofan til í holu KG-26 mun lægri en þrýstingur úti í jarðhitakerfinu. Það leiddi til þess að æðar á 1320-1490 m veittu vatni inn í holuna og niður til botnæðarinnar. Upphitun á þessu bili varð þar af leiðandi ör. Æðar komust í suðu og gas tók að streyma upp úr holunni með tilheyrandi fnyk. Slík gasfýla var greinileg í mars 1992. Má nefna að holunni var lokað kl 14:50 þann 10. mars og byggði hún þá upp 4,8 bar-y toppþrýsting á rúmum 20 klst. Þegar mælt var í júnflok hafði holan einnig staðið lokuð en náði þá einungis um 1,2 bar-y toppþrýstingi. Gaslykt var jafnframt óveruleg. Má því ætla að þennan dag hafi þrýstingur á 1300-1500 m í holu KG-26 verið í jafnvægi við þrýsting jarðhitakerfisins á sama dýpi. Út frá þeirri forsendu er hægt að meta berghita og þrýsting við holuna. Það er gert á eftirfarandi hátt:

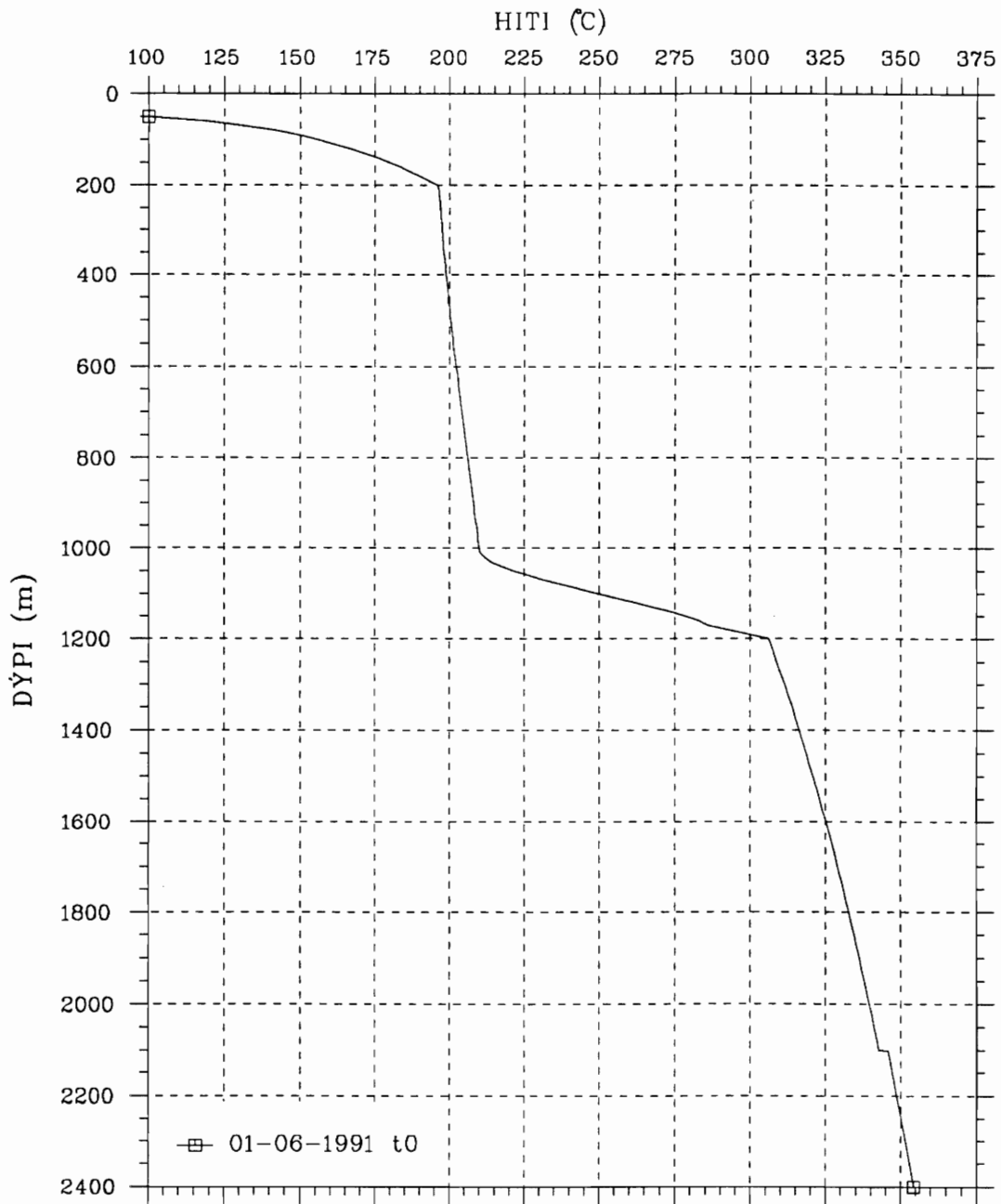
1. Þrýstingur á 1400 m dýpi mælist 106,3 bar-y þann 29. júní 1992.
2. Neðra-Leirbotnakerfið er sjóðandi og fylgja hiti og þrýstingur suðumarksferli. Berghiti og þrýstingur jarðhitakerfisins við holuna fylgja því suðumarksferli sem tekur þrýstigildið 106,3 bar-y í 1400 m dýpi.
3. Ofan 1200 m gilda berghita- og þrýstiferlar sem ákvarðaðir voru í greinargerð Gríms Björnssonar og Benedikts Steingrímssonar (1991).

Ekki er loku fyrir það skotið að botnæð holu KG-26 tengist öðru vatnskerfi á 2400 m (neðan Neðra-Leirbotnakerfisins). Því er gert ráð fyrir að frá 2100 m og að 2400 m gildi annar suðumarksferill sem tekur þrýstigildið 173 bar-y á 2400 m. Tafla 4 sýnir töluleg gildi berghita og þrýstings holu KG-26 og myndir 4 og 5 sýna þessa ferla teiknaða.

TAFLA 4: Áætlaður berghiti og þrýstingur í holu KG-26.

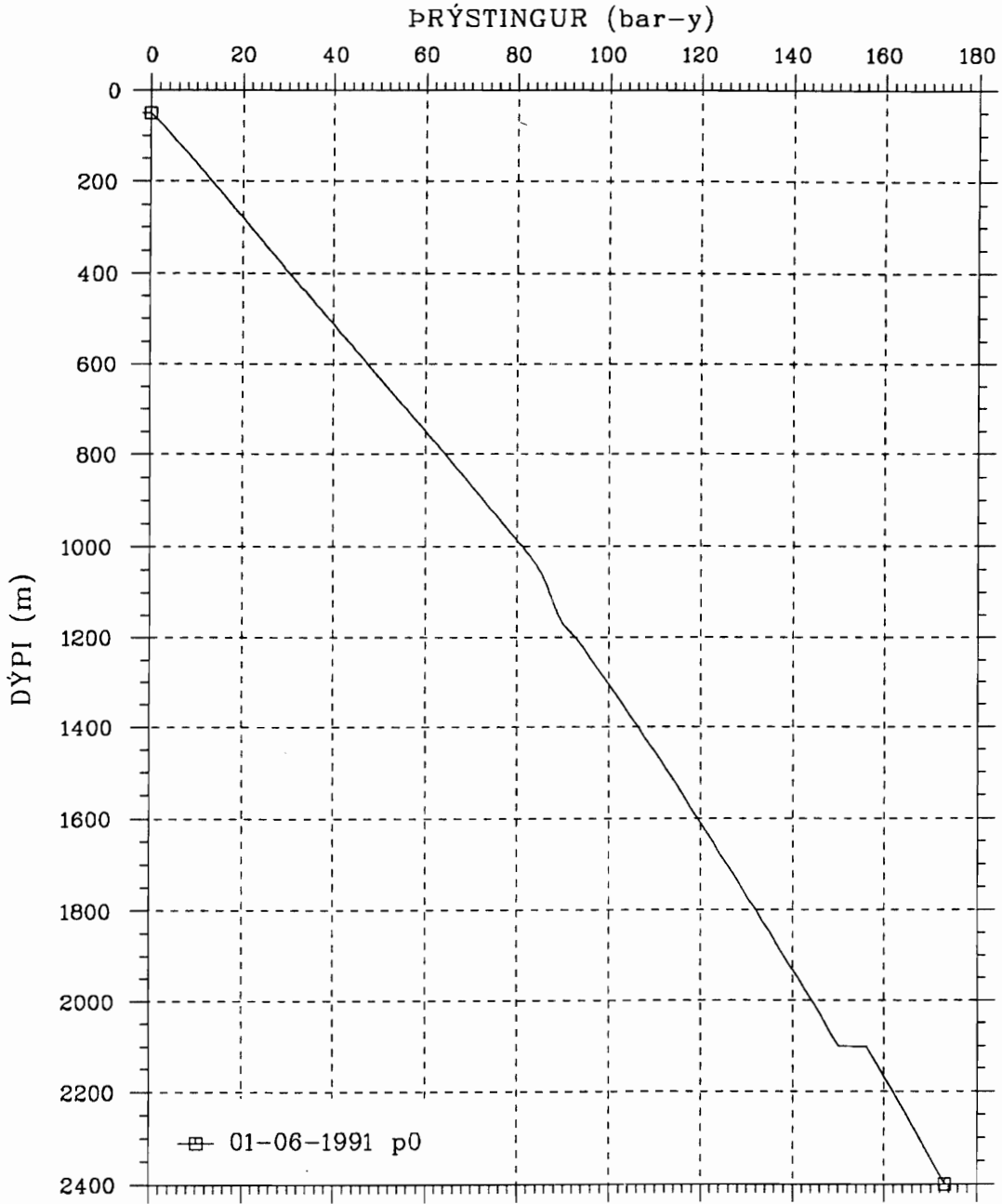
Dýpi (m)	Hiti (°C)	Þrýst. (bar-y)	Dýpi (m)	Hiti (°C)	Þrýst. (bar-y)	Dýpi (m)	Hiti (°C)	Þrýst. (bar-y)
50	100.0	.0	850	207.2	68.5	1600	325.1	119.3
100	156.0	4.6	900	208.1	72.7	1650	327.1	122.5
150	179.9	9.0	950	209.1	76.9	1700	329.0	125.7
200	196.0	13.3	1000	210.0	81.2	1750	330.9	128.9
250	196.9	17.6	1050	221.6	84.9	1800	332.7	132.0
300	197.5	21.8	1100	249.4	87.1	1850	334.5	135.1
350	198.1	26.1	1150	278.1	89.0	1900	336.2	138.1
400	198.9	30.3	1200	306.2	92.8	1950	337.9	141.2
450	199.7	34.6	1250	308.8	96.2	2000	339.5	144.2
500	200.5	38.8	1300	311.4	99.6	2050	341.1	147.1
550	201.4	43.1	1350	313.9	103.0	2100	342.6	150.1
600	202.3	47.3	1400	316.3	106.3	2101	345.7	156.1
650	203.3	51.6	1450	318.6	109.6	2200	348.6	161.8
700	204.2	55.8	1500	320.8	112.9	2300	351.5	167.5
750	205.2	60.1	1550	323.0	116.1	2400	354.2	173.0
800	206.2	64.3						

11 Jun 1993 grb  
L= 58026 Oracle



Mynd 4: Áætlaður berghiti við holu KG-26.

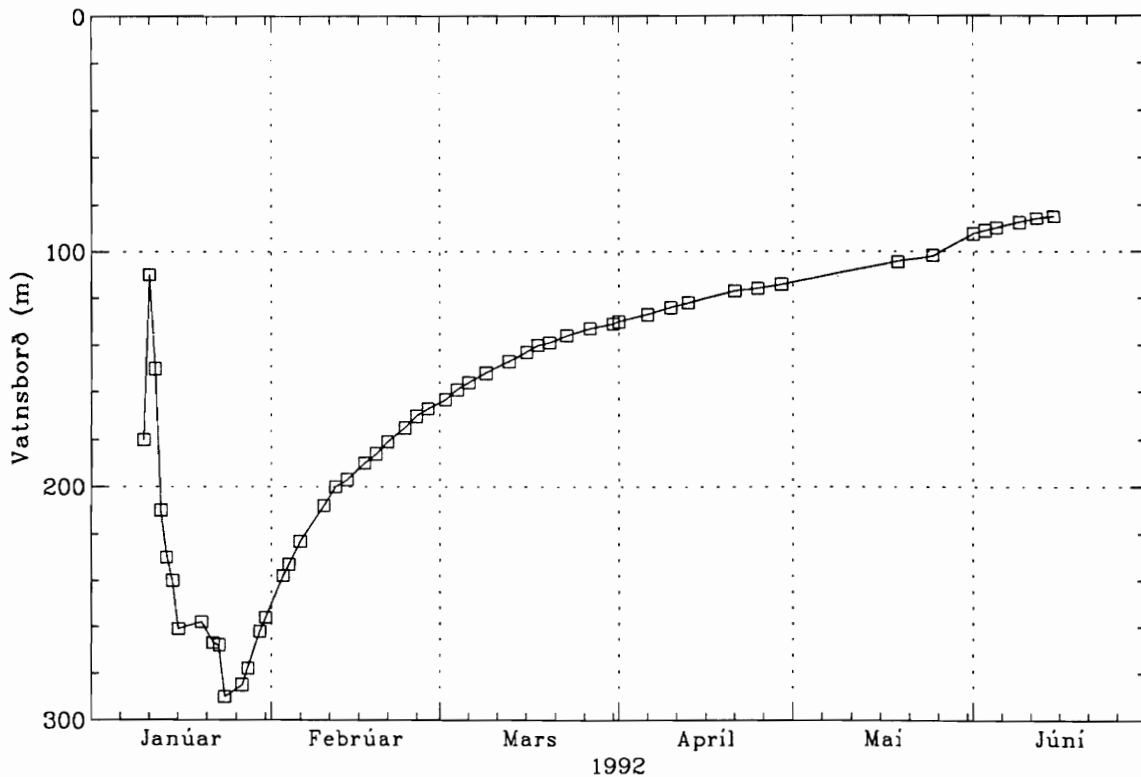
11 Jun 1993 grb  
L= 58026 Oracle



Mynd 5: Áætlaður upphafsþrýstingur við holu KG-26.

Fylgst var með hækkun vatnsborðs holu KG-26 á upphitunartímanum. Eru gögnin sem söfnuðust sýnd á mynd 6. Vatnsborð var nokkuð hátt framan af janúar 1992 en hlunkast þá niður í tæpa 300 m. Síðan er hægur stígandi í vatnsborði allt fram undir það að holunni er hleypt upp í lok júní. Háa vatnsborðið í janúar er í raun falskt sökum þess að holan var enn að leysa vind þann er í hana fór með ádælingunni. Var vatnsborðið sem í freyðandi kampavínsflösku og mátti slaka flotrofum vatnsborðsmæla töluvert langt niður holuna áður en samfellt ýl fékkst úr mælunum. Þennan vindgang lægir svo ekki fyrr en í janúarlök. Samfelldur stígandi í vatnsborði eftir þann tíma skýrist með upphitun og þenslu vatnssúlunnar í holunni, svo og með auknum þrýstingi botnæðarinnar. Eilíftill hnykkur kemur í vatnsborðið um mánaðarmótin maí-júní. Ekki er einhlíft skýring á honum, en vera má að um þetta leyti hafi niðurrennslið til botnæðarinnar stöðvast.

11 Jun 1993 GrB  
TimePlot V1.1



Mynd 6: Vatnsborð holu KG-26 fram að upphleypingu.

### 3. UPPHLEYPING HOLU KG-26 FYRIR DÝPKUN

Holu KG-26 var fyrst hleypt upp 2. september 1991 og blés hún fram til 20. október sama ár. Niðurstöður aflmælinga frá þessu tímabili eru í töflum 5 og 6. Þróun vermis og rennslis má lesa af myndum 7 og 8. Gögnin eru samfelld fyrstu 16 dagana eftir upphleypingu en þá kemur rúmlega mánaðar eyða. Ef gert er ráð fyrir jöfnum breytingum yfir gagnalausa tímabilið þá má segja að vermi og rennsli hafi stigið nokkuð jafnt á blásturstímanum, þ.e. vermi úr u.þ.b. 800 kJ/kg í rúm 1000 kJ/kg og heildarrennsli úr um 15 kg/s í rúm 20 kg/s. Má rekja aukninguna til innkomu heitra æða nálægt botni. Holutoppþrýstingur steig nokkuð jafnt og var 3,7 bar-y í síðasta aflestri þann 30. október 1991. Tvær mælingar skera sig úr þ.e. frá 25. og 29. október. Allir aflestrar við mælingar voru svipaðir ef krftfskur þrýstingur (Pc) er undanskilinn, þar sveiflast gildin frá 0,35 niður í 0,15. Sennilegasta skýringin á því er væntanlega ójafnt innstreymi úr botnæðum.

Tafla 5: Aflmælingar á KG-26 fyrir dýpkun.

Dags.	kl.	P0 bary	vh mm	Horn gr.	Tvatn C	D mm	PC bary	Qtot kg/s	Htot kJ/kg
910902	1315	2.30	175	90	100	155	.00	20.82	837
910902	1340	2.20	160	90	100	155	.00	17.87	961
910902	1430	2.20	162	90	100	155	.00	18.24	943
910902	1500	2.20	162	90	100	155	.00	18.24	943
910902	1530	2.20	160	90	100	155	.00	17.87	961
910902	1630	2.30	160	90	100	155	.00	17.87	961
910902	1730	2.30	158	90	100	155	.00	17.51	979
910903	1030	2.30	158	90	100	155	.00	17.51	979
910903	1315	2.40	158	90	100	155	.00	17.51	979
910904	1800	2.60	160	90	100	155	.00	17.87	961
910904	2320	2.65	162	90	100	155	.00	18.24	943
910905	0800	2.70	162	90	100	155	.00	18.24	943
910905	1900	2.80	162	90	100	155	.00	18.24	943
910906	0800	2.85	163	90	100	155	.00	18.43	935
910907	0030	2.90	166	90	100	155	.00	19.01	909
910907	0930	2.95	164	90	100	155	.00	18.62	926
910908	0004	3.00	165	90	100	155	.00	18.81	917
910908	0930	3.10	163	90	100	155	.00	18.43	935
910908	1930	3.15	164	90	100	155	.00	18.62	926
910909	0830	3.15	165	90	100	155	.00	18.81	917
910910	0830	3.10	164	90	100	155	.00	18.62	926
910911	0830	3.10	163	90	100	155	.00	18.43	935
910912	1800	3.10	163	90	100	155	.00	18.43	935
910913	1320	3.50	163	90	100	155	.20	19.58	1037
910916	0835	3.40	155	90	100	155	.15	17.83	1088
911025	1400	3.00	173	90	100	155	.35	22.42	1016
911029	1400	2.65	167	90	100	155	.18	20.24	992
911030	1400	3.70	168	90	100	155	.25	20.84	1015

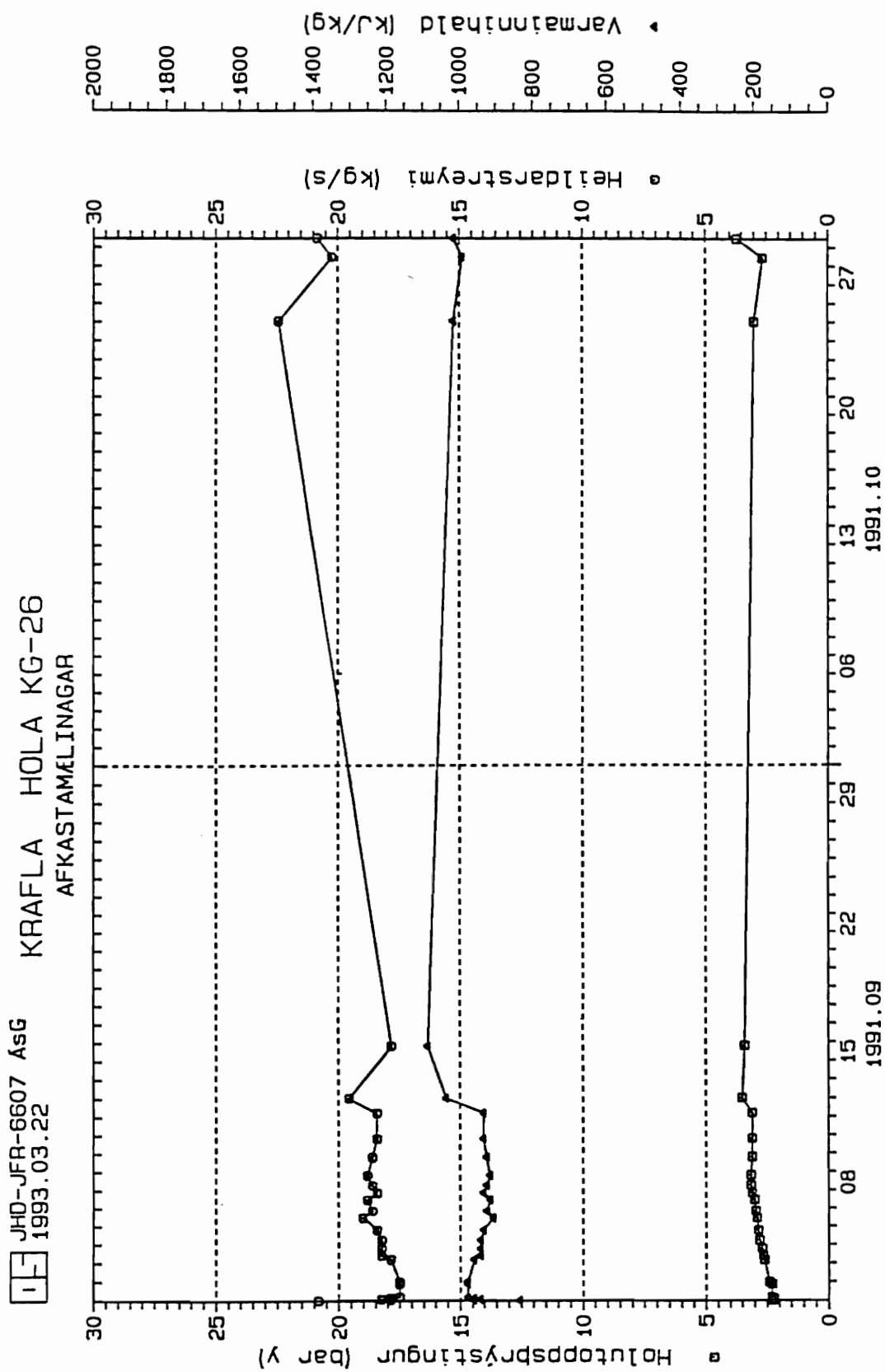
Niðurstöður efnagreininga eru í töflu 7 og reiknaðs efnahita í töflu 8. Sama hitnun kemur greinilega fram þar. Grímur Björnsson og Benedikt Steingrímsson (1991) mátu hluta botnæðar (>270 °C) um 25% af heildarrennsli.



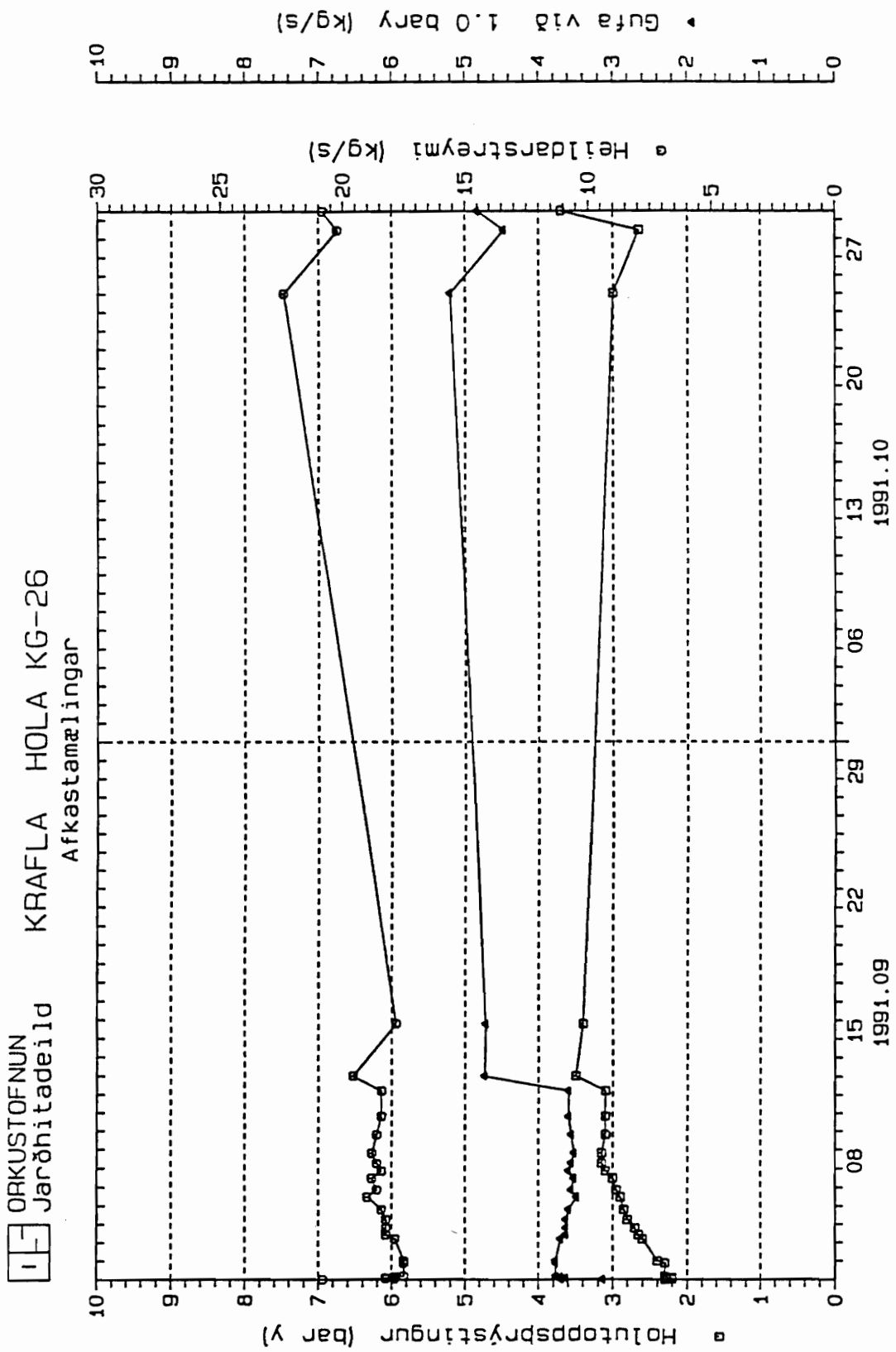
Tafla 6: Afkastamælingar á holu KG-26 fyrir dýpkun.

Dag- setning	Kl.	Topp- þryst. (bary)	Heildar- streymi (kg/s)	Varma- innih. (kJ/kg)	Gufa v. 1.0 bary (kg/s)	Vatn v. 1.0 bary (kg/s)
91.09.02	13:15	2.30	20.8	837	3.1	17.7
91.09.02	13:40	2.20	17.9	962	3.7	14.2
91.09.02	14:30	2.20	18.2	944	3.6	14.6
91.09.02	15:00	2.20	18.2	944	3.6	14.6
91.09.02	15:30	2.20	17.9	962	3.7	14.2
91.09.02	16:30	2.30	17.9	962	3.7	14.2
91.09.02	17:30	2.30	17.5	980	3.8	13.7
91.09.03	10:30	2.30	17.5	980	3.8	13.7
91.09.03	13:15	2.40	17.5	980	3.8	13.7
91.09.04	18:00	2.60	17.9	962	3.7	14.2
91.09.04	23:20	2.65	18.2	944	3.6	14.6
91.09.05	08:00	2.70	18.2	944	3.6	14.6
91.09.05	19:00	2.80	18.2	944	3.6	14.6
91.09.06	08:00	2.85	18.4	935	3.6	14.8
91.09.07	00:30	2.90	19.0	909	3.5	15.5
91.09.07	09:30	2.95	18.6	926	3.6	15.1
91.09.08	00:04	3.00	18.8	918	3.5	15.3
91.09.08	09:30	3.10	18.4	935	3.6	14.8
91.09.08	19:30	3.15	18.6	926	3.6	15.1
91.09.09	08:30	3.15	18.8	918	3.5	15.3
91.09.10	08:30	3.10	18.6	926	3.6	15.1
91.09.11	08:30	3.10	18.4	935	3.6	14.8
91.09.12	18:00	3.10	18.4	935	3.6	14.8
91.09.13	13:20	3.50	19.6	1037	4.7	14.9
91.09.16	08:35	3.40	17.8	1088	4.7	13.1
91.10.25	14:00	3.00	22.4	1016	5.2	17.2
91.10.29	14:00	2.65	20.2	992	4.5	15.8
91.10.30	14:00	3.70	20.8	1016	4.8	16.0

Enn á eftir að gera vatnsfasanum í heildarrensli Kröfluhola betri fræðileg skil, þó að hann hafi nú þegar fengið nokkra umfjöllun (Benedikt Steingrímsson o. fl. 1983; Ármannsson 1983; Halldór Ármannsson og Benedikt Steingrímsson 1984; Ármannsson o.fl. 1987; Trausti Hauksson og Jón Benjamínsson 1990). Styrkur hitaháðra efna, t.d kílsils og sumra gasa, er auðvitað breytilegur með hita, en styrkur geyminna efna, t.d klóríðs fer eftir uppruna vatnsins í regni og því hvort vatnið hefur runnið um sölt jarðlög. Heildarstyrkur alkálí- og jarðalkalímálma getur að nokkru leyti stjórnað af sömu ferlum, en hlutföllin milli þeirra eru hitaháð vegna jónskipta. Upphaflegur styrkur súlfats getur á sama hátt tengst uppruna vatnsins en hann getur aukist mjög við oxun brennisteinsvetnis, sem einkum á sér stað í afrennsli. Ef reynt skal að nálgast uppruna vatnsins er því oft litið til styrks anjóna í því, einkum aðafanjónanna,  $\text{Cl}^-$  og  $\text{SO}_4^{2-}$  auk hlutfalla vetnis og súrefnissamsætna (D og  $^{18}\text{O}$ ), sem eru háð regnuppruna að verulegu leyti. Sé litið til styrks  $\text{Cl}^-$  og  $\text{SO}_4^{2-}$  virðist um þrjár tegundir vökva að ræða í Kröfluholum. Þessar tegundir eru sýndar í töflu 9 og er hverri gefið nafn eftir vinnslusvæðunum þar sem þær finnast.



Mynd 7: Aftmælingar á holu KG-26 fyrir dýpkun.



Mynd 8: Afkastamælingar á holu KG-26 fyrir dýpkun.



Tafla 8: Efnahiti reiknaður út frá efnasamsetningu sýna úr holu KG-26 fyrir og eftir dýpkun.

Sýni nr.	Dags.	T <sub>kvars</sub> °C	T <sub>NaK</sub> °C	T <sub>NaKCa</sub> °C	T <sub>CO<sub>2</sub></sub> °C	T <sub>H<sub>2</sub>S</sub> °C	T <sub>H<sub>2</sub></sub> °C
91.1002	91.09.03				228	235	174
91.1006	91.09.06	217	217		260	238	220
91.1009	91.10.30	224	214	208	238	243	221
92.0145	92.06.30				282	308	295
92.0146	92.07.02	326	298		293	315	300
92.0147	92.07.04	336	289	242	292	314	300

Tafla 9: Tegundir borholuvökva í Kröflu.

Tegund	Leirbotnavökvi	Hveragils-Hvíthólavökvi	Suðurhlíðavökvi
Afstæður styrkur klóríðs og súlfats	Cl <sup>-</sup> < SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Cl <sup>-</sup> > SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Cl <sup>-</sup> > SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>
Klóríðstyrkur (mg/l)	< 30	> 30	< 30

Allur Efrakerfisvökvi og allur vökvi úr Vtismóasvæðinu ásamt vökva úr flestum öðrum Leirbotnaholum flokkast sem Leirbotnavökvi. Úr holu KJ-13 kom hins vegar vökvi, sem greinilega flokkast með Hveragils-Hvíthólavökva, áður en hún var stefnuboruð árið 1983. Sama máli gegnir um holu KG-12, áður en hún þornaði snemma árs 1979. Hún sýnir aftur á móti meiri merki um Suðurhlíðavökva eftir að hún kólnaði og blotnaði aftur 1982-1983. Hóla KJ-7 ruddi sig í mars 1977 og aftur í apríl 1978 og kom í bæði skiptin upp vökvi, sem flokkast undir Hveragils-Hvíthólavökva. Úr holu KJ-20 kemur einnig Hveragils-Hvíthólavökvi, en Suðurhlíðavökvi úr KJ-14 og KJ-19, og sennilega blanda af þessu tvennu úr KJ-16 og KJ-17.

Ef miðað er við flokkunina í töflu 9 ber efnasamsetning sýna úr KG-26, fyrir dýpkun, skýr einkenni Leirbotnavökva. Þannig eru hitaháð efnasambönd svipuð að samsetningu og vökvi úr öðrum Efrakerfisholum. Kísilhiti er e.t.v. í hærra lagi, Na/K-hiti nærri lagi, CO<sub>2</sub>-hiti fremur lágur í síðasta sýni og CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>S hlutfall eins og við er að búast á svæði með rúmlega 200 °C hita. Nokkur yfirmettun reiknast með tilliti til kalsíts (mynd 9), en einnig finnst vottur af járn í vökv-  
anum. Járn getur annaðhvort borist í vökvann við leysingu úr bergi eða úr fóðringu. Leysni járn-sambanda eykst með hækkandi hita og lækkandi sýrustigi. Talið er að við hærri hita en 180 °C sé íslenskur jarðhitavökvi mettaður með tilliti til pýríts en undirmettaður með tilliti til pýrrhótíts (Gunnlaugsson og Arnórsson 1982), þ.e. að leysni pýríts stjórni alla jafna styrk járn í vökv-  
anum. Reiknist yfirmettun með tilliti til þess er það annaðhvort vegna afbrigðilegra aðstæðna, sem verða til þess að aðrar járnefnategundir leysast eða að vökvi, sem leyst hefur við hærri hitastig, blandist upprunalega vökv-  
anum. Hafa ber í huga að neðstu æðar holu KG-26 teljast til Neðra-Leirbotnakerfisins og eru þar af leiðandi með einkenni þess, hærri hita og aðra efnasamsetningu.

Vökvinn úr KG-26 er yfirmettaður með tilliti til pýríts en nálægt mettan með tilliti til pýrrhótíts. Járnsmálmur er talinn mjög torleystur í basísku vatni, en sýrustig þessa djúpvatns reiknast 8,35/218 °C. Því verður að teljast ólíklegt að þessi yfirmettun stafi af leysingu járnsmálms við

218 °C. Við 260 °C reiknast vökvinn hins vegar lítið eitt undirmettaður með tilliti til pýrrhóttis en nálægt metnun með tilliti til pýrrs eins og eðlilegt má teljast. Yfirmettunina við 218 °C er því eðlilegt að rekja til blöndunar tiltölulega járnriks vökva, sem leyst hefur við 260 °C, þ.e. vökva úr botnæðum holunnar (1200 m).

Líkur eru á að tvenns konar innstreymi sé í Kröflukerfið, þ.e. mjög staðbundið í Leirbotna, en heldur lengra að runnið í Suðurhlíðum og Hvíthólum (Darling & Ármannsson 1989). Í töflu 10 eru sýnd meðaltöl D og <sup>18</sup>O hlutfalla í hvoru innstreymi og niðurstöður mælinga á vökva úr holu KG-26 fyrir og eftir dýpkun og einnig í vökva úr holu KG-25. Vökvi í báðum þessum holum sver sig mjög í ætt við Leirbotnavökvann og má telja víst að hann falli sem regn á Kröflusvæðinu.

**Tafla 10:** D og <sup>18</sup>O hlutföll í grunnvatni á Kröflusvæði, í jarðhitavökva frá Leirbotnum og Suðurhlíðum-Hvíthólum (meðaltöl) og í vökva úr holum KG-25 og KG-26.

Staður	Sýni	δD o/oo	Δ <sup>18</sup> O o/oo
Staðbundið vatn grunn- regnvatn	Reiknað (eftir niðurstöðum Braga Árnasonar, 1976)	-87	-12,3
Leirbotnar	Meðaltal	-88	-11,5
Suðurhlíðar-Hvíthólar	Meðaltal	-92	-11,8
KG-25	90-1008	-87,6	-11,7
KG-26 fyrir dýpkun	91-1006	-86,1	-11,0
KG-26 eftir dýpkun	92-0147	-85,9	-10,4

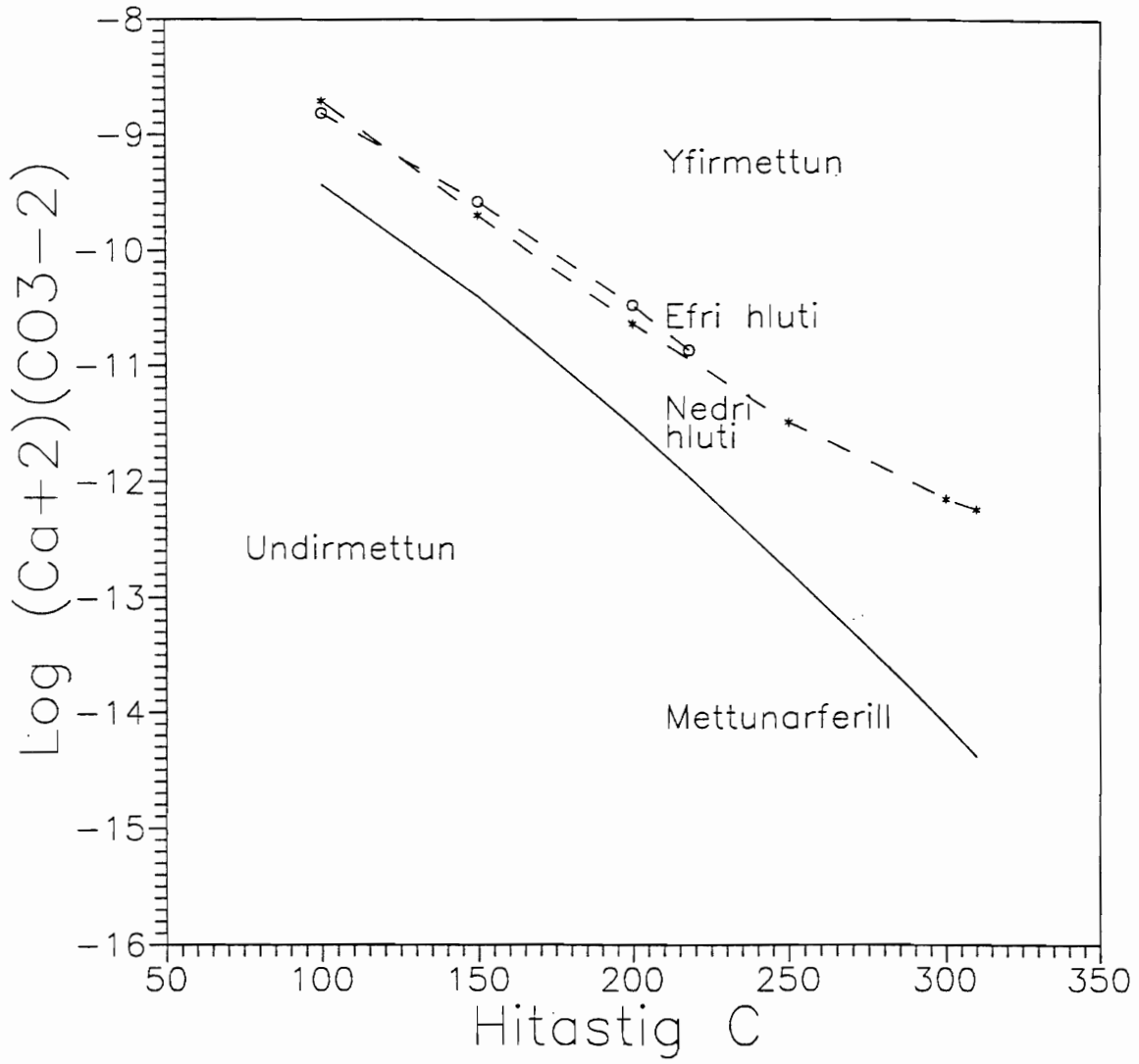
Gashlutföll í gufu ráðast í fyrsta lagi af hitastigi en í öðru lagi af mismunandi afgösun við rennsli og loks af blöndun við innrásargös, t.d. kvikugös, eins og þekkt er í Kröflu. Á því hitabili, sem ríkir í Kröflu, ætti hlutfallið CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>S ekki að fara mikið upp fyrir 30 í gasi úr holum, nema það hafi blandast innrásargasi. Í gufu, sem streymir treglega til yfirborðs, t.d. til gufuaugna, geta ferli eins og þétting og útfelling raskað slíku hlutfalli líka. Í ótrufluðum Efrakerfisvökva má búast við gashlutfalli um 10, en að það lækki við rennsli og afgösun. Þannig hefur þetta hlutfall verið notað til að raða Efrakerfisholum eftir stöðu í rennsli (Gestur Gíslason o.fl. 1978; Benedikt Steingrímsson o.fl. 1984; Benedikt Steingrímsson og Halldór Ármannsson 1989). Sú röðun er sýnd í töflu 11 ásamt gildi því, sem nú fékkst fyrir gufu úr holu KG-26 fyrir dýpkun.

**Tafla 11:** Dæmigert CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>S hlutfall í Efrakerfisholum.

Hola nr.	KJ-3A	KJ-9 <sup>1)</sup>	KG-5	KW-2	KG-8	KG-24	KJ-11 <sup>1)</sup>	KG-26
Dags.	83.10.31	77.06.30	83.08.03	80.06.11	83.07.31	88.11.16	77.11.05	91.10.30
CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> S (mg/mg)	10,2	8,7	7,6	5,2	4,2	3,4	2,1	5,7

<sup>1)</sup>Eingöngu efrihluta innrennsli.

Samkvæmt landfræðilegri staðsetningu mætti búast við hlutfalli < 5 í gasi frá KG-26. Hið tiltölulega háa hlutfall, sem fékkst, má hugsanlega rekja til blöndunar við gas úr Neðrakerfinu. Sú blöndun kemur þá úr botnæðinni á 1200 m.



**Mynd 9:** KG-26. Leysnimargfeldi kalsíts móti hitastigi.

#### 4. UPPHLEYPING HOLU KG-26 EFTIR DÝPKUN

Eins og fram hefur komið hér á undan þá lá ekkert á að koma holu KG-26 í blástur að aflokinni dýpkun í desember 1991. Var því ákveðið að bíða eftir hentugum tíma til upphleypingar. Fyrir hádegi 29. júní 1992 var holan hita- og þrýstimæld, síðan var settur niður þrýstinemi í holu KG-25 til að kanna hvort hún næmi breytingar í kerfinu við það að holu KG-26 væri hleypt upp. Í ljó kom að svo reyndist ekki vera.

Við upphaf hitamælingar um morguninn 29/6 var holutoppþrýstingur KG-26 1,4 bar-y og var kominn niður í 0,6 bar-y að mælingum loknum. Um hádegisbilið var lofti dælt á holuna í 1,5 klst og byggði holan upp 7 bar-y toppþrýsting. Klukkan 14:38 var holunni hleypt upp og ruddi hún miklu vatni af sér fyrstu fjórar mínúturnar, en þornaði síðan. Klukkan 14:47 blotnaði holan á ný og þornaði síðan eftir 9 mínútur og hélst þannig. Niðurstöður afkastamælinga eru í töflum 12 og 13 og jafnframt eru breytingar með tímanum sýndar á myndum 10 og 11. Holan varð eins og áður segir fljótlega þurr og féll toppþrýstingur niður í rúmlega 3 bar-y. Því var sett í 90 mm blenda daginn eftir upphleypingu og hækkaði toppþrýstingur þá verulega. Síðan fór hann hægt lækkandi í u.þ.b. 9 bar-y að morgni 3. júlí 1992. Þá var skipt um stút, frá 155 mm í 126 mm. Við stútskiptin hækkaði þrýstingurinn aftur og mældist allstöðugur í rúmlega 11 bar-y þann 5. júlí. Þann dag byrjaði að renna kolsvartur vatnsdreitill úr holunni. Var þá strax ákveðið að loka fyrir vegna tæringarhættu og holan kæfð með köldu vatni.

Þrjú heilsýni voru tekin af renninu úr KG-26 í þessari upphleypingu. Eru niðurstöður efnagreininga sýndar í töflu 14 og reikningar á efnahita sýndir í töflu 7. Efnahiti og niðurstöður jafnvægisreikninga benda til mikils hita. Er kvarshitastigið 336 °C trúverðugt mat á hita bergsins, sem vökvinn fer um, áður en hann streymir inn í holuna. Í jafnvægisreikningum er gert ráð fyrir innstreymishitanum 330 °C í samræmi við niðurstöður hitamælinga í upphitun (mynd 2). Sýrustig við þann hita reiknast 7,5 og gefur því ekki til kynna verulega tærandi vökva. Basaeinkenni (alkalinitet) eru pósitíf og styrkir það slíka túlkun. Hins vegar er umtalsverður járnstyrkur í vatnsfasanum.

Vatnssýnin voru síuð og kom töluvert magn af svörtu efni í síurnar. Voru þær sendar til greiningar á Iðntæknistofnun. Reyndist svartu efnið vera samsett úr kísli, járn og brennisteini. Í þungu korni, sem valið var sérstaklega úr, reyndist vera langmest af járn og brennisteini (Halldór Guðmundsson 1992).



**Tafla 12: Afmælingar á KG-26 eftir dýpkun.**

Dags.	kl.	PO bary	ílat líttr.	Tími s	Tvatn °C	D mm	PC bary	Qtot kg/s	Htot kJ/kg	Athugasemdir
920629	1453	11.00	1.0	10.0	100	155	4.25	28.53	2666	
920629	1456	10.00	1.0	10.0	100	155	3.80	26.19	2666	
920629	1500	09.70	1.0	10.0	100	155	3.60	25.14	2665	
920629	1530	07.50	1.0	10.0	100	155	2.70	20.42	2663	
920629	1545	06.50	1.0	10.0	100	155	2.40	18.83	2663	Annar Pc-mælir
920629	1545	07.00	1.0	10.0	100	155	2.50	19.36	2663	
920629	1600	06.50	1.0	10.0	100	155	2.30	18.30	2662	
920629	1625	06.00	1.0	10.0	100	155	2.10	17.24	2661	
920629	1740	05.80	1.0	10.0	100	155	1.80	15.64	2660	
920629	1835	05.20	1.0	10.0	100	155	1.70	15.11	2660	
920629	2110	04.20	1.0	10.0	100	155	1.50	14.04	2659	
920630	0130	03.75	1.0	10.0	100	155	1.30	12.97	2657	
920630	0840	03.20	1.0	10.0	100	155	1.05	11.62	2655	
920630	1130	03.10	1.0	10.0	100	155	0.95	11.08	2654	
920630	1300	03.20	1.0	10.0	100	155	0.95	11.08	2654	
920630	1327	19.00	1.0	10.0	100	155	2.50	19.36	2663	90 mm blenda
920630	1328	17.00	1.0	10.0	100	155	2.60	19.89	2663	
920630	1329	15.00	1.0	10.0	100	155	1.35	13.24	2658	
920630	1330	01.20	1.0	10.0	100	155	1.20	12.43	2657	
920630	1333	13.50	1.0	10.0	100	155	1.10	11.89	2656	
920630	1339	12.00	1.0	10.0	100	155	0.95	11.08	2654	
920630	1344	11.50	1.0	10.0	100	155	0.90	10.81	2654	
920630	1500	11.50	1.0	10.0	100	155	0.85	10.54	2653	
920630	1900	11.00	1.0	10.0	100	155	0.70	9.72	2652	
920630	2300	11.00	1.0	10.0	100	155	0.65	9.45	2651	
920701	0800	10.50	1.0	10.0	100	155	0.62	9.29	2651	
920701	1200	10.50	0.3	1.0	100	155	0.60	9.34	2609	
920701	1700	10.20	0.3	1.0	100	155	0.53	8.96	2606	
920702	0800	10.00	0.3	1.0	100	155	0.43	8.41	2602	
920702	1400	09.50	0.3	1.0	100	155	0.41	8.33	2594	
920702	1700	09.50	0.4	1.0	100	155	0.41	8.40	2574	
920703	0916	13.00	0.2	1.0	100	126	1.30	8.68	2627	Skipt um stút
920703	1300	12.00	0.4	1.0	100	126	1.15	8.31	2575	
920703	1900	11.80	0.4	1.0	100	126	1.17	8.37	2581	Dökk slika
920704	0800	11.80	0.3	1.0	100	126	1.13	8.19	2590	Dökkleitt
920704	1140	11.80	0.3	1.0	100	126	1.13	8.18	2592	
920704	1700	11.50	0.3	1.0	100	126	1.10	8.06	2594	Dökkt
920705	0800	11.50	0.3	1.0	100	126	1.07	7.96	2593	Vatn svart

**Tafla 13: Afkastamælingar á KG-26 eftir dýpkun**

Dag- setning	Kl.	Topp- þryst. (bary)	Heildar- streymi (kg/s)	Varma- innih. (kJ/kg)	Gufa v. 7.0 bary (kg/s)	Gufa v. 1.0 bary (kg/s)	Vatn v. 1.0 bary (kg/s)	Athugasemdir
92.06.29	14:53	11.00	28.5	2667	27.1	.1	1.3	
92.06.29	14:56	10.00	26.2	2666	24.9	.1	1.2	
92.06.29	15:00	09.70	25.1	2666	23.9	.1	1.1	
92.06.29	15:30	07.50	20.4	2664	19.4	.1	0.9	
92.06.29	15:45	06.50	18.8	2663	17.9	.1	0.9	Annar Pc-mælir
92.06.29	15:45	07.00	19.4	2663	18.4	.1	0.9	
92.06.29	16:00	06.50	18.3	2663	17.4	.1	0.8	
92.06.29	16:25	06.00	17.2	2662	16.4	.1	0.8	
92.06.29	17:40	05.80	15.6	2661	14.8	.1	0.7	
92.06.29	18:35	05.20	15.1	2660	14.3	.1	0.7	
92.06.29	21:10	04.20	14.0	2659	13.3	.1	0.7	
92.06.30	01:30	03.75	13.0	2658	12.3	.1	0.6	
92.06.30	08:40	03.20	11.6	2656	11.0	.1	0.6	
92.06.30	11:30	03.10	11.1	2655	10.5	.1	0.5	
92.06.30	13:00	03.20	11.1	2655	10.5	.1	0.5	
92.06.30	13:27	19.00	19.4	2663	18.4	.1	0.9	90 mm blenda
92.06.30	13:28	17.00	19.9	2664	18.9	.1	0.9	
92.06.30	13:29	15.00	13.2	2658	12.5	.1	0.6	
92.06.30	13:30	01.20	12.4	2657	11.8	.1	0.6	
92.06.30	13:33	13.50	11.9	2656	11.2	.1	0.6	
92.06.30	13:39	12.00	11.1	2655	10.5	.1	0.5	
92.06.30	13:44	11.50	10.8	2654	10.2	.1	0.5	
92.06.30	15:00	11.50	10.5	2654	10.0	.1	0.5	
92.06.30	19:00	11.00	09.7	2652	09.2	.1	0.5	
92.06.30	23:00	11.00	09.5	2652	08.9	.1	0.5	
92.07.01	08:00	10.50	09.3	2651	08.8	.1	0.5	
92.07.01	12:00	10.50	09.3	2610	08.6	.1	0.6	
92.07.01	17:00	10.20	09.0	2607	08.3	.1	0.6	
92.07.02	08:00	10.00	08.4	2602	07.7	.1	0.6	
92.07.02	14:00	09.50	08.3	2594	07.6	.1	0.6	
92.07.02	17:00	09.50	08.4	2574	07.6	.1	0.7	
92.07.03	09:16	13.00	08.7	2627	08.1	.1	0.5	Skipt um stút
92.07.03	13:00	12.00	08.3	2576	07.5	.1	0.7	
92.07.03	19:00	11.80	08.4	2581	07.6	.1	0.7	Dökk slikja
92.07.04	08:00	11.80	08.2	2590	07.5	.1	0.6	Dökkleitt
92.07.04	11:40	11.80	08.2	2593	07.5	.1	0.6	
92.07.04	17:00	11.50	08.1	2594	07.4	.1	0.6	Dökkt
92.07.05	08:00	11.50	08.0	2593	07.3	.1	0.6	Vatn svart

Tafla 14: Niðurstöður efnagreininga á sýnum úr KG-26 eftir dýpkun.

Dagsetning	Tími	Númer	Dýpi (m)	Sýni tók			
92-06-30	00:00	92-0145		HÁ			
Krafla Leirbotn K-26 Leirbotn Skútustaðahreppur Suður-Þingeyjarsýsla							
Hiti (°C)	Þrýstingur á holutoppi (bar-g)	Þrýstingur við söfnun (bar-g)	Vermi (kJ/kg)	Dagsetning vermismælingar	Rennsli (kg/s)		
	3.2	3.2	2672	92-06-30	11.2		
Efnasamsetning vatns (mg/kg)			Gas (% rúmm)	Þéttivatn (mg/kg)			
pH	5.5	Li	Al	H <sub>2</sub>	3.56	pH	5.5
/Hiti	17.4	Na	Cr	CO <sub>2</sub>	87.63	/Hiti	17.4
CO <sub>2</sub>	1714	K	Mn	H <sub>2</sub> S	5.97	CO <sub>2</sub>	1714
H <sub>2</sub> S	266	Mg	Fe	O <sub>2</sub>	.05	H <sub>2</sub> S	266
NH <sub>3</sub>		Ca	Cu	N <sub>2</sub>	2.76	NH <sub>3</sub>	
B	10.53	Sr	Zn	CH <sub>4</sub>	.03	B	
Leiðni <sup>§</sup>	1120	F	As	NH <sub>3</sub>		Na	247
/Hiti	25	Cl	Ag	Ar		Hg	
SiO <sub>2</sub>		Br	Cd	Rn <sup>#</sup>	262	Rn <sup>†</sup>	
Uppl. efni	1014.8	I	Sb			δD <sup>†</sup>	-83.4
		NO <sub>2</sub>	Hg			δ <sup>18</sup> O <sup>†</sup>	-8.96
		NO <sub>3</sub>	Pb				
O <sub>2</sub>		HPO <sub>4</sub>				Gufa (mg/kg)	
Rn <sup>†</sup>	88	SO <sub>4</sub>	Vægi (%):			CO <sub>2</sub>	8907
δD <sup>†</sup>			Jóna	36.52	lg/kg v <sup>*</sup>	H <sub>2</sub> S	754
δ <sup>18</sup> O <sup>†</sup>			Massa	-47.1	/Hiti	Rn <sup>†</sup>	

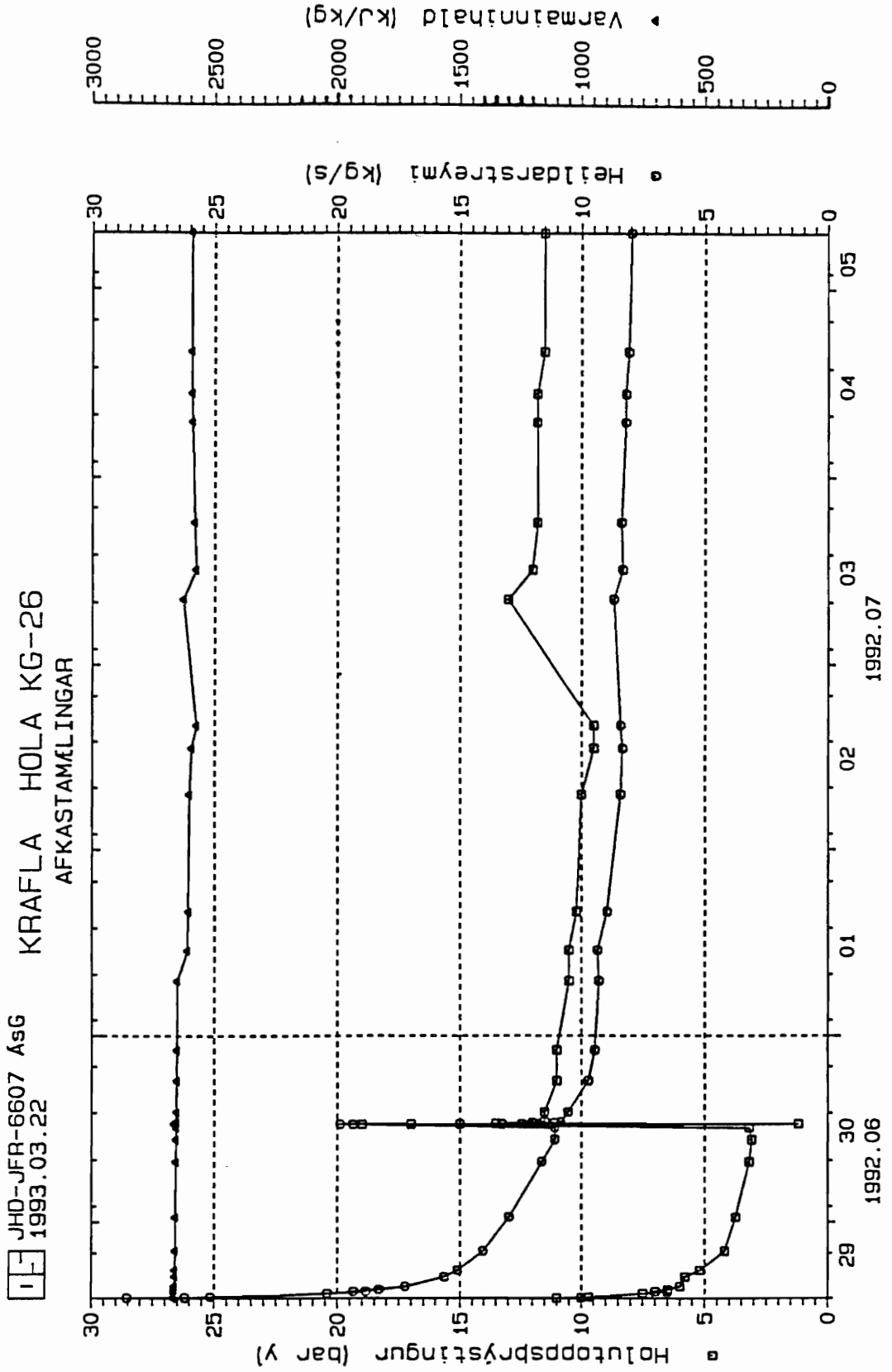
§ μS/cm † dpm/kg ‡ dpm/l † ‰SMOW \* Lítrar gass með hverju kg þéttvatns

Dagsetning	Tími	Númer	Dýpi (m)	Sýni tók			
92-07-02	00:00	92-0146		HÁ			
Krafla Leirbotn K-26 Leirbotn Skútustaðahreppur Suður-Þingeyjarsýsla							
Hiti (°C)	Þrýstingur á holutoppi (bar-g)	Þrýstingur við söfnun (bar-g)	Vermi (kJ/kg)	Dagsetning vermismælingar	Rennsli (kg/s)		
	9.5	9.3	2586	92-07-02	8.5		
Efnasamsetning vatns (mg/kg)			Gas (% rúmm)	Þéttivatn (mg/kg)			
pH	5.7	Li	Al	H <sub>2</sub>	3.63	pH	3.6
/Hiti	21	Na	Cr	CO <sub>2</sub>	87.94	/Hiti	20.3
CO <sub>2</sub>	330	K	Mn	H <sub>2</sub> S	6.56	CO <sub>2</sub>	1038
H <sub>2</sub> S	42.5	Mg	Fe	O <sub>2</sub>	.07	H <sub>2</sub> S	240
NH <sub>3</sub>		Ca	Cu	N <sub>2</sub>	1.75	NH <sub>3</sub>	
B	6.47	Sr	Zn	CH <sub>4</sub>	.05	B	
Leiðni <sup>§</sup>	2240	F	As	NH <sub>3</sub>		Na	.51
/Hiti	25	Cl	Ag	Ar		Hg	
SiO <sub>2</sub>	834	Br	Cd	Rn <sup>#</sup>	112	Rn <sup>†</sup>	118
Uppl. efni	2329	I	Sb			δD <sup>†</sup>	-86.9
		NO <sub>2</sub>	Hg			δ <sup>18</sup> O <sup>†</sup>	-10.5
		NO <sub>3</sub>	Pb				
O <sub>2</sub>		HPO <sub>4</sub>				Gufa (mg/kg)	
Rn <sup>†</sup>		SO <sub>4</sub>	Vægi (%):			CO <sub>2</sub>	13160
δD <sup>†</sup>	-81.4		Jóna	-6.28	lg/kg v <sup>*</sup>	H <sub>2</sub> S	1061
δ <sup>18</sup> O <sup>†</sup>	-7.92		Massa	-4.68	/Hiti	Rn <sup>†</sup>	

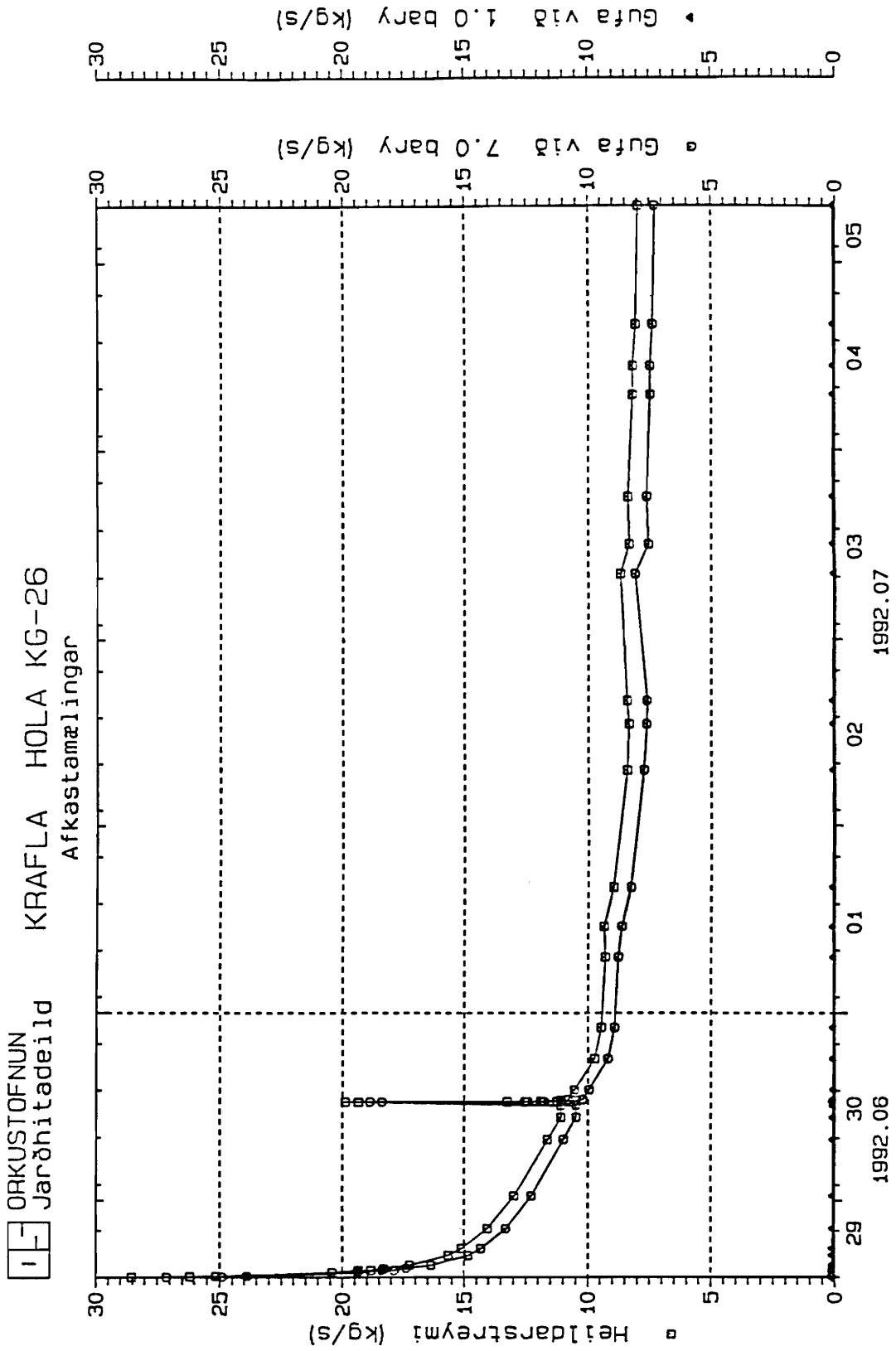
§ μS/cm † dpm/kg ‡ dpm/l † ‰SMOW \* Lítrar gass með hverju kg þéttvatns

Dagsetning	Tími	Númer	Dýpi (m)	Sýni tók			
92-07-04	00:00	92-0147		HÁ			
Krafla Leirbotn K-26 Leirbotn Skútustaðahreppur Suður-Þingeyjarsýsla							
Hiti (°C)	Þrýstingur á holutoppi (bar-g)	Þrýstingur við söfnun (bar-g)	Vermi (kJ/kg)	Dagsetning vermismælingar	Rennsli (kg/s)		
	11.8	12.2	2595	92-07-04	8.2		
Efnasamsetning vatns (mg/kg)			Gas (% rúmm)	Þéttivatn (mg/kg)			
pH	5.9	Li	Al	H <sub>2</sub>	4.02	pH	4.1
/Hiti	19	Na	Cr	CO <sub>2</sub>	87.63	/Hiti	18
CO <sub>2</sub>	235	K	Mn	H <sub>2</sub> S	6.77	CO <sub>2</sub>	1430
H <sub>2</sub> S	39.8	Mg	Fe	O <sub>2</sub>	.06	H <sub>2</sub> S	250
NH <sub>3</sub>		Ca	Cu	N <sub>2</sub>	1.47	NH <sub>3</sub>	
B	5.17	Sr	Zn	CH <sub>4</sub>	.05	B	
Leiðni <sup>§</sup>	2000	F	As	NH <sub>3</sub>		Na	.46
/Hiti	25	Cl	Ag	Ar		Hg	
SiO <sub>2</sub>	790	Br	Cd	Rn <sup>#</sup>	234	Rn <sup>†</sup>	103
Uppl. efni	2021	I	Sb			δD <sup>†</sup>	-86.4
		NO <sub>2</sub>	Hg			δ <sup>18</sup> O <sup>†</sup>	-10.63
		NO <sub>3</sub>	Pb				
O <sub>2</sub>		HPO <sub>4</sub>				Gufa (mg/kg)	
Rn <sup>†</sup>		SO <sub>4</sub>	Vægi (%):			CO <sub>2</sub>	13506
δD <sup>†</sup>	-81.2		Jóna	-4.64	lg/kg v <sup>*</sup>	H <sub>2</sub> S	1098
δ <sup>18</sup> O <sup>†</sup>	-8.26		Massa	-2.97	/Hiti	Rn <sup>†</sup>	

§ μS/cm † dpm/kg ‡ dpm/l † ‰SMOW \* Lítrar gass með hverju kg þéttvatns



Mynd 10: Afmælingar á KG-26 eftir dýpkun.



Mynd 11: Afköst holu KG-26 eftir dýpkun.

Vökvinn úr KG-26, eftir dýpkun, er steinefnaríkur miðað við aðrar Kröfluholur. Er klóríð aðalánjónin, en styrkur súlfats er tiltölulega lágur. Í töflu 9 er vökvi Kröfluhola flokkaður eftir ánjónastyrk og sést að djúpvökvi KG-26 fellur í flokk Hveragils-Hvíthólavökva.

Vökvinn sem streymir upp holu KG-26 er yfirmettaður með tilliti til kalsíts, bæði fyrir og eftir dýpkun (mynd 9). Vökvinn í Neðrakerfinu hefur þegar soðið úti í bergi og því er ekki hættu á hvellsuðu og myndun kalsíttappa í holunni. Hann er einnig örlítið yfirmettaður með tilliti til anhýdríts. Slík yfirmettun hefur fundist í öðrum holum á svæðinu og er merki um anhýdrítútfellingar, aldrei þó í þeim mæli að nýtingu hola stafaði hættu af. Er því ekki ástæða til að ætla að svo verði hér.

Eins og fram kom hér að ofan er járnstyrkur vökvans umtalsverður. Samt reiknast vökvinn ekki súr við 330 °C, svo að fræðilega er ekki ástæða til að ætla að hann tæri fóðurrör. Hann reiknast yfirmettaður með tilliti til flestra járnsteinda, en í ljósi reynslu í Kröflu er eðlilegt að hafa mestar áhyggjur af yfirmettun með tilliti til járn-súlfíða, þ.e. pýrítis og pýrrhótíts. Slík yfirmettun hefur reiknast áður og svartar útfellingar fundist í holum, þar sem vökvinn mælist hvorki né reiknast súr. Í töflu 15 eru taldar upp þær holur, sem slíkar svartar útfellingar hafa fundist í, og rakið hvort gasgnótt og sýrugnótt hafa mælist eða reiknast í vökvnum og hvort útfellinga og/eða fóðringarskemmda hefur orðið vart við hreinsanir. Hóla KJ-13 dró upphaflega inn vökva af um 1700 m dýpi, sem var talinn a.m.k. 325 °C heitur (Valgarður Stefánsson o.fl. 1982), en við hreinsun haustið 1981 komst borinn ekki nema í 1406 m vegna fóðringarskemmda (Jarðboranir ríkisins 1981). Nokkuð erfitt er að skýra hvað veldur þessum skemmdum, þar eð vökvinn virðist ekki súr. Sagt er frá svörtum vökva úr KJ-13 fram undir hreinsun hennar og fram á næsta vor þar á eftir. Við hreinsunina voru boraðar út þó nokkrar stíflur (Halldór Ármannsson og Kristján Hrafn Sigurðsson 1981). Vorið eftir var farið að bera á afleysi, sem varaði þangað til holan var endurboruð sumarið 1983 (Ásgrímur Guðmundsson o.fl., 1983). Möguleiki er að svörtu útfellingirnar geti hreinlega verið eyðandi og ráðist á fóðringar eftir að þær mynduðust. KJ-13 dregur inn vökva af heldur minna dýpi eftir að hún var stefnuboruð 1983. Ekki hefur mælist járn í honum og er efnasamsetning hans reyndar öll önnur en áður (sjá töflu 15).

**Tafla 15:** Holur, sem svartar járn-súlfíðútfellingar hafa myndast í. Gas- og sýrugnótt. Útfellingar og fóðringaskemmdir.

Hola nr.	KJ-6	KJ-7	KG-10	KG-12	KJ-13	KG-25	KG-26
Gasgnótt	X	X	X				
Sýrugnótt <sup>1)</sup>		X	X			X	
Fóðringarskemmdir		X	X	X	X	X	
Útfellingar		X	X	X	X		

<sup>1)</sup> Ekki hafa verið gerðir útreikningar fyrir hvert einasta sýni, en hér er sagt frá sýrugnótt, hafi hún e-n tíma fundist. T.d. hefur vökvi úr holu KJ-7 alla jafna verið ósúr, þó að í einstökum tilvikum hafi annað verið upp á teningnum.

Vinnslusögu holu KG-12 svipar til sögu KJ-13 nema að ekki þurfti að endurbora KG-12 vegna hagstæðra breytinga sem urðu á efnasamsetningu innstreymisvökvans snemma á blásturstímanum (Darling & Ármannsson 1989). Þó er efnabreytingin ekki jafn afdráttarlaus og varð við dýpkun KJ-13 og má ætla að KG-12 dragi enn inn blöndu Suðurhlíða- og Hveragils-Hvíthólavökva (sjá töflu 15). Í upphafi vinnslu var vökvi beggja þessara hola sem sagt yfirmettaður með tilliti til

pýrft og pýrrhótt. Streymdi svart vatn frá hljóðdeyfum í blæstrinum en það er greinilegt merki myndunar járnsteindaútfellinga. Hóla KG-12 blés síðan þurri gufu um hríð og blotnaði svo löngu eftir að efnasamsetning innstreymisins breyttist til hins betra. Ekki eru til neinar frásagnir af svörtum vökva eftir það, þó að lítils háttar járnsteindayfirmettun reiknist í afrennsli hennar. Holan var hreinsuð í nóvember 1981 og var nokkuð um fyrirstöður. Skemmdir fundust á fódurrörum neðarlega í holunni, nálægt aðalæðinni. Ekki reiknaðist vatnsfasi súr, meðan hans naut við, en eftir það kom úr holunni yfirhituð gufa: Virðist því ekki hafa þurft annað til að skemma fódringuna neðst í holunni en myndun járnúlfíðútfellinga í skamman tíma. Langur tími leið áður en holan bætti við rennsli sitt eftir hreinsunina. Er því erfitt að segja hvort stíflur hafi í raun hamlað rennsli. Ekki hefur orðið vart við rennslistruflanir síðan.

Hvorki hefur orðið vart við fódringarskemmdir né teljandi útfellingar í holu KJ-6. Talið er að fódringarskemmdir séu á rúmlega 1800 m dýpi í holu KJ-7 og að þær hafi lokað af neðstu æðina. Orðið hefur vart við súran vökva í holunni. Hann kom að öllum líkindum úr neðstu æðinni. Því er líklegast er fódringaskemmdirnar megi rekja til hins súra vökva, þó svo að ekki sé útilokað að járnúlfíðútfellingar eigi sinn þátt.

Hólar KG-10 og KG-25 unnu súran og tærandi vökvi (Ármannsson og Gíslason 1992). Reyndar er hann undirmettaður með tilliti til járnsteinda, en um leið og hann blandast basískara, Efrakerfisvatni yfirmettast hann hressilega. Miklar fódurröraskemmdir urðu í báðum þessum holum, en ekki komu teljandi járnúlfíðútfellingar í holu KG-25. Tafla 16 var gerð til glöggvunar á þessu. Hún sýnir sýrustig við líklegan innstreymishita æða og log (Q/K), sem er mælikvarði á yfirmettun, fyrir pýrft og pýrrhótt.

**Tafla 16:** Innstreymishiti, sýrustig, og log (Q/K) fyrir pýrft og pýrrhótt í innstreymisvökva nokkurra Kröfluhóla. (Vökvi telst yfirmettaður með tilliti til steindar ef log Q/K > 1).

Hóla nr.	Dagsetning	Inn- streymis- hiti °C	pH	Log	(Q/K)
				pýrft	pýrr- hótt
KG-12 fyrir þornun	1978.12.04	325	7,3	4,42	3,39
KG-12 eftir kólnun og blotnun 1982 - 1983	1990.05.26	325	8,3	2,24	1,85
KJ-13 fyrir endurbörun 1983	1982.02.10	330	8,3	1,18	2,07
KJ-13 eftir endur(stefnu-)borun 1983	1984.05.08	310	8,3	0,77	0,42
KJ-25. Blanda úr Efra- og Neðrakerfisvökva	1990.11.25	277	6,2	4,03	2,41
KJ-25. Neðrihlutavökvi, reiknuð efnasamsetning	1990.11.25	330	1,7	-5,41	-7,07
KG-26 fyrir dýpkun	1991.10.30	218	8,4	0,82	0,12
KG-26 eftir dýpkun	1992.07.04	330	7,5	3,82	2,99

Af töflu 16 má sjá, að vökvanum í holu KG-26 svipar miklu fremur til þess vökva er streymdi inn í holur KJ-13 og KG-12 (fyrir endurborun og kólnun) en KG-25. Reyndar er vatnshluti KG-26 miklu lægri en KJ-13 og minnir hún að því leyti fremur á KG-12 í upphafi vinnslu. Það þýðir að útfellingar myndast á tiltölulega löngum tíma í blæstri. Vandamálið með holu KG-12 var hins vegar yfirhitun gufunnar og olli hún tæringu (Truesdell o.fl. 1989). Hóla KG-26 sýndi ekki tilhneigingu til yfirhitunar, en gæta ber þess að hún blés í skamman tíma.

Ofangreindar athuganir sýna því að járnsteindaútfellingar munu myndast við blástur holu KG-26. Þar sem vatnsrennsli hennar er lítið er hins vegar líklegt að hún stíflist á löngum tíma. Einnig getur hætta satafað af tiltölulega háum klóríðstyrk og háu vermi. Það leiðir til yfirhitunar gufunnar og tæringar lagna á yfirborði. Slíka tæringu má stöðva með einangrun holutopps og "þvottar" gufunnar með samblöndun í rennsli frá vatnsmeiri holu (líkt og gert var við KG-12). Ekki er ástæða til að ætla að djúpvökvinum í KG-26 sé það súr að hann éti burt fóðurrör í langvinnnum blæstri. Samt ber að vera vel á verði því svo virðist sem fóðurrör hafi skemmt í Kröfluholum, þó að djúpvökvinum hvorki mælist né reiknist súr. Er þá um að ræða eyðingu af völdum útfellinga eða að súrt innstreymi komi um smáæðar án þess að við verði vart í blöndunni á holutoppi. Til að kanna slíkt frekar, þarf umfangsmikla útreikninga á efnainnihaldi gamalla heilsýna frá Kröflu.

Eins og lesa má úr gashitatölum í töflu 8 var gas í hærri lagi í holu KG-26 fyrir dýpkun. Má rekja það til blöndunar við neðrihluta renni úr botnæðinni sem þá var. Gashiti eftir dýpkun er á bilinu 292 - 315 °C og er það lítið eitt neðan við mældan hita en innan skekkjumarka. Bendir það, ásamt gashlutföllum ( $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S} = 12,3$ ), til þess að ekki gæti áhrifa kvikugasa í æðum holunnar.

Styrkur radons er lágur í KG-26. Í umfjöllun um holu KG-25 (Halldór Ármannsson og Gestur Gíslason 1991) voru leiddar líkur að því að á svæðum með einsleitu bergi megi búast við beinu sambandi milli gufuhluta og radonstyrks. Frávik frá þessu má einkum rekja til tveggja umhverfisþátta. Annar er innspýting vökva frá öðru umhverfi, t.d. kviku. Hinn er frávik í berggerð sem gæti t.d. valdið breytingum í lekt. Radonstyrkur er mjög lágur miðað við gufuhluta í holu KG-26. Styður það hugmyndir um að kvikugös séu víðs fjarri. Hins vegar ætti það að benda til tiltölulega góðrar lektar, öfugt við niðurstöður annarra athugana (Ásgrímur Guðmundsson o.fl. 1992).

Í töflu 17 er gerð tilraun til að flokka holur Kröflusvæðisins eftir styrk radons í holutoppsrennslinu. Greina má gufuhlutaáhrifin, en einnig gæti verið nokkur landfræðileg dreifing. Gildi fyrir KG-10 fengust meðan þar var ofgnótt kvikugasa.

Tafla 17: Radonstyrkur í blásandi Kröfluholum.

Radonstyrkur rennis dpm/kg	< 500	500 - 3000	3000 - 7000	> 7000
Holur	Eftakerfisolur, KJ-9, KJ-11	KJ-6, KJ-21, KJ-22, KG-26	KG-12, KJ-13, KJ-17, KJ-20, KG-25	KW-1, KG-10, KJ-14, KJ-15, KJ-16, KJ-19



## 5. ÁDÆLING Í HOLU KG-26

Eftir að vatn úr hljóðdeyfi KG-26 litaðist svart í síðari blæstri hennar var ákveðið að kæfa holuna. Byrjað var að dæla vatni úr Borlóni í holuna þann 8. júlí 1992. Nam ádælingin að jafnaði 20-30 l/s. Er leið á haustið uppgötvaðist skán við holutopp og vöknudu strax grunsemdir um útfellingar úr niðurdælingarvökvanum. Sýni var tekið úr lóninu þann 24. september. Niðurstöður efnagreininga á því eru í töflu 18. Jafnvægisreikningar á þeim benda til nokkurrar yfirmettunar með tilliti til kalsíts, en ekki er talin hætta á kfsilútfellingum. Einnig voru tekin sýni af skáninni við holutoppin. Niðurstaða steindagreiningar á þeim leiddi í ljós að um hreint kalsítt var að ræða. Af þessum sökum var hætt að dæla á holuna hinn 21. október.

Í ljósi jafnvægisútreikninga, sem gerðir hafa verið fyrir nálægar Efrakerfisholur, má ætla að vökvi úr annaðhvort KG-24 eða KJ-3A sé mun heppilegri til ádælingar en vatnið úr lóninu vegna minni hættu á kalsítútfellingum.

Tafla 18: Efnagreiningar á sýni úr borlóni frá 21. október 1992.

Dagsetning	Tími	Númer	Dýpi (m)	Sýni tók	
92-09-24	00:00	92-0213		ÁsG	
Krafla					
Skútustaðahreppur S-Þingeyjarsýsla					
Hiti (°C)	Þrýstingur á holutoppi (bar-g)	Þrýstingur við söfnun (bar-g)	Vermi (kJ/kg)	Dagsetning vermismælingar	Rennsli (kg/s)
12					
Efnasamsetning vatns (mg/kg)			Gas (% rúmm)	Þéttivatn (mg/kg)	
pH	9.17	Li	Al	H <sub>2</sub>	pH
/Hiti	20.8	Na	Cr	CO <sub>2</sub>	/Hiti
CO <sub>2</sub>	149.4	K	Mn	H <sub>2</sub> S	CO <sub>2</sub>
H <sub>2</sub> S	0	Mg	Fe	O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S
NH <sub>3</sub>		Ca	Cu	N <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>
B		Sr	Zn	CH <sub>4</sub>	B
Leiðni <sup>§</sup>	1310	F	As	NH <sub>3</sub>	Na
/Hiti	23.8	Cl	Ag	Ar	Hg
SiO <sub>2</sub>	124.9	Br	Cd	Rn <sup>#</sup>	Rn <sup>†</sup>
Uppl. efni	1156.4	I	Sb		δD <sup>†</sup>
		NO <sub>2</sub>	Hg		δ <sup>18</sup> O <sup>†</sup>
		NO <sub>3</sub>	Pb		
O <sub>2</sub>		HPO <sub>4</sub>			Gufa (mg/kg)
Rn <sup>†</sup>		SO <sub>4</sub>	490		CO <sub>2</sub>
δD <sup>†</sup>			Vægi (%):		H <sub>2</sub> S
δ <sup>18</sup> O <sup>†</sup>			Jóna	4	Rn <sup>†</sup>
			Massa	-17.63	
				lg/kgþv <sup>*</sup>	
				/Hiti	

§ μS/cm

† dpm/kg

‡ dpm/l

† ‰SMOW

\* Lítrar gass með hverju kg þéttivatns

## 6. NIÐURSTÖÐUR

Helstu niðurstöður mælinga í tveimur upphitunum og upphleypingum á holu KG-26 eru eftirfarandi:

1. Hita- og þrýstimælingar í holu KG-26 sýna að neðra jarðhitakerfið er sjóðandi við holuna. Fylgja hiti og þrýstingur suðumarksferli sem tekur þrýstigildið 106,3 bar-y á 1400 m dýpi. Ekki er loku fyrir það skotið að botnæð holu KG-26, sem er um eða yfir 340 °C heit, tengist öðru vatnskerfi á 2400 m dýpi, þ.e. neðan við Neðra-Leirbotnakerfið. Þess vegna er gert ráð fyrir að frá 2100 m að 2400 m gildi annar suðumarksferill, sem tekur þrýstigildið 173 bar-y á 2400 m dýpi.
2. Ofan 1200 m dýpis gilda áfram berghita- og þrýstiferlar, sem birtir voru í greinargerð eftir Grím Björnsson og Benedikt Steingrímsson 1991.
3. Vökvinn sem kom úr holu KG-26, fyrir dýpkun, var dæmigerður Efrakerfisvökvi blandaður Neðrakerfisvökva. Þó bar þar ekki á því mikla klóríði, sem fannst í Neðrakerfinu. Má því ætla að klóríðið komi inn á meira dýpi en vökvi sá er blönduninni olli. Af því má draga þá ályktun að æðar ofarlega í Neðra-Leirbotnakerfinu séu betur fallnar til vinnslu en djúpæðarnar.
4. Í upphleypingu eftir dýpkun var holan næstum þurr. Það litla vatn sem kom upp var tiltölulega klóríðríkt, líft og vatn sem komið hefur úr sumum holum við Hveragil og í Hvíthólum. Samkvæmt samsætuhlutföllum er uppruni vökvans svipaður og í öðrum Leirbotnaholum, þ.e. það hefur upprunalega fallið sem úrkoma í grenndinni.
5. Efnahiti bendir til hás berghita, a.m.k. 330 °C í því bergi, sem vökvinn hefur leikið um. Gasstyrkur og gashlutföll eru í samræmi við mældan hita og benda því til þess að ekki sé um neina mengun af völdum kvikugasa að ræða.
6. Djúpvökvi reiknast með basaeinkenni og á hann því ekki að vera súr og tærandi. Svartar járn-súlfíðútfellingar koma þó upp með vatninu. Fræðilega virðist líklegra að járníð leysist úr bergi en rorum. Ekki er samt loku fyrir það skotið að súr vökvi læðist inn um smáæðar þó að vökvinn í heild reynist ekki súr. Slíkur vökvi getur gert usla í fódoringum. Einnig er hugsanlegt að járn-súlfíðútfellingar virki eyðandi á járnör eftir að þær myndast. Alla vega hefur ekki reynst einhlítt að ósúr vökvi þýði óskemmd rör og er því fyllsta ástæða til varkárni við nýtingu holunnar.
7. Ef ástæða þykir til að dæla áfram vatni á holu KG-26 er mælt með að það verði fremur sótt í holu KJ-3A eða KG-24 en í lónið vegna minni útfellingarhættu.

Komi til þess að hola KG-26 verði sett í langvinnan blástur, má búast við að hún gefi að jafnaði 6-7 kg/s af háþrýstigufu. Gufan var vel hæf til vinnslu þann skamma tíma sem holan blés og er að magni ígildi um 3 MW rafmagnsframleiðslu. Töluverðar líkur eru á hægfara myndun járnsteindaútfellinga í holunni í blæstri. Jafnframt má búast við yfirhitaðri, klóríðríkri gufu úr holunni. Það kallar á einangrun holutoppsins og blöndun gufunnar við rennsli úr blautri holu. Í heild má því segja að líkur eru til svipaðra rekstrartruflana við vinnslu úr holu KG-26 og urðu í holum KJ-6, KG-12 og KJ-13. Aftur á móti virðist vökvi hennar mun skárri til vinnslu en vökvinn sem kom djúpt úr holu KG-25.

## 7. HEIMILDIR

- Ármannsson, H. 1983: An improved model of the flow in the Krafla geothermal system. Í Extended Abstracts. Fourth International Symposium on Water-Rock Interaction, Aug. 29 - Sep. 3. International Association of Geochemistry and Cosmochemistry, Misasa, Japan, 32-35.
- Ármannsson, H., Guðmundsson, Á. and Steingrímsson, B.S. 1987: Exploration and development of the Krafla geothermal area. *Jökull*, 37, 13-30.
- Ármannsson, H. and Gíslason, G., 1992: The occurrence of acidic fluids in the Leirbotnar field, Krafla, Iceland. Í *Water-Rock Interaction*, Kharaka & Maest (eds). Balkema, Rotterdam, 1257-1260.
- Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt S. Steingrímsson, Dagbjartur Sigursteinsson, Guðjón Guðmundsson og Hjörtur Tryggvason, 1983: Krafla, hola KJ-13. Endurborun í júlí og ágúst 1983. Orkustofnun, OS-83077/JHD-23 B, 29 s.
- Ásgrímur Guðmundsson, Hjalti Franzson, Ómar Sigurðsson, Sigurður Benediktsson, Jósef Hólmjárn og Dagbjartur Sigursteinsson, 1992: Krafla. Borun 3. áfanga holu KG-26. Orkustofnun, OS-92009/JHD-03 B, 46 s.
- Ásgrímur Guðmundsson, Ómar Sigurðsson, Sigurður Benediktsson, Jósef Hólmjárn og Dagbjartur Sigursteinsson, 1991a: Krafla. Borun 2. áfanga holu KG-26. Orkustofnun, OS-91041/JHD-24 B, 24 s.
- Ásgrímur Guðmundsson, Sigurður Benediktsson, Hilmar Sigvaldason og Dagbjartur Sigursteinsson, 1991b: Krafla. Borun 1. áfanga holu KG-26. Orkustofnun, OS-91040/JHD-23 B, 26 s.
- Benedikt Steingrímsson og Halldór Ármannsson 1989: Krafla. Hola KG-24. 4. áfangi: Upphitun, upphleyping og blástur. Orkustofnun, OS-89007/JHD-01 B, 16 s.
- Benedikt Steingrímsson, Halldór Ármannsson og Jón Benjamínsson 1983: Krafla. Hola KJ-20. Upphitun, upphleyping og blástur. Orkustofnun, OS-83006/JHD-01 B, 32 s.
- Benedikt Steingrímsson, Ásgrímur Guðmundsson, Guðjón Guðmundsson, Halldór Ármannsson og Jón Benjamínsson 1984: Krafla, Hola KJ-3A. Borun, rannsóknir og vinnslueiginleikar. Lokaskýrsla. Orkustofnun, OS-84043/JHD-08, 33 s.
- Bragi Árnason 1976: Groundwater systems in Iceland traced by deuterium. *Vísindafélag Íslendinga*, XLII, 236 s.
- Darling, W.G. and Ármannsson, H., 1989: Stable isotopic aspects of fluid flow in the Krafla, Námafjall and Theistareykir geothermal systems of northeast Iceland. *Chem. Geol.*, 76, 197-213.
- Gestur Gíslason, Halldór Ármannsson og Trausti Hauksson 1978: Krafla. Hitaástand og gastegundir í jarðhitakerfinu. Orkustofnun, OSJHD-7846, 84 s.
- Grímur Björnsson og Benedikt Steingrímsson, 1991: Krafla - Hola KG-26. Mat á upphafsástandi, afköstum og gæfni æða. Orkustofnun, GrB/BS-91/07, 10 s.

- Gunnlaugsson, E. and Arnórsson, S. 1982: The chemistry of iron in geothermal systems in Iceland. *J. Volc. Geotherm. Res.*, 14, 281-299.
- Halldór Ármannsson og Benedikt Steingrímsson 1984: Krafla, Hola KJ-22. Upphitun, upphleyping og blástur. Orkustofnun, OS-84008/JHD-02 B, 34 s.
- Halldór Ármannsson og Gestur Gíslason, 1991: Krafla - KG-25. Upphleyping og blástur. Afköst - Efnæiginleikar rennis. Orkustofnun, OS-91023/JHD-10 B, 37 s.
- Halldór Ármannsson og Kristján Hrafn Sigurðsson, 1981: Nokkrar Kröflufréttir í desember 1981. Orkustofnun, HÁ/KHS-81/09, 18 s.
- Halldór Guðmundsson 1992: Efnagreining á sfum. Verkefni nr.: HP2088. Iðntæknistofnun, 8 s.
- Jarðboranir ríkisins 1981: Borskýrslur Jötunns 1981.
- Trausti Hauksson og Jón Benjamínsson 1990: Kröflustöð. Afköst og efnainnihald vatns og gufu í borholum og vinnslurás í maí 1990. Landsvirkjun, Kröflustöð, 56 s.
- Truesdell, A.H., Haizlip, J.R., Ármannsson, H. and D Amore, F.D., 1989: Origin and transport of chloride in superheated geothermal steam. *Geothermics*, 18, 295-304.
- Valgarður Stefánsson, Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt Steingrímsson, Halldór Ármannsson, Hjalti Franzson, Ómar Sigurðsson og Trausti Hauksson, 1982: Krafla - Hola KJ-13. Borun, rannsóknir og vinnslueiginleikar. Orkustofnun, OS-82046/JHD-07, 108 s.

