



ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

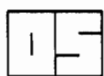
Borholumælingar í Kröflu og Bjarnarflagi vorið 1995

Grímur Björnsson
Benedikt Steingrímsson

Unnið fyrir Landsvirkjun

OS-95039/JHD-24 B

Júlí 1995



ORKUSTOFNUN
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Verknr. 630 662
[/os/pi/jhd.os/eftirit/krafla95.t](http://os/pi/jhd.os/eftirit/krafla95.t)

Borholumælingar í Kröflu og Bjarnarflagi vorið 1995

Grímur Björnsson
Benedikt Steingrímsson

Unnið fyrir Landsvirkjun

OS-95039/JHD-24 B

Júlí 1995

EFNISYFIRLIT

EFNISYFIRLIT	3
TÖFLUSKRÁ	4
MYNDASKRÁ	4
1. Inngangur	5
2. Mælingar í holu KJ-6 í Efri-Leirbotnum	7
3. Hóla KJ-16 í Suðurhlíðum	10
4. Hita- og þrýstimælingar í holu KJ-21 í Hvíthólum	12
5. Lokunarþrýstingur holu KJ-21	16
6. Mælingar á útfellingum í holu KJ-21	16
7. Eðlisástand jarðhitakerfisins í Hvíthólum að vori	17
8. Mælingar í holu BJ-12 í Bjarnarflagi	17
9. Ástand holu BJ-12 og jarðhitakerfisins í Bjarnarflagi	22
10. Niðurstöður og umræða	24
11. Heimildaskrá	25

TÖFLUSKRÁ

Tafla 1: Yfirlit um vormælingar í Kröflu- og Bjarnarflagsholum árið 1995	5
Tafla 2: Amerada hita- og þrýstimælingar í Kröflu og Bjarnarflagi vorið 1995	6
Tafla 3: Go-hitamælingar í holum KJ-6 og BJ-12 vorið 1995	6

MYNDASKRÁ

Mynd 1: Hitamælingar í holu KJ-6	7
Mynd 2: Þrýstimælingar í holu KJ-6	8
Mynd 3: Hitasaga holu KJ-6 á 1000 m dýpi	8
Mynd 4: Þrýstisaga holu KJ-6 á 1000 m dýpi	9
Mynd 5: Hitasaga holu KJ-6 á 60-140 m dýpi	9
Mynd 6: Hitamælingar í holu KJ-16	10
Mynd 7: Þrýstimælingar í holu KJ-16	11
Mynd 8: Hitasaga holu KJ-16 á 1600 m dýpi	11
Mynd 9: Þrýstisaga holu KJ-16 á 1000 m dýpi	12
Mynd 10: Hitamælingar í holu KJ-21	13
Mynd 11: Saga hita á 1000 m í holu KJ-21	13
Mynd 12: Þrýstimælingar í holu KJ-21	14
Mynd 13: Saga þrýstings á 1000 m í holu KJ-21	14
Mynd 14: Þrýstijöfnun holu KJ-21 eftir lokun í maí 1995	15
Mynd 15: Þrýstijöfnun holu KJ-21 teiknuð í lógariþmískum tímaskala	15
Mynd 16: Útfellingar í holu KJ-21 í maí 1995	16
Mynd 17: Ástand og frágangur holu BJ-12	19
Mynd 18: Þrýstimælingar í holum BJ-11 og BJ-12	20
Mynd 19: Go-hitamæling í holu BJ-12	21

1. Inngangur

Vorið 1995 voru farnar tvær ferðir til borholumælinga í Kröflu og Bjarnarflagi. Fyrri ferðin var farin um mánaðamótin maí-júní og var tilgangur hennar að mæla hita og þrýsting í holum KJ-6, KJ-16 og KJ-21. Með því fengist langþráður samanburður við þrýsting holnanna eins og hann mælist á haustin eftir sumarhvíld Kröfluvirkjunar. Síðari ferðin var farin 20.-21. júní. Voru tildrög hennar þau að hola BJ-12 í Bjarnarflagi hafði kafnað skömmu áður við lokun og fékkst ekki aftur í gos. Í skýrslunni er mælingunum lýst og niðurstöður dregnar af þeim. Tafla 1 gefur yfirlit um mælingarnar sem voru gerðar í holunum 4 og töflur 2 og 3 sýna mæligildin sem söfnuðust.

Tafla 1: Yfirlit um vormælingar í Kröflu- og Bjarnarflagsholum árið 1995.

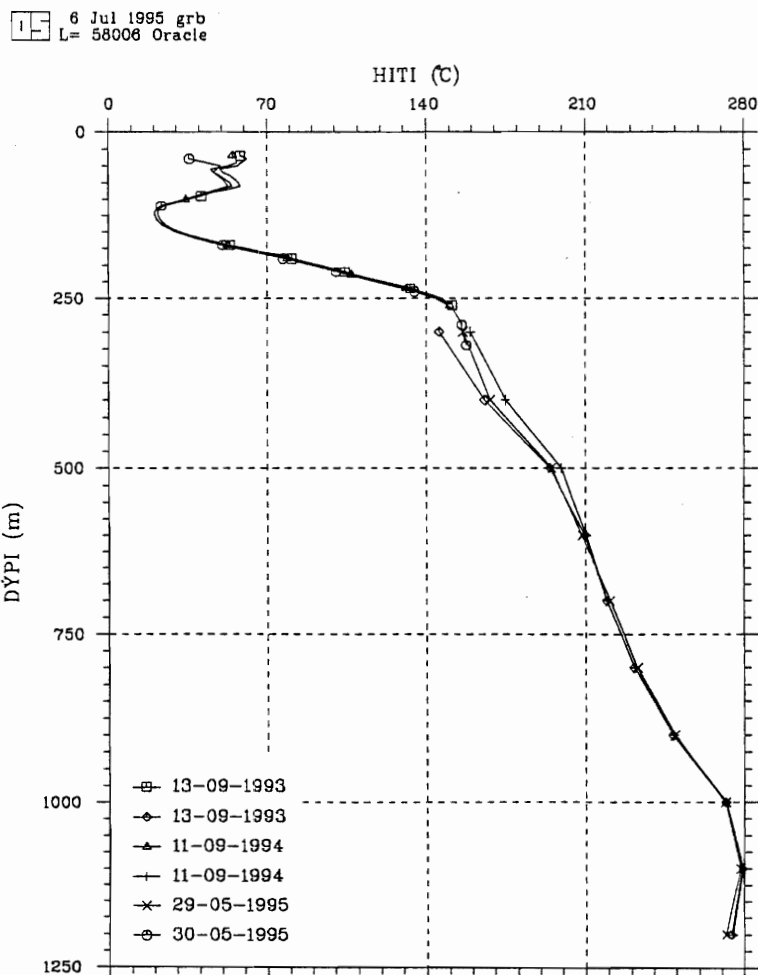
HOLA	DAGS.	HITI		ÞRÝSTINGUR		VATNSB. (m)	TOPPÞR. (bar-y)
		METRAR	NEMI	METRAR	NEMI		
KJ-6	29/5	300-1200	71777	100-1200	51948	40.6	
KJ-6	30/5	0-320	Go-3			40.6	
KJ-16	30/5	0-1920	71777	0-1922	51948		15-26
KJ-21	30-31/5	400-999	71777	0-999	51948		32-40
BJ-12	21/6	500-858	84863	600-857	51948	um 550	
BJ-12	21/6	550-678	Go-5			um 550	
Alls		4.225		4.278			
HOLA	DAGS.	KÖRFUR STÖÐVAST		LÓÐ STÖÐVAST		VATNSB. (m)	TOPPÞR. (bar-y)
		STÆRÐ	METRAR	STÆRÐ	METRAR		
KJ-21	31/5	8"	700 Tregðast í 660				40
KJ-21	31/5	5½"	720-850 skröngl, en fór í gegn				40
KJ-21	31/5			1¼" Amerada	750-900 skröngl		40
BJ-12	21/6			1½"	859	550	
BJ-12	21/6	5½"	855			550	
BJ-12	21/6	4"	856			550	

Borholumælingarnar gengu þokkalega að því undanteknu að flans á 2" holutoppisloka holu KJ-16 er orðinn tærður og varð að slípa hann til svo að þakningar héldu. Þá loka aðalventlar holunnar ekki nægjanlega vel og puðrar töluvert upp úr henni við mælaskipti. Gerist þetta þrátt fyrir að opið sé út á hljóðdeyfi og er því líkast sem lögnin þangað sé nánast stífluð af útfellingum. Eins loka aðalventlar holu KJ-21 ekki nægjanlega vel. Gufar hressilega úr henni og hitnar þá rækilega inni í kúluhúsinu sem er yfir holunni. Varð að taka burtu efstu plötuna úr kúluhúsinu svo að gerlegt væri að körfumæla holuna.

2. Mælingar í holu KJ-6 í Efri-Leirbotnum

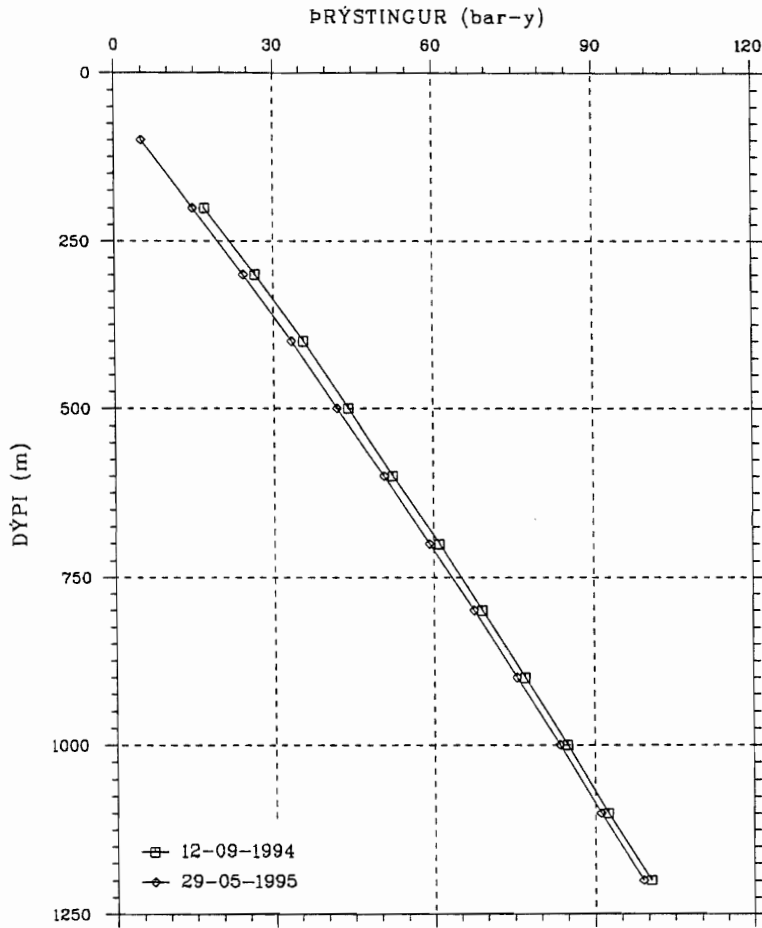
Hola KJ-6 var hita- og þrýstimæld dagana 30. og 31. maí og eru mælingarnar sýndar með dýpi á myndum 1 og 2. Er skemmst frá því að segja að hiti í holunni er óbreyttur frá haustmælingunni 1994. Virðist því sem engar hitasveiflur eigi sér stað milli árstíða. Þykja það góð tíðindi fyrir túlkun vatnsborðsmælinga í holunni, því þær eru þá áreiðanlegur mælikvarði á þrýstingsbreytingar í Efra-Leirbotnakerfinu. Myndir 3 og 4 sýna hita og þrýsting á 1000 m dýpi með tímanum. Þar sést á ný að hiti er nánast óbreyttur frá því sem hefur mælst síðustu árin en þrýstingur er aftur á móti um 2 börum lægri en haustið 1994. Er það í eðlilegu samræmi við þann niðurdrátt sem verður í Efra-Leirbotnakerfinu á vetrum (Benedikt Steingrímsson og Grímur Björnsson, 1994). Niðurdrátturinn er þó nokkru minni en ætla mætti af mestu lækkun vatnsborðs að vetri. Það skýrist af því að hola KJ-9 kafnaði nokkrum vikum áður en mælt var, sem veldur hækkuðum þrýstingi í Efri hlutanum.

Í þessu sambandi má benda á að líklega hefur aflminnkun holu KJ-9 endurspeglast í vatnsborði holu KJ-6 nú í vetur. Þannig nær hola KJ-6 tiltölulega fljótt nýju jafnvægi í vatnsborði við að holur KJ-9 og KG-24 fara í blástur að hausti. Síðan minnkar afl holu KJ-9 við að útfellingar taka að þrengja að henni og kemur það strax fram í hækkun vatnsborðs holu KJ-6. Nánari skoðun á þessu bíður eftirlitsskýrslu haustmælinga ársins 1995 í Kröflu.



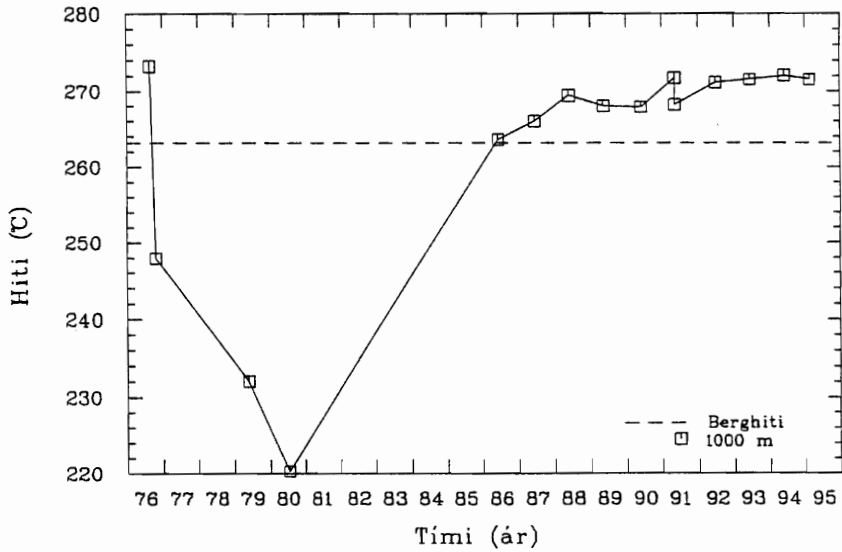
Mynd 1: Hitamælingar í holu KJ-6.

3 Aug 1995 grb
L= 58006 Oracle

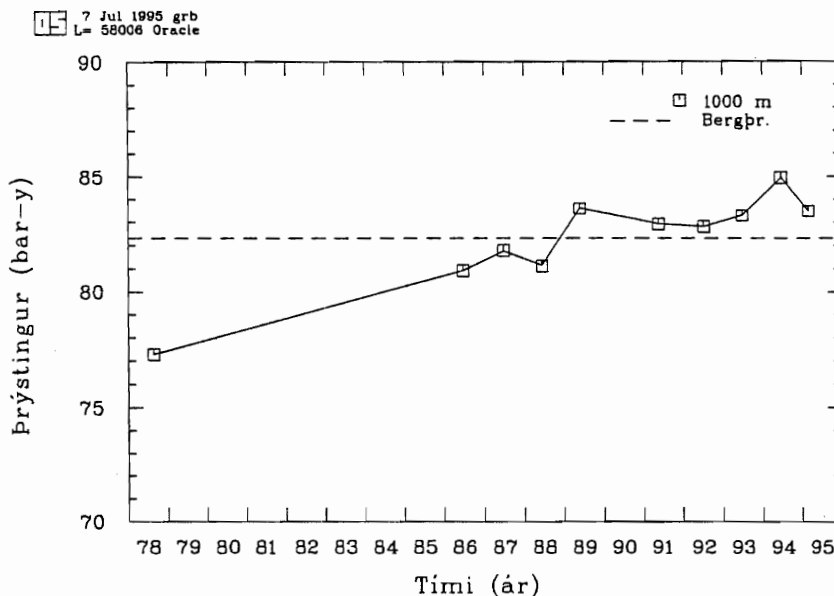


Mynd 2: Þrýstimælingar í holu KJ-6.

7 Jul 1995 grb
L= 58006 Oracle

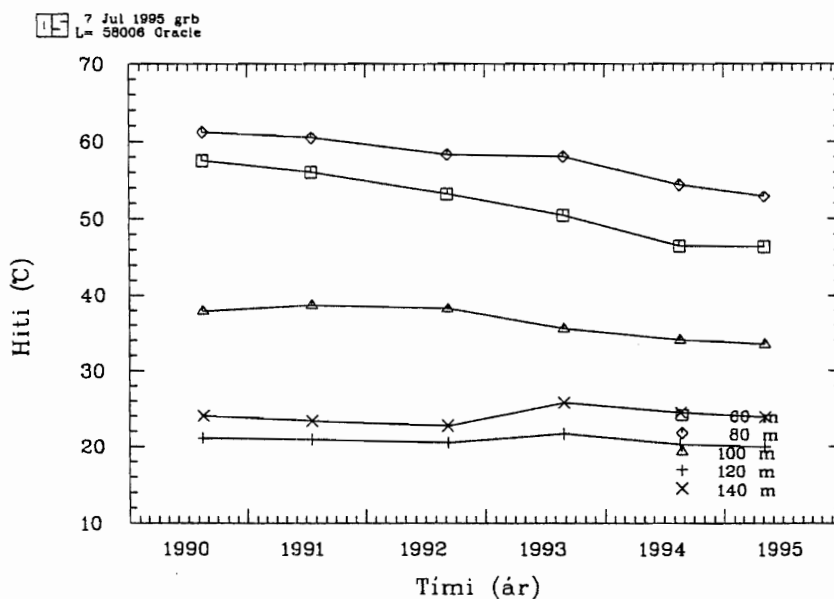


Mynd 3: Hitasaga holu KJ-6 á 1000 m dýpi.



Mynd 4: Þrýstisaga holu KJ-6 á 1000 m dýpi.

Fróðlegt er að skoða hitasögu efsta hluta holu KJ-6 (60-140 m) en á þessu bili hefur hiti verið mældur nákvæmlega frá árinu 1990. Þannig hagar hita í efsta hluta holu 6 að hann hækkar ört að u.þ.b. 60 m dýpi þar sem hann nær hámarki í um 60 °C. Síðan er hiti viðsnúinn að u.þ.b. 120 m dýpi að hitinn nær lágmarki í um 20 °C. Síðan vex hiti á nýjan leik (mynd 1). Ekki er einhlít skýring á þessum viðsnúningi, en því verið varpað fram að hitahámarkið megi rekja til heita vatnsins sem kemur úr skiljustöðinni rétt við holuna (Benedikt Steingrímsson og Grímur Björnsson, 1990). Þessi skýring getur staðist ef hitasagan á 60-120 m er skoðuð (mynd 5). Þar sést að hiti fer lakkandi á 60-100 m og nemur kólnunin 1-2 °C á ári, alls um 10 °C á 60 m dýpi. Má þá rekja kólnunina til þess að heitt vatn rennur æ skemmri tíma árlega frá skiljustöðinni sem leiðir til þess að heita tungan á 60 m tapar varma frá ári til árs. Hin skýringin á kólnuninni er einfaldlega sú að holan kólni við að vatnssúlan í henni stökkast 40-50 m upp og niður milli árstíða í samræmi við þrýstisveifluna í Efra-Leirbotnakerfinu.

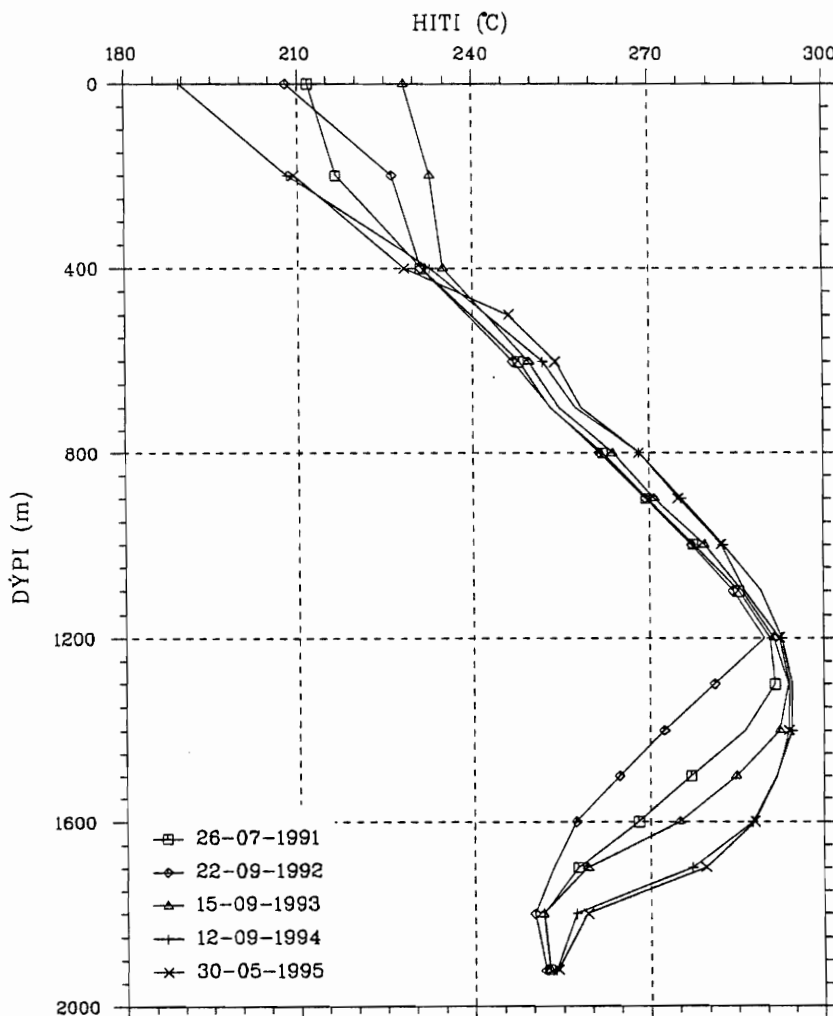


Mynd 5: Hitasaga holu KJ-6 á 60-140 m dýpi.

3. HOLA KJ-16 í Suðurhlíðum

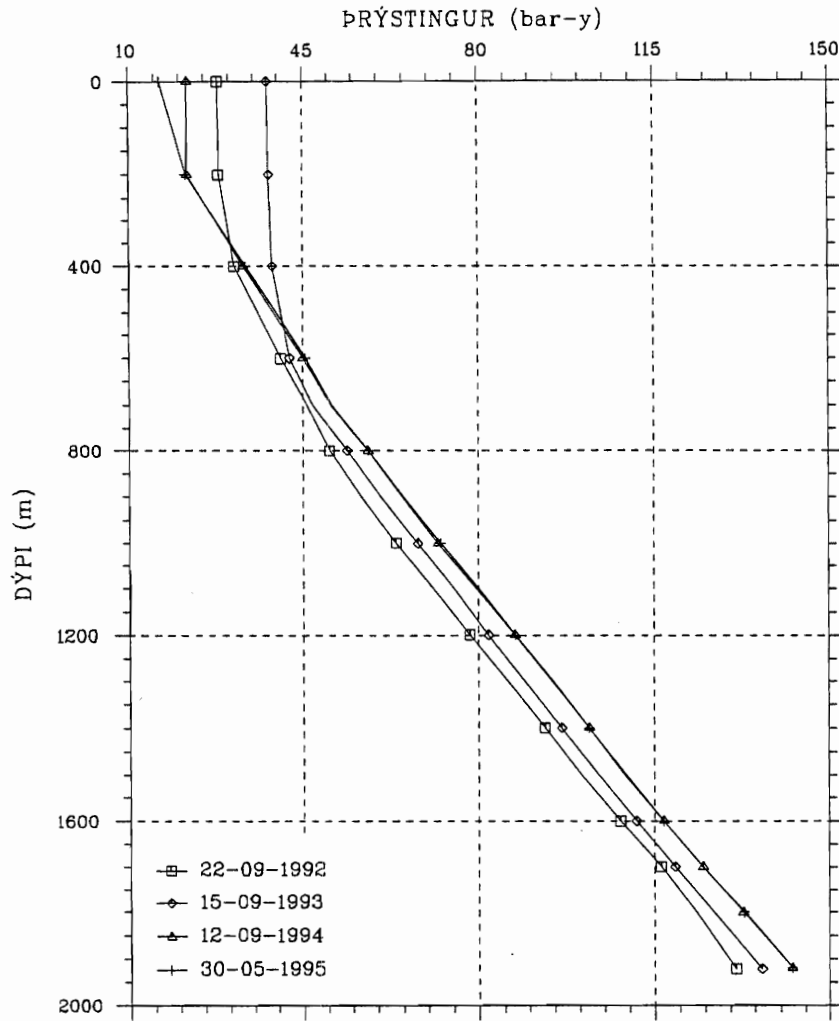
Hola KJ-16 var hita- og þrýstimæld 30. maí 1995 og eru mælingarnar sýndar með dýpi á myndum 6 og 7 en með tímanum á 1000 og 1600 m dýpi á myndum 8 og 9. Líkt og í holu KJ-6 eru nánast engar breytingar í hita og þrýstingi holunnar frá því sem mældist haustið 1994. Nokkrar sveiflur hafa verið í hita neðan 1200 m dýpis en þær eru skýrðar með rennsli milli æða í holunni sem aftur er háð þrýstingi Suðurhlíðasvæðisins. Þessi skýring fær stuðning af þrýstimælingunni frá því í maí 1995, því nú mælist nánast nákvæmlega sami eða eilítið hærri þrýstingur en haustið 1994. Er það öfugt við það sem mætti ætla út frá vinnslunni í vetur. Skoðun á mynd 9 sýnir hins vegar að þrýstingur hefur verið á hraðri uppleið í holu KJ-16 undanfarin ár og stefnir nú í að ná áætluðum upphafsþrýstingi svæðisins. Því er eðlilegt að þrýstingurinn standi í stað yfir veturinn en rjúki þess hraðar upp yfir sumarið.

7 Jul 1995 grb
L= 58016 Oracle



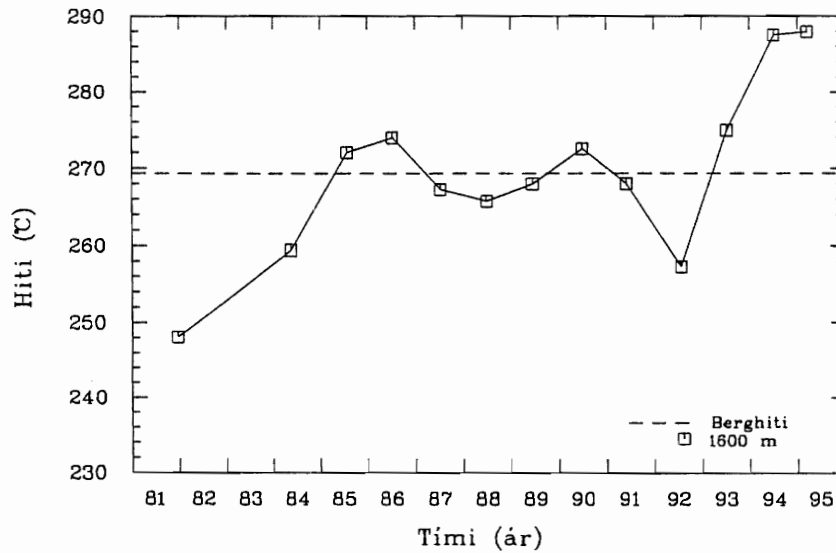
Mynd 6: Hitamælingar í holu KJ-16.

7 Jul 1995 grb
L= 58016 Oracle

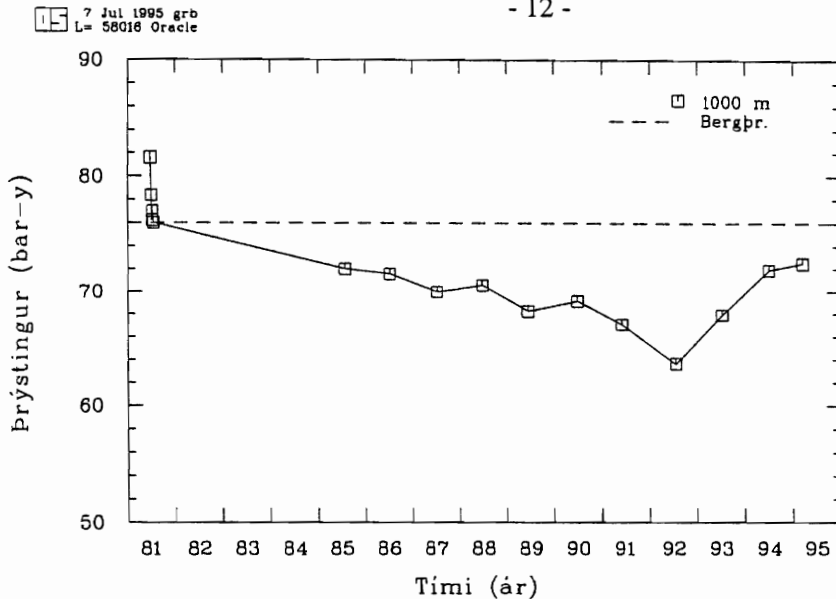


Mynd 7: Þrýstimælingar í holu KJ-16.

7 Jul 1995 grb
L= 58016 Oracle



Mynd 8: Hitasaga holu KJ-16 á 1600 m dýpi.



Mynd 9: Prýstisaga holu KJ-16 á 1000 m dýpi.

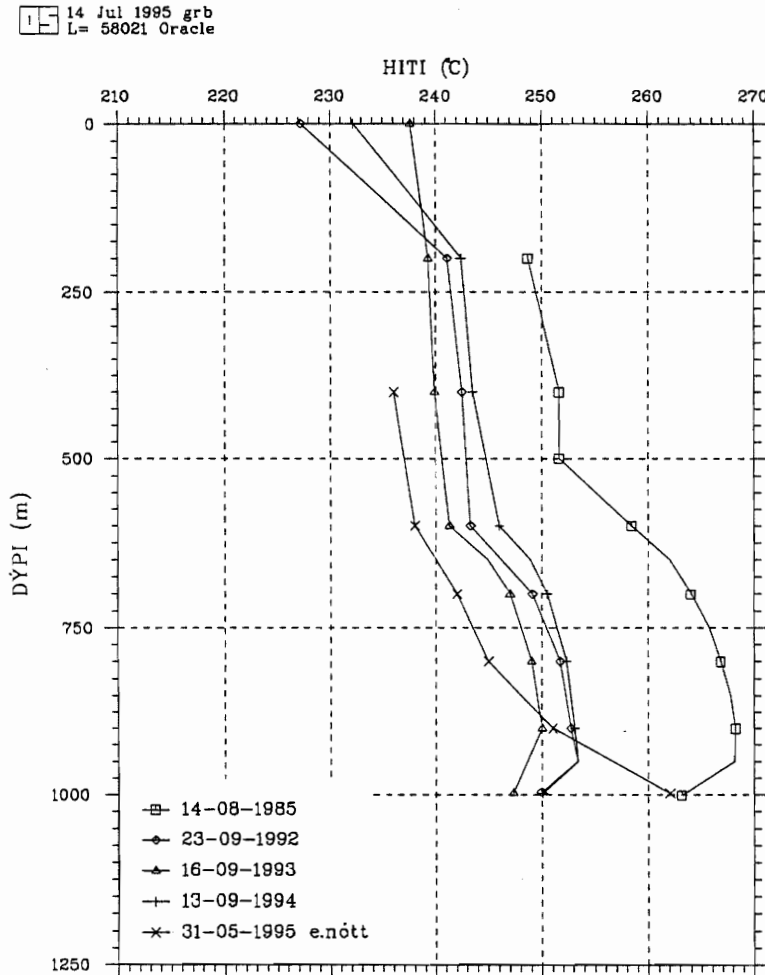
Gögnin á mynd 9 sýna að þrýstibreytingar undangenginna ára hafa verið mjög hraðar í holu KJ-16. Er einfaldast að túlka þær með því að Suðurhlíðakerfið sé enn að miklu leyti í vatnsfasa og að það bregðist, stórt séð, við vinnslubreytingum eins og hvert annað einsfasa vatnskerfi. Er það í nokkru ósamræmi við afkastaspár sem gerðar voru fyrir Suðurhlíðasvæðið árið 1982. Þar var gert ráð fyrir að Suðurhlíðakerfið væri að miklu leyti sjóðandi (Guðmundur S. Bøðvarsson og Karsten Pruess, 1982). Í afkastareikningunum var stuðst við eins til tveggja ára vinnslusögu í Suðurhlíðum. Er því löngu orðið tímabært að endurskoða afkastaspár fyrir svæðið og taka tillit til vinnslusögu síðustu 12 ára auk annarra upplýsinga sem fram hafa komið um Suðurhlíðasvæðið. Má þar nefna að holur KJ-19 og 20 voru boraðar sumarið 1982 um það leyti sem afkastareikningunum lauk.

4. Hita- og þrýstimælingar í holu KJ-21 í Hvíthólum

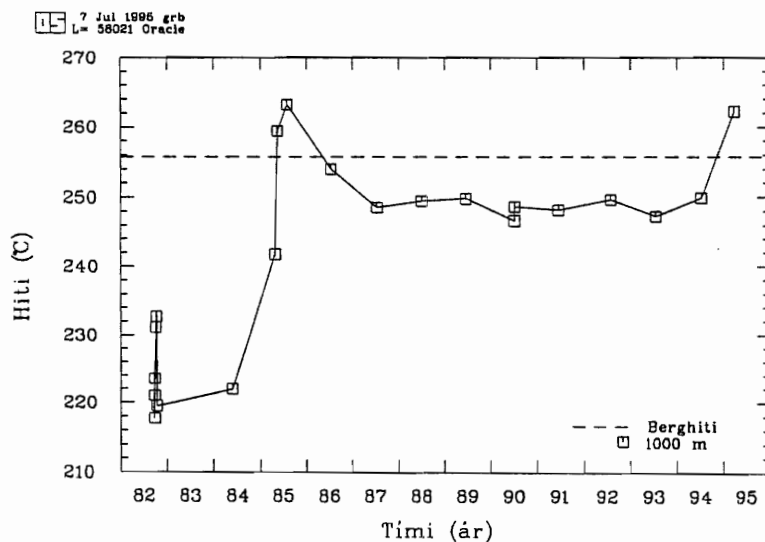
Hola KJ-21 var hita-, þrýsti- og körfumæld dagana 30. og 31. maí 1995. Niðurstöður hita- og þrýstimælinganna eru sýndar á myndum 10-13. Sá háttur var hafður á við mælingarnar að holunni var lokað klukkan 15:55 þann 30. maí. Strax á eftir var þrýstimæli slakað í botn og var hann þar klukkan 16:30. Mælirinn gekk illa niður þegar komið var í um 800 m dýpi og vögnuðu þá grunsemdir um að þrengingar (útfellingar) væru komnar í holuna. Síðan var mælirinn hafður í botni alla nóttina og mæld þrýstijöfnun neðsta hluta holunnar. Að morgni 31. maí er þrýstineminn dreginn upp í 100 m áföngum og þrýstingur mældur með dýpi. Eftir það var hitamæli slakað niður. Reyndist sama slökunarbrasið við hann og þrýstimælinn neðan u.þ.b. 750 m dýpis. Var holan því körfumæld að aflokinni hitamælingu til að fá nánari upplýsingar um þrengingarnar.

Eins og við var að búast reyndist ástand holu KJ-21 nokkuð frábrugðið því sem mælist að hausti eftir sumarhvíld. Þannig er holuhitinn 5-10 °C lægri allt niður að u.þ.b. 900 m dýpi (mynd 10). Þar mældist "venjulegur" hiti (250 °C), en botnhitinn slær hins vegar yfir meðalhausthita, og reyndar einnig áætlaðan berghita. Mældist hitinn þar 260 °C sem er 10 °C heitara en venjulega að hausti (mynd 11). Þrýstimælingin á mynd 12 sýnir að um 100 m löng vatnssúla náði að safnast í holubotninn þá rúmu 16 klukkustundir sem voru liðnar frá lokun. Ofan vatnssúlunnar streymdi síðan eðlisléttur vökvi ($\approx 400 \text{ kg/m}^3$), sem var þá til helminga vatn og gufa. Botnæðin hélt við

Þessari freyðandi súlu með hægu innstreymi af 260 °C vatni sem leitaði upp holuna og sauð einmitt þegar holubrýstingurinn var í u.þ.b. 46 ½ bari eins og mældist á 900 m dýpi. Ofan 700 m nær síðan mestur hluti uppstreymisins að renna inn í aðalæð holunnar á ≈ 625 m dýpi. Ofan 600 m dýpis er síðan eingöngu gas og gufa í holunni.

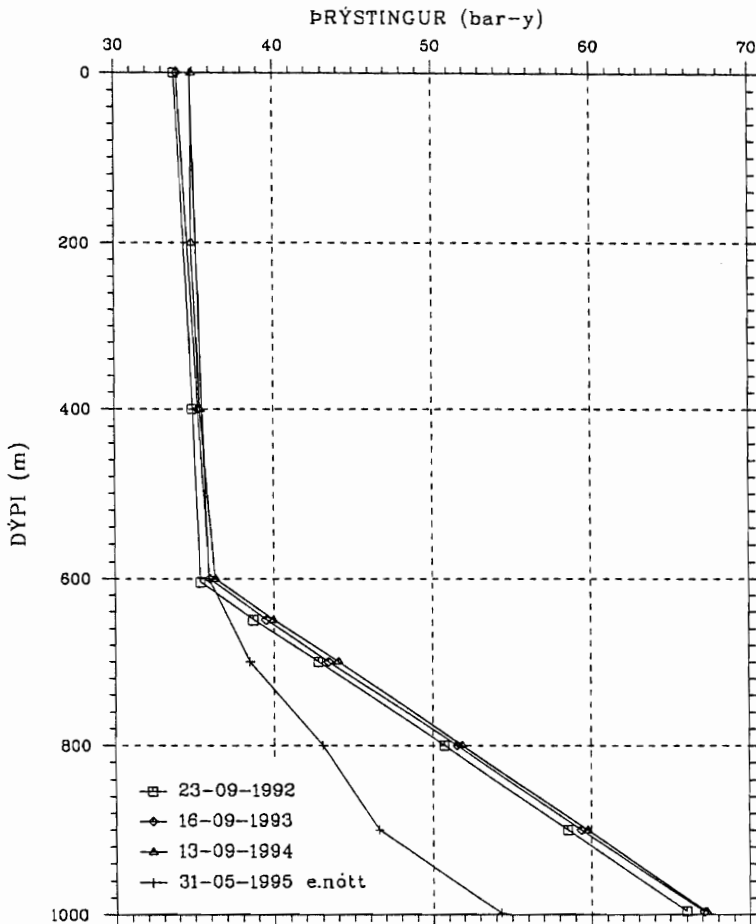


Mynd 10: Hitamælingar í holu KJ-21.



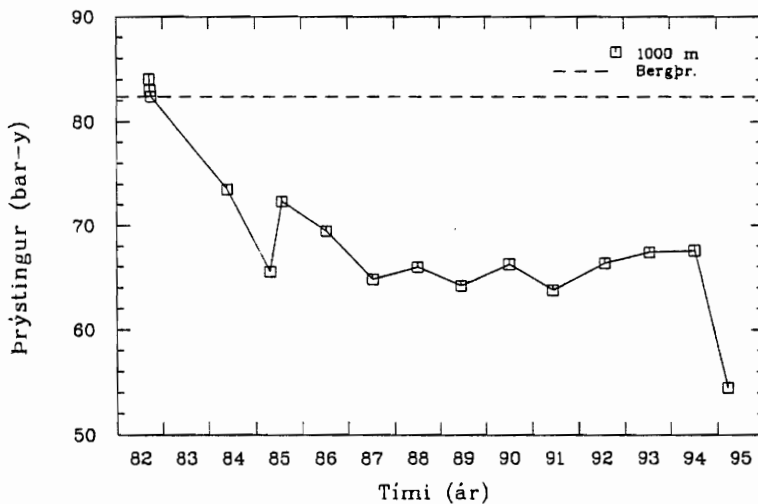
Mynd 11: Saga hita á 1000 m í holu KJ-21.

7 Jul 1995 grb
L= 58021 Oracle



Mynd 12: Þrýstimælingar í holu KJ-21.

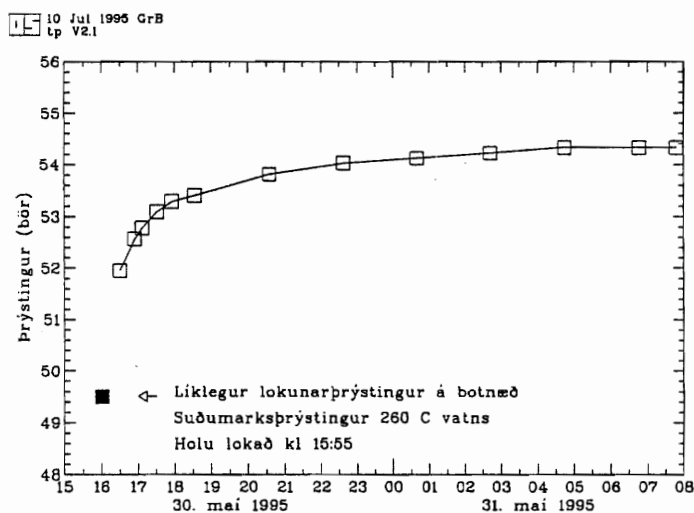
7 Jul 1995 grb
L= 58021 Oracle



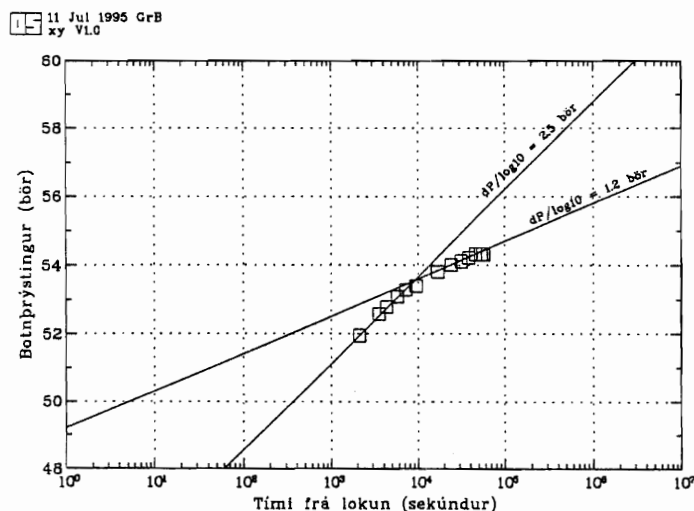
Mynd 13: Saga þrýstings á 1000 m í holu KJ-21.

Fyrstu viðbrögð holu KJ-21 eftir lokun virðast því ráðast af smáæð nærri núverandi holubotni. Mælingarnar sýna að suða er enn ekki hafin í bergi á 1000 m dýpi öfugt við það sem gerist við aðalæð holunnar á 625 m dýpi, og að jarðhitakerfið hafi ekki orðið fyrir kælingu á þessu dýptarbili. Reyndar sýna mælingarnar þessu til viðbótar að líklega er berghiti við holu KJ-21 vanmetinn um allt að 10 °C. Virðist hitamæling frá 14. ágúst 1985 liggja nærri réttum berghita (mynd 10).

Mynd 14 sýnir þrýstijöfnun holu KJ-21 eftir að henni var lokað þann 30. júní síðastliðinn. Þar sést að þrýstijöfnunin var ör fyrstu klukkustundirnar eftir lokun en síðan dregur úr hraðanum og er þrýstingurinn stöðugur síðustu þrjá mælitímuna að morgni þess 31. maí. Þrýstijöfnunin er einnig teiknuð á mynd 15 en nú í lógariþmískum tímaskala. Ofan í gögnin eru felldar tvær línur sem nota má til að áætla lekt botnæðar holu KJ-21 samkvæmt líkani Theis. Fæst þá að margfeldi lektar og þykktar jarðhitakerfisins sé á bilinu 0,2-2 Darcy-m eftir því við hvaða vinnslu er miðað úr botnæðinni. Heildarvinnsla úr holu KJ-21 er um 35 kg/s að vori (Trausti Hauksson og Jón Benjamínsson, 1994) og talið er að botnæðar holu KJ-21 skili um þriðjungi af heildarrenslinu (Helga Tulinius og Ómar Sigurðsson, 1991). Má því giska á að botnæðin, sem fyllti holuna eftir lokun, gefi mest um 11 kg/s en minnst 2 kg/s.



Mynd 14: Þrýstijöfnun holu KJ-21 eftir lokun í maí 1995.



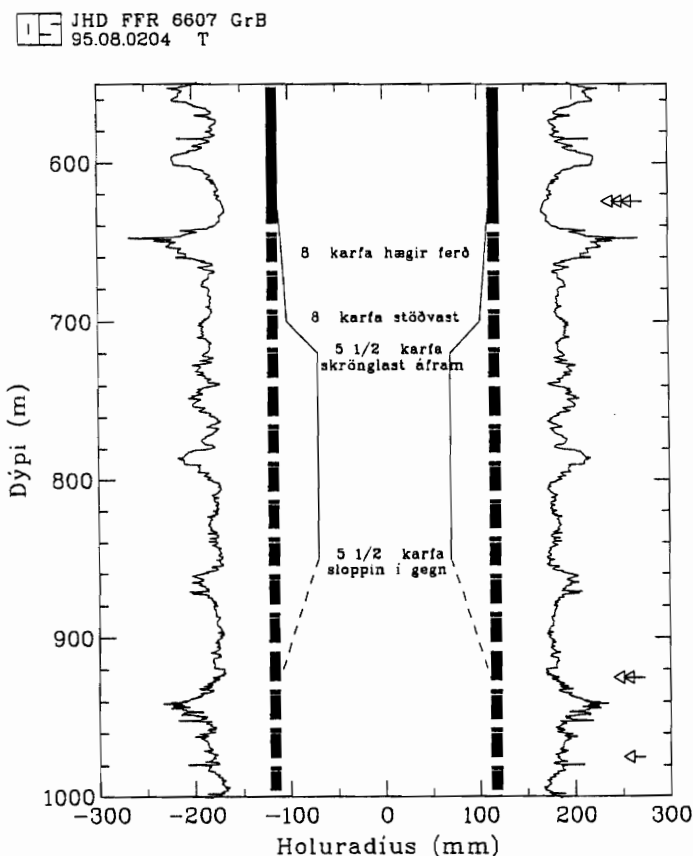
Mynd 15: Þrýstijöfnun holu KJ-21 teiknuð í lógariþmískum tímaskala. Sýndir eru tveir ferlar með hallatöluna 1,2 og 2,5 bör á eitt log-bil. Margfeldi lektar (k) og þykktar (h) er síðan reiknað með jöfnunni: $kh = 1.83 \times 10^{-6} (\text{m } \mu) / (dP/d\log_{10} \rho)$ þar sem m er rennslisbreytingin, μ er kvikseigja vatnsins og ρ eplisþyngd þess. Seigjan og eðlisþyngdin eru reiknuð við vatnshitann 260 °C.

Margfeldi lektar og þykktar í öðrum Kröfluholum er á bilinu 1-4 Darcy-m (Guðmundur S. Böðvarsson og Karsten Pruess, 1982), en mælist hér 0,2-2 Dm. Slík lekt er einkennandi fyrir slakar Kröfluholum, sem eru að gefa undir 10 kg/s í heildarrensli. Telst því lektarmargfeldið, sem hér er reiknað, í eðlilegu samræmi við áætlaða gæfni botnæða holu KJ-21, en þær gefa í mesta lagi þriðjungi heildarrenslisins úr holunni (30-40 kg/s).

5. Lokunarþrýstingur holu KJ-21

Fylgst var með holutoppþrýstingi KJ-21 eftir að holunni var lokað þann 30. maí 1995. Skaust þá þrýstingurinn strax í 32 ½ bar og hélst í því gildi þá rúmu klukkustund sem staðið var við holuna. Að morgni 31. maí var toppþrýstingurinn hins vegar kominn í 38 ½ bar en hafði hækkað í rúm 40 bör eftir að körfumælingum lauk. Er það nokkru hærra en hefur sést að hausti undangengin ár. Skýrist munurinn af því að botnæðin stjórnar toppþrýstingi fyrstu vikunnar eftir lokun. Hins vegar lækkar toppþrýstingurinn á ný við að æðarnar á rúmmum 600 m byggja upp þrýsting og taka að stjórna ástandi holunnar.

6. Mælingar á útfellingum í holu KJ-21



Mynd 16: Útfellingar í holu KJ-21 í maí 1995. Sýnd er víddarmæling frá 1984 með loðinni línu, æðar með örvum, leiðari með gildri línu og útfellingin eins og hún er áætluð út frá körfumælingunum 1995.

Eins og áður kom fram var bras að slaka hita- og þrýstinumum niður í botn holu KJ-21 og virtust fyrirstöðurnar liggja á bilinu 750-900 m. Lauk því mælingum í holu KJ-21 með því að tveimur körfum, 5 ½" og 8", var slakað niður holuna. Þurfti að rífa ofan af kúluhúsinu og síðan nota bílkrana til að lyfta lokinu af háþrýstri holunni og koma þannig körfunum niður fyrir 2" lokann á toppi. Í stuttu máli urðu niðurstöður þær að 8" karfan hægði verulega á sér í slökun þegar komið var í u.þ.b. 660 m dýpi og stöðvaðist svo alveg í 700 m. Þar virtist samt enn mega mjólka körfuna eitthvað neðar en ekki var lagt í það vegna festuhættu. Var því skipt yfir í 5 ½" körfuna og gekk hún greiðlega niður í 720 m dýpi en skrönglaðist þaðan niður í um 850 m að hún komst á ný á greiða siglingu og fór þaðan í botn. Mynd 16 dregur fram niðurstöður körfumælinganna.

Myndin sýnir að útfellingar eru teknar að þrengja neðri hluta holu KJ-21 og hefur þverskurðarflatarmál holunnar minnkað um helming af þeirra völdum. Hins vegar virðist holan hrein af útfellingum ofan aðalæðarinnar á 625 m, sem aftur er talin gefa 2/3 heildarrennslisins. Áframhald útfellinga mun því skerða afköst holunnar um þriðjung að hámarki.

7. Eðlisástand jarðhitakerfisins í Hvíthólum að vori

Mælingarnar sem gerðar voru á holu KJ-21 nú í maí veita mikilvæga innsýn í ástand Hvíthólakerfisins að vorlagi. Þar má nefna:

1. Enn streymir rúmlega 260 °C heitt vatn að holunni úr botnæðum. Suðan í jarðhitakerfinu nær því ekki niður á 1000 m dýpi.
2. Hins vegar er áköf suða í efri æðakaflanum rétt neðan 600 m dýpis. Hvíthólasvæðinu gæti þannig svipað til suðusvæðis sem myndaðist í Svartsengi við þrýstiniðurdrátt sem þar varð vegna vinnslu. Suðusvæðið einkennist af um 400 m löngum strompi þar sem vatn er í suðu. Æðar innan strompsins veita hreinni gufu til holu sem þar er. Neðan þessa sjóðandi stromps liggur síðan 240 °C heitt vatnskerfi og holur sem vinna úr því skila verulega lægra vermi en holan í suðusvæðinu. Æðin á 625 m dýpi í holu KJ-21 svipar því til æðanna sem eru í suðusvæðinu í Svartsengi meðan að botnæðum holu KJ-21 svipar til holnanna í Svartsengi sem vinna eingöngu vatn.
3. Ef giskað er á að efri æðarnar í holu KJ-21 skili hreinni gufu að vori, að botnæðarnar skili eingöngu 260 °C vatni og að heildarvermi holunnar að vori sé 2100 kJ/kg fæst að efri æðarnar gefi a.m.k. 2/3 vorrennslisins.
4. Suða 260 °C heita vatnsins úr botnæðunum innan holu KJ-21 getur skýrt hví útfellingar myndast milli 650 og 900 m dýpis.

Þessu til viðbótar má nefna að þrýstijöfnun botnæða holu KJ-21 er mun hægari en ætla mætti af þrýstingnum sem mældur er að hausti. Líklega veldur hér að suðusvæðið kringum 600 m dýpi vinnur áfram til sín vatn úr botnæðunum eftir að holu KJ-21 er lokað að vori.

Ekki verður hér lagður dómur á hvort mælingarnar nú í vor breyti einhverju um reiknilíkanið sem núverandi vinnsluspár fyrir Hvíthólasvæðið byggja á (Helga Tulinius og Ómar Sigurðsson, 1991). Fróðlegt væri að gera slíka úttekt nú og fá þannig stöðumat á áreiðanleika spánna sem rekstur Hvíthólasvæðisins miðast við.

8. Mælingar í holu BJ-12 í Bjarnarflagi

Landsvirkjun nýtir holur BJ-11 og BJ-12 í Bjarnarflagi til að anna gufupörf Kísiliðjunnar og gufuaflstöðvarinnar. Báðar holurnar voru mjög háþrýstar fyrr á árum. Blésu þær af þeim sökum nær samfelld árið umkring frá borun 1979 og 1980 fram yfir 1990, enda fór lokunarþrýstingur strax í 70-90 bör í þau fáu skipti sem holunum var lokað á þessu tímabili. Þótti því ekki ráðlegt að láta holurnar standa lengi undir svo háum þrýstingi.

Þrýstihegðun holu BJ-11 breyttist upp úr 1990. Við lokun fer þrýstingur nú hæst í 20-30 bör, en fellur síðan nánast í 0 bör. Ástæðan fyrir þessari breytingu er sú að um 150°C vatn lekur inn í holuna á 600-700 m dýpi, rétt neðan vinnslufóðringar. Þegar holunni er lokað seiltar vatnið niður holuna og kæfir hana (Benedikt Steingrímsson og Grímur Björnsson, 1995). Kælingin er það mikil að erfitt er að ná holunni í gos eftir sumarstopp. Af þessum sökum var ákveðið að nýta holuna sumarið 1995 fyrir Kísiliðjuna en hvíla holu BJ-12 þess í stað.

Holu BJ-12 var lokað í rúmlega 2 mánuði sumarið 1991. Við lokun fór þrýstingur strax í 40 bör og hafði hækkað í 71 bar degi síðar. Holan var síðan ýmist alveg lokuð eða í blæðingu um 1 mm gat næstu 2 mánuðina. Toppþrýstingur hækkaði síðan hægt og bítandi á þessu tímabili í 89 bör. (Karl Jónsson, munnlegar upplýsingar). Blés holan síðan fram að 8. júní síðastliðnum, að henni var lokað vegna viðhalds á aðalloka, en síðan stóð til að hafa holuna í blæðingu fram á haust. Strax við lokun fór þrýstingur á holutoppi í um 22 bör. Fimm tímum síðar, þegar viðgerð lauk, var þrýstingur fallinn í 10 bör. Holan var höfð fulllokuð áfram og mældist toppþrýstingur um 4 ½ bar næsta morgun. Þrýstingur hélt áfram að falla og var aðeins um 2 bör þann 13. júní þegar var reynt að ná holunni í gos. Veituþrýstingur (11 bör) var settur í tvígang í stutta stund á holuna og síðan opnað út á hljóðdeyfi. Í hvorugt skiptið fór holan í gos. Þá var holan látin standa undir veituþrýstingnum yfir nótt. Þegar opnað var að morgni puðraði holan af sér gufu í nokkrar mínútur en lá síðan dauð. Ekkert vatn kom upp þá stuttu stund sem það tók þrýstinginn að falla í núll.

Breytt hegðun holu BJ-12 við lokun vakti strax grunsemdir um að kalt innstreymi héldi holunni niðri og kæmi í veg fyrir blástur, líkt og í holu BJ-11. Einnig kom til greina að holan hefði stíflast, því í lóðunum 1988 og 1989 stoppuðu lóð í einhvers konar drullutappa á um 859-867 m dýpi

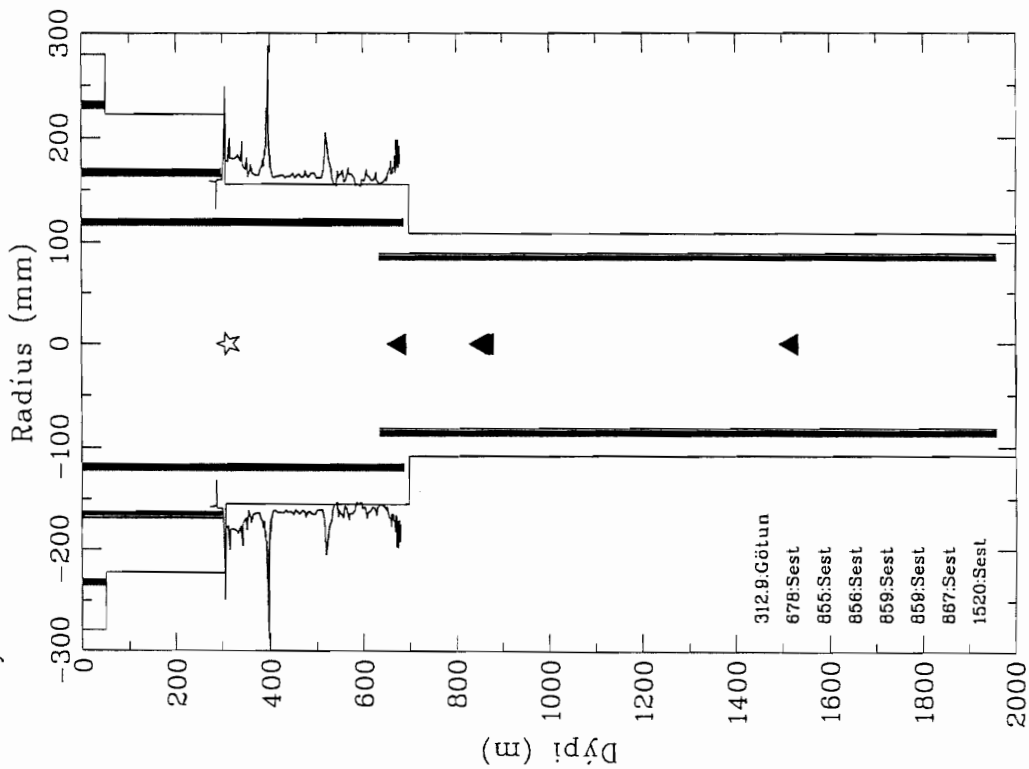
Ástand holu BJ-12 var kannað með mælingum 21. júní 1995. Fyrst var sett 1 ½"-lóð í holuna, en síðan 4" og 5 ½" körfur. Öll þessi tól gengu hnökralaust niður holuna en stöðvuðust, að því er virtist mjúklega, á tæplega 860 m dýpi. Fór lóðið í 859 m, en körfurnar stöðvuðust á 856 (4") og 855 (5 ½") m. Virðist fyrirstaðan því hafa skamman aðdraganda. Ekki varð vart við neinar festur á fyrirstöðuninni, og því líkast að lóðið og körfurnar hefðu sest ofan á mjúkan tappa (drullu).

Yfirlit um hönnun holu BJ-12 er sýnt á mynd 17, ásamt tiltækum víddarmælingum og upplýsingum um fyrirstöður, sem vart hefur orðið við frá borun holunnar. Fyrirstaðan á um 860 m dýpi kom fyrst fram í lóðunum í blæstri haustið 1988. Ári síðar var holan lóðuð í blæstri nokkrum sinnum, á milli þess sem hún var látin blása upp í loftið í von um að hún hreinsaði sig. Í lóðunum 1989 kom högg á lóðið í um 670 m dýpi (ath. toppur á leiðara er á 633 m dýpi), en lóðið settist á 857 m dýpi. Þegar hert var að holunni þannig að toppþrýstingur hækkaði upp í 65 bör seig lóðið niður í 867-870 m. Við blástur upp í loftið barst nokkuð af gráleitum molum upp úr holunni, sem dreifðust um borplanið, vatn frá hljóðdeyfi var einnig gruggugt og á lóðinu sást grá drulla svipuð gráu molunum. (Grímur Björnsson o.fl. 1989). Sýni voru tekin af því sem upp kom og reyndist það vera leir, aðalega klórít (Ásgrímur Guðmundsson, munnlegar upplýsingar).

Auk lóðana og körfumælinganna þann 21. júní síðastliðinn var hola BJ-12 hita- og þrýstimæld með dýpi. Þrýstimælingin er sýnd á mynd 18 ásamt mælingu frá síðasta hausti úr holu BJ-11 og mælingum úr báðum holum strax eftir borun þeirra. Skilgreina þær mælingar þrýsting í jarðhitakerfinu (upphafsþrýsting) fyrir um 15 árum. Engin tók hafa verið á því að fylgjast með þrýstingi í kerfinu þar sem báðar holurnar hafa blásið nær stöðugt. Þrýstimælingin í holu BJ-11 haustið 1994 sýndi vatnsborð í holunni niður undir 400 m dýpi. Samanburður við upphafsþrýsting bendir hins vegar til allt að 20 bara niðurdráttar í dýpri æðum jarðhitakerfisins.

BJ-12

14 Aug 1995 BS
xy V1.0

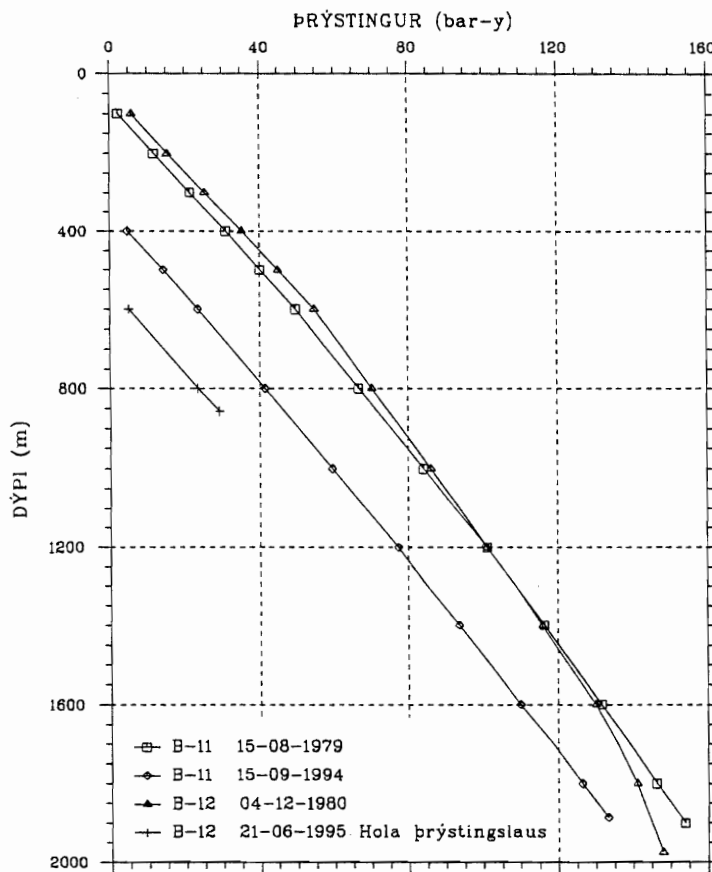


Staður: 58312 --> BJ-12 --> Námafjall - Bjarnarflog

Val-númer	Tegund	Svunta	Dags	Dýptarbil	Athugasemdir
1	Borkróna			0	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	Fóóring			0	52 470 mm þvermál (utanmál)
6	Fóóring			2	296 339.7 mm þvermál (utanmál)
7	Fóóring			2	687 244.5 mm þvermál (utanmál)
8	Fóóring			633	1957 177.8 mm þvermál (utanmál)
9	C=Vidd	199	1980-11-08	0	690 Fóóringardýpi. Málprógramm. Skotió
10	Ó-Götun	7684	1980-11-10	312.9	Um 15 tímum eftir steypingu.
11	Sest	6033	1980-12-08	1520	f upphitun eftir borun
12	Sest	7023	1988-10-03	859	Lóðun í blæstri
13	Sest	7024	1989-07-26	867	Lóðun í blæstri
14	Sest	16097	1995-06-21	678	Go-malir sest. Vatnsb. 550 m
15	Sest	16096	1995-06-21	855	135-mm karfa sest Vb. 550 m
16	Sest	16095	1995-06-21	856	110-mm karfa sest Vb. 550 m
17	Sest	16094	1995-06-21	859	30-mm lóð sest Vb. 550 m

Mynd 17: Ástand og frágangur holu BJ-12

Í holu BJ-12 reyndist vatnsborð vera á um 550 m dýpi þann 21. júní. Þrýstímælir stoppaði á 857 m eða heldur ofar en lóðið. Sýnir mælingin á mynd 18 um 35 bör niðurdrátt frá 1980, eða um 15 bör meiri niðurdrátt en fram kom í holu BJ-11 síðastliðið haust. Þess ber þó að geta að mælingin í holu BJ-12 er gerð aðeins nokkrum dögum eftir blástur, en í BJ-11 var mælt eftir um 3 mánaða hvíld. Ekki er vitað hversu mikil þrýstijöfnun verður við holur í Bjarnarflagi yfir sumarið en í Hvíthólum er jöfnunin um 12 bör, samanber myndir 12 og 13 hér að framan. Telja verður því að munurinn milli síðustu þrýstímælinga í BJ-11 og 12 sé fyrst og fremst vegna mismilangs tíma frá lokun holu eftir vinnslu.



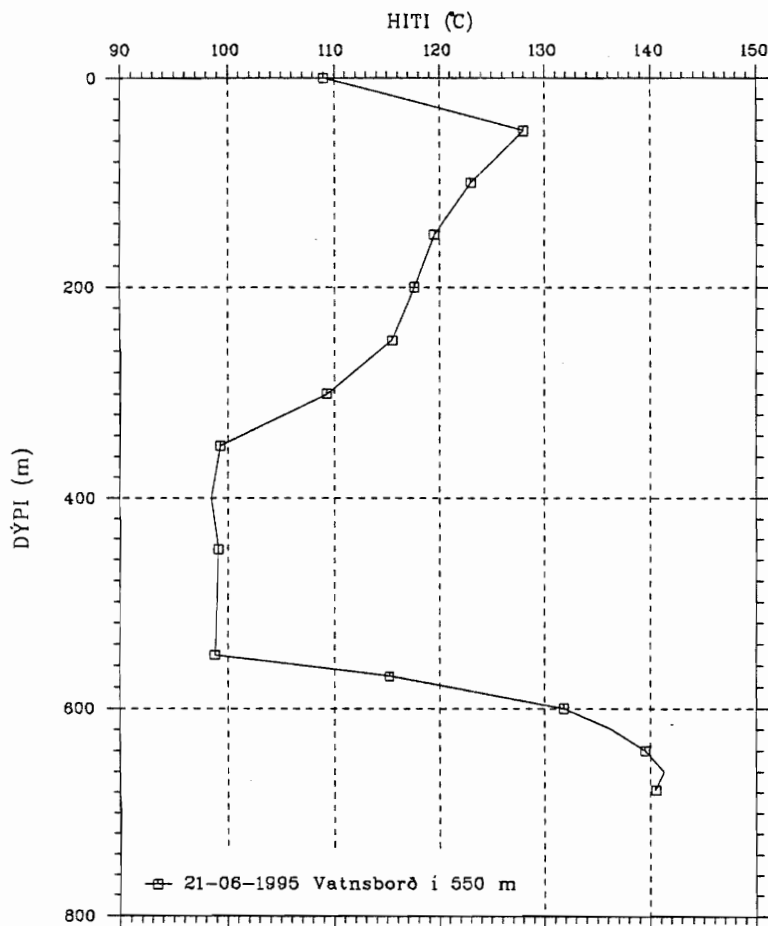
Mynd 18: Þrýstímælingar í holum BJ-11 og BJ-12.

Hitamælt var 21. júní með Ameradamæli, sem tekur við sér við 150°C. Mælirinn settist á 858 m dýpi, og sýndi hvergi hita yfir 150°C. Síðar um daginn var tekinn fram rafeindahitamælir (Go-mælir) og hiti mældur á 10-50 m fresti niður holuna (mynd 19). Holan hafði í millitíðinni staðið undir veituþrýstingi og var þrýstingnum hleypt af aðeins nokkrum mínútum fyrir mælingu. Ekki dugði veituþrýstingurinn, frekar en fyrri daginn, til að koma holunni í gos, en hins vegar hitnuðu efstu 300 m holunnar í allt að 130°C, eins og sést á mynd 19. Neðan 350 m er hiti um 100°C niður að vatnsborðinu á 550-560 m. Neðan vatnsborðs tekur við hækkandi hiti og fylgir hann suðumarki aðeins efstu 20-30 m. Hiti í 678 m dýpi var um 140°C en suðuhiti 120-130 m undir vatnsborði er tæplega 190°C. Er holan því fjarri suðu á þessu dýpi.

Go-hitamælirinn gekk greiðlega niður í leiðarann (633 m) en stoppaði síðan á 678 m dýpi og tókst ekki að koma honum neðar. Fyrr um daginn þegar holan var lóðuð og körfumæld varð ekki vart við neina fyrirstöðu á þessu dýpi. Hins vegar var í lóðunum 1989 talað um að högg hafi

komið á um 670 m dýpi. Það má því vera að þarna sé einhver skemmd á leiðaranum. Hún þrengir þó ekki mikið að holunni fyrst 5 ½"-karfa fer viðstöðulaust í gegn, en innanmál leiðarans er um eða innan við 6 ½".

14 Jul 1995 grb
L= 58312 Oracle



Mynd 19: Go-hitamæling í holu BJ-12.

Báðar hitamælingarnar frá 21. júní sýna að 140-150°C vatn seitlar inn í holu BJ-12. Ekki tókst að staðsetja innstreymisstaðinn nákvæmlega þar sem Go-hitamælirinn komst ekki nógu djúpt. Líklegt er þó að innstreymið sé einhvers staðar rétt neðan vinnslufóðringar (680 m). Volga vatnið streymir síðan niður holuna. Samkvæmt Ameradamælingunni er hiti undir 150°C við drullutappann í 859 m. Þetta bendir til þessa að rennslið haldi áfram niður holuna annað hvort í gegnum tappann eða það leiti utan með leiðaranum framhjá leirdrullunni og síðan áfram niður.

9. Ástand holu BJ-12 og jarðhitakerfisins í Bjarnarflagi

Þær ályktanir um ástand holu BJ-12 sem draga má af mælingum í holunni og upphleypingar tilraunum er eftirfarandi:

1. Frá 1988 hafi öll mælitæki og tól sest á 855-870 m dýpi í holu BJ-12. Fyrirstaðan virðist vera drullutappi, og hafa greiningar á molum sem bárust upp úr holunni 1989 reynst vera af leir (klórtít).
2. Drullutappinn hefur lítinn aðdraganda. Þannig stoppar 5 ½"-karfa nú á 855 m, en 1 ½"-lóð á 859 m dýpi. Ekkert er vitað um lengd tappans.
3. Þrátt fyrir að fyrirstaðan fylli nánast út í leiðarann (mælar með 1 ¼" þvermál stoppa), hefur ekki dregið úr afli holunnar (Trausti Hauksson og Jón Benjamínsson, 1994). Kemst rennsli að neðan annaðhvort í gegnum tappann, eða framhjá tappanum utan leiðarans.
4. Þrýstingur í holu BJ-12 mælist nú um 35 börum lægri en eftir borun holunnar haustið 1980. Þessi niðurdráttur er tilkominn vegna vinnslu holna BJ-11 og BJ-12. Reyndar er niðurdrátturinn í BJ-12 um 15 börum meiri en mældist í holu BJ-11 síðastliðið haust. Sú mæling var gerð 3 mánuðum eftir lokun BJ-11, en hola BJ-12 hafði aðeins verið lokuð í tæpar 2 vikur.
5. Mikill niðurdráttur í jarðhitakerfinu austan Krummaskarðs hefur orðið til þess að tiltölulega kalt grunnvatn sígur niður í kerfið, og seitlar nú tæplega 150°C inn í borholurnar neðan steyptra fóðringa á 600-800 m dýpi.
6. Þegar holunum er lokað nær 150°C vatnið yfirhöndinn og seitlar niður holurnar og kæfir þær. Fellur toppþrýstingur í núll á örfáum dögum. Samkvæmt hitamælingum virðist drullutappinn í holu BJ-12 ekki hindra niðurrennslið í holunni lokaðri frekar en upprennslið þegar holan blæs.
7. Breytt hegðun holna BJ-11 og BJ-12, við lokun, hefst upp úr árinu 1990 þegar æðar rétt undir fóðringu taka að renna niður holurnar og kæfa þær. Fyrir þann tíma byggðu botnæðarnar upp nægjanlega háan þrýsting til að fyrirbyggja innrennslið. Ef eingöngu er gert ráð fyrir að niðurrennslið sé lækkuðum þrýstingi botnæða að kenna, má ætla að þrýstiniðurdráttur sé hægvaxandi í Bjarnarflagskerfinu.
8. Nokkrar tilraunir voru gerðar til að ná holu BJ-12 í blástur að nýju. Holan hefur verið sett undir veituprýsting og látin standa þannig ýmist í skamman eða langan tíma. Allar tilraunirnar hafa mistekist. Holan puðrar af sér þrýstingnum á um mínútu og liggur síðan dauð. Meginástæðan er lágur hiti í holunni, og næst ekki að espa upp suðu í holunni með þessum ráðum.
9. Lágt vatnsborð (um 550 m) og að auki einhver þrenging við drullutappann á 859 m auðvelda heldur ekki upphleypingu, enda þótt niðurrennslið sé meginvandamálið.
10. Aðstreymi "kalds" grunnvatns í jarðhitakerfið í Bjarnarflagi austan Krummagjár er tilkomið vegna lakkandi þrýstings í jarðhitakerfinu vegna vinnslu, og kemst vatnið hugsanlega inn í kerfið um sprungur sem höggudust í umbrotunum í Bjarnarflagi. Kælingin hefur því verið í gangi í langan tíma enda þótt áhrif hennar séu fyrst að koma í ljós á

síðustu árum. Ljóst er að vinnsluholur sem boraðar verða í framtíðinni á þessu svæði verður að fóðra mun dýpra en gert var á sínum tíma með holu BJ-11 og BJ-12.

Hola BJ-12 stendur nú þrýstingslaus og er vatnsborð á rúmlega 550 m dýpi. Vatnsborð mun hins vegar hækka í sumar um sennilega 100-150 m vegna þrýstijöfnunar í jarðhitakerfinu. Þetta er þó tæpast nægileg hækkun vatnsborðs til að ná holunni í gos. Ákveðið hefur verið að hreinsa holuna og mun jarðborinn Narfi fara í verkið síðar í sumar. Eftir þá aðgerð reynir endanlega á hvort hægt sé að ná holunni aftur í gos.

10. Niðurstöður og umræða

Helstu niðurstöður borholumælinga í Kröflu og Bjarnarflagi eru þessar:

1. Hiti holu KJ-6 virðist haldast stöðugur milli sumars og vetrar. Það sýnir að vatnsborðsmælingar í holunni eru áreiðanlegur mælikvarði á þrýsting Efra-Leirbotnakerfisins á hverjum tíma.
2. Þrýstingur holu KJ-16 í Suðurhlíðum hefur staðið í stað í vetur. Það bendir til þess að haustþrýstingur eigi enn eftir að hækka frá því sem hefur mælst síðustu haust.
3. Langtímaviðbrögð Suðurhlíðakerfisins við vinnslu bera öll einkenni einsfasa vatnskerfis. Það er í ósamræmi við forsendur reiknilíkans frá 1982, sem afkastamat kerfisins byggir á. Full ástæða er til að endurskoða afkastamatið og kanna þannig hvort Suðurhlíðasvæðið standi undir meiri vinnslu en nú er talin möguleg.
4. Ástand holu KJ-21 í Hvíthólum, fyrstu dagana eftir lokun, stjórnast af botnæðum holunnar. Þær eru rúmlega 260 °C heitar og sjóða ekki. Æðarnar á 600-650 m dýpi eru hins vegar í ákafri suðu og taka við vatni úr botnæðunum a.m.k. fyrstu dagana eftir lok blásturs. Jarðhitakerfið í Hvíthólum virðist því tvískipt og er efri hluti þess í suðu en sá neðri ekki.
5. Töluverðar útfellingar eru komnar í holu KJ-21 á 660-850 m dýpi og hefur þverskurðarflatarmál holunnar skerst um helming af þeim sökum. Holan er hins vegar hrein ofan æðanna á 600-650 m, en þær gefa a.m.k. 2/3 af heildarrennslinu. Vatnið úr botnæðunum getur hins vegar soðið innan holu KJ-21. Skýrir það þá hví útfellingar eru komnar í holuna.
6. Talið er að 140-150 °C vatn seitli inn í holu BJ-12 þegar henni er lokað og kæfi holuna. Innstreymið á sér stað rétt neðan vinnslufóðringarinnar (680 m). Sama ástæða er fyrir köfnun holu BJ-11 við lokun.
7. Þá er skarpur útfellingatappi á 855 m dýpi í holu BJ-12. Hann virðist mjúkur og er talinn úr leir (klórít). Ekki tókst að koma neinum tölum niður úr tappanum. Afköst holunnar hafa hins vegar lítið breyst með tímanum og kemst rennslið því enn gegnum tappann og/eða utan með leiðaranum.
8. Töluverður niðurdráttur er í holu BJ-12 strax eftir lokun, eða um 35 bör. Hluti niðurdráttarins stafar af því hve skammt er liðið frá lokun, en líklega er ámóta niðurdráttur kominn í holu BJ-12 og mældist í holu BJ-11 haustið 1994 (≈ 20 bör).
9. Vaxandi niðurdráttur í austan Krummaskarðs kann að hleypa kaldara vatn niður í kerfið og valdið þannig kólnun æða a.m.k. niður á 600-700 m dýpi. Það skýrir þá jafnframt hví holur BJ-11 og BJ-12 kafna við lokun. Hæglækkandi þrýstingur botnæða er einnig hugsanleg skýring. Komi til frekari borana í Bjarnarflagi virðist nauðsynlegt að fódra mun dýpra en gert var á sínum tíma í holum BJ-11 og BJ-12.

Meginniðurstöður vormælinganna í Kröflu og Bjarnarflagi eru því að hita- og þrýstiástand Suðurhlíða virðist harla gott um þessar mundir, að Hvíthólasvæðið sé í "eðlilegu" ástandi miðað við árstíma utan að útfellingar eru komnar neðan til í holu KJ-21, og að lækkandi þrýstingur og kólnun grunnra æða valdi því að djúpu Bjarnarflagsholunnar kafni við lokun.

11. Heimildaskrá

- Benedikt Steingrímsson og Grímur Björnsson, 1990: *Krafla-Vinnslueftirlit. Borholumælingar 1990*. Orkustofnun, OS-90048/JHD-28 B, 48 s.
- Benedikt Steingrímsson og Grímur Björnsson, 1995: *Borholumælingar í Kröflu og Bjarnarflagi árið 1994*. Orkustofnun, OS-95024/JHD-17 B, 62 s.
- Grímur Björnsson, Guðlaugur Hermannsson og Benedikt Steingrímsson, 1989: *Krafla - eftirlit. Borholumælingar í júlí 1989*. Orkustofnun, OS-89061/JHD-31 B, 51 s.
- Guðmundur S. Böðvarsson og Karsten Pruess, 1982: *The Krafla Geothermal Field Progress Report on Modeling Studies*. Skýrsla, 63 s + myndir.
- Helga Túliníus og Ómar Sigurðsson, 1991: *KRAFLA Þrívíð hermun fyrir vinnslusvæði á Hvíthólum*. Orkustofnun, OS-91046/JHD-07, 37 s.
- Trausti Hauksson og Jón Benjamínsson, 1994: *Krafla og Bjarnarflag. Afköst borholna og efnainnihald vatns og gufu í borholum og vinnslurás í maí 1994*. Landsvirkjun, Kröflustöð, 62 s.