



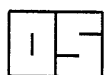
ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

**Borholumælingar í Kröflu
og Bjarnarflagi árið 1995**

Benedikt Steingrímsson
Grímur Björnsson

Unnið fyrir Landsvirkjun

OS-96025/JHD-14 B Maí 1996



ORKUSTOFNUN
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Verknr. 630 662

Borholumælingar í Kröflu og Bjarnarflagi árið 1995

Benedikt Steingrímsson
Grímur Björnsson

Unnið fyrir Landsvirkjun

OS-96025/JHD-14 B Maí 1996



EFNISYFIRLIT

EFNISYFIRLIT	3
TÖFLUSKRÁ	3
MYNDASKRÁ	4
1. INNGANGUR	5
2. HITADREIFING Á KRÖFLUSVÆÐINU	7
3. YFIRLIT UM ÁSTAND VINNSLUSVÆÐA	14
3.1 Efri hluti Leirbotna	14
3.2 Neðri hluti Leirbotna	15
3.3 Suðurhlíðar Kröflu	16
3.4 Hvíthólasvæðið	17
3.5 Bjarnarflag	18
4. HELSTU NIÐURSTÖÐUR	19
5. HEIMILDASKRÁ	21
VIÐAUKI A: Lýsing mælinga í einstökum borholum	23
Hola KG-5	23
Hola KJ-6	24
Hola KJ-9	27
Hola KG-10	29
Hola KJ-16	31
Hola KJ-18	32
Hola KJ-21	34
Hola KG-26	37
Hola B-2 í Bjarnarflagi	37
Hola B-5 í Bjarnarflagi	40
Hola BJ-12 í Bjarnarflagi	40
VIÐAUKI B: Útlitsmyndir af holum í Kröflu og Bjarnarflagi	45
VIÐAUKI C: Gildi hita og þrýstings í Kröflu og Bjarnarflagi árið 1995	47

TÖFLUSKRÁ

Tafla	bls.
1 Yfirlit um eftirlitsmælingar í Kröflu og Bjarnarflagi 1994	6
C-1 Mæliniðurstöður Amerada þrýstimælinga í Kröflu- og Bjarnarflagsholum 1994	47
C-2 Mæliniðurstöður Amerada hitamælinga í Kröflu- og Bjarnarflagsholum 1994	48
C-3 GO-hitamælingar í holum B-2, B-5, KJ-6 og KJ-18	49

MYNDASKRÁ

1 Staðsetning borholna í Kröflu og nöfn vinnslusvæða	8
2 Hitapversnið yfir vinnslusvæðin í Leirbotnum og Suðurhlíðum	9
3 Tilgáta um berghita í 200 m hæð yfir sjávarmáli	11
4 Tilgáta um berghita á 500 m undir sjávarmáli	12
5 Tilgáta um berghita á 1000 m undir sjávarmáli	13
6 Vatnsborðsmælingar í holum KJ-3A, KJ-6, KG-10 og KJ-1815	
7 Lóðaður holubotn holu KG-26 á síðustu árum	16
A-1 Hitamælingar í holu KG-5	23
A-2 Víddarmæling holu KG-5 í september 1995	24
A-3 Hitamælingar í holu KJ-6	25
A-4 Hiti á 1000 m dýpi í holu KJ-6	25
A-5 Þrýstimælingar í holu KJ-6	26
A-6 Þrýstingur á 1000 m dýpi í holu KJ-6	26
A-7 Berghiti og hitamælingar í holu KJ-9	27
A-8 Hiti á 1200 m dýpi í holu KJ-9	27
A-9 Upphafsprýstingur og mælingar í holu KJ-9	9
A-10 Þrýstingur á 1200 m dýpi í holu KJ-9	10
A-11 Hitamælingar í holu KG-10	11
A-12 Hiti á 800 m dýpi í holu KG-10	12
A-13 Þrýstimælingar í holu KG-10	30
A-14 Þrýstisaga holu KG-10	30
A-15 Berghiti og síðustu mælingar í holu KJ-16	31
A-16 Hiti á 1600 m dýpi í holu KJ-16	31
A-17 Upphafsprýstingur og síðustu mælingar í holu KJ-16	32
A-18 Þrýstingur á 1000 m dýpi í holu KJ-16	32
A-19 Berghiti og síðustu mælingar í holu KJ-18	33
A-20 Hiti á 2000 m dýpi í holu KJ-18	33
A-21 Upphafsprýstingur og síðustu mælingar í holu KJ-18	34
A-22 Þrýstingur á 900 m dýpi í holu KJ-18	34
A-23 Berghiti og síðustu mælingar í holu KJ-21	35
A-24 Hiti á 1000 m dýpi í holu KJ-21	35
A-25 Upphafsprýstingur og síðustu mælingar í holu KJ-21	36
A-26 Þrýstingur á 1000 m dýpi í holu KJ-21	36
A-27 Lóðaður holubotn holu KG-26 á síðustu árum	27
A-28 Hitamælingar í holu B-2	38
A-29 Hiti á 400 m dýpi í holu B-2	38
A-30 Þrýstimælingar í holu B-2	39
A-31 Vatnsborðssaga holu B-2	39
A-32 Vatnsborðssaga holu B-5	40
A-33 Hitamælingar gerðar í tengslum við hreinsun holu BJ-12	41
A-34 Ýmsar hitamælingar í holu BJ-12	42
A-35 Þrýstimælingar í holum BJ-11 og BJ-12	43

1. INNGANGUR

Í eftirfarandi skýrslu er greint frá niðurstöðum borholumælinga sem Orkustofnun annaðist fyrir Landsvirkjun í Kröflu og í Bjarnarflagi á árinu 1995. Eins verður fjallað um mælingar virkjunarmanna á vatnsborði í nokkrum borholum sem standa þrýstingslausar yfir árið. Í lokin kemur svo umfjöllun um hitadreifingu og hugmyndalíkanið af Kröflusvæðinu og það skoðað í samhengi við eftirlitsmælingarnar.

Farnar voru fjórar ferðir til borholumælinga í Kröflu og í Bjarnarflag árið 1995. Fyrsta ferðin var farin um mánaðamótin maí-júní, og var tilgangur hennar að mæla hita- og þrýstiástand borholna í lok vinnslutímabils. Lengi hefur staðið til að ná slíkum mælingum til að bera saman við eftirlitsmælingarnar, sem eru framkvæmdar árlega síðla sumars eftir 2-4 mánaða vinnsluhlé. Mælt var í einni holu á hverju vinnslusvæði, þ.e. holu KJ-6 í Leirbotnum, holu KJ-16 í Suðurhlíðum og loks holu KJ-21 á Hvíthólum.

Næstu tvær mæliferðirnar voru farnar vegna holu BJ-12 í Bjarnarflagi í júní og ágúst 1995. Holan kafnaði þegar lokað var fyrir hana í byrjun júní og reyndist ekki unnt að koma henni í gos á nýjan leik. Mælingar sýndu að útfellingatappi var á 855 m metra dýpi í holunni, en einnig að u.þ.b. 140°C heitt vatn seitlaði inn neðan fóðringar og náði niðurrennslið niður í útfellingatappann. Í framhaldi af þessu var hola BJ-12 hreinsuð í ágúst 1995. Mælingabíll var tiltækur meðan á hreinsuninni stóð og var holan hita- og víddarmæld fyrir og eftir verkið.

Eftirlitsmælingar í borholunum í Kröflu voru svo gerðar dagana 13. til 17. september. Þetta var jafnfram fjórða og síðasta mæliferðin á árinu 1995. Eru mælingarnar þáttur í reglubundnu vinnslueftirliti sem Orkustofnun annast fyrir Kröfluvirkjun. Í Kröflu var hita- og þrýstimælt í holum KJ-6, KJ-9, KG-10, KJ-16, KJ-18 og KJ-21. Auk þess var hola KG-26 lóðuð og hola KG-5 lóðuð, hita- og víddarmæld. Í Bjarnarflagi var hita- og þrýstimælt í holu BJ-12. Einnig var hitamælt í holu B-2 og vatnsborð mælt í holu B-5.

Yfirlit um mælingarnar er að finna í töflu 1. Um er að ræða 21 hitamælingu og 11 þrýstimælingar í holum í Kröflu og Bjarnarflagi. Alls voru mældir 32.506 metrar í holunum, sem er um 20% meira en undanfarin ár. Þessu til viðbótar eru lóðanir, körfu- og víddarmælingar þannig að allt í allt voru mældir rúmlega 40 km í Kröflu og Bjarnarflagi á árinu 1995.

Sumarhlé Kröfluvirkjunar hófst 29. maí 1995. Vinnsluholur blésu hins vegar nokkrum dögum lengur, vegna afmælinga og sýnatöku (Trausti Hauksson og Jón Benjamínsson, 1995). Vinnsluholunum var síðan lokað að frátöldum holum KJ-15 og KG-24 í Leirbotnum og holu KJ-20 í Suðurhlíðum. Eftirlitsmælingarnar haustið 1995 voru því gerðar eftir u.þ.b. þriggja og hálfmánaðar hvíld á vinnslusvæðunum sem er tæpum mánuði styttra hlé en síðustu árin.

TAFLA 1. Yfirlit um eftirlitsmælingar í Kröfluholum haustið 1994.

Hóla	Dags	Hiti		Þrýstingur		Vatnsb. (m)	Toppþr. (bar-y)
		Metrar	Nemi	Metrar	Nemi		
KG-5	17/9	0-700	Go-3				
KJ-6	29/5	300-1200	71777	0-1200	51948	40.6	
KJ-6	30/5	0-320	Go-5			40.6	
KJ-6	13/9	300-1200	71777	100-1200	51948	30.0	
KJ-6	13/9	0-305	Go-3			30.0	
KJ-9	14/9	0-1227	71777	0-1227	51948		1
KG-10	14/9	100-800	K-10149	100-800	51948	95.1	
KJ-16	30/5	0-1920	71777	0-1922	51948		15-26
KJ-16	15/9	0-1923	71777	0-1923	51948		16-24
KJ-18	28/8	210-1500	Go-6				
KJ-18	15/9	1300-2188	K-10149	300-2188	51948	208.65	
KJ-21	30-31/5	400-999	71777	0-999	51948		32-40
KJ-21	14/9	0-998	71777	0-998	51948		34.7
B-2	16/9	65-489	Go-3			64.25	
B-5	16/9					18.95	
BJ-12	21/6	500-858	84863	600-857	51948	um 550	
BJ-12	21/6	550-678	Go-5			um 550	
BJ-12	27/8	0-860	Go-6			Ádæling	
BJ-12	28/8	0-860	Go-6			Ádæling	
BJ-12	28/8	0-1540	Go-6			Ádæling	
BJ-12	16/9	1000-1531	71777	500-1531	51948	um 485	
BJ-12	16/9	485-900	Go-3			um 485	
Alls		19.261		13.245			
Hóla	Dags.	Körfur stöðvast		Lóð stöðvast		Vatnsb. (m)	Toppþr. (bar-y)
		Stærð	Dýpi (m)	Stærð	Dýpi (m)		
KG-5	15/9			1 1/2"	1152		
KJ-21	31/5	8"	700				40
KJ-21	31/5	5 1/2"	720-850	1 1/4"	750-900		40
KG-26	15/9			1 1/2"	2017		
-							
BJ-12	21/6	4"	856	1 1/2"	859	um 550	
BJ-12	21/6	5 1/2"	855			um 550	
Alls			3.261		4.928		
Hóla	Dags.	Vidd		Ástand holu			
		Metrar	Nemi				
KG-5	17/5	0-650	K-4	Ádæling			
BJ-12	28/8	600-680	K-3	Ádæling			
BJ-12	28/8	600-620	K-3	Ádæling			
BJ-12	28/8	0-725	K-3	Ádæling			
Alls		1.475					
Samtals mælt á árinu 1995: 40.695 m							

Uppsetning þessarar skýrslu er á þann veg að í megintexta er fjallað um ástand vinnslusvæðanna í Efri- og Neðri-Leirbotnum, Suðurhlíðum, Hvíthólum og Bjarnarflagi. Því til viðbótar kemur umfangllun um hitadreifingu í Kröflukerfinu og hugmyndalíkanið af jarðhitakerfinu. Þar er stuðst við niðurstöður eftirlitsmælinga síðustu ára, svo og nýjar upplýsingar um hita í jörðu sem öfluðust með borun holna KG-24, KG-25 og KG-26 í Leirbotnum auk holna 1 og 2 í Sandabotnaskarði. Lýsing mælinga í einstökum borholunum og allur samanburður við eldri mæligögn er birtur í Viðauka A. Viðauki B sýnir svo hönnun holna KG-5 og BJ-12, fóðringar þeirra og hvar fyrirstöður, festur og skemmdir á fóðringum hafa komið í ljós við mælingar. Sambærilegar upplýsingar um ástand annarra holna birtist í eftirlitsskýrslu síðasta árs (Benedikt Steingrímsson og Grímur Björnsson, 1995). Viðauki C sýnir svo í nokkrum töflum þau mæligildi hita- og þrýstings sem safnað var á árinu 1995.

2. HITADREIFING Á KRÖFLUSVÆÐINU

Þau hugmyndalíkon sem liggja fyrir um jarðhitakerfin í Kröflu hvíla að verulegu leyti á söfnun og túlkun hita- og þrýstimælinga í borholum. Mikið var unnið í slíkri líkangerð á árunum 1977-1982 og svo nokkrum árum síðar í tengslum við hermireikninga á Hvíthólasvæðinu. Hefur það hugmyndalíkan sem þá fæddist staðist í meginatriðum fram til þessa (Guðmundur Böðvarsson og Karsten Pruess, 1984; Halldór Ármannsson o.fl., 1987; Helga Tuliníus og Ómar Sigurðsson, 1988 og 1991; Valgarður Stefánsson, 1981). Nú er það svo að nokkrar holur hafa bæst við á Kröflusvæðinu frá því að hugmyndalíkanið var síðast endurskoðað fyrir um tíu árum. Því þótti áhuga-vert að bæta upplýsingunum úr þeim inn á hitamyndir, bæði í þversniði og eins í nokkrum láréttum flötum. Þær holur sem þannig hafa bæst við eru holur KG-24, 25 og 26 í Leirbotnum, svo og holur 1 og 2 í Sandabotnaskarði.

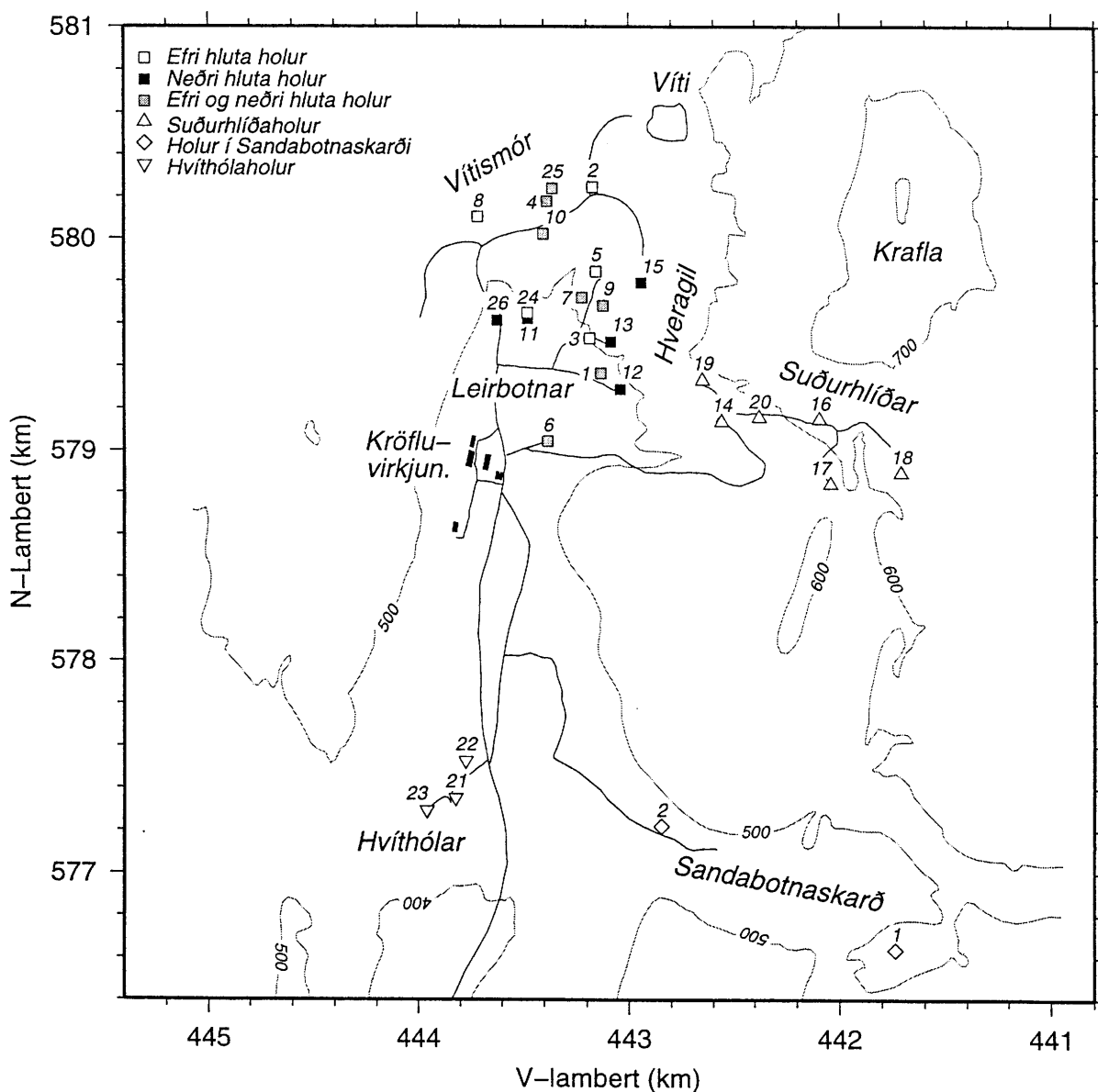
Berghiti holna KG-25 og KG-26 var ákvarðaður í tengslum við skýrslur um boranir þeirra (Grímur Björnsson o.fl., 1990; Halldór Ármannsson o.fl., 1993) og hafa ekki komið fram nýrri upplýsingar sem breyta því mati. Berghiti holu KG-24 var hins vegar fundinn með því að gefa sér suðumarksferil frá 50 m vatnsborði að 160 m dýpi, en síðan var meðalhiti allra eftirlitsmælinga undanfarinna ára látinn skilgreina berghitann til holubotns. Í Sandabotnaskarði var hitamæling frá 21. september 1992 talin sýna réttan berghita holu 1. Eins var berghitaferillinn framlengdur að 235 °C í 300 m dýpi. Það hitastig lendir nokkurn veginn á suðumarksferli og getur vart orðið hærra. Hiti holu 2 var hins vegar dreginn með sveigðum ferli gegnum mæld gildi og framlengdur að 60 °C í 300 m dýpi. Þá var berghiti holu KJ-11 endurmetinn með hliðsjón af berghitaferli holu KG-24 og berghiti holu KJ-18 var endurmetinn á þann veg að nær línulegur hitastigull er talinn ákvarða berghita milli 700 m dýpis og holubotns.

Mynd 1 sýnir staðsetningu allra borholna í Kröflu. Venjan er að skipta jarðhitakerfinu upp í nokkur undirsvæði og eru þau sýnd á myndinni. Svæðin eru:

- **Efri hluti Leirbotna:** Þeir eru í norðvesturhluta borsvæðisins sem nú hefur verið afmarkað í Kröflu. Í efri hluta Leirbotna finnst sérstakt vatnskerfi, u.þ.b. 170-210 °C heitt og 1000-1400 m þykkt. Holur 2, 3A, 5, 8 og 24 vinna eingöngu úr þessu kerfi en holur 1, 3, 4, 6, 7, 9, 10 og 25 að hluta.
- **Neðri hluti Leirbotna:** Þetta kerfi liggur undir efra kerfinu og einkennist af háum hita (>300 °C) og suðu. Holur 11, 12, 13, 15 og 26 vinna eingöngu úr því en holur 1, 3, 4, 6, 7, 9, 10 og 25 að hluta.
- **Suðurhlíðar:** Hér er átt við hlíðar Kröflu til suðurs. Þarna hafa verið boraðar holur 14, 16, 17, 18, 19 og 20. Suðurhlíðakerfið einkennist af suðu og fremur háum hita vestan til, en er greinilega afmarkað með köldu og hugsanlega þéttu vatnskerfi til austurs.

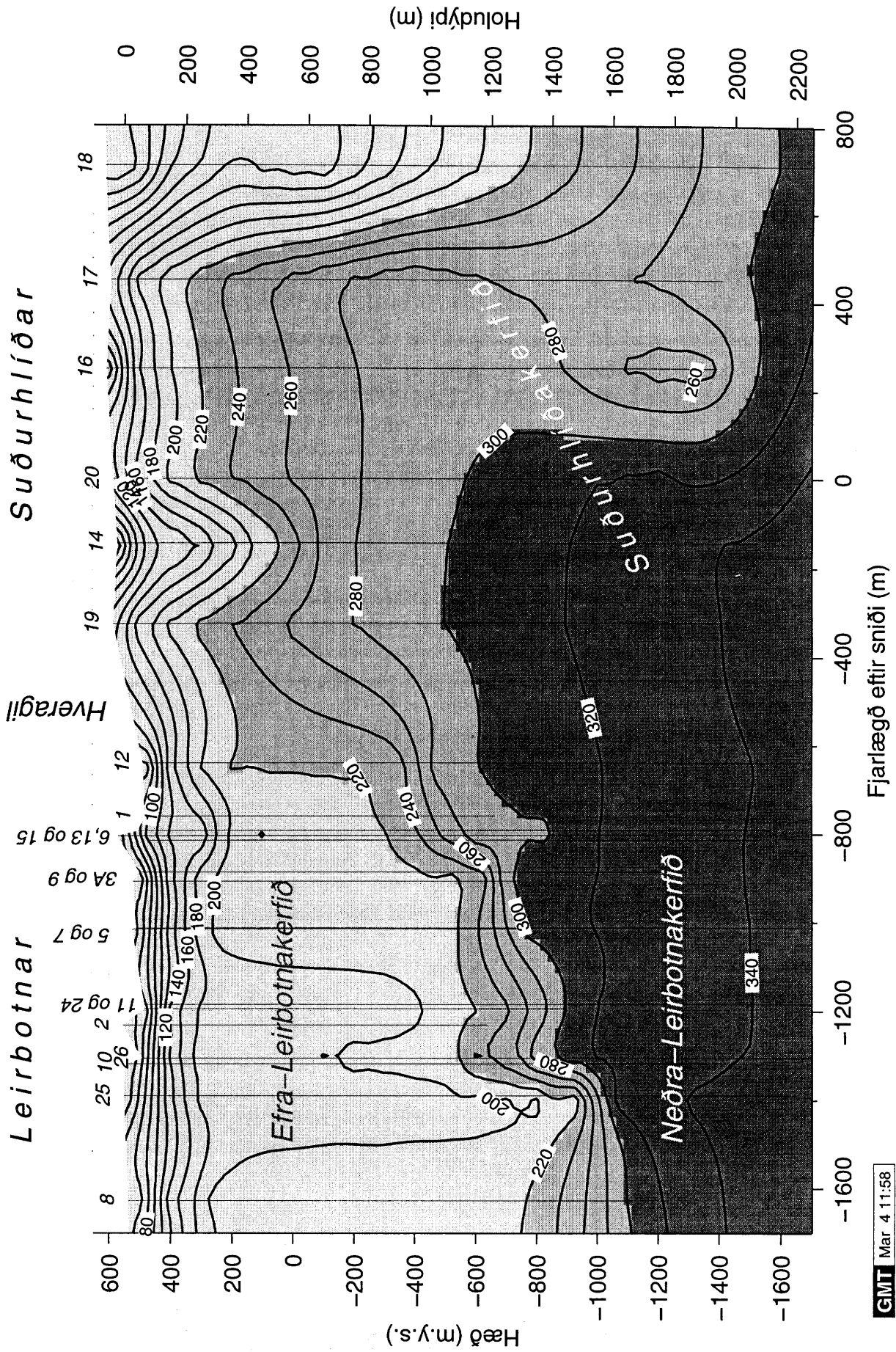
- **Hvíthólar:** Þeir eru í suðvesturhorni borsvæðisins í Kröflu, þarna finnst fremur hár hiti á litlu dýpi og er svæðið afmarkað a.m.k. til suðurs, austurs og vesturs. Holur 21, 22 og 23 eru boraðar í Hvíthóla.
- **Sandabotnaskarð:** Það telst til suðausturhluta borsvæðisins í Kröflu. Þarna hafa verið boraðar tvær grunnar holur (1 og 2). Er sú fyrri heit en sú síðari köld. Engin vinnsla hefur enn átt sér stað úr holunum þarna.

Auk þessara fimm undirkerfa er mögulegt að flokka **Hveragilssprunguna** sem sérstakt vatnskerfi. Í henni er talið meginuppstreymi heits vökva til Leirbotnakerfanna og hugsanlega einnig til Suðurhlíða (Guðmundur Böðvarsson og Karsten Pruess, 1984; Halldór Ármannson o.fl., 1987). Þarna er suða ríkjandi í bergi. Er talið að vegna hennar berist þrýstibreytingar vegna vinnslu illa eða ekki yfir sprunguna, þ.e. milli Leirbotnakerfanna í vestri og Suðurhlíðakerfisins í austri.



Mynd 1: Staðsetning borholna í Kröflu og nöfn vinnslusvæða.

Mynd 2 sýnir hitaþversnið sem er teiknað frá holu KJ-18 í austri að holu KJ-8 í vestri. Sniðið spannar þannig yfir bæði efra og neðra Leirbotnakerfið, en einnig Suðurhlíðakerfið og Hveragilssprunguna.



Mynd 2: Hitabversnið yfir vinnslusvæðin í Leirbotnum og Suðurhlíðum.

Sniðið á mynd 2 sýnir vel hvernig vinnslusvæðin í Kröflukerfinu endurspeglast í berghitanum. Þannig nær Efra-Leirbotnakerfið hæst um 220 °C hita, en meginþorri þess er hins vegar 180-200 °C heitur. Áberandi er hve 200 °C hitaferillinn steypist djúpt við holu KG-25. Er vart hægt að túlka það öðruvísi en sem góða lóðréttu lekt á þessu svæði. Neðra-Leirbotnakerfið er hins vegar um og yfir 300 °C heitt. Milli þess og efri hlutans er einungis 200-400 m þykkt og illa lekt haft, ef hola KJ-9 er undanskilin. Þar hafa boranir og eftirlitsmælingar sýnt að efrihlutavatn lekur um lóðréttu sprungu niður í millikerfahaftið og þaðan í holuna. Sprunguflöturinn sem vatnið rennur um er hins vegar það stór að það hitnar töluvert á leiðinni. Einnig blandast það neðrihlutavatni, sem hvoru tveggja skilar sér í hærri vermi KJ-9 en í öðrum efrihlutaholum.

Sé haldið áfram í austur eftir sniðinu á mynd 2 verður næst fyrir Hveragilssprungun. Þarna nær 220 °C hitalínan hvað mestri hæð og reyndar 300 °C hitaflöturinn einnig. Þetta hvoru tveggja ásamt háum þrýstingi og ákafri hveravirkni á yfirborði er talið sanna góða, lóðréttu flutningseiginleika Hveragilssprungunnar. Freistandi er að telja að Suðurhlíðakerfið nærast á þessu sama uppstreymi. Stígur heiti vökvinn þá skáhallt upp á við til ASA og leggst yfir kaldara vatn sem kemur inn undir holur KJ-16 og KJ-17. Kalt aðstreymi úr austri á sér líka stoð í háum þrýstingi djúpt í holu KJ-18 og niðurrennsli kalds vatns úr 700 m æðum til botnæðar holunnar. Þá er mjög áberandi í sniðinu hvað hola KJ-18 er köld ofan til. Er það túlkað sem ákveðið merki um jaðar í jarðhitakerfinu á þessum slóðum.

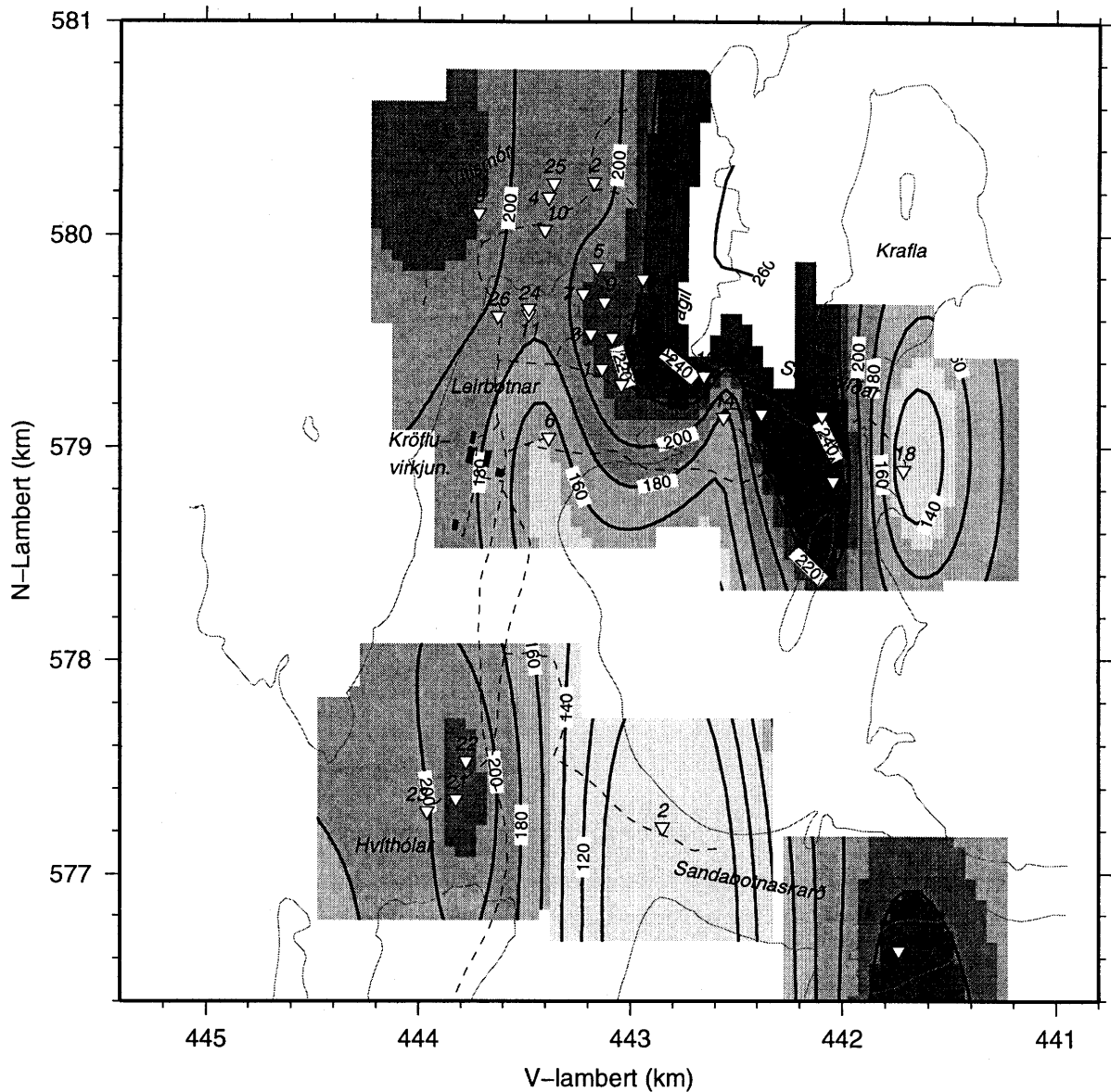
Myndir 3-5 sýnir tilgátu um berghita í þremur láréttum flötum á Kröflusvæðinu. Við teiknun myndanna var sú ákvörðun tekin að jafnhitalínur ættu fremur að teygja sig milli norðurs og suðurs en milli austurs og vesturs. Er þá höfð hliðsjón af ríkjandi sprungustefnu á Kröflusvæðinu, en einnig næst með þessu að láta hitann tengjast milli borholnanna í Sandabotnaskarði og í Hvíthólum annars vegar, og í Leirbotnum og Suðurhlíðum hins vegar. Ekki er víst að þessi tilgáta sé einhlít og þarf því að taka myndunum með nokkrum fyrirvara.

Mynd 3 sýnir berghita á 200 m yfir sjávarmáli. Það jafngildir 250-350 m holudýpi. Þetta dýpi var valið til að holurnar í Sandabotnaskarði næðust með inn á berghitamyndina. Höfuðdrættimír í myndinni eru tunga rúmlega 220 °C hita sem kemur annars vegar úr norðri eftir Hveragilssprungunni en hins vegar austan við holu KJ-14. Hitatungurnar má e.t.v. framlengja suður í holu 1 í Sandabotnaskarði þó viðnámsdreifing grunnt undir á Sandabotnafjalli bendi síður til þessa (Knútur Árnason og Ragna Karlsdóttir, 1996). Þá er áberandi á myndinni mjög lágur berg-hiti við holu 2 í Sandabotnaskarði, sem e.t.v. má framlengja norður undir holu KJ-6. Er hiti reyndar áfram lágur í norður frá holu KJ-6. Eins er hiti áberandi lágur við holu KJ-18. Að síðustu ber að vara við aflöngu hitasvæði í Hvíthólum, þessari lögun veldur fyrrnefnd forsenda um að teikniforritið þíni jafnhitaferla milli norðurs og suðurs í sprungustefnu.

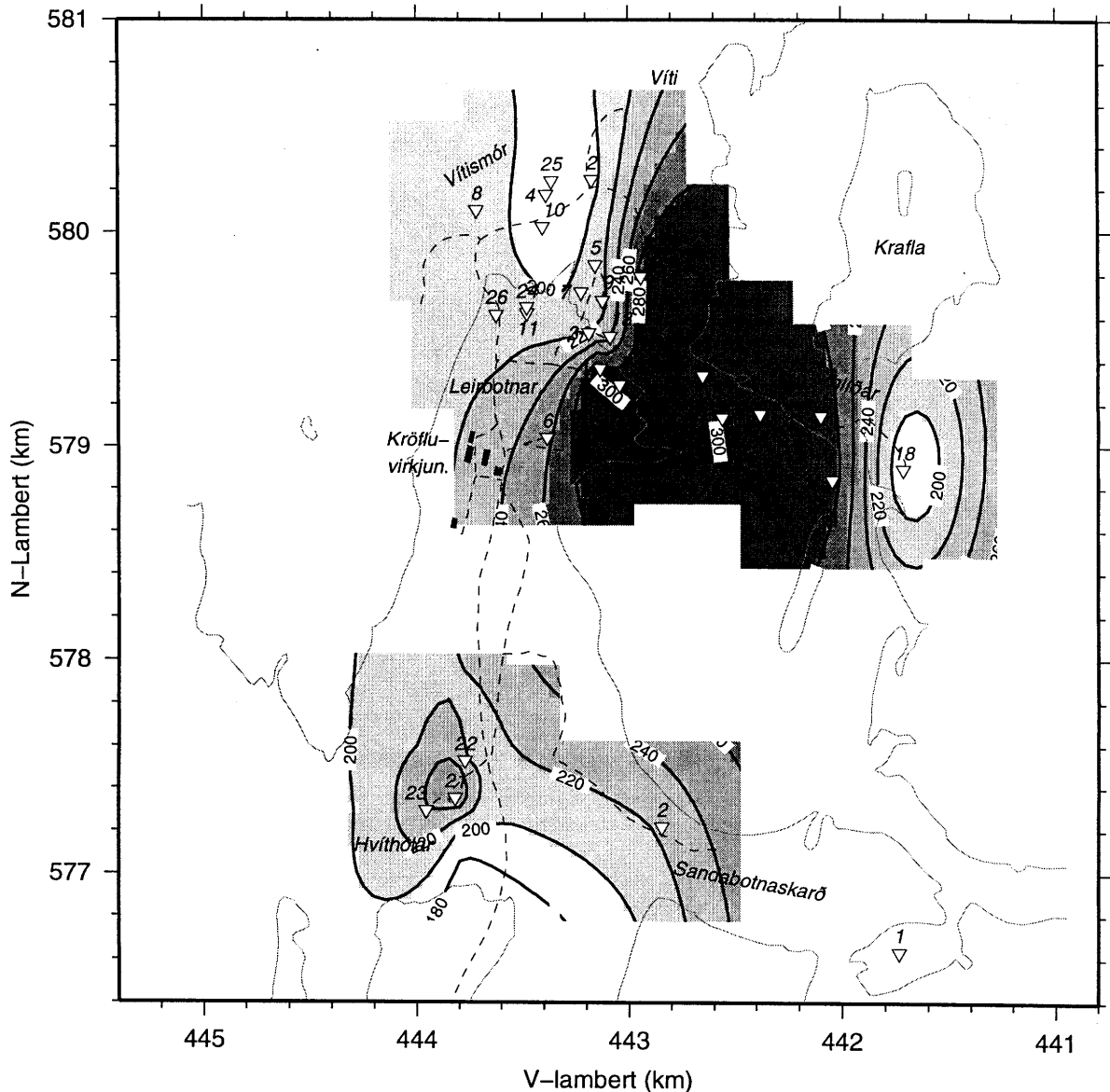
Hinn lági hiti holu 2 í Sandabotnaskarði má túlka sem kalt, lóðrétt vatnskerfi á þessum slóðum. Hátt viðnám bendir reyndar einnig í sömu átt (Knútur Árnason og Ragna Karlsdóttir, 1996). Því er borun kaldavatnsholu á þessum slóðum freistandi komi til þess að Kröfluvirkjun þurfi á auknu ferskvatni að halda. Til að árangur verði af boruninni þarf þessi meinta, lóðréttu sprunga að hafa eitthvert bakland. Það finnst hugsanlega í lítið ummynduðu Sandabotnafjallinu (Kristján Sæmundsson 1996, persónulegar upplýsingar).

Mynd 4 sýnir berghita á 500 metra dýpi undir sjávarmáli, en það jafngildir u.þ.b. 1000 m holudýpi. Að þessu sinni er mest áberandi rúmlega 280 °C heitt aflangt svæði með hitahámark eftir Hveragilssprungunni. Hitasvæðið breiðir sig austur undir holur KJ-16 og KJ-17, en þar klippist á hitann við „kalda“ holu KJ-18. Óvíst er um útmörk þessa hitasvæðis til norðurs og suðurs. Í

norðvesturhluta Leirbotna kemur svo tunga úr norðri með lágum hita. Þarna eru holur KG-4, KG-10 og KG-25. Þær eiga það allar sammerkt að efra Leirbotnakerfið er óvenju þykkt í þeim, en jafnframt eru þetta allt saman holur með öflugum neðrihlutaæðum. Þetta samband lágs hita grunnt og góðrar lektar djúpt má túlka sem lóðréttan vatnsleiðara á þessum slóðum. Hann gæti þá náð a.m.k. suður undir holu KJ-6, því í henni verða hvað mestar sveiflur í vatnsborði dauðra efrihlutaholna á Kröflusvæðinu.



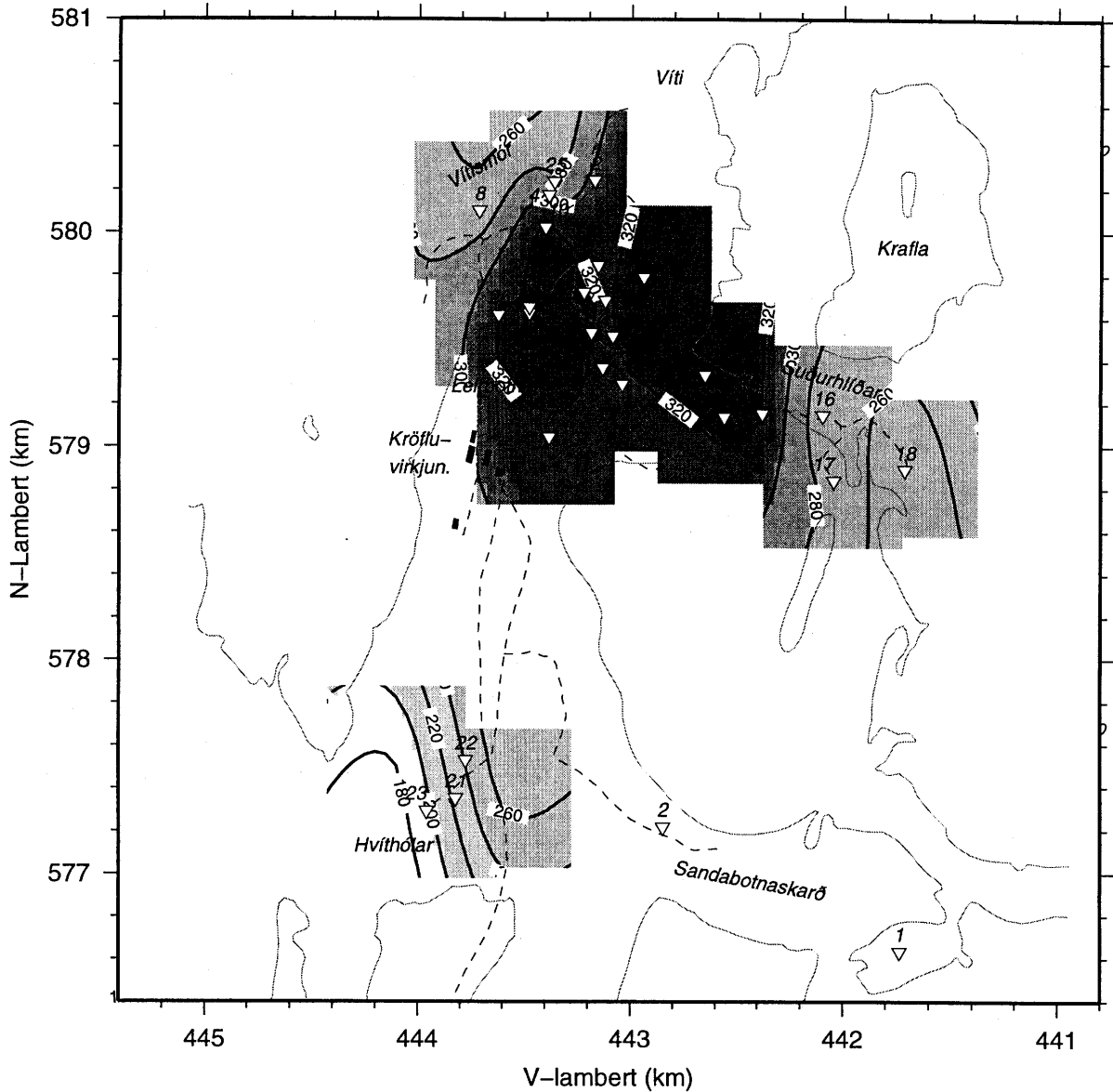
Mynd 3: Tilgáta um berghita á 200 metrum yfir sjávarmáli í Kröflu (u.þ.b. 250-350 m holudýpi). Hitinn er sýndur með misdökkum litaskýggingum, táknað ljósasti liturinn hita upp að 180 °C, næst kemur 180-210 °C hiti, þar á eftir 210-220 °C og dekksta skyggingin sýnir svo svæði þar sem hiti er talinn yfir 220 °C. Sú forsenda var notuð við gerð myndarinnar að hitalínur eru þvingaðar til að teygjast milli norðurs og suðurs.



Mynd 4: Tilgáta um berghita á 500 metrum undir sjávarmáli í Kröflu (u.þ.b. 1000 m holudýpi). Hitinn er sýndur með litaskýggingum, táknað ljósasti flöturinn hita undir 200 °C en sá dekksti hita yfir 280 °C. Sú forsenda var notuð við gerð myndarinnar að hitalínur eru þvingaðar til að teygjast milli norðurs og suðurs.

Mynd 5 sýnir að lokum hitann á 1000 metrum undir sjávarmáli, en það jafngildir u.þ.b. 1500 m holudýpi. Að þessu sinni er hiti hæstur (>300 °C) beggja vegna við Hveragilssprunguna, en lægstur sunnan og vestan við Hvíthóla. Þeim brögðum var beitt við mat á hitaástandinu í Hvíthólum að hitagildinu í holu KJ-22 er hliðrað 300 m til vesturs í samræmi við halla holunnar. Þá er einnig notuð sú mikilvæga forsenda að 260 °C berghiti finnist skammt austan við holu KJ-21. Stuðningur fyrir þeirri forsendu er einfaldlega að berghiti holu KJ-21 mældist hæstur rúmlega 260 °C eftir borun og eins í mælingu vorið 1996 (sjá viðauka A). Þessu til viðbótar má nefna að við hermireikninga Hvíthólasvæðisins reyndist nauðsynlegt að gera ráð fyrir rúmlega 300 °C innstreymishita í reiknilíkanið (Helga Tulínus og Ómar Sigurðsson, 1988 og 1991).

Með því að beita þessum forsendum fæst fram hitahryggur með N-S stefnu norðaustan við Hvít-hóla. Annar áberandi þáttur í mynd 4 er að hiti í Leirbotnum, norðan holu KJ-6 er nú orðinn mjög hár. Teygist hitatota í norður til afmiklu neðrihlutaholnanna KG-4, KG-10 og KG-25. Norðan þeirra, svo og við holu KJ-18, er hins vegar lækkandi hiti.



Mynd 5: Tilgáta um berghita á 1000 metrum undir sjávarmáli í Kröflu (u.þ.b. 1500 m holudýpi). Hitinn er sýndur með litaskyggjum, táknað ljósasti flöturinn hita undir 200 °C en sá dekksti hita yfir 320 °C. Sú forsenda var notuð við gerð myndarinnar að hitalínur eru þvingaðar til að teygjast milli norðurs og suðurs.

3. YFIRLIT UM ÁSTAND VINNSLUSVÆÐA

3.1 Efri hluti Leirbotna

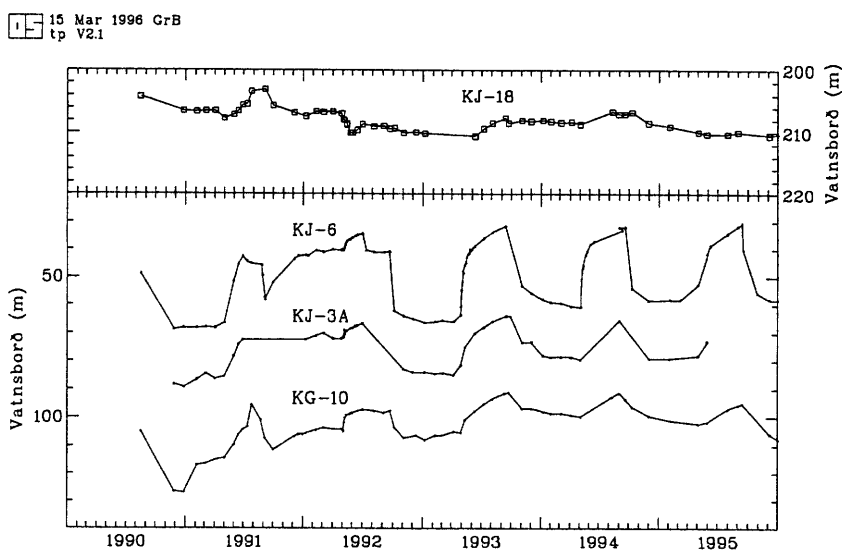
Aðaleftirlitsholurnar með ástandi efri hluta Leirbotna eru holur KJ-6 og KG-10, en þær hafa staðið ónotaðar svo árum skiptir. Þá var vinnsluholan KJ-9 hita og þrýstimæld og hola KG-5 lóðuð, hita- og víddarmæld. Eins var hola KJ-6 hita- og þrýstimælt sérstaklega í lok maí 1995, í tengslum við sérstaka athugun á ástandi nokkurra Kröfluholna í lok vinnslutímabilsins (Grímur Björnsson og Benedikt Steingrímsson, 1995). Engin sérstök vandkvæði voru við að mæla í efri hluta holum á árinu 1994 utan að mælar nörtuðu í fódbringarskemmd á um 170 m dýpi í holu KJ-9. Til viðbótar borholueftirlitinu koma svo mælingar virkjunarmanna á vatnsborði holna KJ-3A, KJ-6 og KG-10, en þær hafa verið stundaðar reglulega allt frá árinu 1990.

Efri hluti Leirbotna er nýttur á vetrum til að afla lágþrýstigufu fyrir Kröfluvirkjun. Þrjá undanfarna vetur hefur Kröfluvirkjun aðeins notað holur KG-24, sem vinnur eingöngu úr þessu kerfi, og holu KJ-9, sem tengist bæði efri og neðri hluta Leirbotna. Áætlað hefur verið að um 60-90% vinnslunnar úr KJ-9 sé ættað úr efri hlutanum (Benedikt Steingrímsson o.fl., 1994). Hola KG-24 blés allt árið 1995 og fór skiljuvatnið úr henni (≈ 5 l/s) ofan í holu KG-26 (Egill Sigurðsson 1995, persónulegar upplýsingar).

Heildarvinnsla úr holum tengdum efri hluta Leirbotna er áætluð um 1,25 milljónir tonna á tímabilinu júlí 1994 til júní 1995 borið saman við 1 milljón tonna á tímabilinu júlí 1993 til júní 1994 (Trausti Hauksson og Jón Benjamínsson, 1995). Þetta er um 25% aukning í vinnslu milli rekstrartímabilla en aftur á móti sambærileg vinnsla og veturinn 1992/1993. Þrýsti- og vatnsborðsmælingar sýna að vinnsla undanfarinna ára hefur ekki leitt til varanlegs niðurdráttar í efra Leirbotnakerfinu. Þó er þrýstingur holu KJ-9 sjónarmun lægri haustið 1995 en 1994, en það á sér þá eðlilegu skýringu að vinnslan úr Leirbotnakerfinu var meiri síðara árið.

Mynd 6 sýnir vatnsborð nokkurra Kröfluholna. Sést þar m.a. árstíðabundin sveifla í vatnsborði, sem tengist rekstri svæðisins. Vatnsborð fellur á haustin þegar vinnsluholur efra kerfisins fara í blástur en hækkar að vori, þegar þeim er lokað. Athyglivert er að mun hærra vatnsborð mælist í holunum veturinn 91/92 en veturna á undan og eftir. Er munurinn mestur í holu KJ-6. Það er hola KJ-9 sem veldur þessu, en hún stóð lokað veturinn 91/92. Því er ljóst að hola KJ-9 er í góðu þrýstisambandi við efri hluta Leirbotna og tekur hún umtalsverðan hluta af rennsli sínu úr því.

Mynd 6 sýnir að vatnsborð holu KJ-6 sveiflast mun meira en í holum KJ-3A og KG-10. Vatnsborðssveiflan bendir til vatnsleiðara, eins eða tveggja, sem tengja vatnsborð holu KJ-6 við vinnsluholurnar KJ-9 og KG-24. Þessi vatnsleiðari þarf þá að hafa norðlæga stefnu. Gæti hann tengst „kuldavæðinu“ sem er á 500 m u.s. við holur 4, 10 og 25 á mynd 4. Kaldi bletturinn er að öllum líkindum vísbending um góða lóðréttu lekt á þessum slóðum. Hægt er að nota vatnsborðssögu efrihlutaholna til að fá mat á stefnu og staðsetningu slíkra vatnsleiðara. Hér er varpað upp þeirri hugmynd að holum KG-5, KJ-9, KG-24 og KG-25 verði hleypt upp og/eða lokað kerfisbundið með u.þ.b. viku millibili og vatnsborð dauðra holna skráð rækilega á meðan. Síðan verði unnið úr þeim upplýsingum með grunnvatnslíkani og yrði tilgangurinn sá að afmarka hugsanlega lóðréttu vatnsleiðara. Þær upplýsingar má svo hafa til hliðsjónar við framtíðarstaðsetningu borholna á Leirbotnasvæðinu.



Mynd 6: Vatnsborðsmælingar í holum KJ-3A, KJ-6, KG-10 og KJ-18.

Önnur vísbending um góða lekt til norðurs eða norðausturs frá holu KJ-6 felst svo í eftirlitsmælingum með hita í holum KG-10 og KG-24. Þannig má túlka „kalda“ blettinn norður af holu KG-24 á mynd 4 sem aðstreymi kaldara vatns úr norðri inn á borsvæðið. Bendir hitasaga holu KG-10 til þess að magn aðstreymisins sé breytilegt eftir því hve mikil og hvar massatakan er úr efri hlutanum (Viðauki A). Þannig gætir kólnunar í KG-10 þegar hola KG-24 er í vinnslu, en hiti hækkar á ný þegar KG-24 er lokuð. Þessi hitamunur er um eða yfir 5°C.

Þriðja vísbendingin um tilvist lóðréttrar vatnsleiðandi sprungu milli holna KJ-6 og KG-25 gæti svo falist í góðum árangri af örvun holu KG-24 eftir borun (Benedikt Steingrímsson og Halldór Ármannsson, 1989). Holan var nánast þétt við lok borunar í 1400 m dýpi. Hins vegar tókst með endurtekinni ádælingu kalds vatns og upphitun á milli að örva mjög lekt holunnar til efrihluta Leirbotna. Góður árangur af örvunaraðgerðinni getur skýrst með nálægð við ofangreinda sprungu.

Ein athyglisverðasta niðurstaða eftirlitsins í efri Leirbotnum sumarið 1995 fékkst við mælingar í holu KG-5. Holan hefur verið stífluð á 510 m dýpi frá því um áramótin 1991/1992 og náði ekki að blása af þeim sökum. Stíflan var talin kalktappi. Að áeggjan Trausta Haukssonar hjá Kemú var reynd ádæling sýrðs ferskvatns í holuna sumarið 1995. Súra vatnið náði að leysa upp kalktappan að hluta og tókst að mæla fram hjá honum um haustið. Eru niðurstöður mælinganna sýndar í Viðauka A. Holan fékkst svo í blástur og blæs enn inn á gufuveitu þegar þetta er ritað á útmanuðum 1996.

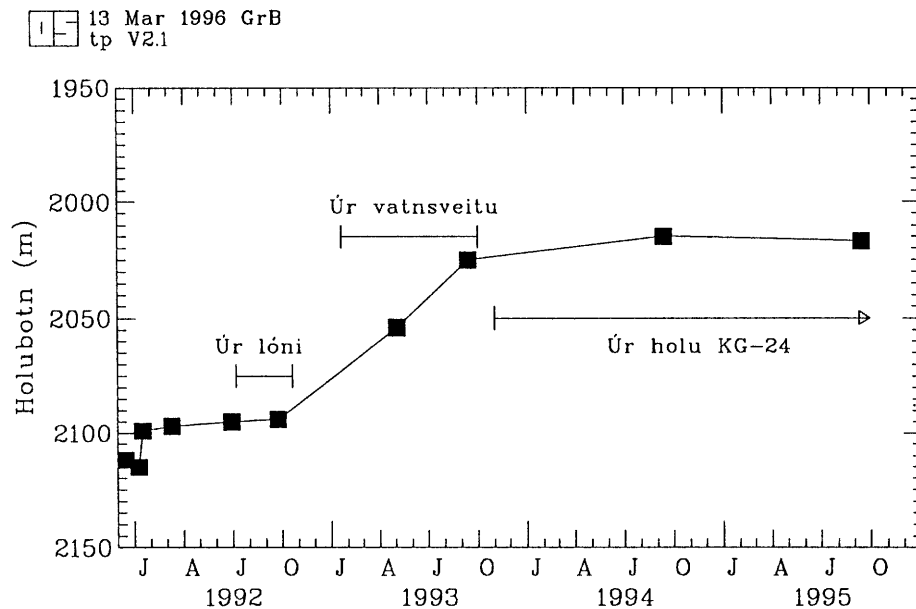
3.2 Neðri hluti Leirbotna

Einu borholumælingarnar sem náðu til neðri hluta Leirbotna árið 1996 öfluðust í holu KJ-9. Mælingar í holu KJ-9 hafa þó þann annmarka að vera háðar báðum Leirbotnakerfunum. Neðra Leirbotnasvæðið er langstærsta jarðhitakerfið í Kröflu. Borholur ná einungis yfir hluta þess og vinnslan fer fram á enn takmarkaðra svæði. Fæstar neðri hluta holunnar henta til eftirlits með hita og þrýstingi vegna mikilla vinnslutruflana. Stöku mælingar hafa þó náðst undanfarin 10-15 ár þegar vinnsluholur hafa verið kæfðar og hreinsaðar. Flestar eru þær úr holu KJ-13 en einnig úr holum KG-25 og KG-26. Niðurstaða þessara mælinga allra er í stuttu máli sú að vinnslan hafi, enn sem komið er, sáralítill áhrif á neðra Leirbotnakerfið, hvorki í þrýstingi né í hita (Benedikt

Steingrímsson og Grímur Björnsson, 1990). Ástæða er til að skoða hvort ekki megi nota holu KJ-13 til eftirlits með þrýstingi neðri hlutans. Henni er lokað yfir sumartímann og stendur hún þá nánast dauð.

Lóðanir á holu KG-26 sýna að drullutappinn í holunni er hættur að vaxa og mælist nú á móta djúpt á hann og fyrir ári (mynd 7). Þegar holan var lóðuð var reynt að skrapa síni úr tappanum í leiðinni. Efnismassinn náði hins vegar ekki að klístrast inn í gat neðst á lóðinu. Hugsanlega merkir þetta að tappinn sé úr sandkenndu efni.

Spurning er hvort niðurdælingin í holu KG-26 sé farin að hafa áhrif á efnainnihald holu KJ-9. Mælingar hafa sýnt að CO₂ gas í gufu KJ-9 tók að vaxa verulega upp úr árinu 1993 (Trausti Hauksson og Jón Benjamínsson, 1995). Breytingin er rakin til þess að neðrihluti Leirbotna gefi hlutfallslega meira inn í holuna en árin á undan. Hér geta verið á ferðinni áhrif niðurdælingarinnar í holu KG-26, en hún hefur einmitt staðið yfir nánast samfelld frá því síðari hluta árs 1992. Lagt er til að þetta atriði verði kannað af efnafróðari mönnum en þeim sem hér rita.



Mynd 7: Lóðaður holubotn holu KG-26 á síðustu árum.

Einnig er sýnt á hvaða tímabilum og þá hvaðan ádælingavatnið í holuna var ættað.

3.3 Suðurhlíðar Kröflu

Eftirlitsmælingar eru gerðar árlega í holum KJ-16 og KJ-18 í Suðurhlíðum til að meta hita- og þrýstiástand jarðhitakerfisins. Hóla KJ-18 stendur dauð og hola KJ-16 hefur verið í blæðingu árum saman. Hinar fjórar holurnar á Suðurhlíðasvæði, KJ-14, 17, 19 og 20 eru allar nýttar af Kröfluvirkjun.

Vinnsluholurnar í Suðurhlíðum blása yfir vetrarmánuðina en eru settar á blæðingu yfir sumartímann, nema hola KJ-20 sumarið 1995. Árleg massatakan úr Suðurhlíðum hefur verið kringum 900 þúsund tonn flest ár síðan 1990. Vinnslan veturinn 94/95 nam t.d. 895 þúsundum tonna (Trausti Hauksson og Jón Benjamínsson, 1995).

Þrýstingur í holu KJ-16 fór lækkandi allt frá borun fram til ársins 1992. Þrýstingur á 1000 m dýpi

er áætlaður um 76 bör haustið 1981, en hafði fallið niður fyrir 64 bör haustið 1992. Síðan hefur þrýstingurinn farið hækkandi, var 68 bör haustið 1993, 72 bör haustið 1994 og enn 72 bör í mælingum bæði um vorið og haustið 1995. Þrýstingur holu KJ-18 hefur hegðað sér svipað þessu. Minnkuð vinnsla í Suðurhlíðum hefur því nægt til þess að svæðið hefur endurnýjað vatnsforða sinn að nokkru leyti, þótt enn vanti 4-5 bör á það að þrýstiniðurdrátturinn við holur KJ-16 og 18 gangi að fullu tilbaka.

Nokkrar hitabreytingar hafa mælst í holum KJ-16 og 18 síðustu 13 árin. Þannig er neðri hluti holu KJ-18 verulega kældur sökum niðurrennslis í holunni, úr æðum ofan 1000 m dýpis niður í æðar nærri botni holunnar á 2180 m dýpi. Niðurrennslinu veldur að hluta til hár eðlisþungi vatnssúlunnar milli æðanna, en einnig hefur þrýstingur botnæðar holu KJ-18 lækkað vegna vinnslunnar í Suðurhlíðum. Hvorutveggja leiðir til þess að kaldara vatn sækir úr austri inn undir Suðurhlíðakerfið. Getur það skýrt hitaviðsnúning holna KJ-16 og 17 (mynd 2).

Hiti á 1300-1500 m dýpi í holu KJ-16 hefur flökt milli ára og er talið fullljóst að flöktið stafi af ójafnvægi í vatnsæðaþrýstingi sem leiðir til breytts mynsturs millirennslis í holunni (Viðauki A). Þær hitabreytingar sem mælst hafa í Suðurhlíðaholum eru því tilkomnar vegna rennslisbreytinga í holunum sjálfum, en ekki vegna hitabreytinga í jarðhitakerfinu. Hiti mun þó hafa lækkað í sjóðandi hluta kerfisins. Þar leiðir þrýstilækkun til kælingar í samræmi við suðmarksferil vatns.

3.4 Hvíthólasvæðið

Hola KJ-21 var mæld tvívegis á árinu 1995, þ.e. við lokun í maílok og aftur skömmu fyrir upphleypingu í september. Mælingarnar leiddu fram þrjú áhugaverð atriði um ástand holunnar og Hvíthólakerfisins milli sumars og vetrar:

- Þrýstingur jarðhitakerfisins fellur um 15 bör við vetrarvinnsluna en nær að jafna sig að mestu leyti yfir sumarið. Þrýstingur á 1000 m dýpi mældist þó um 1 bari lægri haustið 1995 en 1994, en það skýrist af meiri vinnslu milli ára.
- Botnhiti holu KJ-21 mældist rúmar 260 °C strax eftir lokun í maí 1995. Það er töluvert hærra en í haustmælingunum. Ljóst er að hola KJ-21 dregur enn til sín 260 °C heitan vökva sem vart nær að sjóða fyrir en við eða inni í holunni. Álitamál er hvernig túlka eigi þennan háa hita. Ein skýring gæti verið sú að hola KJ-21 sé jaðarhola í a.m.k. 260 °C heitu vatnskerfi sem er þá skammt austan eða norðan holunnar.
- Holuveggir KJ-21 voru settir einhvers konar seigri útfellingu í maímælingunni. Útfellingin stöðvaði t.d. 8" körfu á 700 m dýpi auk þess sem mjólka þurfti hita- og þrýstimæla niður holuna. Engin slík vandkvæði fundust hins vegar við slökun mæla um haustið. Eins var holan hrein ofan aðalæðarinnar á 600-650 m í bæði skiptin. Líklega veldur hér breyting á rennslisástandi. Á veturna kemur 260 °C vatn að holunni og sýður rétt utan við hana eða inni í henni. Því fylgir þá útfellingamyndun í neðri helming holunnar. Á sumrin rennur hins vegar vatn frá 600-650 m æðinni niður til holubotsins og virðist það leysa upp í leiðinni seigu útfellinguna sem vetrarvinnslan myndar. Gæti þá svipað fyrirbrigði verið í gangi og í „hreinsun“ holu KG-5 sumarið 1995, að vatnið sem rennur frá 600-650 m æðinni sé mjög súrt (þéttivatn) fyrstu dagana eftir lokun og nái þannig að leysa upp útfellinguna.

Massataka úr Hvíthólasvæðinu fór minnkandi síðustu árin. Til dæmis var vinnslan 634 og 719 þúsund tonn rekstrartímabilin 92/93 og 93/94, sem er með allra minnsta móti (Trausti Hauksson og Jón Benjamínsson, 1995). Vinnslan jókst hins vegar í 817 þúsund tonn síðasta vetur sökum lengri rekstrartíma.

Vinnslan úr Hvíthólasvæðinu hefur valdið verulegri þrýstilækkun í jarðhitakerfinu frá upphafi blásturs haustið 1982. Fram til 1987 féll þrýstingur í holu KJ-21 um 3 bör á ári. Síðan hefur þrýstingurinn haldist nokkurn veginn í jafnvægi. Fram til 1991 var breytingin heldur niður á við en þó innan við 0,4 bör á ári. Eftir að vinnslutími holunnar stýttist hefur þrýstingur hækkað lítillega aftur og má segja að hann hafi staðið í stað undanfarin 5-6 ár. Saga hita í Hvíthólasvæðinu er í takt við þrýstinginn sökum suðunnar, þ.e. kólnun með tímanum. Í holu KJ-23 var þessi kæling um 1°C á ári fram til 1991 (Benedikt Steingrímsson o.fl., 1992). Eins fellur hiti í KJ-21 fram til 1987, þegar þrýstilækkunin var hvað örust, en helst síðan nær stöðugur líkt og þrýstingurinn.

3.5 Bjarnarflag

Að þessu sinni var mælt í eftirlitsholunum B-2 og B-5 sem standa lokaðar árið um kring. Einnig var vinnsluholan BJ-12 mæld. Holunni var lokað í júní 1995 og steindó við þá aðgerð. Auðvelt var að komast að holunum og eru engin sérstök vandkvæði við að mæla þær. Vinnsluholur í Bjarnarflagi eru auk holu BJ-12, hola B-4 og BJ-11.

Einungis vatnsborð var mælt í holu B-5 haustið 1995. Tæplega 1 metra hækkun mældist frá fyrra ári. Má segja að þrýstingurinn á vesturhluta svæðisins hafi haldist nær stöðugur frá 1980 og virðist sem vinnslan úr svæðinu hafi sáralítill áhrif í sprungustykkinu vestan Krummagjár.

Austan Krummagjár er hins vegar annað uppi á teningnum. Síðustu árin hafa vinnsluholurnar þar, holur BJ-11 og BJ-12, breytt hegðun sinni frá því að vera óhemjur í þrýstingi, sem ekki var þorandi að loka, yfir í það að kafna strax eftir lokun.

Eftirlitsmælingarnar í holu BJ-11 haustið 1994 og í BJ-12 haustið 1995 sýna að þrýstingur í jarðhitakerfinu hefur fallið um 20-30 bör vegna vinnslunnar. Þrýstifallið er sambærilegt við þrýstifall Hvíthólasvæðisins og árleg vinnsla einnig. Þrýstilækkunin hefur einkum orðið í æðum neðan 1000 m dýpis. Það hefur leitt til þess að vatn úr yfirliggjandi grunnvatnskerfi lekur nú niður í jarðhitageyminn. Efsti hluti jarðhitakerfisins hefur kólnað af þessum sökum, og veita vatnsæðar á 600-800 m nú um 150°C vatni inn í holurnar. Þegar holunum er lokað tekur þetta vatn að renna inn og kæfir þær á stuttum tíma. Erfiðlega hefur reynst að ná þeim aftur í gos, þó hingað til hafi það ávallt tekist að lokum.

Þrýstilækkunin austan Krummagjár kallar á endurskoðun nýlegra afkastareikninga fyrir Bjarnarflagskerfið (Ómar Sigurðsson, 1993). Helsta ástæða þessa er að mælt þrýstifall er miklu meira en gert var ráð fyrir í afkastareikningunum. Einnig má með hermireikningunum reyna að leggja tölulegt mat á kalda innstreymið niður í jarðhitakerfið. Kælingin efst í kerfinu kallar einnig á nýja hönnun vinnsluholna og hugsanlega endurfóðrun eldri holna. Ekki er vitað nákvæmlega hversu djúpt kælingin nær en búast má við því að steypar fóðringar í vinnsluholum framtíðarinnar í Bjarnarflagi nái niður á að minnsta kosti 1000 m dýpi.

4. HELSTU NIÐURSTÖÐUR

Helstu niðurstöður borholumælinga í Kröflu og Bjarnarflagi á árinu 1995 ásamt samanburði við eldri mælingar eru eftirfarandi:

1. Alls voru mældir rúmir 40 km að þessu sinni sem er nokkru meira en undanfarin ár. Kom það til af því að auk haustmælinga í eftirlitsholum var nú einnig mælt í upphafi vinnslu-stoppis að vori í þremur eftirlitsholum. Þá komu einnig upp lóðanir og körfu- og víddarmælingar í holu BJ-12 í Bjarnarflagi í tengslum við hreinsiborun hennar.
2. Jarðhitakerfin í Kröflu, þ.e. Efri og Neðri Leirbotnar, Suðurhlíðar og Hvíthólar standa svipað í hita og þrýstingi og undanfarin haust. Þannig er enginn varanlegur þrýstiniðurdráttur í Efri-Leirbotnum, þrýstingur hækkaði undanfarandi ár í holu KJ-16 í Suðurhlíðum en stendur svo í stað milli áranna 1994 og 1995. Þrýstingurinn er samt ennþá 3-4 börum lægri en í upphafi vinnslu 1981. Í Hvíthólum hefur svipað verið uppi á teningnum, þar átti sér stað hægfara hækkun haustþrýstings allt frá árinu 1991. Hins vegar lækkaði þrýstingur lítilla milli 1994 og 1995 sem skýrist af aukinni vinnslu seinna árið. Þá eru óbein rök fyrir stöðugum þrýstingi í Neðra-Leirbotnakerfinu sökum hás þrýstings holu KJ-9 undanfarin haust.
3. Ljóst er af víddarmælingum í holu KG-5 að ádæling sýrðs ferskvatns leysti upp hluta útfellinga sem stífluðu holuna veturinn 91/92. Tókst nú að mæla holuna til botns og reyndar einnig að ná henni í blástur haustið 1995. Virðist þarna komin vænleg aðferð til hreinsunar á útfellingum í holunni, því beygla á vinnslufóðringu kemur í veg fyrir að hægt sé að hreinsa hana með bor.
4. Mælingar sem gerðar voru vorið 1995 í holu KJ-21, sýndu að innstreymishiti botnæðar holunnar er rúmlega 260°C í blæstri. Samanburður á þrýstingi vor og haust sýnir að þrýstijöfnun í sumarstoppinu er um 15 bör. Vetrarblástur holunnar virðist mynda seiga útfellingu í neðri helming leiðarans en að niðurrennsli úr efri æðum, eftir lokun, hreinlega leysi útfellinguna upp á nýjan leik þ.a. ekkert finnst fyrir henni eftir sumarstoppið.
5. Um 70 m langur drullutappi er enn til staðar neðst í holu KG-26. Hann er samt hættur að þykkna milli ára. Hugsanlegt er að þrýstiáhrif langvarandi niðurdælingar í holuna hafi skilað sér í holu KJ-9 sem aukið hlutfall CO₂ gass í rennsli eftir árið 1992.
6. Skoðun berghita í nokkrum flötum og í sniði sýnir að núverandi hugmyndalíkan af Kröflukerfunum stendur enn í meginatriðum. Samtúlkun upplýsinga úr berghitamatinu, vinnslu-eftirlits- og vatnsborðsmælingum ásamt borun holna KG-24 til 26, bendir til þess að lóðréttur vatnsleiðari með norðlæga stefnu finnist a.m.k. milli holna KJ-6 og KG-25. Þessi vatnsleiðari virðist til í báðum Leirbotnakerfunum. Lagt er til að holum, sem vinna úr efrihluta Leirbotna, verði hleypt upp og/eða lokað skipulega við tækifæri og vatnsborð þeirra mælt ört á meðan. Á grunni mælinganna og með hjálp grunnvatnslíkana verði svo reynt að ákvarða nákvæmar staðsetningu sprungunnar.
7. Hitadreifing í Hvíthólum og í Sandabotnaskarði virðist benda til kaldrar, norðlægrar sprungu í mynni Sandabotnaskarðs. Er það í samræmi við viðnámsmælingar. Hugsanlega má ná köldu ferskvatni úr þessum vatnsleiðara, einkum ef hann á sér bakland í Sandabotnafjalli. Þá eru óbein merki um tilvist um og yfir 260 °C heits vatnskerfis við Hvíthóla, sem hugsanlega teygir sig til norðurs eða norðausturs.

8. Litlar sem engar hita- og þrýstibreytingar eru sýnilegar milli ára í Bjarnarflagi vestan Krummagjár síðustu árin. Annað er hins vegar uppi á teningnum austan sprungunnar. Þar mælist varanlegur 20-30 bara niðurdráttur bæði í holum BJ-11 og BJ-12, þrátt fyrir sumarhvíld. Þrýstilækkunin hefur þar að auki orðið til þess að 130-150 °C heitar æðar á 600-750 m dýpi leka nú inn í báðar holurnar við lokun og kæfir þær. Lækkaður svæðisþrýstingur í holum BJ-11 og BJ-12 ásamt kólnun æða á 600-800 m dýpi kallar á endurkvörðun nýlegs afkastamats fyrir Bjarnarflag. Einnig þýðir þetta að um og yfir 1000 m langar vinnslufóðringar verða nauðsynlegar í nýjum holum á svæðinu.

Í heild virðist því sem vinnslusvæðin í Kröflu standi þokkalega vel um þessar mundir. Beinast agnúarnir sem finnast í holueftirlitinu miklu frekar að innra ástandi borholna en að alvarlegum hnignunarpáttum í jarðhitakerfunum. Óneitanlega eru samt komin þroskamerki í sum þeirra eins og t.d. í varanlega lækkuðum svæðisþrýstingi Hvíthóla og í Bjarnarflagi sunnanverðu. Nákvæm framtíðarsýn um áframhald slíkra breytinga verður hins vegar ekki hrist út borholu- og vinnslueftirlitinu einu saman, heldur þarf þar að koma til samþætting sem allra flestra rannsóknarniðurstaðna í reiknilíkönunum.

Reiknilíkön Leirbotna og Suðurhlíða eru nú orðin tæplega 15 ára gömul en reiknilíkan Hvíthóla er 5 ára og var sett fram áður en í ljós kom að þrýstilækkunin í svæðinu var að stöðvast. Þá hefur einföld frumgerð reiknilíkans af Bjarnarflagi aldrei verið stillt að mældum hita- og þrýstibreytingum í jarðhitakerfinu. Nú hefur reynslan í líkangerð af sjóðandi jarðhitakerfum verið sú að elstu líkönin eru flest hver allt of svartsýn. Veldur þar einkum meðhöndlun á jöðrum líkananna, en þeir skipta miklu um langtímaviðbrögð jarðhitakerfa við vinnslu. Fátæklegar upplýsingar um ytri mörk jarðhitakerfanna urðu til þess að menn settu jaðrana nánast þetta í elstu líkönunum. Slíkt leiddi óneitanlega til þess að reiknilíkönin spáðu hraðfara dvínun afkasta. Síðan kemur í ljós að jarðhitakerfin dvína ekki eins hratt og búist var við í upphafi. Bregðast þá líkansmiðir við með því opna smávegis líkanjaðrana. Getur því reyndin orðið sú að það sem í fyrstu er talið fremur lítið jarðhitakerfi verður eftir 5-10 ára vinnslusögu metið sem öflug orkuuppspretta, eingöngu vegna þess að jaðrar kerfisins skila mun meiri orku inn á reiknilíkanið en talið var mögulegt í upphafi. Þetta er t.d. reynslan af umfangsmiklum líkanreikningum sem hafa verið gerðir af jarðhitakerfinu á Nesjavöllum (Guðmundur Böðvarsson o.fl., 1993). Þó nokkrar líkur eru á að sama gildi um Kröflukerfin.

Nú eru skráðir í gagnasafni Orkustofnunar 882 kílómetrar af Amerada hita- og þrýstimælingum í holum 1-26 í Kröflu og 133 kílómetrar í Bjarnarflagi. Þessi viðamiklu gögn eru, ásamt 20 ára vinnslusögu og 40 borholum, óvenju víðfeðm undirstaða fyrir gerð reiknilíkana af jarðhitakerfunum. Vilja því skýrsluhöfundar, svona rétt í lokin, ítreka þá skoðun sína að endurgerð reiknilíkana af Kröflu- og Bjarnarflagskerfunum sé brýn, að hún geti aukið mönnum bjartsýni um vinnslugetu þeirra og þannig rökstutt áform um nýframkvæmdir á þessum svæðum.

5. HEIMILDASKRÁ

- Benedikt Steingrímsson og Halldór Ármannsson, 1989: *Krafla. Hóla KG-24. 4. áfangi: Upphitun, upphleyping og blástur*. Orkustofnun, OS-89007/JHD-0 B, 16 s.
- Benedikt Steingrímsson og Grímur Björnsson, 1990: *Krafla-Vinnslueftirlit. Borholumælingar 1990*. Orkustofnun, OS-90048/JHD-28 B, 48 s.
- Benedikt Steingrímsson, Grímur Björnsson og Hilmar Sigvaldason, 1992: *Krafla-Vinnslueftirlit. Borholumælingar 1991*. Orkustofnun, OS-92004/JHD-01 B, 41 s.
- Benedikt Steingrímsson, Grímur Björnsson og Valgarður Stefánsson, 1994: *Borholumælingar í Kröflu og Bjarnarflagi árið 1993*. Orkustofnun, OS-94004/JHD-02 B, 48 s.
- Benedikt Steingrímsson og Grímur Björnsson, 1995: *Borholumælingar í Kröflu og Bjarnarflagi árið 1994*. Orkustofnun OS-95024/JHD-17 B, 62 s.
- Guðmundur S. Böðvarsson og Karsten Pruess, 1984: *The Krafla Geothermal Field, Iceland. 2. The Natural State of the System*. Water Resources Research, vol. 20(11), s 1531-1544.
- Guðmundur Böðvarsson, Gestur Gíslason, Einar Gunnlaugsson, Ómar Sigurðsson, Valgarður Stefánsson og Benedikt Steingrímsson, 1993: *Accuracy of Reservoir Predictions for the Nesjavellir Geothermal Field, Iceland*. Proceedings, 18th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford, California, s 273-278.
- Grímur Björnsson, Benedikt Steingrímsson og Ásgrímur Guðmundsson, 1990: *Krafla - hóla KG-25. Upphitun og upphafsástand*. Orkustofnun, OS-90052/JHD-30 B, 16 s.
- Grímur Björnsson og Benedikt Steingrímsson, 1995: *Borholumælingar í Kröflu og Bjarnarflagi vorið 1995*. Orkustofnun OS-95039/JHD-24 B, 25 s.
- Halldór Ármannsson, Ásgrímur Guðmundsson og Benedikt Steingrímsson, 1987: *Exploration and development of the Krafla geothermal area*. Jökull, No. 37, s 13-30.
- Halldór Ármannsson, Grímur Björnsson og Ásgrímur Guðmundsson, 1993: *Krafla - hóla KG-26. Upphitun, upphleyping og blástur*. Orkustofnun, OS-93033/JHD-16 B, 35 s.
- Helga Tulinius og Ómar Sigurðsson, 1988: *Jarðhitasvæðið við Hvíthóla. Hermireikningar og vinnsluspá*. Orkustofnun, OS-88007/JHD-03 B, 24 s.
- Helga Tulinius og Ómar Sigurðsson, 1991: *Krafla. Þrívíð hermun fyrir vinnslusvæðið á Hvíthólum*. Orkustofnun, OS-91046/JHD-07, 37 s.
- Knútur Árnason og Ragna Karlsdóttir, 1996: *Viðnámsmælingar í Kröflu*. Orkustofnun, OS-96005/JHD-03.
- Trausti Hauksson og Jón Benjamínsson, 1995: *Krafla og Bjarnarflagi. Afköst borholna og efna-innihald vatns og gufu í borholum og vinnslurás í lok maí 1995*. Landsvirkjun, Kröflust., 64 s.
- Ómar Sigurðsson, 1993: *Jarðhitakerfið í Bjarnarflagi: Mat á hita, þrýstingi og afköstum*. Orkustofnun, OS-93016/JHD-08 B, 45 s.
- Valgarður Stefánsson, 1981: *The Krafla geothermal field, northeast Iceland*. Geothermal Systems, ritstj. L. Ryback og L.J.P. Muffler, s 273-294, John Wiley, New York.

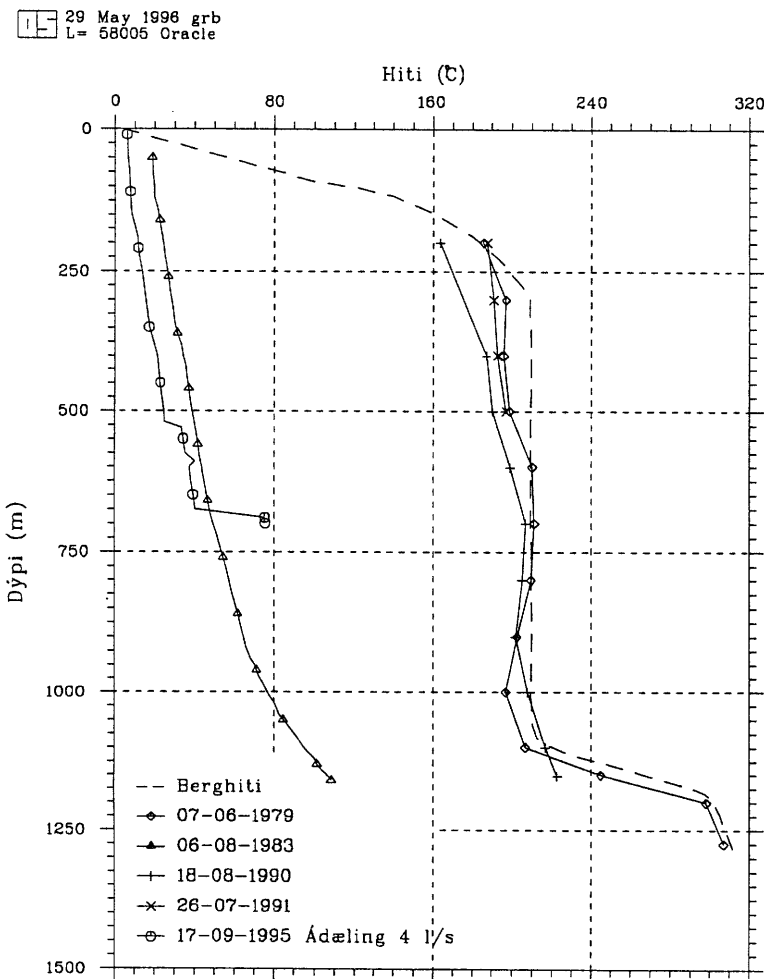


VIÐAUKI A: Lýsing mælinga í einstökum borholum

Hola KG-5

Hola KG-5 var boruð haustið 1975. Vinnslufóðringur er steypur í 643 m dýpi, en enginn leiðari er í holunni. Upphaflega stóð til að bora holuna í 2000 m dýpi, en þar sem öryggisbúnaður bortækisins var ekki nægjanlegur, eins og sýndi sig best við borun holu KG-4 fyrr um haustið, var hætt í 1299 m. Meiningin var að ljúka borun KG-5 í 2000 m á borvertíðinni 1976, þegar öryggisbúnaður hafði verið bættur. Í október 1976 var Gufuborinn fluttur aftur á holuna og hún kæfð. Lítið varð hins vegar um borun þar sem í ljós kom að vinnslufóðringurinn var beygluð á 41 m dýpi og er holan þar um um 4" í þvermál. Lélegri steypingu fóðringarinnar var kennt um skemmdina. Er talið að hitaþensla vatnstappa milli fóðringa hafi beyglað innri fóðringuna þegar holan stóð lokuð veturinn 1975/6. Yfirlit um hönnun og ástand holu KG-5 er sýnt á mynd í Viðauka B.

Hola KG-5 var ekki nýtt fyrstu rekstrarár Kröfluvirkjunar. Á árinu 1984 var hún tengd lágþrýstiþrepinu og tekin í notkun. Afl KG-5 hélst stöðugt næstu árin og skilaði hún að jafnaði um 3-4 kg/s af lágþrýstigufu inn á veitu. Aflíð rýrnaði hins vegar um 10% á árinu 1991, og undir árslok datt hún úr rekstri. Holan var lóðuð og körfumæld sumarið 1992 og reyndist fyrirstaða á um 510 m dýpi. Var talið líklegast að kalkútfellingar lokuðu nánast holunni á þessu dýpi (Benedikt Steingrímsson o.fl., 1993).



Sumarið 1995 var gerð tilraun til að hreinsa kalktappann úr holu KG-5. Dælt var í hana 4 l/s af vatni með sýrustig um 5,6. Eftir ádælinguna, sem stóð í nokkra daga, var holan skoluð með EDTA lausn (Trausti Hauksson og Jón Benjamínsson, 1995). Ákveðið var að lóða holuna eftir þessa efnameðferð. Nú brá svo við að lóð og mælar komust fram hjá fyrirstöðunni á 510 m dýpi þrátt fyrir nokkurt skröngl frá 450 m dýpi niður í 550 m. Lóðið gekk síðan greiðlega í 1152 m, sem er svipað og holan lóðaðist fyrir 1992. Eftir lóðunina var holan hita- og víddarmæld niður á 650-700 m dýpi. Hitaælingin er sýnd á mynd A-1 ásamt nokkrum eldri mælingum og berghitaferli.

Mynd A-1: Hitamælingar í holu KG-5.

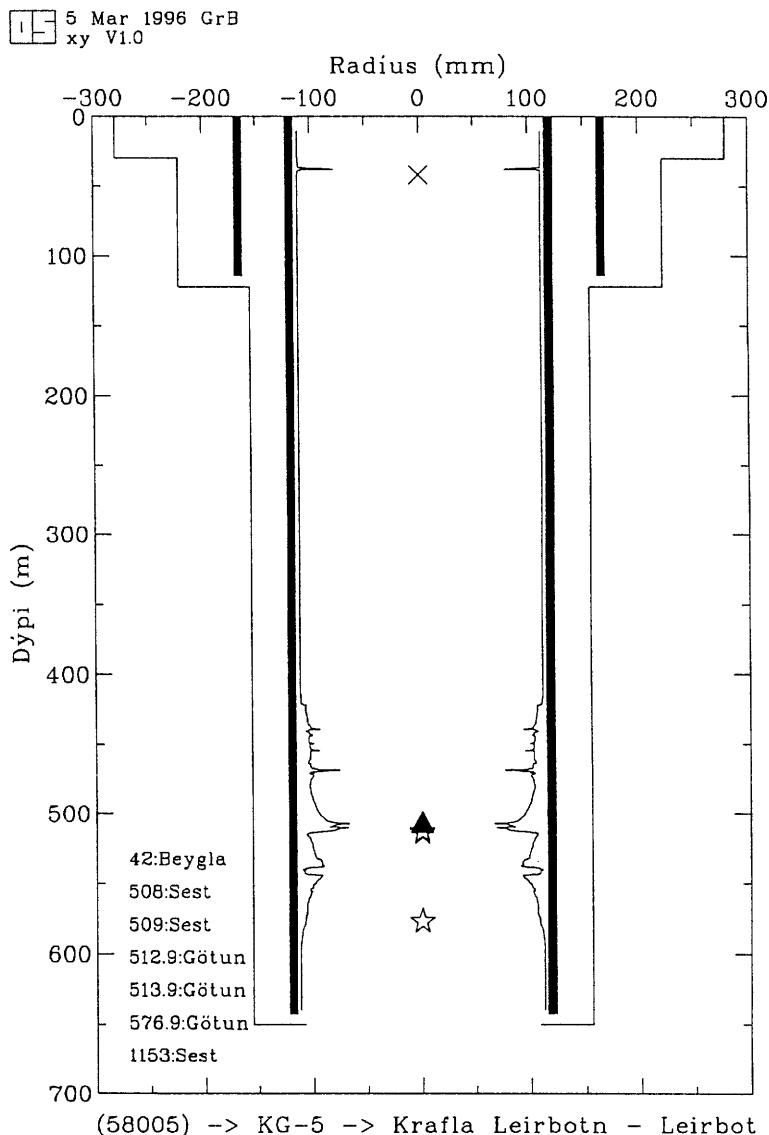
Hitamælingin haustið 1995 var gerð í ádælingu og sýnir fyrst og fremst að holan er kæld. Þó má benda á að hiti breytist snögglega í 510 m, og eins í 660 m dýpi. Trúlega hefur seitlað inn í holuna á þessum stöðum og skýrir það hitastökkið. Víddarmælingin er sýnd á mynd A-2. Þar sést að útfelling er í holunni á 420-580 m dýpi. Innanmál vinnslufóðringarinnar er um 220 mm en útfellingin er mest á 510 m dýpi og er þvermál holunnar þar um 160 mm.

Hola KJ-6

Hola KJ-6 var hita- og þrýsti-mæld tvívegis sumarið 1995. Fyrri mælingarnar voru gerðar síðustu daga maí, rétt í þann mund sem vinnsluholum var lokað fyrir sumarið. Síðari mælingalotan var hins vegar gerð 13. september í lok sumarstoppsins.

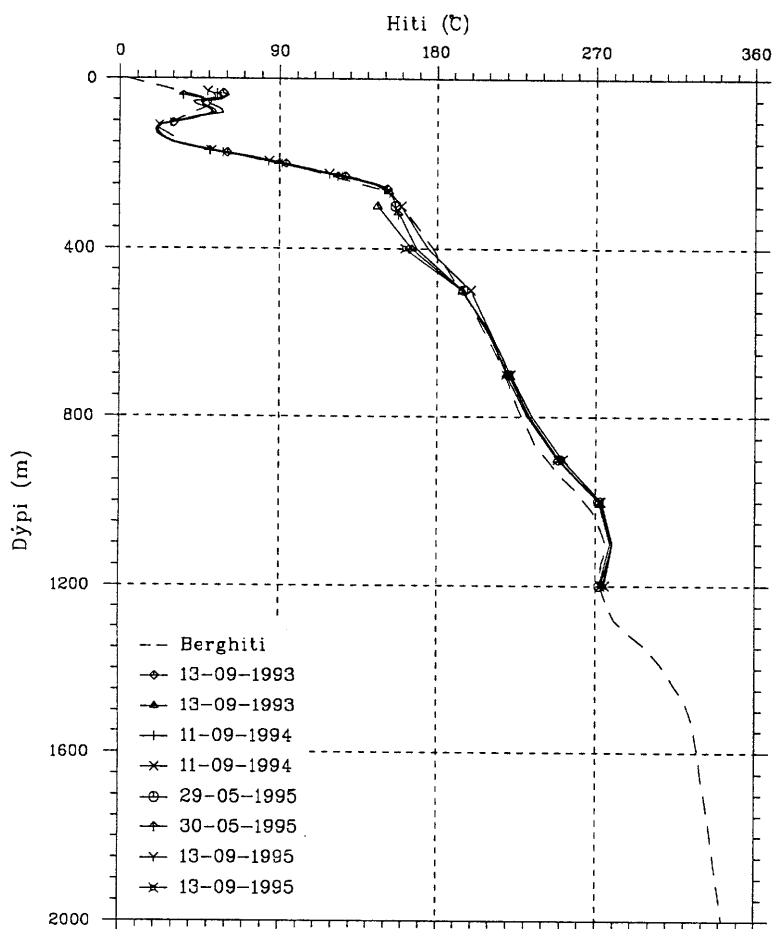
Mælingarnar eru sýndar með dýpi og með tíma á 1000 m dýpi á myndum A-3 til A-6. Einnig koma fram á myndunum nokkrar eldri mælingar auk áætlaðs berghita og upphafsþrýstings. Vatnsborðsmælingar síðustu ára hafa sýnt að þrýstingur í holu KJ-6 sveiflast í takt við vinnlu úr efri hluta Leirbotna. Hefur vinnslan úr holu KJ-9 haft einna mest áhrif í KJ-6. Er vatnsborð í lágmarki að vori þegar vinnslu er hætt. Vorið 1995 hófst vatnsborðshækkunin í KJ-6 fyrr en eiginlegt vinnsluhlé, þar sem hola KJ-9 datt úr rekstri í apríl. Vatnsborðsbreytingin frá mælingunum í júní fram í september 1995 var því aðeins um 10 m (mynd 6).

Hitamælingin vorið 1995 var gerð til að athuga hvort vatnsborðssveiflunni í holu KJ-6 fylgdu breytingar í hita. Myndir A-3 og A-4 sýna að svo er ekki. Hins vegar virðist vera hægfara hitnun í holunni síðustu tíu árin samkvæmt mynd A-4. Hiti á 1000 m liggur nú um 10°C yfir áætluðum berghita.



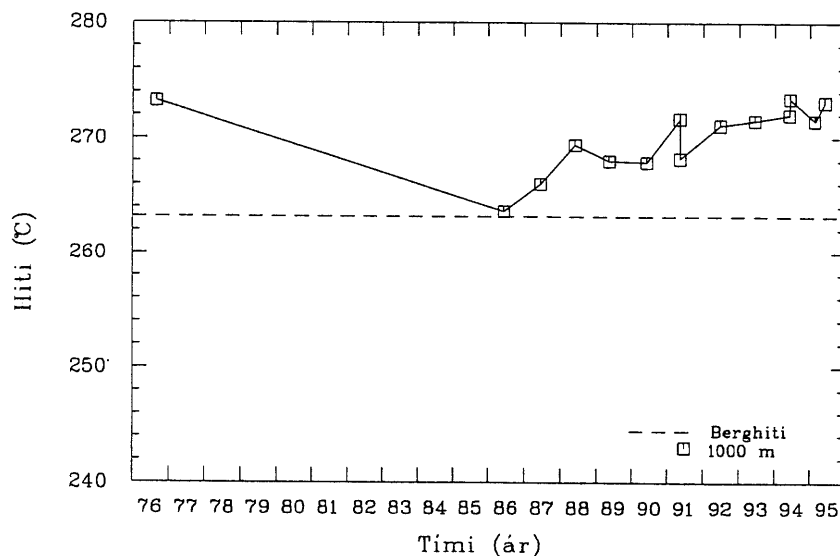
Mynd A-2: Víddarmæling holu KG-5 í september 1995. Fóðringar eru sýndar með gildum línum, borkrónur með kassalaga línum en víddarmæling í september 1995 með skörðóttum ferli.

5 Mar 1996 grb
L= 58006 Oracle



Mynd A-3: Hitamælingar í holu KJ-6.

5 Mar 1996 grb
L= 58006 Oracle

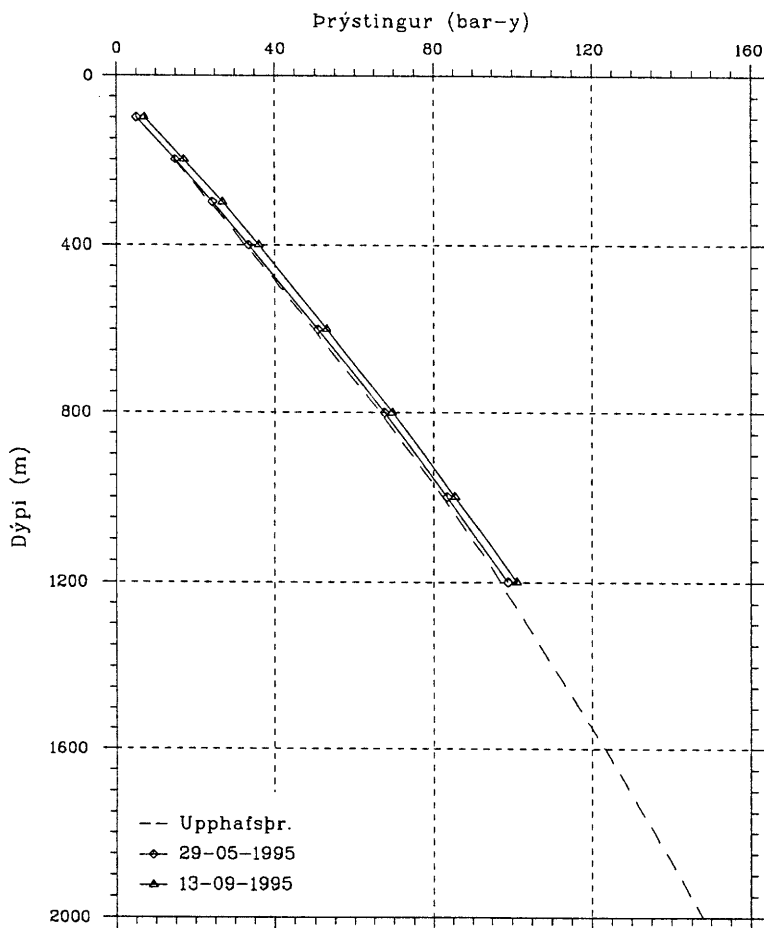


Mynd A-4: Hiti á 1000 m dýpi í holu KJ-6.

Þrýstimælingar í holu KJ-6 hafa sýnt heldur hækkandi þrýsting í holunni ár frá ári eftir lokun árið 1984. Þannig er þrýstingur síðastliðið haust heldur hærri en haustið 1994. Til viðbótar við langtíma þrýstibreytingar kemur síðan árssveiflan í KJ-6 og skýrir það lágan þrýsting vorið 1995. Meginniðurstaða þrýstimælinganna er hins vegar sú að enginn langtímaniðurdráttur er mælanlegur í jarðhitakerfinu við holu KJ-6 miðað við þann upphafsþrýsting sem áætlaður hefur verið (sjá

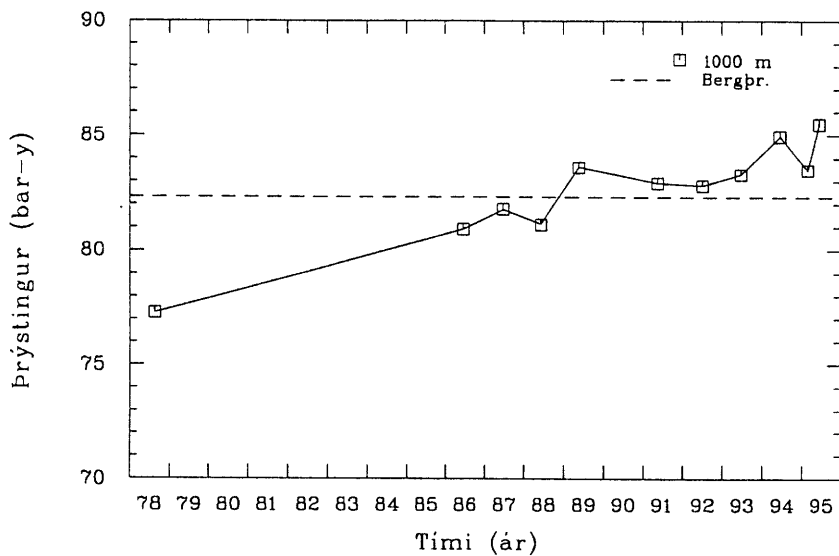
mynd A-6). Samkvæmt nýjustu þrýstimælingum mætti reyndar segja að upphafsþrýstingur hafi verið vanmetinn um allt að 3 bör.

5 Mar 1996 grb
L= 58006 Oracle



Mynd A-5: Þrýstimælingar í holu KJ-6.

5 Mar 1996 grb
L= 58006 Oracle

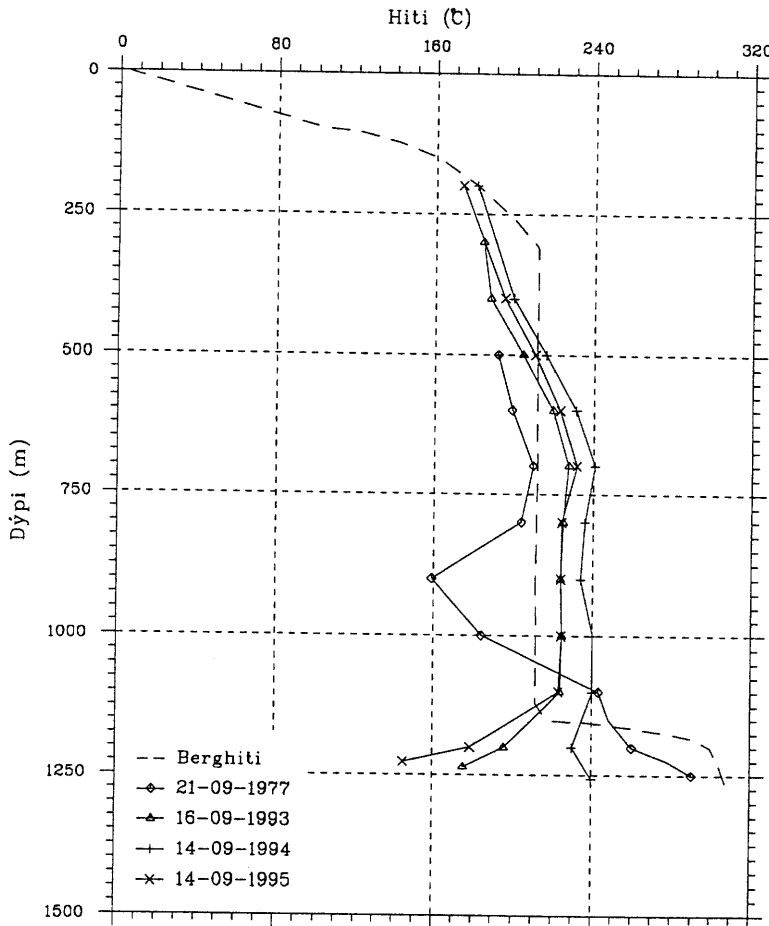


Mynd A-6: Þrýstingur á 1000 m dýpi í holu KJ-6.

Hola KJ-9

Kalkútfellingar setjast til í holu KJ-9 og hefur þurft að hreinsa hana með bor nánast á hverju ári frá 1978. Holan var ekki hreinsuð 1994 og varð það til þess að hún datt úr rekstri í apríl 1995. Útfellingin var síðan hreinsuð úr holunni í lok ágúst 1995.

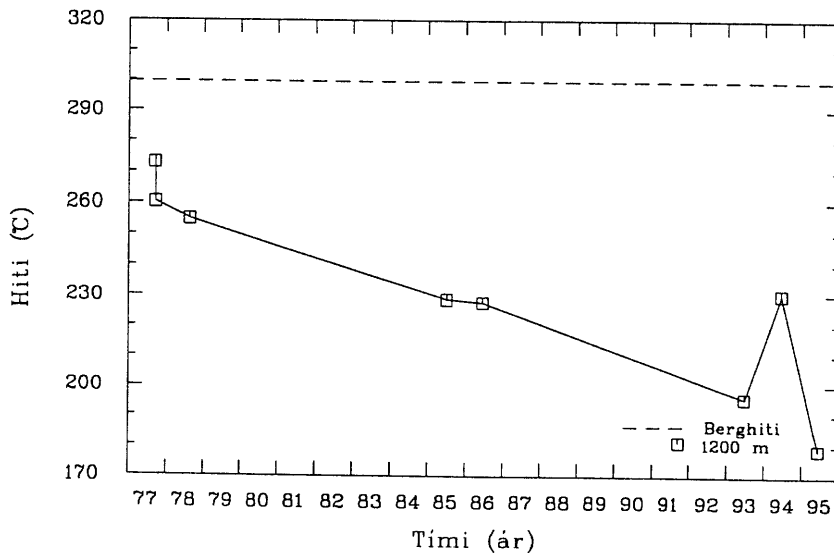
6 Mar 1996 grb
L= 58009 Oracle



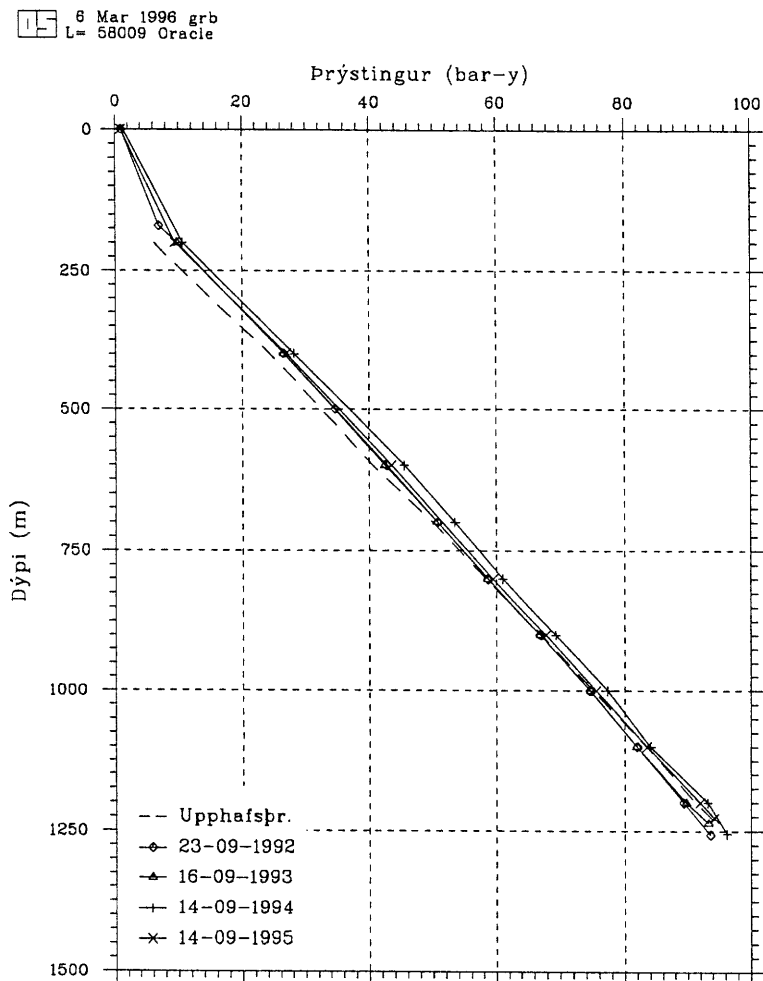
Hola KJ-9 var hita- og þrýstismæld 14. september 1995 rúmum tveimur vikum eftir hreinsun. Toppþrýstingur var um eitt bar. Niðurstöður mælinganna eru sýndar á myndum A-7 og A-9 ásamt nokkrum eldri mælingum og upphafsgildum hita og þrýstings í jarðhitakerfinu við holuna, en breytingar með tíma á 1200 m dýpi eru sýndar á myndum A-8 og A-10. Hítiferillinn nú er nánast eins og haustið 1993, en þá var holan einnig nýhreinsuð. Sýnir kælingin í botni vel hvar skolvatn bormanna hefur tapast út.

Mynd A-7: Berghiti og hitamælingar í holu KJ-9.

6 Mar 1996 grb
L= 58009 Oracle



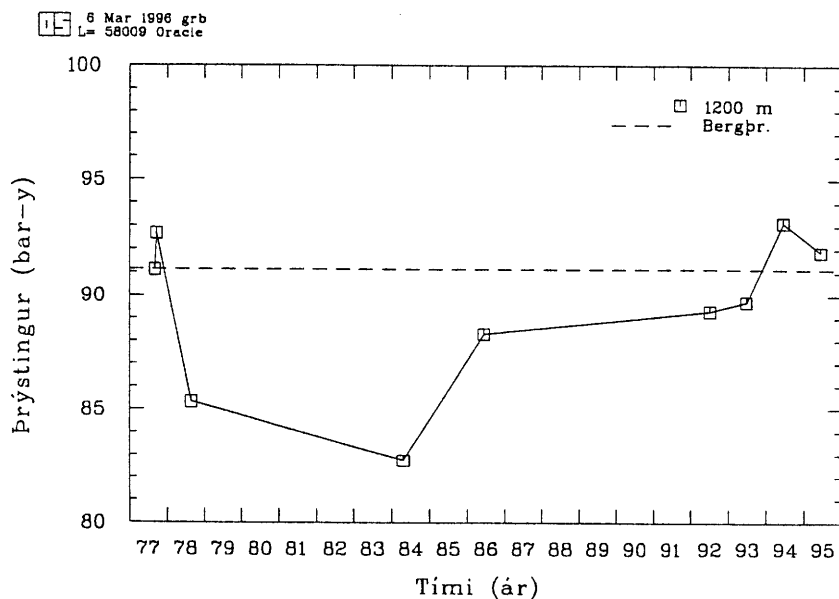
Mynd A-8: Hiti á 1200 m dýpi í holu KJ-9.



Mynd A-9: Upphafsprýstingur og mælingar í holu KJ-9.

Niðurstöður þrýstimælinganna í holu KJ-9 sýna að þrýstingur 1995 er heldur lægri en fyrir ári, en svipaður og upphafsprýstingur. Ekki er því hægt að tala um neinn langtímaniðurdrátt í jarðhita-kerfinu sem holan vinnur úr.

Hreinsanirnar og blástur hafa ýmisar truflanir í för með sér í tiltækum hitamælingu úr holu KJ-9. Til dæmis er hiti ofan 1000 m yfirleitt hærrí í síðustu mælingum en áætlaður berghiti. Þetta er talið vera vegna blásturs en ekki að berghiti hafi hækkað. Hins vegar er vitað að innstreymis- hiti um æðar á 1220-40 m lækkaði strax og holan fór í vinnslu 1977 og hefur mælst síðan um 240-250°C. Kælingin er talin verða vegna þess að aðrennsli til vinnsluæðanna er blanda um 300°C heits vatns úr neðri hluta Leirbotna og um 210°C vatns úr efri hlutanum. Vinnsluæðarnar eru því nátengdar báðum hlutum Leirbotnakerfisins, enda þótt skilin milli kerfanna eru séu dregin á 1150-1200 m dýpi í berghitaferlinum á mynd A-7.

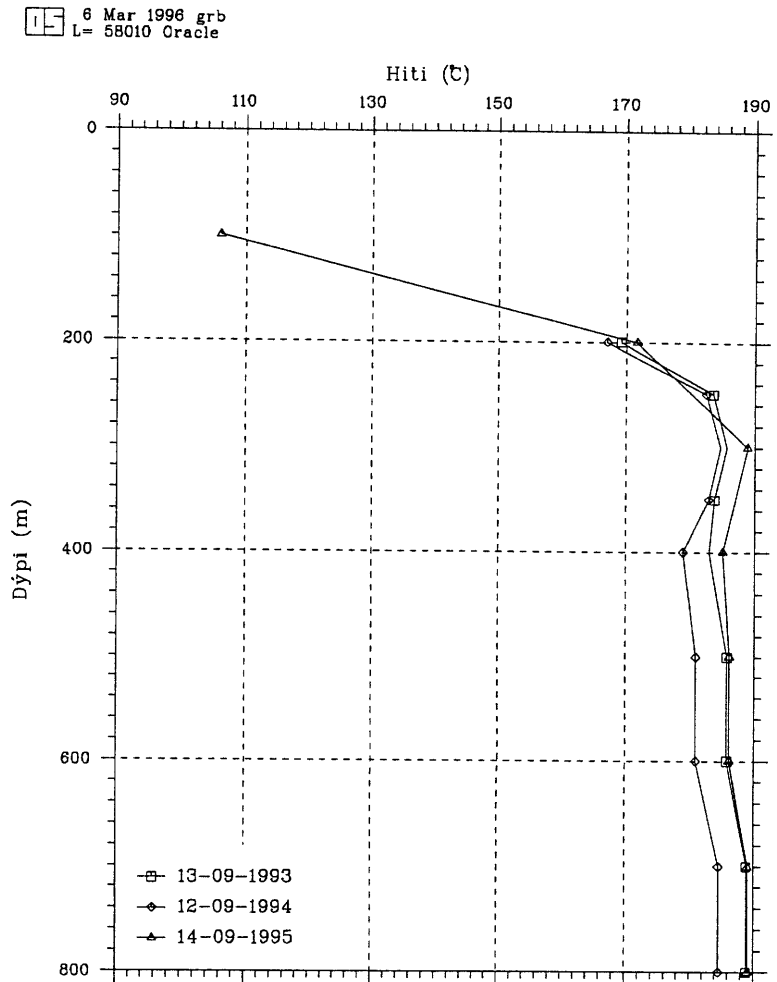


Mynd A-10: Þrýstingur á 1200 m dýpi í holu KJ-9.

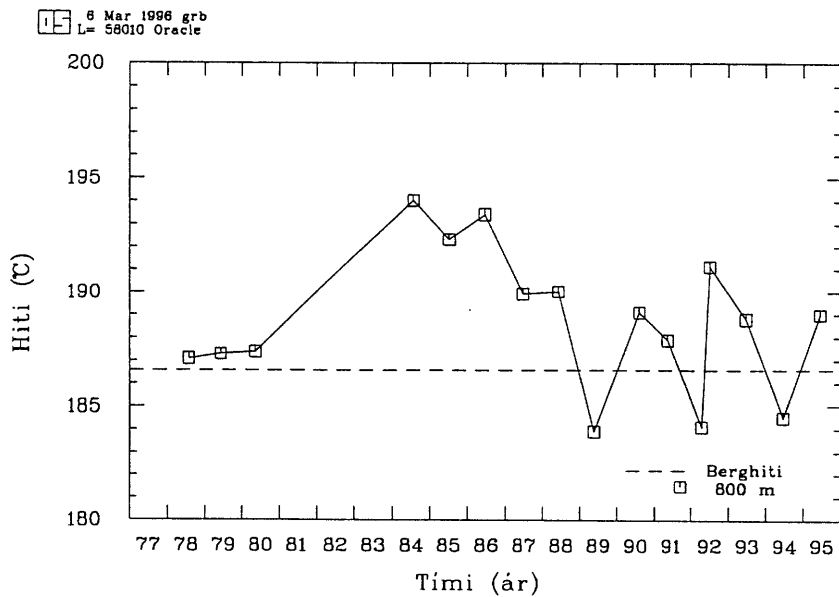
Hola KG-10

Hola KG-10 var hita- og þrýstimæld þann 14. september 1995. Vatnsborð holunnar mældist á 95,1 m dýpi sem er um 1,8 m lægra vatnsborð en haustið 1994.

Niðurstöður mælinganna eru sýndar með dýpi á myndum A-11 og A-13 ásamt mælingum síðustu ára, en með tíma á myndum A-12 og A-14. Nokkurt flökt hefur verið á hitanum í efstu 800 m holu KG-10 (sjá myndir A-11 og A-12). Hitabreytingarnar eru raktar til þess að vinnslan úr efri hluta Leirbotna, einkum þó úr holu KG-24, dragi kaldara vatn inn í kerfið í nágrenni holu KG-10. Hiti í holunni gæti því verið í lægra lagi þegar hola KG-24 er í fullri vinnslu (haustið '94), en í hærri kantinum þegar vinnsla er lítil eða holan hreinlega lokuð (haustið '93). Hitaflöktið er um 5°C.

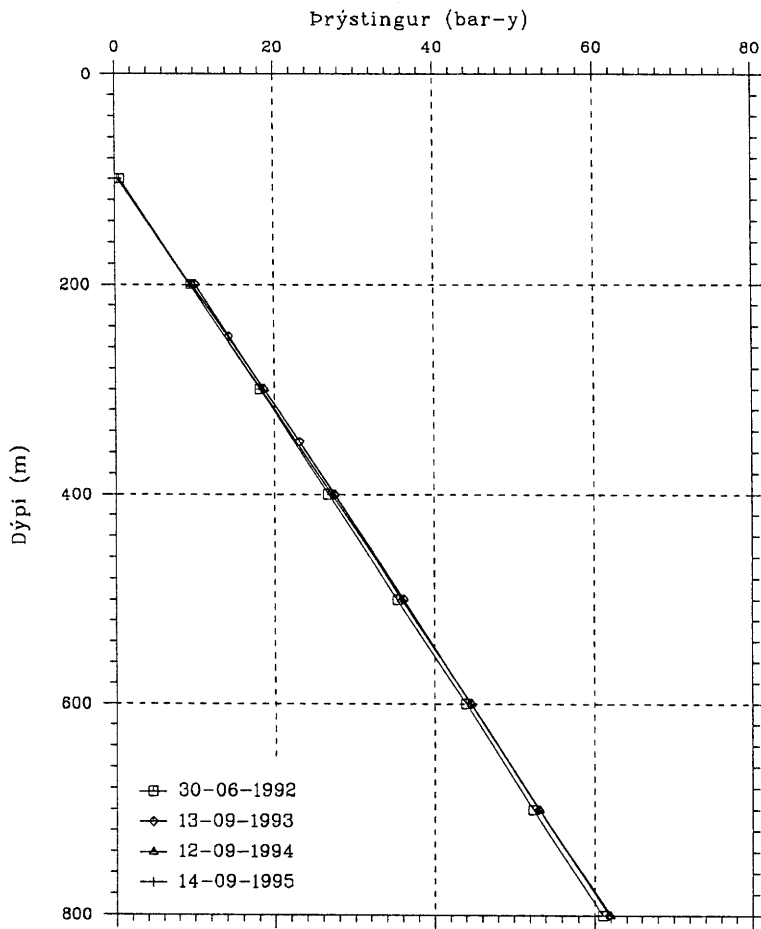


Mynd A-11: Hitamælingar í holu KG-10.



Mynd A-12: Hiti á 800 m dýpi í holu KG-10.

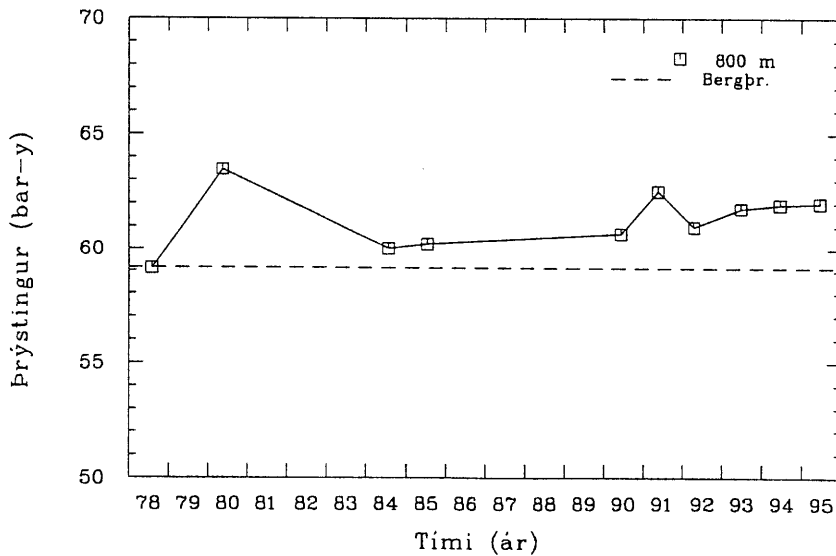
29 May 1996 grb
L= 58010 Oracle



Síðustu þrýstismælingar í holu KG-10 sýna litlar sem engar breytingar milli ára (myndir A-13 og A-14). Núverandi þrýstingur er hærri en upphafsþrýstingur. Þetta skýrist af viðtækum niðurdrætti sem varð í efrakerfinu vegna blásturs holu 4 á árinu 1976. Upphafsprýstingur við holu KG-10 er því vanmetinn um allt að 3 bör líkt og í holu KJ-6. Ekki er talinn vera neinn langtíma niðurdráttur í efra Leirbotnakerfinu við holuna.

Mynd A-13: Þrýstismælingar í holu KG-10.

6 Mar 1996 grb
L= 58010 Oracle



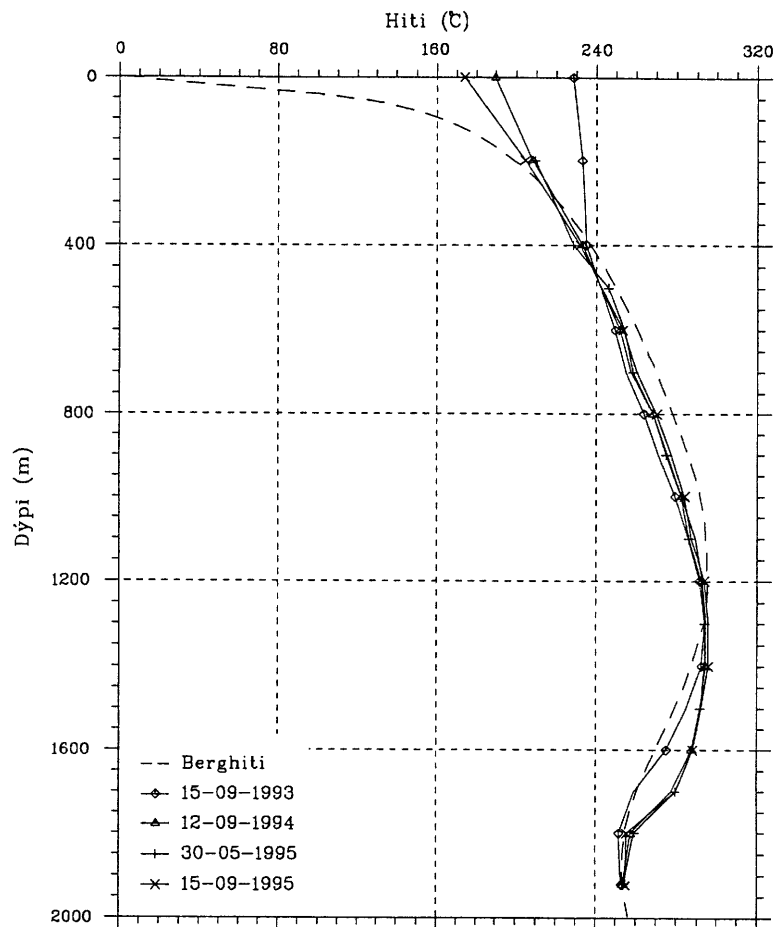
Mynd A-14: Þrýstisaga holu KG-10.

Hola KJ-16

Hola KJ-16 var hita- og þrýstimæld tvívegis á árinu 1995, við upphaf og lok sumarstoppsins. Tilgangur þessa var að skera úr um hvort sjá mætti árstíðabundnar breytingar sem tengja mætti vinnslu úr Suðurhlíðakerfinu.

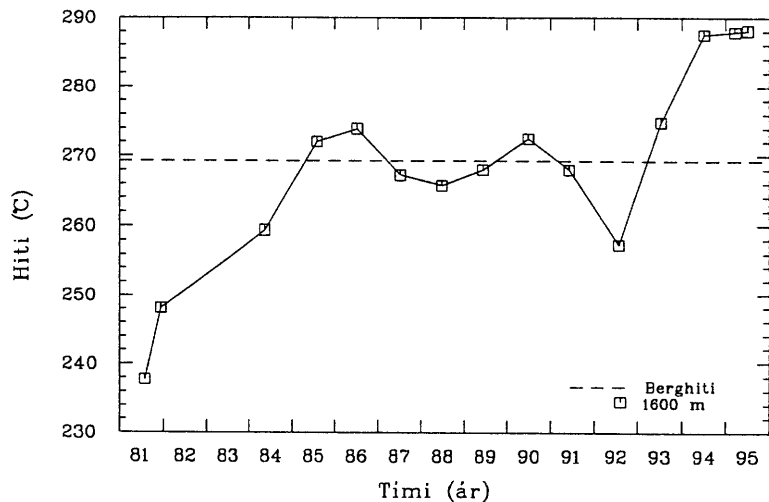
Niðurstöður mælinganna eru sýndar með dýpi á myndum A-15 og A-17 á samt mælingum síðustu ára. Þar sést að hiti og þrýstingur var nánast sami í holunni haustið 1994 og vor og haust 1995. Nákvæmni Amerada hitamælanna er talin $\pm 2^\circ\text{C}$, en ± 0.5 bör fyrir þrýstimælana. Núverandi árstíðasveifla í vinnslu úr Suðurhlíðum getur því í mesta lagi haft í för með sér breytingar af sömu stærð og mæliskekkjan. Fyrr á árum urðu hins vegar nokkrar hitabreytingar neðan 1300 m dýpis, samanber mælinguna frá 1993, sem sýnd er á mynd A-15. Breytingarnar eru skýrðar með rennsli milli æða í holunni, sem orsakast af breytilegum niðurdrætti í kerfinu. Þannig lækkaði hitinn djúpt í holunni, þegar þrýstingur var í lágmarki, en hækkaði þegar niðurdrátturinn minnkaði. Þetta sést á myndum A-16 og A-18, þar sem sýndur er hiti og þrýstingur með tíma á 1600 m dýpi. Þar sést einnig að þó svo að þrýstingur hafi staðið í stað síðustu árin þá er niðurdráttur í jarðhitakerfinu ennþá 3-4 bör frá upphafi vinnslu.

6 Mar 1996 grb
L= 58016 Oracle



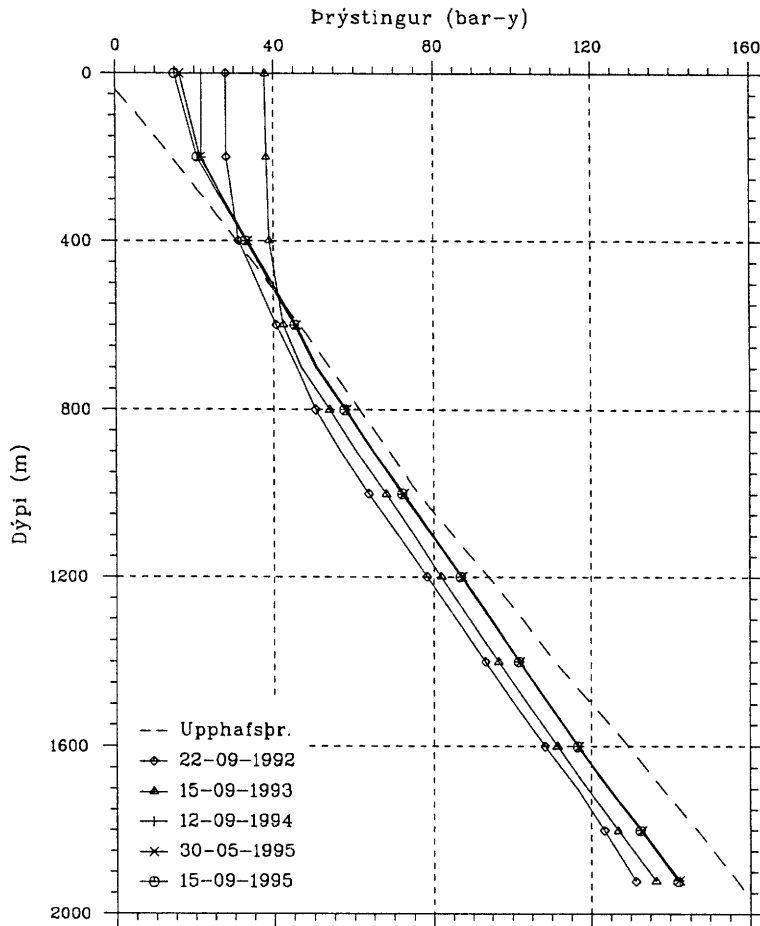
Mynd A-15: Berghiti og síðustu mælingar í holu KJ-16.

6 Mar 1996 grb
L= 58016 Oracle



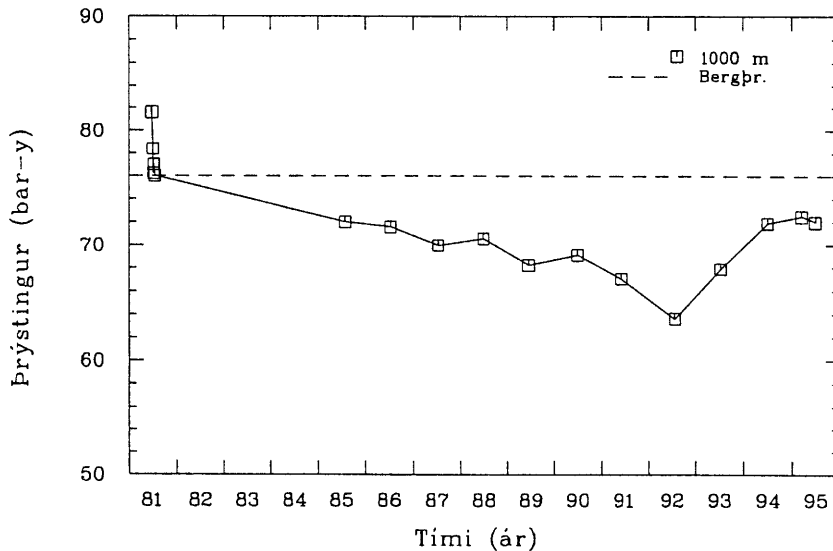
Mynd A-16: Hiti á 1600 m dýpi í holu KJ-16.

6 Mar 1996 grb
L= 58016 Oracle



Mynd A-17: Upphafsprýstingur og síðustu mælingar í holu KJ-16.

6 Mar 1996 grb
L= 58016 Oracle

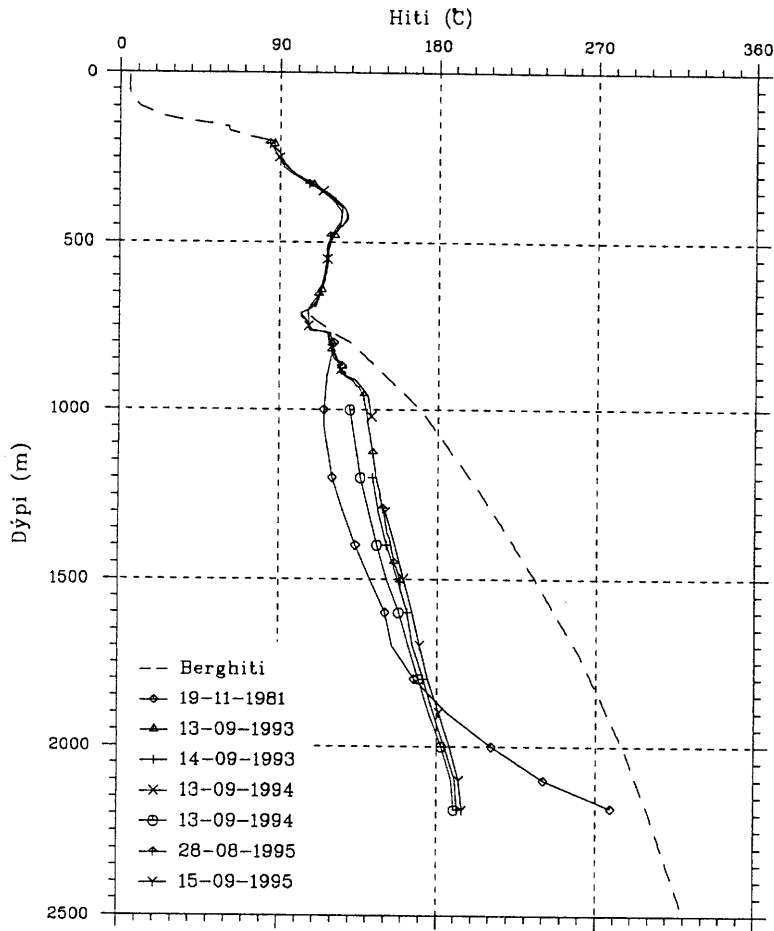


Mynd A-18: Þrýstingur á 1000 m dýpi í holu KJ-16.

Hola KJ-18

Hola KJ-18 var hitamæld með rafeindamæli (Go-mæli) í 1500 dýpi þann 28. ágúst 1995 en hita- og þrýstimæld með Ameradamælum 15. september 1995. Vatnsborð mældist á 208,65 m dýpi sem er 2 metrum lægra en haustið 1994.

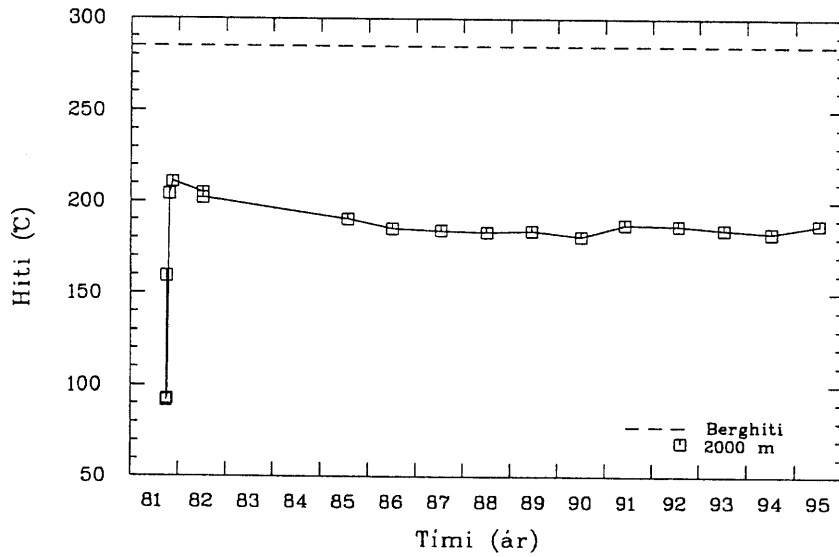
13 Mar 1996 grb
L= 58018 Oracle



Mælingarnar eru sýndar á myndum A-19 til A-22. Breytingar frá 1994 er hverfandi. Hiti neðan 1500 m er heldur hærri en undanfarin ár, og þrýstingur á 2000 m um hálfu bari lægri en 1994. Miðað við upphafsþrýsting er niðurráttur vegna vinnslu við holuna um 3 bór, en það er svipað og í holu KJ-16. Holuhitinn neðan 700 m ræðst hins vegar af seitli niður holuna og skýrir það mun mælds hita og áætlaðs bergshita.

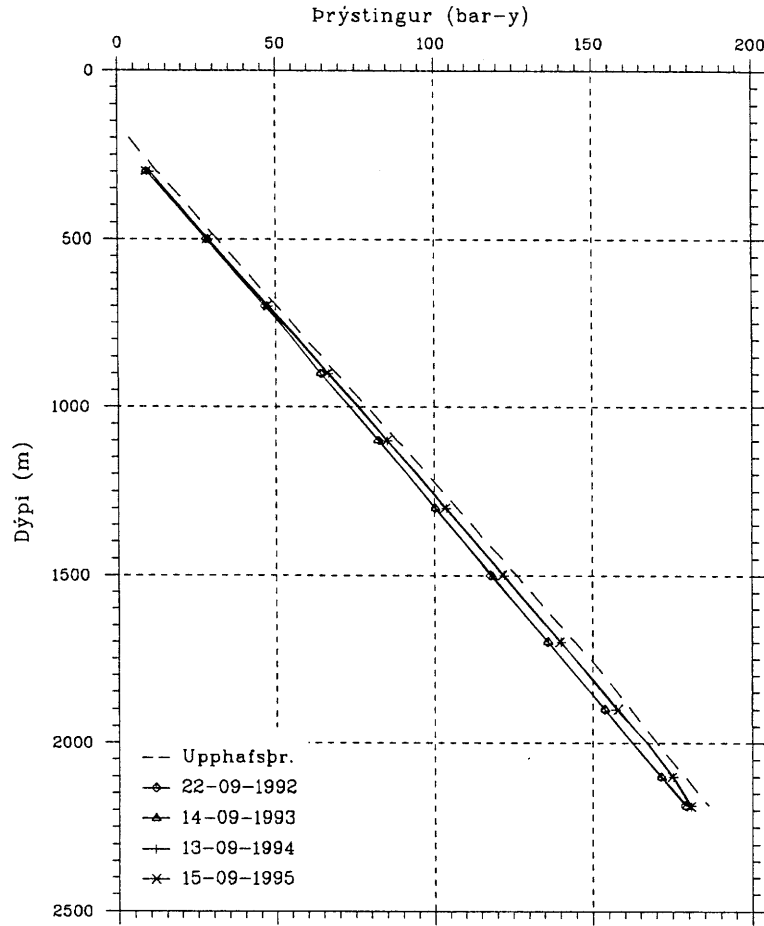
Mynd A-19: Berghiti og síðustu mælingar í holu KJ-18.

6 Mar 1996 grb
L= 58018 Oracle



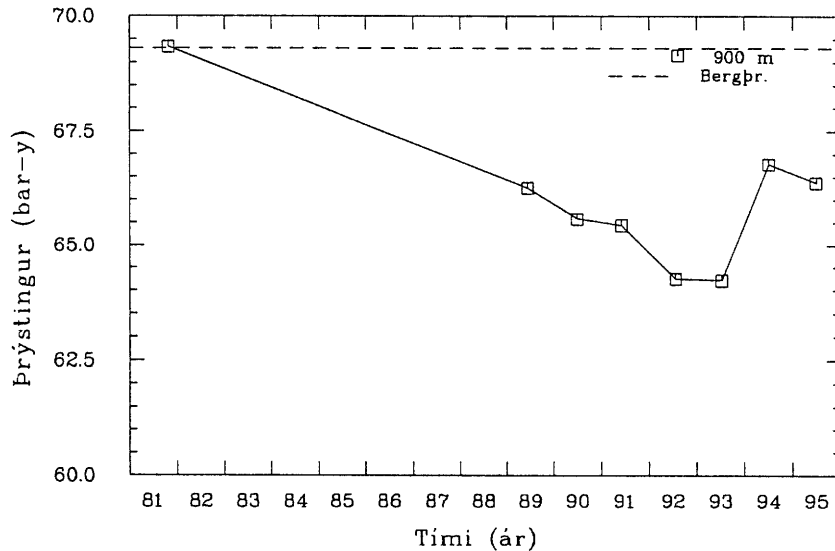
Mynd A-20: Hiti á 2000 m dýpi í holu KJ-18.

6 Mar 1996 grb
L= 58018 Oracle



Mynd A-21: Upphafsprýstingur og síðustu mælingar í holu KJ-18.

6 Mar 1996 grb
L= 58018 Oracle

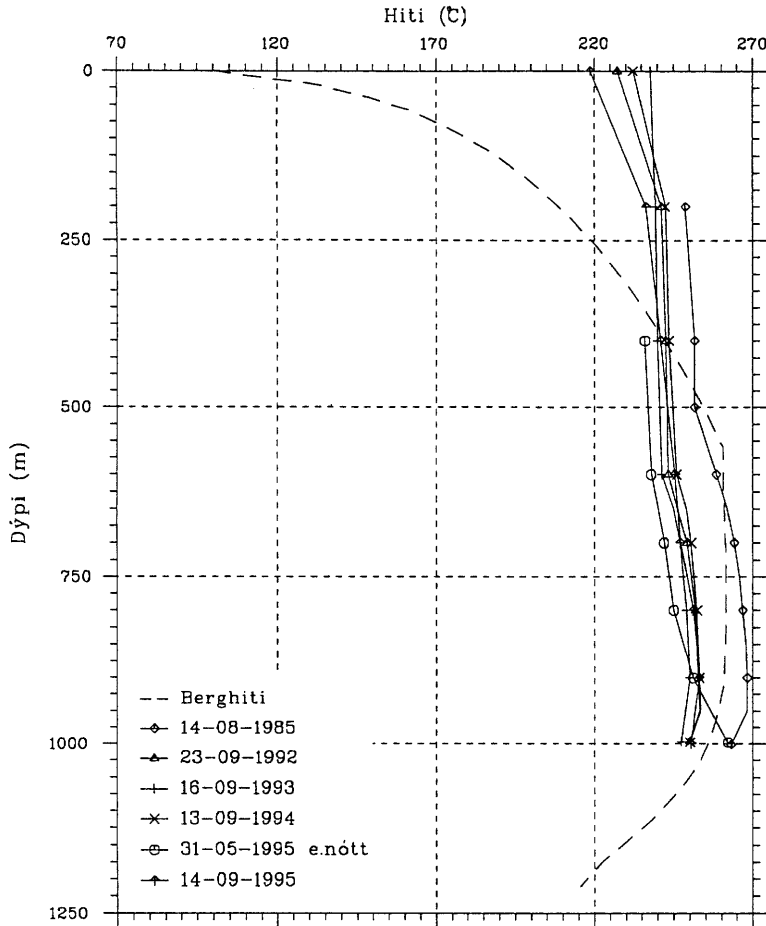


Mynd A-22: Prýstingur á 900 m dýpi í holu KJ-18.

Hola KJ-21

Hola KJ-21 var hita- og þrýstimæld tvívegis á árinu 1995. Fyrri mælingarnar voru gerðar við lokun holunnar 30-31. maí í upphafi sumarstoppsins, en síðari mælingalotan fór fram 14. september. Í millitíðinni stóð hola í blæðingu. Toppþrýstingur í blæðingu var 40 bör í upphafi sumars en hafði fallið í 34,7 bör í september.

6 Mar 1996 grb
L= 58021 Oracle

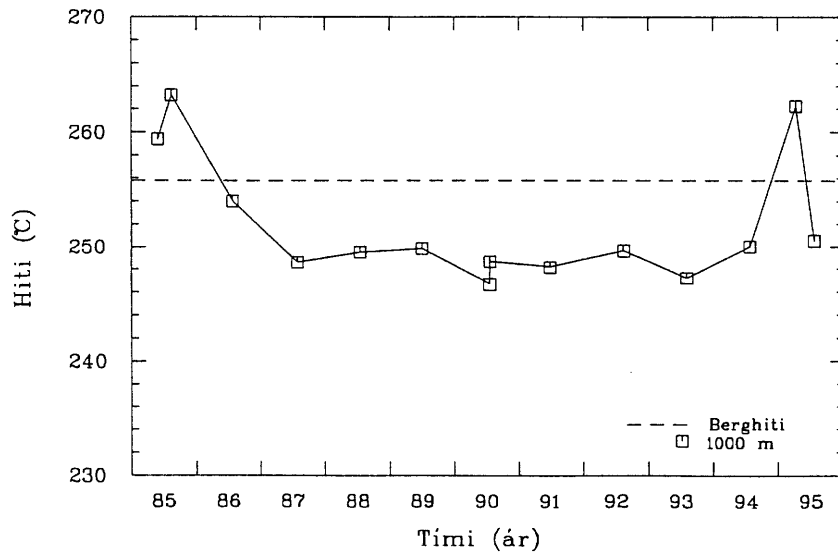


Mynd A-23: Berghiti og síðustu mælingar í holu KJ-21.

Niðurstöður mælinganna eru sýndar á myndum A-23 til A-26, bæði sem fall af dýpi en einnig með tíma á 1000 m dýpi. Þar sést að haustmælingunum nú ber vel saman við mælingar undanfarin haust. Hins vegar sýna mælingarnar vorið 1995 að hita- og þrýsti-ástand holunnar eftir vetrarvinnslu er mjög frábrugðið því sem mælist eftir sumarlokun.

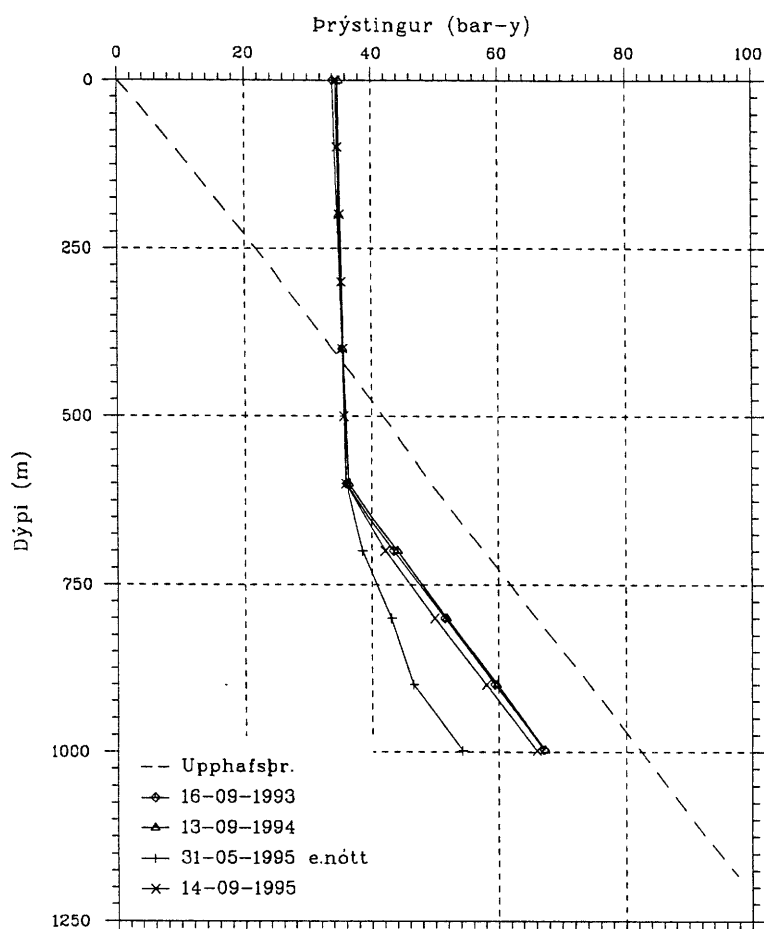
Samkvæmt mælingum í holunni eftir sumarmánuði féll hiti neðan 700 m dýpis að meðaltali um 5°C/ári fram til 1987 (sjá mynd A-24). Á sama tíma féll þrýstingur um 15-16 bör (mynd A-26). Eftir 1987 hefur hvort tveggja, hiti og þrýstingur haldist nokkurn veginn í jafnvægi og er flöktið milli ára um 2-3°C og 1-2 bör til eða frá. Þrýstiniðurdráttur frá upphafi telst því enn vera 15-16 bör og kæling neðan 700 m um 15°C.

11 Mar 1996 grb
L= 58021 Oracle



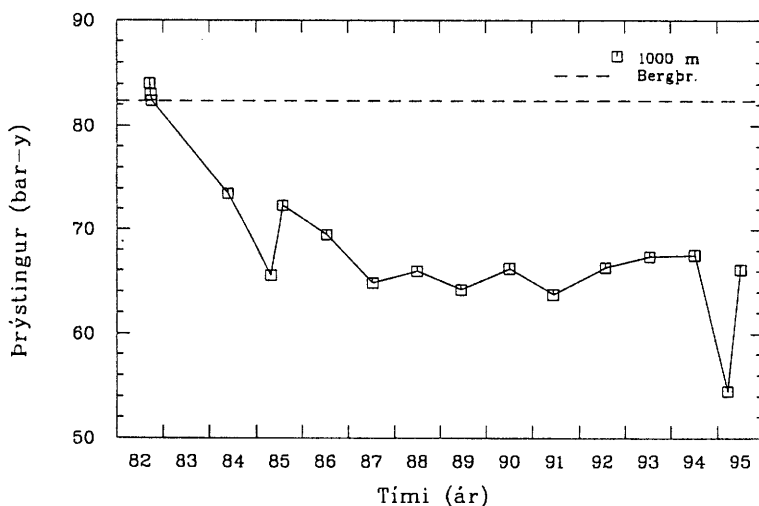
Mynd A-24: Hiti á 1000 m dýpi í holu KJ-21.

6 Mar 1996 grb
L= 58021 Oracle



Mynd A-25: Upphafsprýstingur og síðustu mælingar í holu KJ-21.

6 Mar 1996 grb
L= 58021 Oracle



Mynd A-26: Prýstingur á 1000 m dýpi í holu KJ-21.

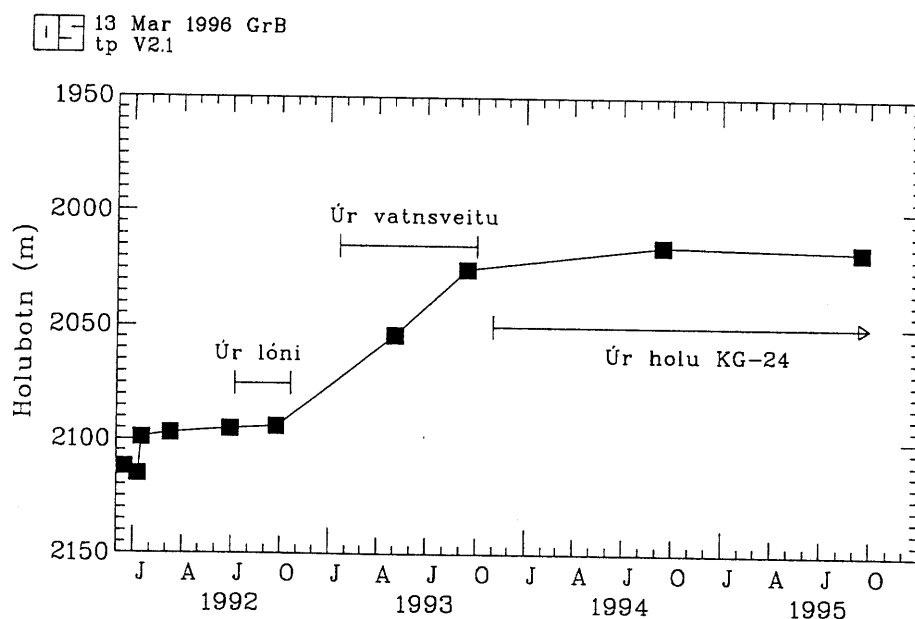
Mælingarnar vorið 1995 sýna að vetrarvinnslan veldur verulegum breytingum í holu KJ-21 sem ganga til baka í sumarhvíldinni. Þannig er holuhitinn 5-10°C lægri að vori en hausti allt niður á 900 m dýpi (mynd A-23). Botnhitinn (1000 m) slær hins vegar í 262°C, sem er vel yfir meðalhausthita, og reyndar einnig yfir áætluðum berghita. Þó mældist svipaður hiti í botni í ágúst 1985, þótt ekki hafi verið tekið fullt mark á þeirri mælingu þegar berghitinn var áætlaður. Þá er þrýstijöfnun í botni holu KJ-21 um eða yfir 15 bör í sumarhvíldinni.

Um mælingarnar í holu KJ-21 var fjallað ítarlega í skýrslu (Grímur Björnsson og Benedikt Steingrímsson, 1995) og verður sú umræða ekki endurtekin hér. Þó skal nefnt að meginskýringin á ólíkum hita í holunni vor og haust er talin sú að strax eftir lokun er upprennsli í holunni, frá botnæðum til efri æða. Að hausti hafi rennslið hins vegar snúist við og holan þannig kólnað niður fyrir berghita.

Mælingar í holu KJ-21 hafa ávallt gengið greiðlega og mælar farið viðstöðulaust í botn. Svo hefur verið á hverju hausti og er haustið 1995 engin undantekning. Hins vegar brá svo við í vormælingunum 1995 að það kostaði töluvert skark að koma mælum niður frá 750 m dýpi í 900 m. Vakti það grunsemdir um útfellingar af einhverju tagi í holunni. Þetta var síðan staðfest með körfumælingum, komst 5 1/2"-karfa í gegnum þrengingarnar, en 8"-karfa stöðvaðist á 700 m dýpi. Nánari lýsingu á útfellingunum er að finna í áður nefndri skýrslu (Grímur Björnsson og Benedikt Steingrímsson, 1995)

Hola KG-26

Hola KG-26 fellur ekki undir mælingaefirlitið í Kröflu. Frá miðju sumri 1992 hafa verið gerðar tilraunir með niðurdælingu á vatni í holuna með það fyrir augum að hindra tæringu leiðarans á móts við botnæðina og eins til að bæta vinnslueiginleika neðra Leirbotnakerfisins. Í fyrstu var notað í niðurdælinguna vatn úr lóninu suður af holu KJ-6, síðar var farið út í að taka vatn úr vatnsveitu, og frá 1993 hefur skiljuvatn frá holu KG-24 runnið í holuna. Holan hefur verið lóðuð reglulega til að skoða hvort botnfall myndist í henni. Svo hefur verið og er það ástæða þess að skipt var um vatnsgerð í ádælingunni. Í tengslum við eftirlitsmælingarnar haustið 1995 var hola KG-26 lóðuð. Lóðið gekk viðstöðulaust niður og settist loks á 2017 m dýpi. Haustið 1994 lóðaðist holan 2015 m svo engin breyting varð í raun á þessu tímabili. Yfirlit um lóðanir og ádælingu í holuna er að sjá á mynd A-27.

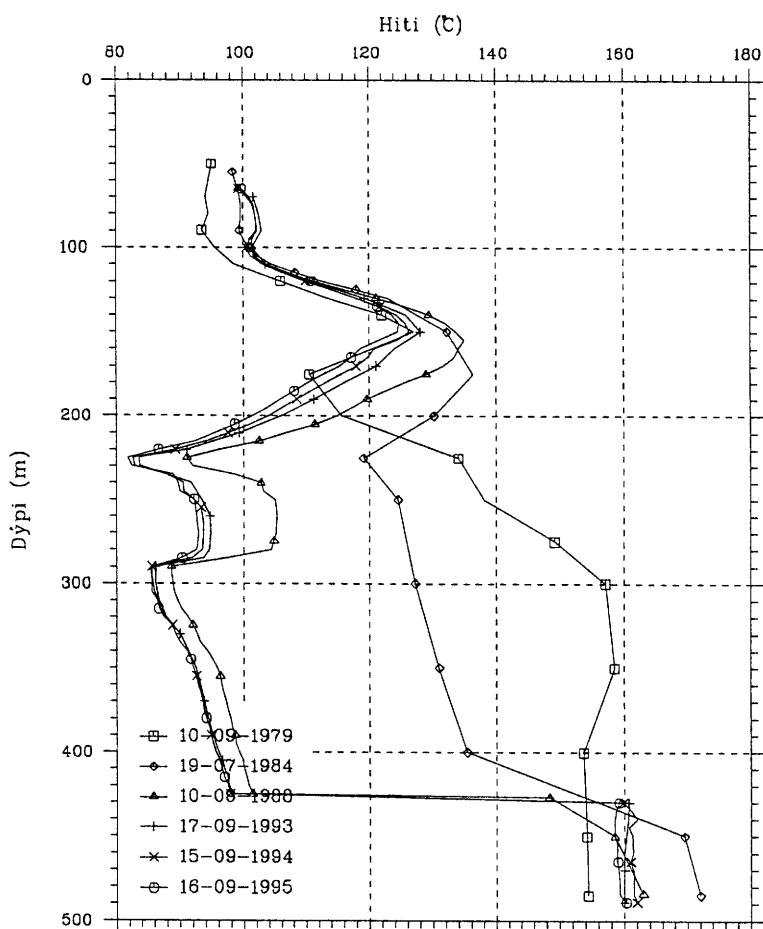


Mynd A-27: Lóðaður holubotn holu KG-26 á síðustu árum.
Einnig er sýnt á hvaða tímabilum og þá hvaðan ádælingavatnið í holuna var ættað.

Hola B-2 í Bjarnarflagi

Hola B-2 hefur verið mæld reglulega síðustu árin en stopulla þar áður aftur til umbrotanna á árinu 1977. Holan var mæld 16. september 1995. Vatnsborð var þá á 64,25 m dýpi sem er 0,35 m hærra en undanfarin tvö ár. Niðurstöður eftirlitsmælinganna eru sýndar myndum A-28 til A-31 ásamt eldri mælingum. Þar sést að hiti, þrýstingur og vatnsborð hefur verið stöðugt í holunni síðustu árin, eftir verulegar sveiflur á árunum 1977-88.

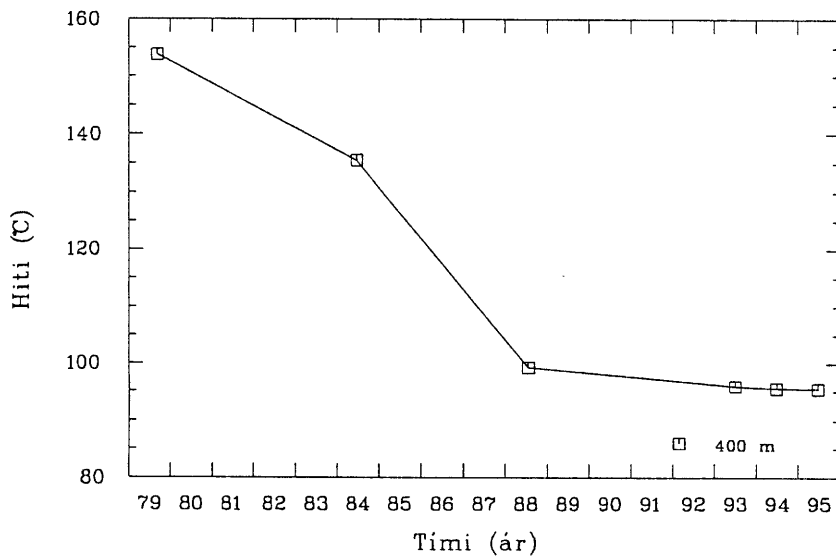
6 Mar 1996 grb
L= 58302 Oracle



Mynd A-28: Hitamælingar í holu B-2.

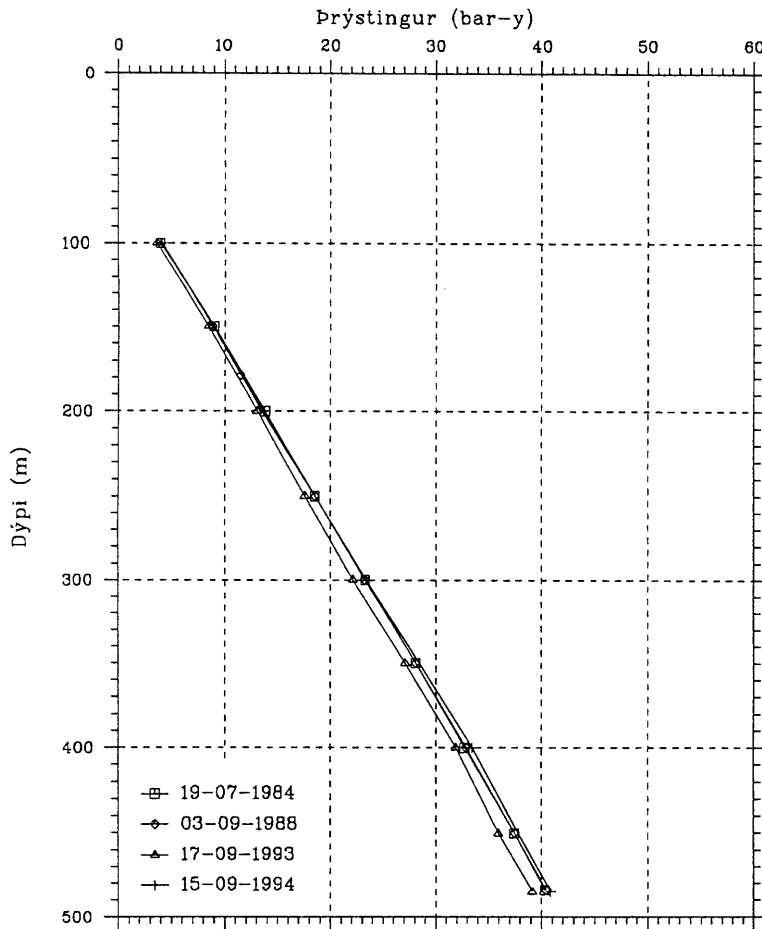
Orsök hita- og vatnsborðsbreytinganna er niðurrennsli tiltölulega kalds vatns úr æðum á 230 og 280 m dýpi og niður til meginvatnsæðar holunnar á 425 m. Hefur niðurrennslið hafist milli 1980 og 1984 og eru miklar hitabreytingar milli mælinga fram til 1988. Þetta sést vel á mynd A-29 en þar er hiti á 400 m dýpi sýndur með tímanum. Hefur hitinn lækkað úr rúmlega 150°C í 95°C. Talið er að kælingin sé afleiðing umbrotanna í Bjarnarflagi á árinu 1977 og að henni valdi kalt grunnvatn sem leitaði niður um sprungur við umbrotin. Kælingin í holu B-2 er því væntanlega í tengslum við Krummaskarðsmisgengið.

6 Mar 1996 grb
L= 58302 Oracle



Mynd A-29: Hiti á 400 m dýpi í holu B-2.

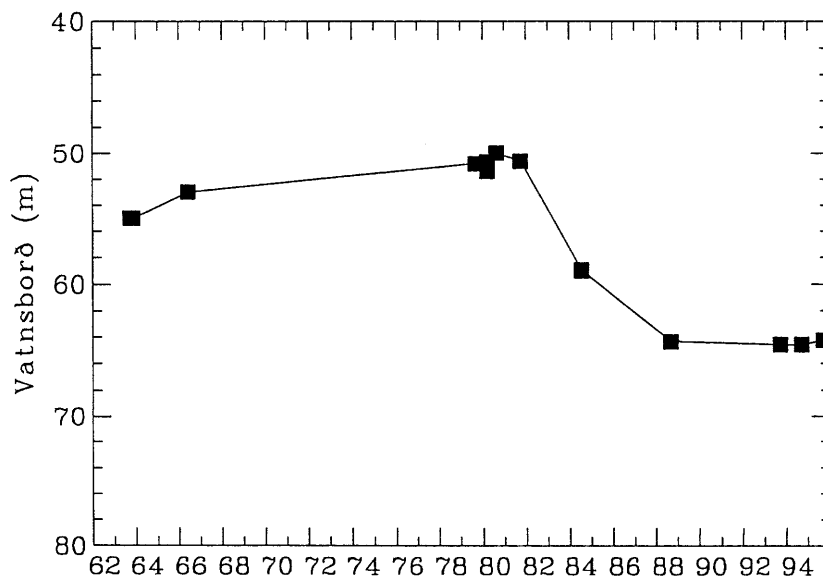
6 Mar 1996 grb
L= 58302 Oracie



Mynd A-30: Prýstimælingar í holu B-2.

Kólnun holu B-2 vegna niðurrennslisins sést sem lækkandi vatnsborð. Á mynd A-31 eru teknar saman allar tiltækar upplýsingar um vatnsborð í holunni allt frá 1963. Þar sést að vatnsborð var á 53-55 m dýpi fyrstu árin eftir borun. Um 1980 mældist það á 50 m dýpi en hefur síðan fallið um 14-15 m. Skýra má alla vatnsborðslækkunina með eðlismassabreytingu vegna kælingarinnar í holunni. Ekki er talið að vinnsla úr holum BJ-11 og BJ-12, skammt austan B-2, hafi leitt til marktækra breytinga á svæðisprýstingi við holuna (Ómar Sigurðsson, 1993)

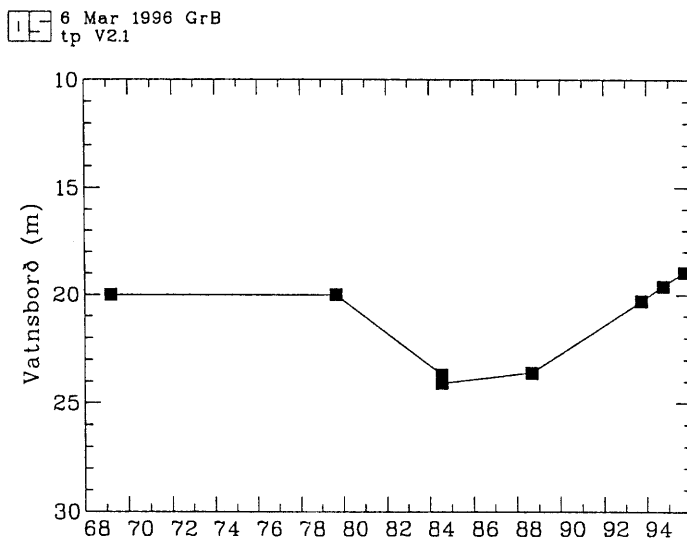
6 Mar 1996 GrB
tp V2.1



Mynd A-31: Vatnsborðssaga holu B-2.

Hola B-5 í Bjarnarflagi

Engar hita- og þrýstimælingar voru gerðar í holu B-5 haustið 1995. Ekki gátu mælingamenn þó gengið fram hjá holunni alveg óáreittri og renndu því vatnsborðsmæli niður. Reyndist vatnsborðið á 18,95 m dýpi, sem er 0,65 m ofar en árið áður. Þar áður hefur vatnsborðið yfirleitt mælst á 20-24 m dýpi.



Mynd A-32: Vatnsborðssaga holu B-5.

Hola BJ-12 í Bjarnarflagi

Landsvirkjun nýtir holur BJ-11 og BJ-12 í Bjarnarflagi til að anna gufupörf Kísiliðjunnar og Gufuaflsstöðvarinnar. Holurnar blésu lengst af samfellt árið 1995. Undanfarin sumur hefur holu BJ-11 verið haldið í bláðingu þegar gufuaflsstöðin er stopp. Erfiðlega gekk að ná holunni í blástur haustið 1994 eftir sumarlanga bláðingu. Breytt hegðun holunnar skýrist af því að um 150°C vatn seitlaði inn í holuna við lokun, neðan fóðringa, kæfir hana og torveldar því að koma holunni í blástur (Grímur Björnsson og Benedikt Steingrímsson, 1995). Þurfti talsverðar æfingar til að ná BJ-11 í gos síðla hausts 1994. Vorið 1995 var þess vegna ákveðið að nota holu BJ-11 fyrir Kísiliðjuna, en hvíla í staðinn holu BJ-12. Brá þá svo við að BJ-12 kafnaði strax við lokunina og tókst ekki með nokkrum ráðum að ná henni í gos á ný.

Ástand holu BJ-12 var kannað með mælingum 21. júní 1995. Í ljós kom að þrenging var í holunni og stöðvuðust lóð, körfur og mælar á 855-870 m dýpi. Mælingarnar sýndu einnig að 550 m voru niður á vatnsborð í holunni. Einnig sást að um 150°C vatn seitlaði niður holuna og náði niðurrennslið ofan í þrengingarnar. (Grímur Björnsson og Benedikt Steingrímsson, 1995).

Jarðborinn Narfi hreinsaði holu BJ-12 á tímabilinu 27-30. ágúst 1995. Borinn fór viðstöðulftið í gegnum þrenginguna í 855-870 m og var því líkast sem um drullutappa væri að ræða. Holan var víddar- og hitamæld fyrir hreinsunina og eftir hreinsun var hún hitamæld í 1540 m dýpi. Þá var holan einnig hita- og þrýstimæld með Ameradamælum þann 16. september.

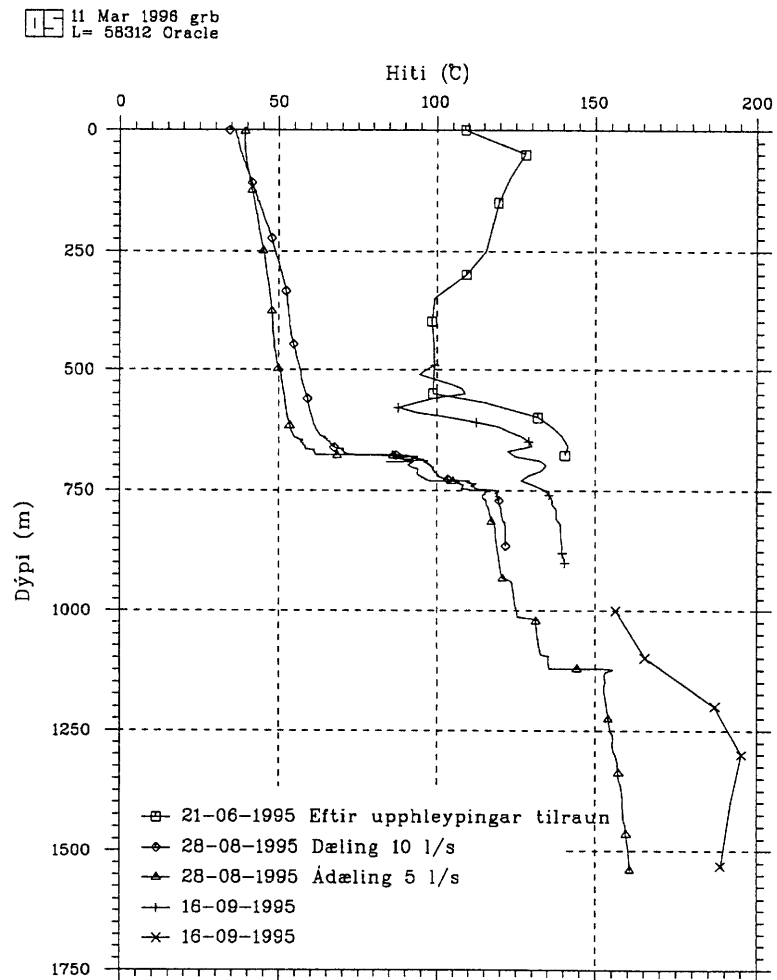
Yfirlit um mælingar ársins 1995 í holu BJ-12 er sýnt í töflu 1, en niðurstöður þeirra eru sýndar á myndum A-33 til A-35 ásamt eldri upplýsingum. Í viðauka B er svo birt yfirlit um ástand og hönnun holunnar ásamt tiltækum víddarmælingum. Þar kemur einnig fram hvar fyrirstöður hafa fundist.

Hola BJ-12 var boruð haustið 1980 í 1999 m dýpi. Vinnslufóðring er stept í 687 m en leiðarinn, sem hengdur var í 633 m, náði niður í 1957 m. Fjögur efstu rörin eru heil en öll hin raufuð. Samkvæmt fóðrunarskýrslu var 34 m botnfall í holunni þegar leiðarinn fór niður og hefur neðri endi leiðarans því hangið sex metrum yfir botnfallinu. Það skal þó haft í huga að botnfallið hefur verið ákvarðað á þann hátt að leiðaranum var slakað niður, hann sest og síðan hífður aftur upp þessa sex metra uns efri endi hans var að lokum festur í vinnslufóðringuna.

Samkvæmt útlitsmyndinni í Viðauka B er ósamræmi á milli þessarar hönnunar og ástands holunnar í dag. Þannig sýnir víddarmælingin í ágúst 1995 að toppur leiðarans hefur sigið um 45 m, eða frá 633 m niður á 678 m dýpi. Fyrirstaða fannst einnig á þessu dýpi fyrr um sumarið 1995, svo ekki hefur kæfing holunnar og hreinsun komið leiðaranum af stað.

Telja verður líklegast að losnað hafi um hengistykki leiðarans í holu BJ-12 fljótlega eftir borun. Í fyrstu mælingum í upphitun gengu mælar greiðlega niður holuna, í gegnum leiðaraskóinn og til botns á 1995 m dýpi. Samkvæmt þeirri lóðningu hefur holan verið nánast hrein og ekkert hæft í því að 34 m botnfall væri í holunni. Í mælingum síðar í upphituninni og reyndar æ síðan hafa mælar sest á um 1530-40 m dýpi og ekki farið neðar. Er sennilegast að leiðarinn hafi fallið til botns í upphitun eftir borun, en hafi krumpast eitthvað í fallinu og sé fyrirstaðan á 1535 m þannig tilkominn.

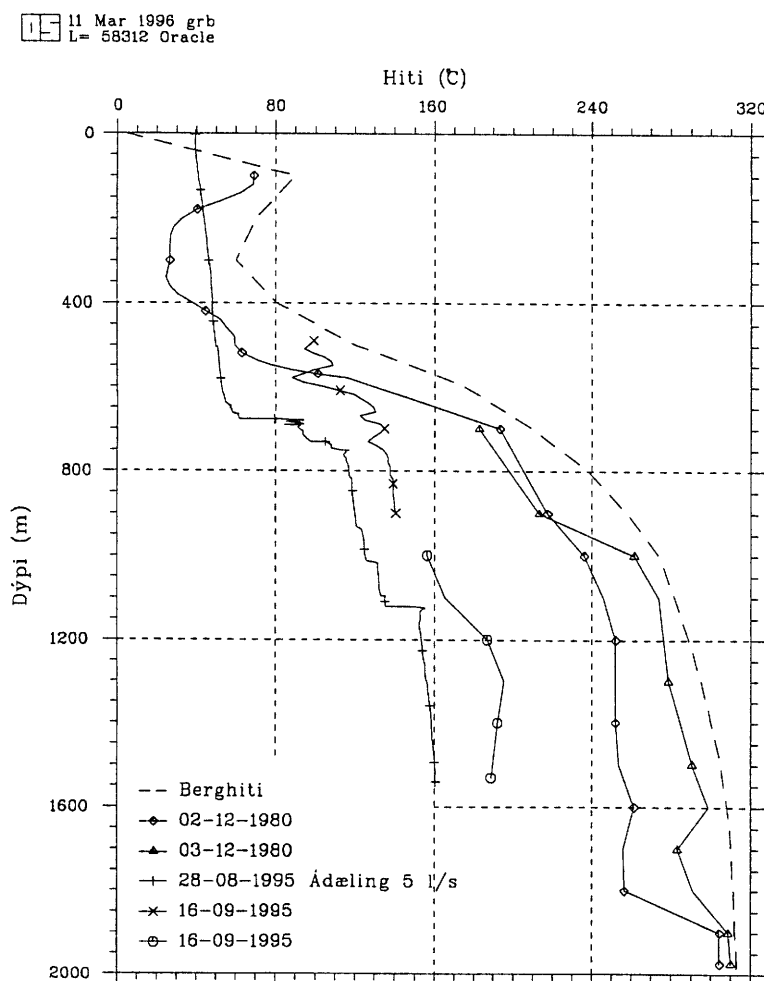
Mynd A-33 sýnir hitamælingar sem gerðar voru í holu BJ-12 í tengslum við hreinsun holunnar sumarið 1995. Myndin sýnir að æðar á 600-750 m dýpi gáfu vatn inn í holuna sem er heitara en ádælingavatnið. Koma æðarnar fram sem tröppugangur í hitaferlunum. Enn bætist svo vatn við á u.þ.b. 870 m dýpi og öll rennur blandan a.m.k. niður til fyrirstöðunnar á 1530 m. Hiti æðanna er svo mældur í september 1995 og reyndist aðeins 130-150 °C.



Mynd A-33: Hitamælingar gerðar í tengslum við hreinsun holu BJ-12.

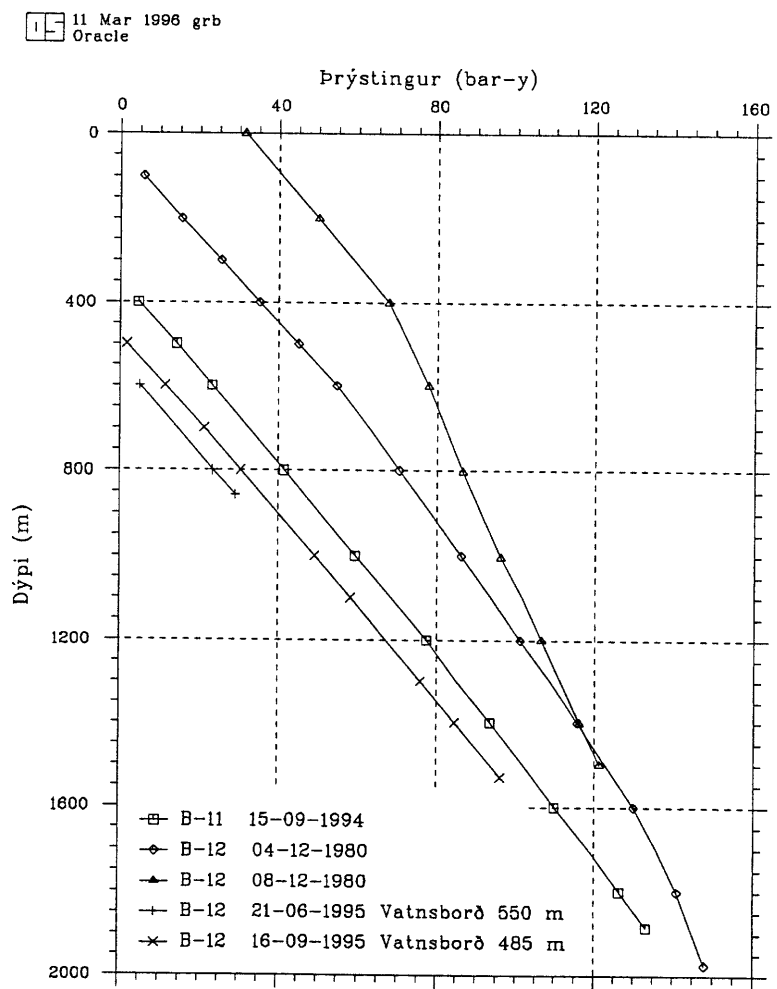
Mynd A-34 sýnir ýmsar valdar hitamælingar í holu BJ-12 ásamt berghita. Berghitaferillinn gerir ráð fyrir hita um eða innan við 100°C niður á 500 m dýpi, þaðan hækkar berghiti hratt með dýpi, er um 275°C í 1000 metrum og yfir 300°C neðan 1400 m dýpis. Allar hitamælingarnar frá 1995 liggja hins vegar langt undir áætluðum berghita. Skýrist það að hluta til af ádælingu í holuna en einnig af niðurrennsli 130-150 °C vatns úr 600-750 m æðunum til þeirra dýpri. Því er ljóst af júní-mælingum 1995 að ríkjandi hiti á 600-800 m dýpi hefur lækkað verulega með tímanum. Þannig er áætlaður upphafshiti á 800 m um 240°C, en berghiti í dag er tæpast hærrí en 160°C. Það var niðurrennsli úr vatnsæðum í þessum kælda kafla, sem kæfði holuna síðastliðið vor og gerðu virkjun-armönnum erfitt fyrir með að ná holunni aftur í gos. Drullutappinn á 855-870 m jók svo enn á þá erfiðleika. Eftir hreinsun dugði hins vegar að halda holunni um tíma undir um 20 bara gufuþrýstingi frá holu BJ-11 til að BJ-12 færi í gos að nýju.

Athuganir á holu BJ-11 fyrir ári, og mælingar í holu BJ-12 sumarið 1995, sýna svo ekki verður um villst að efsti hluti jarðhitakerfisins austan Krummagjármisgengisins hefur kólnað vegna vinnslu úr þessum tveimur holum. Þessu til viðbótar má nefna kælinguna í holu B-2, sem fjallað er um hér að framan. Sú hola er þó aðeins 500 m djúp.



Mynd A-34: Ýmsar hitamælingar í holu BJ-12.

Mynd A-35 sýnir þrýstimælingar í holu BJ-12 og nýjustu þrýstimælinguna úr holu BJ-11. Elstu mælingarnar úr BJ-12 eru frá upphitun holunnar eftir borun. Samkvæmt þeim hefur þrýstingur á um 1500 m dýpi verið um 123 bör í upphafi. Síðastliðið haust mældist þrýstingurinn hins vegar um 93 bör og virðist þrýstijöfnun sumarsins 1995 samkvæmt vatnsborðsmælingum vera um 6,5 bör. Meginniðurstaða mælinganna er sú að verulegur niðurdráttur er kominn í Bjarnarflagskerfið austan Krummagjár. Við BJ-12 er niðurdrátturinn nú um 30 bör, en samkvæmt mælingum í holu BJ-11 haustið 1994 var þrýstilækkun við þá holu áætluð um 20 bör (Benedikt Steingrímsson og Grímur Björnsson, 1995). Ekki er vitað hvernig niðurdrátturinn hefur þróast með tímanum, þ.e. hvort hann hefur dalað jafnt og þétt, eða orðið til t.d. á fyrstu árum vinnslunnar, líkt og gerðist á Hvíthólasvæðinu. Þetta skiptir miklu máli um afkastagetu svæðisins og mætti kanna með hermireikningum. Þá þyrfti einnig að herma kælinguna efst í jarðhitakerfinu til að meta leka úr kalda grunnvatninu niður í jarðhitakerfið.



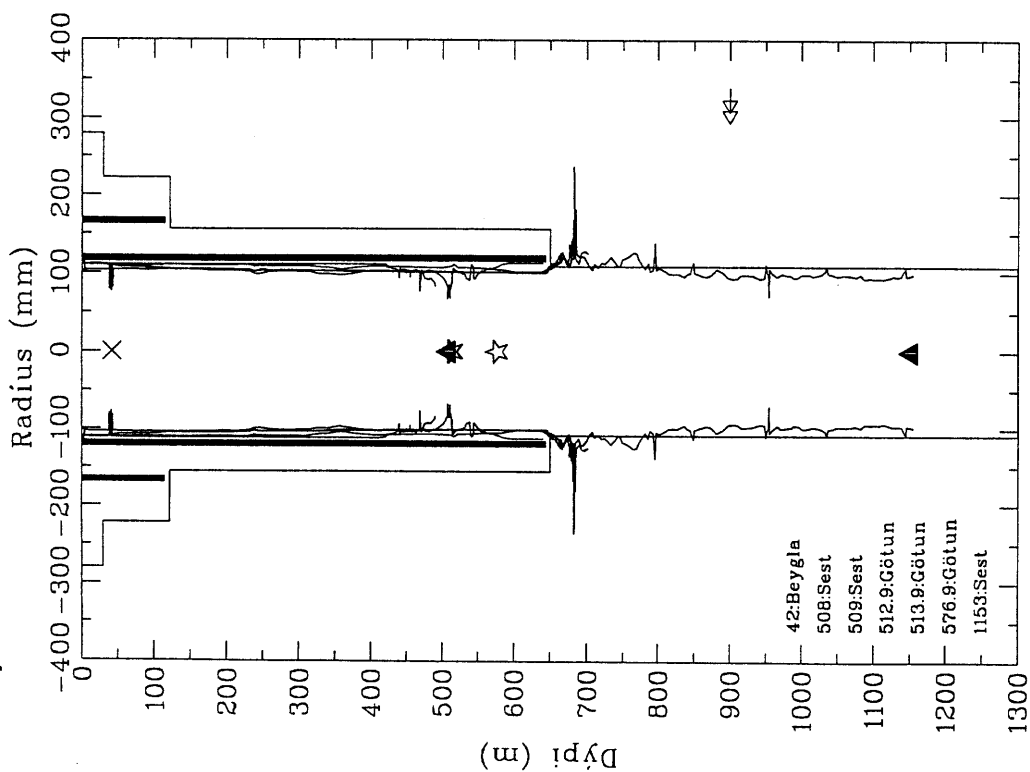
Mynd A-35: Þrýstimælingar í holum BJ-11 og BJ-12.



VIÐAUKI B: Útlitsmyndir af holum í Kröflu og Bjarnarflagi

KG-5

7 Jun 1996 GrB
xy V1.0



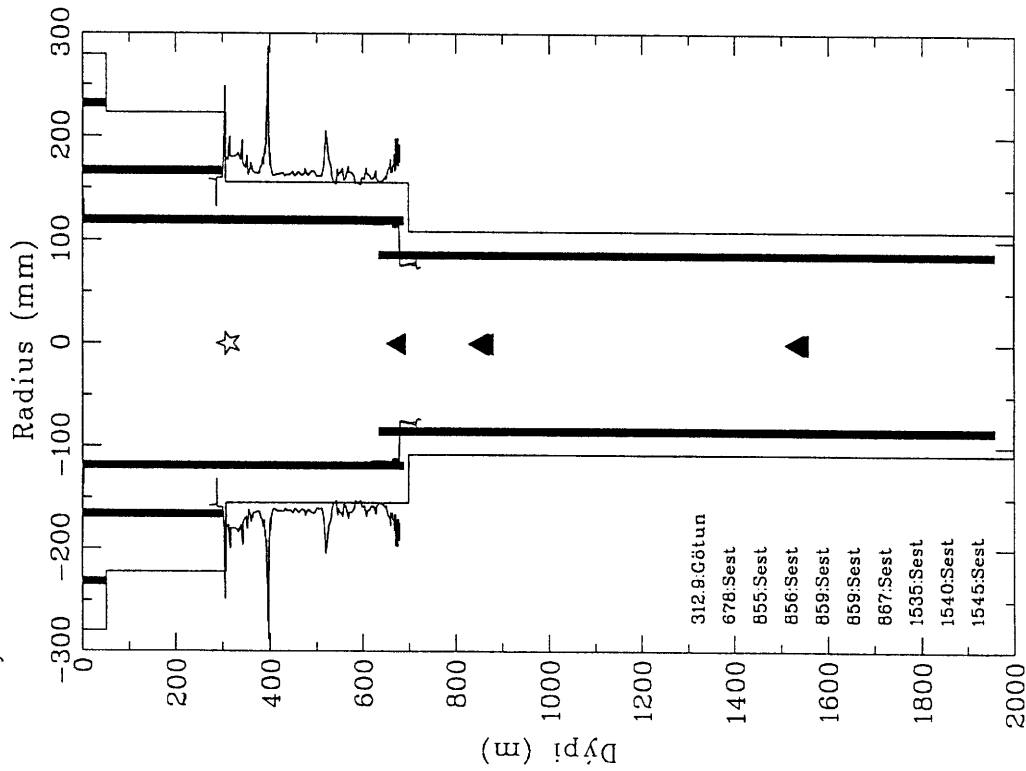
Staður: 58005 --> KG-5 --> Krafla Leirbotn - Leirbotn

Val-númer	Tegund	Svunta	Dags	Dýptarbil	Athugasemdir
1	Borkróna	0	30	559 mm þvermál	
2	Borkróna	30	122	444 mm þvermál	
3	Borkróna	122	650	311 mm þvermál	
4	Borkróna	650	1299	216 mm þvermál	
5	Fóðring	0	114	339.7 mm þvermál (utanmál)	
6	Fóðring	0	642	244.5 mm þvermál (utanmál)	
7	C=Vidd	7955	1976-11-21	600	
8	C=Vidd	386	1983-08-06	250	Holan káfó.
9	C=Vidd	387	1983-08-06	1155	
10	C=Vidd	7553	1985-08-16	700	Holan káfó. Ádaling 5-10 l/s
11	C=Vidd	16346	1995-09-17	650	Ádaling til að eyða útfellingum.
12	C=Vidd	17079	1996-05-29	480	Kæld í 4 kist
13	Ó=Götun	7556	1983-08-09	576.9	Skotin gót á fóðringu þar sem vatns
14	Ó=Götun	7562	1983-08-11	512.9	Skotin gót á fóðringu þar sem vatns
15	Ó=Götun	7563	1983-08-11	513.9	Skotin gót á fóðringu þar sem vatns
16	Sest	3503	1980-05-20	1153	Sest oftast eftir 1980
17	Beygla	10659	1985-05-16	42	Þrenging í um 4"
18	Sest	10458	1991-07-29	509	
19	Sest	12441	1992-09-21	508	
20	Vatnsæð	(stærð 2)	900		

Ástand og hönnun holu KG-5 í Kröflu

7 Jun 1996 GrB
xy V1.0

BJ-12



Staður: 58312 --> BJ-12 --- Námafjall - Bjarnarflag

Val-númer	Tegund	Svunta	Dags	Dýptarbil	Athugasemdir
1	Borkróna	0	52	559 mm þvermál	
2	Borkróna	52	305	445 mm þvermál	
3	Borkróna	305	698	311 mm þvermál	
4	Borkróna	698	1999	216 mm þvermál	
5	Fóðring	0	52	470 mm þvermál (utanmál)	
6	Fóðring	2	296	339.7 mm þvermál (utanmál)	
7	Fóðring	2	687	244.5 mm þvermál (utanmál)	
8	Fóðring	633	1957	177.8 mm þvermál (utanmál)	
9	C=Vidd	199	1980-11-08	0	690 Fóðringardýpi. Mælifrógramm.
10	C=Vidd	16252	1995-08-28	600	680 Leiðari hefur sigið. Toppur í 678 m
11	C=Vidd	16253	1995-08-28	600	720 Leiðari hefur sigið. Toppur í 678 m
12	C=Vidd	16254	1995-08-28	0	725 Leiðari hefur sigið. Toppur í 678 m
13	0=Götun	7684	1980-11-10	312.9	Um 15 tímum eftir steypingu. Skotið
14	Sest	6033	1980-12-08	1535	Í upphitun eftir borun
15	Sest	7023	1988-10-03	859	Lóðun í blástri
16	Sest	7024	1989-07-26	867	Lóðun í blástri
17	Sest	16097	1995-06-21	678	Go-mælir sest. Vatnsb. 550 m
18	Sest	16096	1995-06-21	855	135-mm karfa sest Vb. 550 m
19	Sest	16095	1995-06-21	856	110-mm karfa sest Vb. 550 m
20	Sest	16094	1995-06-21	859	30-mm lóð sest Vb. 550 m
21	Sest	16255	1995-08-28	1540	Eftir hreinsun
22	Sest	16340	1995-09-16	1545	Eftir hreinsun

Ástand og hönnun holu BJ-12 í Bjarnarflagi

VIÐAUKI C: Gildi hita og þrýstings í Kröflu og Bjarnarflagi árið 1995

TAFLA C-1: Amerada þrýstimælingar í Kröflu og Bjarnarflagi, gerðar 1995.

Mældagur Hóla	29/5 KJ-6	13/9 KJ-6	14/9 KJ-9	14/9 KG-10	30/5 KJ-16	15/9 KJ-16	15/9 KJ-18	31/5 KJ-21	14/9 KJ-21	21/6 BJ-12	16/9 BJ-12
Dýpi (m)	(bör)	(bör)	(bör)	(bör)	(bör)	(bör)	(bör)	(bör)	(bör)	(bör)	(bör)
0			.9		16.1	14.9		34.8	34.5		
100	5.1	7.0		.4					34.7		
200	14.8	17.0	9.4	9.4	21.4	20.6			35.0		
300	24.2	26.7		18.3			9.0		35.2		
400	33.4	35.9	27.0	27.1	33.4	32.8			35.4		
500	42.0	44.5		35.9	39.6		28.1		35.5		1.7
600	50.8	52.9	43.5	44.6	45.6	45.2		35.9	35.9	5.0	11.4
700	59.2	61.2		53.1	50.8	50.3	47.2	38.5	42.0		21.2
800	67.5	69.5	59.4	62.0	58.2	57.7	56.8	43.0	50.0	23.5	30.5
857										29.2	
900	75.5	77.6	67.7		65.0	64.5	66.4	46.6	58.0		
998								54.3	66.0		
1000	83.5	85.5	75.5		72.4	72.0	75.6				49.1
1100	91.1	93.4	83.5		79.9	79.5	85.0				58.2
1200	99.0	101.1	91.9		87.3	86.8	94.2				66.8
1227			94.1								
1300					94.8	94.1	103.4				75.7
1400					101.9	101.6	112.5				84.5
1500					109.5	109.0	121.7				
1531											96.0
1600					116.9	116.5	130.7				
1700					124.5	124.3	139.8				
1800					132.9	132.4	148.9				
1900							157.9				
1920					142.3						
1923						142.0					
2000							167.0				
2100							174.8				
2188							180.5				

TAFLA C-2: Amerada hitamælingar í Kröflu og Bjarnarflagi, gerðar 1995.

Mældagur Hóla	29/5 KJ-6	13/9 KJ-6	14/9 KJ-9	14/9 KG-10	30/5 KJ-16	15/9 KJ-16	15/9 KJ-18	31/5 KJ-21	14/9 KJ-21	21/6 BJ-12	16/9 BJ-12
Dýpi (m)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)
0						174.0			218.7		
100				106.0							
200			173.7	171.7	209.3	204.4			236.4		
300	156.0			188.8							
400	168.0	161.4	195.0	185.0	228.3	231.8		236.0	241.0		
500	195.0	194.3	210.3	186.1	246.1					<150	
600	208.6	210.3	223.1	186.1	254.0	253.3		238.0	245.4	<150	
700	220.7	221.8	231.5	189.0	258.5	260.3		242.0	247.1	<150	
800	232.8	234.3	224.2	189.0	268.2	270.0		245.0	251.2	<150	
857										<150	
900	249.3	251.3	223.9		274.9	277.2		251.0	253.0		
998								262.0			
1000	271.5	273.1	224.3		282.2	284.0			250.5		156.3
1100	278.2	279.3	223.1		286.2	287.3					165.2
1200	271.8	272.6	178.9		292.3	293.8					186.9
1227			145.0								
1300					294.0	295.7	150.2				195.1
1400					293.9	295.7	155.6				191.9
1500					291.8	292.3	160.5				
1531											188.7
1600					287.9	288.1	165.5				
1700					279.5	279.4	169.9				
1800					259.2	255.4	174.9				
1900							181.2				
1920					254.1						
1923						254.7					
2000							187.5				
2100							192.7				
2188							194.4				

TAFLA C-3: GO hitamælingar í Kröflu og Bjarnarflagi, gerðar 1995.

Mældagur Hóla	17/9 KG-5	30/5 KJ-6	13/9 KJ-6	28/8 KJ-18	16/9 B-2	21/6 BJ-12	27/8 BJ-12	28/8 BJ-12	28/8 BJ-12	16/9 BJ-12
Dýpi (m)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)
20	6.0							37.1		
30							37.2		39.2	
40			53.5					37.8		
50		49.3	47.7			128.0	37.8			
60		46.3	42.7					38.7		
70		50.4	49.5						39.9	
80		52.8	52.0		101.9					
90	7.4	43.6	42.4		102.1			40.5		
100		33.4	32.2		101.0	123.0	40.4	41.1		
110		23.3	22.3		103.4		41.4	41.5		
120	7.7	19.9	19.9					42.1	41.4	
130		20.9	21.4		118.0		42.3			
140	8.0	23.8	24.6		123.6			43.0		
150	8.5	29.2	30.0		124.5	119.5		43.8		
160		38.3	38.9		118.6					
170		50.3	51.2		115.2				42.9	
180		63.3	64.2		110.2		44.7	45.2		
190	11.4	77.0	77.8		105.9					
200	11.6	89.4	90.5		101.5	117.6		46.5		
210	11.6	100.5	101.3		95.4					
220	11.9	111.8	112.0		86.6		46.8			
230		122.9	124.2		82.4			47.9		
240		134.8	135.5	88.1	89.7				44.7	
250	13.6	143.6	144.2		92.2	115.5				
260		149.0	149.2		92.6		48.9	49.2		
270		152.3	152.6	91.0	92.9				45.5	
280		154.2	154.5	92.3	92.6			50.1		
290		155.5	155.6	94.3	85.4		50.0			
300	15.5	155.8	155.8		85.5	109.3				
310		156.2		100.1	86.3			51.3		
320		157.6			87.4		51.3	51.7		
330					89.3					
340				109.6	91.1					
350	17.3				92.1	99.3		52.5	47.3	
360				115.1			52.5			
370					93.5					
380				119.8	94.1			53.0		
390									47.9	
400	21.1			123.0	95.5	98.5				
410					96.5		53.2	53.4		
420				124.7	97.4					
430				124.7	159.2			53.9		
440					158.5		53.5			
450	22.7			122.6	158.5	99.1		54.7	48.5	
460					159.0			55.0		
470					159.1					
480				118.8	159.3			55.8		
500	24.5			117.1		99.0			49.6	96.5
510								57.1	50.6	94.4
520	25.0			116.3			56.1	57.1		99.1
530	33.4						57.0			104.3
540				116.2				57.9		107.9
550						98.8				109.0
560	34.5							58.9		99.3
570	34.8					115.2	58.0		52.0	93.5
580	36.7							59.5		87.9
590	40.0			115.0						93.6
600	37.3					131.8	58.3	60.2	52.6	103.2
610								60.7		112.4
620	38.0			113.9		136.3		61.4		119.6
630							59.2	62.3	54.0	123.0
640	38.8					139.5	59.7	64.2	54.7	126.5
650	39.2			112.1			61.9	65.7	56.9	129.0

