



**ORKUSTOFNUN**

**RANNSÓKNASVIÐ - Reykjavík, Akureyri**

**Bakkahlaup Öxarfirði  
HOLA BA-02**

**Áfangaskýrsla 3  
Borun vinnsluhluta holunnar**

**Guðmundur Ómar Friðleifsson  
Grímur Björnsson  
Bjarni Richter  
Kjartan Birgisson  
Sverrir Þórhallsson  
Sveinbjörn Þórisson**

**Unnið fyrir Íslenska orku ehf**

**1999**

**OS-99079**





**ORKUSTOFNUN**

Rannsóknasvið  
Reykjavík - Akureyri

Verknr. 8-630 674

**Guðmundur Ómar Friðleifsson, ROS**

**Grímur Björnsson, ROS**

**Bjarni Richter, ROS**

**Kjartan Birgisson, ROS**

**Sverrir Þórhallsson, ROS**

**Sveinbjörn Þórisson, JB hf**

## **BAKKAHLAUP ÖXARFIRÐI**

**Hola BA-02**

**Áfangaskýrsla 3**

**Borun fyrir vinnslufóðringu**

**Unnið fyrir Íslenska orku ehf**

**OS-99079**

**Október 1999**

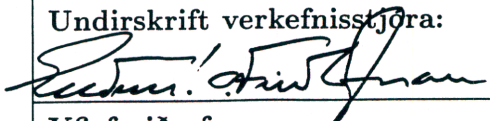
ORKUSTOFNUN - RANNSÓKNASVIÐ

Reykjavík: Grensásvegi 9, 108 Rvk. - Sími 569 6000 - Fax 568 8896

Akureyri: Glerárgötu 36, 600 Ak. - Sími 463 0957 - Fax 463 0998

Netfang: os@os.is - Veffang: <http://www.os.is>



<b>Skýrsla nr:</b> OS-99079	<b>Dags:</b> Október 1999	<b>Dreifing:</b> <input type="checkbox"/> Opin <input checked="" type="checkbox"/> Lokuð til Okt. 2004
<b>Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill:</b> BAKKAHLAUP ÖXARFIRÐI HOLA BA-02 Áfangaskýrsla 3 Borun vinnsluhluta holunnar	<b>Upplag:</b> 35	
	<b>Fjöldi síðna:</b> 24	
<b>Höfundar:</b> Guðmundur Ómar Friðleifsson (OS), Grímur Björnsson (OS), Bjarni Richter (OS), Kjartan Birgisson (OS), Sverrir Þórhallsson (OS), Sveinbjörn Þórisson (JB ehf)	<b>Verkefnisstjóri:</b> Guðmundur Ó. Friðleifsson	
<b>Gerð skýrslu / Verkstig:</b> Áfangaskýrsla, 5. áfangi borverks	<b>Verknúmer:</b> 8-630674	
<b>Unnið fyrir:</b> Íslenska orku ehf		
<b>Samvinnuaðilar:</b>		
<b>Útdráttur:</b> Í skýrslunni er gerð grein fyrir 5. áfanga í borun holu BA-02 í Kelduhverfi. Skýrslan er þriðja af fjórum áfangaskýrslum ráðgjafa til verkkaupa um borverkið. Í þessum áfanga var boraður vinnsluhluti holunnar frá 780 m dýpi niður í 1962 m. Borunin hófst á 42. verkdegi, 26. september, og lauk á 53. verkdegi, 9. október. Borunin gekk vel fyrir utan smávægilegar tafir vegna bilana í glussadælum borsins, sem jafnframt ollu því að hætt var í 1962 m. Vegna hruns í holunni er botn hennar í 1809,8 m, og raufaður leiðari nær niður í 1801,8 m dýpi. Vinnsluhlutinn er allur boraður í gamlan tertíeran hraunlagastafa og setur hann svip sinn á jarðhitaummyndunina, sem um margt er óvenjuleg. Hitamat út frá ummyndun bendir til að berghiti gæti verið á bilinu frá 200-250°C. Vatnskerfið er vel opið samkvæmt mælingum og viðnámsstuðull mældist á bilinu 2,0 til 2,5 m/(l/s), sem telst gott og svipar til afmikilla holna í Svartsengi svo dæmi sé tekið. Vatnsæðar eru margar í holunni en aðalæðin virðist vera á 1540 m dýpi.		
<b>Lykilorð:</b> Öxarfjörður, háhitasvæði, borhola, jarðlög, ummyndun, hiti, vatnsgæfni	<b>ISBN-númer:</b>	
	<b>Undirskrift verkefnisstjóra:</b> 	
	<b>Yfirfarið af:</b> GÓF, GrB	

**EFNISYFIRLIT**

<b>1. Inngangur</b>	<b>3</b>
<b>2. Gangur Borunar</b>	<b>3</b>
<b>3. Jarðlög</b>	<b>6</b>
3.1 Mælingar í borun	6
3.2 Jarðlög og ummyndun	6
3.3 Síritandi mælar í borun	10
<b>4. Borholumælingar</b>	<b>20</b>

**Töflur:**

Tafla 1	Hallamælingar í BA-02	4
Tafla 2	Fóðringarskýrsla 5. áfanga, raufaður leiðari	6
Tafla 3	Yfirlit um borholumælingar í lok 5. áfanga	20

**Myndir:**

Mynd 1	Hallamælingar í BA-02	4
Mynd 2	Gangur borunar BA-02	5
Mynd 3	Jarðlög og mælingar í borun	11
Mynd 4	Gasgreining úr flowline 1 okt 1999, 1300 m dýpi.	14
Mynd 5	Jarðlög og jarðlagamælingar í borun	15
Mynd 6	Sírituð hæð snúningshaus borsins og reiknaður borhraði	18
Mynd 7	Síritaður dæluþrýstingur, skolhiti og skolvatnsmagn	19
Mynd 8	Hitamælingar í BA02 fram að þrepaprófi	21
Mynd 9	Saga hita á 1825 m dýpi við breytilega dælingu	21
Mynd 10	Saga hita á 990 m dýpi í engri ádælingu	22
Mynd 11	Þrýstingur djúpt í holu BA-02 fyrir og eftir hreinsun	22
Mynd 12	Þrýstingur grunnt í holu BA-02 fyrir og eftir hreinsun	23
Mynd 13	Þrýstingur á 750 m dýpi fyrir og eftir hreinsun	23
Mynd 14	Þrýstingur á 1550 m dýpi í þrepaprófun	24
Mynd 15	Hiti eftir þrepaprófun ásamt fyrri mælingum	24

## 1. INNGANGUR

Skýrsla þessi er þriðja af fjórum áfangaskýrslum um holu BA-02 sem samið var um að skila til verkkaupa (Íslenskrar orku ehf), í samræmi við rannsóknarsamning. Hér eru tekin saman helstu atriði og gögn um borun og rannsókn á holunni í fimmta áfanga, þ.e. um borun vinnsluhluta. Tildrögum verksins er nánar lýst í fyrstu áfangaskýrslu.

## 2. GANGUR BORUNAR

### Áfangi 5: Borun fyrir vinnsluhluta holunnar frá 780-1962 m dýpi

Borun með 8 1/2" krónu hófst á 42. verkdegi, 26. september, að loknum frágangi vinnslufóðringar og tveggja daga töf að auki vegna bilunar í bornum. Verkgangur er sýndur á mynd 2. Þar sést að borun með 8 1/2" krónunni gekk hratt og örugglega og náðist að sigla inn á upphaflega verkáætlun áður en yfir lauk. Endanlegt borað dýpi holunnar varð 1962 m, og var því náð á 53. verkdegi, 9. október. Borun var hætt vegna bilunar í glussakerfi borsins og ástandi holunar eftir að viðgerð á glussakerfinu var lokið. Borstrengur var tekinn upp og breytt á þeim tímapunkti. Að lokinni upptekt var hitamælt og kom þá í ljós fyrirstaða á 1830 m dýpi. Reynt var að hreinsa hana út með breyttum borstreng, án árangurs, og er botn holunnar nú í 1816 m dýpi (tafla 2) frá drifborði Sleipnis, sem er 1809,8 m frá holuflangsi. Nánara yfirlit um verkgang frá degi til dags má skoða í dagskýrslum borvaktar, tbl. 12-28, en hér verður stiklað á helstu atriðum.

Meðalborhraði við borun vinnsluhluta reyndist tæpir 4 m/klst. Heildarbortími samkvæmt því er um 296 klst eða rúmír 12 sólarhringar. Mismunur dagafjölda verkdaga og bortíma liggur í ýmis konar frátöfum, svo sem hallamælingum (um 4 tímar) og fleiru. Mest telur þar um 6 klst töf meðan nýrri glussadælu var bætt við borinn. Smá töf varð vegna festu í 1414 m þar sem borað var í innskoti, 2. október. Aftur festist borinn sama kvöld, og þurfti að nota svokallaðan "jar" til að losa úr festunni. Annars má heita að borunin hafi gengið snuðrulaust, þar til á 1962 m dýpi að 2 af 3 glussadælum borsins biluðu. Holan var fyrst skoluð hrein á um 2 klst og síðan var borstreng lyft upp fyrir neðstu þekktu skoltapsæð í 1680 m dýpi. Ákveðið var að taka borstrenginn upp, og setja niður nýjan stýringarlausan og léttari streng til að dýpka holuna eitthvað frekar, eftir að búið væri að gera við glussadælnar. Áður en til þess kom jókst hins vegar skoltap, svo sem vikið er að hér að neðan, og fyrirstaða fannst í 1830 m dýpi í hitamælingu. Stutt þrepamæling var þá framkvæmd til að kanna gæfni holunnar, sem reyndist vel viðunandi.

Í framhaldi af þessu var ákveðið að fara niður með borstrenginn til að hreinsa út fyrirstöðuna á 1830 m dýpi, og hreinsa holuna í botn a.m.k. og hugsanlega að bora eitthvað áfram. Til þess kom þó ekki. Fyrirstaðan á 1830 fannst ekki fyrr en á 1839 m dýpi. Þar var um 1 m berghaft borað út. Svarf hins vegar að setjast að borstrengnum og festist hann því oftast sem farið var upp og niður í gegnum sama vandræðakaflann. Að lokum var einsýnt að ekki tækist að hreinsa holuna. Líklegast er að borsvarf hafi skilað sér úr æðum og skápum inn í holuna og lagst á borstrenginn. Auk þess var skoltap orðið svo mikið að ekki náðist að skola svarfinu upp úr holunni. Að loknum jarðlagamælingum og vangaveltum var ákveðið að láta staðar numið og hætta frekari tilraunum til borunar.

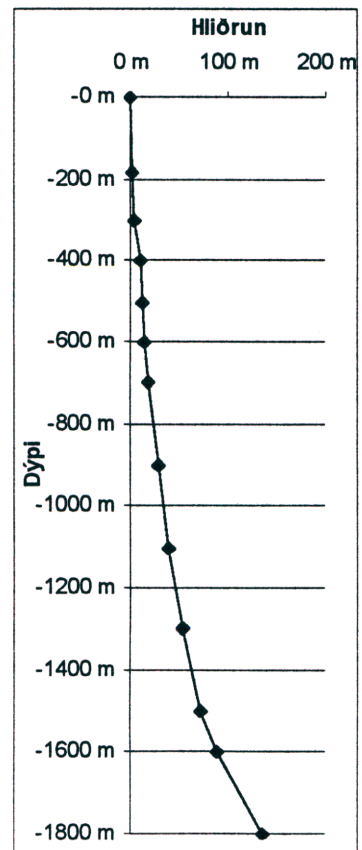
Skoltap í holunni var mælt á 4 tíma fresti meðan á borun stóð. Í fyrstu virtist skoltap vera um 3 l/s í fyrstu mælingum eftir að byrjað var á borun vinnsluhlutans. Hins vegar kom í

Ijós að talsvert af skolvatni sullaðist út úr karinu eftir ýmsum leiðum, og virtist fyrstu mælingunum illa treystandi. Mæliaðferðin var bætt og fyrsta örugga skoltapið er skráð á 1040 m dýpi, 1,5 l/s. Í ljósi síðari hitamælinga kann þó að vera að fyrsta æðin hafi sýnt sig rétt undir vinnslufóðringunni. Skoltap hélst 2-3 l/s þar til á 1343 m dýpi að það jókst upp í 5-6 l/s. Aftur jókst skoltap í innskoti á 1414 m dýpi, þar sem borinn festist, og fór upp í 7,5 l/s. Næst jókst skoltap upp í 13 l/s á 1525 m dýpi, (og fór upp í 20 l/s) meðan á hallamælingu stóð. Eftir það rokkaði skoltap talsvert meðan á boruninni stóð þar til að algjört skoltap var í 1680 m dýpi um stutta stund. Í 1715 m dýpi er getið um aukið skoltap. Í borlok var skoltap um 23 l/s, en jókst síðan í ádælingu upp í 42 l/s. Minnkaði aftur eftir hreinsun og grynunkun holunnar í 1815 m. Og endaði loks í tæpum 50 l/s þegar endanleg ákvörðun lá fyrir um að hætta borun. Síritandi mælar á ástandi skolvatns voru notaðir samhliða skráningu bormanna, og verður fjallað nánar um þær hér aftar.

Halli holunnar var mældur reglulega í stöngum meðan á borun stóð niður í 1500 m dýpi, en síðustu tvær mælingarnar voru gerðar úr borholumælingabílnum í opinni holu. Þá var jafnframt mæld hallastefna. Halli var 5° í síðustu mælingu í borstreng á 1500 m dýpi, en jókst síðan í rúmar 9° í 1600 m og í tæpar 14° í 1800 m. Hallastefnan er til SSA. Niðurstaða allra hallamælinga er sýnd í töflu 1 og á mynd 1. Efri rýmari reyndist vera gegnslitinn þegar borstrengur var tekinn upp.

**TAFLA 1** Hallamælingar í BA-02

Dýpi	Halli	Hliðrun	Samtals hliðrun
-0 m	0.0°	0.0 m	0.0 m
-180 m	0.8°	2.5 m	2.5 m
-300 m	1.2°	2.5 m	5.0 m
-400 m	1.8°	6.9 m	9.4 m
-500 m	1.9°	3.3 m	12.7 m
-600 m	1.4°	2.4 m	15.2 m
-700 m	2.0°	3.5 m	18.7 m
-900 m	2.8°	9.8 m	28.5 m
-1100 m	3.1°	10.8 m	39.3 m
-1300 m	4.0°	14.0 m	53.3 m
-1500 m	5.0°	17.5 m	70.8 m
-1600 m	9.1°	16.0 m	86.8 m
-1800 m	13.7°	48.8 m	135.5 m

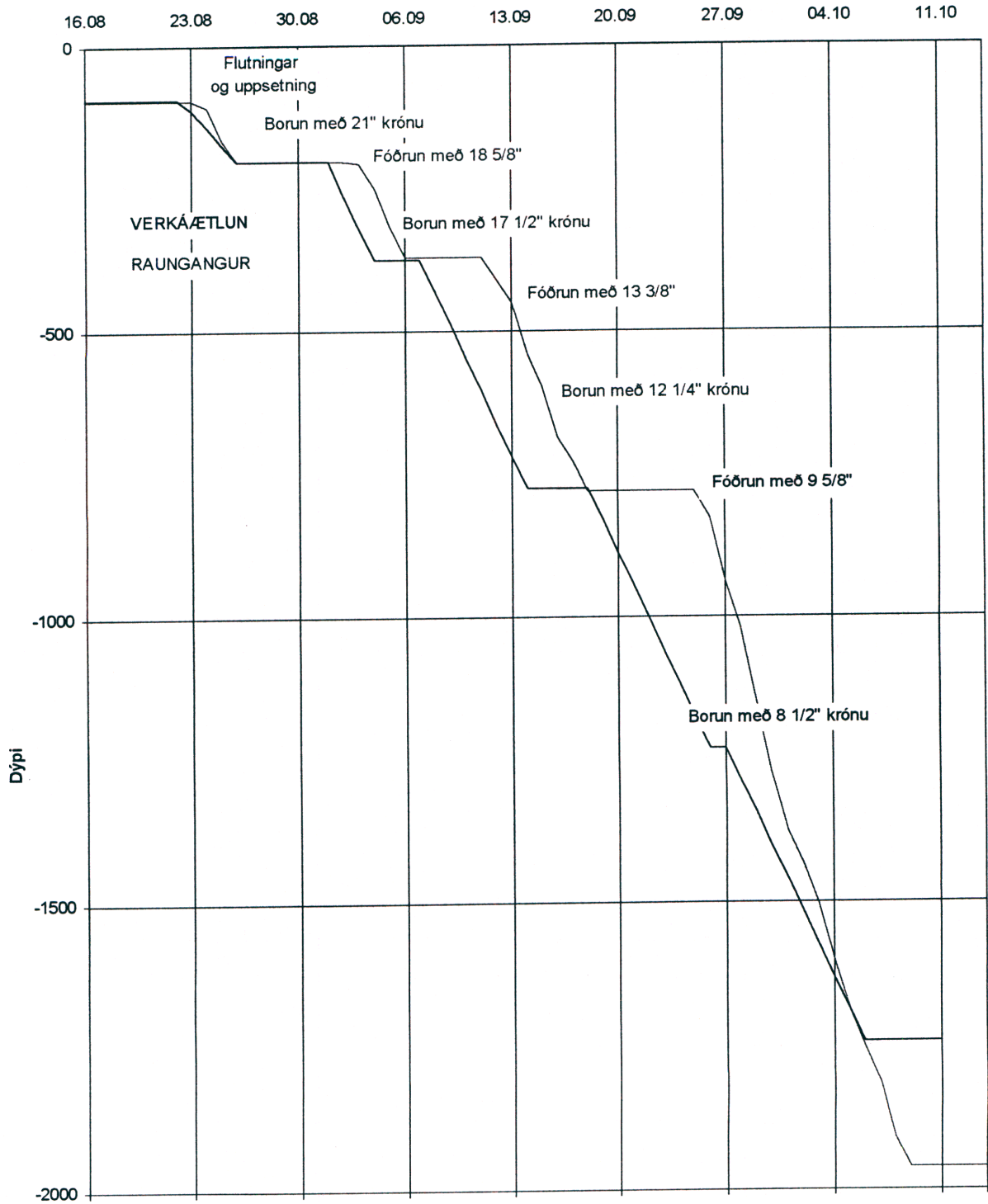


**Mynd 1** Hallastefna er til SSA miðað við mælingar í 1600 og 1800 m dýpi. Ef holan stefnir öll í þá átt er botninn á 1800 m dýpi hliðraður um 135 m frá holutoppi.



## BA-02 VERKÁÆTLUN

## JARÐBORANIR HF



Mynd 2 Yfirlit yfir gang borunnar holu BA-02





JARÐBORANIR HF

Verk nr. 28003	Hola nr. BA-02	Borstaður Bakkahlaup	Bor Sleipnir	Verkkaupi Íslensk Orka
vídd holu 81/2"	Dýpt holu mv. drifborð 1816	Fóðring nr. 5	Fóðrun framkv. dags. 13.10.1999	Útfyllt af: TS/BS

Holudýpi frá flangsi				Fóðringard. frá fl.				Röratáning				
1,809.80 m				1,801.80 m				LENGD NR Ó,R ALLS m				
FÓÐRING	Gerð	K-55	byngd	23 lbs/ft								
	Útanmál	7"	Innanmál	158 mm								
	Veggþykkt	10 mm	Pöntunar nr.									
	Tengi	buttress			0.87		hst	0.87				
	Flangs			13.57		1	x	14.44				
	hengistykki	0.87			13.28		2	x	27.72			
	Skór	0,40cm			13.70		3	41.42				
	Miðjustillar	stk	Steyputappar	stk	13.65		4	55.07				
STEYPIG	Steypa 1 þurrefni	kg	Tafefni	kg	13.62		6	82.34				
	Eðlisþyngd	kg/l	Steypingartími	mín	13.68		7	96.02				
	Steyputæki			13.53		8	109.55					
	Steypa kom upp ?	Eðlisþyngd steypu upp		kg/l	13.77		9	123.32				
	Eftirdæling	ltr	Eftirdæling	mín	13.33		10	136.65				
	Steypa 2 þurrefni	kg			13.33		11	149.98				
FRÁGANGUR	Dýpi á steypu utan röra	m	Steypt utan með eftir	klst	13.69		13	177.32				
	Steypa þurrefni	kg	Skorið ofan af eftir	klst	13.68		14	191.00				
	Dýpi á steypu í röri	m	Steypa boruð eftir	klst	13.72		15	204.72				
					12.63		16	217.35				
					13.47		17	230.82				
<b>ATHUGASEMDIR</b>								13.34		18	244.16	
Holan var boruð í 1962 m hrún var í 1828 m og endaði í 1816 m								13.62		19	257.78	
								13.73		20	271.51	
								13.75		21	285.26	
								13.54		22	298.80	
								13.25		23	312.05	
								13.46		24	325.51	
								13.61		25	339.12	
								13.72		26	352.84	
								13.98		27	366.82	
								13.84		28	380.66	



JARÐBORANIR HF

FÓÐRUNARSKÝRSLA

Framhaldseyðublað nr. 68-051

Verk nr. 28003	Hola nr. BA-02	Borstaður Bakkahlaup	Fóðring nr. 5	Blaðsíða nr. 2
-------------------	-------------------	-------------------------	------------------	-------------------

RÖRATALNING				RÖRATALNING				RÖRATALNING			
LENGD	NR.	ÓR	ALLS m	LENGD	NR.	ÓR	ALLS m	LENGD	NR.	MS	ALLS m
13.82	29		394.48	13.35	61		827.74				
13.66	30		408.14	13.80	62		841.54				
13.77	31		421.91	13.77	63		855.31				
13.54	32		435.45	13.74	64		869.05				
13.27	33		448.72	13.77	65		882.82				
12.62	34		461.34	12.52	66		895.34				
13.33	35	x	474.67	13.92	67		909.26				
13.51	36	x	488.18	13.70	68		922.96				
13.13	37		501.31	13.50	69		936.46				
13.93	38		515.24	13.53	70		949.99				
13.64	39		528.88	13.70	71	x	963.69				
13.53	40		542.41	13.60	72	x	977.29				
13.76	41		556.17	13.82	73		991.11				
13.59	42		569.76	13.43	74	x	1,004.54				
13.85	43		583.61	12.90	75	x	1,017.44				
13.62	44		597.23	13.93	76		1,031.37				
13.46	45		610.69	13.60	77	x	1,044.97				
13.44	46		624.13	13.50	78	x	1,058.47				
13.67	47		637.80	13.28	79		1,071.75				
13.49	48		651.29	13.21	80		1,084.96				
13.44	49		664.73	0.40	skór		1,085.36				
13.54	50		678.27								
12.76	51		691.03								
13.62	52		704.65								
13.79	53		718.44								
13.77	54		732.21								
13.26	55		745.47								
13.43	56		758.90								
13.71	57		772.61								
13.79	58		786.40								
14.21	59		800.61								
13.78	60		814.39								

### 3 JARÐLÖG

#### 3.1 Mælingar í borun

Svarfi var safnað á 2 m fresti eins og venja er, borhraði skráður á 1 klst fresti, skoltap á 4 tíma fresti og dæling, dæluþrýstingur, hitastig skolvatns niður og upp úr holu um leið og borhraði. Niðurstaða þessara mælinga er sýnd á mynd 3 með jarðlagasniðinu.

Auk þessara mælinga var gagnaskráningartæki sem mælir hæð á snúningshaus borsins á hverjum tíma (svo og reiknaðan borhraða), dældu skolvatnsmagni niður í holuna, skolvatnsmagni sem kom upp úr holunni, dæluþrýsting og hitastig skolvatns upp úr holunni komið í notkun. Skráningin heppnaðist sem skyldi, og er fjallað um hana í kafla 3.3.

Gasgreiningar voru gerðar reglulega allan tímann. Vart varð við lítilsháttar “olíugas” í borun vinnsluhlutans, en ekkert sem máli skipti.

#### 3.1 Jarðlög og ummyndun

Svarf var greint jöfnum höndum á borstað meðan á borun 5. áfanga stóð. Svarfið er greint í góðu stækkunargleri (svarfsmásjá) og metið og sundurgreint, eins og venja er á borstað. Nákvæmari greiningar í röntgentækjum og bergfræðismásjám verða gerðar síðar í samræmi við áætlaða þörf á slíkum greiningum. Nokkrar röntgengreiningar voru gerðar meðan á borun stóð til að fá svör við áleitnum spurningu strax. Að öðru leyti var sami háttur hafður á í sýnatöku og svarfmeðhöndlun og lýst hefur verið í fyrri áfangaskýrslum.

Jarðlagagreining og mælingar í borun eru sýndar á mynd 3. Strax og komið var niður í vinnsluhluta svæðisins varð vart við rauð millilög milli hrauna. Út frá þekkingu á jarðlagastaflanum á Tjörnesi má leiða að því líkur að jarðlagastaflinn í vinnsluhluta BA-02 kunni að vera eldri en 2,5 milljón ára gamall, og að stofni til þá af plíósen aldri (þ.e. yngri en 5 m. ára). Aldursmat af þessu tagi er þó ekki nákvæmt því mislægi í jarðlagastaflanum, t.d. vegna rofs á ísöld, geta haft umtalsverð áhrif og ruglað aldursmatið um nokkrar milljónir ára. Málið verður skoðað nánar í lokaskýrslu, en sem stendur virðist mestur hluti jarðlagastaflans bak við vinnslufóðringu vera frá ísaldartíma (pleistósen) og berglögin í vinnsluhlutanum frá plíósen (tertiér), og engin sérstök grunnsemd er uppi um stórt mislægi í staflanum. Nákvæmur aldur jarðlagana skiptir þó ekki höfuðmáli varðandi vinnslueiginleika jarðhitasvæðisins með tilliti til gufuvinnslu. Þar skiptir aldur og saga jarðhitakerfisins hins vegar mun meira máli.

Fyrirliggjandi líkan af jarðlagastaflanum, sem birt var í hönnunarskýrslu, gerði ráð fyrir að holan færi í gegnum gamlan tertieran hraunlagastafla og hugsanlega sjávarsetlög af sama aldri og Tjörnessetlögin. Það fyrrnefnda gekk eftir, en Tjörnessetlögin fundust ekki í vinnsluhluta holunar, og ólíklegt er að þau finnist neðar. Hugsanleg hættu á oliugasi í holunni tengdist tilvist umtalsverðra setlaga. Hvorugt gekk þó eftir í BA-02, sem er vel, þó vottur af gasi sæist í holunni sbr. mynd 4. Óskýrður er því ennþá uppruni oliugassins í Skógalóni. Einhverstaðar í Kröflusprungubeltinu hljóta auk þess að vera skil á milli jarðhitasvæðanna við Bakkahlaup og Skógalón í því tilliti og verður nánar tekið á því í lokaskýrslu.

Í hönnunarskýrslunni var gert ráð fyrir að Öxarfjarðarsigdældin væri yngri en 1 milljón ára gömul og að núverandi háhitakerfi og jarðhitinn yfirleitt væri tengdur myndun sigdældarinnar

og kvikuinnskotum í rótum hennar. Slangur af unglegum (fersklegum) berginnskotum fannst í vinnsluhluta holunnar. Þau eru merkt sérstaklega á jarðlagasniðið. Engin áberandi breyting í ummyndun sást í nágrenni þeirra í fyrstu skoðun og því er óvíst hvort þau skiptu máli sem hitagjafar í svæðinu. Hins vegar skipta þau örugglega máli varðandi lóðréttu lekt og hræringu í svæðinu, svipað og misgengi og sprungur. Nágrenni þeirra ásamt lekastöðum í holunni verða því skoðaðir nánar í lokaskýrslu.

Hraunlagastaflanum í vinnsluhluta holunnar má skipta í nokkrar syrpu. Þar er t.d. áberandi syrpa dyngjuhrauna sem getið var í dagsskýrslum frá 1030 m dýpi niður í 1170 m dýpi. Undir henni er áberandi þykkt setlag (10-15 m). Önnur syrpa grófkorna hrauna er frá 1330 - 1520 m, ásamt nokkrum innskotum, og nokkrir skoltapsstaðir eru tengdir þeirri syrpu. Þriðju hraunasyrpuna af svipuðum toga, má svo sjá milli 1620-1720 m, og er sú sýnu ríkust af kargalögum. Algjört skoltap varð um stund í borun í gegnum þá syrpu á 1680 m dýpi. Lárétt lekt í groppnum hraunum og kargalögum er nokkuð áberandi í svæðinu. Hinar hraunasyrpurnar, ofan, neðan og á milli dyngjusyrpanna, eru úr finkornóttari og þéttari hraunlögum úr þóleiti. Nánar verður rýnt í einkenni allra skoltapsstaða síðar.

Ummyndunin fer heldur vaxandi niður holuna, en er þó misáberandi. Einna mest áberandi er hún í groppnum kargalögum, t.d. í efstu dyngjusyrpunni, þar sem anhydrít er sérlega áberandi og hefur sýnilega valdið nokkurri bergþéttingu. Nokkrir svipaðir staðir eru neðar í holunni, en annars er það tiltölulega lítið magn útfellinga, og til þess að gera óveruleg breyting í ummyndun með dýpi í vinnsluhluta holunnar sem ekki síður vekur athygli. Á flestum háhitasvæðum í uppstreymisrásum er algengt að sjá umtalsvert magn útfellinga af og til í byrjun en síðan gegnummyndað berg, þar sem grænn litur er yfirleitt mjög áberandi vegna leirútfellinga. Á það einkum við um gropið og glerríkt berg svo sem móberg. Í holu BA-02 er þessu ólíkt farið. Magn ummyndunarsteinda er fremur lítið í það heila tekið, rauður oxunarlitur í hraunkörgum og millilögum er algengur niður alla holuna og bergið sjálft er sjaldnast gegnummyndað. Skýringa þarf að leita á þessum mun milli Bakkahlaupssvæðisins og betur þekktra háhitasvæða, en þær kunna að felast í mörgu. Hér verður aðeins dregið á nokkur atriði en nánari umfjöllun bíður lokaskýrslu.

Fyrst er til að taka að vinnsluhluti Bakkahlaupsholunnar er í gömlum tertíerum hraunlagastafla, og móberg sést ekki í holunni. Það skýrir a.m.k. hluta af litarmun milli Bakkahlaupssvæðisins og annara háhitasvæða. Gamla bergið virðist auk þess lítið hafa ummyndast áður en háhitaummyndun tók völdin, en oxunarlit og slangur af geislasteindum má líklega rekja til gamallar ummyndunar í nær hræringarlausu vatnskerfi. Gamla bergið var því lítið holufyllt þegar gosbeltið reif sig norður í Öxarfjörð fyrir um 1 milljón ára. Jarðhitageymirinn gæti samkvæmt því verið firna stór og opinn, sem bæði gæti verið kostur eða galli, háð aldri og stærð hitagjafanna. Að því tilskildu að hitagjafar væru nógu öflugir, væri stórt og útbreytt jarðhitakerfi tvímælalaus kostur, en öfugt ef hitagjafar væru fáir og smáir. Í háhitakerfum í virkum megineldstöðvum ummyndast berg oft í kjölfar upphleðslu, einkum þar sem jarðhitauppstreymi er, öfugt við það sem gerðist í gamla hraunlagastaflanum við Bakkahlaup. Ummyndunarmynstrið í BA-02 gæti því skýrst af ólíkri upphleðslusögu. Í öllu falli þarf að taka nánar á málinu þegar öll gögn úr holunni eru komin í hús að lokinni upphitun, upphleypingu og blæstri. Háhitakerfið við Bakkahlaup kann að vera sambærilegt við jarðhitakerfið í holu SJ-17 milli Svartsengis og Eldvarpa. Þar var til að mynda áberandi oxun niður alla holuna og kerfið utan eiginlegs uppstreymissvæðis. Hugað verður að samanburði við þá holu og aðrar í lokaskýrslu.

Komið var niður í háhitakerfið á 400-500 m dýpi bak við vinnslufóðringuna, fyrst með kvars og wairakíti, og síðan með epidóti á 500 m dýpi, svo sem fram kemur í áfangaskýrslu 2. Þar kom og fram vísbending um að kvars, wairakít og anhýdrít hefðu myndast á eftir epidóti neðan 600 m dýpi, sem hugsanlega getur þýtt að jarðhitakerfið þar hefði kólnað eitthvað niður fyrir 250°C (þó allar þessar steindir geti myndast í hita upp undir 300°C). Svipaða sögu er að segja niður fyrir 1000-1200 m dýpi, en neðan 1500 m dýpis virðist seinni kynslóð epidóts og klóríts, sem uxu ofan á wairakít og kvars geta bent til hins gagnstæða, þ.e. hitnunar. Auk þess bættist örlítið af wollastóníti í steindasamfélagið, neðan 1500 m dýpis, en það er tekið til marks um að hiti hafi komist upp fyrir 260°C á einhverju nýlegu tímasteiði.

Auk háhitasteindanna í holunni, fundust öðru hvoru brot úr geislasteindinni skólesít, sem við teljum að tilheyri nokkurra milljón ára gamalli lághitaummyndun frá tertíer. Í einu sýni er t.d. greinilegt að epidót óx ofan á slíku skólesítbroti, en svarfkorn eru yfirleitt of finmöluð og smá til gefa nákvæm tímavensl til kynna, þó skýrt væri í þessu dæmi. Neðst í holunni er ummyndun venju fremur áberandi, og þar á meðal er mikið af hvítum útfellingum sem erfitt var að greina í handsýni. Ein þeirra, óþekkt, hefur áberandi skelplötugljáa. Grunsemdir vöknúðu um að annað hvort væri um mjög óvenjulegt afbrigði af wollastoníti, anhydriti, laumontíti eða í versta falli af lághitasteindinni heulandíti að ræða. Röntgengreiningar strax að lokinni borun sýndu að steindin var blanda af wairakíti og steindinni **omisteinbergít**, sem við vitum engin frekari deili á og er hún í öllu falli óþekkt á Íslandi. Samsetning hennar er  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ . Að líkindum er hún mynduð á kostnað gamalla geislasteinda sem ummynduðust við háan hita. Nánar verður gerð grein fyrir þessari steind og öðrum í lokaskýrslu að loknum frekari ummyndunarrannsóknum í tiltækum tækjakosti.

Sé ummynduarmynstrið í holu BA-02 hins vegar túlkað án frekari gagna, þá gefur það til kynna að hiti í vinnsluhlutanum sé vart lægri en 200°C og trúlega er hiti nær 250°C neðan 1500 m dýpis. Er þá aðallega hafður í huga samanburður við holu ÆR-04 við Skógalón sem sýndi bæði wairakít og kvars ofan 450 m dýpis og skýr merki um yfirprentun lægri hita steindanna laumontíts og klínóptilólíts á háhitasteindirnar. Laumontit og klínóptilólít hafa ekki fundist í Bakkahlaupsholunni í svarfgreiningu a.m.k. Helsta óvissan um mat á ríkjandi hita í Bakkahlaupsholunni tengist hins vegar myndunarhita anhydrits, sem myndast á breiðu hitabili svipað og kalsít, og er því illa nothæft til hitamats en gefur hins vegar seltu til kynna. Báðar steindirnar mynda þó mismunandi kristalafbrigði, háð hita, og þarf að rýna nánar í þau. Skilningur og þekking á ummyndunarmynstrinu getur skipt verulegu máli varðandi framtíðarvinnslu svæðisins, t.d. við ákvörðun á sídd vinnslufóðringa.

Á mynd 5 eru loks sýndar jarðlagamælingar með jarðlagasniðinu. Jarðlagamælingarnar eru óleiðréttar sem fyrr. Þær verða samræmdar og leiðréttar fyrir vídd, seigju borholuvökva o.fl. og til nánari umfjöllunar í lokaskýrslu. Í kafla 4 er hins vegar gerð nánari grein fyrir borholumælingum sem gerðar voru í lok borunar 5. áfanga. Hér má þó vekja athygli á mikilli útvöskun holuveggja, og virðist meðalvídd hennar nálægt 12”.

### 3.3 Síritandi mælar í borun

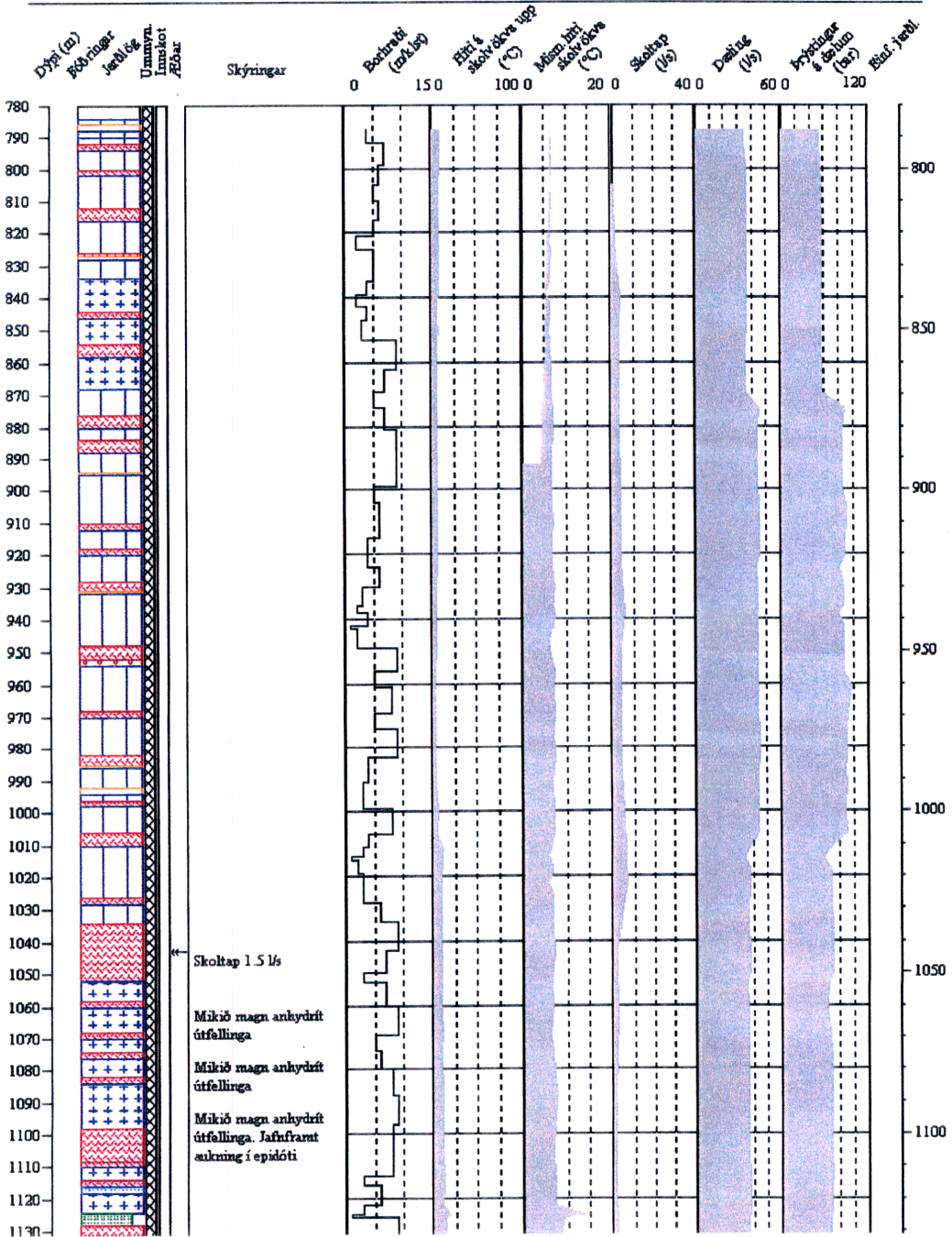
Í dagskýrslum hefur nokkur grein verið gerð fyrir síritandi mælum á ástandi skolvatns sem lokið var við að koma upp meðan á borun vinnsluhluta stóð. Á myndum 6 og 7 er sýnt yfirlit yfir allar þessar mælingar í vinnsluhluta holunnar. Fyrst og fremst eru það skoltapsstaðirnir sem eru áhugaverðir þó siskráningin gefi ágætis yfirlit um gang borunar frá degi til dag. Umfjöllun bíður lokaskýrslu.

Staður: Öxarfjörður  
Holunafn: BA-02

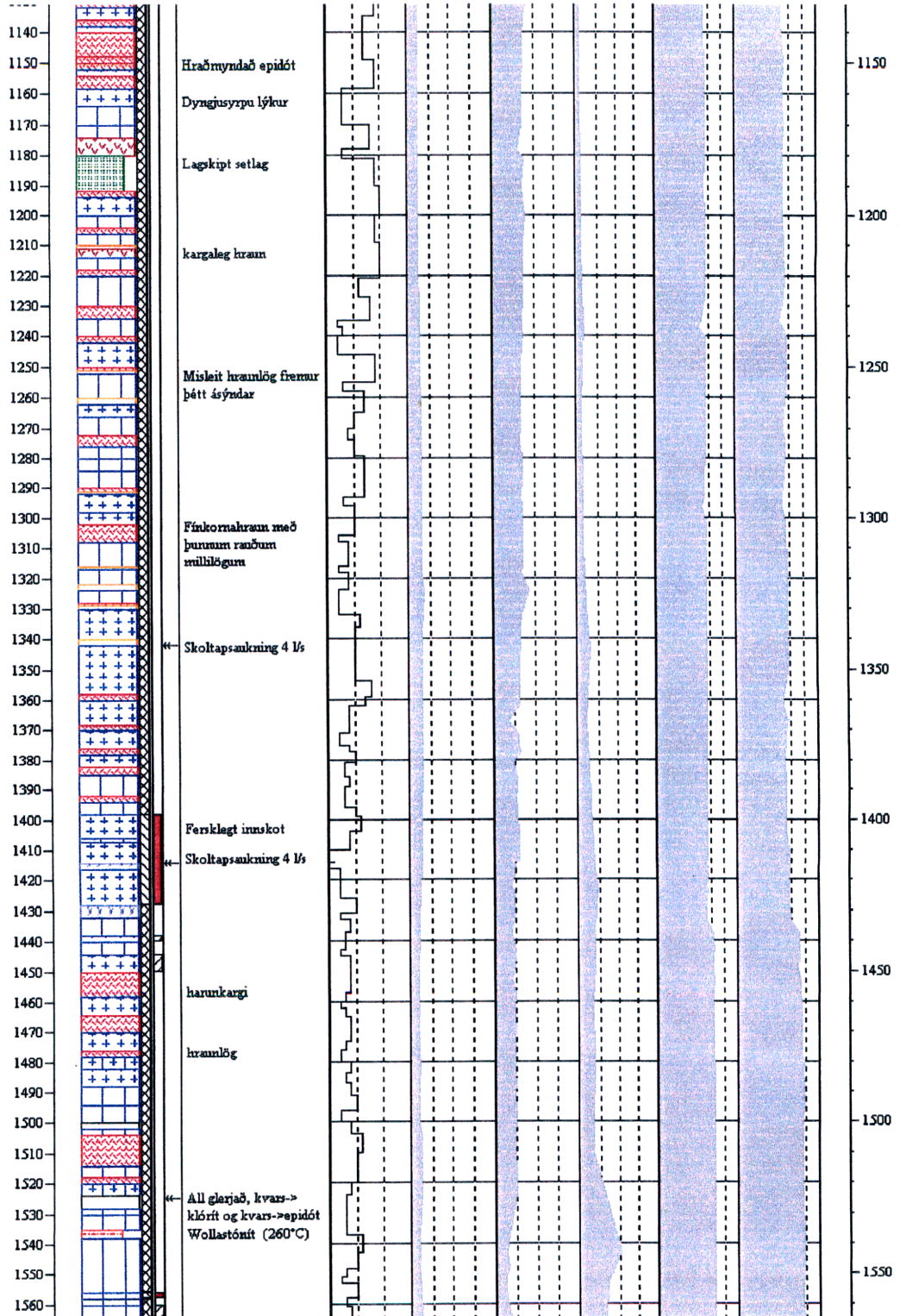
Bor: Sleipnir  
Dýptarbil: 780-1962

Skolvökvi: Vatn  
Verkhúti: Vinnsluhúti

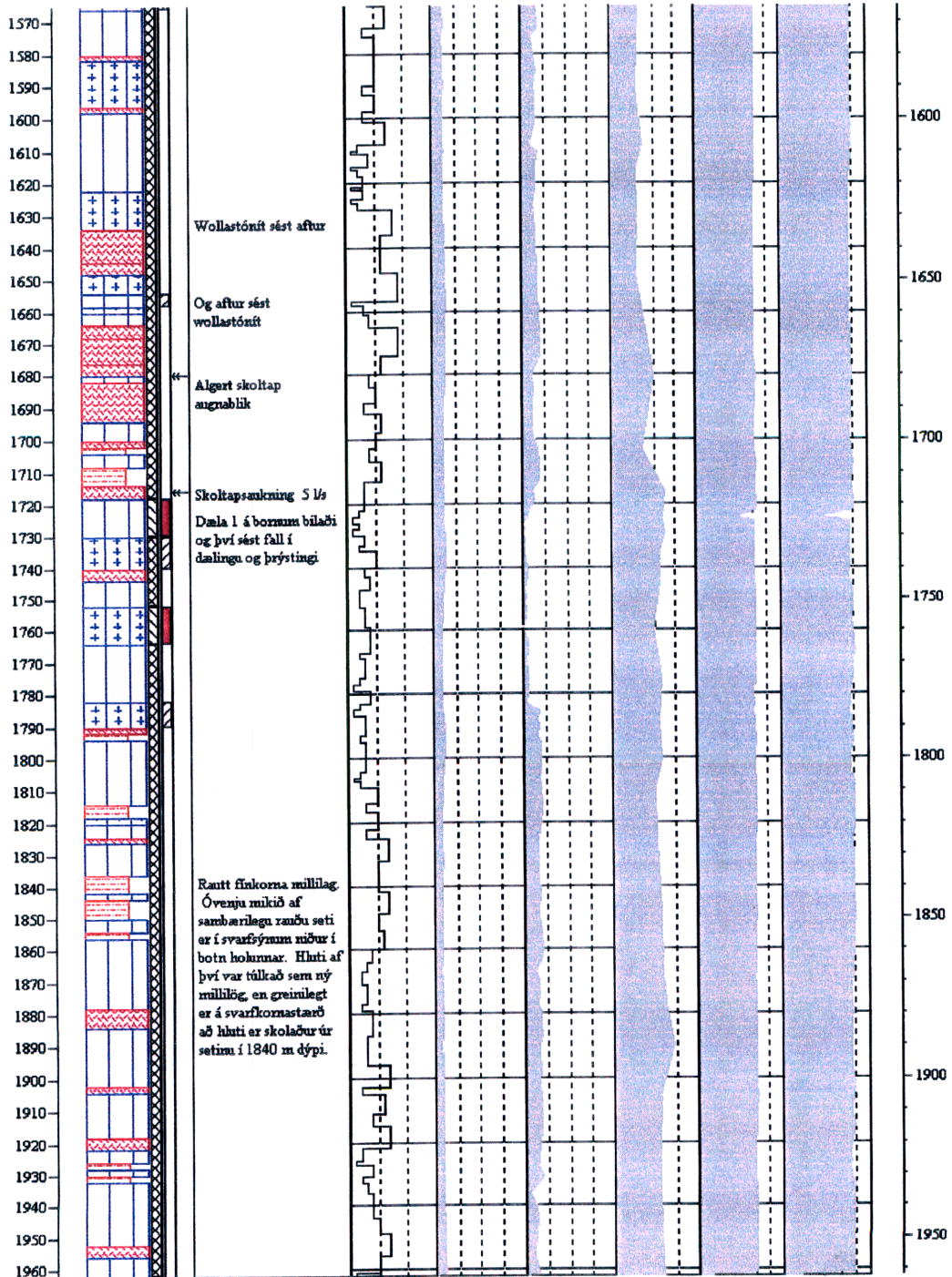
Verknúmer: 8-630-674  
Starfsmenn: GÓF-BR/KB-GrB



**Mynd 3** Jarðlög og mælingar í borun BA-02



Mynd 3 frh Jarðlög og mælingar í borun BA-02














Mynd 3 frh Jarðlög og mælingar í borun BA-02







## Skýringar við jarðlagasnið




### Berggerðir

	Hraunlagakargi
	Basalttúff
	Basaltbreksía
	Glerjað basalt
	Fín-meðalkorna basalt
	Meðal-grófkorna basalt
	Grófkorna basalt
	Eðjusteinn
	Sandsteinn
	Millilag
	Svarf vantar



### Ummyndunarstig

	Engin ummyndun
	Lítill ummyndun
	Meðal ummyndun
	Mikil ummyndun

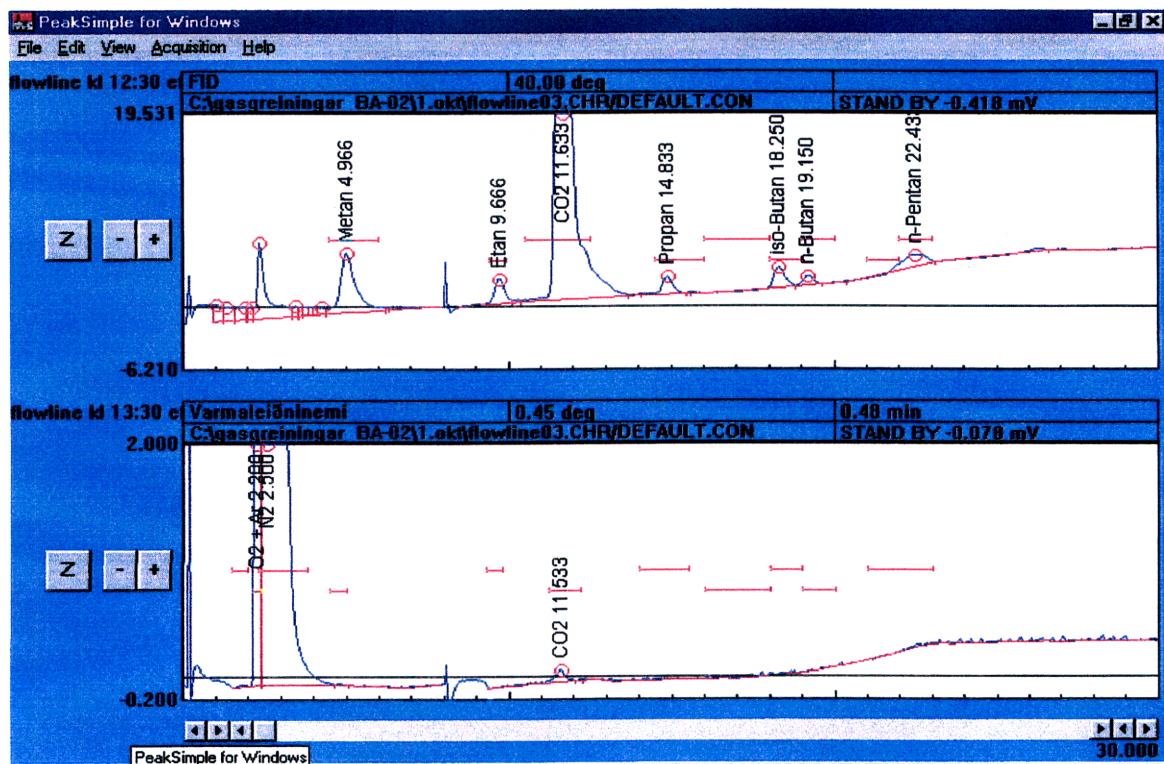
### Vatnsæðar

	Lítill æð
	Meðal æð
	Stór æð

### Innskot

	Innskot
	Hugsanlegt innskot

Mynd 3 frh. Skýringar við jarðlagasnið.



Mynd 4 Gasgreining úr flowline 1. okt 1999, 1300 m dýpi



ORKUSTOFNUN  
Rannsóknasvið

## Jarðlagamælingar

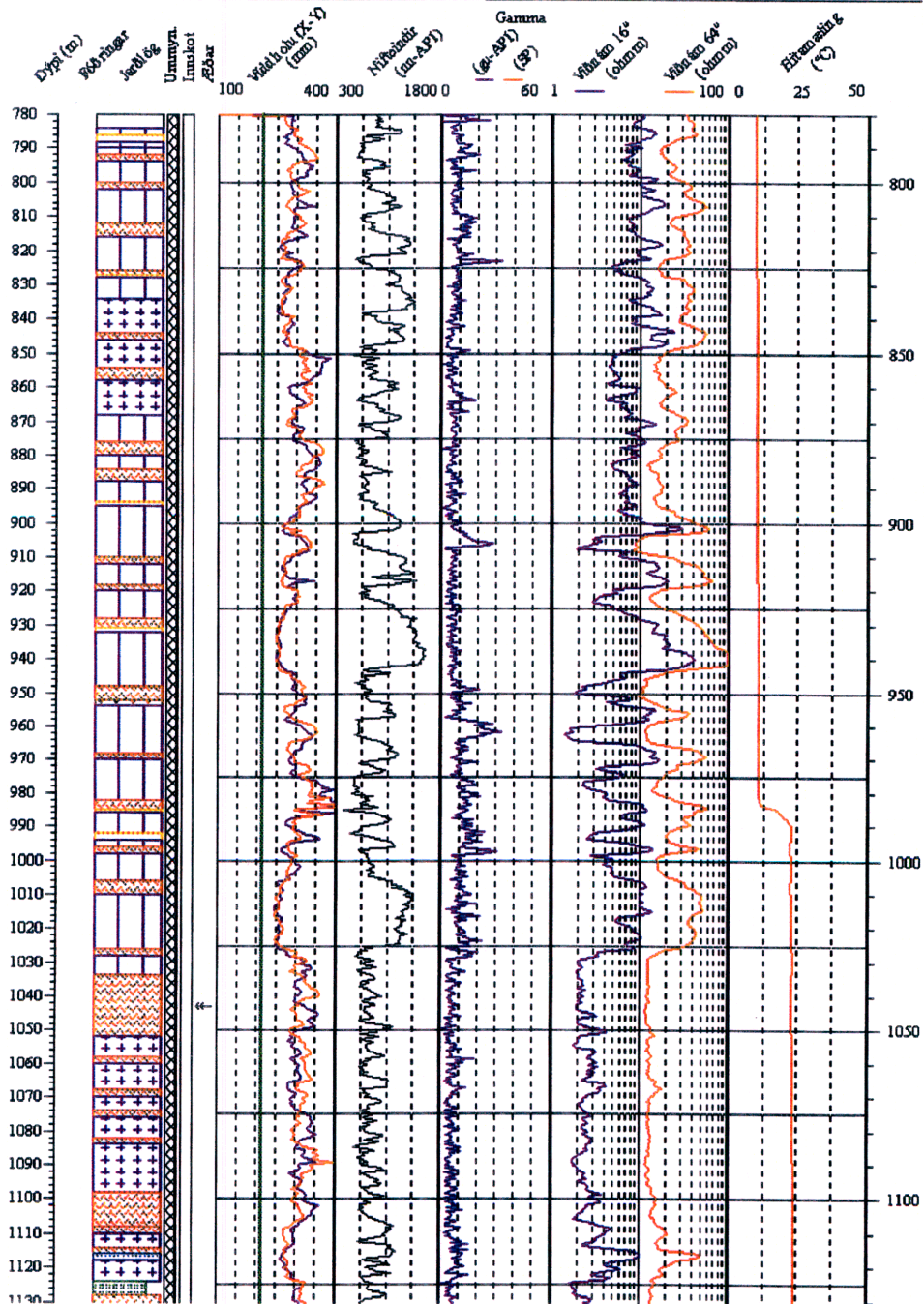
20/10/1999

Staður: Óxarfjörður  
Holunafn: BA-02

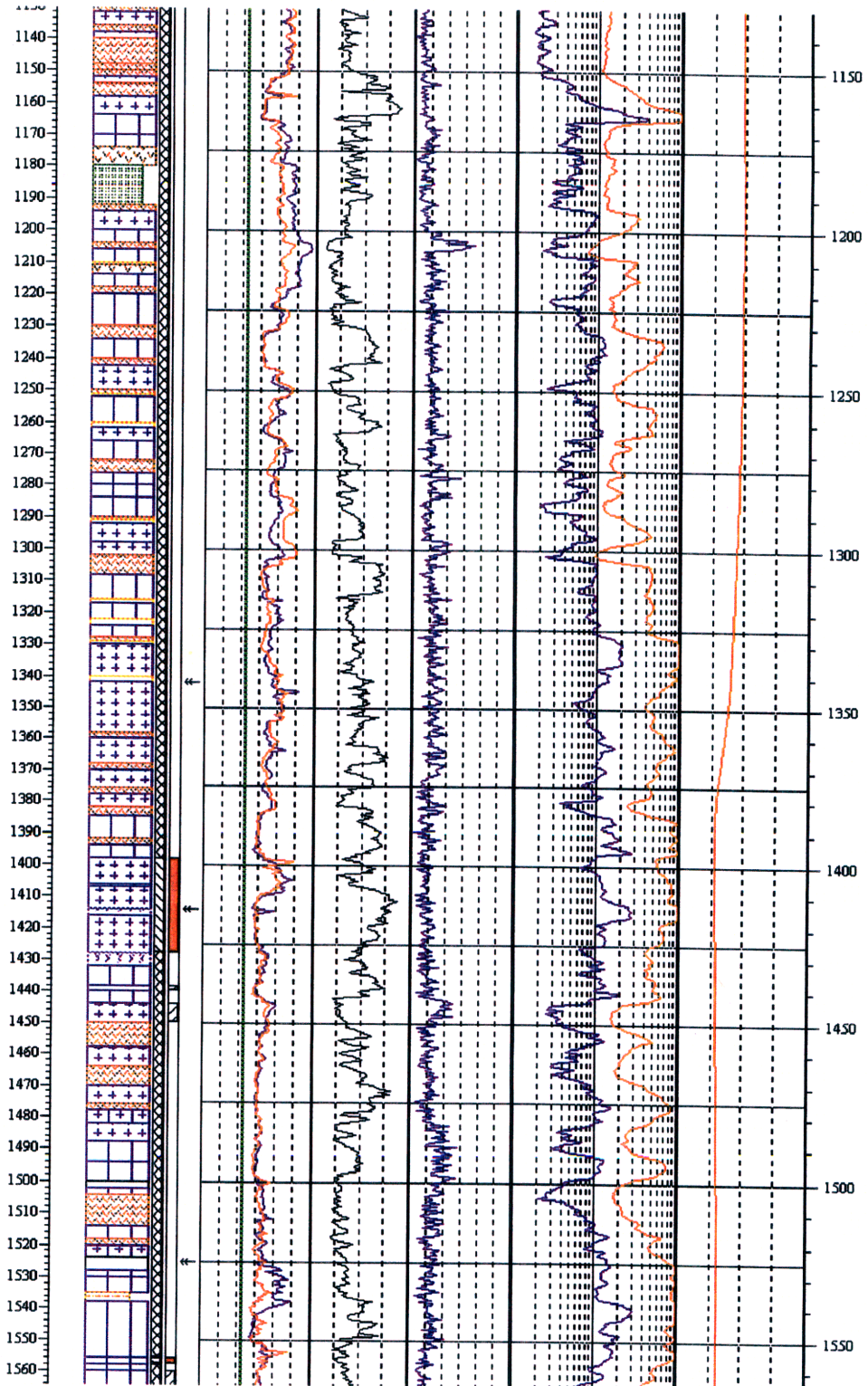
Bor: Sleipnir  
Dýptarbil: 780-1962

Skolvökvi: Vatn  
Verkluti: Vinnsluhluti

Verknúmer: 8-630-674  
Starfsmenn: GÓF-BR/KB-GrB

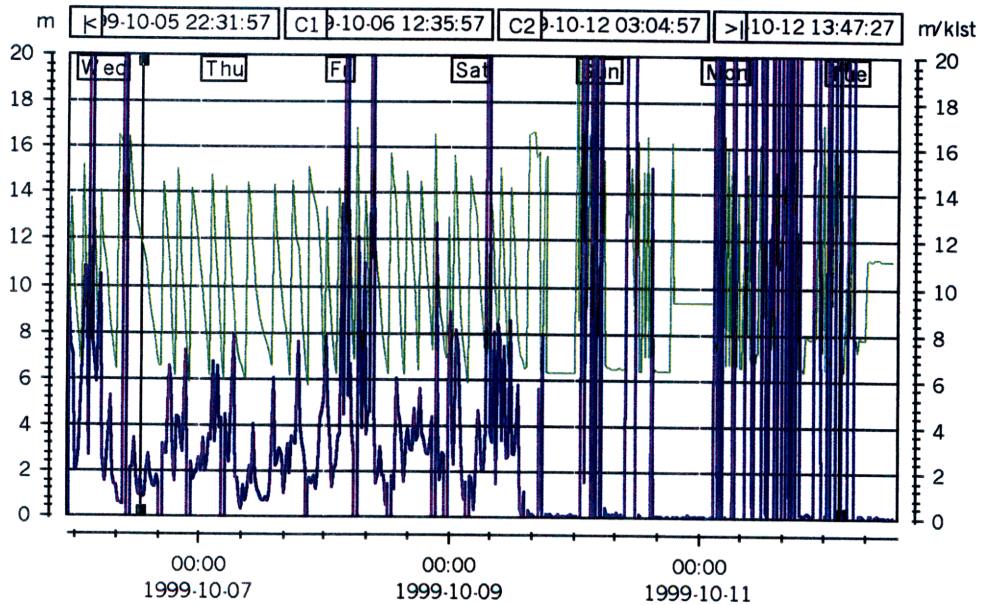
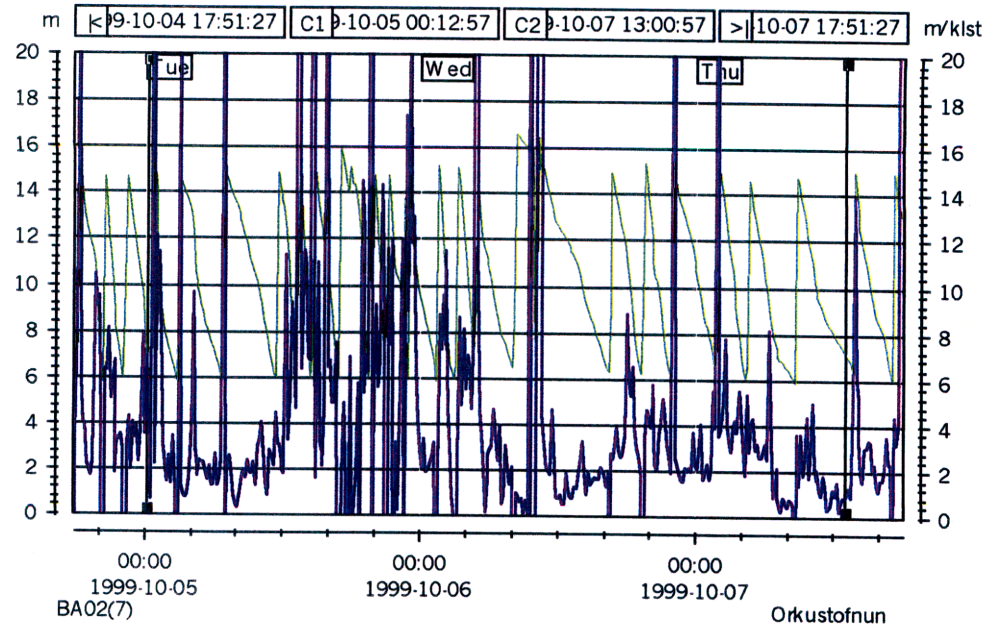
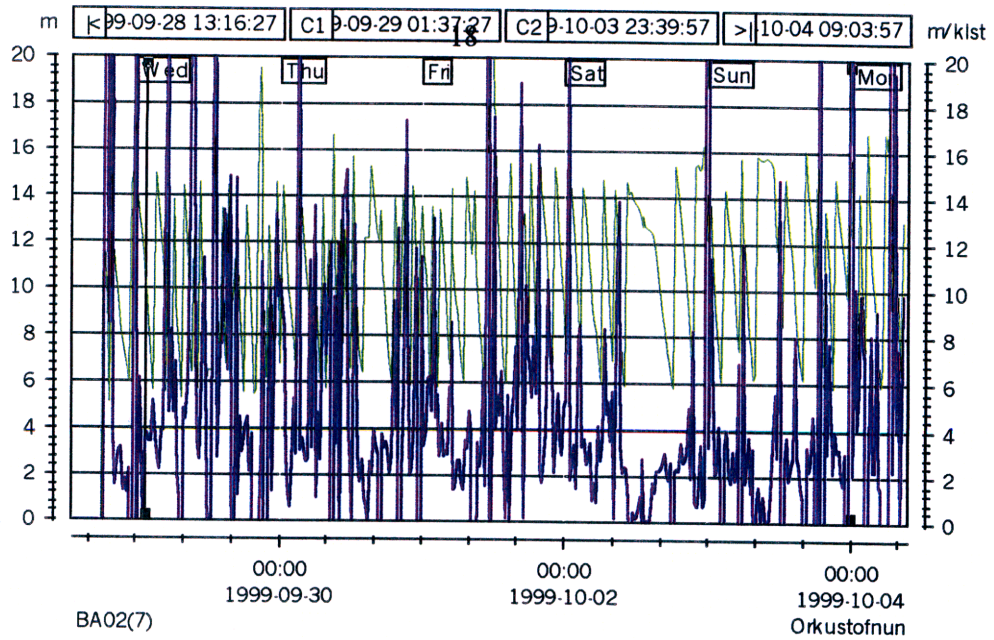


Mynd 5 Jarðlög og jarðlagamælingar í BA-02

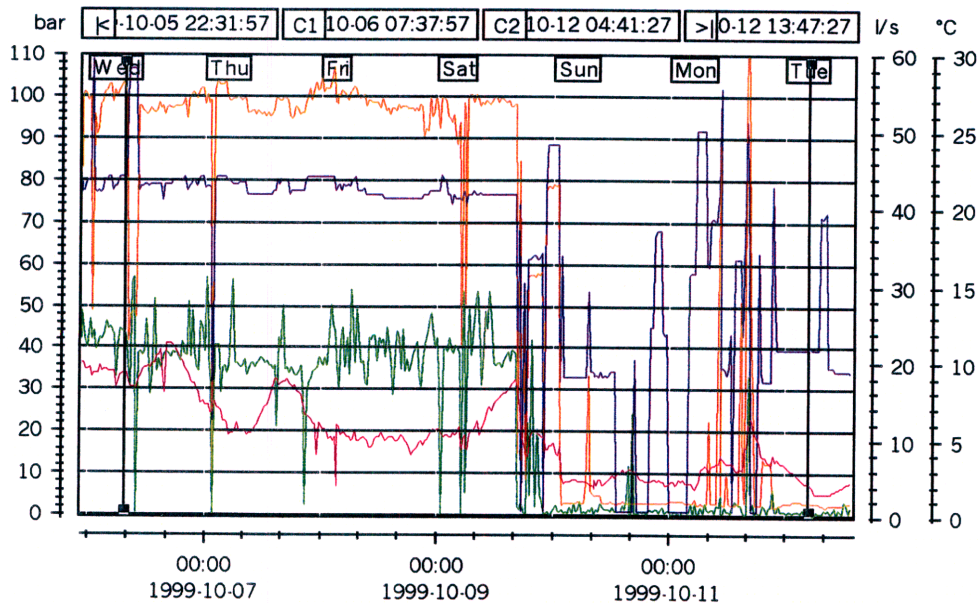
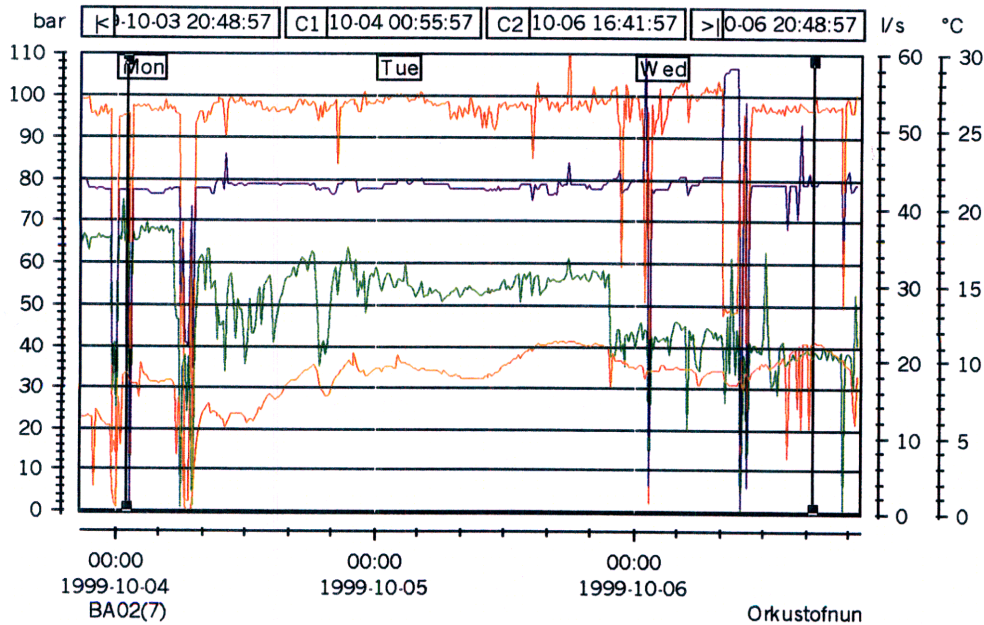
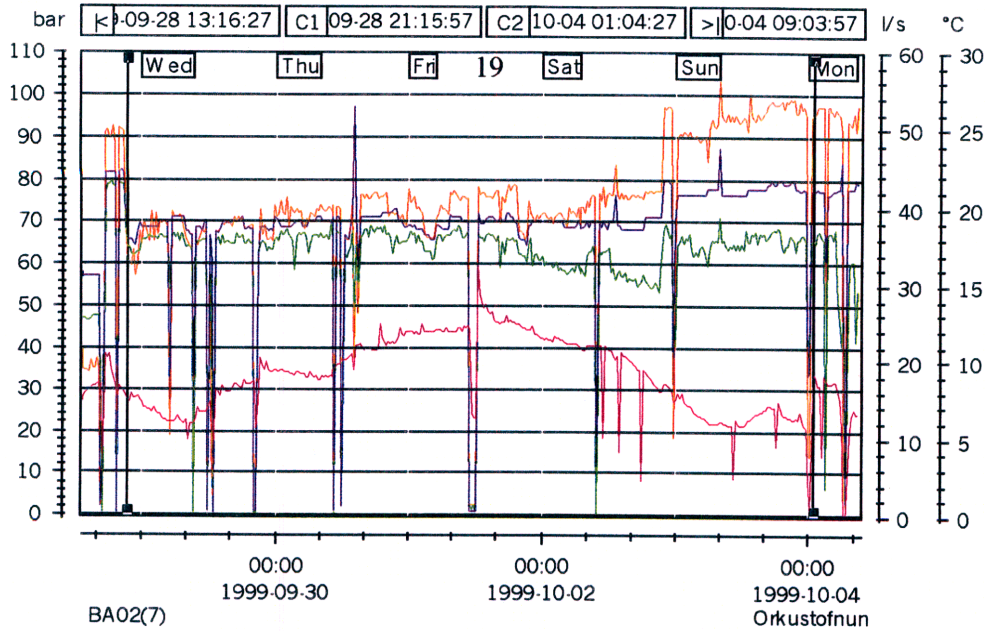


Mynd 5 frh Jarðlög og jarðlagamælingar í BA-02





**Mynd 6** Sírituð hæð snúningshaus borsins (grænn ferill) og reiknaður borhraði (blár ferill) í BA-02



**Mynd 7** Síritaður dæluþrýstingur (rauður ferill), skolhiti (fjólublár ferill), og skolvatnsmagn niður (blár ferill) og skolvatnsmagn upp úr (grænn ferill) BA-02. Ath. blái ferillinn er magn úr dælu 2 (x 2), sem getur verið ónákvæmt. Mismunur bláa ferilsins og græna er skoltap út í holuna.

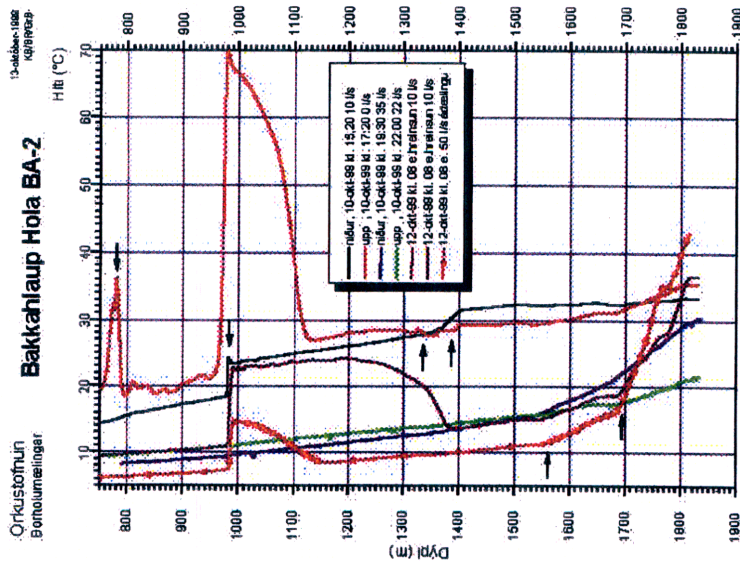
#### 4. BORHOLUMÆLINGAR

Ekki kom til neinna mælinga í 5. áfanga holu BA-02 fyrr en í lok borunar þegar holan hafði náð 1962 m dýpi. Þá komu þrjár fasar mælinga, í þeim fyrsta var metið hvort lekt holunnar væri ásætlanleg, í öðrum fasa voru gerðar hefðbundnar jarðlagamælingar og lektin endurmetin, og í þeim þriðja var svo þrepprófað. Yfirlit um mælingarnar er gefið í töflu 3.

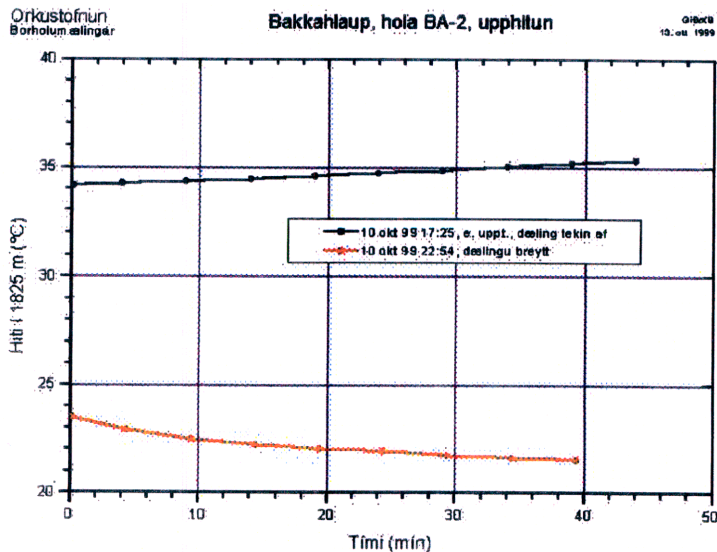
**Tafla 3** Yfirlit um borholumælingar í lok 5. áfanga

Mæling	Dags	Mæl. lauk	Skrá	Dýptar-bil	Adæl. (l/s)	Tilgangur	Athugasemdir
Hiti	10-okt-99	16:40	H199910101524	0-1832	10	Æðar	E. upptekt, fyrirstaða í 1832 m
Hiti	10-okt-99	17:25	T199910101640	1830	10&0	Upphitun	Fyrstu 20 mín 10 l/s og síðan 0 l/a
Hiti	10-okt-99	18:22	H199910101725	1830-0	0	Æðar	70°C hitatoppur við æð í 985 m
Þrýst.	10-okt-99	20:30	P199910102016	0-750	12,4	Vatnsborð	Vatnsborð í 67 m
Þrýst.	10-okt-99	21:23	P199910102030	750	35	Gæfni	Dæling aukin úr 12 í 35 l/s kl 20:40
Hiti	10-okt-99	21:49	H199910102125	750-1831	35	Æðar	
Þrýst.	10-okt-99	21:53	P199910102149	1800-1830	35	Holubotn	Skarkað í fyrirstöðu án árangurs
Hiti	10-okt-99	22:54	T199910102210	1825	35&22	Upphitun	Skoðað hvort renni gegnum fyrirst.
Þrýst.	10-okt-99	22:57	P199910102254	1825-1700	22	Gæfni	Skoðuð þrýstibr. milli þreppa
Hiti	10-okt-99	23:28	H199910102300	1835-0	22	Æðar	Búr losnar af mæli og varð eftir
Nifteind	11-okt-99	02:36	N199910110013	1835-760	10	Jarðlög	Notaður dauður tími vegna
Gamma	11-okt-99	02:36	G199910110013	1835-760	10	Jarðlög	glussaviðgerðar á bor
Þrýst.	12-okt-99	08:44	P199910120836	0-500	10	Vatnsborð	Vatnsborð í 59 m
Hiti	12-okt-99	09:10	H199910120848	500-1813	10	Æðar	Fyrirstaða í 1813 m e. "hreinsun"
Þrýst.	12-okt-99	09:21	P199910120910	1813-1500	10	Gæfni	Holubotn mælist í 1813 m
Þrýst.	12-okt-99	09:45	P199910120941	150-0	10	Vatnsborð	Vatnsborð komið niður í 70 m
X-vidd	12-okt-99	11:18	X199910121023	1813-0	10	Skápar	
Y-vidd	12-okt-99	11:18	Y199910121023	1813-0	10	Skápar	
Viðn.16	12-okt-99	12:20	S199910121200	1830-760	10	Jarðlög	Mælt upp, straumur 20 mA
Viðn.64	12-okt-99	12:20	L199910121200	1830-760	10	Jarðlög	
Sjálfsp.	12-okt-99	12:20	A199910121200	1830-760	10		
Halli	12-okt-99	13:15		1800	10		Halli yfir mælisviði
Halli	12-okt-99	14:13		1680	10		Halli 11,8° stefna 160° misv.
Halli	12-okt-99	15:07		1800	10		Halli 13,8° stefna 173° misv.
Þrýst.	12-okt-99	16:59	P199910121652	0-750	10	Vatnsborð	Fannst í 79,5 m
Þrýst.	12-okt-99	19:10	P199910121703	750	10/0/45	Gæfni	Metin gæfni æða
Hiti	12-okt-99	19:25	H199910121910	750-1813	45/20	Æðar	Tekið fram úr hitagúl frá 985 m æð
Hiti	12-okt-99	21:00	T199910121936	990	0	Upphitun	Skoðuð hitnun í 985 m æð
Hiti	12-okt-99	21:30	H199910122107	1050-0	0	Æðar	Vatnsborð í 83 m
Þrýst.	13-okt-99	19:18	P199910131916	0-200	10	Vatnsborð	Vatnsborð í 76,5 m
Hiti	13-okt-99	19:46	H199910131924	200-1813	10	Æðar	Botn í 1813 sem áður
Þrýst.	13-okt-99	19:54	P199910131948	1813-1550	10	Þreppróf	Farið í 1550 m dýpi, við aðalæð
Þrýst.	13-okt-99	20:07	P199910131955	1550	10	Þreppróf	Dæling aukin í 27 l/s kl 20:05
Þrýst.	13-okt-99	22:01	P199910132008	1550	27	Þreppróf	Forrit fraus, haldið áfram
Þrýst.	13-okt-99	23:05	P199910132202	1550	27	Þreppróf	Kl 21:19=15,3°C, 22:00=14,3°C
Þrýst.	13-okt-99	23:45	P199910132307	1550	45	Þreppróf	Dæling aukin í 45 l/s kl 22:07
Þrýst.	13-okt-99	02:01	P199910132347	1550	45	Þreppróf	Dæling hætti kl 23:51
Þrýst.	14-okt-99	02:05	P199910140202	1550-1813	0	Þreppróf	Dæling hætti kl 23:51
Hiti	14-okt-99	02:30	H199910140205	1813-0	0	Æðar	Margar æðar sáust

Mynd 8 sýnir hitamælingar gerðar í BA-02 fram að þrepaþrófun. Sýndar eru með örvum helstu æðar holunnar. Þær eru fimm, rétt undir föðringu á 780 m, í 980 m, milli 1320 og 1400 m er æðakafli, í 1540 er svo aðalæð holunnar og loks er æð í u.þ.b. 1680 m. Neðan 1680 metranna er svo talin smáæð við hrunkaflann í 1830 sökum þess að holuhitinn sveiflaðist þarna eftir dælingu. Þetta er sýnt nánar á mynd 9.



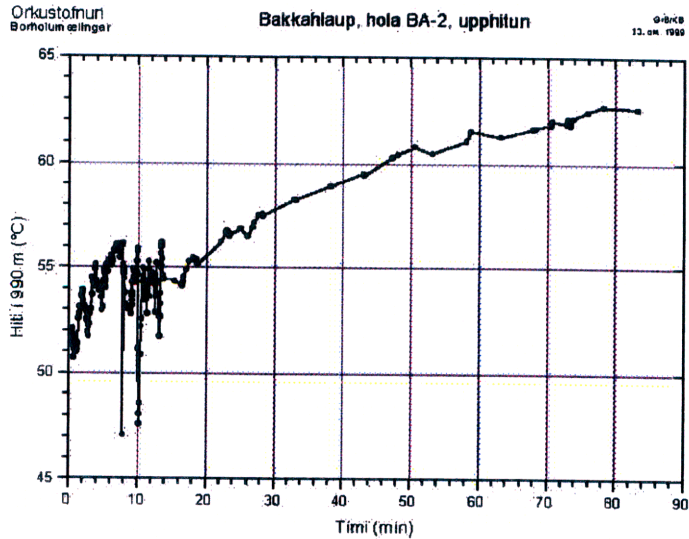
Mynd 8 Hitamælingar í BA-02 fram að þrepaþrófi



Mynd 9 Saga hita á 1825 m dýpi við breytilega dælingu. Hitmun og kólnun á vixl sýnir að vatn rennur til æðar neðan þessa dýpis.

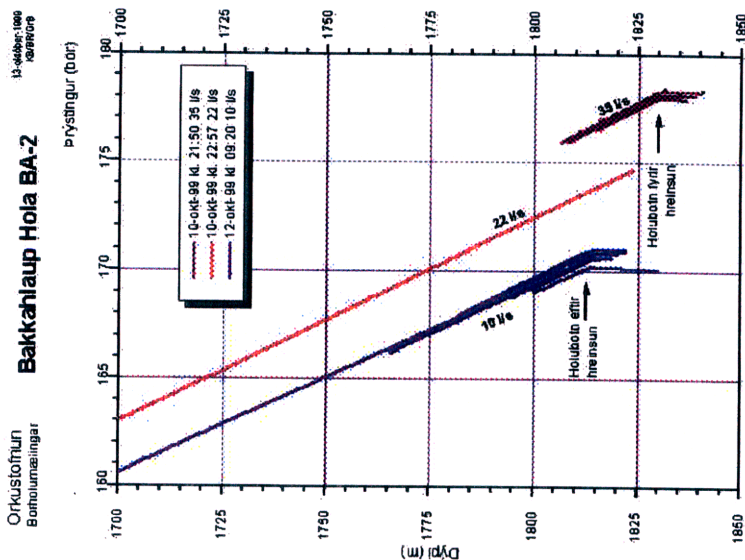
Æðin á 980 m er mjög ráðandi á mynd 8. Veldur hér að í kaldri holu verður holuþrýstingurinn lægri en æðaþrýstingurinn og millirennslí hefst. Gerð var tilraun til að spá hita æðarinnar með því að skrá hitann neðan hennar í engri ádælingu. Niðurstöður eru á mynd 10. Skemmst er frá því að segja að hitnunin reyndist mjög óregluleg og er ekki talin tæk í hitaspá.



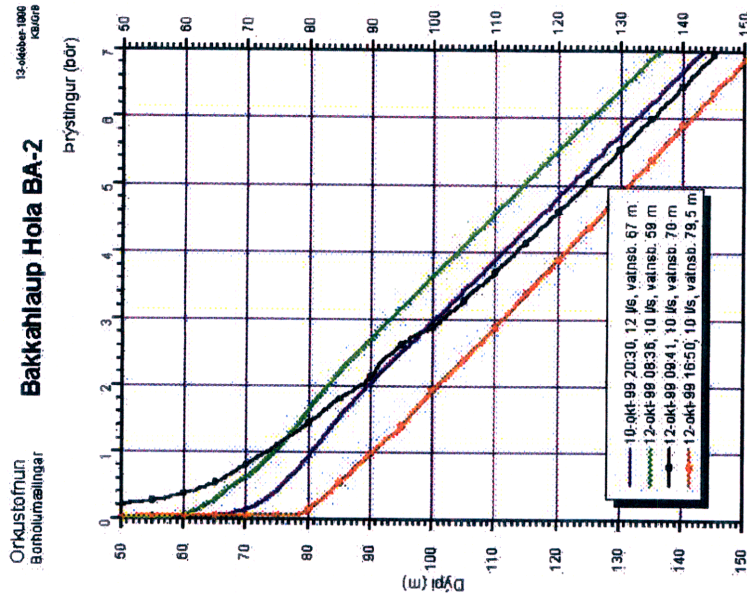


Mynd 10 Saga hita á 990 m dýpi í engri ádælingu.

Mikilvægur hluti borholumælinga í 5. áfanga holu BA-02 fólst í mati á viðnámsstuðli holunnar, þ.e. mati á hve mikið vatnsborð breytist við eins sekúndulíttra breytingu í dælingu. Myndir 11 og 12 sýna þetta, djúpt og grunnt í holunni. Ef fyrst er hugað að djúpprýstingnum sést að prýstingur breytist um 3 bör við 12-13 l/s dælubreytingu, sem gefur viðnámsstuðul á bilinu 2,3 til 2,5 m/(l/s). Það telst góður árangur og svipar til aflmikilla holna í Svartsengi (Grimur Björnsson, 1998: Ásættanleg gæfni æða... Greinargerð GrB-98/01). Skoðun á vatnsborði (mynd 12) sýnir svo að gæfnisstuðull holu BA-02 var á nokkru flakki dagana 10-12 október. Þannig stóð vatnsborð mun ofar í holunni eftir hreinsun fyrirstöðunnar á 1830 m en fyrir. Þessi breyting gekk svo til baka þann 12. október, var vatnsborðið t.d. komið í fyrra horf um kl 8:30 og svo 10 m neðar um kaffileytið en í svipaðri dælingu þann 10. október. Er líklegast að svarf hafi sest í holuæðarnar við hreinsunina þann 11. október sem síðan skolaðist hægt og rólega úr.

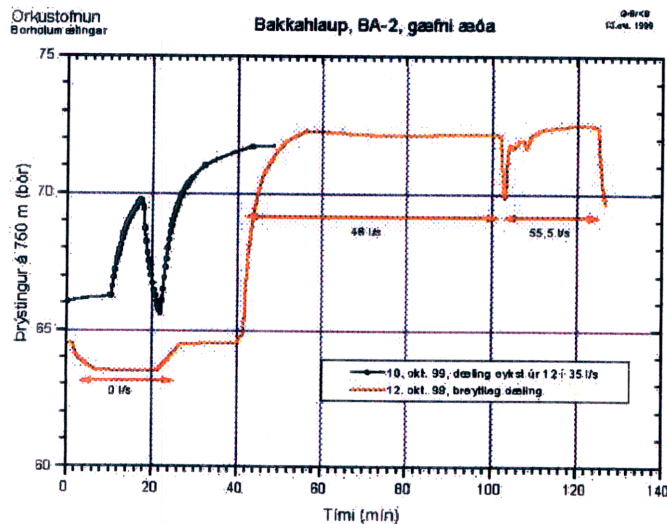


Mynd 11 Prýstingur djúpt í holu BA-2 fyrir og eftir hreinsun.



Mynd 12 *Þrýstingur grunnt í holu BA-02 fyrir og eftir hreinsun.*

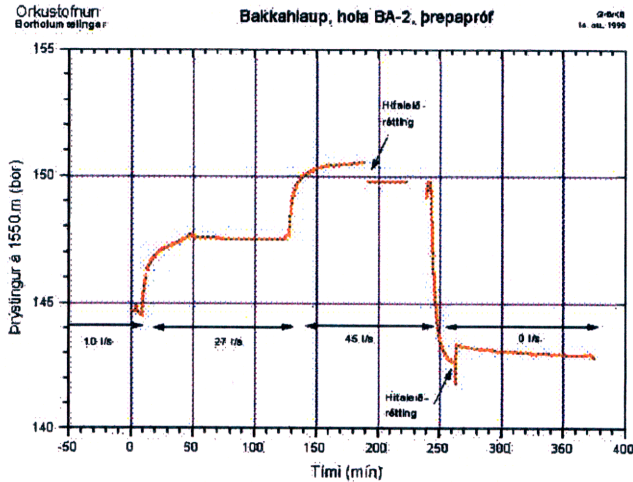
Mynd 13 sýnir svo sögu þrýstings á 750 m dýpi við breytilega ádælingu. Borið er saman holuástandið fyrir og eftir hreinsun á 1830 m. Þarna sést að 10. október reis þrýstingur um u.þ.b. 5,5 bör við 23 l/s aukningu í ádælingu sem kemur út í viðnámsstuðli upp á 2,4 m/(l/s). Síðan er reynt að fylla holuna 12. október og þurfti þá 50,5 l/s áður en skol kom upp. Hefur ekki áður mælst svo mikið tap í holunni og er viðnámsgildið væntanlega komið um og undir 2 m/(l/s).



Mynd 13 *Þrýstingur á 750 m dýpi fyrir og eftir hreinsun.*

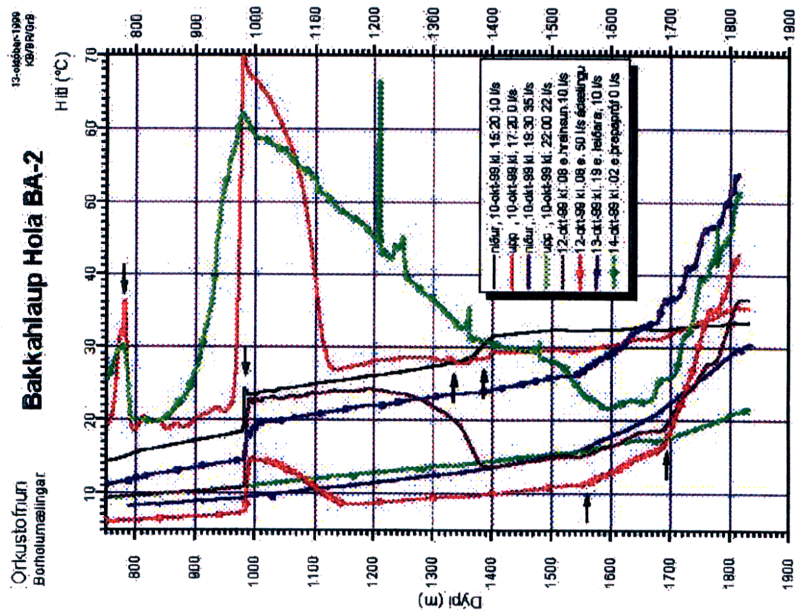
Þá var halla- og stefnumælt í holu BA-2, bæði þar sem ekki voru til hallamælingar neðan við 1500 m dýpi og eins til að meta í hvaða átt holan boraðist. Mælingarnar sýndu að holan er komin í tæplega 14° halla í 1800 m og stefnir hún milli SSA og SA (tafla 1).

Borholumælingum í 5. áfanga lauk svo með þrepaprófi að kvöldi 13. október. Niðurstöður eru sýndar á mynd 14. Taka ber fram að ólokið er leiðréttingum vegna hitabreytinga, og veldur það smástökkum í þrýstisögunni. Ákveðið var að hafa þrýstimælinn kyrran í 1550 m dýpi, rétt við bestu æð holunnar. Skemmst er frá því að segja að þrýstingur jafnaðist mjög hratt milli þrepa sem er vitni um góða lekt og rýmdarmikið vatnskerfi að baki holunni. Nánar verður unnið úr þessum gögnum í lokaskýrslu.



Mynd 14 Þrýstingur á 1550 m dýpi í þrepaprófun.

Í lokin er fróðlegt að skoða hitamælingu gerða um 2 klst eftir að ádæling var tekin af holunni (mynd 15). Svíptist þar hulann af margri holuæðinni og má telja a.m.k. 10 slíkar í hitaferlinum sem er frá 14. október (grænn). Þetta bíður og nánari skoðunar.



Mynd 15 Hiti eftir þrepaprófun ásamt fyrri mælingum.