



ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

KRAFLA - EFTIRLIT

Borholumælingar í júlí 1989

Grímur Björnsson, Guðlaugur Hermannsson,
og Benedikt Steingrímsson

Unnið fyrir Landsvirkjun

OS-89061/JHD-31 B

Desember 1989



ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

Verknr. 612661

KRAFLA - EFTIRLIT

Borholumælingar í júlí 1989

Grímur Björnsson, Guðlaugur Hermannsson,
og Benedikt Steingrímsson

Unnið fyrir Landsvirkjun

OS-89061/JHD-31 B

Desember 1989

EFNISYFIRLIT

1. INNGANGUR	5
2. LÝSING MÆLINGA Í EINSTÖKUM HOLUM	8
2.1 Hola KG-5	8
2.2 Hola KJ-6	11
2.3 Hola KG-10	16
2.4 Hola KJ-13	18
2.5 Hola KJ-16	22
2.6 Hola KJ-18	26
2.7 Hola KJ-21	32
2.8 Hola KJ-23	36
2.9 Hola KG-24	40
2.10 Hola B-9	43
2.11 Hola BJ-12	44
3. ÁFRAMHALD MÆLINGA	45
4. SAMANTEKT UM HITA- OG ÞRÝSTIBREYTINGAR Á VINNSLUSVÆÐUM KRÖFLUVIRKJUNAR	46
4.1 Efri hluti Leirbotna	46
4.2 Neðri hluti Leirbotna	46
4.3 Samanburður við niðurstöður hermirekninga fyrir Leirbotna	47
4.4 Suðurhlíðar Kröflu	48
4.5 Samanburður við niðurstöður hermireikninga fyrir Suðurhlíðar	49
4.6 Hvíthólasvæðið	49

MYNDASKRÁ

Mynd	bls.
1 Hitamælingar í holu KG-5	8
2 Hiti á 600 og 1000 m dýpi í holu KG-5	9
3 Þrýstingur á 600 og 1000 m dýpi í holu KG-5	10
4 Hitamælingar í holu KJ-6	11
5 Þrýstimælingar í holu KJ-6	12
6 Hiti á 600 og 1000 m dýpi í holu KJ-6	13
7 Þrýstingur á 600 og 1000 m dýpi í holu KJ-6	14
8 Vatnsborð í holu KJ-6	15
9 Hitamælingar í holu KG-10	16
10 Hiti á 800 m dýpi í holu KG-10	17
11 Hitamælingar í holu KJ-13	19
12 Þrýstimælingar í holu KJ-13	20
13 Hiti og þrýstingur á 1000 m dýpi í KJ-13	21
14 Hitamælingar í holu KJ-16	22
15 Þrýstimælingar í holu KJ-16	23
16 Hiti á 1200 og 1600 m dýpi í holu KJ-16	24
17 Þrýstingur á 1200 og 1600 m dýpi í holu KJ-16	25
18 Hitamælingar í holu KJ-18 árið 1989	26
19 Hitamælingar í holu KJ-18	27
20 Þrýstimælingar í holu KJ-18	28
21 Hiti á 1200 og 1600 m dýpi í holu KJ-18	29
22 Þrýstingur á 1200 og 1600 m dýpi í holu KJ-18	30
23 Vatnsborð í holu KJ-18	31
24 Hitamælingar í holu KJ-21	32
25 Þrýstimælingar í holu KJ-21	33
26 Hiti á 600 og 1200 m dýpi í holu KJ-21	34
27 Þrýstingur á 600 og 1200 m dýpi í holu KJ-21	35
28 Hitamælingar í holu KJ-23	36
29 Þrýstimælingar í holu KJ-23	37
30 Hiti á 600 og 1000 m dýpi í holu KJ-23	38
31 Þrýstingur á 600 og 1000 m dýpi í holu KJ-23	39
32 Hitamælingar í holu KG-24	41
33 Þrýstimælingar í holu KG-24	42
34 Hitamælingar í holu B-9	43
35 Reiknaður þrýstingur í Neðri-Leirbotnum við mismikla vinnslu	50
36 Reiknað gufuhlutfall í Neðri-Leirbotnum við mismikla vinnslu	51
37 Reiknaður þrýstingur í Suðurhlíðum við mismunandi randskilyrði	51

TÖFLUSKRÁ

Tafla		bls.
1	Yfirlit um borholumælingar 1989	5
2	Allar Amerada hita- og þrýstimælingar 1989	6
3	Hitamæling frá 27 júní 1989 í KJ-18	7
4	Körfumælingar í holu KG-24	40

1. INNGANGUR

Nú liggja fyrir niðurstöður af körfu-, hita- og þrýstímælingum sem gerðar voru í borholum í Kröflu í júlí 1989. Mælingar þessar eru einn þáttur í reglubundnu eftirliti sem Orkustofnun annast fyrir Kröfluvirkjun.

Um er að ræða 16 hita- og þrýstímælingar í holum KG-5, KJ-6, KG-10, KJ-13, KJ-16, KJ-18, KJ-21, KJ-23 og KG-24, auk einnar hitamælingar í holu B-9 í Bjarnarflagi. Þá var hola KG-24 körfumæld og hola BJ-12 lóðuð. Alls voru mældir 27,634 m í mælitúrnum. Yfirlit um mælingarnar er að finna í töflu 1, en tafla 2 geymir öll Amerada mæligildi hita og þrýstings í umræddum holum. Í töflu 3 er hins vegar að finna mæligildi hitamælingar sem gerð var í holu KJ-18 í júní 1989.

Tafla 1. Yfirlit um borholumælingar í Kröflu sumarið 1989.

Hola	Dags.	Hiti		Þrýstingur		Lóðun Metrar	Vatnsb. (m)	Toppþr. (bar-y)
		Metrar	Nemi	Metrar	Nemi			
KG-5	21 júlí	0-1153	68554				88-94	
KJ-6	22 júlí	0-1200	70525	0-1200	51948		42.5	
KG-10	21 júlí	0-800	68554				107.5	
KJ-13	19 júlí	0-1080	68554	0-1080	51948	1091		2.2
KJ-16	25 júlí	0-1922	70525	0-1922	51948			20-21
KJ-18	23 júlí	500-2186	68554	0-2186	51948		208.7	
KJ-21	24 júlí	0-1000	70525	0-1000	51948			37
KJ-23	24 júlí	0-1927	68554	0-1929	51948			7.5
KG-24*	20 júlí	0-1381	68554	0-1381	51948		57.5	
B-9	22 júlí	0-843	70525					28
BJ-12	26 júlí					870		40-80
Alls		13.492		10.698		1960		

* Þá var hola einnig körfumæld, sjá kafla um holu KG-24.

Sá háttur er hafður á við uppröðun skýrslunnar, að sérhverri holu er tileinkaður sérkafla þar sem lýst er mælingum ársins og þær bornar saman við eldri mæligögn. Þá verður rætt um hvernig best sé að haga borholumælingum í nánustu framtíð með tilliti til sem mestrar gagnsemi eftirlitsins. Að lokum er reynt að meta áhrif vinnslu á Kröflugeyminn frá einu vinnslusvæði til annars, og mældar breytingar bornar saman við spár byggðar á hermireikningum.

Hóla Mældagur Dýpi (m)	KG-5		KJ-6		KG-10		KJ-13		KJ-16		KJ-18		KJ-21		KJ-23		KG-24		B-9	
	21/7 '89 (°C)	22/7 '89 (kg/cm ²)	22/7 '89 (°C)	22/7 '89 (kg/cm ²)	21/7 '89 (°C)	19/7 '89 (kg/cm ²)	19/7 '89 (°C)	25/7 '89 (°C)	25/7 '89 (kg/cm ²)	23/7 '89 (°C)	23/7 '89 (kg/cm ²)	24/7 '89 (°C)	24/7 '89 (kg/cm ²)	24/7 '89 (°C)	24/7 '89 (kg/cm ²)	24/7 '89 (°C)	24/7 '89 (kg/cm ²)	20/7 '89 (kg/cm ²)	20/7 '89 (°C)	22/7 '89 (°C)
.0						2.3	172.9	17.8						240.2	36.5	7.7				
100.0			5.5			2.0	226.7	26.7						250.4	36.7	7.2				
200.0	167.0		15.7		168.6	4.5	226.7	26.7						250.4	36.9	9.5	13.3	162.9	162.9	228.6
300.0	188.4		25.1		191.4	13.4	226.7	26.7			9.1			251.6	37.2	16.7	22.3	185.2	185.2	231.7
400.0	190.4		34.6		181.3	22.4	244.8	36.4			18.9			251.0	37.4	23.7	31.7	190.2	190.2	235.2
500.0	196.9		43.2		180.4	31.3	250.9	41.4			28.8			251.3	37.6	31.1	40.7	191.4	191.4	245.8
600.0	201.5		52.1		180.9	40.2	256.0	46.4			38.5			251.9	37.8	39.6	49.7	190.5	190.5	246.2
650.0																				
700.0	208.8		60.6		184.8	48.8	259.3	49.4			48.1			255.3	42.0	47.8	58.7	190.5	190.5	246.8
750.0														258.7						
800.0	208.8		69.1		183.9	57.4	266.5	56.6			57.9			261.7	49.4	56.1	67.6	190.5	190.5	249.4
843.0																				
850.0																				
900.0	199.9		77.3			65.9	272.5	62.8			67.5			262.5	57.2	64.3	76.4	196.8	196.8	251.6
950.0														260.4						
1000.0	196.6		85.1		196.6	74.2	279.8	69.5			77.0			249.8	65.3	72.6	85.1	213.2	213.2	
1080.0						80.7	279.8	69.5												
1100.0	197.4		93.0		197.4		286.5	76.8			86.3					81.0	93.5	220.7	220.7	
1153.0	202.2																			
1200.0							292.0	84.2			95.5					89.4	101.9	235.7	235.7	
1300.0			100.9				293.2	91.6			104.7					98.2	109.7	268.3	268.3	
1381.0																				
1400.0							286.6	99.3			113.9					107.0	115.9	300.9	300.9	
1450.0																				
1500.0							277.0	107.0			123.1					115.9				
1600.0							268.0	114.9			132.3					124.8				
1700.0							256.6	122.8			141.6					133.4				
1800.0							252.5	130.8			150.8					141.8				
1900.0								139.1			159.6									
1922.0							253.7	140.9								234.6				
1929.0																				
2000.0											169.2									
2100.0											177.4									
2186.0											183.0									

Tafla 2: Allar Amerada hita- og þrýstímælingar 1989

Dýpi (m)	Hiti (°C)	Dýpi (m)	Hiti (°C)	Dýpi (m)	Hiti (°C)
208	73.98	500	119.24	800	121.14
210	75.24	510	118.48	810	121.63
220	86.27	520	118.11	820	122.12
230	87.68	530	118.04	830	122.68
240	88.83	540	117.81	840	123.45
250	89.74	550	117.43	850	124.4
260	90.68	560	117.29	860	126.47
270	91.57	570	117.04	870	126.86
280	92.86	580	116.68	880	127.33
290	95.09	590	116.38	890	128.04
300	97.84	600	115.96	900	130.83
310	101.09	610	115.28	910	134.93
320	104.56	620	115	920	138
330	107.9	630	114.33	930	139.92
340	111.15	640	113.68	940	141.74
350	114.2	650	113.23	950	142.84
360	117.1	660	112.83	960	144.28
370	119.8	670	112.36	970	144.68
380	122.08	680	111.75	980	145.03
390	124.15	690	110.58	990	145.37
400	125.8	700	107.79	1000	145.63
410	127.02	710	104.51	1010	145.96
420	127.83	720	104.88	1020	146.23
430	128.06	730	106.69	1030	146.49
440	127.26	740	108.07	1040	146.74
450	125.87	750	108.72	1050	147.01
460	124.27	760	109.18	1060	147.25
470	122.75	770	120	1070	147.48
480	121.34	780	120.5	1080	147.77
490	120.2	790	120.7	1090	148.1

Tafla 3: Hitamæling frá 27. júní 1989 í KJ-18

2. LÝSING MÆLINGA Í EINSTÖKUM HOLUM

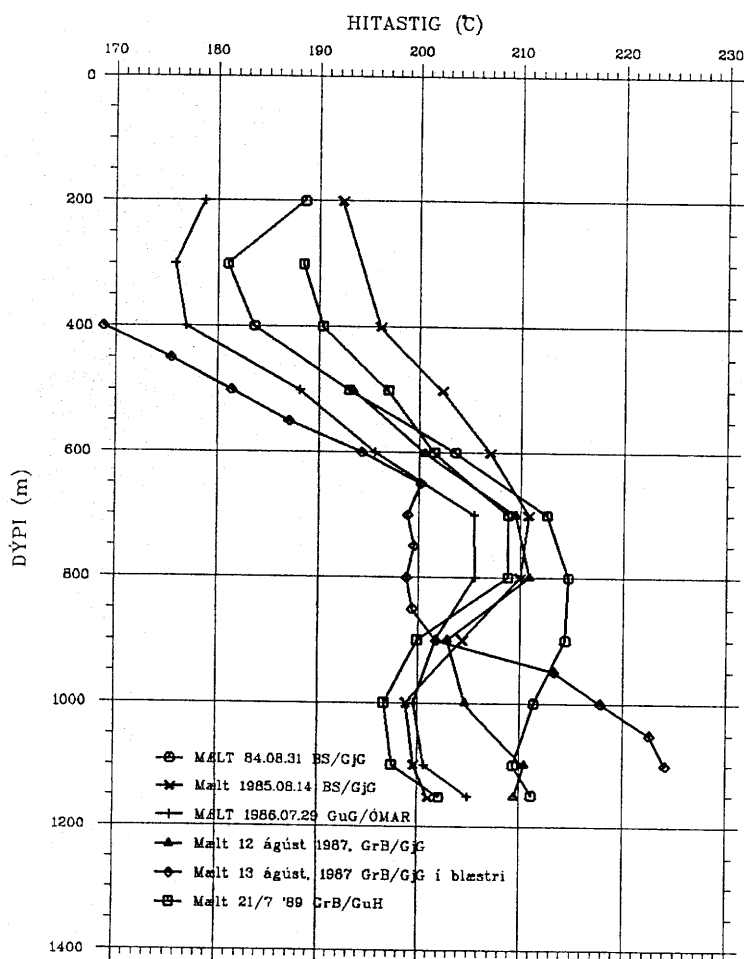
2.1 Hola KG-5

Hola KG-5 var hitamæld 21. júlí 1989. Mynd 1 sýnir hitamælinguna ásamt eldri mælingum. Er holan í meðallagi heit ofan 800 m dýpis, en þar fyrir neðan "sýnist" holan í kaldara lagi. Svo er þó ekki, heldur er þessi hiti nærri ótrufluðum berghita. Nokkrar eldri mælingar eru hinsvegar truflaðar af rennsli upp holuna, sem kemur úr æð neðan fyrirstöðunnar í 1153 m. Sést þetta vel í blástursmælingu frá í ágúst 1987.

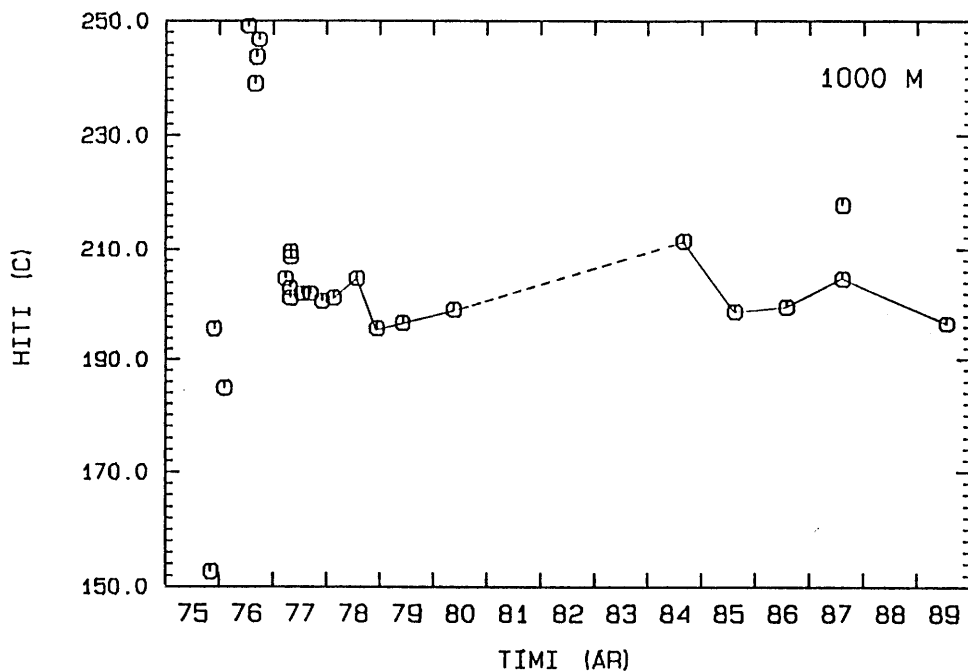
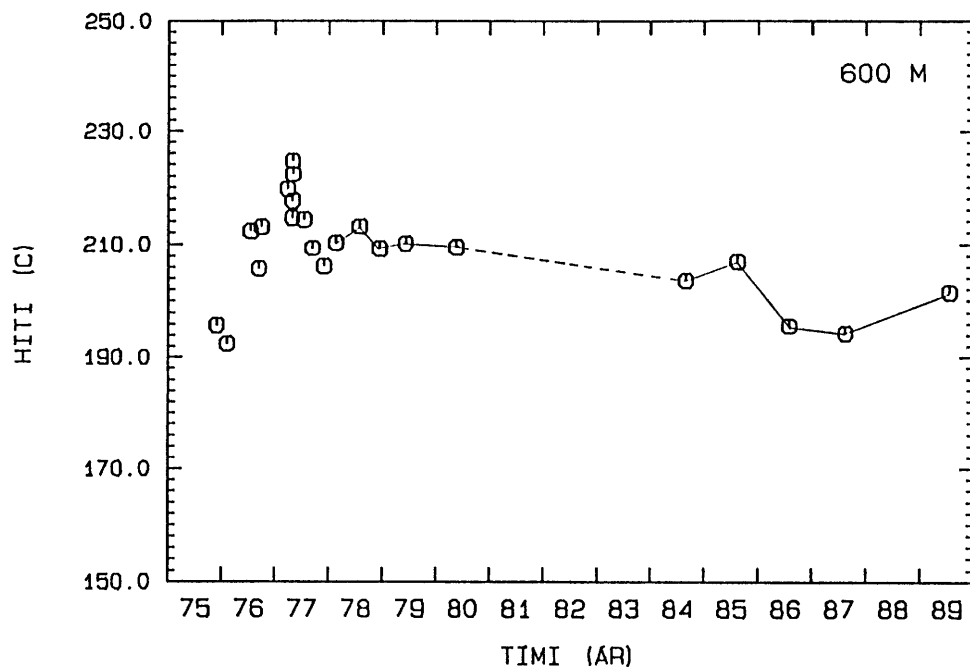
Á mynd 2 eru sýndar hitabreytingar með tíma á 600 og 1000 m dýpi í holu KG-5. Hiti holunnar er nokkuð stöðugur milli 200 og 210 °C í þessum dýpum. Engin merki eru því um kólnun holunnar við vinnslu úr svæðinu.

JHD-BHM-GRB
17.8.1989 T

KRAFLA HOLA KG-5 HITAMÆLINGAR



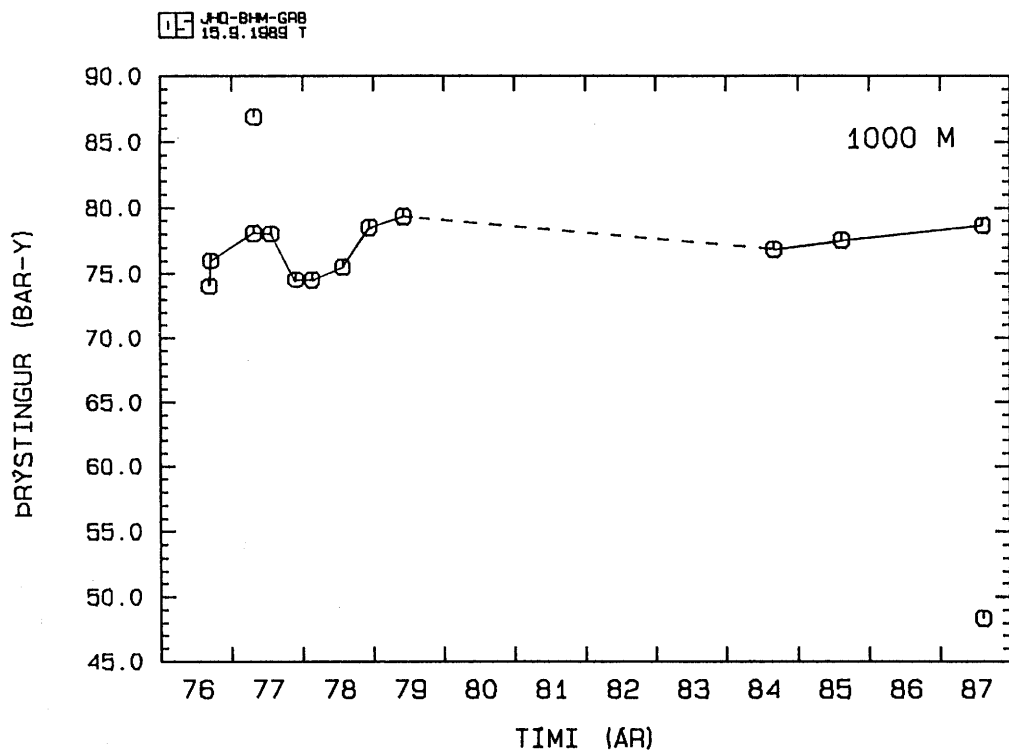
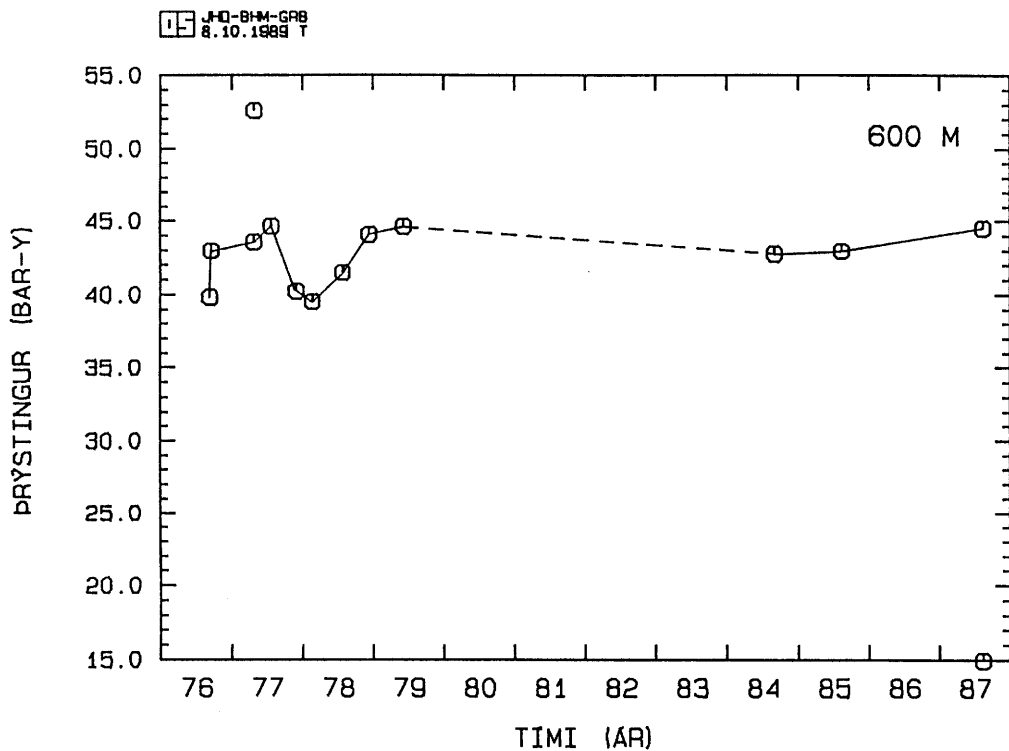
Mynd 1: Hitamælingar í holu KG-5



Mynd 2: Hiti á 600 og 1000 m dýpi í holu KG-5

Mynd 3 sýnir þrýsting með tíma á 600 og 1000 m dýpi í holu KG-5. Líkt og með hitann sjást litlar breytingar í þrýstingi, og er hann jafnvel vaxandi fram til 1987, ef eitthvað er. Af gögnum á myndum 2 og 3 má því draga þá ályktun að ekki mælist marktækar breytingar í hita og þrýstingi í efra Kröflu-kerfinu við holu KG-5.

Vatnsborð holu KG-5 flókti milli 88 og 94 m dýpis í mælingunni í júlí 1989. Var þá miðað við 2" loka á holutoppi. Flókt þetta fylgir gufuskotum sem holan þúar reglulega frá sér. Torveldar það útreikning á þrýstingi niðri í holunni út frá hitamælingum og er æskilegt að holan verði þrýstimæld á sumri komanda.



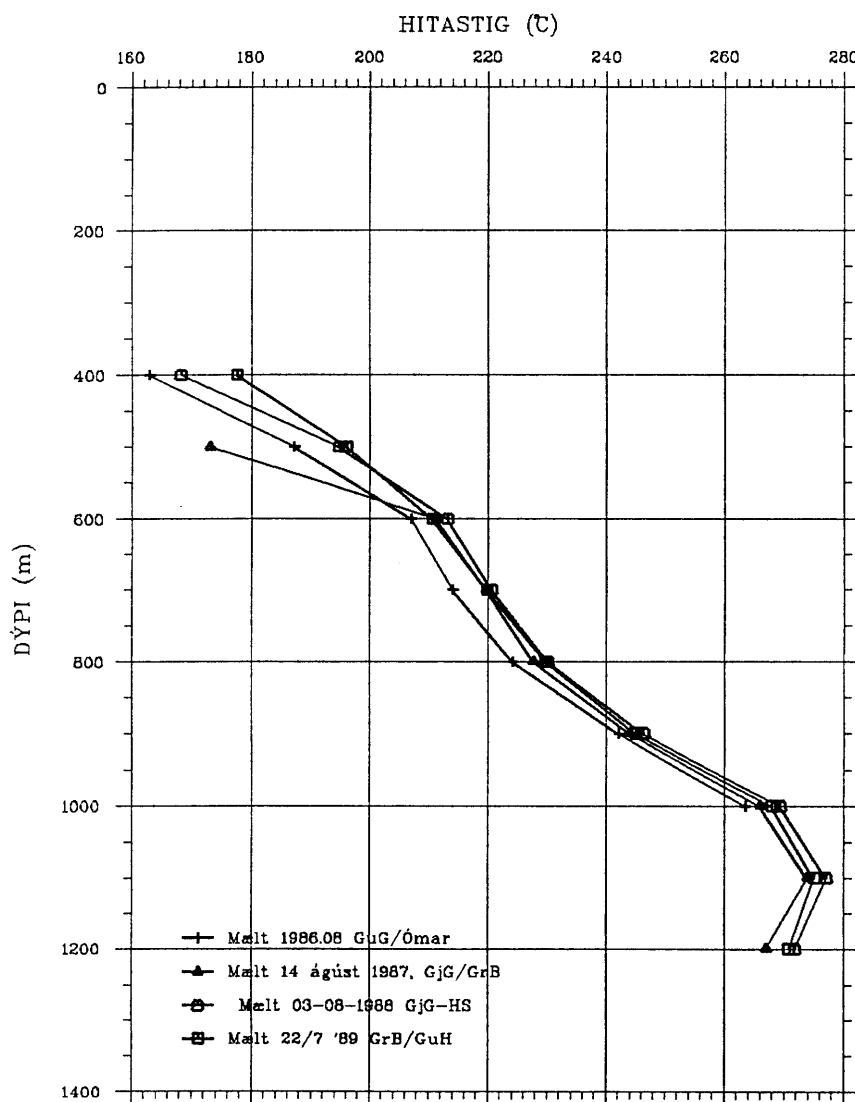
Mynd 3: Prýstingur á 600 og 1000 m dýpi í holu KG-5

2.2 HOLA KJ-6

Hola KJ-6 var hita- og þrýstimæld þann 22 júlí 1989. Vatnsborð mældist á 42,5 m og hefur það aldrei mælst ofar í ótruflaðri holunni. Myndir 4 og 5 sýna hita- og þrýstimælingar í holu KJ-6. Sést þar að litlar breytingar hafa orðið í hita, meðan þrýstingur fer vaxandi, sérstaklega síðasta ár. Sama birtist í myndum 6 og 7, sem sýna hita og þrýsting með tíma á 600 og 1000 m dýpi í holunni. Inn á myndirnar er einnig færður reiknaður þrýstingur árið 1976, samkvæmt hita- og vatnsborðsmælingum (ásamt óvissumörkum).

JHD-BM-GRB
23.8.89 T

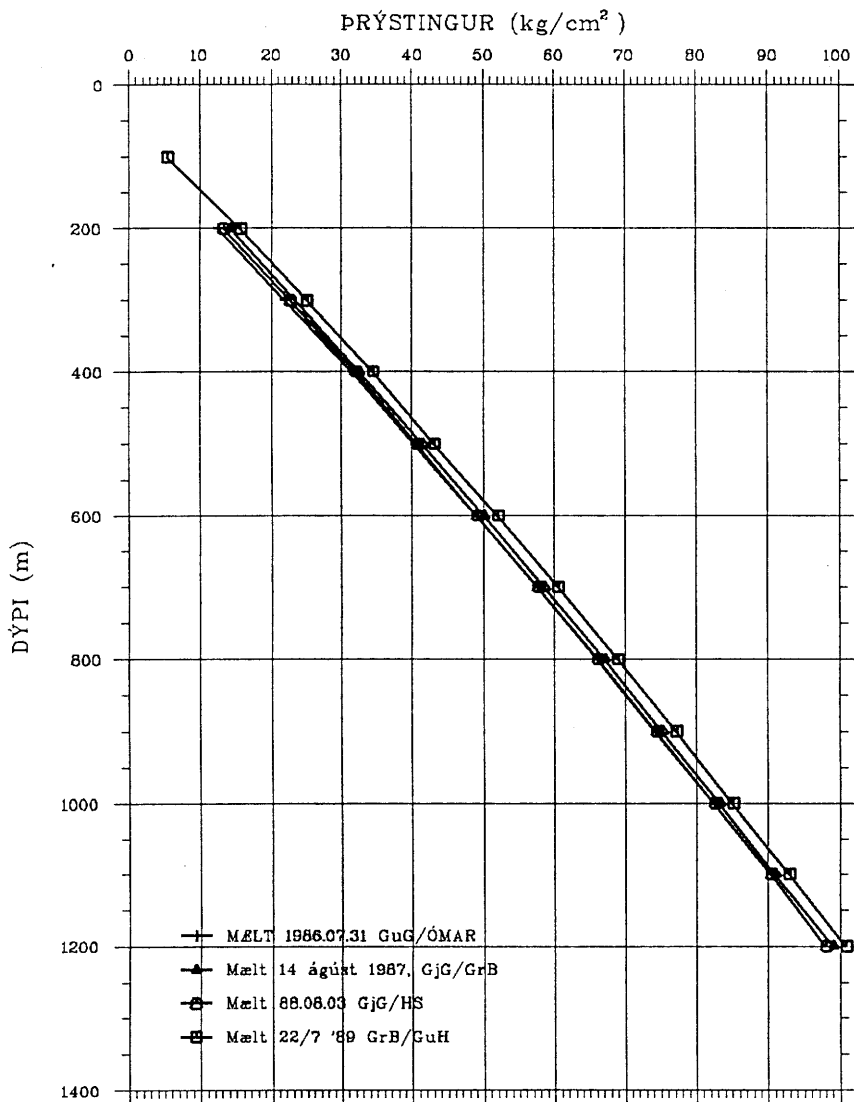
KRAFLA HOLA KJ-6 HITAMÆLINGAR



Mynd 4: Hitamælingar í holu KJ-6

JHD-BM-GRB
23.8.89 T

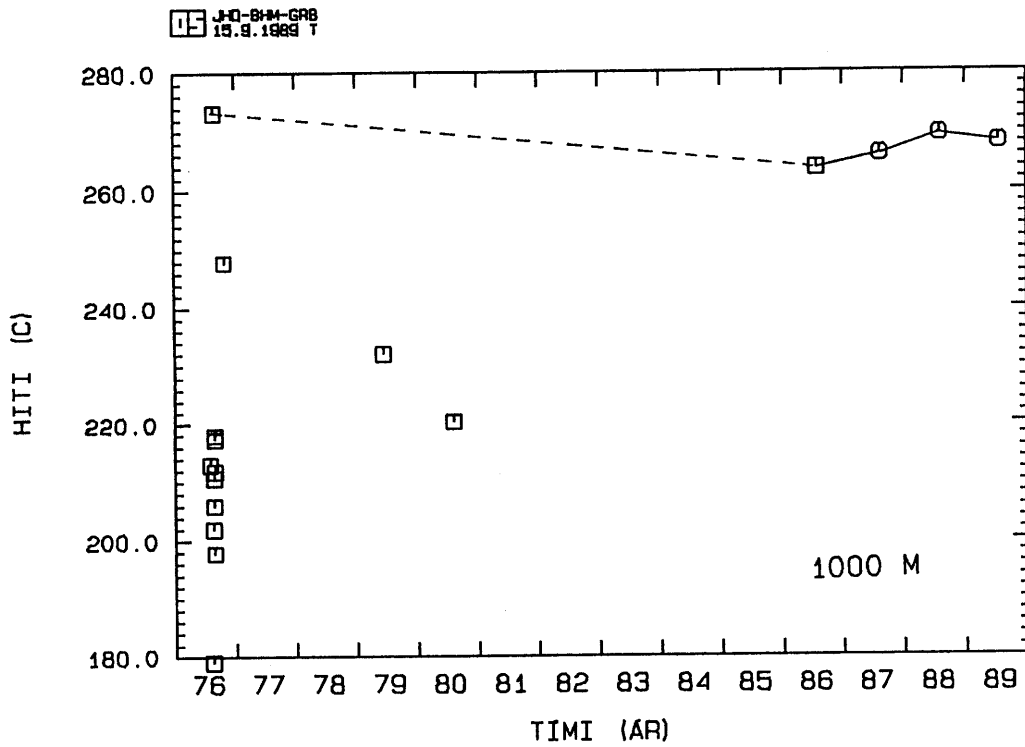
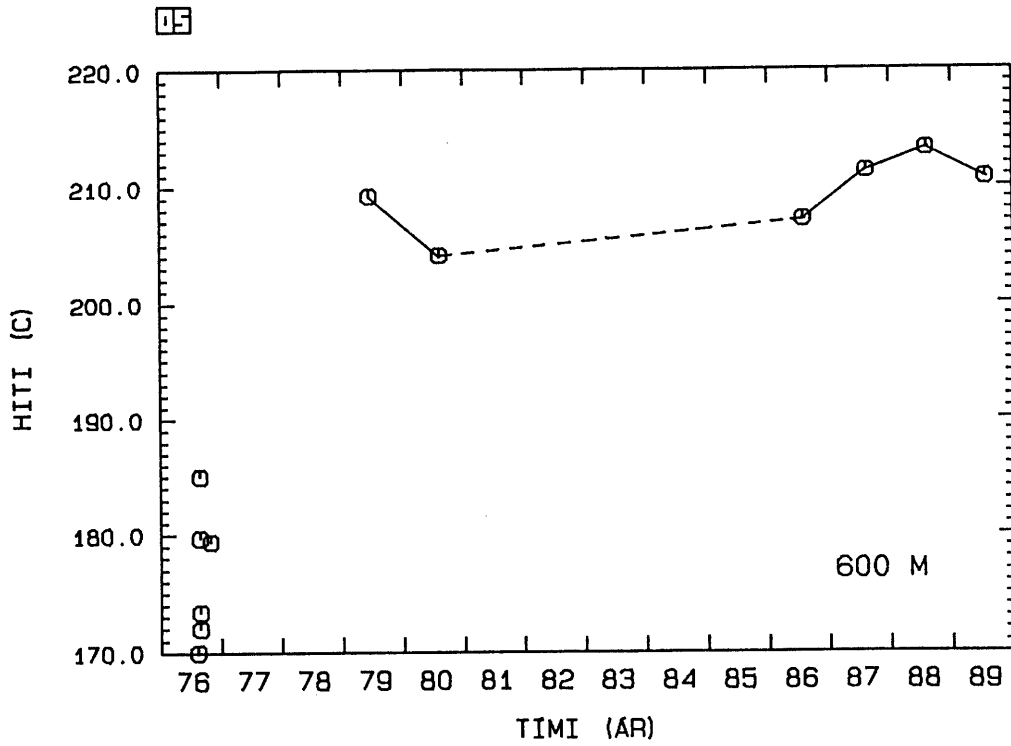
KRAFLA HOLA KJ-6 ÞRÝSTIMÆLINGAR



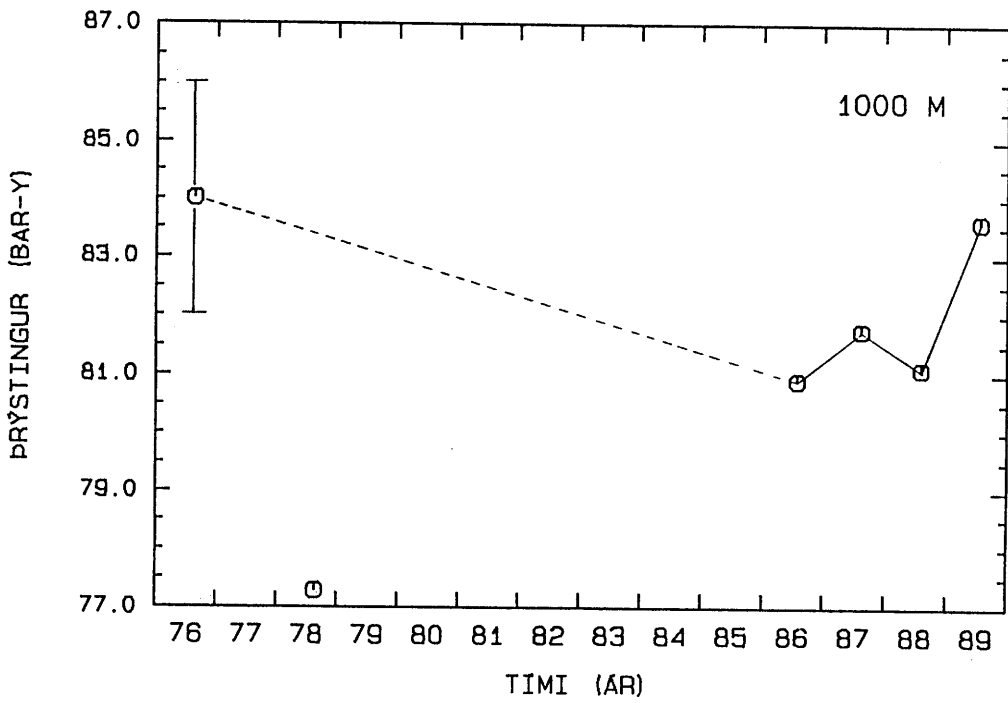
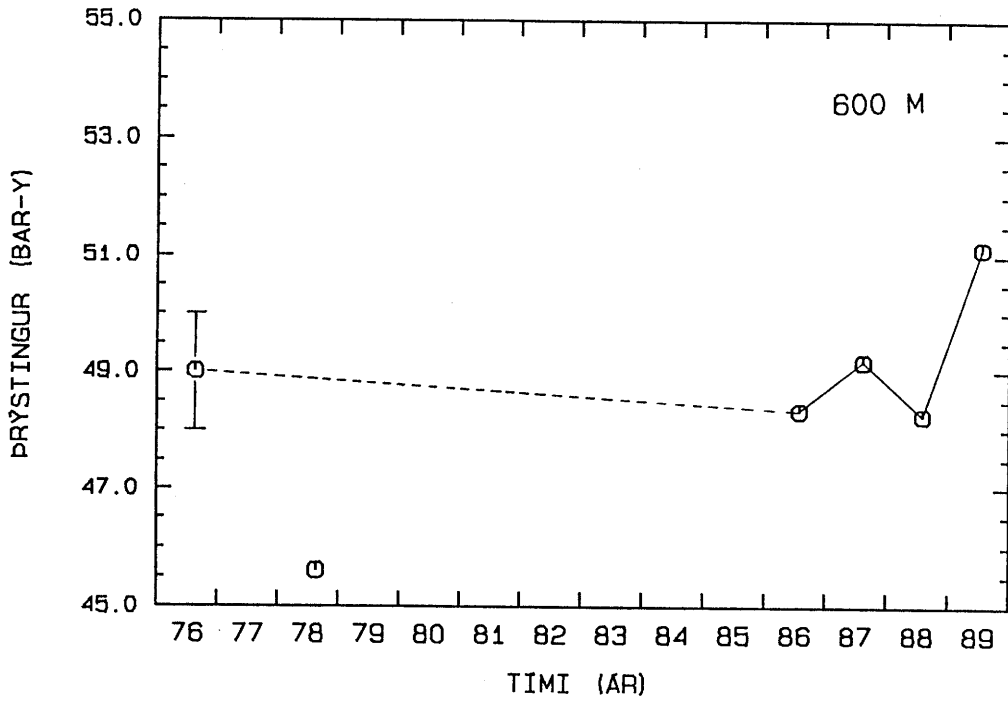
Mynd 5: Þrýstimælingar í holu KJ-6

Til að kanna hvort hár þrýstingur holu KJ-6 gæti stafað af mæliskekkju, var safnað gömlum vatnsborðsmælingum úr holunni og þær teiknaðar með tíma. Kemur þá í ljós að vatnsborðið fylgir vel þrýstihækkuninni. Staðfestir það að geymisþrýstingur fer hækkandi við holu KJ-6. Hiti stendur hinsvegar í stað. Sú góða fylgni sem er milli þrýstings og vatnsborðs í holu KJ-6 bendir jafnframt á, að tíðar vatnsborðsmælingar í holunni eru kjörin og ódýr leið til nákvæmara vinnslueftirlits með jarðhitakerfinu í Leirbotnum.

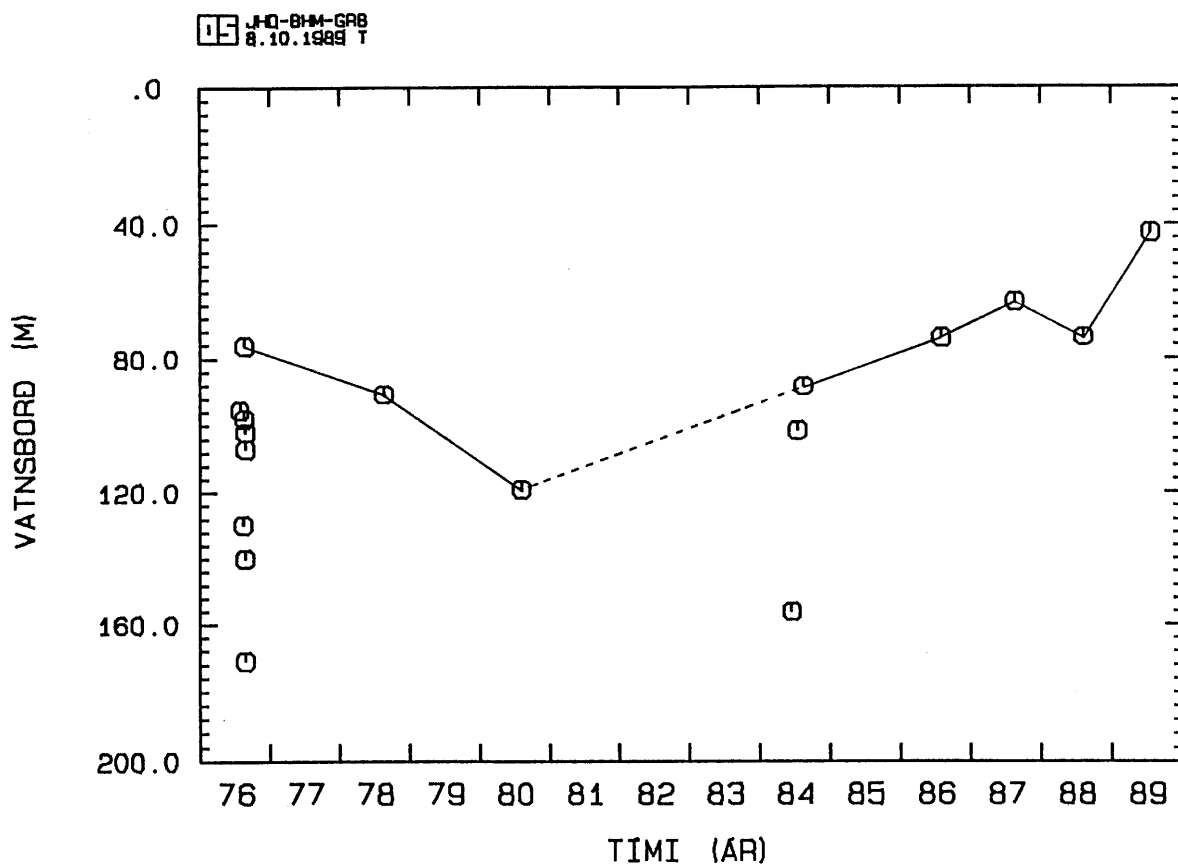
Þar sem mjög grunnt er orðið á vatnsborð í KJ-6, er vissara að huga að búnaði á holutoppi, svo bregðast megi við skyndilegu uppkomu holunnar.



Mynd 6. Hiti á 600 og 1000 m dýpi í holu KJ-6



Mynd 7. Þrýstingur á 600 og 1000 m dýpi í holu KJ-6



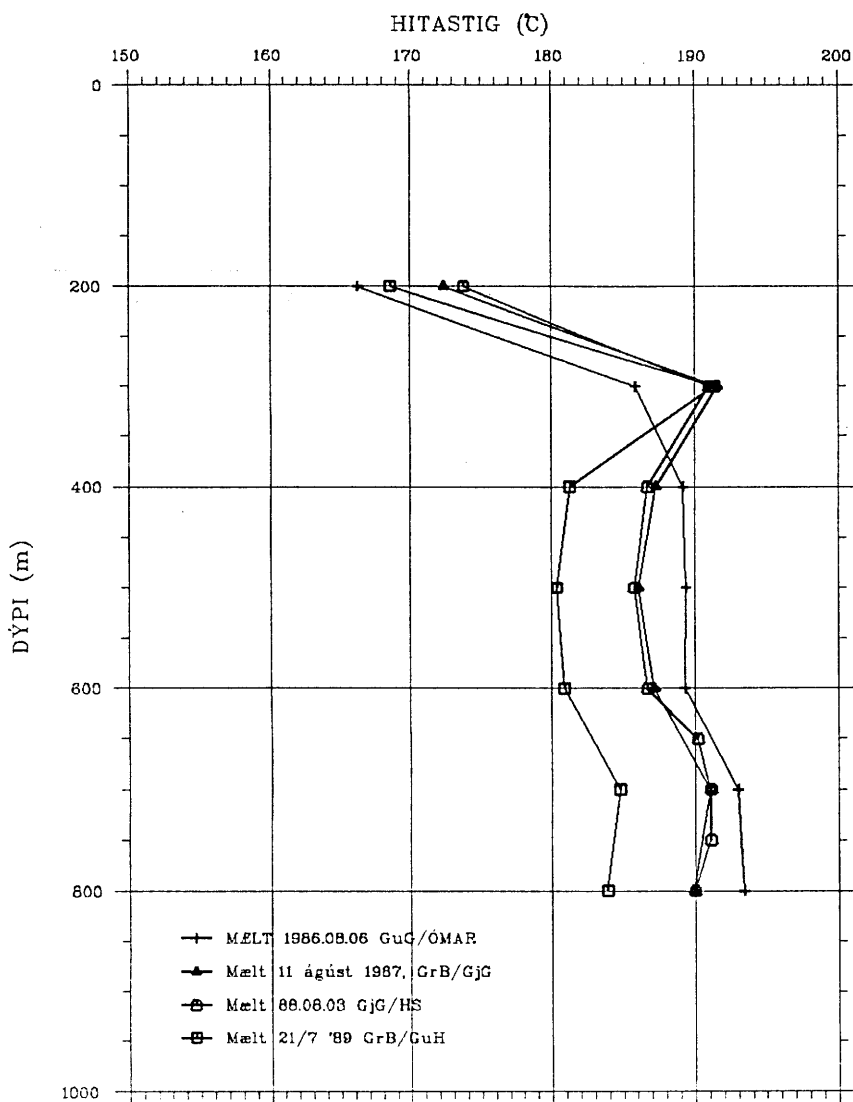
Mynd 8. Vatnsborð í holu KJ-6

2.3 HOLA KG-10

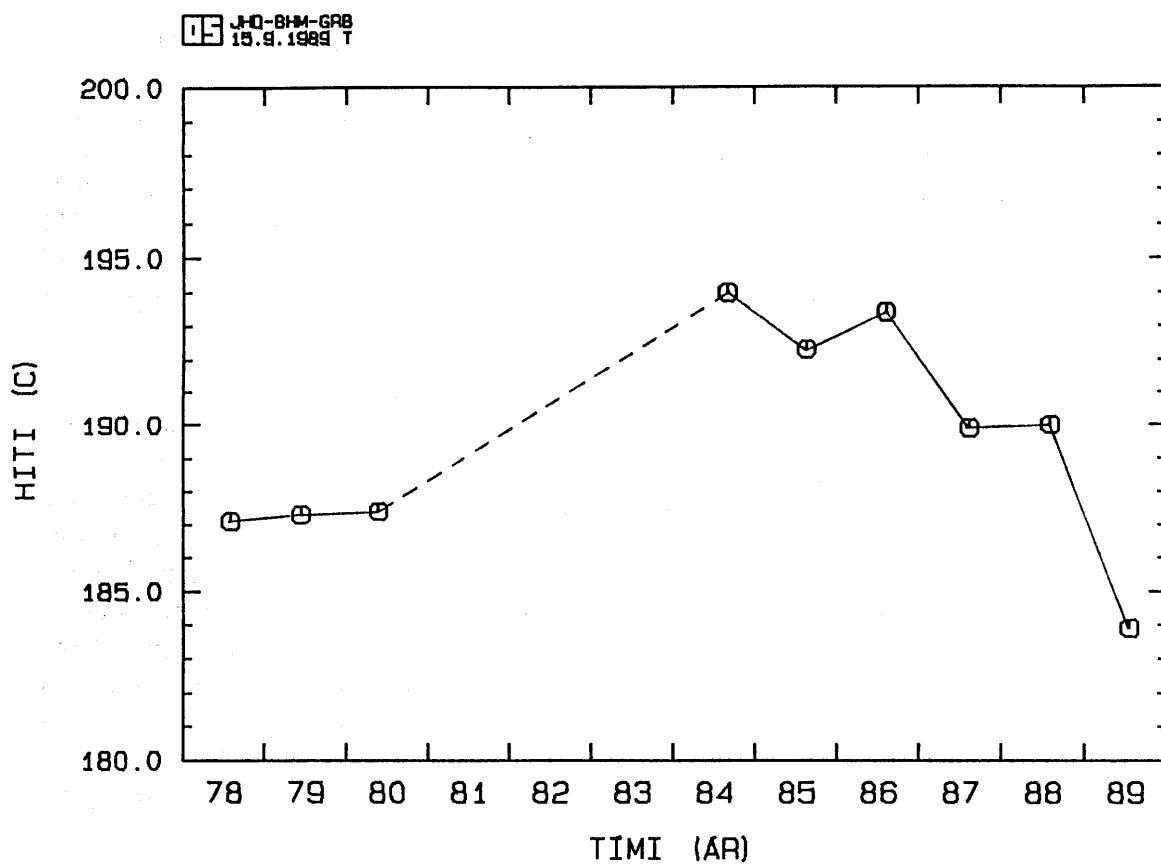
HOLA KG-10 var hitamæld þann 21 júlí 1989. Vatnsborð holunnar mældist á 107,5 m dýpi í stað 105,5 m í fyrra. Mynd 9 sýnir hitamælingar í holunni og mynd 10 sýnir hita með tíma á 800 m dýpi. Sést vel á þessum myndum, að kæling er hafin í holunni. Kælingin stafar ekki af millirennslu í holunni, þar sem fóðring nær í 800 m dýpi. Virðist því sem efra kerfið í Leirbotnum sé tekið að kólna við holu KG-10, hugsanlega vegna nýhafinnar vinnslu úr KG-24. Er því ástæða til að fylgjast áfram með hita og jafnframt þrýstingi í holunni.

JHD-BM-GRB
17.6.89 T

KRAFLA HOLA KG-10 HITAMÆLINGAR



Mynd 9: Hitamælingar í holu KG-10.



Mynd 10: Hiti á 800 m dýpi í holu KG-10.

2.4 HOLA KJ-13

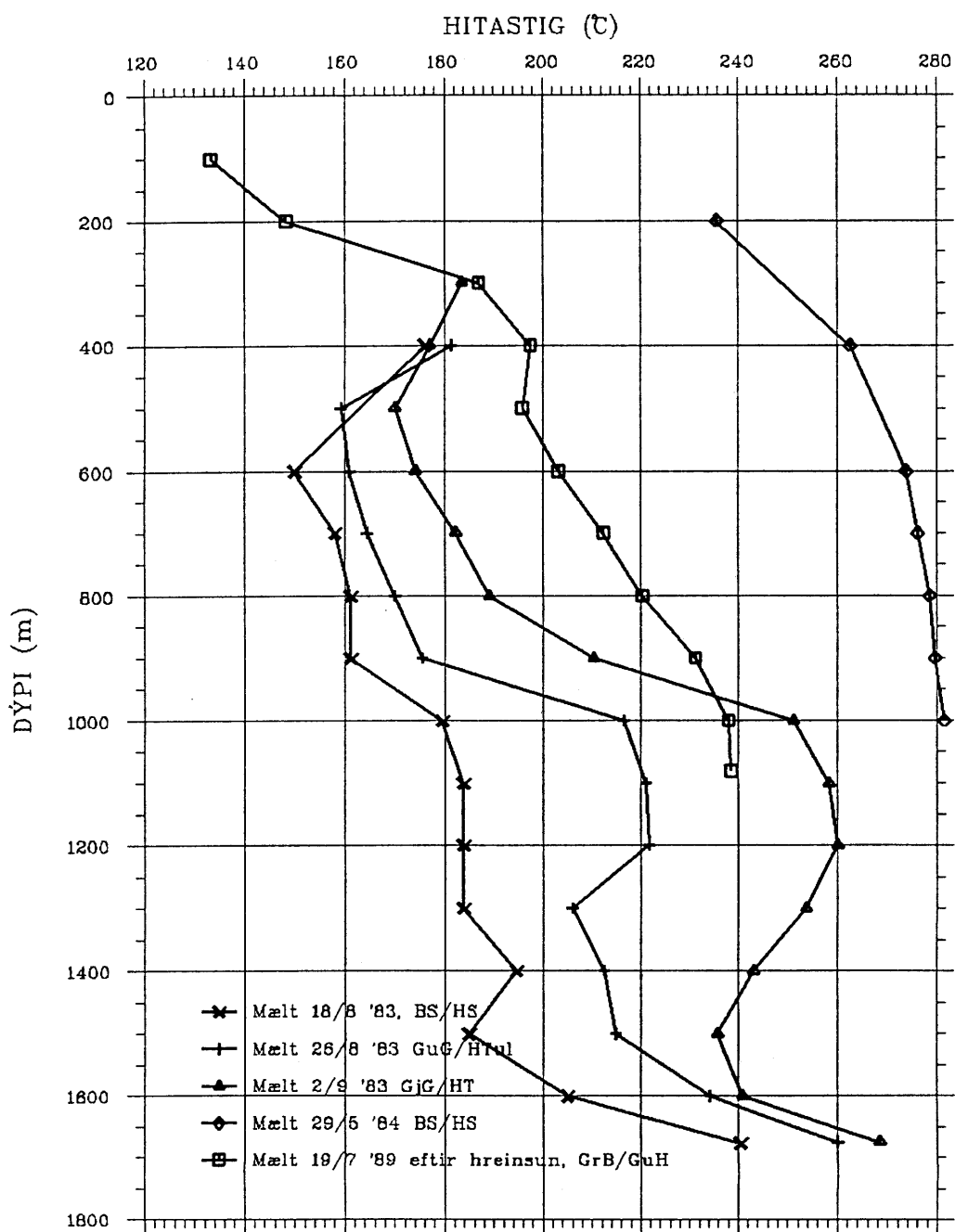
Einstætt tækifæri gafst til að mæla þrýsting í Hveragilssprungunni eftir að hola KJ-13 hafði staðið kæld og óhreyfð um tíma vegna hreinsunar. Æstu því borholumælingamenn sig norður í Kröflu daginn fyrir upphleypingu holunnar (19/7 '89) og lóðuðu, og hita- og þrýstimældu hana. Byrjað var á lóðun. Eigi tókst að sökkva lóðinu dýpra en í 1091 m, miðað við 3" ventilinn á toppi. Var skarkað á fyrirstöðu þessari um stund, en síðan gefist upp og híft. Þegar lóðið kom upp, sást að skörð voru höggvin upp í neðri enda lóðsins. Passaði vídd skarðanna við þykkt vinnslufóðringarinnar í holunni. Er hugsanlegt að lóðið hafi stungist inn í óvenju stóra rauf í leiðaranum, en líklegra er þó að hann sé skemmdur í þessu dýpi eða í sundur.

Að lokinni lóðun holu KJ-13, var farið í að hita- og þrýstimæla holuna. Ekki var reynt að mæla framhjá fyrirstöðunni í 1091 m af ótta við að festa mælana. Eru þessar mælingar sýndar á myndum 11 og 12, ásamt öllum öðrum Amerada-mælingum í holunni. Ef mynd 11 er fyrst skoðuð, sést að hiti holu KJ-13 mælist hæstur rúmlega 280 °C skömmu eftir blástur vorið 1984. Í mælingunni í júlí síðastliðnum mældist hæstur hiti hinsvegar tæpar 240 °C og sýnir það að holan var þá enn ekki orðin fullheit eftir hreinsun. Ef skoðaður er þrýstingur í holunni (mynd 12), sést að þrýstingur nú mælist mjög á móta og í september 1983, skömmu áður en holunni var hleypt upp. Að vísu tókst ekki að mæla þrýsting neðan 1080 m dýpis sökum áðurnefndrar fyrirstöðu í holunni. Engin merki eru hinsvegar um að þrýstilækkun neðan þess dýpis (milli 1983 og 1989) sé meiri en 1 til 2 bör. Á mynd 12 er sýnd þrýstimæling frá 1984 sem er mjög frábrugðin hinum á myndinni. Stafar sá munur af því að þrýstimælingin er gerð í holunni truflaðri eftir blástur, og nýtist hún því helst til þess að sýna að blástursþrýstingur í holunni er undir 50 börum á 1000 m dýpi.

Mynd 13 sýnir hita og þrýsting með tíma á 1000 m dýpi í holu KJ-13. Erfitt er að spá í raunverulegan berghita á þessu dýpi sökum þess hve hitamælingar eru truflaðar af ýmsum ytri skilyrðum í holunni. Þrýstigögnin sýna hinsvegar mjög væga þrýstilækkun. Meginniðurstaða mælinganna í holu KJ-13 er því annarsvegar að lítil sem engin þrýstilækkun hefur orðið í Hveragilssprungunni milli árána 1983 og 1989, en hinsvegar að leiðarinn sé skemmdur eða í sundur á 1091 m dýpi.

JHD-BHM-GrB
3.11.1989 T

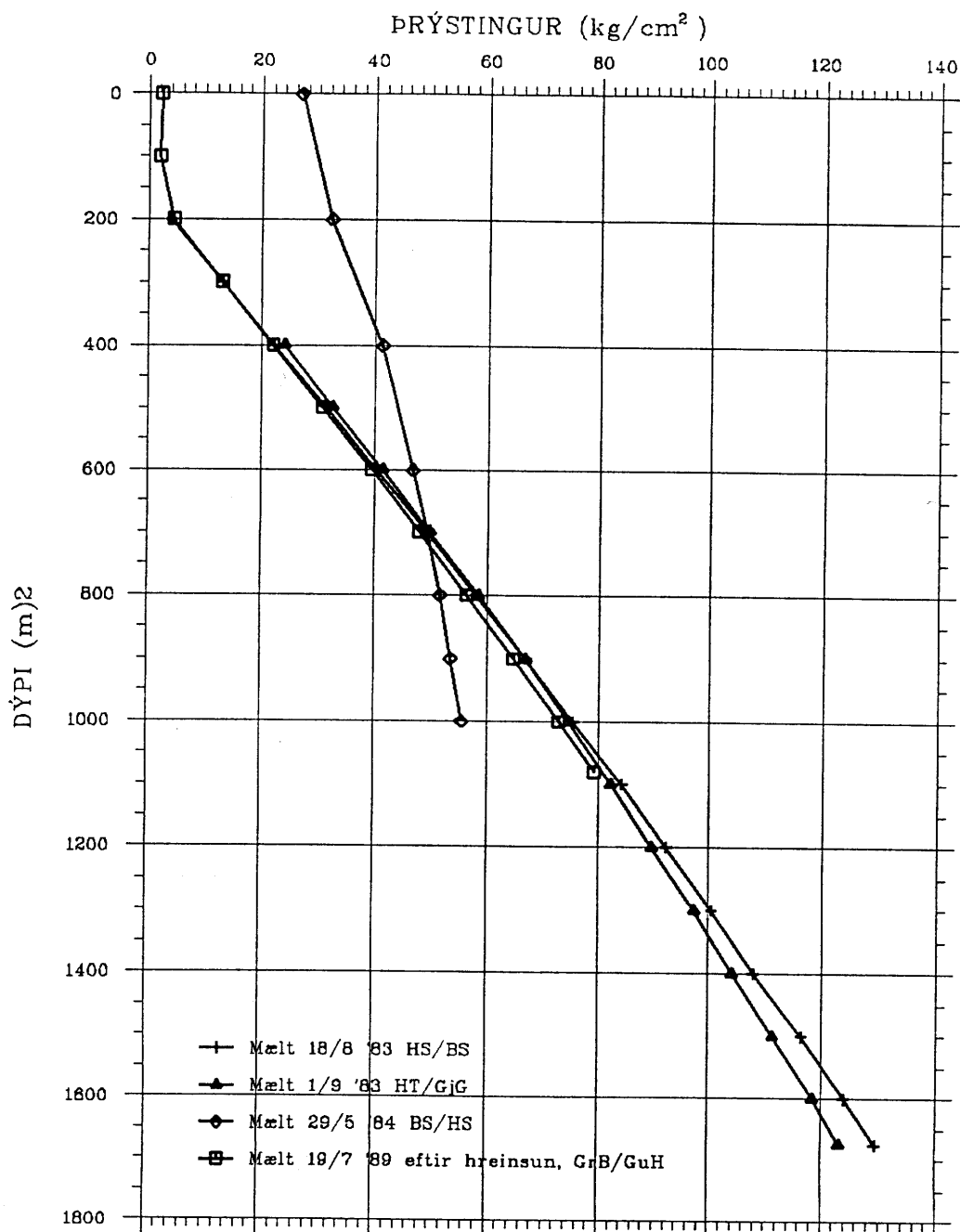
KRAFLA HOLA KJ-13 HITAMÆLINGAR



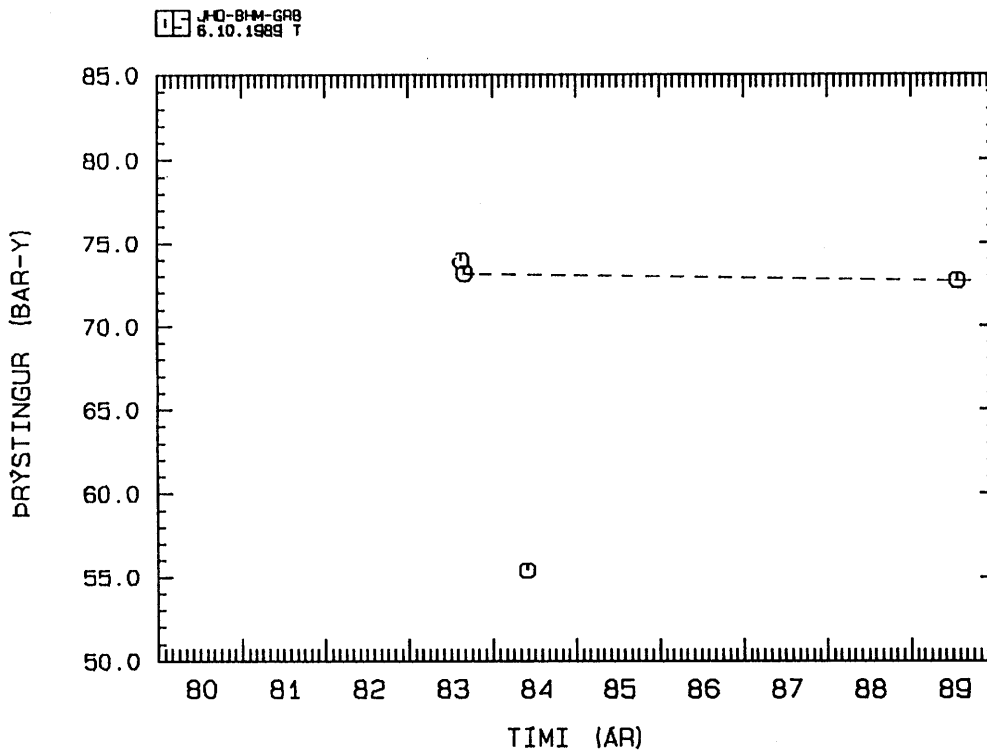
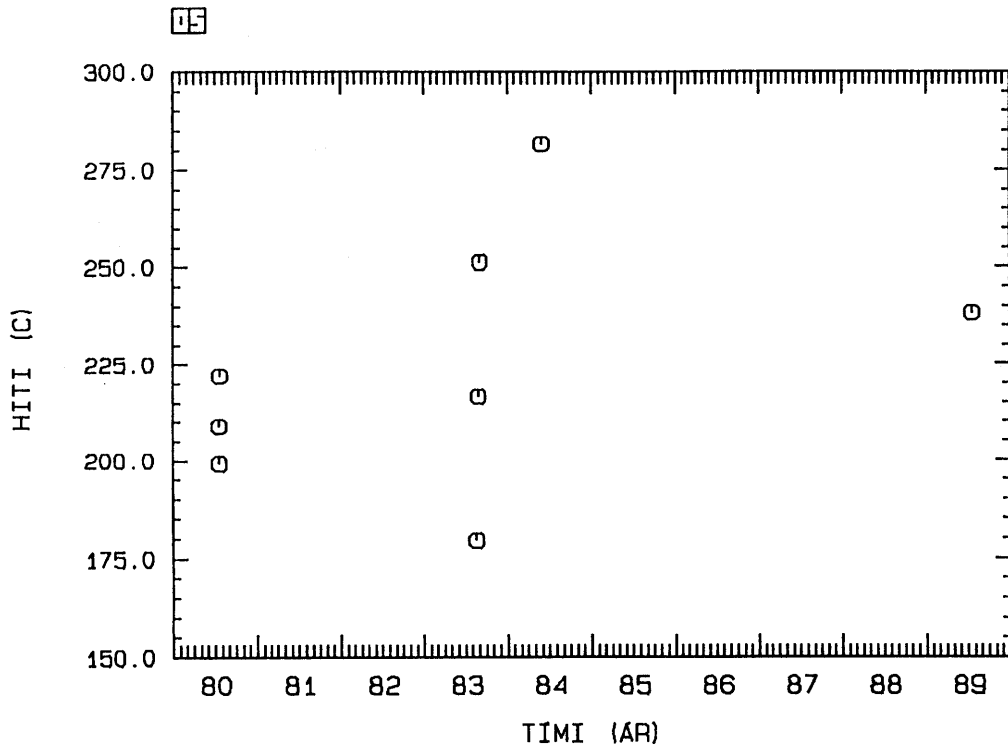
Mynd 11: Hitamælingar í holu KJ-13

JHD-BHM-GrB
3.11.1989 T

KRAFLA HOLA KJ-13 ÞRÝSTIMÆLINGAR



Mynd 12: Þrýstimælingar í holu KJ-13



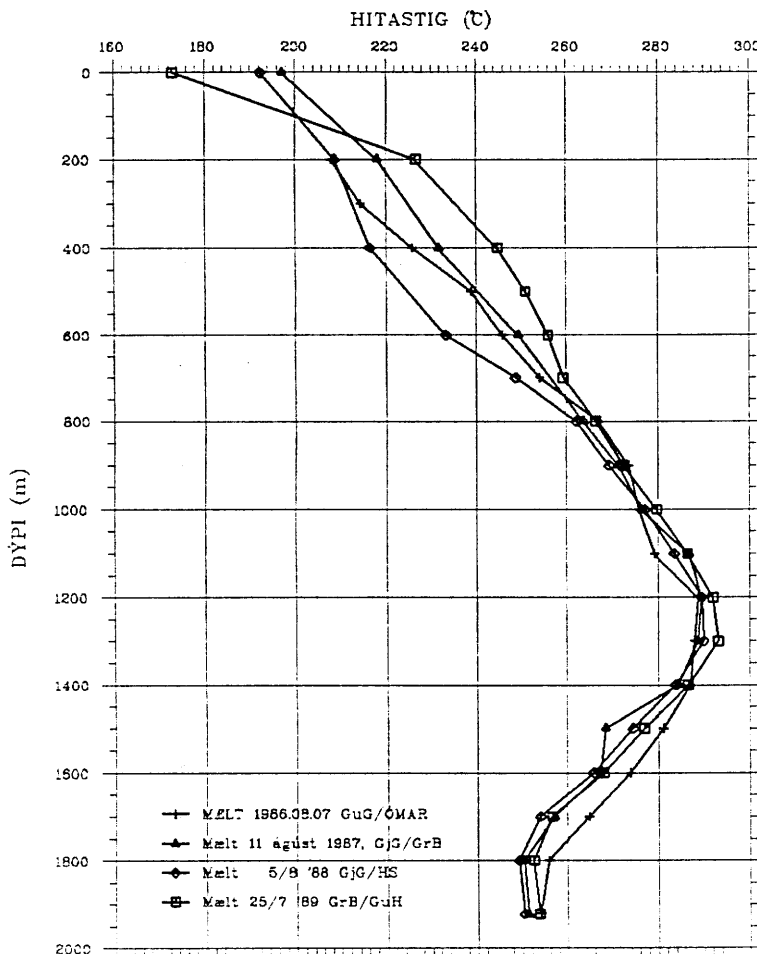
Mynd 13: Hiti og þrýstingur á 1000 m dýpi í holu KJ-13

2.5 HOLA KJ-16

Hola KJ-16 er síðasta holan sem mæld var í Kröfluferðinni 1989. Var holan hita- og þrýstimæld þann 25 júlí. Töluvert bras fylgdi mælingum í holunni, því aðallokar hennar eru orðnir mjög stíðir og forneskjulegir og illir viðureignar. Tókst ekki að loka þeim þrátt fyrir ítrekaðar tilraunir. Var því gripið til þess ráðs, að skrúfa blástursmælingaútbúnað Orkustofunar ofan á 3" toppventil holunnar og smeygja þannig Amerada mælunum ofan í hana án þess að hreyfa aðalloka. Nutu mælímenn aðstoðar vörubíls og bílstjóra Kröfluvirkjunar, en þeir reyndust hin mestu þarfabing við uppsetningu og slökun háreists mælibúnaðarins. Þess skal getið að blæðing úr holu KJ-16 var stöðvuð um morguninn 25/7 og reis þá toppþrýstingur úr 20 í rúm 40 bör. Blæðing var sett á um kl 11 og var þrýstingur fallinn í 20-21 bar þegar að holu var komið eftir matinn. Hést sá þrýstingur meðan mælt var.

JHD-BHM-GRB
30.11.1989 T

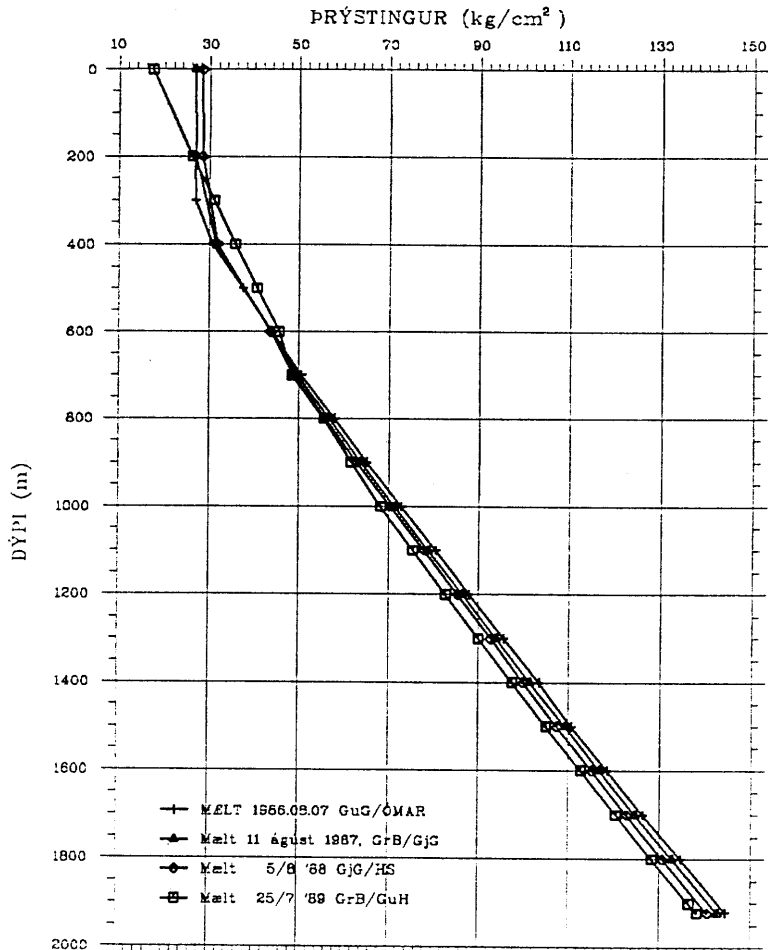
KRAFLA HOLA KJ-16 HITAMÆLINGAR



Mynd 14: Hitamælingar í holu KJ-16

JHD- GRB
30.11.1989 T

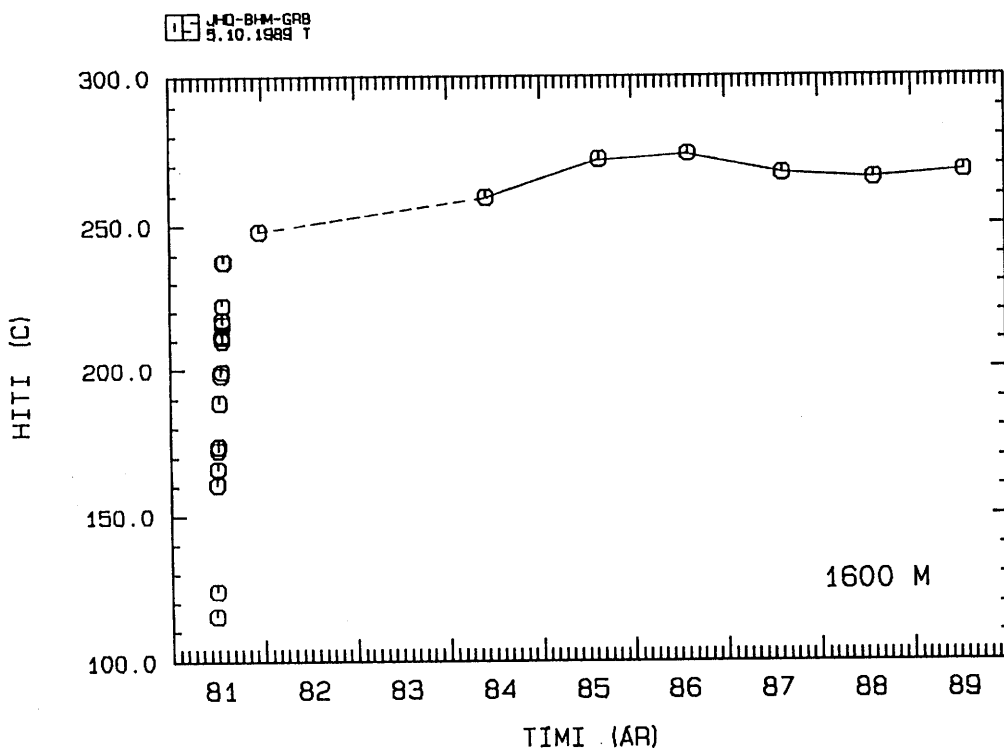
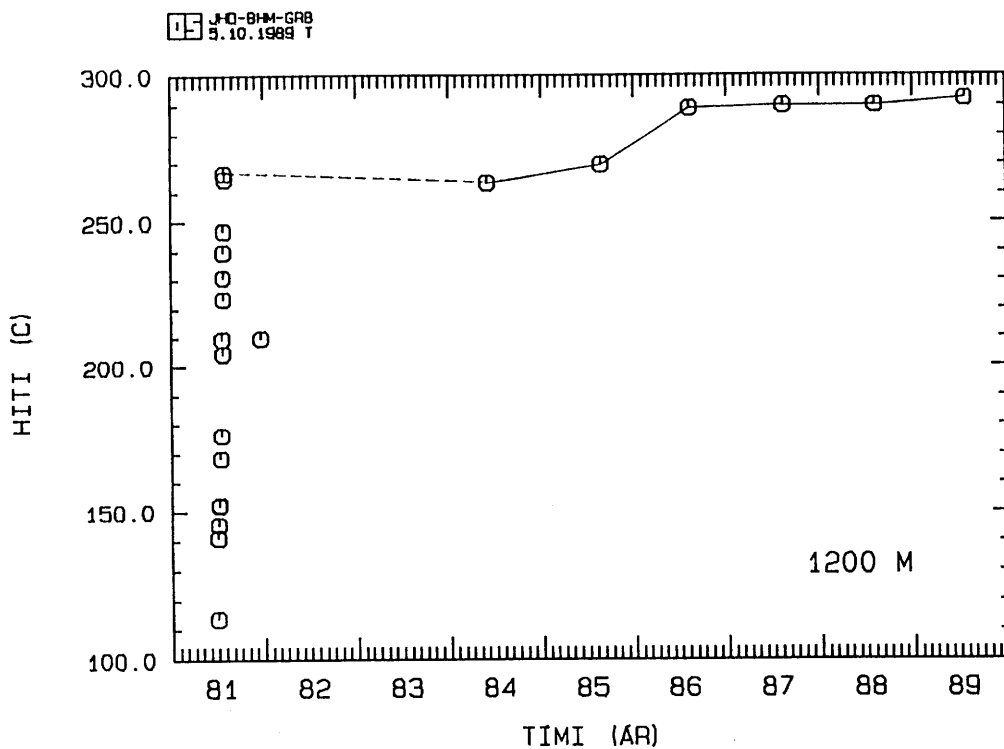
KRAFLA HOLA KJ-16 ÞRÝSTIMÆLINGAR



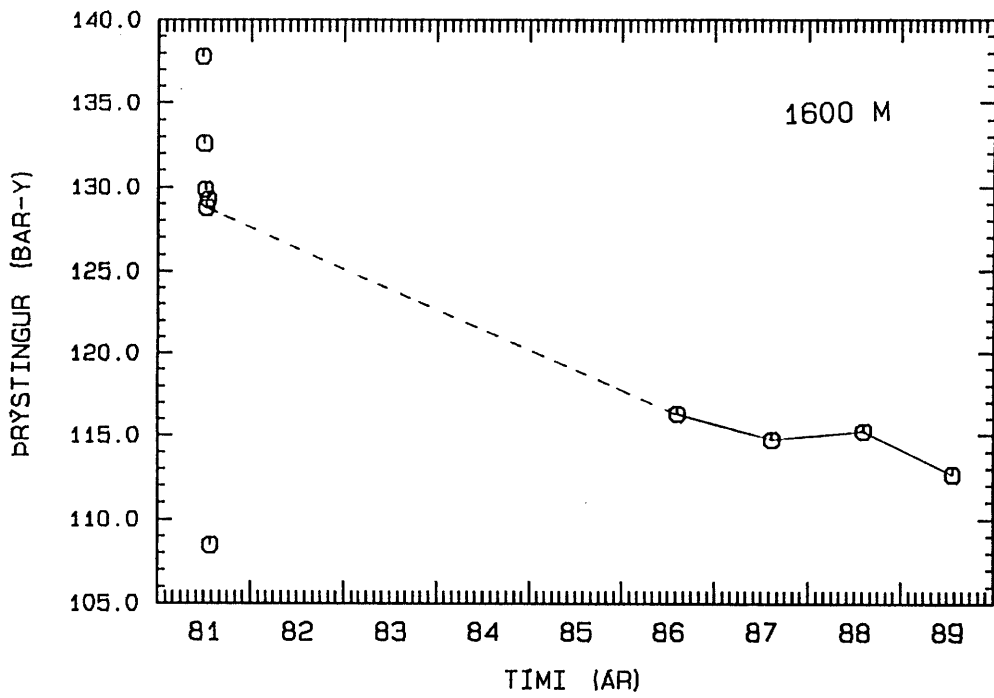
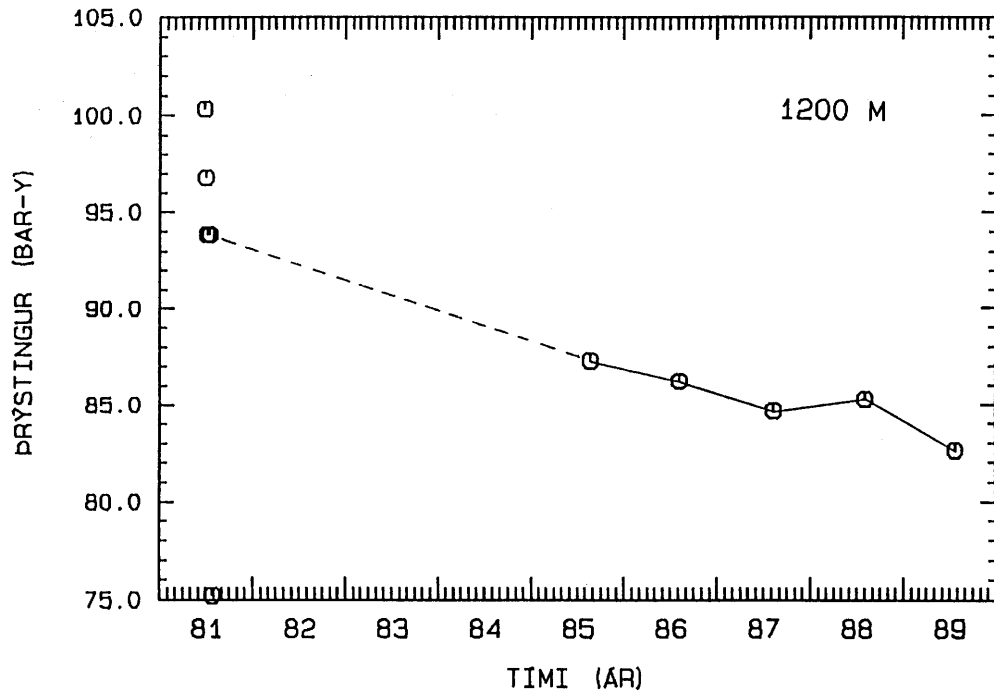
Mynd 15: Þrýstimælingar í holu KJ-16

Myndir 14 og 15 sýna hita og þrýstimælingar þær sem gerðar voru í holu KJ-16 nú í sumar, ásamt nokkrum eldri mælingum. Mælast litlar breytingar í hita, en aftur á móti samfelld lækkun í þrýstingi. Sést þetta vel á myndum 16 og 17, en þær sýna hita og þrýsting með tíma á 1200 og 1600 m dýpi í holunni. Er þar áberandi hve þrýstingur hefur lækkað, og er sú lækkun langt umfram mælinákvæmni. Virðist þrýstifallið nema að jafnaði um 1 bari á ári frá 1981, en eitthvað hefur hægt á því síðustu ár ($\geq 0,6$ bar/ári).

Mælingar í holu KJ-16 sýna því að þrýstingur í suðurhlíðum Kröflu fellur að jafnaði um 1 bar á ári við holuna, meðan hiti er stöðugur eða lítilllega hækkandi. Er því rík ástæða til að áfram verði fylgst með hita og þrýstingi í holunni, vegna kjörinnar staðsetningar hennar í suðurhlíðum Kröflu. Einnig er óskandi að finna megi ráð til liðkunar aðalventlum holunnar, þannig að tryggt verði eftirlitshlutverk hennar í framtíðinni.



Mynd 16: Hiti á 1200 og 1600 m dýpi í holu KJ-16



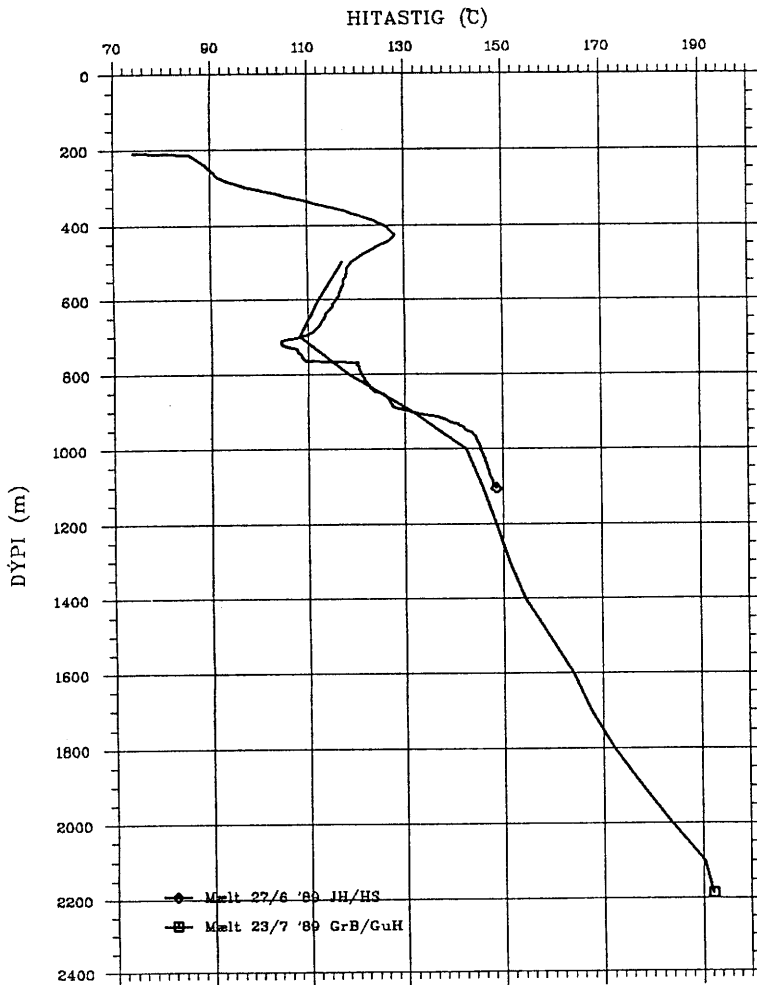
Mynd 17: Þrýstingur á 1200 og 1600 m dýpi í holu KJ-16

2.6 HOLA KJ-18

Hola KJ-18 var hitamæld í 1090 m dýpi í lok júní 1989. Eftirliti í holunni lauk síðan með Amerada hita- og þrýstimælingu til botns, þann 23 júlí 1989. Eru mælingarnar sýndar á myndum 18, 19 og 20, ásamt eldri mælingum úr holunni. Myndir 21 og 22 sýna hinsvegar hita og þrýsting á 1200 og 1600 m dýpi með tíma. Við skoðun á myndunum sést að holan er á móta heit og á síðastliðnu ári. Ef skoðað er lengra aftur í tímann (mynd 21) er áberandi kólnun holunnar milli áráanna 1985 og 1986. Þrýstingur fer lækkandi í holu KJ-18 og hefur hann fallið að meðaltali rúmlega 1/2 bar á ári, ef miðað er við þrýstimælingar gerðar 1981 og 1989. Er það helmingur af þrýstilækkun KJ-16.

JHD-BHM-GRB
9.10.1989 T

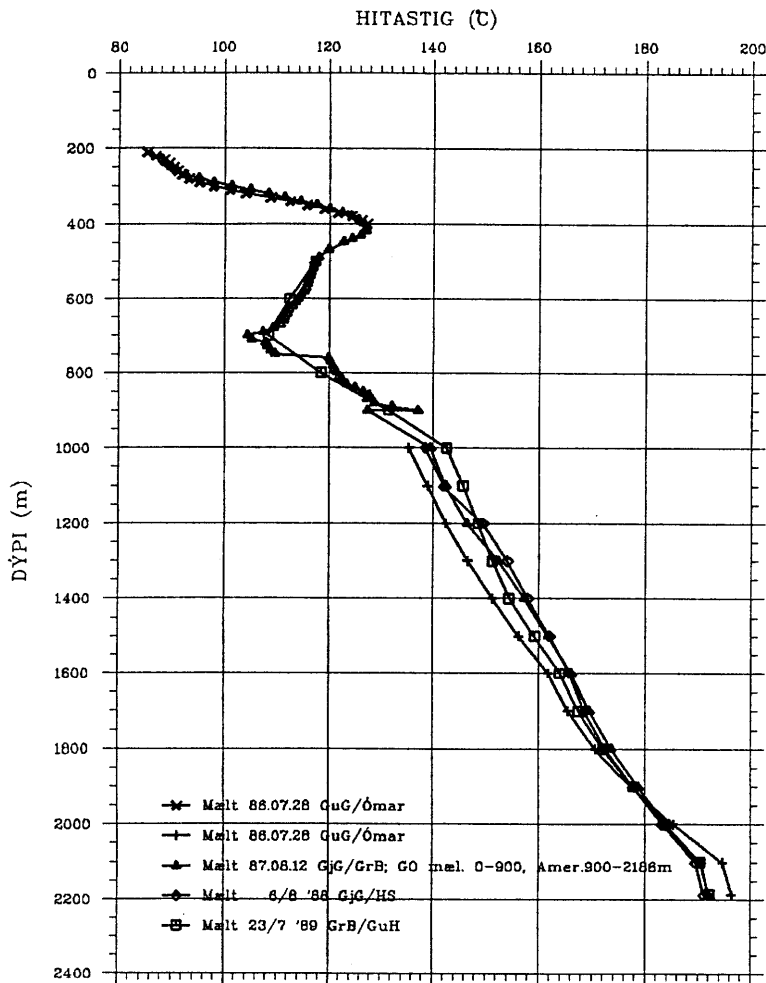
KRAFLA HOLA KJ-18 HITAMÆLINGAR 1989



Mynd 18: Hitamælingar í holu KJ-18 árið 1989

JHD-BHM-GrB
1.12.1989 T

KRAFLA HOLA KJ-18 HITAMÆLINGAR



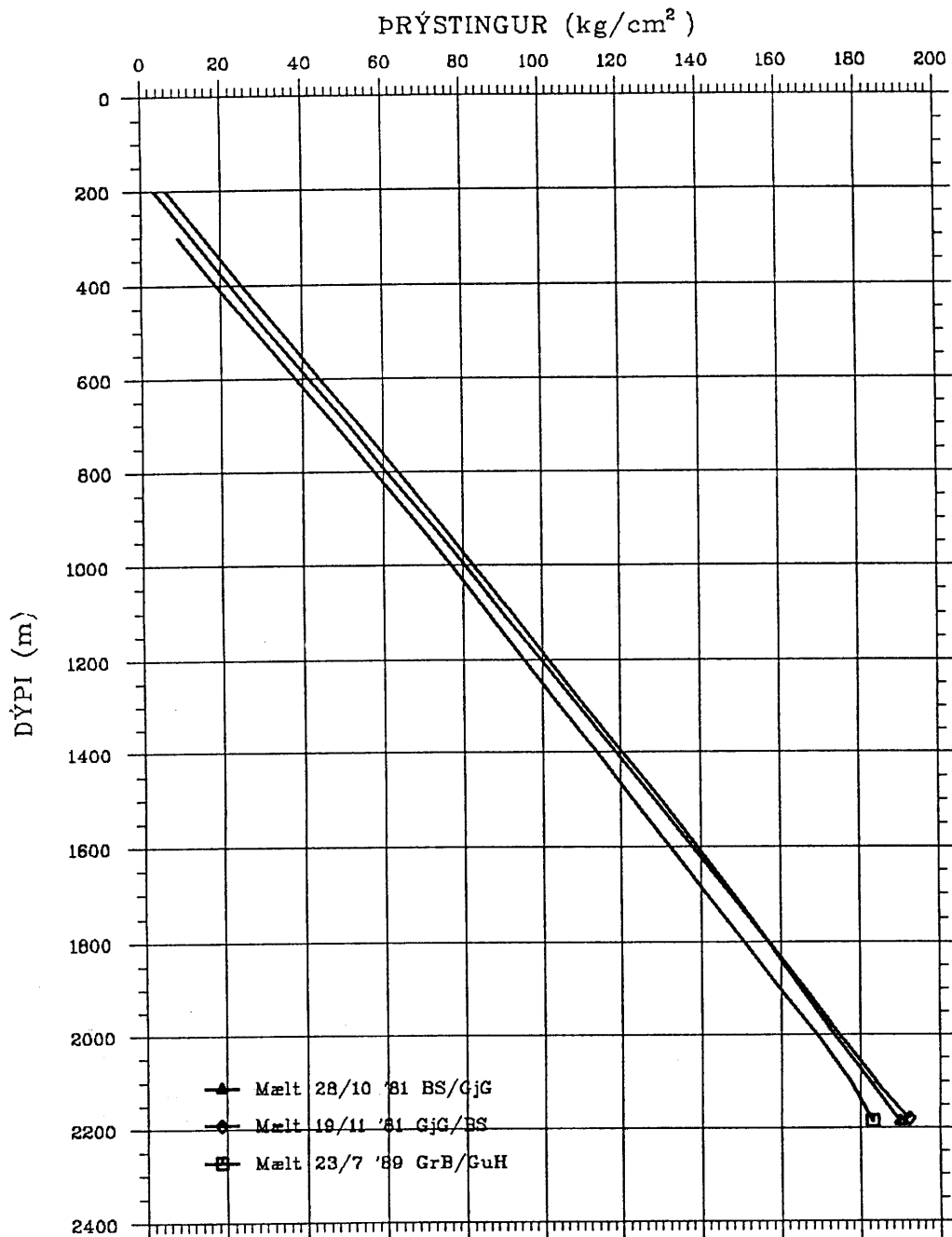
Mynd 19: Hitamælingar í holu KJ-18

Líkt og með holu KJ-6, var gengið í að safna saman vatnsborðsmælingum í KJ-18. Átti að kanna með því hvort mæld þrýstilækkun komi einnig fram í vatnsborði. Er vatnsborðið sýnt á mynd 23. Sést þar að vatnsborð hefur fallið um rúma 40 m frá 1981, sem er í samræmi við mælda þrýstilækkun. Nokkrir óskyldir þættir hafa áhrif á vatnsborð í holunni. Við eldgos á Kröflusvæði hækkar vatnsborð holunnar tímabundið. Er það skýringin á háu vatnsborði mældu í nóvember 1981 og sömuleiðis í vatnsborðsbreytingunni í september 1984. Lækkandi hiti í holunni dregur einnig vatnsborð niður, og loks veldur vaxandi niðurdráttur í Suðurhlíðum lækkandi vatnsborði.

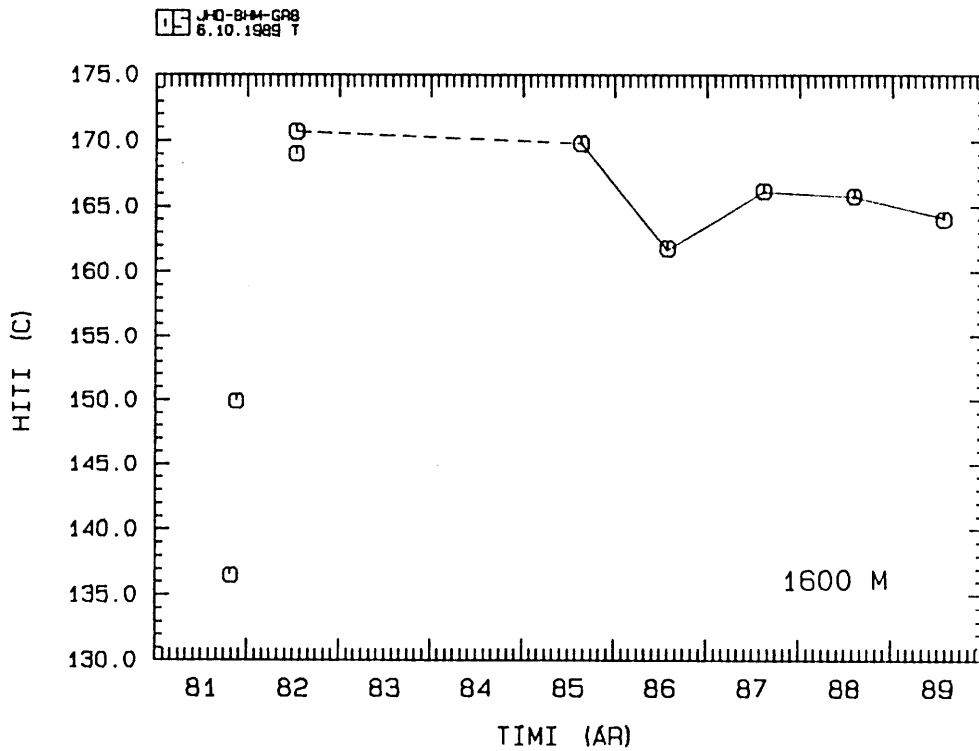
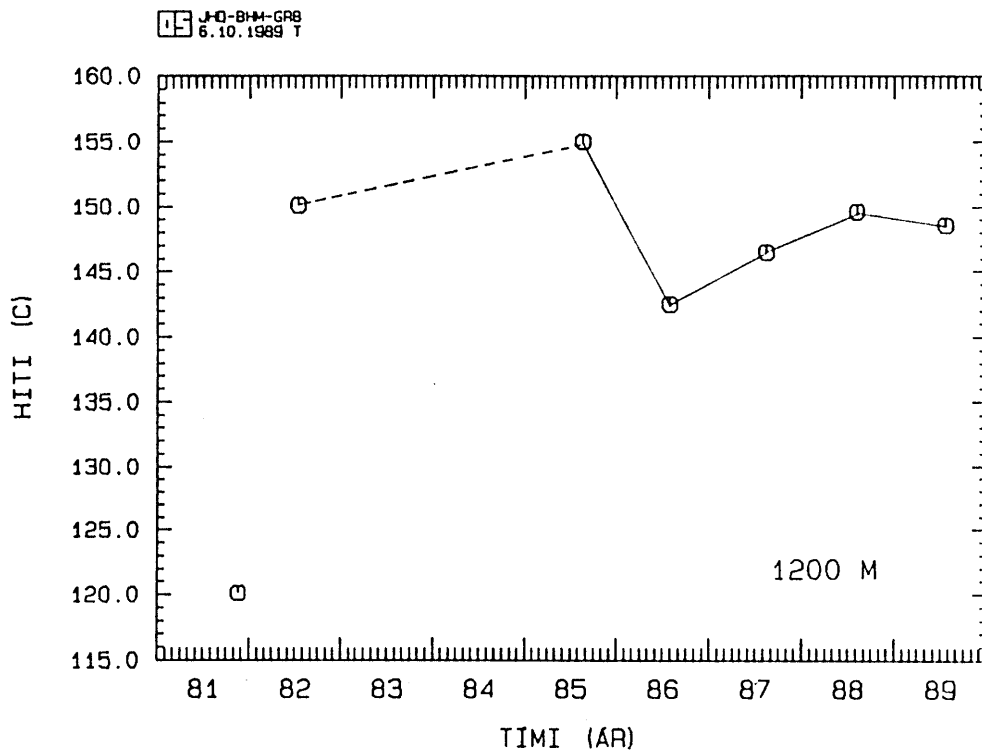
Þrýstilækkun í holu KJ-18 kann að skýra kólnun holunnar. Neðstu æðar holunnar eru í þrýstisambandi við aðrar Suðurhlíðaholur. Lækkun í þrýstingi vegna vinnslu kemur fram í þessum æðum, og hleypir það af stað niðurrennsli í holunni, úr efri, "þrýstingshærri" og kaldari æðum. Æskilegt er að fylgst verði áfram með holunni, hún þrýstimæld t.d. annað hvert ár og vatnsborð mælt nokkrum sinnum á ári.

JHD-BHM-GRB
8.10.1989 T

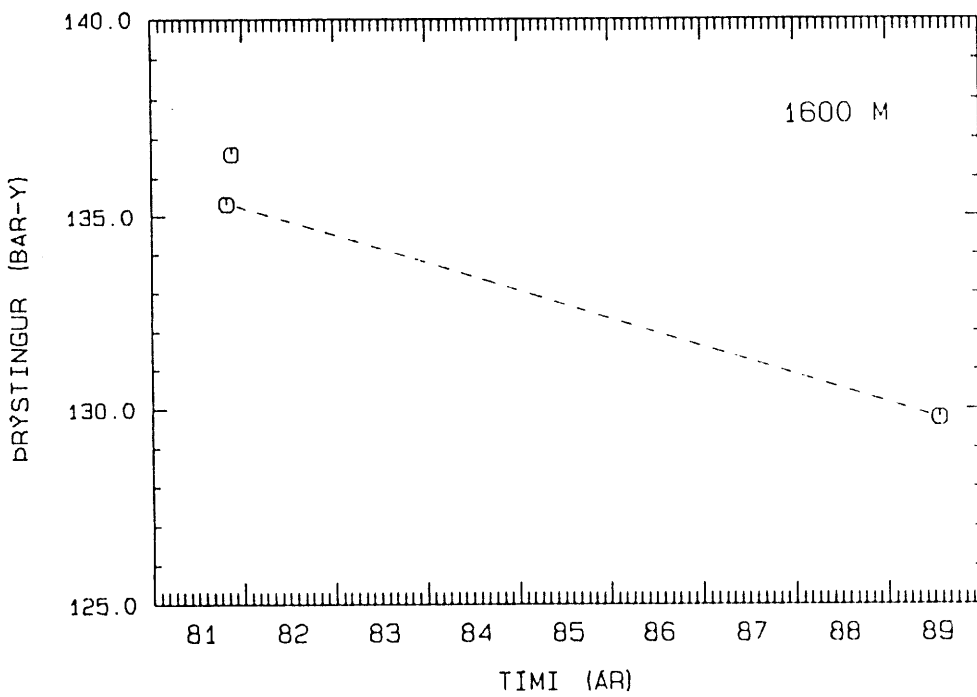
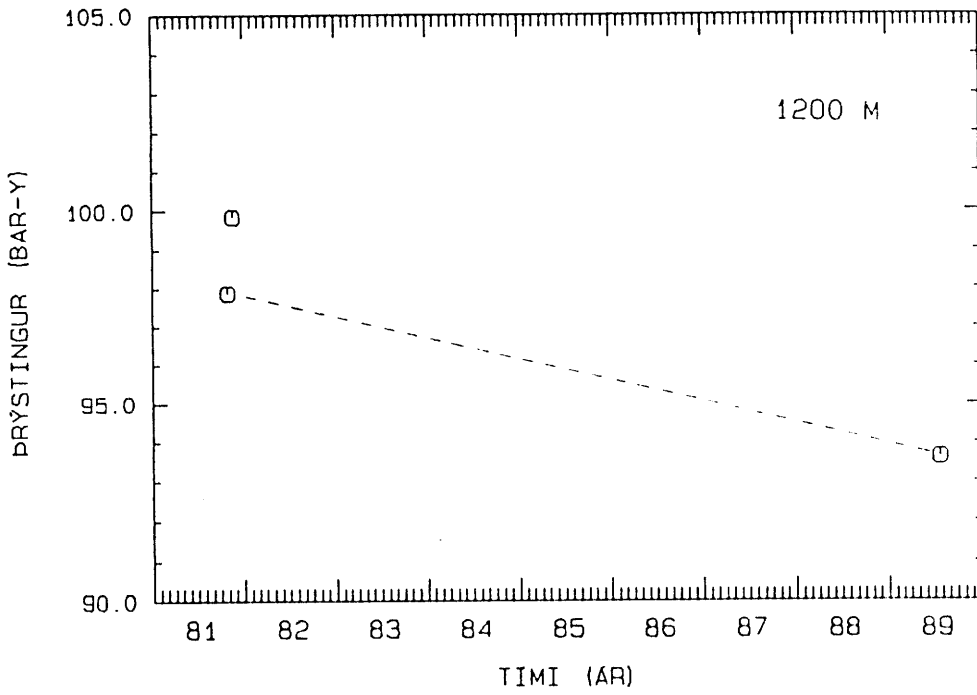
KRAFLA HOLA KJ-18 ÞRÝSTIMÆLINGAR



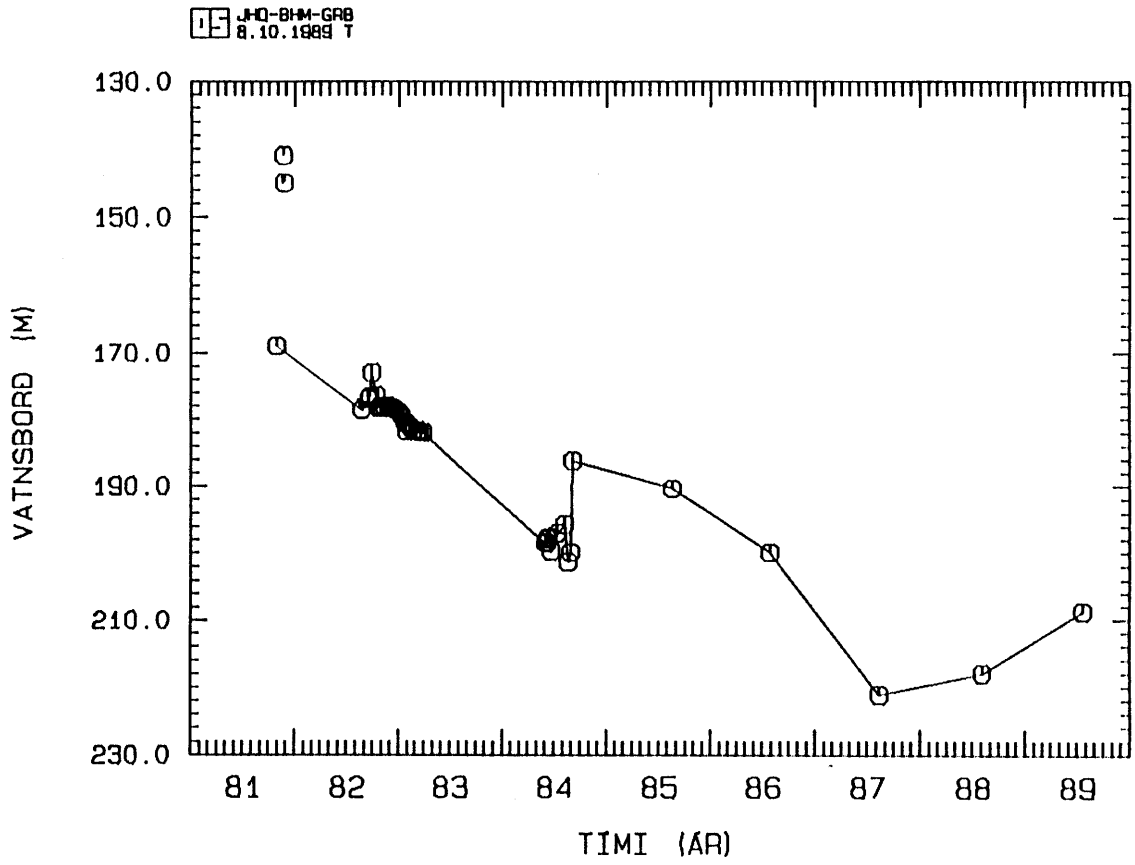
Mynd 20: Þrýstimælingar í holu KJ-18



Mynd 21: Hiti á 1200 og 1600 m dýpi í holu KJ-18



Mynd 22: Þrýstingur á 1200 og 1600 m dýpi í holu KJ-18



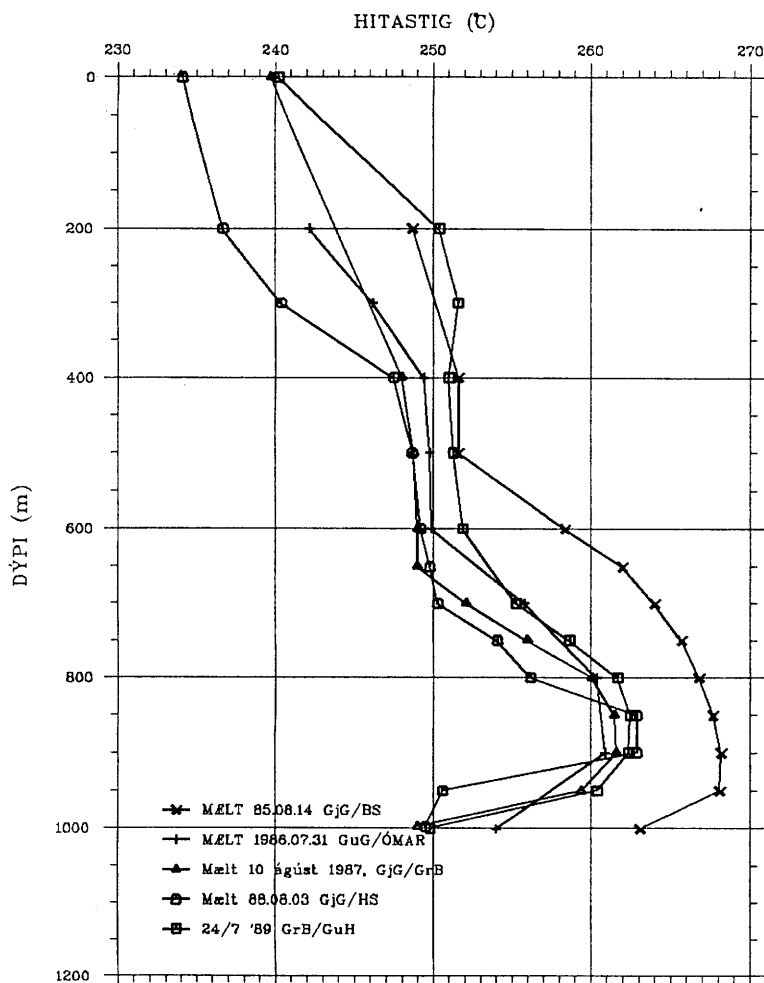
Mynd 23: Vatnsborð í holu KJ-18

2.7 HOLA KJ-21

Hola KJ-21 var hita- og þrýstimæld 24.júlí 1989. Mælingarnar eru sýndar á myndum 24 og 25, ásamt nokkrum eldri mælingum í holunni. Þá eru sýndar á myndum 26 og 27, hita og þrýstibreytingar á 600 og 1000 m dýpi með tíma. Er holan í meðallagi heit, en þrýstingur er hins vegar lækkanði. Sést það vel á mynd 27. Hafa ber í huga að mælingar þessa árs eru gerðar 2-3 vikum fyrr á sumrinu en mælingar undangenginna ára. Þrýstijöfnun holunnar hefði því lyft eitthvað þrýstigildi sumarsins ef mælt hefði verið síðar. Hins vegar leikur enginn vafi á því að þrýstingur fer enn lækkanði á Hvíthólasvæðinu, og virðist þrýstifallið nú vera milli 1 og 2 bör á ári í holu KJ-21, miðað við 1000 m dýpi. Tekið skal fram að þrýstingur á 600 m nýtist ekki lengur til viðmiðs milli ára, sökum þess að vatnsborð í holunni er komið niður á u.þ.b. 650 m dýpi.

JHD-BM-GRB
23.8.89 T

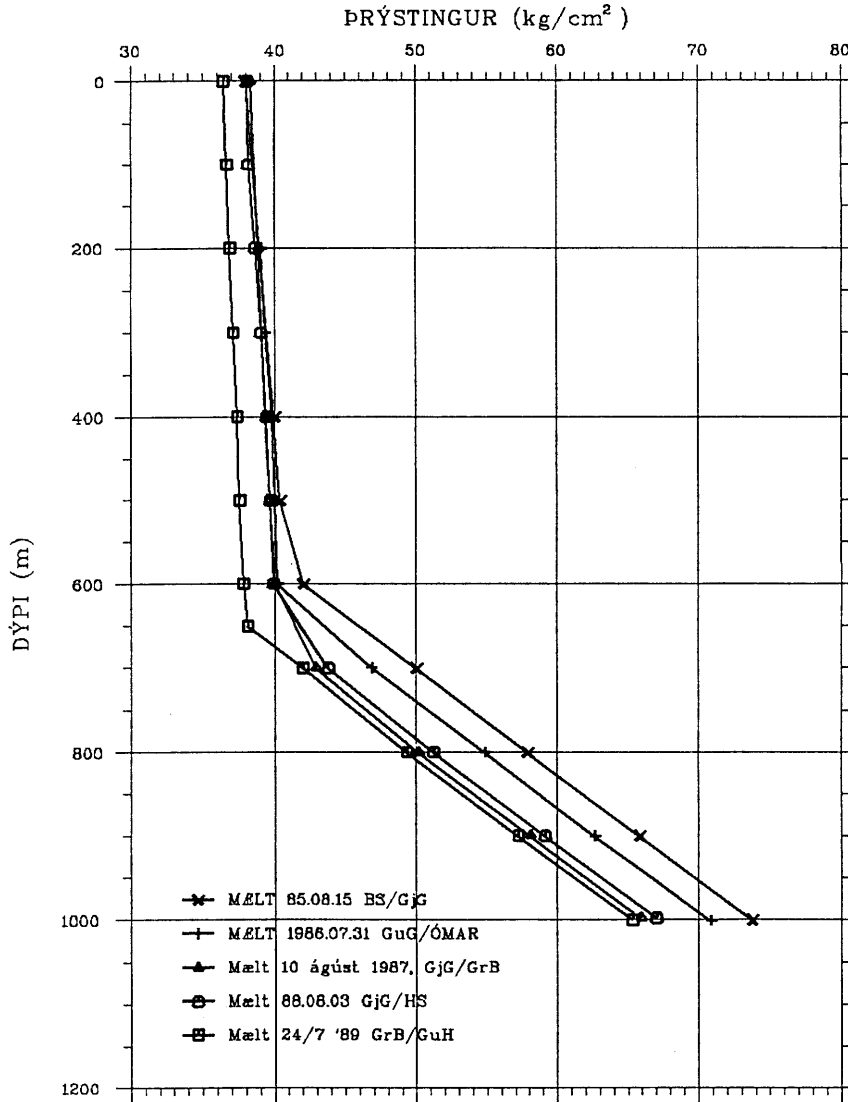
KRAFLA HOLA KJ-21 HITAMÆLINGAR



Mynd 24: Hitamælingar í holu KJ-21.

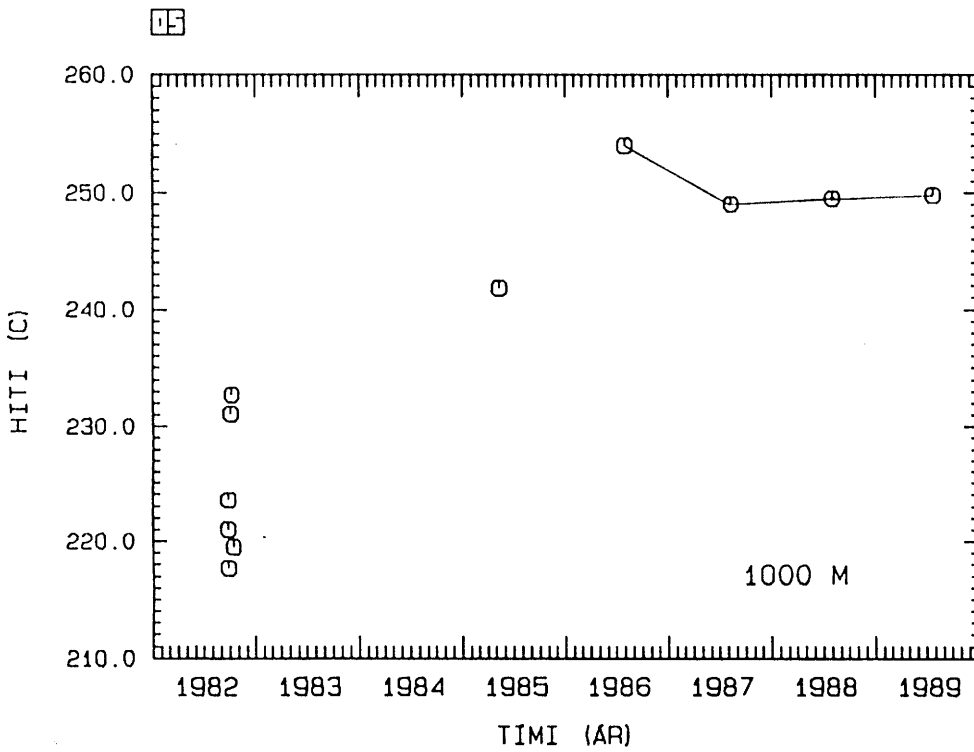
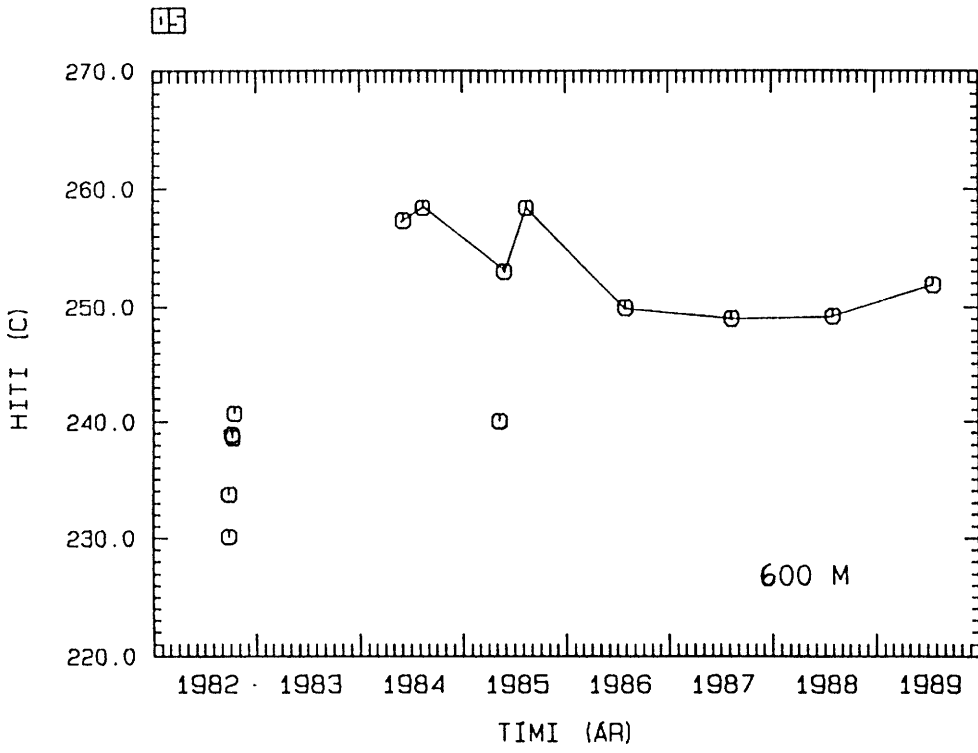
JHD-BM-GRB
23.8.89 T

KRAFLA HOLA KJ-21 ÞRÝSTIMÆLINGAR

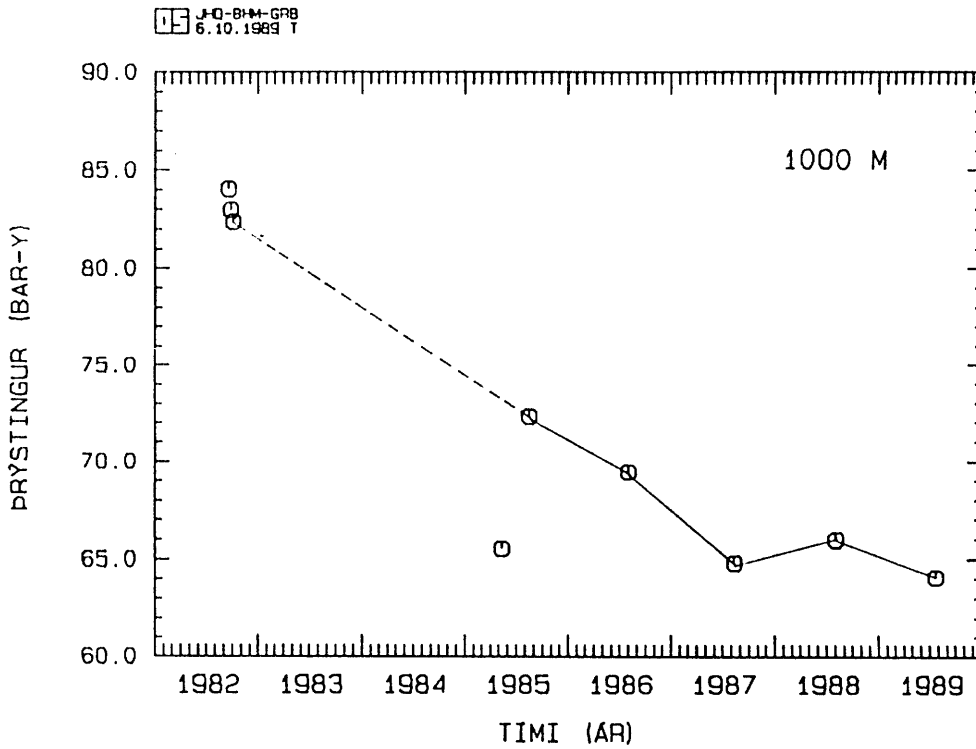
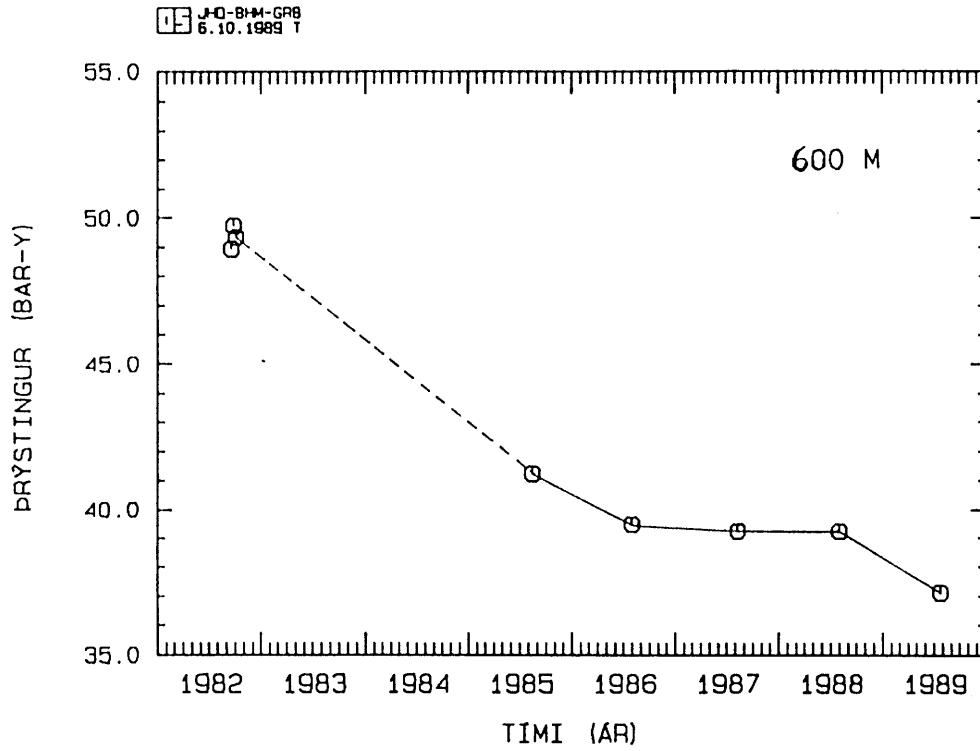


Mynd 25: Þrýstimælingar í holu KJ-21

Lagt er til að áfram verði mældur hiti og þrýstingur í holu KJ-21 líkt og fyrri ár, en einnig mætti íhuga mælingu í holunni næsta vor. Slík samanburðarmæling verður mjög gangleg ef til hermireikninga á Hvíthólasvæði kemur, sérstaklega ef svæðið verður nýtt áfram sem nú, þ.e. vinnsla á vetrum en hvíld á sumrin.



Mynd 26: Hiti á 600 og 1200 m dýpi í holu KJ-21



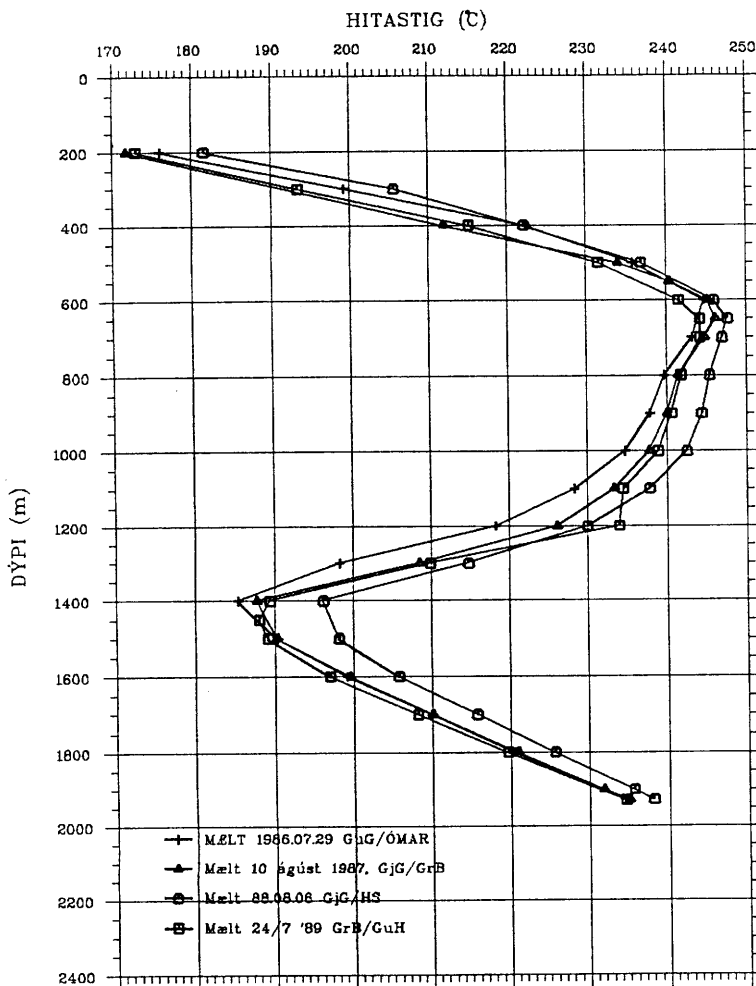
Mynd 27: Þrýstingur á 600 og 1200 m dýpi í holu KJ-21

2.8 HOLA KJ-23

Hola KJ-23 var hita- og þrýstimæld 24 júlí 1989, strax að lokinni mælingu KJ-21. Að venju þurfti að brúka reykjöfunartæki Kröfluvirkjunar til undirbúnings holutopps fyrir mælingarnar, sökum gnægðar brennisteinsvetnis sem situr efst í holunni og hún hleypir á mælímenn í hvert sinn sem þeir þreifa á henni. Mælingarnar eru sýndar á myndum 28-31, en þær sýna hita og þrýsting með dýpi, og eins með tíma á 600 og 1000 m dýpi. Smávægileg kólnun mælist í holunni miðað við fyrra ár, en hiti hennar telst samt eðlilegur. Hinsvegar skynjar holaþá þrýstilækkun sem nú á sér stað í Hvíthólasvæðinu. Er hún að meðaltali rúm 0,6 bör á ári ef miðað er við 600 m dýpi, en tæp 0,9 bör/ári ef miðað er við 1000 m dýpi. Munur þessara gilda stafar væntanlega af breytilegu hitastigi holunnar og mismikilli fjarlægð til þeirrar æðar sem stjórnar þrýstingi í holunni.



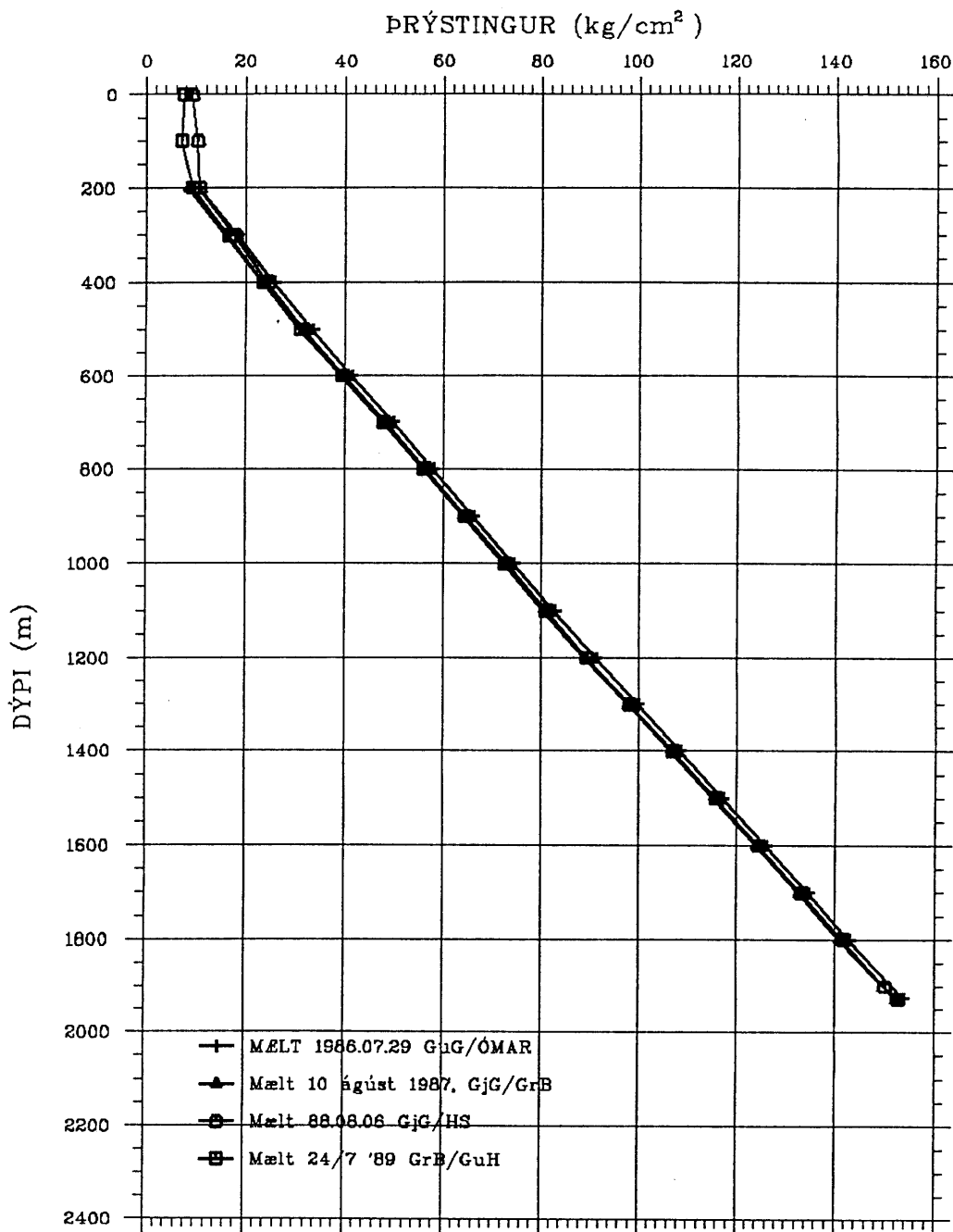
KRAFLA HOLA KJ-23 HITAMÆLINGAR



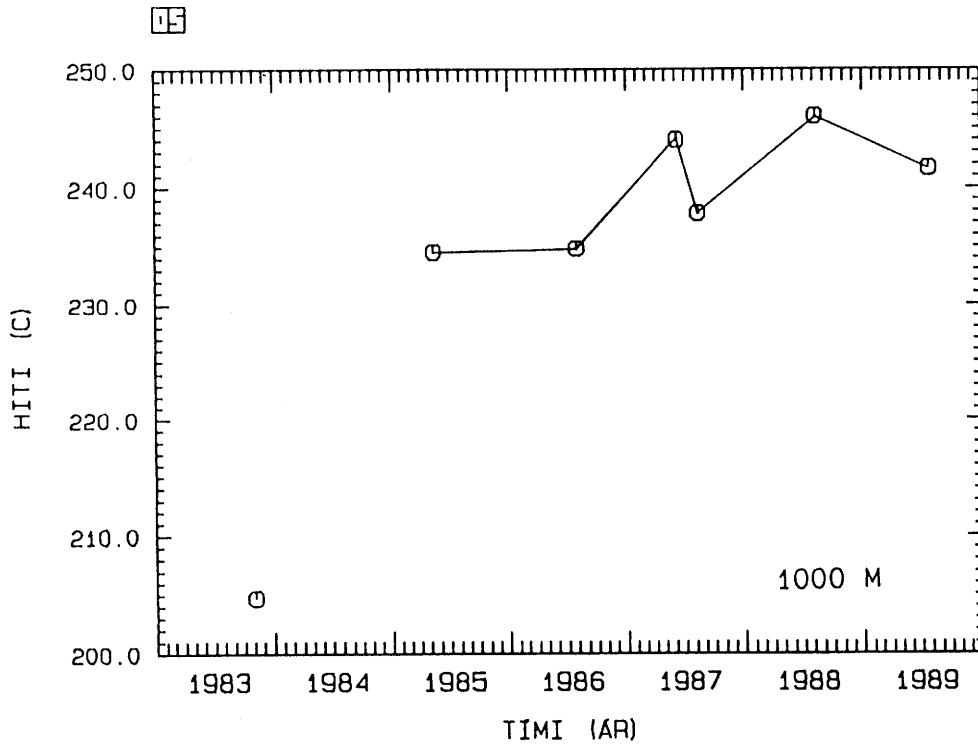
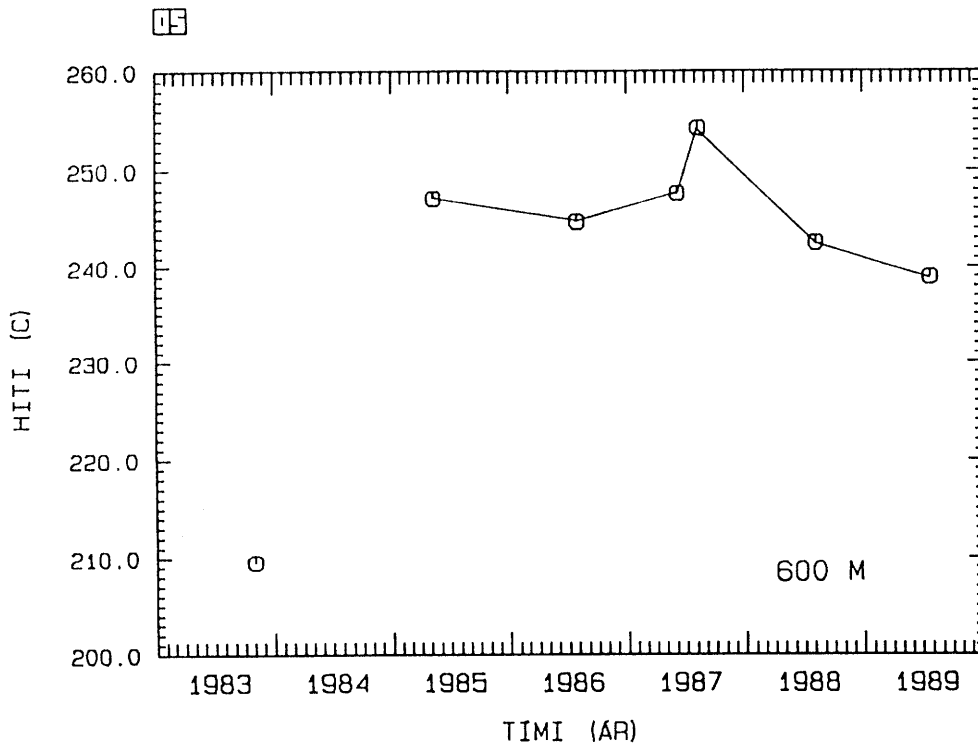
Mynd 28: Hitamælingar í holu KJ-23

JHD-BM-GRB
23.8.89 T

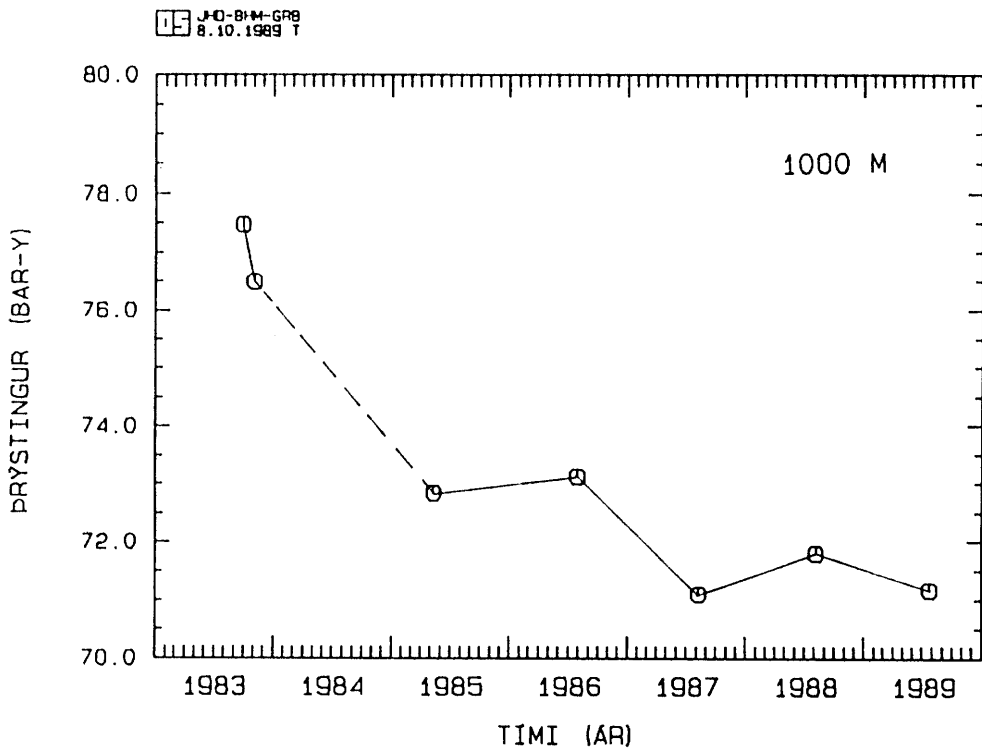
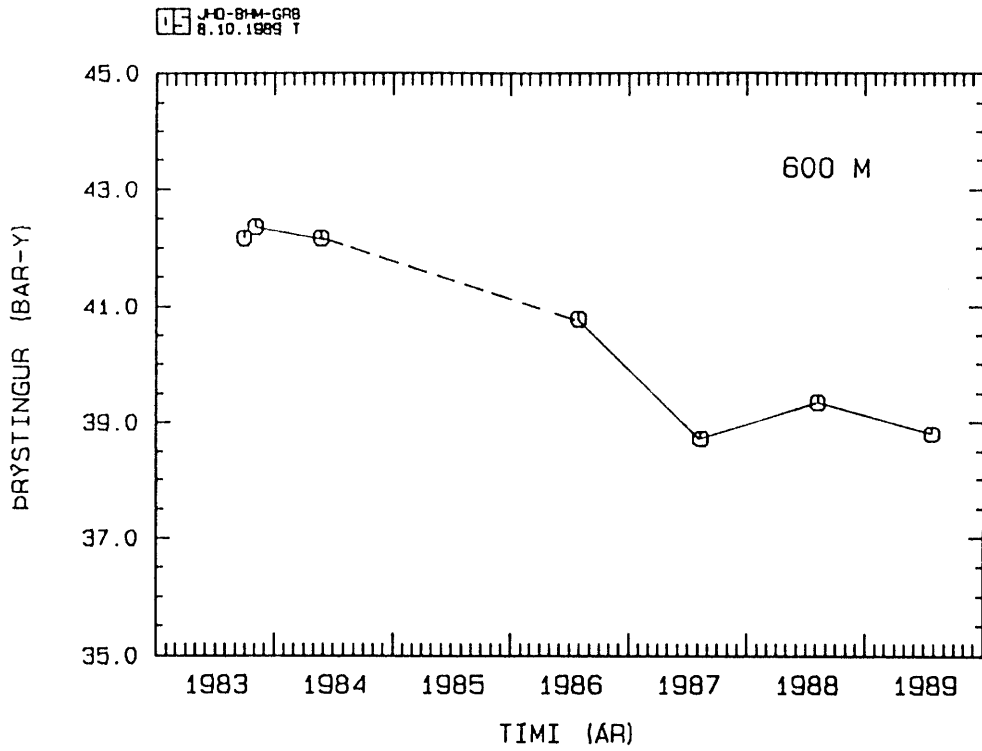
KRAFLA HOLA KJ-23 ÞRÝSTIMÆLINGAR



Mynd 29: Þrýstimælingar í holu KJ-23



Mynd 30: Hiti á 600 og 1000 m dýpi í holu KJ-23



Mynd 31: Þrýstingur á 600 og 1000 m dýpi í holu KJ-23

2.9 HOLA KG-24

Hola KG-24 var hita-, þrýsti- og körfumæld þann 20 júlí 1989. Hita- og þrýstimælingarnar eru sýndar á myndum 32 og 33, en niðurstöður körfumælingarinnar er að finna í töflu 4. Ef hitamælingarnar eru fyrst skoðaðar (mynd 32) þá sést að hola KG-24 er aðeins um 190 °C heit í vinnsluhluta sínum, í stað þeirra 200-210 °C sem búist var við, miðað við reynslu af holu KJ-11. Hugsanlegt er að niðurrennsli úr efri hluta holunnar skýri þennan lága hita. Slíkt er þó ólíklegt, þar sem þrýstimælingar benda til þess að þær æðar sem stjórna þrýstingi í holunni séu á 600-900 m dýpi og ætti því að renna upp holuna ef millirennsli er í gangi. Önnur hugsanleg skýring er, að sú kæling sem orðin er í holu KG-10 leiði um efra kerfið að holu KG-24 vegna vinnslu úr henni. Þriðja skýringin er að 190 °C hitinn sé eðlilegur berghiti við þessa holu.

Er hér lagt til að hola KG-24 verði hitamæld í blæstri svo kanna megir með vissu hver sé æðahiti holunnar. Má gera það í mælingum næsta haust, en enn betra væri að gera það að vori þegar Kröfluvirkjun er tekin út.

Annar þáttur mælinga í KG-24 sumarið 1989, var að körfumæla holuna. Var það gert með 4, 6 og 8" körfum sem geymdar eru á lager Kröfluvirkjunar. Er skemmst frá því að segja, að einungis 4" karfan gekk niður alla holuna, hinar stöðvuðust við hengistykkið í 392 m. Virðist því holan hrein af útfellingum ofan 392 m dýpis, en neðan þess er ástandið óvissara. Þó er líklegt að þar sé holan einnig hrein, en útfellingar við hengistykki hafi valdið því að 6" karfan komst ekki niður í vinnslufóðringuna. Úr þessu má skera með körfumælingum á sumri komanda.

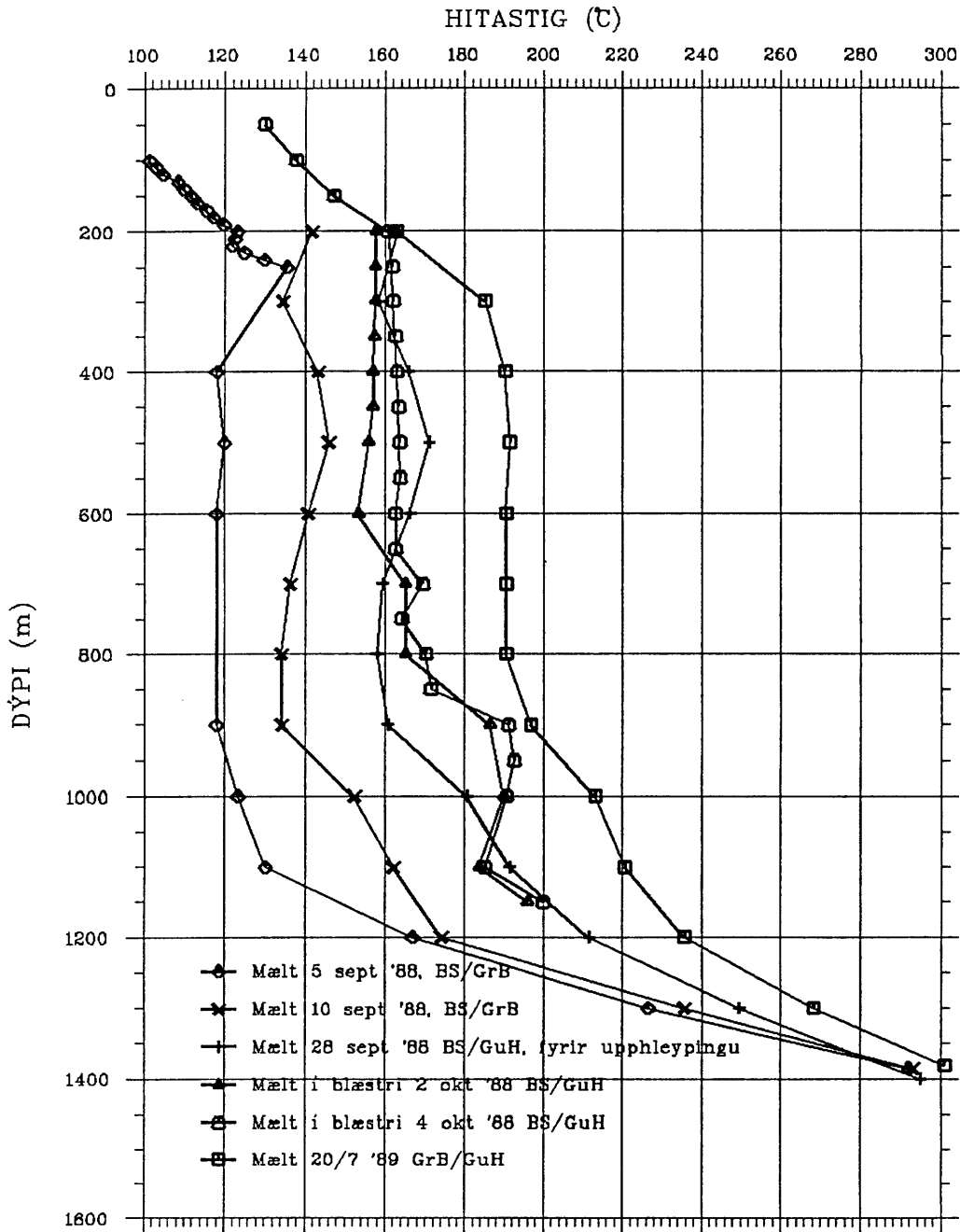
Tafla 4. Körfumælingar í holu KG-24

Karfa (")	Dýpi (m)
8	392
6	392
4	700 +)
Alls	1484

+) Mælt án fyrirstöðu.

JHD-BM-GRB
17.8.89 T

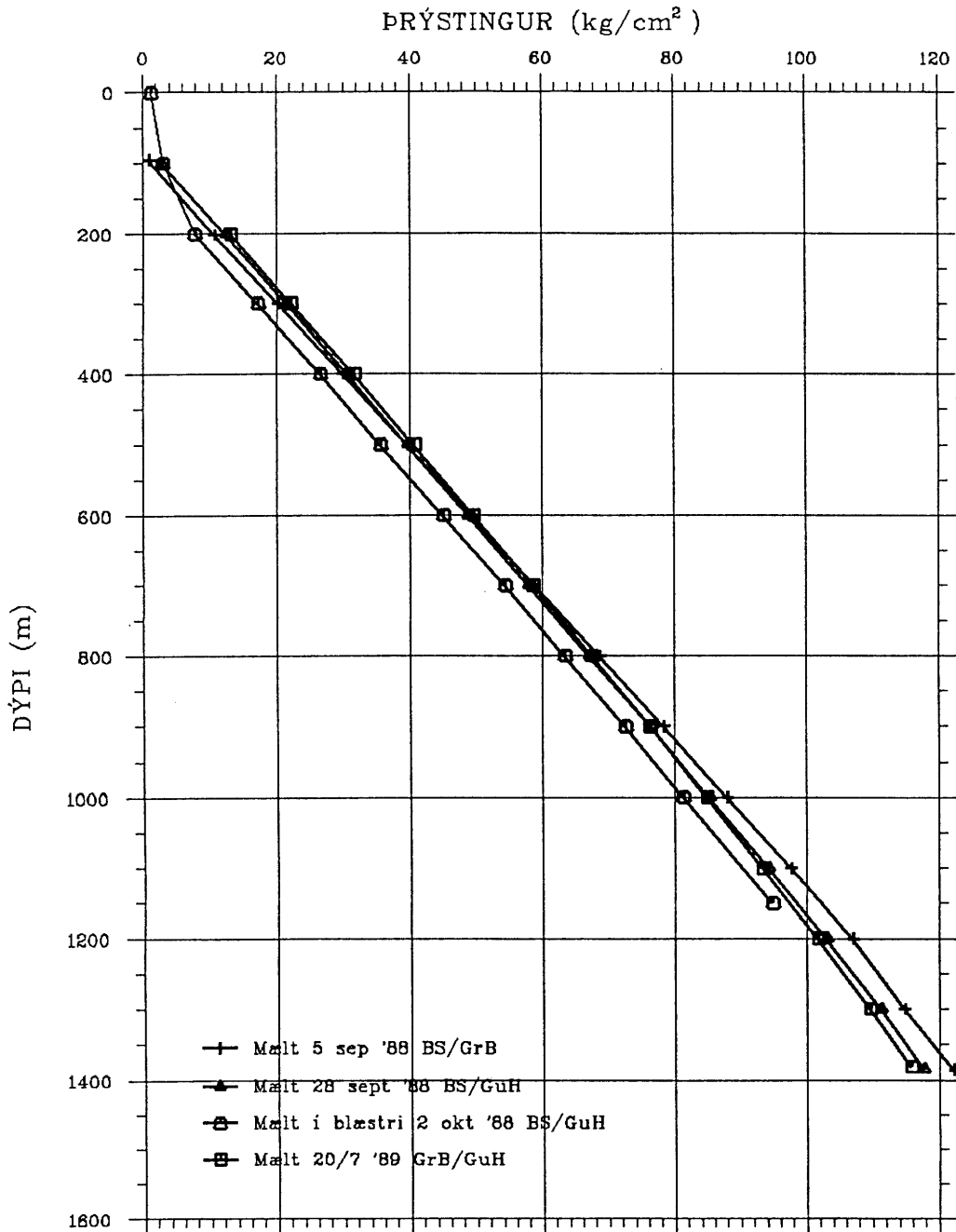
KRAFLA HOLA KG-24 HITAMÆLINGAR



Mynd 32: Hitamælingar í holu KG-24

JHD-BM-GRB
17.8.89 T

KRAFLA HOLA KG-24 ÞRÝSTIMÆLINGAR



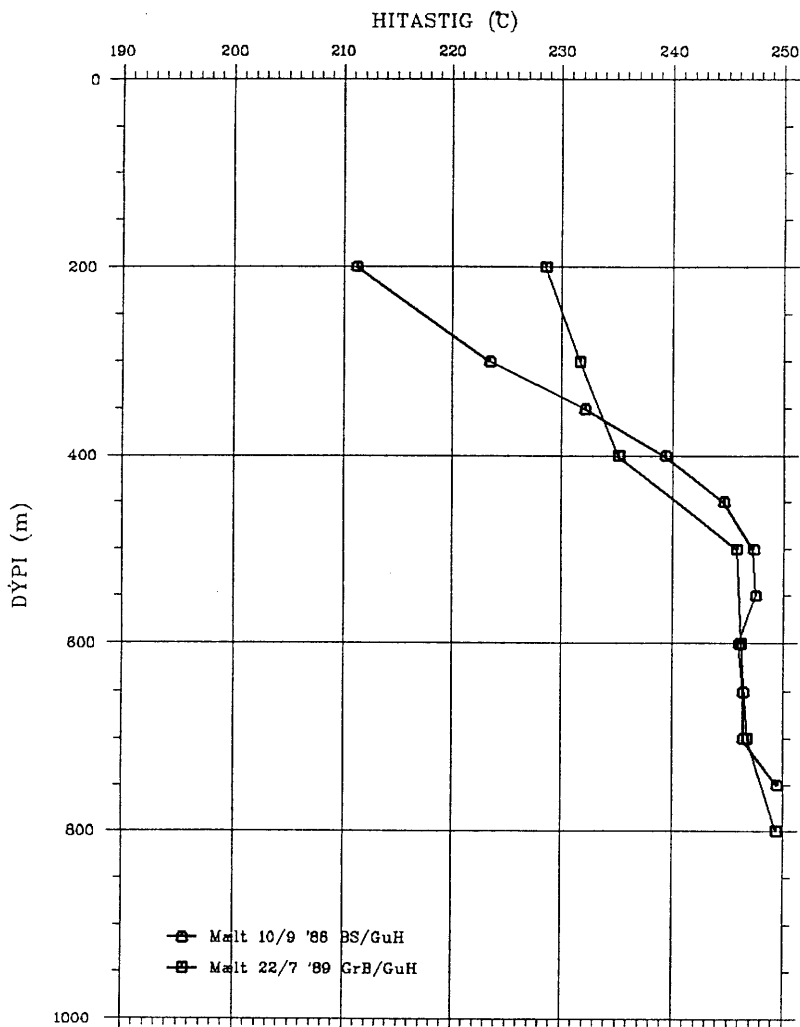
Mynd 33: Þrýstimælingar í holu KG-24

2.10 HOLA B-9

Hola B-9 í Bjarnarflagi var hitamæld þann 22 júlí 1989. Þótti ástæða til að staðfesta þann háa hita sem mældist í holunni í september á síðasta ári. Mynd 34 sýnir hitamælingar í holunni. Er skemmst frá því að segja að holan er enn jafnheit og í fyrra. Elli kerling hefur leikið topp holunnar grátt, er hann bæði ryðgaður og ventlar óþéttir. Þykir og mælímönnum holan ákaflega vangæf til mælinga, sökum brennisteinsvetnis er hún þúar gegnum óþétta ventla á höfuð títtnefndra sveina, þar sem þeir hanga í 2-3 m hæð utan á holunni með glóheita mæla í fanginu.

JHD-BM-GRB
17.8.89 T

BJARNARFLAG HOLA B-9 HITAMÆLINGAR



Mynd 34: Hitamælingar í holu B-9

2.11 HOLA BJ-12

Síðastliðið haust (3/10 1988) var reynt að lóða holu BJ-12 í blæstri. Ekki tókst það til fullnustu, því lóðið settist í 859 m dýpi og hafði áður þurft að herða að holu þegar lóð var í 640 m. Þótti ljóst að fyrirstaða væri í holunni á 859 m. Var því ákveðið að lóða holuna aftur í ár. Áður skyldi samt reyna að láta holuna blása af sér einhvern hluta útfellinganna, enda sást þeirra merki í fyrri upphleypingum.

Byrjað var á að hleypa holunni beint í loft upp tvívegis þann 25. júlí 1989. Ekki sást nein útfelling koma upp við það bras, og var holunni lokað um nóttina. Byggðist upp þrýstingur í holunni og var hann rúm 80 bör á toppi þegar aftur var opnað að morgni 26. júlí. Barst þá töluvert upp af útfellingabrotum og einnig smásteinum. Jafnframt kom einu sinni grár mökkur úr holunni. Var holunni svo lokað, lóði komið í hana og hún mæld meðan blés út á kút. Niðurstöður urðu sem hér segir:

<i>Dýpi (m)</i>	<i>Athugasemd</i>
430-450	<i>Lóð mjög létt</i>
670	<i>Högg á lóð (hengistykki)</i>
700	<i>Lóð léttist mjög</i>
857	<i>Lóð stoppar á stalli</i>
870	<i>Lóð þokaðist í þetta dýpi eftir að fullhert á leggventli</i>

Ekki var lagt í að brasa lengur með lóðið eftir að komið var í 870 m, enda farin að leka töluverð gufa með flönsum á toppi. Var því híft og fannst að lóðið rakst mikið í á bilinu 857-870 m. Má gera ráð fyrir að þar sé holan af svipaðri vídd og lóðið, eða um 1 1/2 til 2". Holan blés mestallan tímann sem lóðað var, og vakti athygli að vatnið frá hljóðdeyfi var á meðan grátt sem sementsleðja. Tóku menn sýni af því, svo og af útfellingum þeim og grjóti sem frá holunni ringdi, og færðu suður á Orkustofnun til nánari greininga. Þó nokkuð hafi þannig skolast af drasli úr holunni við aðgerðir þessar, virðist sem enn séu mikil þrengsli neðan 857 m dýpis.

3. ÁFRAMHALD MÆLINGA

Höfuðtilgangur þeirra þrýsti- og hitamælinga sem stundaðar eru árlega á Kröflusvæði, er að gefa sem áreiðanlegasta mynd af ástandi jarðhitageymisins á hverjum tíma. Jafnframt nýtast mælingarnar til samanburðar á hita og þrýstingi milli ára. Kann slíkur samanburður að leiða í ljós, að það sem sýnist smávægileg breyting frá einu ári til næsta, getur á löngum tíma safnast upp í breytingar sem eru langt umfram nákvæmni mælitækjanna. Glögg dæmi um slíkt er þrýstilækkun holu KJ-18 milli 1983 og 1989. Nauðsynlegt er að safna upplýsingum um slíkar smágervar breytingar með sem jöfnustu millibili, því þá fyrst er hægt að nota gögnin til staðfastra ályktana um breytingar í jarðhitageyminum. Þannig er nú fyrst, eftir 5-10 ára langa mælingasögu í holum, hægt að segja til með vissu um þrýstilækkun í Suðurhlíðum. Hins vegar eru mælingar of strjálar til að segja megi ákveðið til um kólnun í Efra-kerfinu í Leirbotnum.

Sá samanburður sem gerður er á mælingum milli ára í Kröfluholum, sýnir breytingar í þrýstingi, meðan hiti er oftast stöðugur. Því ber að leggja áherlsu á eftirlit með þrýstingi. Slíkt krefst jafnframt mælinga á hita, því útslag þrýstimæla þeirra sem holurnar eru mældar með, er háð hitastigi.

Er hér lagt til að mælingar verði með ámóta hætti og undanfarin ár. Þó eru lagðar til tvær viðbætur.

1. Að einnig verði mældur þrýstingur í Efri-Leirbotna holum. Jafnframt að hola KG-24 verði mæld árlega. Rökin fyrir þessu eru að nú hefur vinnsla úr efra-kerfinu vaxið verulega með tilkomu holu KG-24. Ástæða er til að ætla að því fylgi breytingar í þrýstingi.
2. Að hola KJ-11 verði hita- og þrýstimæld árlega. Þessar mælingar verði notaðar til að fylgjast með ástandi neðra kerfisins í Leirbotnum. Til þess er rík ástæða ef boranir hefjast á nýju á svæðinu og massataka eykst. Nægir að mæla holuna staðna niður í rúma 1000 m, en það er vonandi vel neðan vatnsborðs. Mælingar í KJ-15 geta þjónað sama hlutverki, að því tilskyldu að holan standi lokuð. Mjög þykir óvíst að það sé hægt sökum mikils gass í holunni.

Ef þessar tillögur komast í framkvæmd, munu holur KJ-6, KG-10, KJ-11, KJ-16 og KJ-23 gegna lykilhutverki í eftirliti með þrýstingi á Kröflusvæði á komandi árum. Hver þessara hola er einungis tengd einu vatnskerfi og munu mælingar í þeim veita afgerandi upplýsingar um þrýstiástand viðkomandi vatnskerfa. Um aðrar holur ætti að gilda sú meginregla að þær verði mældar árlega eða annaðhvert ár, að því tilskyldu að í þær verði komist og að ástand þeirra sé ekki of truflað af vinnslu eða mikilli blæðingu. Þá er æskilegt að vatnsborð verði mælt sem oftast í holum KJ-6, KG-10 og KJ-18.

4. SAMANTEKT UM HITA- OG ÞRÝSTIBREYTINGAR Á VINNSLUSVÆÐUM KRÖFLUVIRKJUNAR

Kröfluvirkjun nýtir fjögur vinnslusvæði þ.e. efri og neðri hluta Leirbotna, Suðurhlíðar Kröflu og Hvíthólasvæðið. Svæðin eru um margt ólík, og bregðast þau mismunandi við vinnslu. Hér að framan hefur verið fjallað um hita- og þrýstibreytingar í einstökum borholum Kröfluvirkjunar. Ekki er síður áhugavert að bera saman á milli hola breytingar innan vinnslusvæða.

4.1 Efri hluti Leirbotna

Efrihluti Leirbotna er nýttur til að afla lágþrýstigufu fyrir Kröfluvirkjun. Vinnsluholurnar KG-5 og KG-24 taka eingöngu vökva úr þessu kerfi, og hola KJ-11 að hluta. Vinnsla úr KJ-9 er einnig talin hafa áhrif í efrihluta Leirbotna. Massatakan úr svæðinu jókst verulega haustið 1988, þegar hola KG-24 var virkjuð. Lætur nærri að heildarvinnsla síðastliðinn vetur hafi verið um 50 kg/s.

Þrýstingur féll um allt að 5 bör í efrihluta Leirbotna á árinu 1976 þegar hola 4 (Sjálfskaparvíti) blés óbeisluð. Eftir að Sjálfskaparvíti þagnaði í árslok 1976 hækkaði þrýstingur að nýju. Vinnsla undanfarinna ára hefur ekki leitt til niðurdráttar í kerfinu, og eru bæði þrýstingur og vatnsborð nú svipuð og í upphafi vinnslu um miðjan síðasta áratug. Hitastig hefur lengst af verið stöðugt í kerfinu, en samkvæmt mælingum nú í sumar hefur hola KG-10 kólnað síðasta árið. Hola KG-24, sem boruð var sumarið 1988, er einnig kaldari en búist var við. Hitastig er hins vegar óbreytt í holu KG-5. Getum er leitt að því að vinnsla úr KG-24 dragi kaldara vatn inn á svæðið úr norðri, og sé það ástæðan fyrir hitalækkun í KG-10.

4.2 Neðri hluti Leirbotna

Leirbotnasvæðið er langstærsta jarðhitakerfið í Kröflu. Borholur ná einungis yfir hluta þess og vinnsla fer fram á enn takmarkaðra svæði. Neðrihluti Leirbotna gefur af sér háþrýstigufu og eru helstu vinnsluholar KJ-9, KJ-11, KG-12 og KJ-13, en einnig blæs hola KJ-15 stöðugt, enda þótt hún sé ekki nýtt af Kröfluvirkjun. Vinnsla síðastliðið ár var um 50 kg/s og munar þar mest um holu KJ-9 með um 35 kg/s í heildarstreymi. Vinnsla hefur farið minnkandi úr neðri hluta Leirbotna undanfarin ár, bæði vegna þess að holur hafa dalað í afköstum og vegna þess að holur KJ-6 og KJ-7 hafa ekki verið nýttar undanfarið.

Erfitt er að fylgjast með hita- og þrýstibreytingum í sjóðandi jarðhitakerfum og er neðrihluti Leirbotna þar engin undantekning. Vinnsluholar sjóða í botn í blæstri og þurfa þær að standa lokaðar í fleiri mánuði til að ná hita- og þrýstijafnvægi við jarðhitakerfið. Besta leiðin til að fylgjast með breytingum, er að mæla hita og þrýsting í holum sem ekki eru nýttar og standa lokaðar langtímum saman. Einnig er hægt að loka vinnsluholum og fylgjast grannt með því hvernig hiti og þrýstingur breytast fyrstu vikurnar eftir lokun. Má þá með nokkurri vissu framlengja mæligildi að jafnvægi.

Holur tengdar neðrihluta Leirbotna blésu nær stöðugt fram til 1984, að frátöldum skammtíma hléum m. a. vegna hreinsana. Upplýsingar um breytingar á hita og þrýstingi í kerfinu voru því af mjög skornum skammti fram að þessum tíma. Sumarið 1984 var flestum vinnsluholum lokað í þrjá mánuði og fylgst með jöfnun þrýstings (Ómar Sigurðsson o. fl., 1985). Mælingarnar sýndu að umtalsverð þrýstilækkun hafði orðið í kerfinu á tímabilinu 1976-1984, eða um 5-6 bar. Þar sem kerfið er sjóðandi svarar þetta um 3-5 °C lækkun hita á 1-2 km dýpi.

Síðan 1984 hefur hola KJ-6 ekki verið nýtanleg fyrir Kröfluvirkjun. Hún hefur staðið lokað, en enginn þrýstingur er á holutoppi. Hægt er að mæla holuna niður á 1200 m dýpi, og hefur það verið gert árlega síðan 1986. Óverulegar breytingar hafa komið fram í hita ofan 1200 m dýpis, en þrýstingur og vatnsborð hafa farið hækkandi. Lætur nærri að niðurdrátturinn, sem varð í kerfinu fram til 1984, sé nú genginn til baka við holu KJ-6. Hola KJ-6 er við suðurjaðar borsvæðisins í Leirbotnum og fjarri núverandi vinnsluholum. Meginskýring á þrýstihækkun við holuna er væntanlega minnkandi vinnsla í Leirbotnum. Vegur þar þyngst, að engin vinnsla hefur verið úr þessum hluta kerfisins síðan KJ-6 var lokað vorið 1984. Lítið er vitað um þrýsting við núverandi vinnsluholur. Líklega er niðurdráttur enn vaxandi en þrýstimæling í holu KJ-13, nú í sumar, bendir til þess að þrýstingur við þá holu hafi einungis lækkað um 1-2 bar síðan 1983.

4.3 Samanburður við niðurstöður hermirekninga fyrir Leirbotna

Á árunum 1980-82 var gert umfangsmikið reiknilíkan fyrir Leirbotnasvæðið (G. S. Böðvarsson, K. Pruess, V. Stefánsson and E.T. Eliasson, 1984: The Krafla Geothermal Field, Iceland: 3. The Generating Capacity of the Field. Reprinted from Water Resources Research, Vol. 20. No. 11: 1545-1559). Lokahluti þess verks var gerð vinnsluspár fyrir jarðhitakerfið, sem náði fram til aldamóta. Reynt var að meta útfrá ákveðnum forsendum hvernig þrýstingur lækkaði í kerfinu með vinnslu, og hvernig vatnið í berginu syði í nágrenni vinnsluhola uns kerfið yrði að hreinu gufukerfi. Rétt er að rifja hér upp helstu forsendur reikninga og meginatriði vinnsluspárinnar, en að öðru leyti vísast í skýrslur og greinar um hermireikningana.

Reiknilíkanið sem notað var til að ákvarða viðbrögð neðrihluta Leirbotna er sýnt á mynd 35. Líkanið er 1000 m þykkt (á 1-2 km dýpi), og voru allar vinnsluholur (á árinu 1981) hafðar í einum og sama reiknikubbum. Vatnspéttur veggur lokaði reiknilíkaninu til suðurs, og ekki var heldur gert ráð fyrir rennsli úr Suðurhlíðum yfir Hveragil. Hins vegar var gert ráð fyrir vaxandi aðstreymi úr vestri og norðri inn á vinnslusvæðið, eftir því sem þrýstingur í kerfinu lækkaði. Poruhluti bergsins var talinn um 5% og lekt þess á bilinu 1,5-4 Darcy-metrar sem er í samræmi við lektarprófanir á borholunum.

Helstu niðurstöður hermireikninga fyrir neðrihluta Leirbotna eru sýndar hér á tveimur myndum. Mynd 35 sýnir hvernig þrýstingur á 1500 m dýpi lækkar fyrir 10, 20 og 40 MW_e vinnslu úr svæðinu, en á mynd 36 sést hvernig gufuhlutinn í kerfinu hækkar fyrir þessi vinnsludæmi. Fyrir 40 MW_e vinnslu (1 MW_e samsvarar 2,4 kg/s af háþrýstigufu) tæmist kerfið mjög hratt. Innan tíu ára er allt vatn uppurið og vinnslusvæðið orðið að hreinu gufukerfi. Meðalniðurdráttur í vinnslusvæðinu er þá um 15 bar, og er vaxandi. Eftir um tólf ár er þrýstingur fallinn í 80 bar (um 32 bar niðurdráttur). Svipuð hegðun reiknaðist einnig, ef vinnslan er 20 MW_e, en gengur mun hægar. Við þá vinnslu tekur það svæðið um 30 ár að verða að gufukerfi og 32 bar niðurdráttur reiknast fyrst í kerfinu eftir rúmlega 40 ár. Fyrir 10 MW_e vinnslu gerast hlutirnir enn hægar. Þrýstingur lækkar aðeins um 15 bar á 50 árum og gufuhlutinn í kerfinu nær jafnvægi, þegar um 70 % vökvans í berginu er gufa. Skýringin á því að gufuhluti hættir að vaxa er sú, að innstreymi í svæðið (úr vestri og norðri) nær að viðhalda vatnshluta kerfisins í takt við suðuna. Endurnýjun vöква er hins vegar ekki jöfn vinnslunni, sem sést best á því að þrýstingur heldur áfram að falla þrátt fyrir að gufuhlutinn breytist lítið sem ekkert.

Meginályktanir sem dregnar voru af ofangreindum spám eru;

1. Að vinnslusvæðið í Leirbotnum geti staðið undir allt að 25 MW_e vinnsla til 30 ára.
2. Til að auka vinnsluna umfram 25 MW_e er nauðsynlegt að dreifa borholum yfir stærra svæði þ.e. bora vinnsluholur vestan eða norðan við núverandi vinnslusvæði. Var þá sem nú einkum horft til Vítismóa, sem vænlegs borsvæðis í framtíðinni.

Vinnsla úr neðrihluta Leirbotna hefur lengst af verið innan við 10 MW_e. Samkvæmt vinnsluspánni á mynd 35 hefði því mátt búast við óverulegri þrýstilækkun í kerfinu eða um 0,1-0,2 bar á ári. Það kom því á óvart haustið 1984, þegar mælingar sýndu að á undangengnum átta árum hafði þrýstingur lækkað um 5-6 bar. Reyndar var vinnsla úr Leirbotnum mun meiri en sem samsvarar 10 MW_e fyrstu vinnsluárin, en það nægir ekki til að skýra muninn á spánni og raunveruleikanum 1984. Langlíklegasta ástæðan er sú að í hermireikningum var gert ráð fyrir að holur væru lóðréttar og vinnslusvæði þeirra því 0,7 km² að stærð. Hallamælingar hafa hins vegar sýnt að holurnar eru skakkar, og raðast vinnsluhlutar þeirra innan mun þrengra svæðis en holutopparnir gefa til kynna. Lætur nærri að raunverulegt vinnslusvæði neðan 1000 m dýpis sé um 0,3-0,4 km². Telja verður löngu tímabært að endurskoða reiknilíkanið í ljósi þessara upplýsinga og kvarða líkanið við vinnslusögu Leirbotna eftir 1982.

4.4 Suðurhlíðar Kröflu

Kröfluvirkjun nýtir fjórar holur á Suðurhlíðasvæði; holur KJ-14, 17, 19 og 20. Að auki er í Suðurhlíðum hola KJ-18, sem hefur staðið lokuð frá því hún var boruð 1981 og KJ-16, sem blés á árunum 1981-84, en hefur síðan ýmist staðið lokuð eða verið í blæðingu. Vinnsla hefur lítið breytst í Suðurhlíðum frá 1980-81. Vinnsluholurnar gefa um 45 kg/s í heildarstreymi og er hlutur háþrýstigufu um 32 kg/s (um 15 MW_e). Hola 16 var aldrei aflmikil og gaf hún að jafnaði um 6-7 kg/s á meðan hún blés.

Suðurhlíðar eru sjóðandi jarðhitakerfi. Á vesturhluta svæðisins, við holur KJ-14, 19 og e.t.v 20, fylgir hitastig og þrýstingur suðumarki niður á meira en 2 km dýpi. Austar á svæðinu, við holur KJ-16 og 17, nær suðan einungis niður á 1000-1200 m dýpi. Þar tekur við um 270 °C heitt vatnskerfi. Hola 18 stendur austan við svæðið. Hvergi gætir suðu í holunni, en æðar neðan 2000 m dýpis eru í þrýstisambandi við vinnsluholur í Suðurhlíðum.

Sumarið 1984 var holum KJ-16, 17, og 20 lokað í rúmlega tvo mánuði. Fylgst var með jöfnun þrýstings djúpt í holunum eftir lokun. Þegar holunum var hleypt að nýju í blástur, var þrýstingur kerfinu enn um 10 bar lægri en árin 1980-81, þegar vinnsla hófst. Þrýstingur var hins vegar enn hækkandi, og samkvæmt þeim líkönum sem notuð voru til að framlengja þrýstiferla, virtist stefna í svipaðan þrýsting og var í kerfinu áður en vinnsla hófst. Því var dregin sú ályktun að óverulegur niðurdráttur væri í Suðurhlíðum 1984 (Ómar Sigurðsson o.fl. 1985).

Síðustu ár hefur hola KJ-16 ýmist verið lokuð eða í blæðingu. Hún hefur því nýttst vel sem eftirlitshola í Suðurhlíðum. Samkvæmt mælingum í holunni vex niðurdráttur við holuna að meðaltali um rúmlega 1 bar á ári, þó heldur hafi dregið úr niðurdráttarhraða síðari ár. Samt er heildarfallið um eða yfir 10 bar síðan hola var boruð 1981. Sumarið 1984 hefur niðurdráttur þegar verið orðinn um 4-5 bar, sem sýnir að ekki var réttlætlanlegt að framlengja þrýstiferla líkt og gert var við úrvinnslu mælinga um þrýstijöfnun svæðisins. Vinnsla í Suðurhlíðum hefur einnig áhrif á þrýsting í holu KJ-18 Hefur þrýstingur þar lækkað um

4-5 bar frá 1981, sem er mun minna en í holu KJ-16, enda hola KJ-18 fjær vinnslusvæðinu í Suðurhlíðum.

Ekki hafa mælst hitabreytingar í Suðurhlíðum (holur KJ-16 og 18), sem rekja má til vinnslu. Reyndar hefur hiti djúpt í holu KJ-18 lækkað með tímanum, en orsök þeirrar kælingar er niðurrennsli úr kaldari æðum ofan þúsund metra dýpis. Hins vegar er fullvíst að sá hluti Suðurhlíða, sem er við suðumark, hefur kólnað í samræmi við þrýstilækkun svæðisins. Miðað við 10 bar niðurdrátt er kæling sjóðandi kerfis á 1-2 km dýpi 5-10 °C.

4.5 Samanburður við niðurstöður hermireikninga fyrir Suðurhlíðar

Áhugavert er að bera saman mæligögn um niðurdrátt í Suðurhlíðum við hermireikningana frá 1980-82 (Guðmundur Böðvarsson og Karsten Pruess, 1982). Í því reiknilíkani var gert ráð fyrir, að jarðhitakerfið væri 1000 m þykkt, það væri lokað til suðurs við Grænagil og til austurs við goshrygginn austan hola KJ-16 og 17. Þá var ekki gert ráð fyrir flæði til austurs yfir Hveragilssprunguna. Poruhluti var áætlaður 5 % og lekt 2 Dm. Gert var ráð fyrir suðu alls staðar í kerfinu. Við spáreikningana var miðað við 15 MW_e vinnslu, líkt og reyndin hefur verið. Reiknuð voru fjögur tilfelli eftir því hvort norðurjaðar svæðisins væri opinn eður ei, og hvort uppstreymi væri inn í kerfið við austurjaðar þess. Fyrst var bent á tilvist uppstreymis á þessum stað útfrá efnafræðilegum athugunum á gufuaugum, en mælingar á djúpþrýstingi í kerfinu sýndu síðar að þrýstingur væri í hærra lagi við holu KJ-17.

Niðurdráttarspáin er sýnd á mynd 37. Sé gert ráð fyrir lokuðu kerfi, helst þrýstingur stöðugur fyrstu 5 vinnsluárin eða svo, en fellur síðan um 1 bar á ári. Eftir um 15 ára vinnslu er allt vatn í berginu umbreytt í gufu og kerfið tæmist á örskömmum tíma. Svipað gerist á um 30 árum, sé gert ráð fyrir uppstreymi við austurjaðar svæðisins. Ef norðurjaðar vinnslusvæðisins er opinn, streymir jarðhitavökví úr vesturhlíðum Kröflu inn á vinnslusvæði Suðurhlíða þegar þrýstingur fellur. Þrýstingur stendur nánast í stað fyrstu 10-20 vinnsluárin, en lækkar síðan samkvæmt spánni um 0,4-0,7 bar/ári á meðan vatn er að sjóða í kerfinu. Ef ekkert uppstreymi er við austurjaðarinn breytast Suðurhlíðar í þurr-gufukerfi á um 40 árum.

Niðurdráttarspánni frá 1982 ber ekki vel saman við mæligögn síðari ára. Þrýstingur lækkaði strax og vinnsla hófst úr kerfinu og hefur lækkun verið að meðaltali rúmlega 1 bar/ári við holu KJ-16. Reyndar er það svipaður niðurdráttarhraði og spád er eftir fimm ára vinnslu, ef gert er ráð fyrir því að norðurjaðar svæðisins sé lokaður. Ekki er vafamál að hægt er að endurskoða og bæta reiknilíkanið, sem notað var 1982. Í reikningunum var stuðst við mjög stutta vinnslusögu, og viðbrögð svæðisins við vinnslu þá lítt þekkt. Einnig hafa komið fram nýjar upplýsingar um eðlisástand jarðhitakerfisins. Suða er t.d. ekki jafnútbreidd í kerfinu og gert var ráð fyrir, og eru holur KJ-16 og 17 í hreinu vatnskerfi neðan 1200 m dýpis. Ef gert er ráð fyrir suðu á minna svæði en í reikningunum 1982, má búast við að reiknaður niðurdráttur aukist hraðar í byrjun vinnslu. Kann það að skýra það frávik sem er á milli reiknaðs og mælds niðurdráttar fyrstu vinnsluárin. Það skiptir miklu máli um endingu svæðisins við núverandi vinnslu hvort innstreymi er í svæðið úr vesturhlíðum Kröflu. Samanburður á þrýstilækkun í KJ-16 við vinnsluspána frá 1982 bendir ekki til þess.

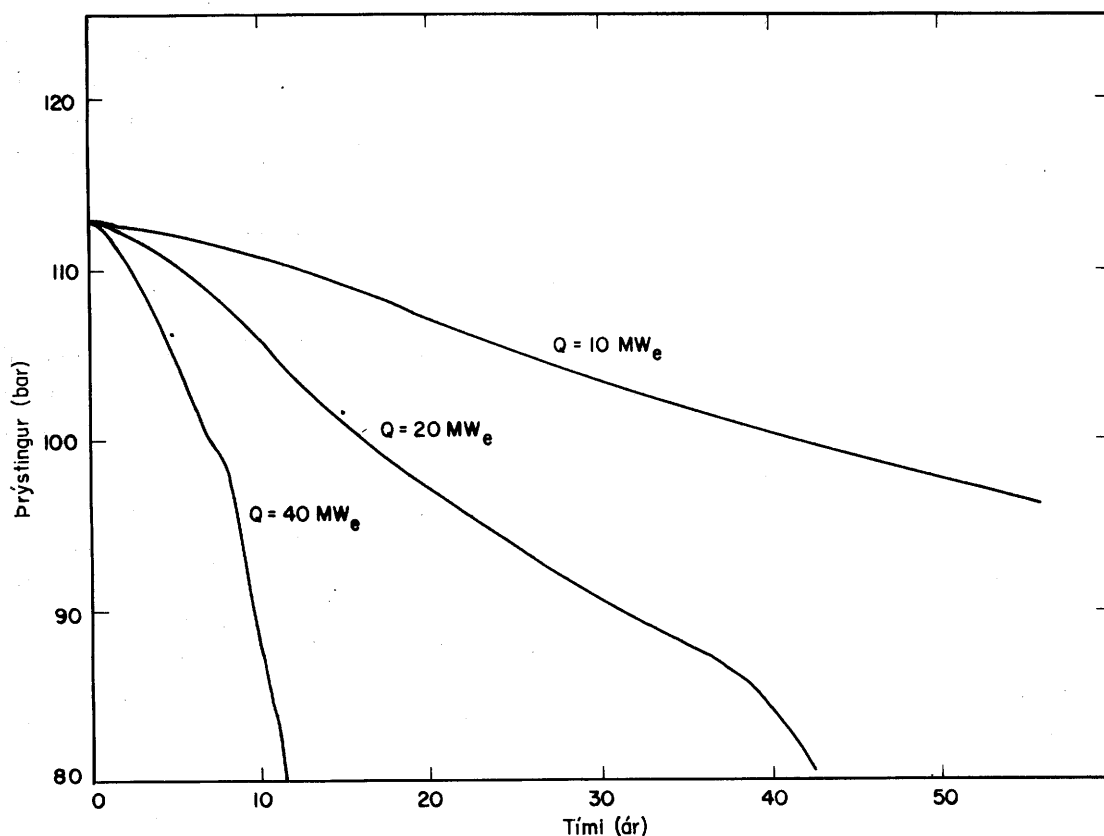
4.6 Hvíthólasvæðið

Kröfluvirkjun nýtir holu KJ-21 á Hvíthólasvæði. Aðrar holur á þessu vinnslusvæði eru hola KJ-22, sem blásið hefur af og til á undanförunum árum, og hola KJ-23, sem staðið hefur

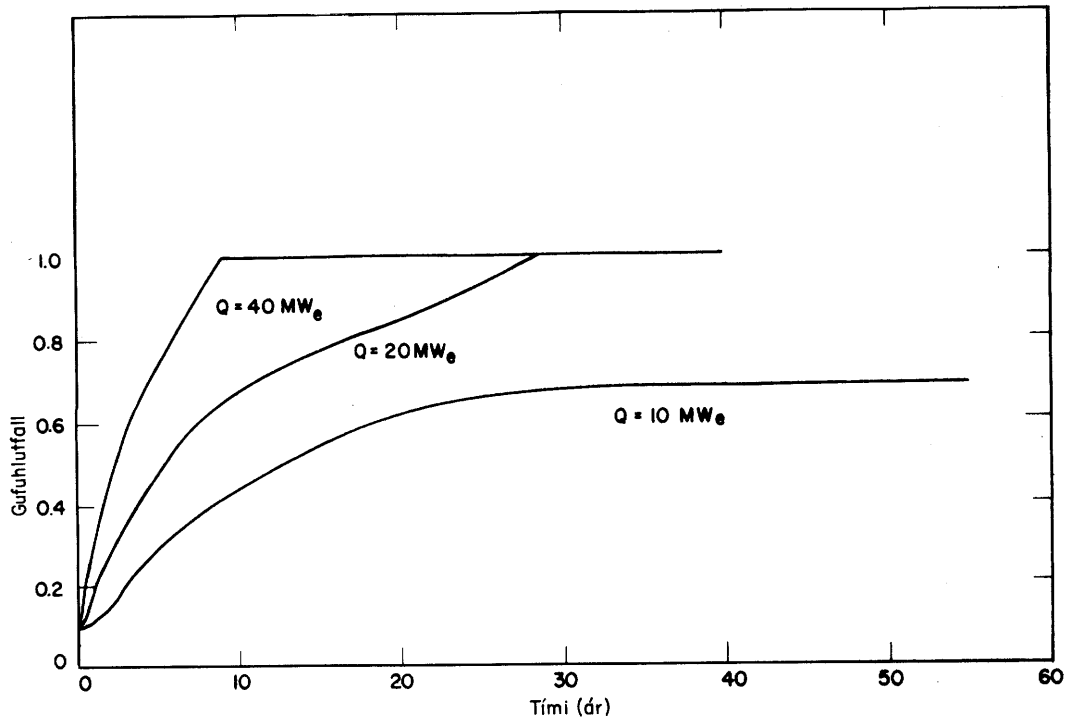
lokuð síðan borun hennar lauk haustið 1983. Massataka úr svæðinu (KJ-21) hefur numið að jafnaði um 35-40 kg/s í níu mánuði á ári, en lokað er fyrir holuna yfir sumartímann.

Hitastig hefur lítið breyst í kerfinu, síðan vinnsla hófst haustið 1982, en hins vegar hefur þrýstingur lækkað verulega. Fram til miðs árs 1986 var heildarþrýstilækkun í KJ-21 um 10-12 bar, en heldur virðist hafa dregið úr niðurdráttarhraða síðustu þrjú árin. Breyting frá 1986 er engu að síður um 5 bar. Einnig mælist niðurdráttur í holu KJ-23. Frá 1983 er hann 4-5 bar, sem er nokkra minna en í holu KJ-21.

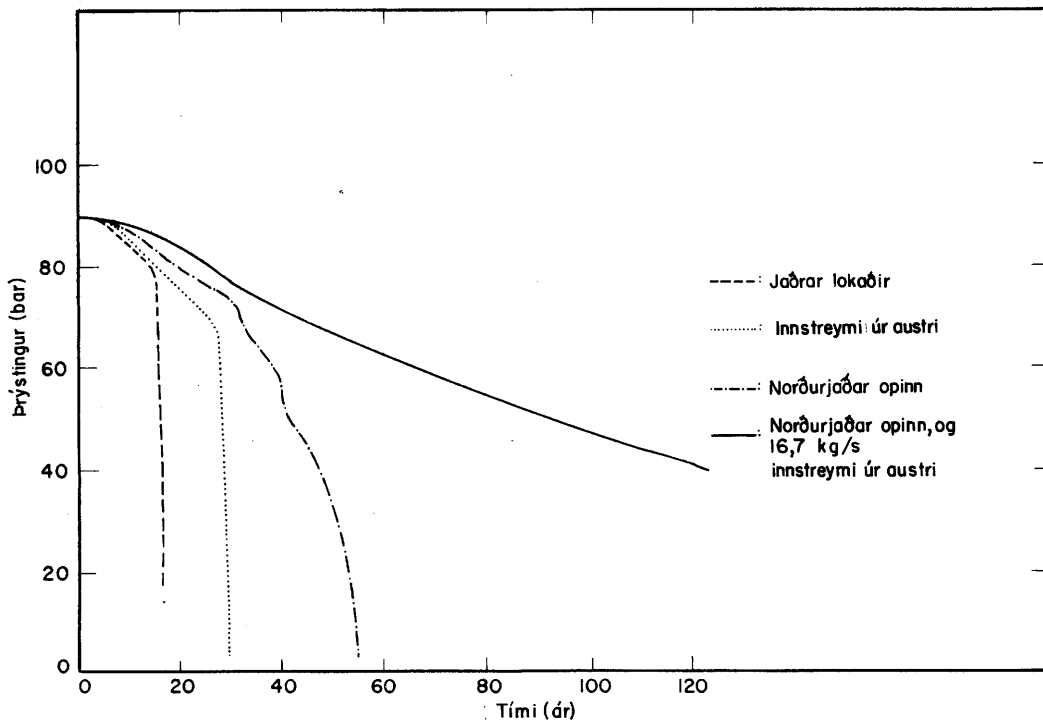
Engar vinnsluspár liggja fyrir um niðurdrátt á Hvíthólasvæðinu, þannig að hér verður ekki reynt að spá um hegðan svæðisins í framtíðinni. Þó má nefna að það ástand gæti skapast í holu KJ-22, að um 170 °C heitt vatn fari að renna upp holuna til æða á 600-900 m dýpi. Slík "uppdæling" getur haft bæði jákvæð og neikvæð áhrif á Hvíthólasvæðinu. Annarsvegar myndi hún hægja á þrýstifalli í svæðinu, en hinsvegar getur hún kælt svæðið þ.a. hlutur lágþrýstigufu vaxi í framtíðinni. Er því vert að fylgjast áfram með holunni.



Mynd 35: Reiknaður þrýstingur í Neðri-Leirbotnum við mismikla vinnslu. (úr Guðmundi S. Böðvarssyni o.fl. 1984)



Mynd 36: Reiknað gufuhlutfall í Neðri-Leirbotnum við mismikla vinnslu. (úr Guðmundi S. Böðvarssyni o.fl. 1984)



Mynd 37: Reiknaður þrýstingur í Suðurhlíðum við mismunandi randskilyrði (úr Guðmundi S. Böðvarssyni o.fl. 1984)