



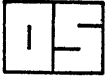
ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

KRAFLA, HOLA KJ-22
Upphitun, upphleyping og blástur

Halldór Ármannsson
Benedikt Steingrímsson

OS-84008/JHD-02 B

Febrúar 1984



ORKUSTOFNUN
GRENSÁSVEGI 9, 108 REYKJAVÍK

KRAFLA, HOLA KJ-22
Upphitun, upphleyping og blástur

Halldór Ármannsson
Benedikt Steingrímsson

OS-84008/JHD-02 B

Febrúar 1984

EFNISYFIRLIT

	Bls.
TÖFLUSKRÁ	3
MYNDASKRÁ	4
1 YFIRLIT YFIR TÍMABILID 83.07.16 - 84.01.21	5
2 VATNSBORD/TOPPÞRÝSTINGUR Í UPPHITUN	7
3 ÞRÝSTIMÆLINGAR Í UPPHITUN	10
4 HITAMÆLINGAR	10
5 UPPHLEYPING	14
6 AFL OG AFKÖST	14
7 EFNASTYRKUR	22
8 EFNAHITI	22
9 BLÖNDUN RENNIS ÚR EFRI OG NEÐRI HLUTA	26
10 ÚTFELLINGAHÆTTA	29
HEIMILDIR	33

TÖFLUSKRÁ

	Bls.
1 Krafla, hola KJ-22. Yfirlit yfir tímabilið 83.07.16 - 83.12.31	6
2 Krafla, hola KJ-22. Aflmælingar	16
3 Krafla, hola KJ-22. Styrkur efna	23
4 Krafla, hola KJ-22. Hlutföll efna	24
5 Krafla, hola KJ-22. Sýrustig og kísilstyrkur vatnsfasa, gas í gufu	24
6 Krafla. Valin sýni úr nokkrum holum. Gas-, natríum- og klóríðstyrkur og nokkur efnahlutföll ..	25
7 Krafla. Valin sýni úr nokkrum holum. Efnahiti	25
8 Efnahiti. Áhrif kólnunar á mæld gildi	27
9 Blöndun eins hluta 220°C kólnandi rennis, og eins hluta 180°C rennis í efnajafnvægi, í borholu. Áhrif á efnahita	30
10 Krafla, hola KJ-22. Nokkur hugsanleg blöndunarlíkön	31

MYNDASKRÁ

1	Krafla, hola KJ-22. Vatnsborð í upphitun	8
2	Krafla, hola KJ-22. Holutoppsþrýstingur í upphitun .	9
3	Krafla, hola KJ-22. Þrýstingur í upphitun	11
4	Krafla, hola KJ-22. Hitamælingar í upphitun	12
5	Krafla, hola KJ-22. Hitamælingar strax eftir blástur	13
6	Krafla, hola KJ-22. Upphleyping	15
7	Krafla, hola KJ-22. Afl á fyrstu blástursdögum	19
8	Krafla, hola KJ-22. Aflsaga 83.08.19 - 84.01.06	20
9	Krafla, hola KJ-22. Afkastaferill 1983.09.23 - 29 ..	21
10	Krafla, holur KJ-9 og KJ-22. Jónamargfeldi Ca^{+2} og CO_3^{-2} , og mettunarferill kalsíts í vatni	32

1 YFIRLIT YFIR TÍMABILID 83.07.16 - 84.01.21

Borverki við holu KJ-22 lauk 16. júlí 1983, og var dælingu hætt kl 21:00. Holan var síðan halla- og stefnumæld með gyrohallamæli, en að því loknu fór fram hitamæling til að kanna fyrstu viðbrögð holunnar í upphitun. Staðfesti mælingin að öflugt millirennisli var í holunni líkt og komið hafði fram í hitamælingum og þrepaðælingu fyrir borlok (Ásgrímur Guðmundsson o.fl. 1983). Rann úr æðum á 500-600 m dýpi niður í æðar nærri botni holunnar, og var hitastig í 600 m dýpi 124°C strax sjö klukkustundum eftir að ádælingu var hætt. Vegna bilunar í gyrómæli reyndist nauðsynlegt að kæla holuna að nýju og var dæling sett aftur á að morgni 17. júlí. Hallamælingin var síðan endurtekin síðla þess dags og lauk þar með kælingu holunnar við borlok.

Upphitun KJ-22 stóð fram til 19. ágúst 1983. Fylgst var með upphituninni með hefðbundnum hætti með hita-, þrýsti- og vatnsborðsmælingum. Hitamælingar gengu nokkuð brösulega framan af. Tapaðist einn mælir í holunni, og var ekki hægt að fiska hann upp. Næsti hitamælir reyndist leka þótt nýr væri. Fóru því nokkrar mælingar forgörðum í byrjun upphitunar.

Upphitun KJ-22 eftir borun var óvanaleg. Í efri hluta holunnar (ofan 900 m dýpis) hækkaði hitastig mjög hratt og mældist ávallt hæstur hiti í 600-650 m dýpi. Var hitastig þar tæplega 260°C þegar að upphleypingu kom. Neðan 900 m dýpis var upphitunin hins vegar mjög hæg og var hitastig undir 155°C, þegar holan fór í blástur.

Holu KJ-22 var hleypt í blástur 19. ágúst 1983 og blés hún nær samfelld fram til 4. október. Fylgst var með afli holunnar, tekin 4 sýni og í þriggja vikum var henni lokað um stundarsakir til hitamælinga. Mældist alltaf mjög lágur botnhiti ($T_{\max} = 175^{\circ}\text{C}$). Fjórdæ október var holunni lokað og stóð hún lokað í þrjár vikur, en var hleypt að nýju í blástur 25. október og hefur hún blásið síðan (84.01.21).

Í töflu 1 er að finna yfirlit yfir helstu mælingar og aðgerðir við holu KJ-22 frá borlokum fram yfir áramót 83/84.

TAFLA 1 Krafla, Hóla KJ-22. Yfirlit yfir tímabilið
83.07.16 - 83.12.31

Dagsetn.	kl.	Mælingar	Athugasemdir
83.07.16	21:00		Dælingu hætt við borlok (Q=25 l/s)
83.07.17	03:00-05:00	Hitamæling	$T_{\max} \approx 124^{\circ}\text{C}$ á 600 m dýpi
83.07.19	19:00-23:00	Am. hita- og þrýstimæl.Vatnsb.	$V_b=139$ m. Hiti 100°C neðan 1000 m
83.07.22	14:00-15:30	Am. hitamæling Vatnsborðsmæl.	Hitamælir tapast í holu $V=95,5$ m
83.07.23	21:00-23:00	Am. hitamæling	Hitaelement lak. Mælir fullur af vatni
83.07.25	08:00	Vatnsborðsmæling	Vatnsborð í holutoppi
83.07.28	17:30-19:00	Am. þrýstimæling	$P_o \approx 25,5$ bar
83.07.29	19:00-20:30	Am. hitamæling	$P_o = 40,0$ bar
83.08.02			$P_o = 43,0$ bar
83.08.03	17:00-20:00	Am. hita- og þrýstimæling	$P_o = 43,0$ bar
83.08.16	13:30-15:00	Am. hitamæling	$P_o = 44,5$ bar. $T_{\max}=258,4^{\circ}\text{C}$ á 650 m dýpi
83.08.18	19:00		$P_o = 44,5$ bar. Holan sett í blæðingu $\phi = 3$ mm
83.08.19	10:15		$P_o = 44,0$ bar. Blæðing aukin. 1 snúningur á 2"
83.08.19	13:10		$P_o = 20$ bar. Upphleypling
83.08.19		Sýnataka	Heilsýni nr: 1042
83.08.21		Sýnataka	Heilsýni nr: 1043
83.08.25	17:45-20:00	Holu lokað og am. hitamælt	$P_o \approx 10$ bar. Holan opnuð eftir mælingu
83.08.31	18:30-20:00	Holu lokað og am. hitamælt	$P_o \approx 10$ bar. Holan opnuð eftir mælingu.
83.09.07		Sýnataka	Heilsýni nr: 1045
83.09.12		Sýnataka	Heilsýni nr: 1048
83.10.04	17:00-19:00	Holu lokað og am. hitamælt	$P_o = 14$ bar. Holan látin standa lokuð áfram
83.10.07	16:00-18:00	Am. hitamæling	$P_o = 9,2$ bar
83.10.25			Holan opnuð eftir lokun frá 83.10.04
83.10.31		Sýnataka	Heilsýni nr: 1072
83.11.03		Holu lokað og am. hitamælt	$P_o = 11$ bar. Holan opnuð eftir mælingu

2 VATNSBORÐ/TOPPÞRÝSTINGUR Í UPPHITUN

Hola KJ-22 var fyrst vatnsborðsmæld 19. júlí, tæplega tveimur sólarhringum eftir að síðast var dælt vatni í hana við borlok. Vatnsborð mældist þá á 139 m dýpi, en til samanburðar má geta þess að í fallmælingu við borlok mældist vatnsborð á 165 m dýpi eftir u.þ.b. tveggja tíma dæluhlé (Ásgrímur Guðmundsson o.fl. 1983). Vatnsborð var síðan mælt daglega og var vatnsborðshækkunin mjög hröð (> 10 m/dag) eða u.þ.b. tvisvar sinnum hraðari en í KJ-21 fyrst eftir borun (Benedikt Steingrímsson o.fl. 1983). Strax 23. júlí fór gas að safnast á holuna, en með blæðingu tókst að ná vatnsborðsmælingum fram til 25. júlí. Var vatnsborð þá komið í holutopp og hafði hækkað mjög ört síðustu dagana, eða eftir að bera fór á gasstreymi úr holunni. Kemur þetta skýrt fram á mynd 1, þar sem niðurstöður vatnsborðsmælinganna eru sýndar.

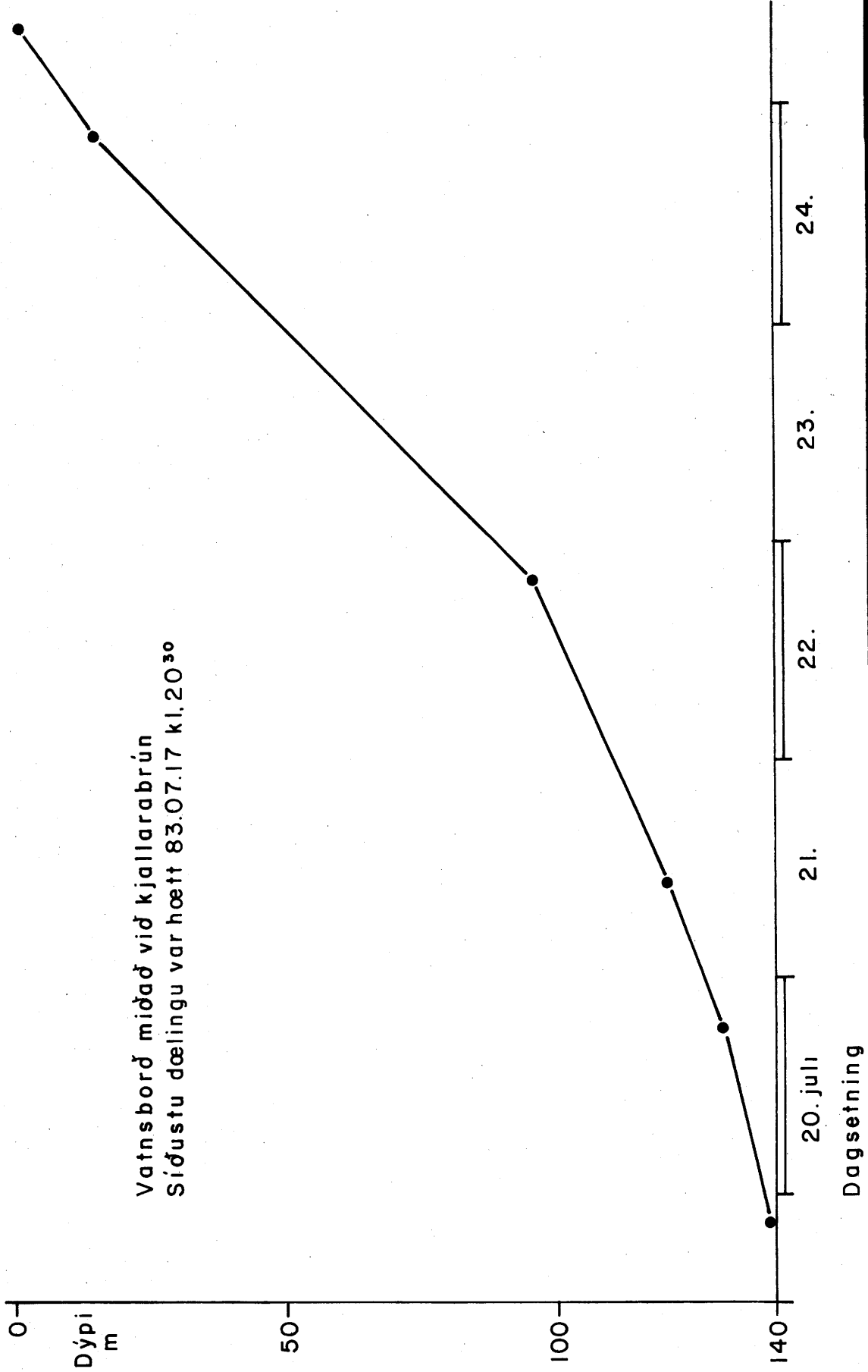
Eftir 25. júlí var fylgst með þrýstingi á holutopp (mynd 2). Hækkaði þrýstingur mjög ört í fyrstu og mældist 40 bar að kvöldi 29. júlí, en náði síðan jafnvægi við 44,5 bar, sem er svipað gildi og lokunarþrýstingur KJ-21. Fyrri hluta ágústmánaðar var öðru hvoru reynt að blæða gasinu af holunni. Blætt var í gegnum 3 mm gat, líkt og gert hefur verið með góðum árangri við aðrar holur. Gasframleiðsla KJ-22 reyndist hins vegar það mikil að blæðingin lækkaði toppþrýsting aðeins óverulega, og því sýnt að blæða þyrfti í gegnum mun stærra gat en 3 mm. Var þessum aðgerðum hætt og holan látin standa lokuð fram að upphleypingu. Var það gert m.a. vegna þess að í ljós hafði komið að gasið úr holunni lagðist illa á þá, sem þyrftu að vinna á planinu. Kvörtuðu menn undan svima og ógleði og í einu tilviki leið yfir mann, sem var að vinna við holutoppinn. Gasmengun af þessu tagi hefur verið fátíð við holur í Kröflu, en þeim mun algengari t.d. í Bjarnarflagi. Minnir þetta vonandi menn á að fara gætilega að holum, sem standa undir gasþrýstingi.

JHD-BM-6607. BS
84.01. 0120. SyJ

Mynd 1

KRAFLA HOLA KJ-22
Vatnsbord í upphitun

Vatnsbord miðað við kjallarabrún
Síðustu dælingu var hætt 83.07.17 kl. 20³⁰



JHD-BM-6607.BS
84.01.0121.SyJ

Mynd 2

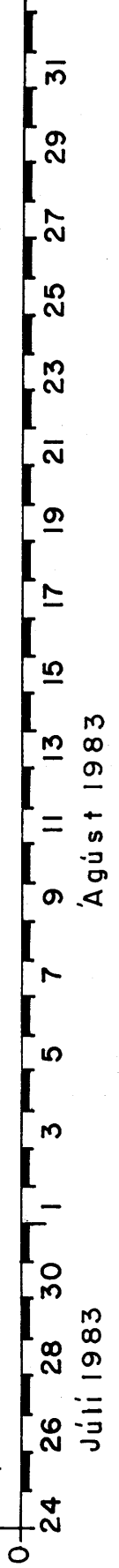
KRAFLA HOLA KJ-22
Holutoppbrýstingur í upphitun

Borun lauk 83.07.16.
Blástur hófst 83.08.19

P_o
[bar]

Blöðing hefst 83.08.18 kl.19⁰⁰

← Upphleyping hefst 83.08.19 kl.13⁰⁰



Ágúst 1983

Júlí 1983

3 PRÝSTIMÆLINGAR Í UPPHITUN

Þrjár þrýstimælingar voru gerðar í KJ-22 í upphitun eftir borun, og eru niðurstöður tveggja sýndar á mynd 3. Vendipunktur er í þrýstingi á 1000-1400 m dýpi, en vegna þess hve upphitunin var hæg fékkst ekki betri staðsetning fyrir punktinn. Vitað var fyrir, að gjöfulustu æðar holunnar eru á þessu dýptarbili (Ásgrímur Guðmundsson ó.fl. 1983).

Seinni þrýstimælingin á mynd 3 sýnir að gaspúðinn í holunni nær niður í 600 m dýpi þ.e. niður í efstu æðar holunnar. Þetta atriði ásamt því hve hratt vatnsborð og síðan toppþrýstingur stigu og náðu jafnvægi bendir til að efstu æðar holunnar séu í tengslum við gufuríkt kerfi. Hitamælingar og mælingar á varmainnihaldi rennis úr holunni styðja þessa túlkun, eins og síðar verður vikið að.

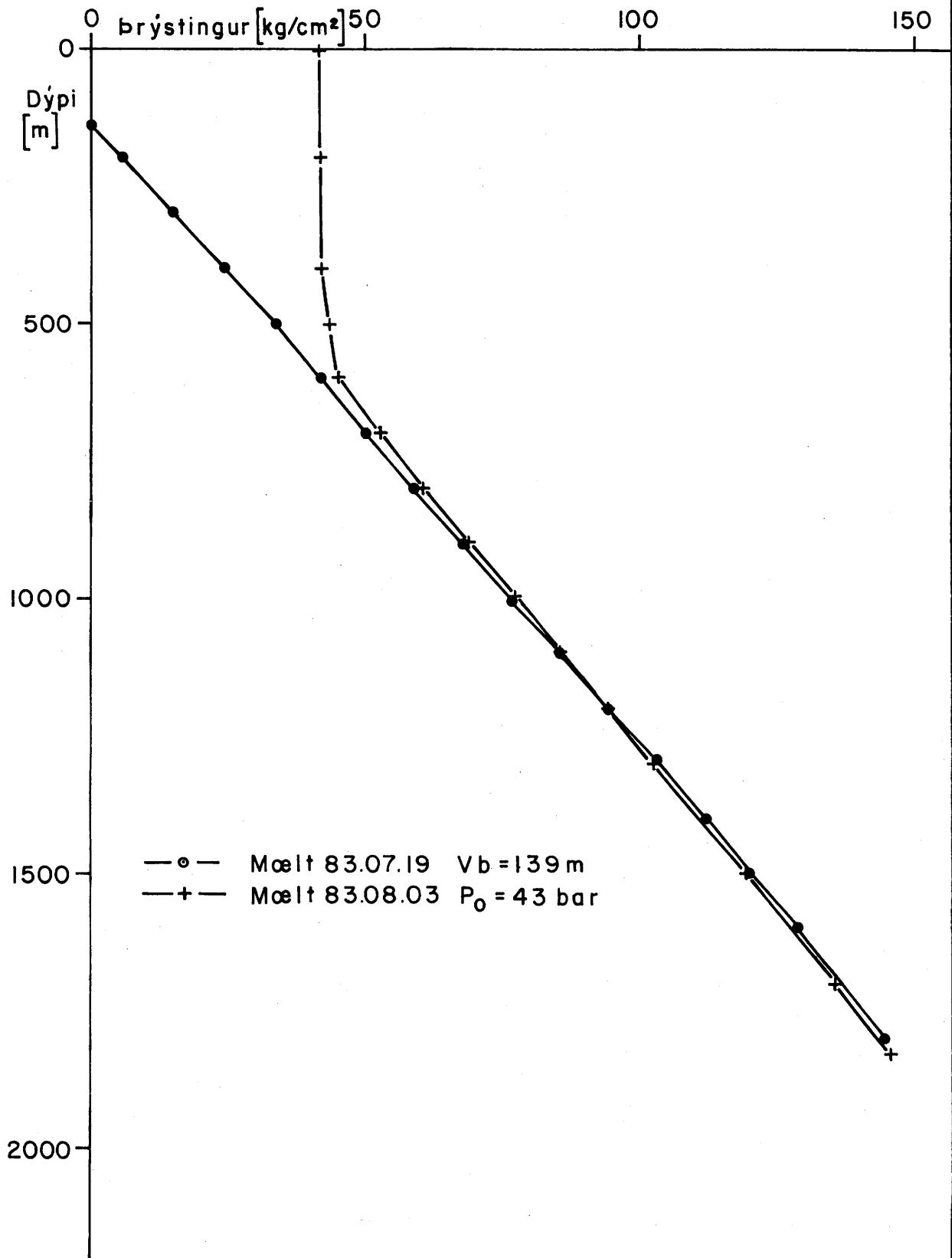
4 HITAMÆLINGAR

Allmargar hitamælingar voru gerðar í holu KJ-22 í upphitun eftir borun, og eftir að hún fór í blástur. Verður einungis fjallað hér um þær markverðustu.

Á mynd 4 eru sýndar niðurstöður nokkurra hitamælinga frá upphitunarskeiðinu. Elsta mælingin var gerð eftir 6-8 tíma upphitun. Sýnir hún millirennisli í holunni úr 600 m æðinni og niður. Ekki er augljóst út frá mælingunni hvar vatnið tapast út, en trúlega hefur einnig runnið inn í holuna um æðina í 1270 m dýpi, og hefur vatnið því tapast út um æðarnar neðan 1600 m dýpis. Æðarnar á 960-1165 m dýpi virðast hafa tekið lítinn þátt í millirennslinu í byrjun upphitunar, en samkvæmt hitamælingunum á mynd 4 setur rennsli úr þeim æ meiri svip á hitaferilinn eftir því sem lengra líður á upphitunina. Ástæðan fyrir þessu er ekki talin vera sú að rennsli úr æðunum á 960-1165 m dýpi hafi aukist með tímanum, heldur hin, að rennsli úr æðinni á 600 m dýpi hafi minnkað eða hætt alveg, og því komi æðarnar í kringum 1000 m dýpi betur í ljós í hitaferlinum. Er sú túlkun í samræmi við það að æðin á 600 m dýpi sé tengd gufulagi, enda mælist hitastig þar við suðumark (ca 260°C). Á mynd 4 sést að upphitunin var mjög hröð í fyrstu, eða fram til 29. júlí, en breyttist síðan sáralítið fram til 16. ágúst. Ofan 900 m dýpis var hitastig hátt 240-260°C, en neðri hluti holunnar mældist

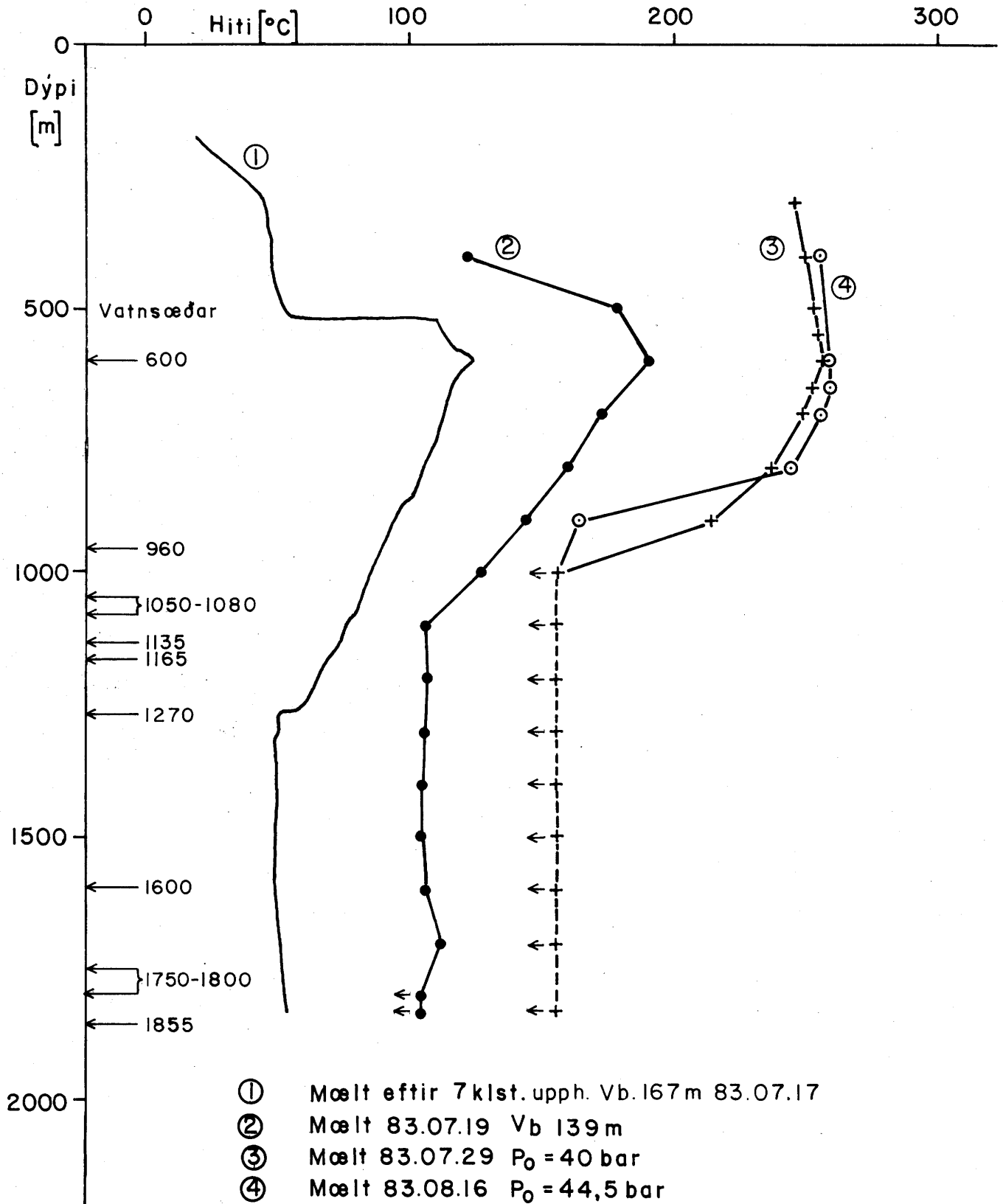


KRAFLA HOLA KJ-22 Þrýstimælingar í upphitun





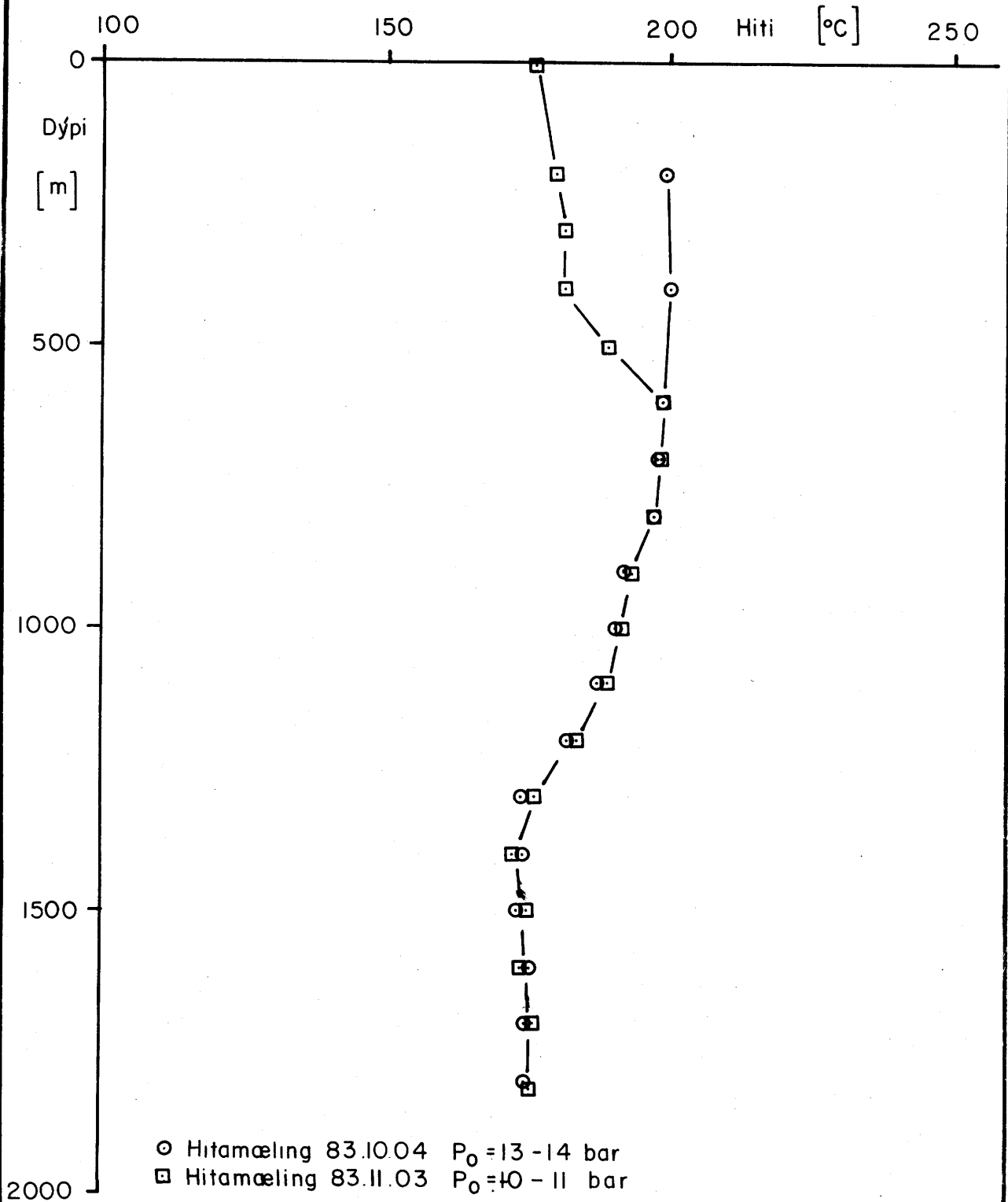
KRAFLA HOLA KJ-22 Hitamælingar í upphitun





KRAFLA HOLA KJ-22

Hitamælingar strax eftir blástur



allur kaldari en 155°C. Stóðu vonir til að berghiti á þessu dýpi væri mun hærri, og að lágt hitastig mánuði eftir að upphitun hófst væri vegna mikillar skolvatnskælingar í borun (samanber holur KJ-17 og KJ-20). Annað kom hins vegar á daginn þegar holan fór að blása. Botnhiti hækkaði lítið (sjá mynd 5) og er ljóst að neðan 1500 m dýpis er berghiti við holu KJ-22 aðeins um 175°C, en er t.d. á Leirbotnasvæðinu um 325°C, á sama dýpi.

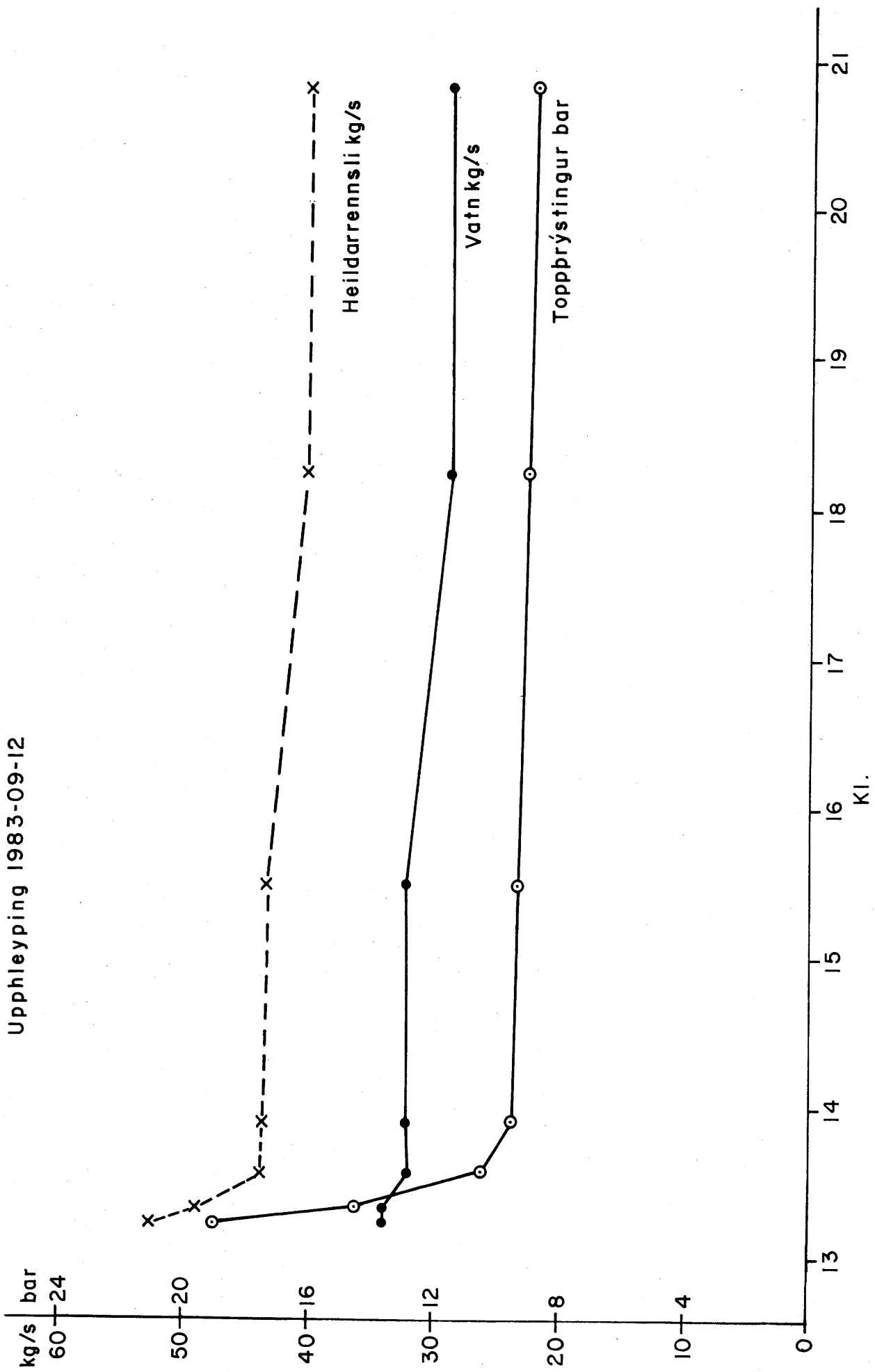
5 UPPHLEYPING

Á mynd 2 sést, að holan hafði í upphitun byggt upp 44,5 bar þrýsting, sem hafði haldist stöðugur í rúman hálfan mánuð, er gasblæðing hófst síðla kvölds 1983.08.18. Um hádegi 1983.08.19 var toppþrýstingur kominn í u.þ.b. 20 bar, og hófst upphleyping kl 13:12 þann dag. Gangur hennar (þ.e. breytingar á toppþrýstingi, heildarrennsli og vatnsrennsli) er sýndur á mynd 6. Toppþrýstingur féll niður fyrir 10 bar á rúmum hálf tíma, en síðan mun hægar, og var 8,8 bar kl 20:50 um kvöldið. Heildarrennsli var þá 40 kg/s og vatnsrennsli 28,8 kg/s. Við upphleypinguna gekk holutoppurinn upp um 27 mm.

6 AFL OG AFKÖST

Aflmælingar frá upphleypingu 1983.08.19 fram til 1984.01.06 eru skráðar í töflu 2, og aflsaga sama tíma rakin á myndum 7 og 8. Við ótruflað ástand verða lítils háttar sveiflur á rennsli og varmainnihaldi og stafa þær sennilega af sveiflum í hlutföllum milli heits rennslis úr efri æðum og kalds rennslis úr neðri æðum holunnar. Dagana 23.-29. sept. 1983 var sett í röð af blendum frá 125-75 mm að þvermáli til hækunar toppþrýstings og reyndist þannig unnt að fá punkta á afkastaferil fyrir þrýstingsbilið 5,8-11,8 bar a (mynd 9). Bendir afkastaferillinn til þess, að fá megi um 4 kg/s af gufu (miðað við 7 bar a skiljuþrýsting) úr holunni við 10 bar a mótþrýsting á holutoppi. Holan stóð lokuð 1983.10.04 - 25. Rennsli reyndist nokkru meira fyrst eftir opnun, en verið hafði fyrir lokun. Með tímanum dalaði það hinsvegar í fyrra horf, og hafði í byrjun janúar haldist stöðugt síðan í síðari hluta nóvembermánaðar.

KRAFLA HOLA KJ-22
Upphleyping 1983-09-12



TAFLA 2

AFLMÆLINGAR KRAFLA HOLA KJ-22

DAGSETNING ár, mán, dags.	TÍMI klukkan	DAGAR frá upp- hleypingu	P ₀ bar	P _c bar	STÚTUR mm	VATN cm	VATN kg/sek	H KJ/kg	Q _T kg/sek	$\frac{L}{Q}$	Q _G kg/sek	Q _{G7} kg/sek	ATH. nr.
83.08.19	13:15		19,0	3,2	155	23	34,0	1218	52,7		18,6	13,4	1)
- "	13:21		14,5	2,5	-	23	34,0	1109	49,0		15,0	9,8	
- "	13:35		10,5	1,8	-	22,5	32,2	1012	43,8		11,5	6,7	
- "	13:55		9,5	1,8	-	22,5	32,2	1012	43,8		11,5	6,7	
- "	15:30		9,3	1,75	-	22,5	32,2	1002	43,5		11,2	6,5	
- "	18:15		9,0	1,70	-	21,5	28,8	1059	40,2		11,4	7,1	
- "	20:50	0,316	8,8	1,65	-	21,5	28,8	1048	40,0		11,1	6,8	
.20	10:45	0,896	8,2	1,45	-	20,7	26,2	1059	36,6		10,4	6,5	
.21	13:45	2,02	7,7	1,40	-	20,3	25,0	1076	35,3		10,3	6,5	
.23	09:06	3,83	7,3	1,15	-	20,0	24,1	1035	33,2		9,0	5,5	
- "	21:15	4,33	7,3	1,22	-	20,0	24,1	1053	33,5		9,4	5,8	
.24	20:42	5,31	7,25	1,15	-	19,5	22,6	1072	31,9		9,2	5,8	
.26	14:30	7,05	7,0	1,12	-	19,0	21,2	1103	30,5		9,2	6,0	
.27	18:00	8,20	7,0	1,1	-	19,3	22,1	1074	31,1		9,0	5,7	
.29	18:45	10,2	6,9	1,12	-	19,6	22,9	1056	32,0		9,0	5,6	
.31	11:05	11,9	6,8	1,0	-	19,4	22,4	1038	30,8		8,5	5,1	
.09.02	19:50	14,3	6,7	0,97	-	19,2	21,8	1045	30,2		8,4	5,1	
.03	11:15	14,9	6,7	0,97	-	18,9	21,0	1068	29,4		8,5	5,3	

ATH. 1) Blenda 125 mm

TAFLA 2 (frh)

AFLMÆLINGAR KRAFLA HOLA KJ-22

DAGSETNING ár, mán, dags.	TÍMI klukkan	DAGAR frá upp- hleypingu	P ₀ bar	P _c bar	STÚTUR mm	VATN cm	VATN kg/sek	H KJ/kg	QT kg/sek	$\frac{1}{Q}$	QG ₁ kg/sek	QG ₇ kg/sek	ATH. nr.
83.09.04	10:45	15,9	6,7	0,96	155	18,8	20,7	1073	29,1		8,4	5,3	
.05	17:00	17,2	6,7	0,95	-	18,7	20,4	1076	28,8		8,4	5,4	
.06	17:05	18,2	7,0	0,93	-	18,6	20,1	1080	28,5		8,3	5,3	1)
.07	19:47	19,3	6,95	0,96	-	18,5	19,9	1097	28,4		8,5	5,5	
.08	15:35	20,1	5,8	1,00	-	19,2	21,8	1053	30,3		8,3	5,3	2)
- "	19:05	20,2	5,7	1,0	-	19,0	21,2	1069	29,8		8,6	5,4	
.09	08:35	20,8	5,6	0,96	-	19,0	21,2	1060	29,7		8,4	5,3	3)
.12	13:17	24,0	5,0	0,98	-	18,9	21,0	1071	29,5		8,5	5,4	4)
- "	17:24	24,2	5,0	0,97	-	18,9	21,0	1089	29,8		8,7	5,7	
- "	19:06	24,2	5,1	0,95	-	18,7	20,4	1099	29,2		8,6	5,7	
- "	21:20	24,3	5,0	0,98	-	18,9	21,0	1092	29,9		8,7	5,7	
.13	08:55	24,8	4,9	0,96	-	18,9	21,0	1086	29,8		8,6	5,6	
.14	13:05	26,0	4,9	0,94	-	18,9	21,0	1080	29,7		8,5	5,5	
- "	14:58	26,1	4,9	0,95	-	19,0	21,2	1054	29,6		8,3	5,2	
.15	08:10	26,8	4,9	0,94	-	18,8	20,7	1088	29,4		8,5	5,6	
.16	19:00	28,2	4,8	0,92	-	19,0	21,2	1045	29,4		8,2	5,0	
.19	15:00	31,1	4,85	0,95	-	19,0	21,2	1054	29,6		8,3	5,2	
.20	15:00	32,1	4,85	0,95	-	19,0	21,2	1054	29,6		8,3	5,2	

ATH. 1) Síriti hafður á P₀ frá kl 13:30 - 24:00, engin sveifla er á toppþrýstingi. 2) Lokað kl 13:18 og blenda tekin úr, P_{max} = 11,2 bar. Opnað kl 13:48. P_{min} = 4,0 kl 13:50. 3) kl 13:20 155 mm stútur tekinn úr. Opnað kl 13:48 og holað blæs frítt. P_{min} = 2,5 83.09.10-11. 4) 155 mm stútur settur í aftur um morguninn.

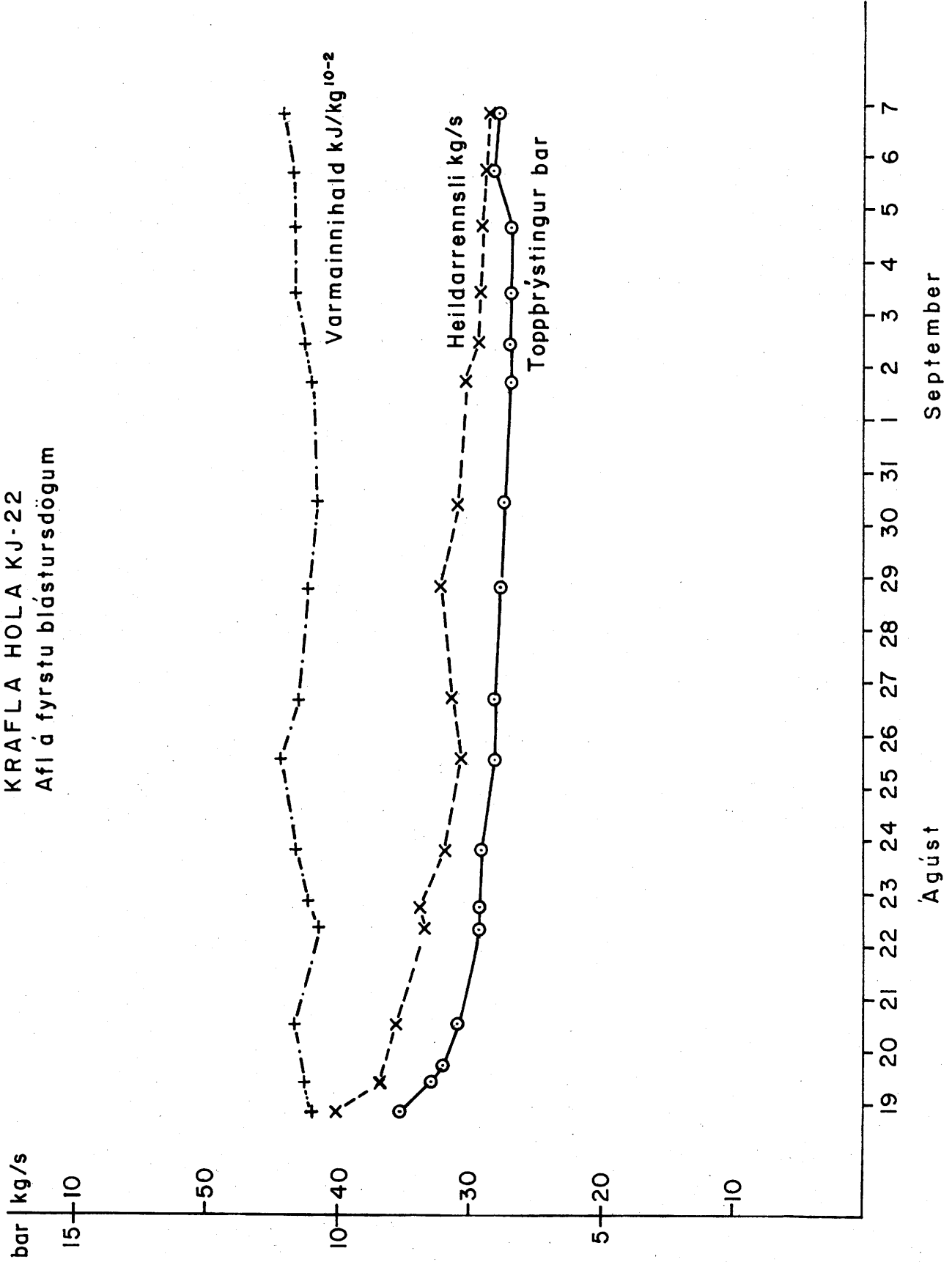
TAFLA 2 (frh)
KRAFLA HOLA KJ-22
AFLMÆLINGAR

DAGSETNING ör, mán, dags.	TÍMI klukkan	DAGAR fró upp- hleypingu	P ₀ bar	P _c bar	STÚTUR mm	VATN cm	VATN kg/sek	H KJ/kg	Q _T kg/sek	$\frac{I}{Q}$	QG kg/sek	QG kg/sek	ATH. nr.
83.09.21	17:30	33,2	4,8	0,92	155	18,8	20,7	1061	28,9		8,2	5,1	
.23	18:05	35,2	4,8	0,9	-	18,6	20,1	1071	28,3		8,2	5,2	1)
.24	11:20	35,9	6,1	0,8	-	18,4	19,6	1056	27,3		7,7	4,8	
- "	14:51	36,1	6,1	0,8	-	18,4	19,6	1056	27,3		7,7	4,8	2)
.25	13:15	37,0	7,5	0,6	-	17,7	17,8	1045	24,7		6,8	4,2	
.26	11:30	37,9	8,75	0,6	-	17,3	16,8	1079	23,8		7,0	4,4	3)
- "	17:04	38,2	8,6	0,58	-	17,4	17,1	1064	23,9		6,8	4,3	
.28	15:15	40,1	10,8	0,25	-	16,0	13,9	1053	19,3		5,4	3,4	4)
.29	08:40	40,8	10,7	0,25	-	16,2	14,3	1034	19,7		5,4	3,2	
.30	10:50	41,9	10,5	0,24	-	16,1	14,1	1039	19,5		5,4	3,2	
.10.04	17:00	46,2	10,5	0,32	-	16,0	13,9	1085	19,7		5,8	3,7	5)
.31	17:45	73,2	5,1	1,13	-	19,0	21,2	1106	30,5		9,3	6,1	
.11.03	17:00	76,2	5,25	1,15	-	19,1	21,6	1103	30,9		9,3	6,1	
.27	14:00	100	4,8	0,92	-		19,6	1093	28,0		8,4	5,4	
84.01.06	11:20	140	4,5	0,9	-		19,1	1104	27,4		8,3	5,4	

ATH. 1) 125 mm blenda sett í kl 18:45. 2) 100 mm blenda sett í kl 16:00. 3) 90 mm blenda komin í.

4) 75 mm blenda komin í. 5) Holu lokað, blenda tekin úr; opnuð aftur 1983.10.25.

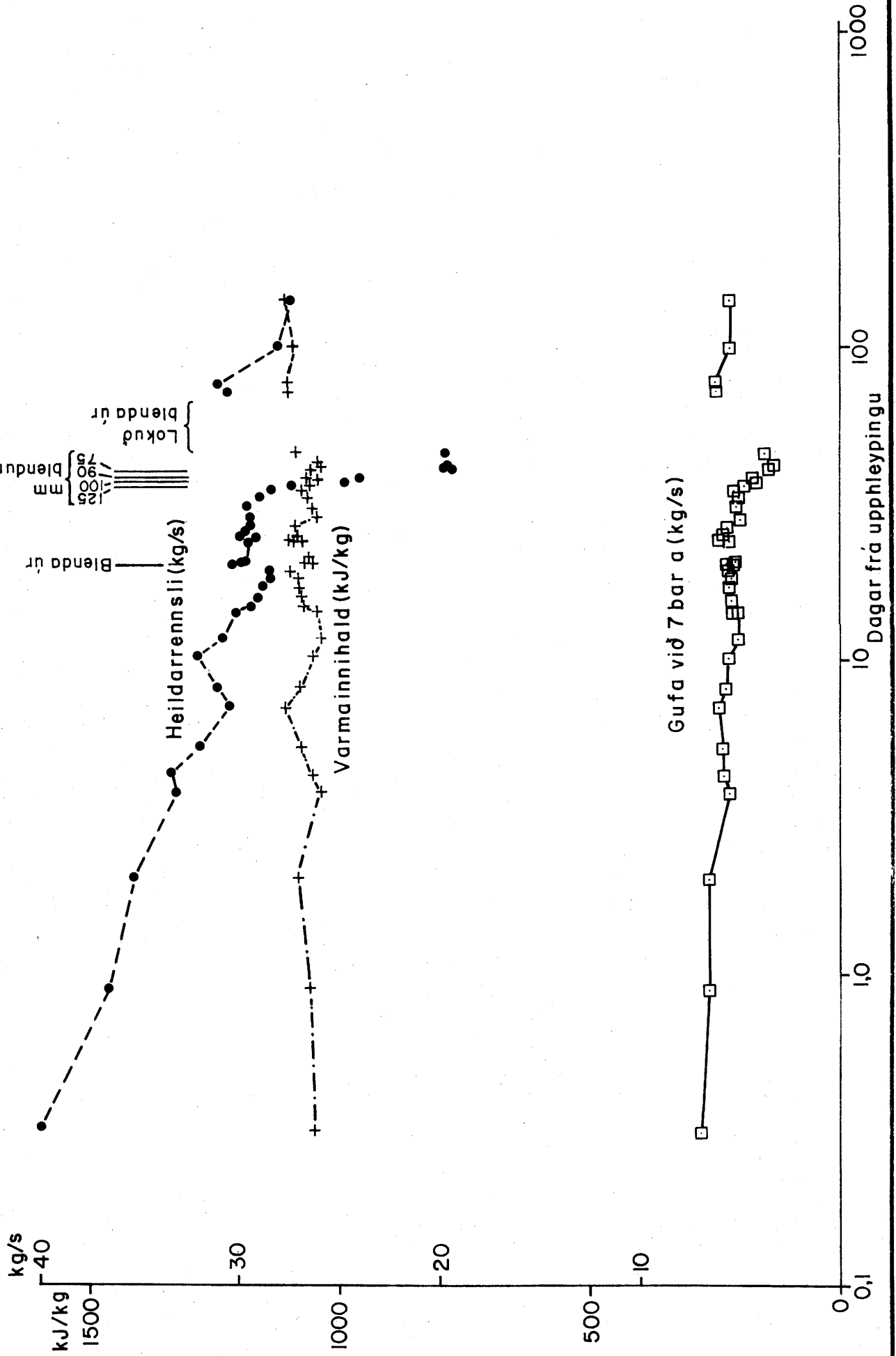
KRAFLA HOLA KJ-22 Afl á fyrstu blástursdögum



JHD-JEF-6607. HÁ
84.01.0075 SyJ

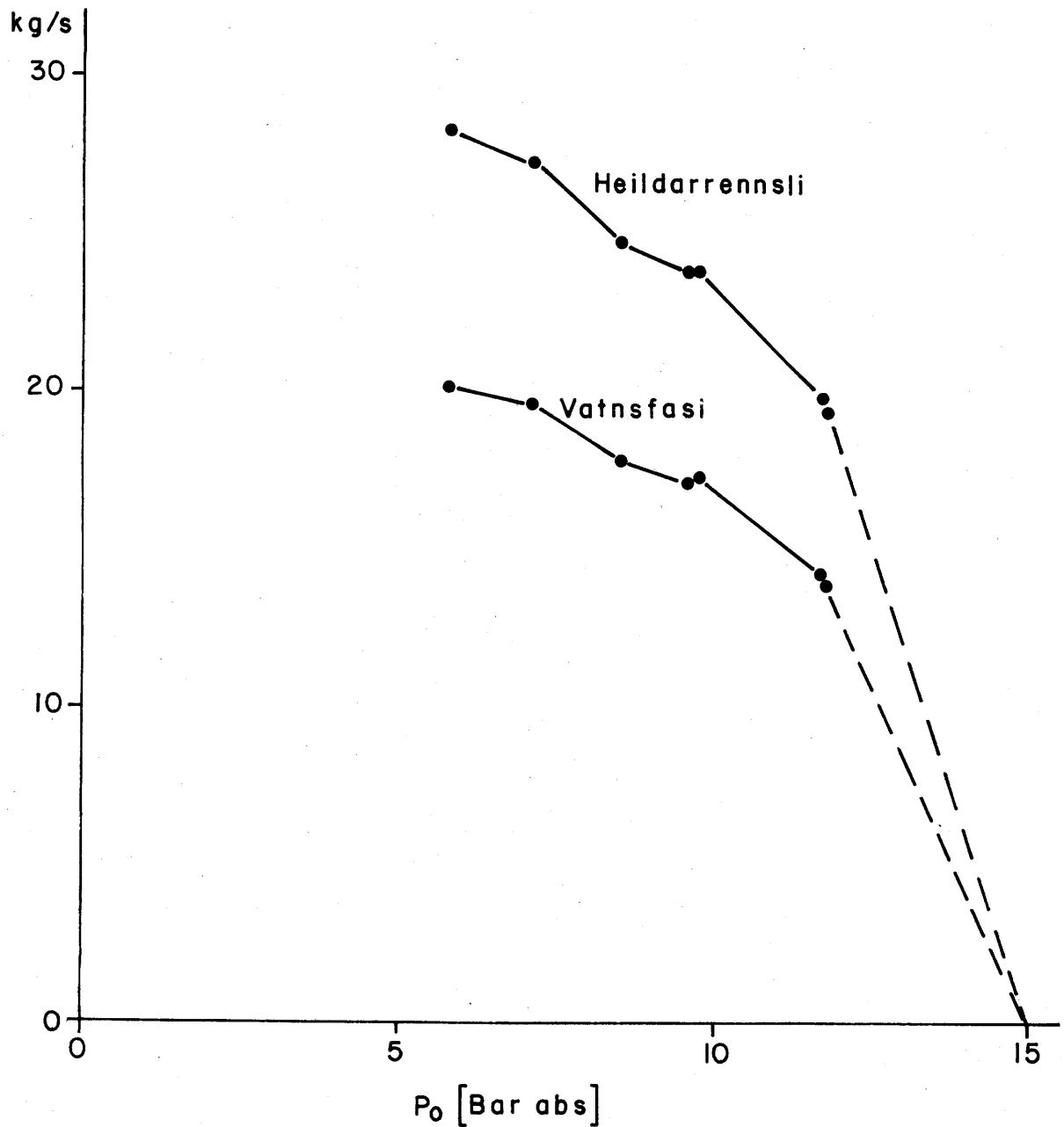
KRAFLA HOLA KJ-22
Afísaga 1983.08.19-1984.01.06

Mynd 8





KRAFLA HOLA KJ-22
Afkastaferill 1983.09.23-29



7 EFNASTYRKUR

Fimm sýni til efnagreininga hafa verið tekin úr holu KJ-22, síðan henni var hleypt upp. Heildarstyrkur efna í renni og styrkhlutföll milli einstakra efna voru reiknuð skv. forritunum HHEIL og HHLUT (Trausti Hauksson 1981). Niðurstöður eru í töflum 3 og 4. Þá eru nokkrir þættir varðandi samsetningu einstakra fasa sýndir í töflu 5. Þar vekja einkum athygli hátt sýrustig vatns og lítill gasstyrkur gufu, en hvorttveggja gerir gufuna ákjósanlega til vinnslu. Í töflu 6 eru nokkrir þættir efnasamsetningar nýjasta sýnisins bornir saman við sömu þætti nokkurra valinna sýna úr öðrum holum. Ekki er að sjá, að samsetning þess líkist samsetningu sýna úr neinum öðrum holum. Þó er samsetning vatnsfasa KJ-22 áþekk samsetningu vatnsfasa KJ-6, einkum eins og sú síðarnefnda var á fyrstu árum sínum. Gasstyrkur rennis þessara tveggja hola er hins vegar gjörólíkur, enda hefur KJ-6 borið merki kvikuvirkni, einkum fyrr á árum. Líklegt er, að renni KJ-22 sé blanda úr tvennskonar renni, heitu (u.þ.b. 260°C) úr efri æðum holunnar og kaldara (u.þ.b. 180°C) úr þeim neðri. Ekki er ósennilegt, að samsetning heita rennisins sé áþekk þeirri, sem þekkt er í holu KJ-21. Ekki er ljóst hvaðan hið kaldara er ættað, en sé litið til sprungna virðist rökrétt að álykta, að um afrennsli frá efrihluta jarðhitakerfisins í Leirbotnum sé að ræða. Um slíka blöndunarmöguleika verður fjallað nánar síðar í skýrslunni.

8 EFNAHITI

Við úrvinnslu Kröflugagna undanfarin ár hefur aðallega verið stuðst við kvarshita Fournier Rowe (1966), og í seinni tíð hafa Na/K-hiti og koldíoxíðhiti (Arnórsson o.fl. 1983) verið hafðir til hliðsjónar. Margt hefur verið ritað um efnahita hin síðustu ár, og hinar eldri aðferðir til ákvörðunar hans endurskoðaðar. Í þessari skýrslu eru formúlur Arnórssonar o.fl. (1983) notaðar til reikninga á kvarshita, Na/K-hita og koldíoxíðhita. Við reikninga kvarshita er jafnan tekið tillit til varmagnóttar ("excess enthalpy"), þar sem renni er vatns-gufublanda. Í töflu 7 eru sýndar niðurstöður reikninga á þeim þrenns konar efnahitum, sem að ofan getur, fyrir þrjú sýni úr holu KJ-22. Til samanburðar voru einnig valin sýni úr nokkrum öðrum holum. Ýmsar ástæður geta legið til þess, að efnahita, sem fundinn er á mismunandi hátt, ber ekki saman.

TAFLA 3 HOLA KJ-22. Styrkur efna

Dags.	Sýni	P _O	H _O	SiO ₂	Na	K	Ca	Mg	SO ₄	Cl	F	Uppl efni	CO ₂	H ₂ S	H ₂	CH ₄	N ₂	Rn	
nr	bar	a	kJ/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	cpm/kg
830819	1042	9,5	1048	229	96	11,1	3,4	0,03	115,2	28	0,72	550	537	68,9	2,39	1,89	169,86	870	
830821	1043	8,5	1076	252	98	11,5	2,9	0,02	102,6	32	0,73	570	394	65,7	1,87	1,23	82,97	1065	
830907	1045	8,0	1097	327	106	10,5	2,2	0,01	80,8	43	0,85	625	560	80,9	3,43	2,44	46,03		
830912	1048	6,0	1092	292	105	10,2	2,1	0,01	74,5	45	0,86	594	531	89,0	3,03	2,28	35,37		
831031	1072	6,1	1106	306	103	11,3	1,6	0,00	69,2	43	0,92	593	511	99,0	2,62	2,55	20,66	1150	
Meðaltal		7,6	1084	281	102	10,9	2,4	0,01	88,5	38	0,82	586	507	80,7	2,67	2,08	70,98	1028	
Staðalf.	%	20,0	2,1	14,2	4,2	4,8	29,3	67,2	22,2	19,9	11,0	4,8	12,9	17,2	22,3	25,9	84,4	14,0	

TAFLA 4. Krafla, Hóla KJ-22. Hlutföll efna í renni

Dags	Nr.	Ho/Si	Na/Cl	Na/K	Ca/F	Ca/SO ₄ x10 ³	CO ₂ /Cl	H ₂ /H ₂ S x10 ³	CO ₂ /H ₂ S	H ₂ /CO ₂ x10 ³	H ₂ S/SO ₄
	sýnis	kJ/mg	mg/mg	mg/mg	mg/mg	mg/mg	mg/mg	mg/mg	mg/mg	mg/mg	mg/mg
830819	1042	4,57	3,38	8,66	6,70	29,9	18,9	34,7	7,80	4,45	0,598
830821	1043	4,28	3,10	8,55	5,42	28,1	12,4	28,5	5,99	4,76,	0,640
830907	1045	3,36	2,45	10,1	3,00	26,7	12,9	42,4	6,92	6,13	1,00
830912	1048	3,74	2,35	10,2	2,81	27,9	11,9	34,1	5,97	5,70	1,19
831031	1072	3,62	2,36	9,10	1,93	23,8	11,8	26,4	5,16	5,12	1,43
Meðaltal		3,91	2,73	9,32	3,97	27,3	13,6	33,2	6,37	5,23	0,973
Staðalf. %		12,7	17,6	8,5	50,4	8,3	22,2	18,8	15,9	13,1	36,7

TAFLA 5. Krafla, hóla KJ-22. Sýrustig og kísilstyrkur vatnsfasa, gas í gufu

Sýni nr.	Dags.	Po bar	H kJ/kg	Vatnsfasi		Gufufasi	
				pH/°C	SiO ₂ mg/kg	CO ₂ mg/kg	Gas %
1042	83.08.19	8,5	1048	8,78/23	269		
1043	83.08.21	7,5	1076	8,85/24	303	2054	0,23
1045	83.09.07	6,95	1097	9,15/23	401	2806	0,31
1048	83.09.12	5,0	1092	9,15/24	366	2436	0,28
1072	83.10.31	5,1	1106	8,90/22	386	2252	0,26

TAFLA 6. Krafla. Valin sýni úr nokkrum holum. Gas-, natríum- og klóríðstyrkur í renni; og nokkur efnahlutföll.

Hola nr	Dags.	Gas %	Na mg/kg	Cl mg/kg	CO ₂ /H ₂ S mg/mg	H ₂ /H ₂ S ×10 ³ mg/mg	Na/Cl mg/mg	F/Cl ×10 ³ mg/mg	H ₂ S/SO ₄ mg/mg	Rn/Ca dpm/mg
KG-10	79.06.10	0,075	122	14	7,5	3,8	8,5	37	0,62	
KJ-17	83.07.29	0,069	80	14	7,2	52,8	5,6	125	41,5	3973
KG-8	83.07.31	0,030	186	28	4,2	7,4	6,7	36	0,34	208
KJ-11	83.08.09	1,01	79	19	32,8	20,8	4,2	36	5,8	968
KJ-6	76.10.20	1,19	95	31	66,5	34,9	3,1	23	2,3	
KJ-6	83.11.04	0,18	111	19	14,5	21,6	5,7	55	1,4	942
KJ-21	83.11.01	0,29	115	104	8,2	34,8	1,1	4,0	20,6	4927
KJ-22	83.10.31	0,061	103	43	5,2	26,4	2,4	21	1,4	719

TAFLA 7. Krafla. Valin sýni úr nokkrum holum. Efnahiti (Arnórsson et al. 1983).

Hola nr.	Sýni nr.	Dags	Kvars-hiti °C	NaK-hiti °C	CO ₂ -hiti °C	Líklegt hitastig skv. hitamælingum °C
KW-2	1013	79.03.12	220	192	223	193
KG-8	1035	83.08.02	215	223	213	210
KJ-21	1073	83.11.01	272	269	265	260
KJ-22	1045	83.09.07	223	215	236	210
"-	1048	83.09.12	214	214	235	210
"-	1072	83.10.31	218	229	232	210
KJ-11	1041	83.08.09	256	259	288	300
KJ-6	0143	76.10.20	280	274	292	280
KJ-6	1081	83.11.04	261	274	261	280
KG-10	1029	79.06.10	218	186	236	185
KJ17	1033	83.07.29	267	267	265	265-295

Í þeim tilfellum, sem hér um ræðir, má líta svo á, að kólnun heits rennis hafi valdið breytingum á efnahita. Kólnunin getur farið fram á tvennan hátt, þ.e. með blöndun við kaldara renni eða við varmaleiðni, sem verður þegar rennið kemst í snertingu við kaldara berg. Í töflu 8 er rakið hver áhrif hvor tegund kólnunar hefur á þær þrjár tegundir efnahita, sem til umfjöllunar eru. Þar er gert ráð fyrir, að blöndun fari fram í eða við holu, og rennið hafi ekki haft tækifæri til að ná nýju jafnvægi við berg, áður en sýni er safnað við holutopp.

Dæmi um áhrif blöndunar kalds rennis við heitt á efnahita er rakið í töflu 9. Efnasamsetning þess heita er þannig valin, að hún gæti sýnd dæmigert neðrihlutarenni frá Leirbotnum, sem hefði kólnað svo hratt í u.þ.b. 220°C , að jafnvægi væri ekki fullkomlega náð í hvörfum kísils og alkalímálma, þannig að kvarshiti er u.þ.b. 240°C og natrium/kalíumhiti u.þ.b. 250°C . Koldíoxíðhiti hefur hins vegar náð jafnvægisgildi (ca 220°C). Efnasamsetning kalda rennisins er miðuð við natriúmríkt efrihlutarenni (sbr holu KW-2) og gert ráð fyrir, að jafnvægi hafi verið náð í þeim hvörfum, sem máli skipta fyrir efnahita, og reynist því kvarshiti \approx Na/K-hiti \approx CO₂-hiti ($\approx 180^{\circ}\text{C}$). Útkoman sýnir, að heita rennið hefur afgerandi áhrif á koldíoxíðhita blöndunnar, kvarshiti er heldur í hærra lagi, en í þessu tilviki ræður kaldara rennið mestu um Na/K-hita og ræður því hinn mikli natriúmstyrkur þess. Áhrif af þessu tagi geta skýrt efnahita í holu KW-2, en í holu KG-8 virðist ekki koma til slík nýleg blöndun við kalt renni, heldur er leiðnikólnun sennilega ráðandi ferli. Kvarshiti og koldíoxíðhiti hafa þar nálgast mældan hita, en Na/K-hiti á heldur lengra í land.

9 BLÖNDUN RENNIS ÚR EFRI OG NEÐRI ÆÐUM

Hér að framan var fjallað um áhrif blöndunar tvenns koðar rennis, í eða við holu, á efnahita. Sé talið líklegt, að slík blöndun fari fram, ætti að vera unnt að fá einhverjar upplýsingar um blandþætti með athugun á efnahita. Önnur leið til slíkrar vitneskju er könnun á styrk efna, sem ekki taka beinan þátt í efnahvörfum við berg og eru því ekki háð ytri skilyrðum eins og hita og þrýstingi. Dæmi um slíkt efni er klóríð.

Í töflu 10 eru nokkur blöndunarlíkön athuguð.

TAFLA 8. Efnahiti. Áhrif kólnunar á mæld gildi

Tegund efnahita	Áhrif kólnunar vegna skyndi-blöndunar kalds rennis við heitt	Áhrif leiðnikólnunar
Kvars-hiti	Kísilstyrkur minnkar, en oft ekki það mikið, að kvarshiti lækki strax niður að hita blöndu, einkum ef heitara rennið er mjög heitt.	Jafnvægi næst tiltölulega fljótt. Þó getur liðið nokkur tími, áður en kísilhiti lækkar um síðustu gráðurnar og nær raunverulegum hita
Aklalí-hiti	Afstæður styrkur Na í heita og kalda renninu ræður Na/K hlutfalli blöndu, og því Na/K-hita. Sé t.d. heita rennið tiltölulega natríum-snautt, ræðst Na/K-hiti af styrk Na í því kalda o.s.frv.	Skiptihvörf Na og K við steindir ganga yfirleitt hægar en leysing og felling kvars, og líður tiltölulega lengri tími, áður en jafnvægi er náð. Alkalíhiti er því tiltölulega lengi að ná réttum hita.
Koldíoxíð-hiti	Ræðst af styrk koldíoxíðs í gufuhluta. Hlutur gufu frá köldu renni er yfirleitt miklu minni en frá heitu, og ræður því koldíoxíðstyrkur þess heita miklu meiru.	Jafnvægi næst tiltölulega fljótt, og réttur hiti næst eftir skamman tíma.

Eins og áður er að vikið, er talið líklegt, að í efri hluta holu KJ-22 sé mjög svipað renni og í holu KJ-21, og er gert ráð fyrir því í þessum reikningum, þar sem um tiltölulega heitt renni (t. 260°C) er þar að ræða yrðu áhrif þess á koldíoxíðhita mjög afgerandi og er hann því ekki kannaður frekar hér.

Að framan er þess einnig getið, að kaldara rennið gæti verið runnið frá efrihluta jarðhitakerfisins í Leirbotnum, og er dæmigert vatn þar að finna í holu KG-8. Fyrsta tilraunin er bein (1+1) blöndun sýna úr holum KJ-21 og KG-8. Útkoman er harla ólík þeirri, sem samsetning rennis KJ-22 gefur. Efnahiti, klóríðstyrkur og styrkur alkalímálma eru of háir. Aukinn hlutur kaldara rennis yki styrk alkalímálma, þó að aðrir þættir lækkuðu. Í annarri tilraun er notað kaldara efrihlutarenni eins og t.d. úr KW-2 og lagast útkoman nokkuð, nema að styrkur alkalímálma og klóríðs er enn of mikill. Niðurstaðan er því sú að ólíklegt er, að vatn í neðri æðum holu KJ-22 sé ættað beint frá efrihluta Leirbotnasvæðisins. Í þriðju tilraun er hins vegar farin sú leið, að velja natríum og klóríðstyrk þannig, að nokkuð rétt útkoma fáiast við blöndun, og síðan er blandað í þremur mismunandi hlutföllum. Síðasta tilraunin er mjög svipuð, nema að gert er ráð fyrir, að um leiðnikólnandi vatn sé að ræða, og Na/K-hlutfall hafi ekki náð jafnvægisgildi, þannig að Na/K-hiti sé enn 195°C, þótt vatnið hafi kólnað í 179°C.

Niðurstaða þessara reikninga er sú, að líklegur hlutur kalds rennis sé 0,6-0,7, klóríðstyrkur 0-10 mg/kg, Na-styrkur 95-110 mg/kg, og hitastig 175-200°C. Samsetning þessa rennis er ólík þeirri, er finnst í renni efrihlutahola eins og KG-8 og KW-2. Þó má geta þess, að í einu sýni úr KG-10 (sjá töflu 6) hefur fengist samsetning, sem nálgast þessa. Efnasamsetning rennis þeirrar holu hefur reynst sveiflukennd, sennilega vegna mismunandi mikillar blöndunar við neðrihlutarenni, og er hæpið að draga miklar ályktanir af einu sýni. Það, sem þar gerist er að öllum líkindum minnkun natríum- og klóríðstyrks vegna áhrifa neðrihlutarennis. Einn möguleiki er því, að kólnandi blanda efri- og neðrihlutarennis finnst í neðri hluta holu KJ-22. Efnasamsetning rennis sumra Suðurhlíðahola (t.d. KJ-17, sjá töflu) líkist í veigamiklum atriðum þeirri, sem úr reikningunum fékkst. Annað er þó mjög ólíkt (t.d. F/Cl hlutfall) og landfræðileg lega mælir eindregið gegn því, að um beint samband milli Suðurhlíða og

Hvíthóls geti verið að ræða. Hins vegar hefur sú hugmynd komið upp, að slíkt vatn í Suðurhlíðum eigi uppruna sinn í gufu, sem hafi þétt, tekið upp efni úr bergi og kólnað, og sé því klóríðsnautt. Ekki er loku fyrir það skotið, að uppruni kalda rennisins hér sé svipaður, þótt það sé ekki ættað úr Suðurhlíðum.

10 ÚTFELLINGAÆTTA

Gasstyrkur rennis holu KJ-22 er lítill og $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ hlutfall lágt. Er þetta túlkað sem merki um lítill sem engin áhrif kvikugasa. Þá fundust engin merki um járn leyst í vatnssýni nr. 1072 ($\text{Fe} < 0,1 \text{ mg/kg}$). Því er ákaflega lítil hætta á járnsúlfíðfellingum af því tagi, sem fundust í borholum, sem vinna úr neðrihluta jarðhitakerfisins í Leirbotnum.

Steindajafnvægi og spesíun hafa verið reiknuð skv forritinu WATCH1 (Hörður Svavarsson 1981). Samanburður á jónamargfeldi kalsíum og karbónatjóna og leysnimargfeldi kalsíts, miðaður við suðu frá kvarshita í 100°C er gerður á tveimur sýnum úr KJ-22 og einu úr KJ-9, á mynd 10. Þar kemur fram, að renni KJ-22 er greinilega yfirmettað með tilliti til kalsíts. Þó er yfirmettunin töluvert minni en í KJ-9, svo að ekki er við jafn kröftugum kalsítútfellingum að búast og þar. Ámóta yfirmettun og í KJ-22 reiknaðist í KJ-21, þó að mettun næðist þar ofan við 100°C (Benedikt Steingrímsson o.fl. 1983). Sú hola hefur nú blásið á annað ár og ekki orðið vart við útfellingar. Ópalmettun var könnuð í sýni nr. 1072 frá 1983.10.31. og reyndist ópalmettunarþrýstingur 1,1 bar a við $\text{pH} = 8,0$. Því ætti engin hætta að vera á ópalútfellingum.

TAFLA 9. Blöndun eins hluta 220°C kólnandi rennis og ein hluta 180°C rennis í efnajafnvægi í borholu. Áhrif á efnahita.

	t°C	SiO ₂ mg/kg rennis	Na mg/kg rennis	K mg/kg rennis	CO ₂ mg/kg gufu v/l bar a	kvars- hiti °C	Na/K- hiti °C	CO ₂ - hiti °C
Renni A	220	450	62	9	1200	240	251	221
Renni B	180	214	210	12,7	620	179	179	179
Meðaltal	200	332	136	10,85	(972)	210	215	200
Efnahiti blöndu						213	198	211

1) Styrkur í gufu eftir blöndun

TAFLA 10 Krafla, hola KJ-22. Nokkur hugsanleg blöndunarlíkön

Heitt bland	Kalt bland	Hluti heits blands	Hluti kalds blands	Na mg/g	K mg/g	kvars-hiti °C	Na/K-hiti °C	Cl mg/g
A		1	0	115	21,2	272	269	104
	C	0	1	186	20,5	215	223	28
A	C	1/2	1/2	150,5	20,85	241	243	66
B		1	0	115	19,3	260	260	104
	D	0	1	210	12,7	179	179	28
B	D	1/2	1/2	162,5	16,0	228	214	66
	E	0	1	105	6,4	179	179	0
B	E	1/2	1/2	110	12,85	228	231	52
B	E	5/12	7/12	109	11,8	222	222	43
B	E	1/3	2/3	108	10,7	215	214	35
	F		1	105	8	179	195	10
B	F	1/2	1/2	110	13,65	228	233	57
B	F	5/12	7/12	109	12,9	222	229	49
B	F	1/3	2/3	108	11,8	215	222	41

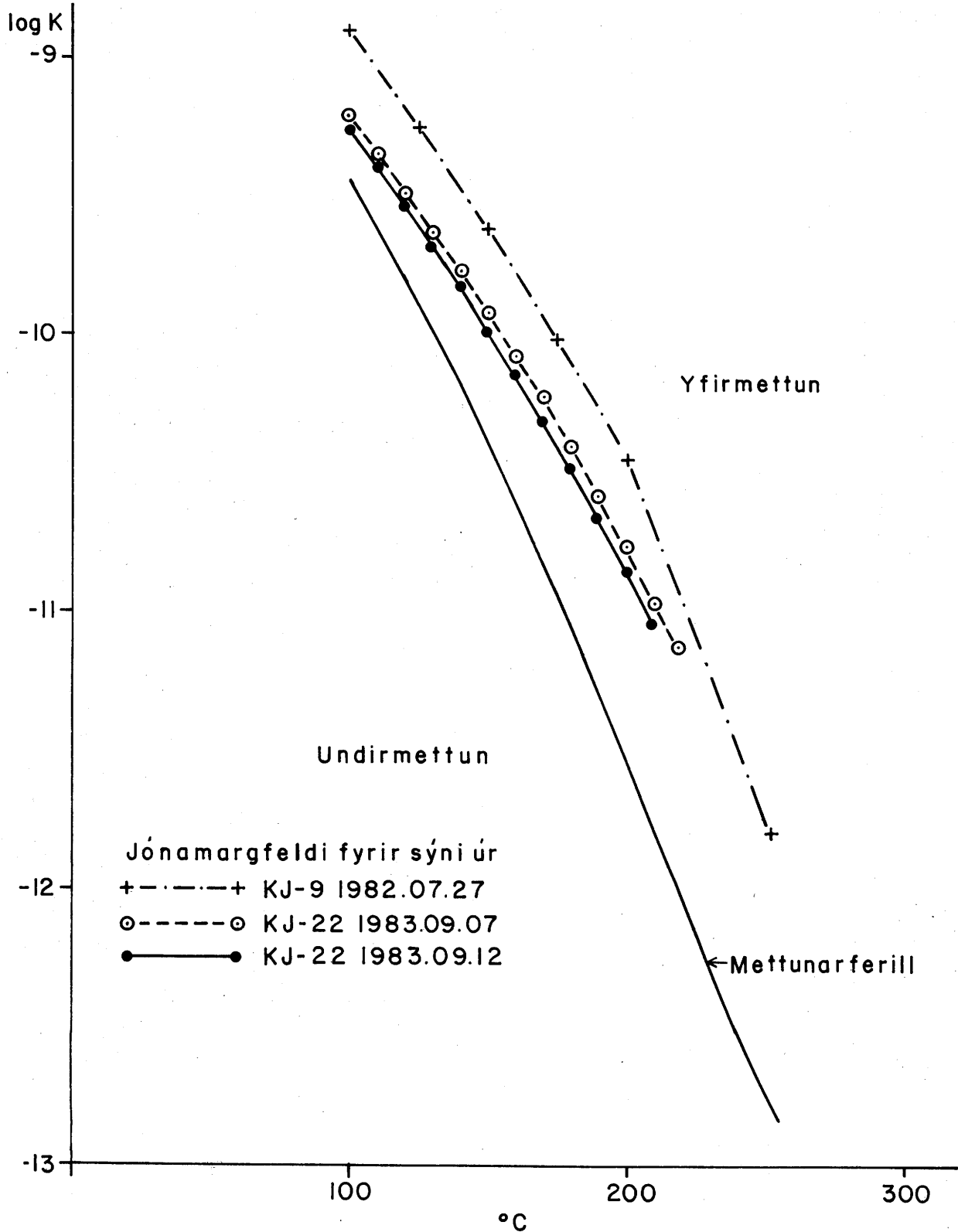
Skýringar

Heitt bland: A=Hola KJ-21, sýni nr 83.1073. B: Efnasamsetningu sama sýnis breytt þannig, að Kísil- og alkalíhiti verði 260°C.

Kalt bland: C=Hola KG-8, sýni nr 83.1035. D: Efnasamsetningu þess sýnis breytt með hliðsjón af sýni nr 80.1020 úr holu KW-2, þannig, að kvars- og alkalíhiti verði 179°C. F: Na-styrkur stilltur þannig, að styrkur rennis KJ-22, komi líklega fram við blöndun við renni KJ-21, þ.e. 105 mg/kg. Cl-styrkur settur sem 0 af svipuðum ástæðum. SiO₂ og K styrkir síðan fundnir þannig, að kvarshiti og NaK-hiti verði 179°C. F: Cl styrkur settur sem 10, og gert ráð fyrir, að Na/K hiti hafi ekki náð hinum raunverulega hita (u.þ.b. 180°C), heldur sýni enn 195°C hita, en kvars hafi náð jafnvægishita.



KRAFLA. HOLUR KJ-9 OG KJ-22 Jónamargfeldi kalsíts og mettunarferill í vatni



HEIMILDIR

Arnórsson, S., Gunnlaugsson, E. & Svavarsson, H. 1983: The chemistry of geothermal waters in Iceland: III. Chemical geothermometry in geothermal investigations. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 47, 567-577.

Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt S. Steingrímsson, Dagbjartur Sigursteinsson, Guðjón Guðmundsson, Guðmundur Ó. Friðleifsson, Hjörtur Tryggvason & Ómar Sigurðsson 1983: Krafla hola KJ-22. Borun vinnsluhluta holunnar, frá 567 m til 1877 m. Orkustofnun, OS-83071/JHD-22 B, 21 s.

Benedikt Steingrímsson, Halldór Armannsson & Jón Benjamínsson 1983: Krafla hola KJ-21. Upphitun upphleyping og blástur. Orkustofnun, OS-83013/JHD-03 B, 40 s.

Fournier, R.O. & Rowe, J.J. 1966: Estimation of underground temperatures from the silica content of water from hot springs and wet steam wells. *Am.J.Sci.*, 264, 685-697.

Hörður Svavarsson 1981: Forritin "WATCH1" og "WATCH3". Hjálpartæki til túlkunar efnagreininga á jarðhitavatni. Leiðbeiningar fyrir notendur. OS-81007/JHD03, 70 s.

Stefán Arnórsson, Einar Gunnlaugsson & Hörður Svavarsson 1983: Sjá Arnórsson, S., Gunnlaugsson, E. & Svavarsson, H. 1983.

Trausti Hauksson 1981: Lýsing á forritunum LHEIL, HHEIL, LHLUT og HHLUT. Orkustofnun, TH-81/07, 20 s.