

LV-2013-072



Landsvirkjun



Þeistareykir

Afkastamat 2010-2012

LV-2013-072



Þeistareykir

Afkastamat 2010–2012



ÍSOR-2013/033

Verknr.: 13-0061

Júní 2013

Lykilsíða

Skýrsla LV nr.: LV-2013-072Dags: Júní 2013Fjöldi síðna: 49 +
viðauki

Upplag: 8

Dreifing: Birt á vef LV
 Opin
 Takmörkuð tilTitill: Þeistareykir. Afkastamat 2010–2012Höfundar/fyrirtæki: Þorsteinn Egilsson og Sigríður Sif GylfadóttirVerkefnisstjóri: Ásgrímur Guðmundsson f.h. LV Magnús Ólafsson f.h. ÍSORUnnið fyrir: Unnið af Íslenskum orkurannsóknnum fyrir Landsvirkjun

Samvinnuaðilar: _____

Útdráttur: Álagsprófun var gerð á Þeistareykjum frá hausti 2010 fram á sumar 2011. Tilgangurinn var m.a. að meta hve mikill þrýstingsniðurdráttur yrði í jarðhitakerfinu við nokkurra mánaða vinnslu, með margar holur í gangi í einu. Gufuholur á svæðinu voru settar í vinnslu eftir ákveðnu skipulagi og fylgst með afköstum þeirra þann tíma sem þær voru í vinnslu. Eftir að lokað var fyrir holurnar 2011 voru þær hita- og þrýstingsmældar reglulega til að fylgjast með þrýstingsuppbyggingu í þeim eftir blásturinn með það að leiðarljósi að geta metið breytingar á þrýstingi í jarðhitakerfinu vegna vinnslunnar. Vinnslutölur sem skráðar eru í ViewData-gagnagrunn Landsvirkjunar eru í mörgum tilfellum strjálar auk þess sem búnaður til aflmælinga var stundum í ólagi. Uppreiknuð heildarvinnsla á blásturstíma-bilinu er því vanmetin.

Álagsprófið sýnir að frá því að vinnsla hófst úr Þeistareykjaholum hefur orðið niðurdráttur í flestum þeirra miðað við metinn upphafsþrýsting kerfisins, allt frá því að vera enginn upp í allt að 9 bar, en vísbendingar eru um að hann sé sumstaðar ofmetinn. Vinnsla úr ÞG-5b hefur bein áhrif á þrýsting í holu ÞG-2 en í henni er siritandi þrýstingsmælir.

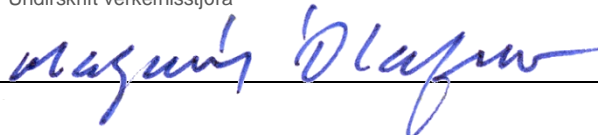
Lykilorð:

Jarðhitakerfi, borholur, þrýstingur, hiti, vermi, vatnsrennsli, gufurennslu, niðurdráttur, aflmælingar, Horner-plot, ÞG-1, ÞG-2, ÞG-3, ÞG-4, ÞG-5, ÞG-5b, ÞG-6, ÞG-7,

Gagnagrunnslyklar: 60401, 60402, 60403, 60405, 60605, 60406, 60407

ISBN nr.:**Samþykki verkefnisstjóra
Landsvirkjunar**

Undirskrift verkefnisstjóra



Yfirfarið af

BS, GAx

Efnisyfirlit

1	Inngangur	7
2	Heildarvinnsla	9
3	ÞG-1.....	12
4	ÞG-3.....	17
5	ÞG-4.....	22
6	ÞG-5b	27
7	ÞG-6.....	33
8	ÞG-7.....	36
9	Hita- og þrýstingsjöfnun eftir blástur	37
10	Vatnsborð í holu ÞG-2.....	43
11	Lokaorð.....	45
12	Heimildaskrá.....	47
	Viðauki: Minnisblöð.....	49

Töflur

Tafla 1.	Yfirlit um lokanir holna og mælingar í þeim eftir lokun.....	8
Tafla 2.	Yfirlit blásturstímabila fyrir holur á Þeistareykjum frá því hver þeirra var boruð.....	10

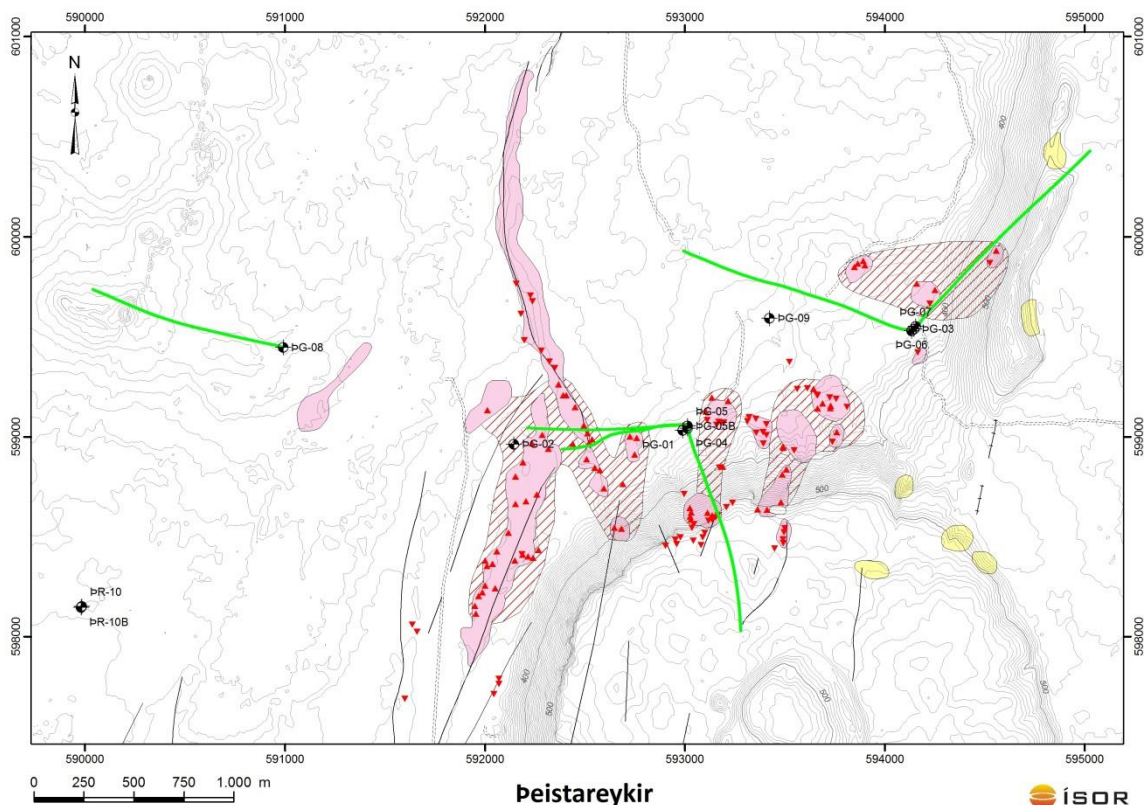
Myndir

Mynd 1.	Yfirlitsmynd af holum á Þeistareykjum.	7
Mynd 2.	Meðalvinnsla og meðalvarmaafli holna á Þeistareykjum yfir vinnslutímabil frá 2006–2012.....	11
Mynd 3.	Áætlað rafafslígildi vinnslu úr háhitaholunum á Þeistareykjum frá 2006–2012.	11
Mynd 4.	Hita- og þrýstingsmælingar í holu ÞG-1 í blæstri þann 9. júlí 2008 ásamt suðumarki fyrir mældan þrýsting og mati á berghita og upphafsþrýstingi.....	13
Mynd 5.	Hitamælingar í holu ÞG-1 eftir blástur 2010–2011.....	14
Mynd 6.	Þrýstingsmælingar í holu ÞG-1 eftir blástur 2010–2011	15
Mynd 7.	Hita- og þrýstingsmælingar í holu ÞG-1 eftir blástur 2010–2011 ásamt suðumarki fyrir mældan þrýsting og mati á berghita og upphafsþrýstingi.....	16
Mynd 8.	Aflmælingar á holu ÞG-1 á blásturstímanum 2010–2011.....	17
Mynd 9.	Hita- og þrýstingsmælingar í holu ÞG-3 í blæstri þann 11. júní 2008 ásamt suðuhita fyrir mældan þrýsting og mati á berghita og upphafsþrýstingi.....	18

Mynd 10. Hitamælingar í holu ÞG-3 eftir blástursprófið 2010–2011 ásamt síðustu mælingu fyrir prófið og berghitaferli.....	20
Mynd 11. Þrýstingsmælingar í holu ÞG-3 eftir blástursprófið 2010–2011 ásamt síðustu mælingu fyrir prófið og metnum upphafsþrýstingi.....	21
Mynd 12. Aflmælingar á holu ÞG-3 á blásturstímanum. Mælirörið að Pc-stútnum var stíflað frá október 2010 þar til skipt var um það í janúar 2011.	22
Mynd 13. Hita- og þrýstingsmælingar í holu ÞG-4 í blæstri þann 21. júní 2011 ásamt suðuhita fyrir mældan þrýsting og mati á berghita og upphafsþrýstingi.....	23
Mynd 14. Hitamælingar í holu ÞG-4 eftir blástursprófið 2010–2011 ásamt síðustu mælingu fyrir prófið og berghitaferli.....	25
Mynd 15. Þrýstingsmælingar í holu ÞG-4 eftir blástursprófið 2010–2011 ásamt síðustu mælingu fyrir prófið og metnum upphafsþrýstingi.	26
Mynd 16. Aflmælingar á holu ÞG-4 árin 2010 og 2011.....	27
Mynd 17. Hitamælingar í holu ÞG-5b eftir blástursprófið 2010–2011 ásamt síðustu mælingu fyrir prófið og berghitaferli.....	29
Mynd 18. Þrýstingsmælingar í holu ÞG-5b eftir blástursprófið 2010–2011 ásamt síðustu mælingu fyrir prófið og metnum upphafsþrýstingi.	30
Mynd 19. Hita- og þrýstingsmælingar í holu ÞG-5b í blæstri þann 9. júní 2011 ásamt suðuhita fyrir mældan þrýsting og mati á berghita og upphafsþrýstingi.....	31
Mynd 20. Aflmælingar á holu ÞG-5b árið 2011.	32
Mynd 21. Hitamælingar í holu ÞG-6 eftir blástursprófið 2010–2011 ásamt síðustu mælingu fyrir prófið.....	34
Mynd 22. Þrýstingsmælingar í holu ÞG-6 eftir blástursprófið 2010–2011 ásamt síðustu mælingu fyrir prófið.....	35
Mynd 23. Aflmælingar á holu ÞG-6 árin 2010 og 2011.....	36
Mynd 24. Afl- og toppþrýstingsmælingar á holu ÞG-7 eftir að hún fór í blástur 2012.	37
Mynd 25. Þrýstingsjöfnunarmælingar á 1500 m dýpi í ÞG-6 á Þeistareykjum á Horner-grafi.	38
Mynd 26. Þrýstingsjöfnunarmælingar á 1510 m dýpi í ÞG-5b á Þeistareykjum á Horner-grafi.	39
Mynd 27. Mældur þrýstingur á 1510 m dýpi í holu ÞG-5b sýnir að jöfnunarþrýstingur þar er nærri 112,3 bar-g.	40
Mynd 28. Þrýstingsjöfnunarmælingar á 1640 m dýpi í ÞG-4 á Þeistareykjum á Horner-grafi.	40
Mynd 29. Hitajöfnunarmælingar á 1500 m dýpi í holu ÞG-6 á Þeistareykjum á Horner-grafi.....	41
Mynd 31. Hitajöfnunarmælingar á 1640 m dýpi í holu ÞG-4 á Þeistareykjum á Horner-grafi.....	42
Mynd 32. Mældur hiti og reiknað vatnsborðs út frá þrýstingsmælingu í holu ÞG-2 ásamt handmældu vatnsborði.....	44

1 Inngangur

Álagsprófun á jarðhitakerfinu á Þeistareykjum hófst haustið 2010. Álagsprófinu er ætlað að veita frekari upplýsingar um viðbrögð jarðhitakerfisins við vinnslu og um eiginleika holna á svæðinu. Álagsprófið hófst í október 2010 þegar holum ÞG-1, ÞG-3, ÞG-4 og ÞG-6 var hleypt í blástur en holu ÞG-5b var hleypt upp í janúar 2011 (sjá holustaðsetningar á mynd 1). Holurnar fengu að blása fram á sumar og hófst lokun þeirra þann 30. maí þegar holum ÞG-1, ÞG-3 og ÞG-6 var lokað. Í kjölfarið var holu ÞG-5b lokað þann 9. júní og loks ÞG-4 þann 21. júní 2011. Eftir lokun holnanna hafa verið gerðar ítarlegar mælingar til að fylgjast með hita- og þrýstingsjöfnun holnanna. Þær hafa verið gerðar í samræmi við mælingaplan sem sett var saman snemma árs 2011 (Guðni Axelsson og Þorsteinn Egilson, 2011). Mælingaplanið er sýnt í töflu 1 en mælitörnum hafa verið gerð skil jafnóðum í minnisblöðum mælingamanna sem birt eru í viðaukum þessarar skýrslu. Eftir mælingar í ágúst 2011 var tekin saman greinargerð um niðurstöður þeirra mælinga sem þá hafði verið lokið við (Þorsteinn Egilson, 2011b). Mælingahrinu 17.–24. nóvember voru gerð skil í skýrslu í desember 2011 (Sigríður Sif Gylfadóttir, 2011). Dagana 27.–28. mars 2012 var hiti og þrýstingur í holum ÞG-1, ÞG-3 og ÞG-5b mældur og var farið yfir niðurstöður þeirra mælinga í greinargerð (Sigríður Sif Gylfadóttir, 2012).



Mynd 1. Yfirlitsmynd af holum á Þeistareykjum. Holuferlar skáboraðra holna eru sýndir með rauðu. Mikil jarðhitaummyndun er sýnd með bleiku en minni ummyndun með gulu. Hverir og gufuaugu eru merkt með rauðum þríhyrningum.

Tafla 1. Yfirlit um lokanir holna og mælingar í þeim eftir lokun. Fjöldi upphitunardaga fyrir hverja holu er innan sviga.

	ÞG-1	ÞG-4	ÞG-5b	ÞG-3	ÞG-6
30. maí 2011	Lokað			Lokað	Mæld í blæstri. Lokað. Mæld á 1500 m dýpi í 4,5 klst.
31. maí 2011	3" loki bilaður, engin mæling				Mæld. Mæld í 2,5 klst. á 1500 m dýpi
1. júní 2011	3" loki bilaður, engin mæling				Mæld (2d)
2. júní 2011				Mæld (3d)	
9. júní 2011	3" loki bilaður, engin mæling		Mæld í blæstri. Lokað. Mælir á 1510 m dýpi í 4 klst.		
10. júní 2011			Mæld. Mæld í 3 klst. á 1510 m dýpi		
15. júní 2011	Mæld (16d)		Mæld (6d)		
16. júní 2011				Mæld (17d)	Mæld (17d)
20. júní 2011	Mæld (21d)				
21. júní 2011		Mæld í blæstri Lokað. Mæld á 1640 m dýpi í 3 klst.			
22. júní 2011		Mæld. Mæld í 3,5 klst. á 1640 m dýpi			
23. júní 2011				Mæld (24d)	Mæld (24d)
24. júní 2011		Mæld (3d)			
25. júní 2011	Mæld (26d)		Mæld (16d)		
7. júlí 2011	Mæld (38d)				Mæld (38d)
3. ágúst 2011				Mæld (65d)	Mæld (65d)
5. ágúst 2011	Mæld (67d)	Mæld (45d)	Mæld (57d)		
17. nóv. 2011	Mæld (171d)		Mæld (161d)		
18. nóv. 2011				Mæld (172d)	Mæld (172d)
24. nóv. 2011		Mæld (159d)			
27. mars 2012	Mæld (302d)		Mæld (292d)		
28. mars 2012				Mæld (303d)	
3. júlí 2012	Mæld (313d)		Mæld (390d)		
4. júlí 2012				Mæld (401d)	

Í þessari skýrslu eru dregnar saman þær niðurstöður sem fengist hafa úr álagsprófinu. Skýrslan hefst á umfjöllun um blásturstímabil og heildarvinnslu úr holum á svæðinu. Þá eru hita- og þrýstingsmælingar sem gerðar hafa verið túlkaðar og aflmælingum á blásturstímanum gerð skil. Eftir að holum ÞG-4, ÞG-5b og ÞG-6 var lokað var fylgst með hita- og

þrýstingsuppbyggingu og er unnið úr þessum mælingum og reynt að meta niðurdráttinn í kerfinu eftir álagsprófið. Að endingu er fjallað um vatnsborðsmælingar í holu PG-2.

Aflmælingarnar sem liggja til grundvallar því afkastamati sem skýrslan fjallar um eru gerðar með sk. Russel-James aðferð (Grant og Bixley, 2011) þar sem holuvökvinn streymir inn í hljóðdeyfinn (gufuskiljuna) við eina loftþyngd. Aflmælingin byggist á tveimur óháðum mælistærðum, krítískum þrýstingi og vatnsflæði. Krítískur þrýstingur er þrýstingurinn við rörendann þar sem flæðið fer inn í hljóðdeyfinn þegar hraðinn á vökvaflæðinu er jafn hljóðhraðanum. Vatnsflæðið er metið með því að mæla vatnshæð í kari þar sem vatnið flæðir úr karinu í gegnum V-laga snið. Aðferðin hefur reynst vel og nákvæmni hennar hefur verið metin um 5%, bæði fyrir heildarflæði og heildarvermi (Grant og Bixley, 2011). Þó er vert að hafa í huga að aðferðin er mjög viðkvæm fyrir óvissu í mældri vatnshæð og því er mikilvægt að vanda til þeirrar mælingar. Sem dæmi um það þá er viðbótarvatnsrennslið við 5 cm vatnshæð, $\frac{\partial Q}{\partial h}(5\text{cm}) = 0,4 \text{ (l/s)/cm}$ og tilsvareandi viðbótarvatnsrennsli við 20 cm er 3,4 (l/s)/cm.

2 Heildarvinnsla

Þessi skýrsla fjallar um holur á Þeistareykjum sem voru boraðar á árunum frá 2002–2012 og fyrir utan álagsprófið 2010–2012, sem er meginumfjöllunarefnið hér, hafa holurnar verið láttnar blása um lengri og skemmri tíma þar fyrir utan. Venjan hefur verið að hleypa hverri holu upp eftir þriggja til sex mánaða upphitun eftir borun. Í töflu 2 eru blásturstímabil holnanna listuð og birtar vinnslutölur þeirra eins og þær eru skráðar í ViewData™ skráningarkerfi Landsvirkjunar. Við vinnslu þessarar skýrslu er gert ráð fyrir að þessi gögn séu eins rétt og verða má. Massatakan (M) er reiknuð með því að tegra heildarvinnsluna yfir einstök vinnslutímabil og meðalvinnslan (\bar{q}) er reiknuð út frá því:

$$M = \int_{t_1}^{t_2} q(t)dt \quad \text{og} \quad \bar{q} = \frac{1}{t_2-t_1} \int_{t_1}^{t_2} q(t)dt$$

Orkuvinnslan (E) er reiknuð með því að tegra yfir einstök vinnslutímabil margfeldi heildarvinnslu og heildarvermis og er uppgefið meðalafli (\bar{P}) reiknað út frá því:

$$E = \int_{t_1}^{t_2} q(t) \cdot H(t)dt \quad \text{og} \quad \bar{P} = \frac{1}{t_2-t_1} \int_{t_1}^{t_2} q(t) \cdot H(t)dt$$

Hér er því um að ræða heildarvarma sem tekinn hefur verið úr borholunum á Þeistareykjum og uppgefið meðalafli er varmaafli fyrir holurnar á umræddum vinnslutímabilum. Upplýsingarnar í töflu 2 um meðalvinnslu og meðalafli holnanna eru sýndar á mynd 2 en rétt er að taka fram að myndin sýnir einungis gögn frá árunum 2006–2012.

Í þeim gögnum sem ViewData™ skráningarkerfi Landsvirkjunar heldur utan um er massavinnslan reiknuð yfir í rafafli út frá gefnum forsendum. Rafaflið er reiknað út frá hámarksafli sem hægt er að fá miðað við inntaksþrýsting hverfils og eimsvalahitastig og það gildi er margfaldað með nýtnihlutfalli hverfils. Gildin taka mið af hönnunarforsendum Þeistareykjavirkjunar sem gera ráð fyrir ísentrópískri túrbínu. Þau gögn eru sýnd á mynd 3 og eru sett fram til að setja vinnsluna úr holunum í samhengi við væntanlega rafmagnsframleiðslu.

Tafla 2. Yfirlit blásturstímabila fyrir holur á Þeistareykjum frá því hver þeirra var boruð. Gögnin miðast við skráningu í ViewData™, skráningarkerfi Landsvirkjunar.

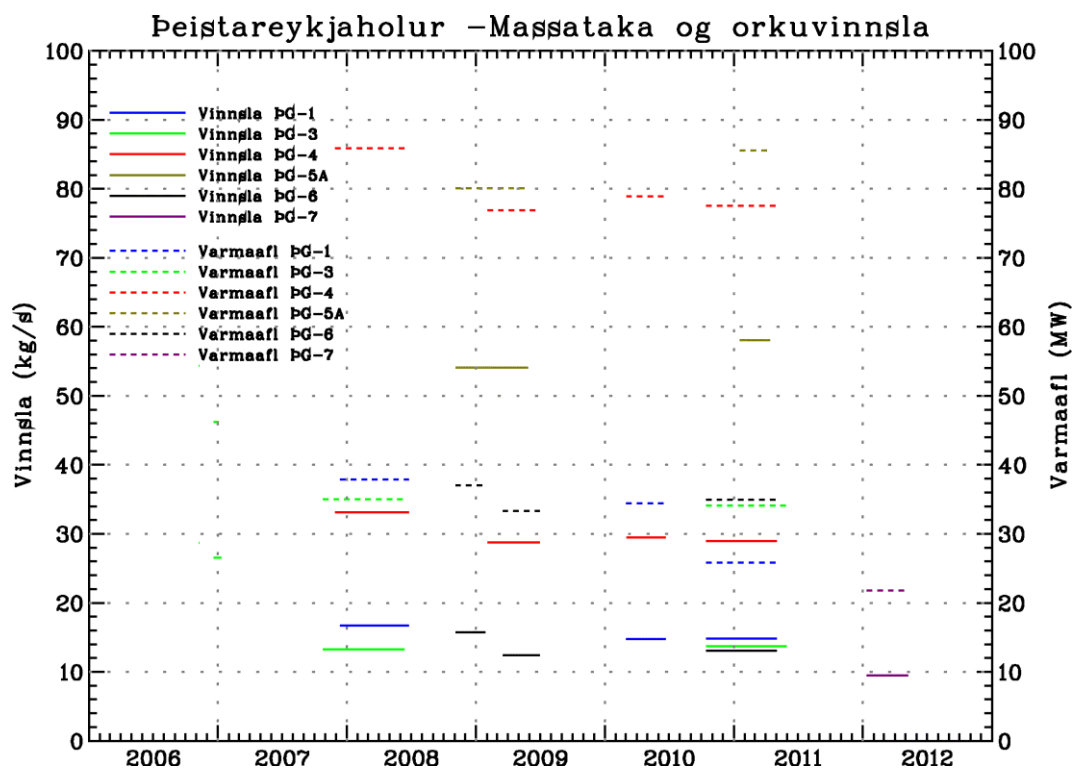
Hola	Vinnslutími	Massataka [tonn]	Meðalvinnsla [kg/s]	Orka [TJ]	Meðalafli [MW]
pG-1	23.10.2002-18.8.2003	415.000	16,0	929,0	35,9
	13.12.2007-24.06.2008	280.254	16,7	634,4	37,8
	02.03.2010-21.06.2010	141.778	14,7	330,5	34,4
	14.10.2010-30.05.2011	256.441	14,8	446,1	25,8 ¹
pG-3	08.11.2006	194	28,6	0,36	54,3
	19.12.2006-10.01.2007	50.071	26,5	87,0	46,2
	23.01.2007	590	19,7	1,1	37,9
	25.10.2007-11.06.2008	263.203	13,2	696	35,0
	14.10.2010-30.05.2011	269.745	13,6	672,7	34,1
pG-4	29.11.2007-24.06.2008	595.466	33,1	1542,5	85,8
	02.02.2009-30.06.2009	367.032	28,7	982	76,9
	02.03.2010-21.06.2010	282.836	29,4	756	78,9
	14.10.2010-02.05.2011	500.490	28,9	1339	77,5
	02.05.2011-21.06.2011 ²				
pG-5b	03.11.2008-28.05.2009	962.299	54,1	1424	80,0
	18.1.2011-02.05.2011	426.270	58,0	628	85,5
	02.05.2011-09.06.2011 ³				
pG-6	03.11.2008-27.01.2009	115.563	15,7	271	37,0
	17.03.2009-30.06.2009	112.813	12,4	301	33,3
	14.10.2010-02.05.2011	225.945	13,0	604	34,9
	02.05.2011-30.05.2011 ⁴				
pG-7	21.01.2012-08.05.2012	95.968	9,4	220	21,7

¹ Vanmetin orka vegna þess að krítiskur þrýstingur var ekki rétt skráður (stíflaður Pc-stútur).

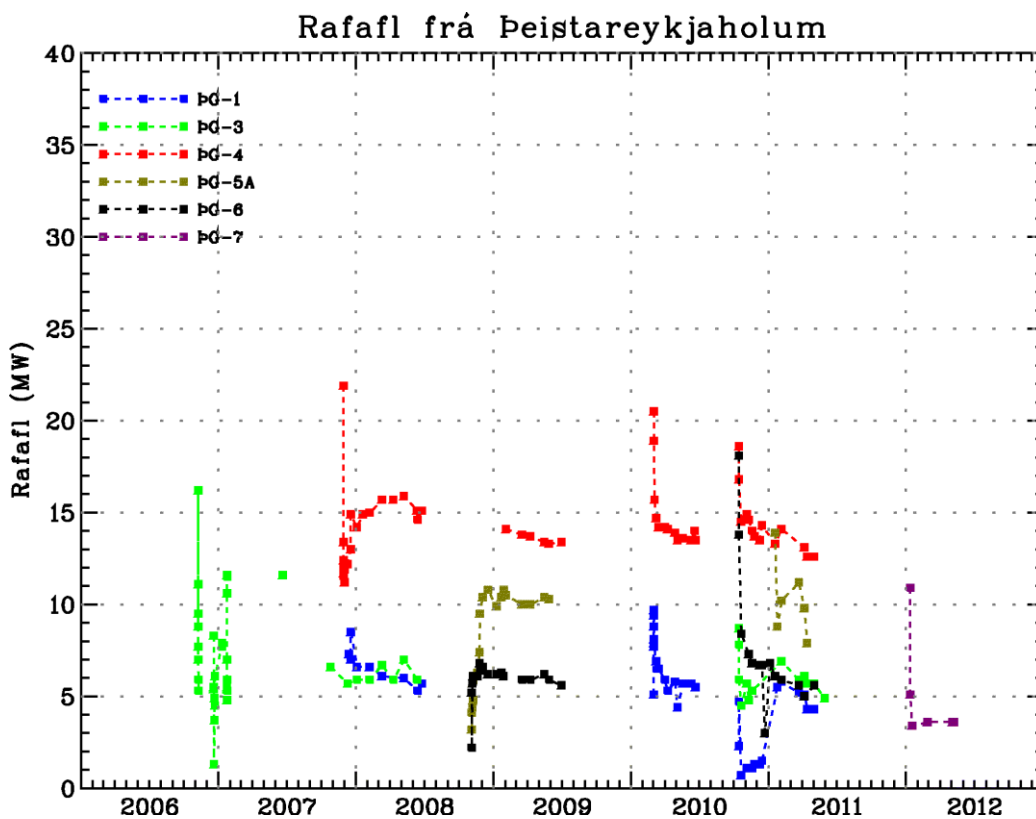
² Engar vinnslutölur skráðar í ViewData fyrir þetta tímabil.

³ Engar vinnslutölur skráðar í ViewData fyrir þetta tímabil.

⁴ Engar vinnslutölur skráðar í ViewData fyrir þetta tímabil.



Mynd 2. Meðalvinnsla og meðalvarmaafi holna á Peistareykjum yfir vinnslutímabil frá 2006–2012.



Mynd 3. Áætlað rafafisígildi vinnslu úr háhitaholunum á Peistareykjum frá 2006–2012. Gögnin, sem koma beint úr ViewData, miða við hönnunarforsendur Peistareykjavirkjunar.

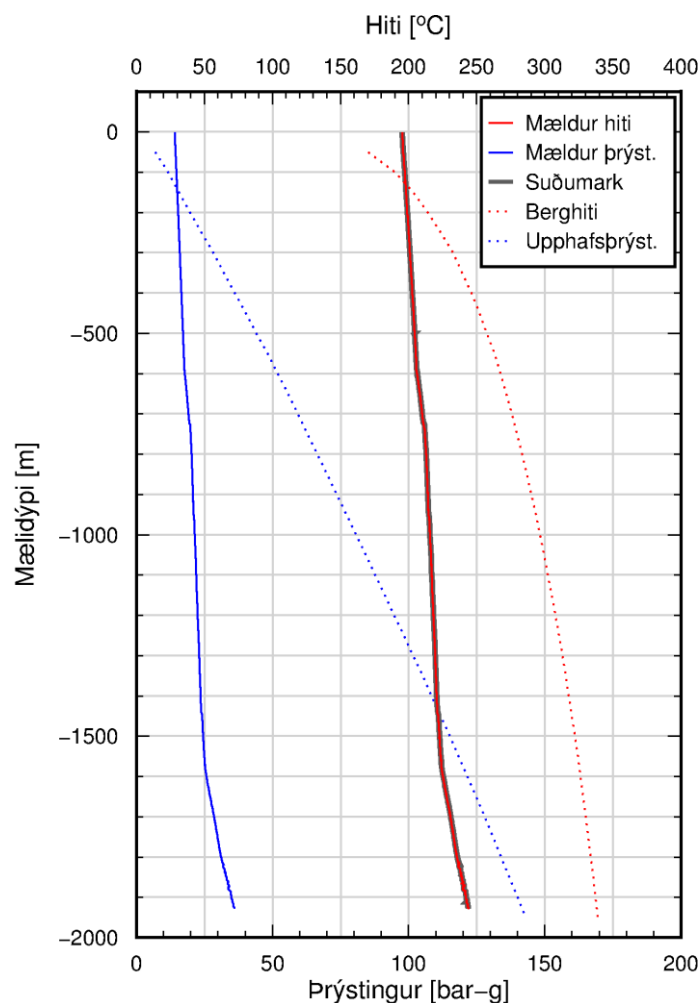
3 ÞG-1

Hola ÞG-1 var fyrsta djúpa rannsóknarholan sem boruð var á Þeistareykjum. Hún er við norðanvert Bæjarfjall, skammt suðvestur af sæluhúsinu, og var staðsett þar út frá yfirborðsrannsóknum á svæðinu sem gerðar voru á 8. og 9. áratug síðustu aldar. Vinna við borun holu ÞG-1 hófst í lok júní 2002 og borun lauk 9. september 2002 (Ásgrímur Guðmundsson o.fl., 2002). Í síðasta hluta borverksins var gert ádælingarpróf á holunni og sást í hita- og þrýstingsmælingum í tengslum við prófið móta fyrir æðum á 1240, 1350, 1420, 1530, 1620–1640, 1780 og 1910 m dýpi. Í umfjöllun um borun vinnsluhluta holunnar kemur fram að æðar sé að finna við 640, 710, 860–880, 1050, 1240, 1350 og 1620–1640 m og sjást vísbendingar um æðar í 1780–1800 og 1900–1910 m (Ásgrímur Guðmundsson o.fl., 2002). Að borverki loknu var holunni lokað og henni leyft að hitna fram til 22. október. Þrjár upphitunarmælingar voru gerðar og benda þær til þess að innstreymi sé úr æðum á 640, 700, 835 og 1000–1010 m dýpi og þar fyrir neðan streymir út í æðar en lítið af niðurrennslinu nær niður fyrir um 1600 m dýpi. Vendipunktur holunnar, þar sem holan er í þrýstingsjafnvægi við jarðhita-kerfið, er á 1300 m dýpi og var þrýstingurinn 101,8 bar á því dýpi (Þorsteinn Egilson o.fl., 2004; Þorsteinn Egilson o.fl., 2010).

Holan var sett í blástur 20. október og blés hún til 18. ágúst 2003. Engar hita- og þrýstingsmælingar voru gerðar meðan holan var í blæstri. Í byrjun blásturs var heildarrennsli úr holunni yfir 50 kg/s en fyrsta mánuðinn dalaði það hratt niður í um 16 kg/s og hélst nálægt því út blásturstímamann. Gufurennslið jókst lítillega í byrjun en hélst nokkuð stöðugt þar til holunni var lokað. Á sama tíma jókst vermið úr 1000 upp í um 2300 kJ/kg og hélst á bilinu 2200–2300 kJ/kg megnið af blásturstímanum, enda rennið gufuríkara þegar á leið vegna minnkandi vatnsrennslis. Vermi upp á 1000 kJ/kg svarar til 230°C, sem er svipaður hiti og mældist á 1000–1300 m dýpi í síðustu upphitunarmælingunni. Holan sauð í botn í blæstri. Aflferill holunnar reyndist vera dæmigerður ferill fyrir hávermisholur þar sem afköstin minnka hægt með vaxandi mótþrýstingi þar til holan er nánast fulllokuð.

Hita- og þrýstingsmælingar eftir að holunni var lokað sýndu að vatnsborð hélst nálægt 700 m dýpi í öllum mælingum. Hitinn var um og rétt yfir suðumarki fyrir mældan þrýsting í mælingunum rétt eftir lokun. Rúmlega ári eftir lokun sást hins vegar kæling frá rúmlega 1100 m dýpi niður í um 1650 m sem og við botn holunnar. Mælingar á þrýstingsjöfnun holunnar eftir blásturinn 2002–2003 voru notaðar til að meta lokaþrýsting á 1300 m dýpi með aðferð Horners og reyndist hann vera nærri 93,2 bar. Bendir það til þess að ári eftir lokun holunnar hafi niðurdrátturinn verið rúm 8 bar (Þorsteinn Egilson o.fl., 2004; Þorsteinn Egilson, 2011a).

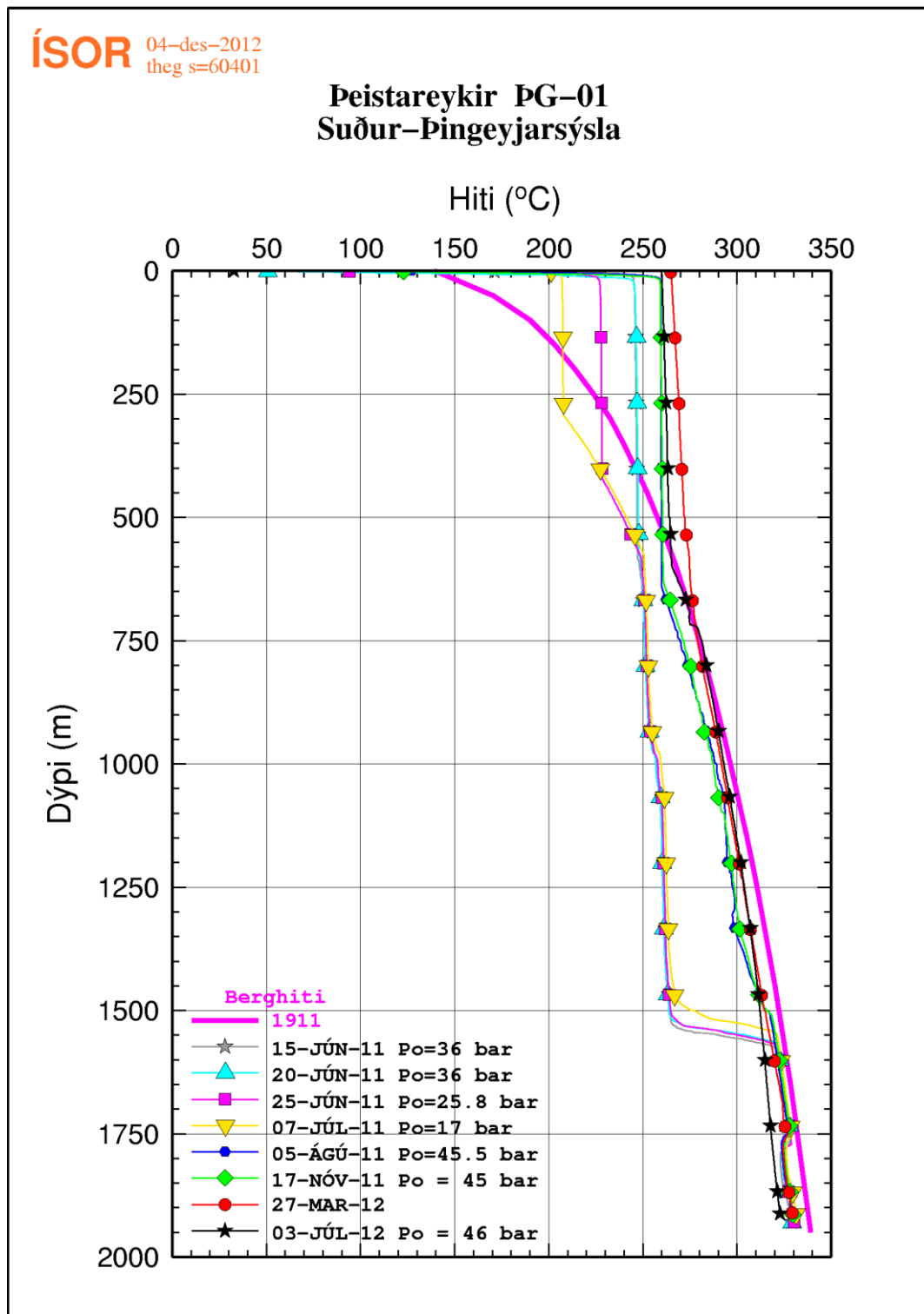
Hola ÞG-1 var aftur sett í blástur 13. desember 2007 og látin blása til 9. júlí 2008. Frá þessu blásturstímabili er til hita- og þrýstingsmæling í holunni í blæstri, sýnd á mynd 4. Hún var gerð rétt áður en holunni var lokað eftir 7 mánaða blástur. Vökvinn í holunni er alls staðar á suðumarki og sýður holan sig í botn í blæstrinum. Breytingar á þrýstingsstigli á um 600, 730 og 1600 m dýpi benda til æða á þessum stöðum. Æðin á um 1600 m dýpi gefur vökva með herra gufuhlutfalli (þrýstingsferill verður brattari) en æðin í 730 m gefur votari tvífasa vökva.



Mynd 4. Hita- og þrýstingsmælingar í holu ÞG-1 í blæstri þann 9. júlí 2008 ásamt suðumarki fyrir mældan þrýsting og mati á berghita og upphafsprýstingi. Mældur hitaferill fellur saman við suðumarksferil.

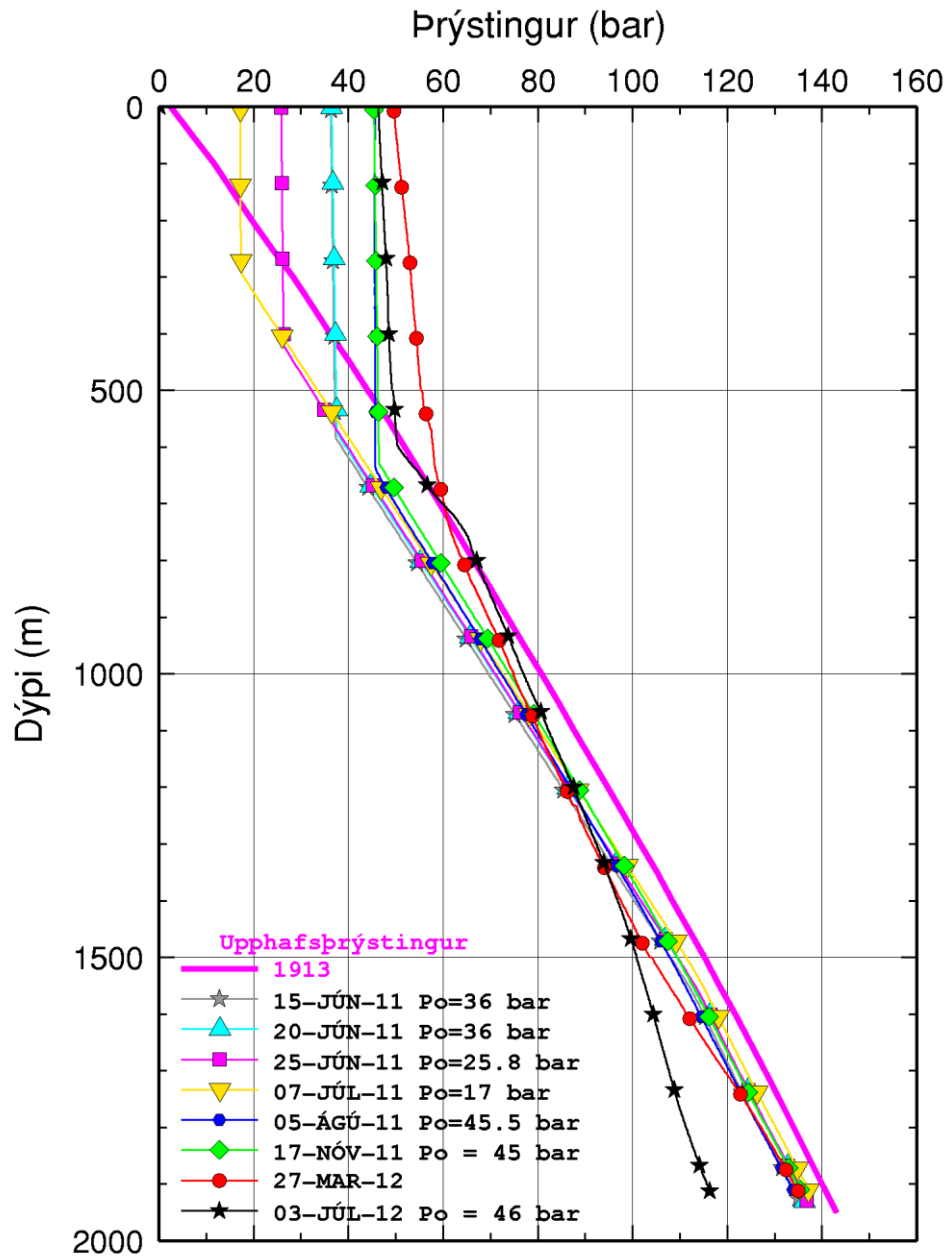
Holu ÞG-1 var hleypt í blástur 14. október 2010 og lokað 30. maí 2011. Hiti og þrýstingur í holunni var mældur átta sinnum á tímabilinu frá 15. júní 2011 til 3. júlí 2012. Engar hita- og þrýstingsjöfnunarmælingar voru gerðar í holunni í tengslum við lokunina. Slíkar mælingar voru gerðar eftir að henni var lokað sumarið 2008 (Þorsteinn Egilson, 2011a) og ekki eru til mælingar úr ÞG-1 í blæstri úr afkastaprófinu 2010–2012. Myndir 5 og 6 sýna hita- og þrýstingsmælingar í holunni sem gerðar hafa verið í tengslum við álagsprófið ásamt metnum berghita og upphafsprýstingi. Rétt eftir lokun sést kæling í holunni á 600–1500 m dýpi. Í mælingunni sem gerð var í ágúst 2011 er kælingin svo gott sem horfin og vatnsborðið hefur færst niður á um 650 m dýpi. Holan var sett á blæðingu í janúar 2011. Hita- og þrýstingsmælingin frá 27. mars 2012 sýnir að vökvinn í holunni er á suðumarki frá vatnsborði niður í um 1750 m en undir því neðan þess. Hallinn á þrýstingsferlinum neðan 1500 m sýnir að þrýstingurinn er hydrostatískur á því bili. Ofan þess minnkar hallinn sem bendir til herra hlutfalls gufu/gass. Í mælingunni frá 3. júlí 2012 lítur út fyrir að blæðingin sé orðin kröftugri. Vökvinn í holunni er á suðumarki niður í botn og hallatalan á þrýstingsferlinum neðan 1500 m dýpis er um 0,033 bar/m, eða töluvert undir gildinu fyrir hreint vatn sem við þessar aðstæður ætti að vera frá 0,065–0,07 bar/m vegna herra gufuhlutfalls.

Þrýstingur í 1300 m í þessari mælingu reyndist um 92,3 bar sem er 9,3 bar lækkun frá metnum upphafsþrýstingi á þessu dýpi í holu PG-1.

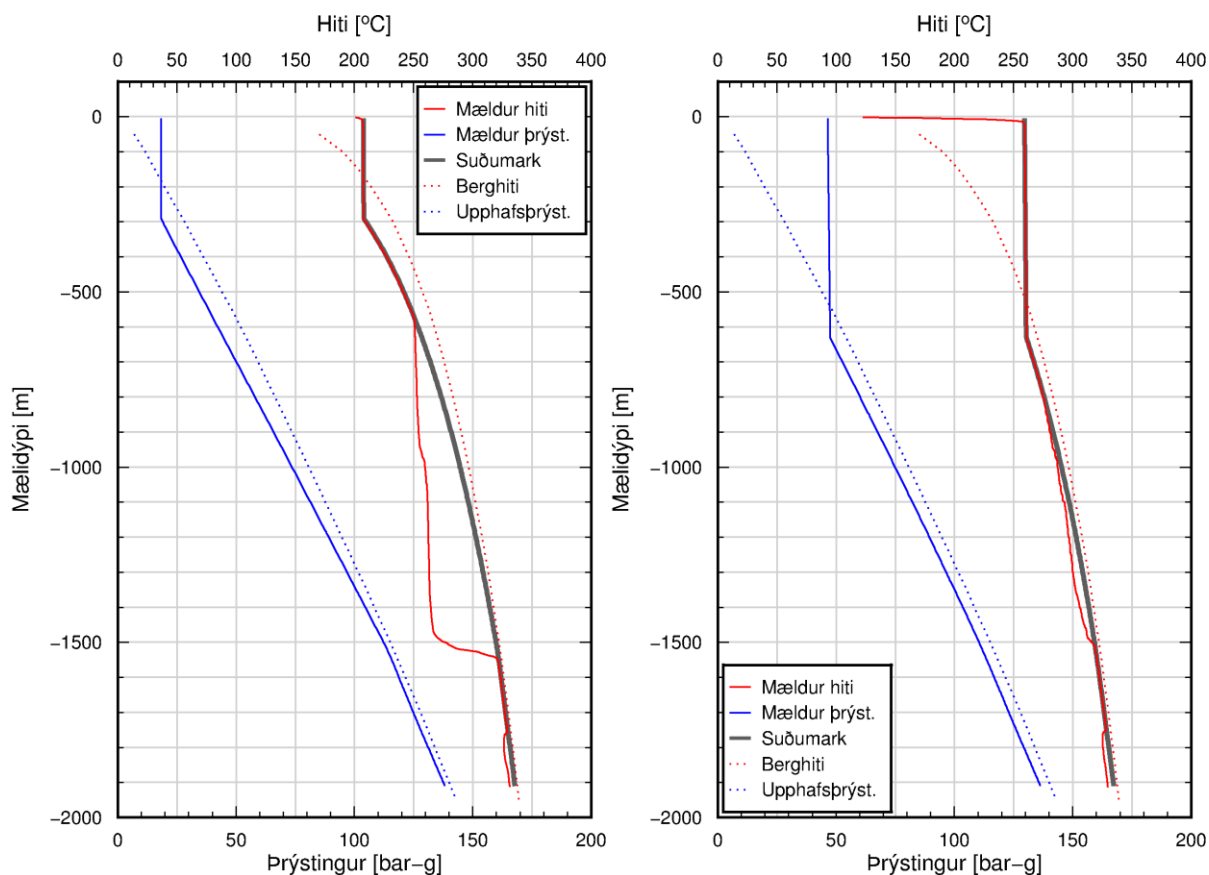


Mynd 5. Hitamælingar í holu PG-1 eftir blástur 2010–2011. Metinn berghiti er sýndur með bleikri, þykkri línu.

Peistareykir PG-01
Suður-Píngeyjarsýsla



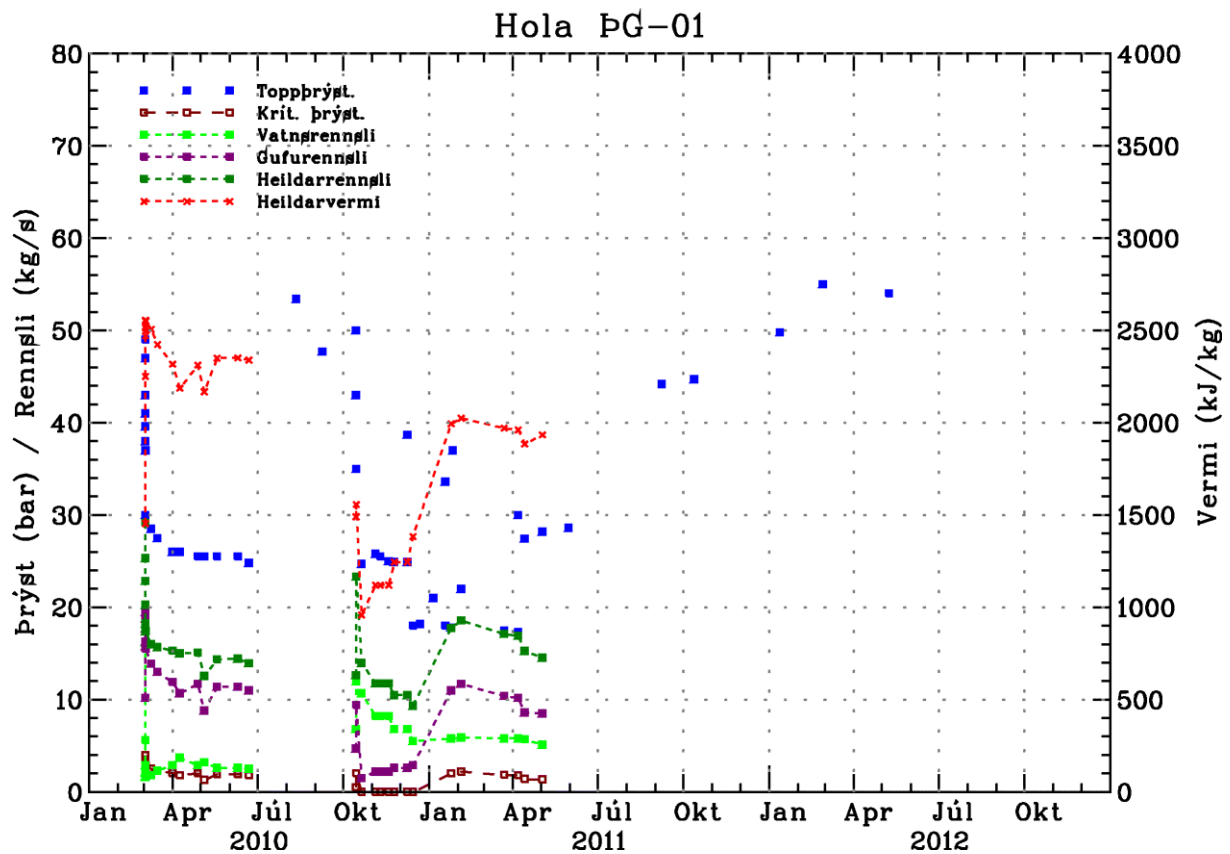
Mynd 6. Prýstingsmælingar í holu PG-1 eftir blástur 2010–2011. Metinn upphafsprýstingur er sýndur með bleikri, þykkri línu.



Mynd 7. Hita- og þrýstingsmælingar í holu ÞG-1 eftir blástur 2010–2011 ásamt suðumarki fyrir mældan þrýsting og mati á berghita og upphafsþrýstingi. Mælingarnar eru frá 7. júlí og 17. nóvember 2011.

Valdar hita- og þrýstingsmælingar frá 2011–2012 eru sýndar á mynd 7 ásamt suðumarkshita reiknuðum út frá mældum þrýstingi. Sex vikum eftir lokun (mæling 07/07/2011) sést kæling frá 600 m til rúmlega 1500 m dýpis sem á rót sína í því hversu lágur þrýstingurinn er ofan til í holunni eftir blásturinn. Vökvi sem kemur inn um æð í um 600 m rennur niður holuna, blandast innflæði í um 950 m og rennur loks út í æðina á 1530 m dýpi. Einnig sést kæling í botni holunnar. Rúmlega fimm og hálfum mánuði eftir lokun (mæling 17/11/2011) hefur þrýstingurinn ofan til í holunni hækkað og áhrif kælingarinnar minnkað til muna vegna tregara innflæðis í holuna.

Á blásturstímabilinu voru gerðar reglulegar aflmælingar sem sýndar eru á mynd 8. Í athugasemdum sem skráðar eru í ViewData kemur fram að Pc-stútur hafi verið stíflaður frá október og fram í desember 2010 og er þá líklegast átt við rörið sem tengir þrýstingsmælinn við op rörsins þar sem vökvaflæðið þeytist inn í vatns/gufu-skiljuna (hljóðdeyfinn). Samkvæmt skráningu var þetta lagfært í janúar 2011. Aflmælingar frá október og út desember 2010 eru því að öllum líkindum að sýna nokkru minni vinnslu en hún var í raun á þessu tímabili. Ekki síst á þetta við um mælingar á vermi rennisins. Á þeim hluta blásturstímans sem búnaður var í lagi mældist vermið frá 1900–2000 kJ/kg og fór ívið lökkandi eftir því sem á leið. Þetta er lægra vermi en mældist í blæstri 2002–2003 þegar það var milli 2200 og 2300 kJ/kg. Gufurennslíð fór hægt lökkandi með tíma en gufuhluti rennisins úr holunni var þó í kringum 60% (fór úr 62% í 58%). Vinnslutölurnar í töflu 2 verður að skoða með ofangreindar athugasemdir í huga.



Mynd 8. Aflmælingar á holu ÞG-1 á blásturstímanum 2010–2011. Mælirörið að Pc-stútnum var stíflað frá október 2010 en skipt var um það í janúar 2011.

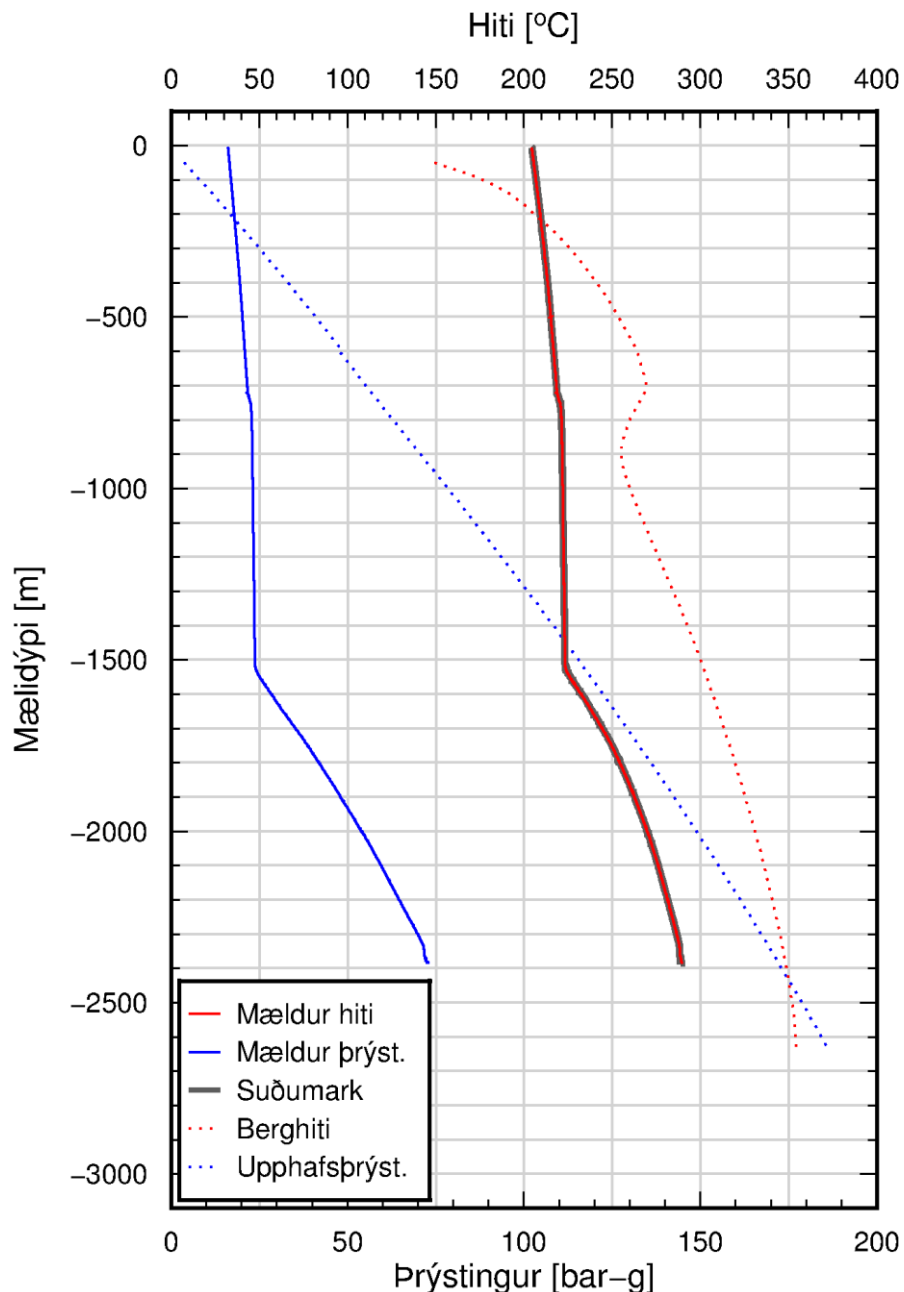
4 ÞG-3

Vinna við borverk holu ÞG-3 hófst 8. ágúst 2006 og lauk eftir þreppróf þann 28. september 2006 (Sigurjón Böðvar Þórarinsson o.fl., 2006a). Holan er staðsett við hlíðar Ketilfjalls um 1,3 km norðaustan við holu ÞG-1. Hitamælingar sem gerðar voru í þrepprófi í lok borunar benda til æða á 800–900, 1100, 1200, 1600–1700, 1900 og 2100 m dýpi (Sigurjón Böðvar Þórarinsson o.fl., 2006b). Eftir þreppróf var holunni lokað og henni leyft að hitna fram til 8. nóvember 2006 þegar hún var sett í blástur. Tvær upphitunarmælingar voru gerðar, eftir 6 og 27 daga upphitun. Í þeirri fyrri fór hitinn neðan 2000 m dýpis langt yfir suðumarkshita fyrir mældan þrýsting. Í seinni mælingunni hafði hitinn lækkað undir suðumark og sjá mátti æðar á 800, um 1000 og 1900 m dýpi. Neðan 2000 m dýpis var ljóst að borað hafði verið inn í mjög þétt og heitt berg sem er ástæða þess að hitinn sem mældist í holunni var langt umfram suðumark. Vendipunktur þrýstings í holunni í upphitun reyndist vera rétt neðan fóðringar á um 800 m dýpi, sem bendir til lítillar lektar neðan til í holunni en áðælingarstuðull hennar mældist 3–4,5 (l/s)/bar í þrepprófi við borlok (Sigurjón Böðvar Þórarinsson o.fl., 2006b).

Fyrsta tilraun til upphleyppingar á holu ÞG-3 var gerð 8. nóvember 2006 en hún hélt ekki vinnslu og var dauð daginn eftir. Holunni var síðan komið í blástur 19. desember 2006 og var lokað fyrir hana 10. janúar 2007. Því næst blés hún dagspart 23. janúar 2007 (sýnatökuferð)

en nokkurrar óreglu gætti í hegðun holunnar til að byrja með. Vermið rokkaði milli 1300 og 2670 kJ/kg.

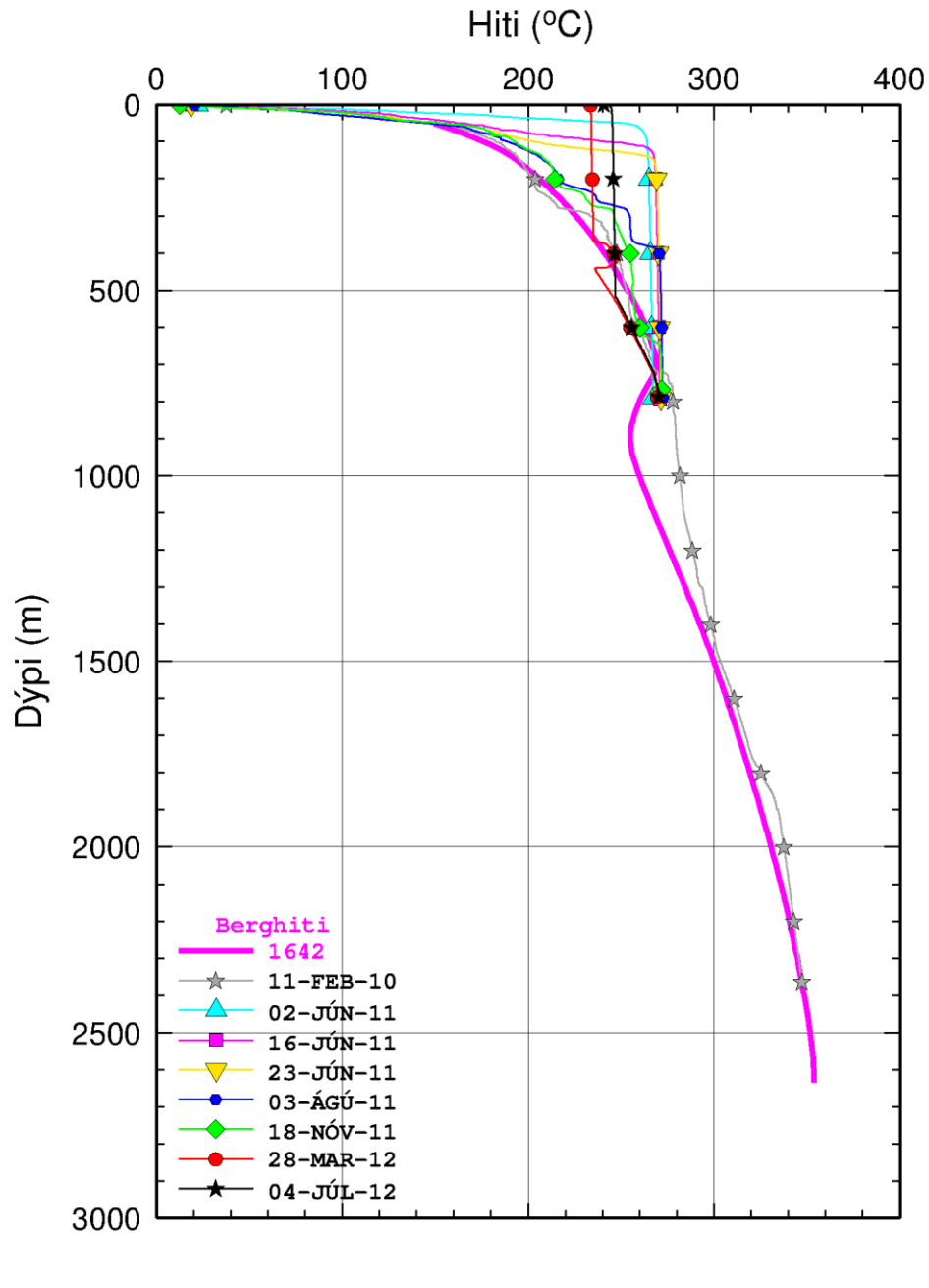
Næsta blásturstímabil holunnar var frá seinni hluta október 2007 fram til fyrri hluta júní 2008. Á þeim tíma hélst vermið yfir 2600 kJ/kg og gufuhluti rennisins yfir 90% í flestum mælingum. Rétt fyrir lokun var holan mæld í blæstri og eru niðurstöður þeirra mælinga sýndar á mynd 9 ásamt metnum berghita og upphafsþrýstingi og suðuhita fyrir mældan þrýsting. Holan sýður niður á rúmlega 1500 m dýpi en neðan þess er vökvinn tvífasa blanda vatns og gufu við suðumark. Hallatala þrýstingsferilsins minnkar með dýpi, sem bendir til aukins gufuhluta neðar í holunni.



Mynd 9. Hita- og þrýstingsmælingar í holu ÞG-3 í blæstri þann 11. júní 2008 ásamt suðuhita fyrir mældan þrýsting og mati á berghita og upphafsþrýstingi.

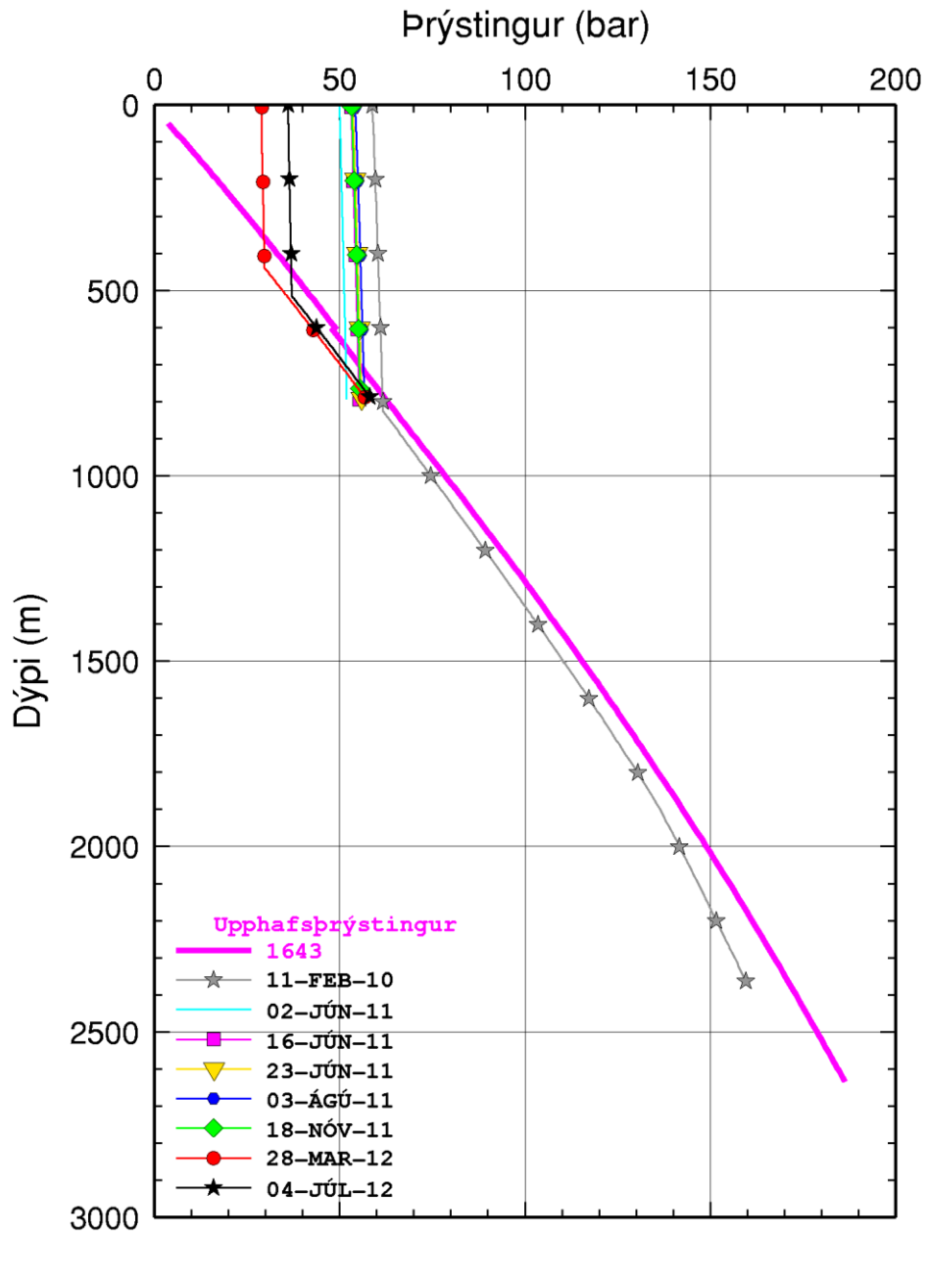
Síðasta blásturstímabil holu ÞG-3 hófst 14. október 2010 og lauk með lokun holunnar 30. maí 2011. Engar hita- og þrýstingsjöfnunarmælingar voru gerðar í holunni í beinu framhaldi af lokun, enda voru slíkar mælingar gerðar eftir að henni var lokað sumarið 2008 (Þorsteinn Egilson, 2011a). Fylgst var hins vegar með jöfnun holunnar með reglulegum hita- og þrýstingsmælingum næstu mánuðina og var fyrsta mælingin gerð 2. júní 2010, þremur dögum eftir lokun. Í ljós kom að fyrirstaða er í holunni á tæplega 800 m dýpi og reyndist því ekki unnt að mæla holuna dýpra í mælitörnum 2011–2012. Sýni úr fyrirstöðu var tekið og efnagreint og reyndist það vera leir af tegundinni klórit ásamt járn. Helsta æð holunnar er á um 800 m dýpi og er því líklegt að leirinn hafi skolast úr henni við blástur holunnar (Anette K. Mortensen og Steinþór Niésson, 2011). Lauslegt mat á niðurdrætti eftir blásturinn 2010–2011 er fengið með því að bera mælingar frá 11. febrúar 2010 og 4. júlí 2012 saman við upphafsþrýstingsferilinn. Áður en hola ÞG-3 stíflaðist voru þrýstingsjöfnunarmælingar gerðar á 1200 m dýpi en á því dýpi mældist 4,7 bar niðurdráttur m.v. upphafsþrýstinginn. Í síðustu mælingu úr holunni mældist um 4,3 bar niðurdráttur við stíflutappann á 787 m dýpi. Sjö hita- og þrýstingsmælingar hafa verið gerðar í holunni frá lokun hennar 30. maí 2011 og eru þær sýndar á myndum 10 og 11. Rétt eftir lokun sést greinileg gufa og gas í holunni niður á fyrirstöðuna í 800 m og er hitinn stöðugur í kringum 270°C. Tveimur mánuðum eftir lokun færast hitinn nær metnum berghita en þrýstingsferlar sýna að gufutappinn, sem liggur ofan á vatnsúlunni í holunni, nær niður á 400–500 m dýpi í síðustu mælingum. Holan var sett á blæðingu í janúar 2012 og féll toppþrýstingur og þar með þrýstingurinn í gas/gufupúðanum ofan til í holunni um og yfir 20 bar í kjölfarið. Á hitamælingunni frá því í mars 2012 má sá sérkennilegan topp neðst í gufupúðanum (380–450 m dýpi) en hann stafar líklegast af því að neðst í loftsulunni er hlutfallslega meiri gufa en ofar sé loftið gasríkara.

Þeistareykir PG-03 Suður-Þingeyjarsýsla

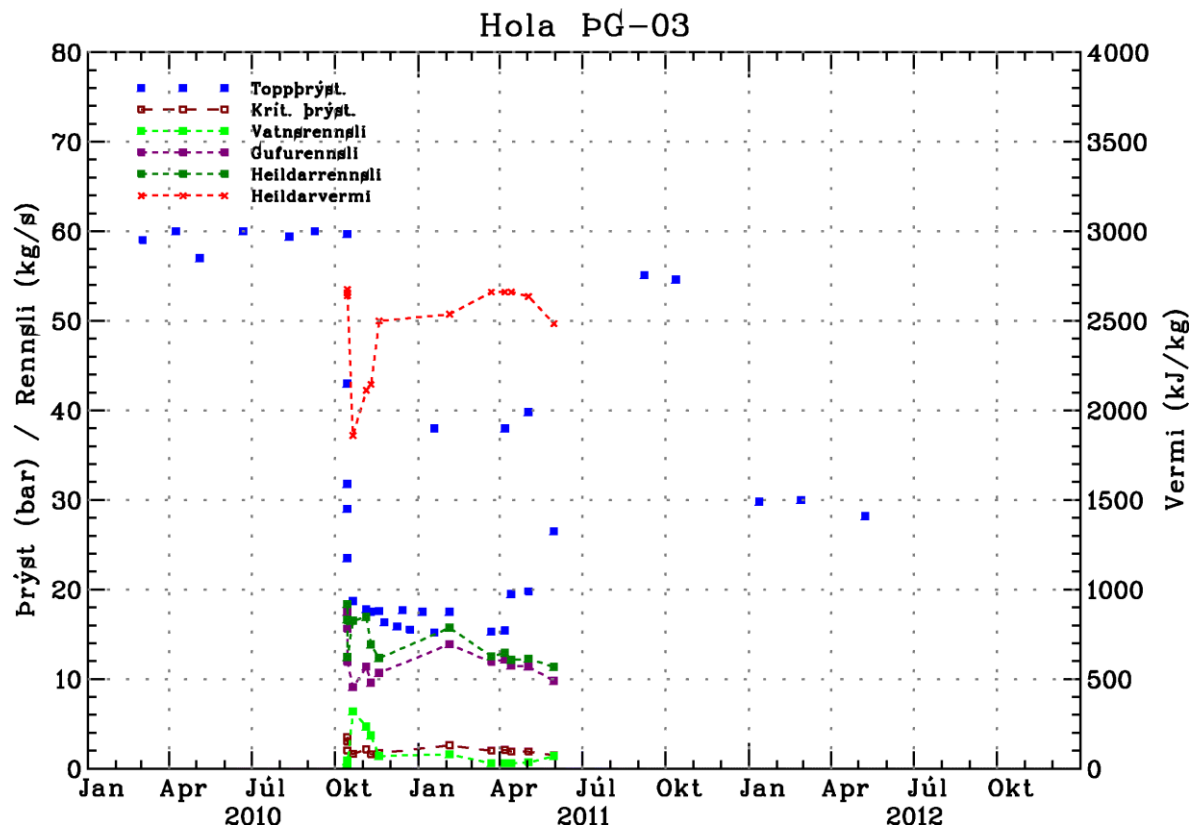


Mynd 10. Hitamælingar í holu PG-3 eftir blástursprófið 2010–2011 ásamt síðustu mælingu fyrir prófið og berghitaferli.

Peistareykir PG-03 Suður-Þingeyjarsýsla



Mynd 11. Þrýstingsmælingar í holu PG-3 eftir blástursprófið 2010–2011 ásamt síðustu mælingu fyrir prófið og metnum upphafsprýstingi.



Mynd 12. Aflmælingar á holu ÞG-3 á blásturstímanum. Mælirörið að Pc-stútnum var stíflað frá október 2010 þar til skipt var um það í janúar 2011.

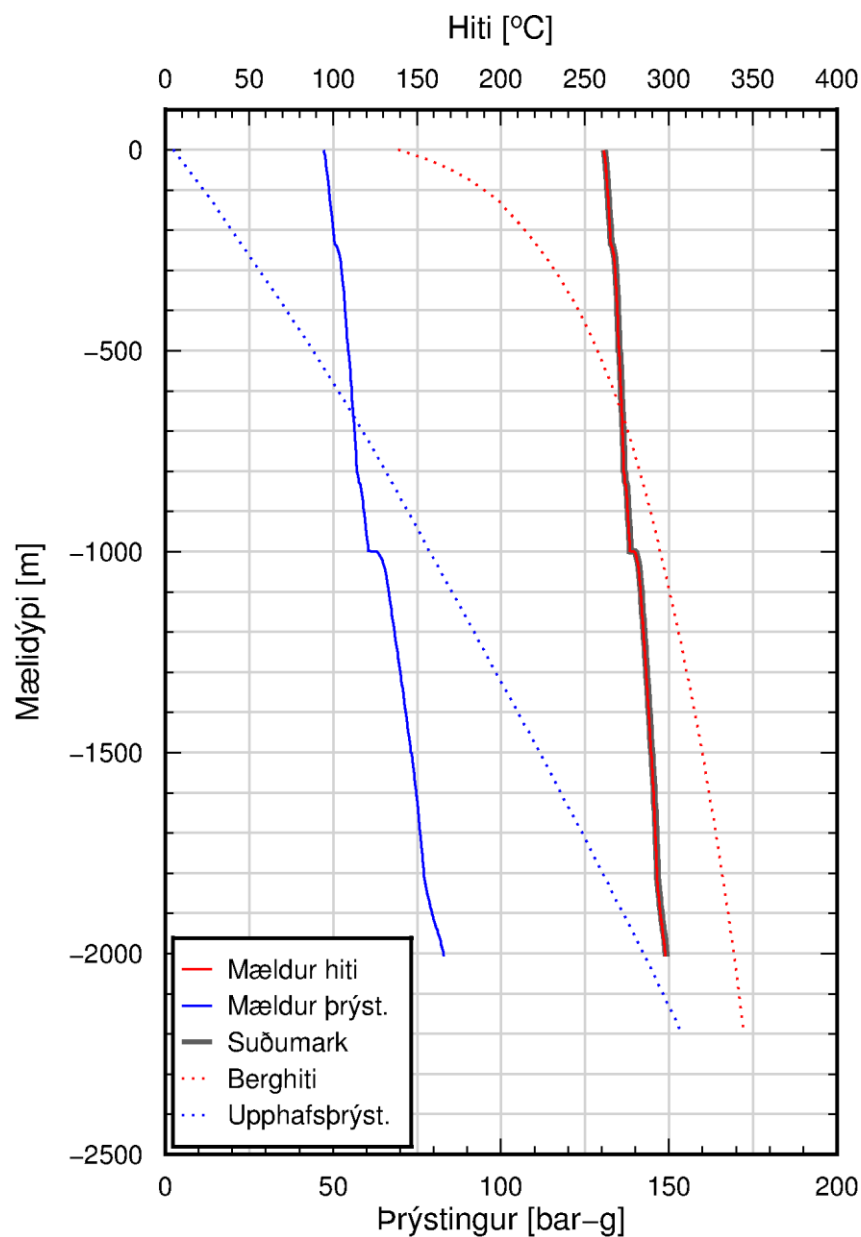
Reglulegar aflmælingar voru gerðar á blásturstímanum og má sjá niðurstöður þeirra á mynd 12. Fyrri hluta tímabilsins, október 2010 til janúar 2011, var mælirörið frá Pc-stútnum að þrýstingsmælinum stíflað en um það var skipt í janúar 2012. Miðað við mælingar eftir þann tíma reyndist vermið haldast nokkuð stöðugt í kringum 2600 kJ/kg og gufuhluti rennisins var því um og yfir 90% og ekki er ástæða til að ætla annað en svo hafi verið frá upphafi. Þó ber að hafa í huga að vinnslutölurnar sem birtar eru í töflu 2 eru teknar beint úr ViewData gagnavörslukerfi Landsvirkjunar.

Á mynd 12 sést að frá janúar 2011 og þar til holunni var lokað dalar vinnslan um 1,5 (kg/s)/mán. og að mestur hluti þess er minnkað gufuflæði. Vitað er að holan lóðast ekki niður fyrir 790 m og athuganir benda til að hindrun vökvaflæðis úr holunni sé af völdum útfellinga en staðfest er að um útfellingar er að ræða uppi í vinnslufóðringunni (Annette K. Mortensen og Steinþór Níelsson, 2011).

5 ÞG-4

Borverk við holu ÞG-4 hófst 7. júlí 2007 og lauk borun 25. ágúst 2007. Í kjölfarið fór fram þrepprófun á holunni þann 28. ágúst en eftir það var holan örvuð og henni loks lokað (Bjarni Richter o.fl., 2007). Æðar sem greindar voru við borun og í þreppadælingu eru á um 910, 1030, 1600, 1740, 1900, 1942, 2032 og 2045 m dýpi. Eftir borun var ÞG-4 mæld þrisvar í upphitun. Í þeim mælingum sjást helstu æðar á um 800, 1450, 1600, 1750 og 1840 m dýpi og reyndist vendipunktur þrýstings vera á um 1635 m dýpi. Holunni var hleypt upp í lok

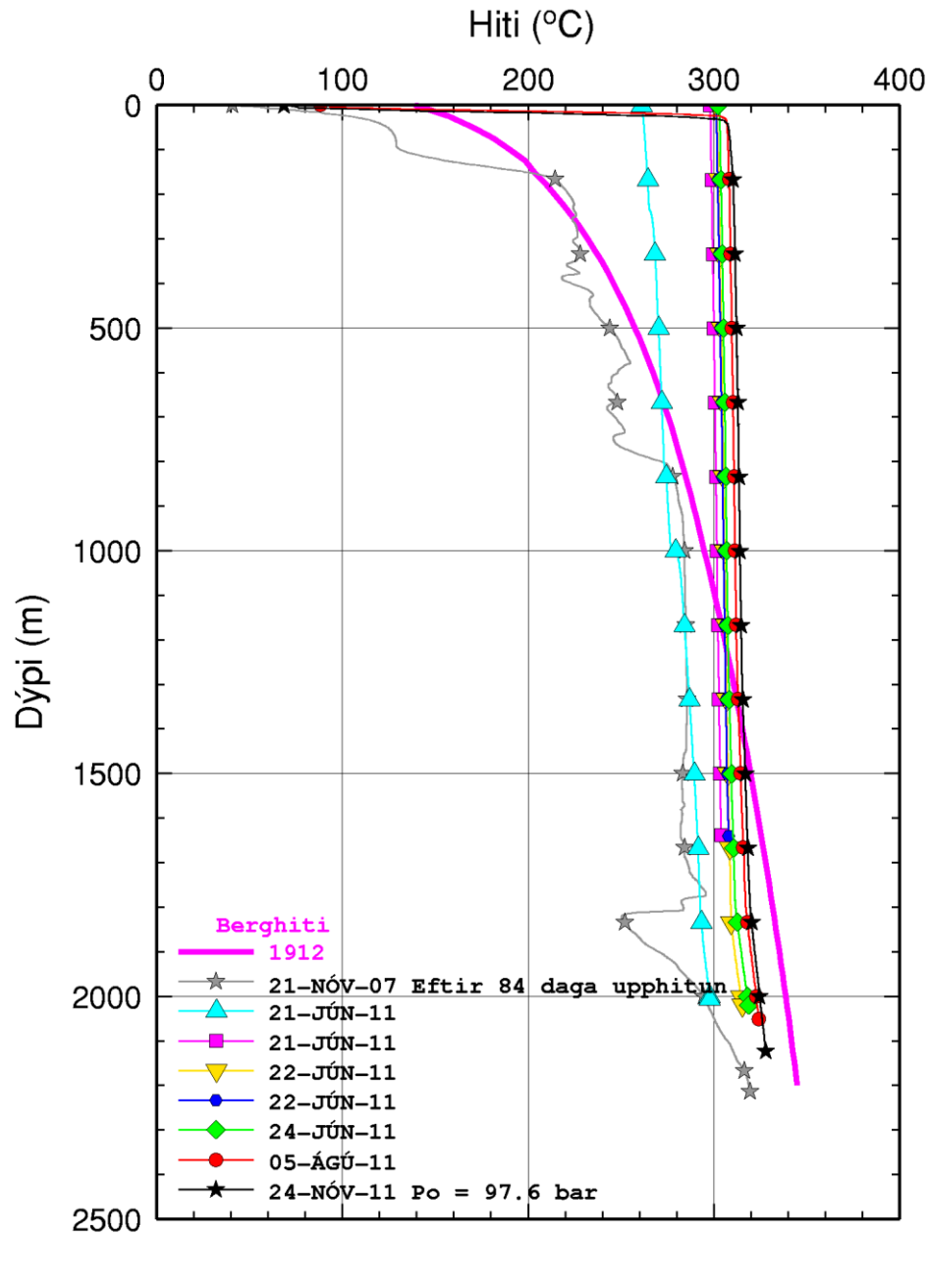
nóvember 2007 og hún látin blása til loka júní 2008. Næsta blásturstímabil stóð frá byrjun febrúar 2009 fram í lok júní sama ár. Það þriðja og síðasta hófst 14. október 2010 og lauk þegar holunni var lokað 21. júní 2011. Rétt áður en holunni var lokað var hún mæld í blæstri og sýnir mynd 13 hita og þrýsting í holunni ásamt metnum berghita og upphafsþrýstingi. Ennfremur sýnir myndin reiknaðan suðumarkshita út frá mældum þrýstingi og gefur það til kynna að holan sýður sig í botn í blæstri. Mælingarnar sýna greinilega æðina á 1840 m dýpi og ljóst er að hún gefur gufuríkari vökva en æðarnar neðar í holunni þar sem að hallatala þrýstingsferilsins breytist greinilega. Minni breyting verður á hallatölunni við æðina á 1600 m dýpi en þó er greinanlegt að hún gefur vatnsríkari vökva. Stallurinn sem sést við 1000 m dýpi er að öllum líkindum vegna þess að mælirinn hafi staðið kyrr í einhvern tíma á meðan hert var að holunni. Samkvæmt athugasemdum mælingamanna var byrjað að loka holunni áður en mæling hófst og haldið áfram meðan mælt var.



Mynd 13. Hita- og þrýstingsmælingar í holu ÞG-4 í blæstri þann 21. júní 2011 ásamt suðuhita fyrir mældan þrýsting og mati á berghita og upphafsþrýstingi.

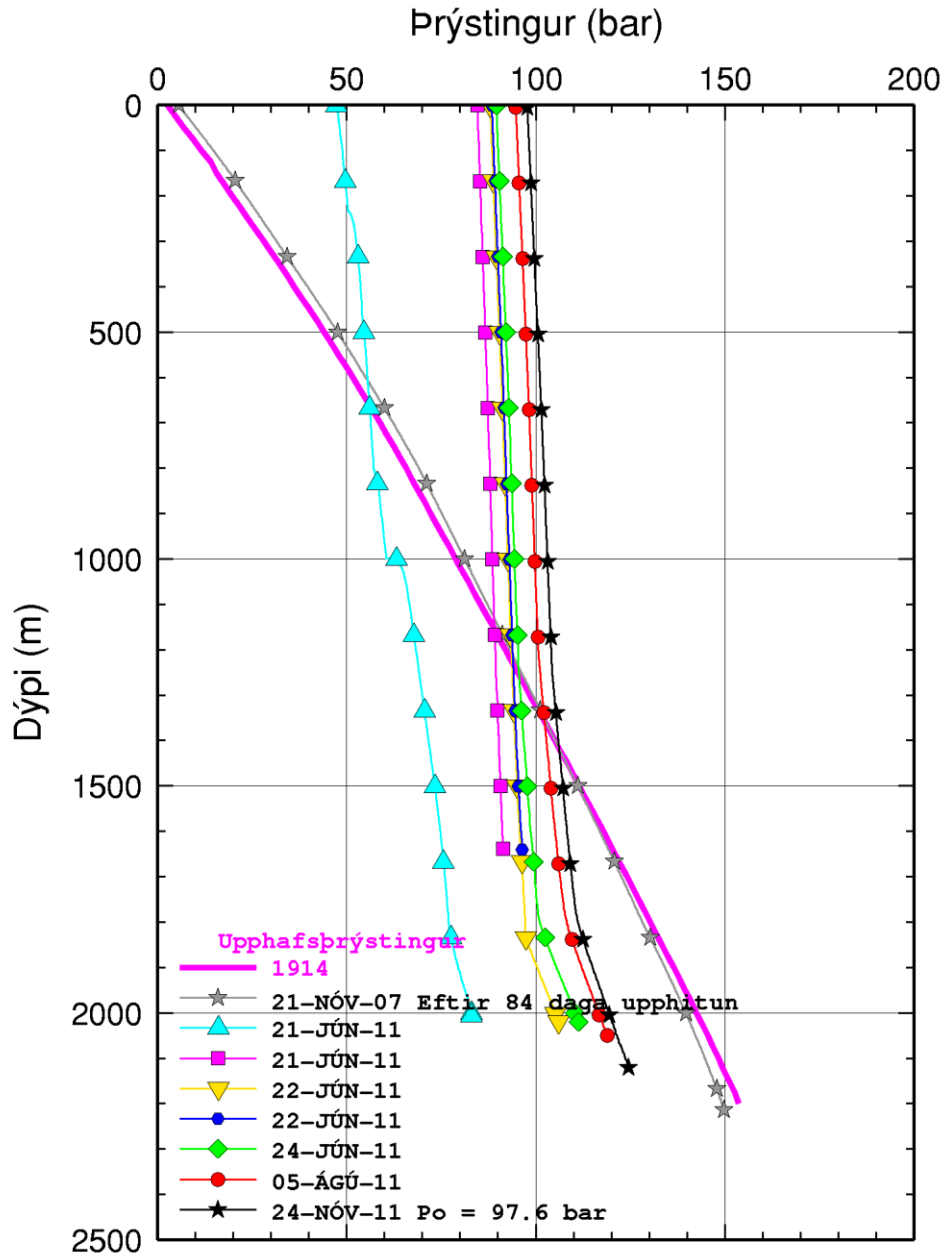
Frá því að holunni var lokað í júní 2011 hafa verið gerðar sjö hita- og þrýstingsmælingar í henni (sjá myndir 14 og 15). Eftir lokun holunnar einkennast hita- og þrýstingsferlar hennar af mjög háum toppþrýstingi (~100 bar) og er gufa og gas ríkjandi niður í u.þ.b. 1800 m og sjóðandi vatnsúla þaðan og í botn. Þrýstingur og hiti í holunni vex eftir því sem lengra líður frá lokun. Ekki reyndist unnt að mæla holu PG-4 í mars og júní 2012 þar sem að 3" loki á holunni var ekki nægilega þéttur. Eins og fjallað er um síðar í skýrslunni gefur aðferð Horners mat á lokaþrýstingi um 111 bar-g á 1640 m dýpi en metinn upphafsþrýstingur á því dýpi er 120,3 bar-g. Ástæða er til að endurskoða það mat því upphitunarmælingar sýna greinilegan vendipunkt við 1640 m og mælist þrýstingurinn þar 119,2 bar-g. Miðað við þetta hefur orðið rúmlega 8 bar niðurdráttar í holu PG-4, sem er nokkuð ótrúlegt þegar tekið er tillit til þess hversu lítil vinnsla hefur verið úr svæðinu en getur þó verið vísbending um lokaðra og minna aðstreymi undir Bæjarfjalli. Hafa ber í huga að holan var ekki mæld í síðustu mælitörnum og getur það hafa haft áhrif á matið á lokaþrýstingi í holunni, sem byggist þá eingöngu á gögnum fram til 5 mánuðum eftir lokun.

Peistareykir PG-04 Suður-Þingeyjarsýsla



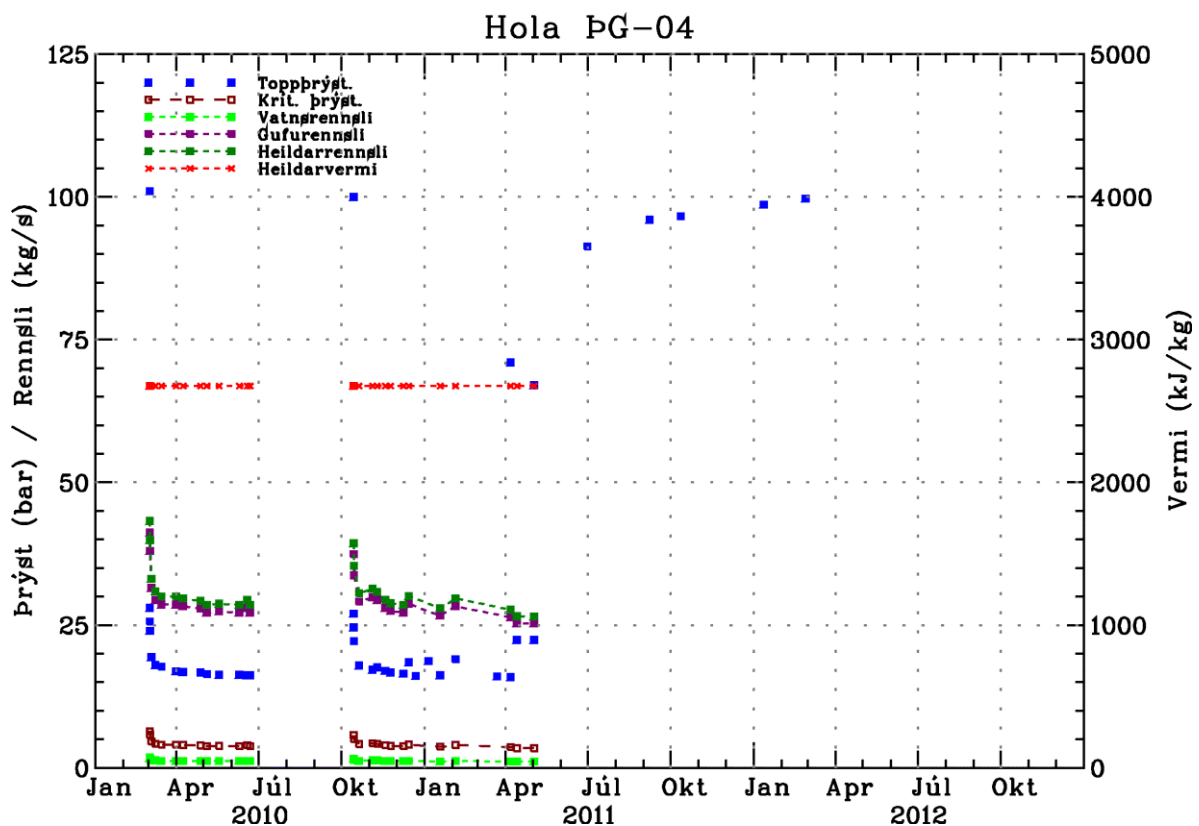
Mynd 14. Hitamælingar í holu PG-4 eftir blástursprófið 2010–2011 ásamt síðustu mælingu fyrir prófið og berghitaferli.

Peistareykir PG-04
Suður-Píngeyjarsýsla



Mynd 15. Prýstingsmælingar í holu PG-4 eftir blástursprófið 2010–2011 ásamt síðustu mælingu fyrir prófið og metnum upphafsprýstingi.

Mynd 16 sýnir þær aflmælingar á holu ÞG-4 sem gerðar hafa verið frá byrjun árs 2010. Á henni sést að holan er stöðug í vermi, um 2700 kJ/kg, allt vinnslutímabilið. Þá sést einnig að rennsli hefur verið stöðugt en frá mars til júlí 2010 var heildarrennslið um 27 kg/s sem einnig var mestan hluta vinnslutímans frá október 2010 til maí 2011. Þann 6. apríl 2011 var 150 mm blendu skipt út fyrir 125 mm blendu en við það sést minnkun rennslis niður undir 25 kg/s um leið og toppþrýstingurinn vex úr 18 bar í 22 bar. Samkvæmt skráningum í ViewData var blendan minnkuð niður í 100 mm þann 2. maí 2011 en engar mælingar eru skráðar eftir það en holunni var, eins og áður kom fram, lokað þann 21. júní eftir að hafa verið mæld í blæstri. Vert er að hafa í huga að holum ÞG-1, ÞG-3 og ÞG-6 var lokað 30. maí 2011 og holu ÞG-5b var lokað 9. júní 2011 en engar aftölur eru í ViewData-kerfinu frá þessum tíma og þar til holu ÞG-4 var lokað svo ekki er unnt að meta hvort breytingar á aftölum ÞG-4 megi rekja til lokunar þeirra.



Mynd 16. Aflmælingar á holu ÞG-4 árin 2010 og 2011. Skipt var um blendu 6. apríl 2011 og aftur 2. maí 2011 en engar mælingar eru skráðar frá þeim tíma og fram að lokun holunnar 21. júní.

6 ÞG-5b

Hola ÞG-5b var boruð út úr vinnslufóðringu ÞG-5 sumarið 2008. Við hönnun holu ÞG-5 var gert ráð fyrir 30° halla í stefnu N260°V en í 3. áfanga borunar sýndu girómælingar hins vegar að hvorki tókst að viðhalda réttum halla né réttri stefnu. Holan vék því töluvert frá hönnunarforsendum og lenti þar af leiðandi inn í kalda hluta jarðhitakerfisins grunnt við holu ÞG-2. Því var afraðið að steypa í holuna og bora nýjan vinnsluhluta fyrir hana. Borverkið við holu ÞG-5b hófst 22. júlí 2008 og lauk 19. ágúst (Auður Ingimarsdóttir o.fl., 2009).

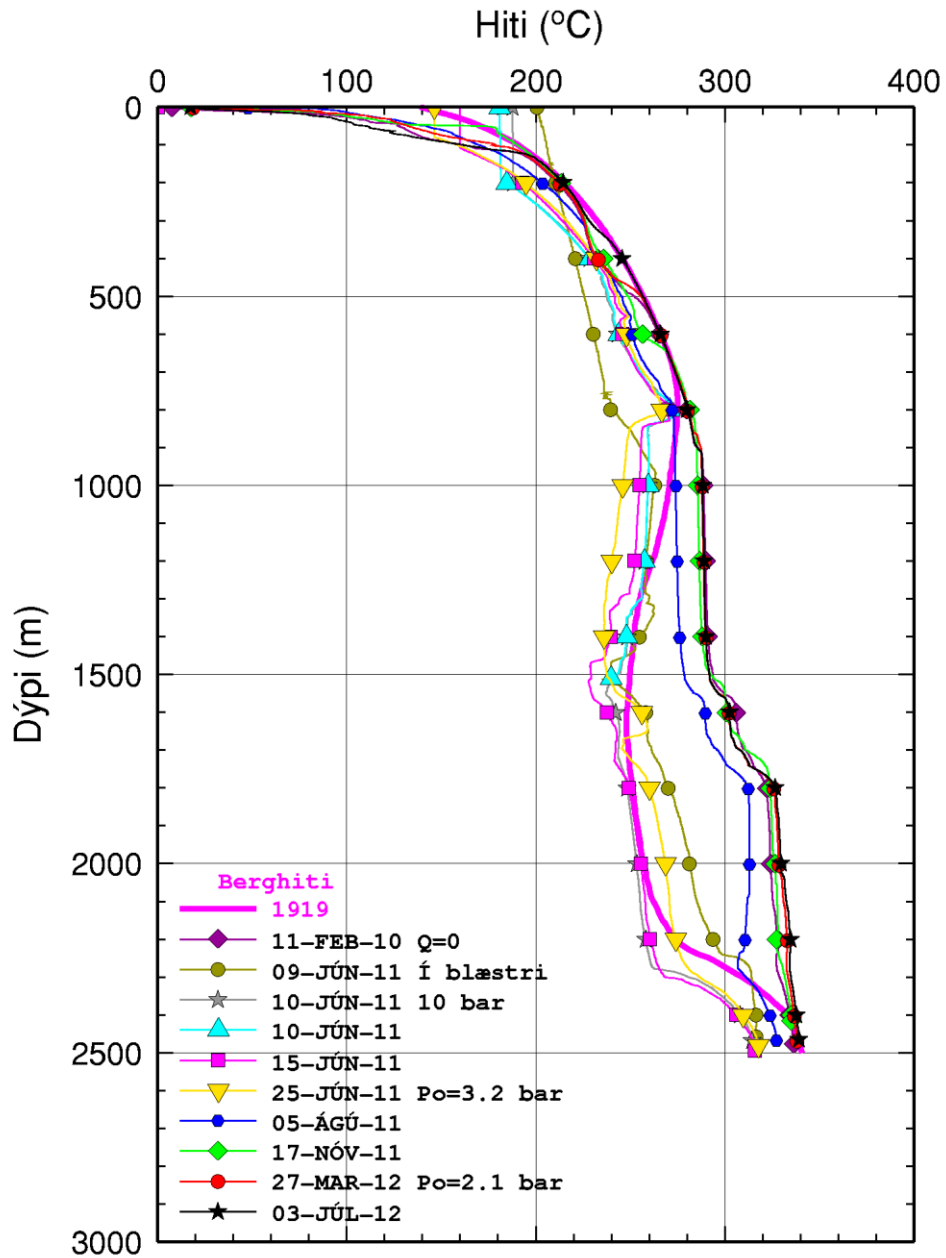
Hitamælingar í ádælingu og upphitun sýna æðakafli á 830–960, 1000–1200 og 1500–2100 m dýpi sem er þar sem virkustu æðar holunnar eru. Í neðsta hluta holunnar eru áberandi æðar á um 2150, 2180 og 2205 m dýpi og dýpsta æðin er á 2270 m dýpi. Mælingarnar benda til þess að holan sé þétt neðan við 2280 m dýpi.

Upphitunarmælingar benda til þess að kæling sé til staðar frá um 1000 m dýpi niður í 2000 m. Erfitt er að greina neðri mörk kælingarinnar vegna niðurrennsli úr æðum á um 1500–1700 m dýpi. Niðurrennslið rennur út í neðstu æð holunnar á 2270 m dýpi. Eins og getið var um í samantekt um upphitunarmælingar í holum á Þeistareykjum (Þorsteinn Egilson, 2011a) sýndi hitaferill sem mældur var 11. febrúar 2010 háan hita upp alla holuna. Talið var að þetta stafaði af seytli frá botni holunnar eftir að hún hafði verið látin blása frá byrjun nóvember 2008 til loka maí 2009. Mælingarnar sem gerðar voru eftir blástursprófið 2011, og sýndar eru á myndum 17 og 18, gefa nú skýrari mynd af hegðun holunnar. Hóla ÞG-5b var í blæstri frá 18. janúar til 9. júní 2011. Holan var mæld í blæstri rétt áður en henni var lokað og sýnir mynd 19 mældan hita og þrýsting ásamt suðumarkshita fyrir mældan þrýsting. Í blæstri er greinileg kæling í holunni frá um 1000 m dýpi niður á botn, sem skýrist af hitaviðsnúningi í jarðhitakerfinu við holuna. Rétt eftir að holunni var lokað mældist hitinn nokkuð nálægt metnum berghita og er hitaviðsnúningurinn á 1000–2000 m dýpi mjög skýr (mynd 17). Tæpum tveimur mánuðum eftir lokun, þann 5. ágúst 2011, sést hins vegar að hitinn í holunni hefur hækkað töluvert og hækkar enn í seinni mælingum. Lögun hitaferilsins, og þá sérstaklega stallarnir á um 1535 og 1700 m dýpi, bendir til þess að uppstreymi úr neðstu æð blandist kaldari vökva sem kemur úr æðum á þessum dýpum. Uppstreymið rennur svo að öllum líkindum út í æð á 860 m dýpi. Eins og þrýstingsmælingar á mynd 18 sýna lækkar þrýstingurinn neðan til í holunni eftir því sem lengra líður frá lokun. Það er því líklegt að uppstreymið frá botni nái yfirhöndinni þegar þrýstingur neðan 1500 m dýpis hefur lækkað nægilega mikið. Fram að því streymir kaldari vökvi úr efri æðum inn í holuna og stjórnar hitadreifingunni.

Blásturstímabil holu ÞG-5b í tengslum við afkastamat holna á Þeistareykjum 2010–2012, sem er sýnt í töflu 2, nær frá 18. janúar til 9. júní 2011 en þá var holunni lokað eftir að hafa verið mæld í blæstri. Samkvæmt upplýsingum úr ViewData-gagnagrunni Landsvirkjunar var holunni lokað þrisvar á þessu tímabili. Fyrst 24.–26. janúar vegna stíflu í frárennsli, þá 6. apríl vegna blenduskipta úr 150 mm í 125 mm og síðast 1. júní til blenduskipta úr 125 mm í 140 mm. Aflmælingarnar sem eru skráðar á umræddum blásturstíma fyrir holu ÞG-5b eru sýndar á mynd 20 en engar mælingar eru skráðar frá 2. maí til 9. júní þegar holunni var lokað. Þá er rétt að geta þess að við mælipunkt frá 22. mars, sem sker sig frá öðrum mælingum, er þess getið í athugasemdum í ViewData að ekki hafi verið hægt að mæla vatnsrennslið og að sú skráning hafi verið hrein ágiskun. Samkvæmt þessu er ljóst að gagnaröðin fyrir holuna er nokkuð gisin. Í síðustu mælingunni fyrir lokun mælist vermið um 1250 kJ/kg, og hefur þá farið aðeins lækandi, og heildarrennslið mælist um 55 kg/s þar sem gufan er um 14 kg/s.

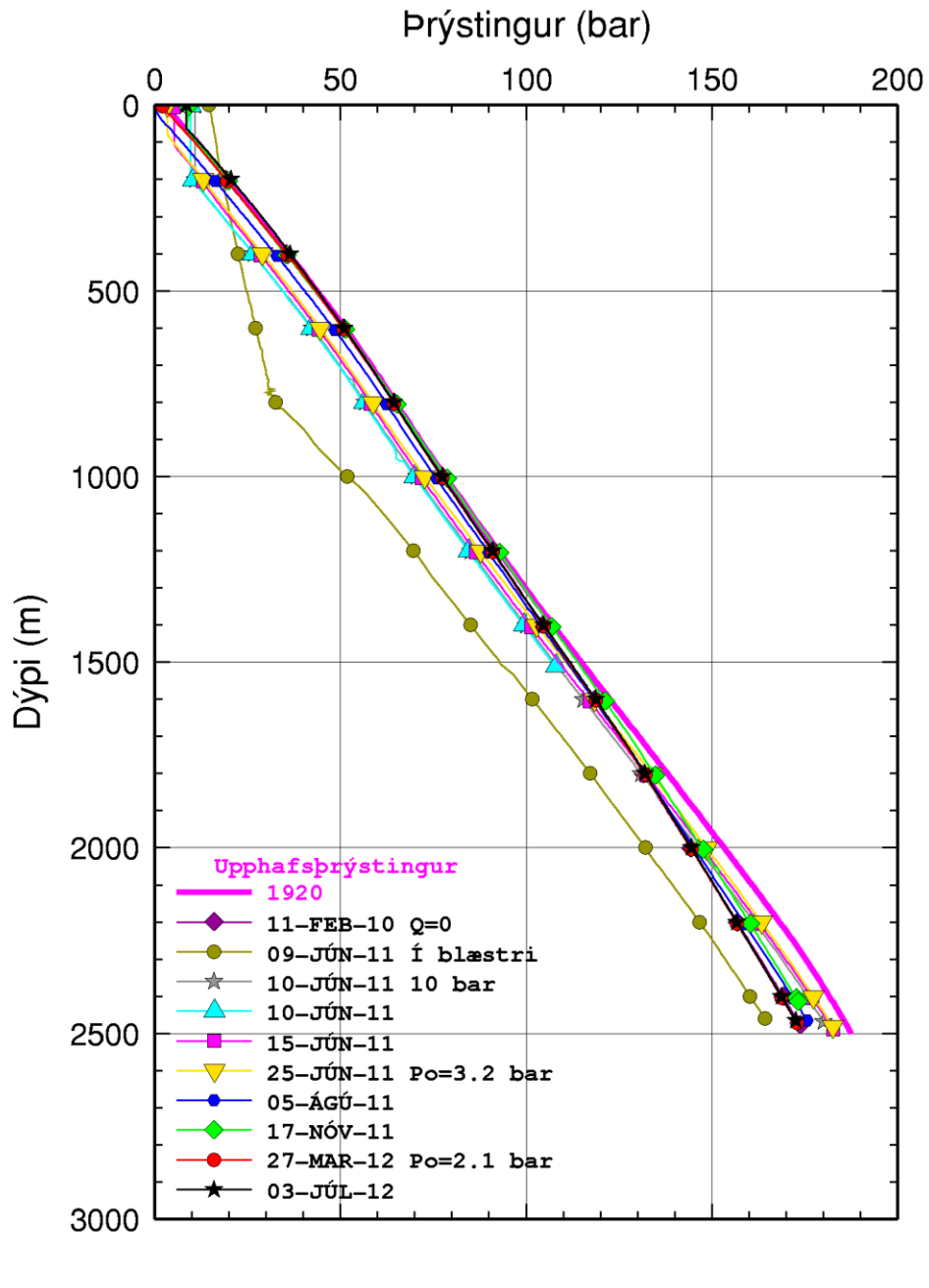
Eins og áður hefur komið fram var holum ÞG-1, ÞG-3 og ÞG-6 lokað 30. maí 2011 en engar aflmælingar eru skráðar frá því og fram að lokun ÞG-5b þannig ekki er unnt að sjá hvort áhrifa gætir á afköst hennar.

Peistareykir ÞG-05B
Suður-Þingeyjarsýsla

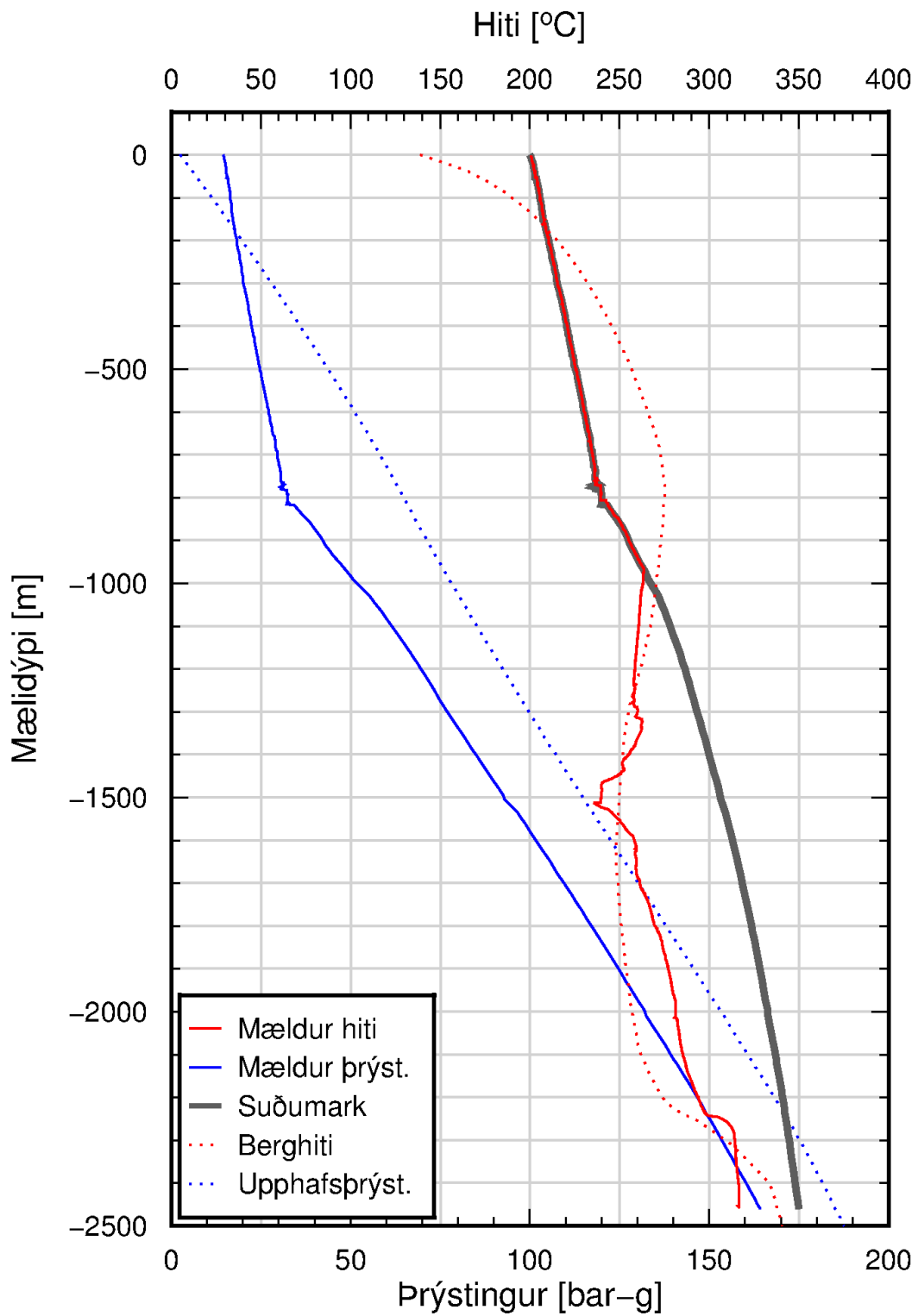


Mynd 17. Hitamælingar í holu ÞG-5b eftir blástursprófið 2010–2011 ásamt síðustu mælingu fyrir prófið og berghitaferli.

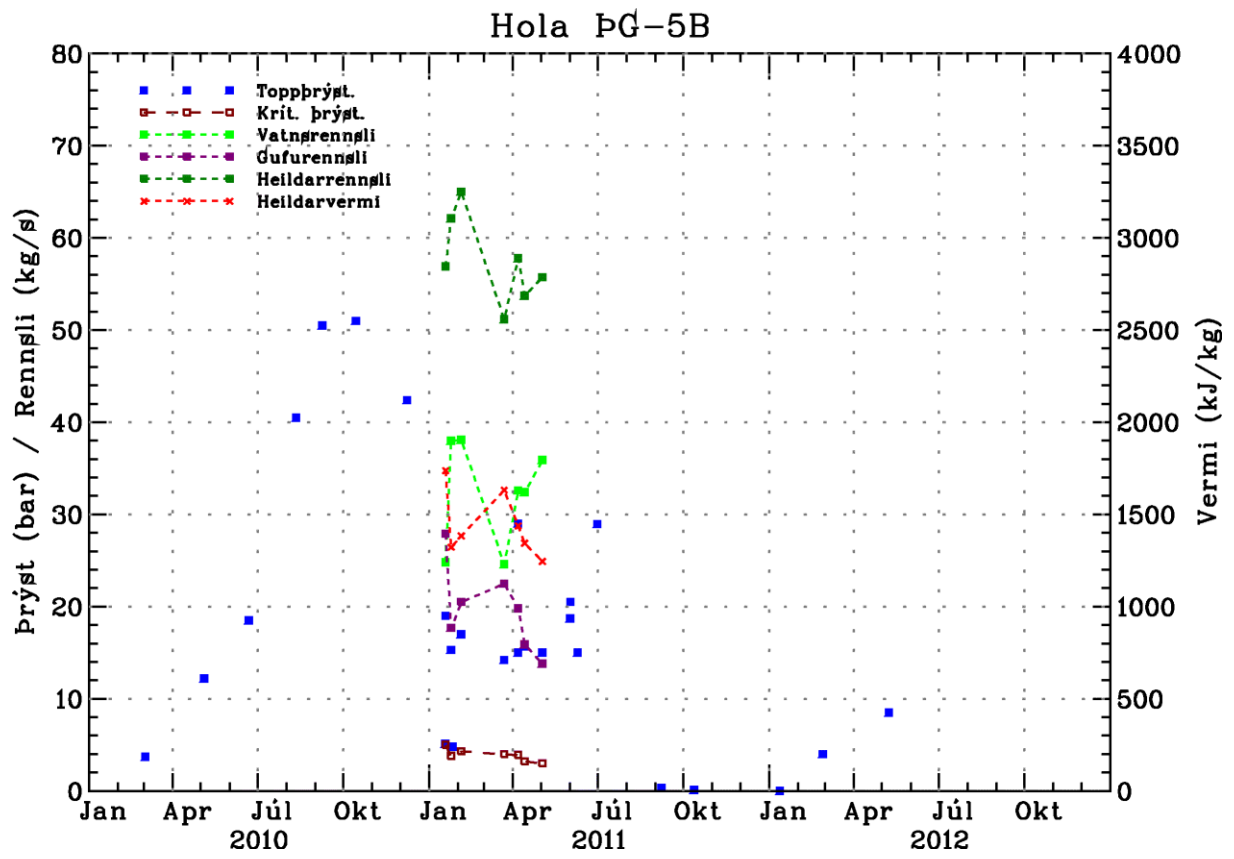
Peistareykir ÞG-05B
Suður-Þingeyjarsýsla



Mynd 18. Þrýstingsmælingar í holu ÞG-5b eftir blástursprófið 2010–2011 ásamt síðustu mælingu fyrir prófið og metnum upphafsprýstingi.



Mynd 19. Hita- og þrýstingsmælingar í holu DG-5b í blæstri þann 9. júní 2011 ásamt suðuhita fyrir mældan þrýsting og mati á berghita og upphafsprýstingi.



Mynd 20. Afmælingar á holu ÞG-5b árið 2011.

7 ÞG-6

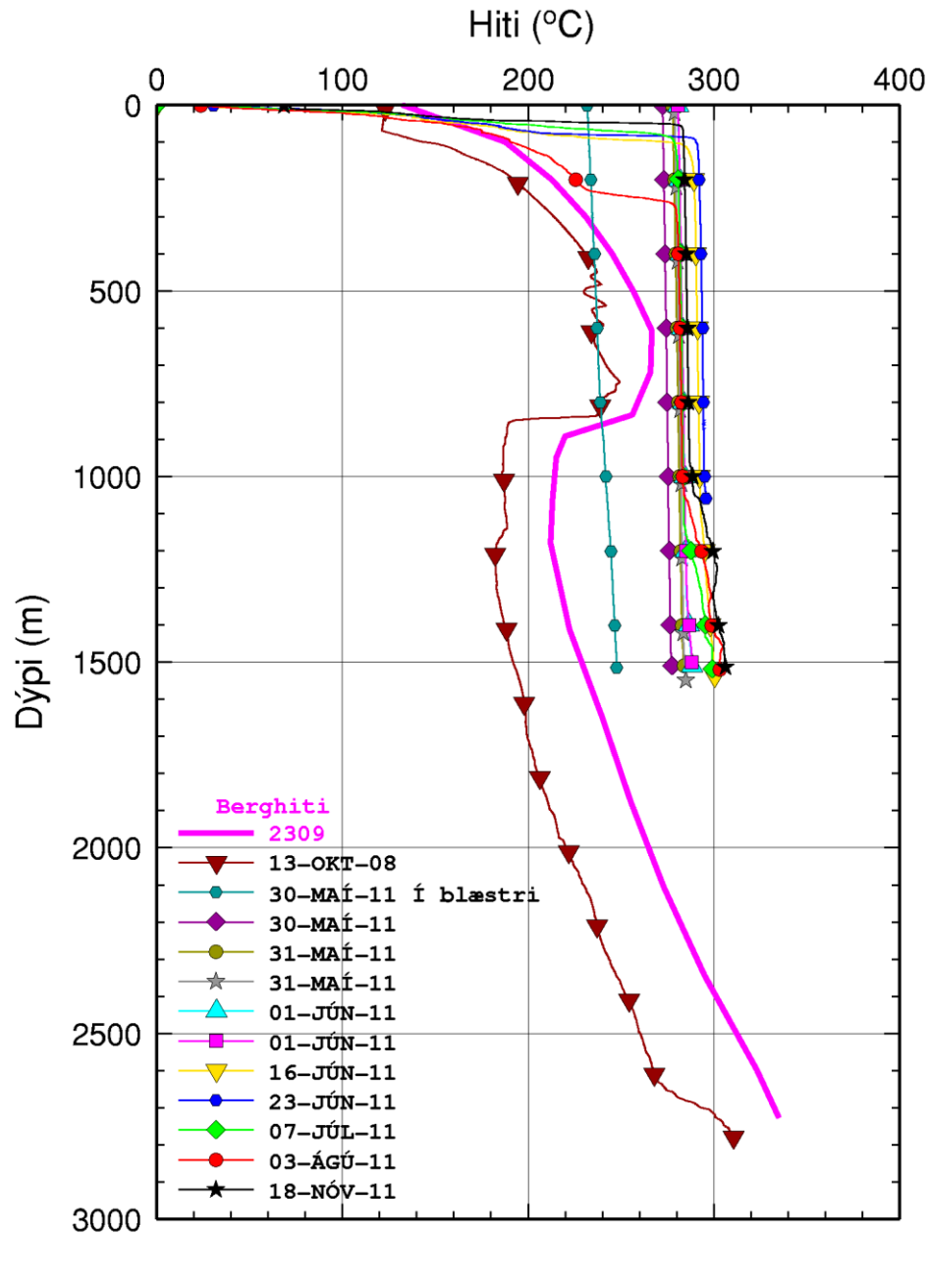
Hola ÞG-6 var boruð undir Ketilfjalli, til vesturs frá sama borteig og ÞG-3 og ætlað að gefa upplýsingar um hita og lekt í berggrunninum norður af Bæjarfjalli. Borun holunnar hófst 9. júlí 2008 og lauk 10. september sama ár. Þrepaprófun holunnar kláraðist 17. september og mældist ádælingarstuðull hennar um 2,8 (l/s)/bar (Sigurveig Árnadóttir o.fl., 2009) en eftir það var holan í upphitun í 47 daga. Hitamælingar benda til þess að holan sé þétt neðan 2660 m og lítið millirennisli sést milli æða. Æðar dreifast nokkuð jafnt um holuna og eru flestar taldar vera frekar litlar. Þær hafa verið staðsettar á 846, 1100, 1200, 1490, 1600, 1730, 1890-1900, 1960, 2130, 2280, 2480, 2500 og 2545 m dýpi.

Hola ÞG-6 var sett í blástur í október 2010 og henni lokað 30. maí 2011. Vegna fyrirstöðu í holunni á 1500 m dýpi (Anette K. Mortensen og Steinþór Níelsson, 2011) hefur ekki reynst unnt að mæla holuna til botns. Hita- og þrýstingsmælingar í holunni eru sýndar á myndum 21 og 22 ásamt metnum berghitaferli og upphafsþrýstingi. Berghitaferillinn, sem byggður var á fáum hitamælingum og stuttri upphitun eftir borun, er viðsnúinn á 700–1500 m mældidýpi. Nýjustu hitamælingar í holunni og stöðugt hátt vermi hennar í blæstri styðja þá túlkun að berghiti holunnar sé vanmetinn og hitinn tæpast viðsnúinn, eins og kemur fram í skýrslu Þorsteins Egilson (2011a). Hitamælingarnar frá því í blæstri 30. maí 2011 sýna að holan sýður niður fyrir 1500 m dýpi. Eftir að henni er lokað er vatnsborðið rétt ofan 1500 m dýpis og gufa og gas ofan þess en ríflega mánuði eftir lokun má sjá vatnsborðið færast upp holuna og í síðustu mælingunni, sem gerð var í nóvember 2011, eru skilin milli gufu/gas-tappans og vatnssúlunnar á um 950 m dýpi.

Aflmælingar á holunni voru gerðar með reglulegu millibili á blásturstímanum 2010–2011 og eru sýndar á mynd 23. Vökvinn sem holan skilaði í blæstri var allan tímann mjög gufuríkur með heildarvermi um 2670 kJ/kg og því óverulegt vatnsrennsli. Undir lok vinnslutímans gaf holan 11,2 kg/s á móti 14,2 kg/s í byrjun nóvember 2010. Tvisvar var skipt um blendu við holuna og var henni lokað um stutta stund í hvort skipti, fyrst 6. apríl 2011 úr 100 mm í 80 mm og síðan 2. maí 2011 úr 80 mm í 65 mm. Eins og áður segir var holunni lokað 30. maí 2011 en engar aflmælingar eru skráðar í ViewData-gagnagrunninn frá 2. maí eftir blendu-skiptin.

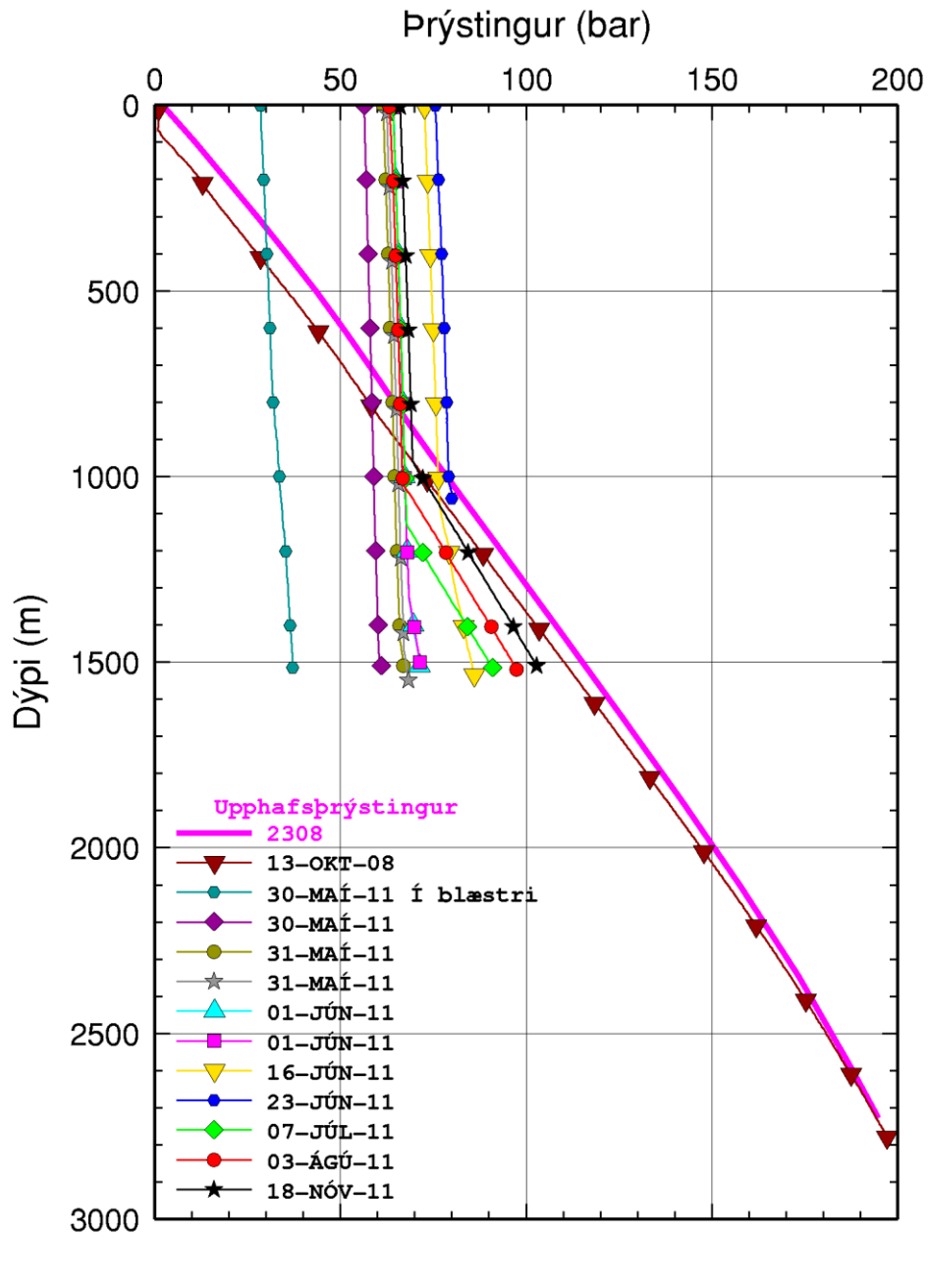
Mælirörið sem tengir þrýstingsmæli við Pc-stútinn virðist hafa verið stíflað á köflum yfir allt blásturstímabilið. Athugasemdir í ViewData-gagnagrunninum um þetta eru frá 24. nóvember og 22. desember 2010 og 13. apríl og 30. maí 2011.

Peistareykir PG-06 Suður-Þíngeyjarsýsla

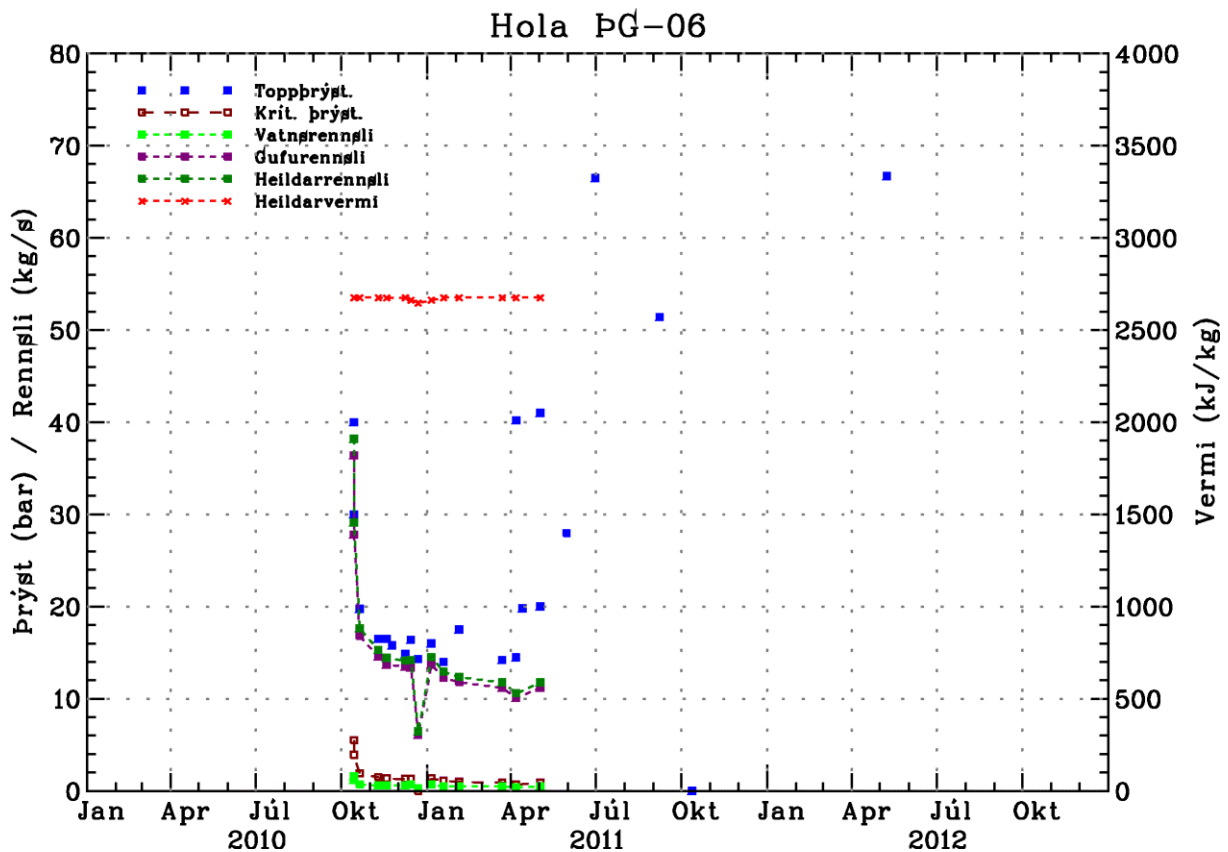


Mynd 21. Hitamælingar í holu PG-6 eftir blástursprófið 2010–2011 ásamt síðustu mælingu fyrir prófið.

Peistareykir PG-06 Suður-Þingeyjarsýsla



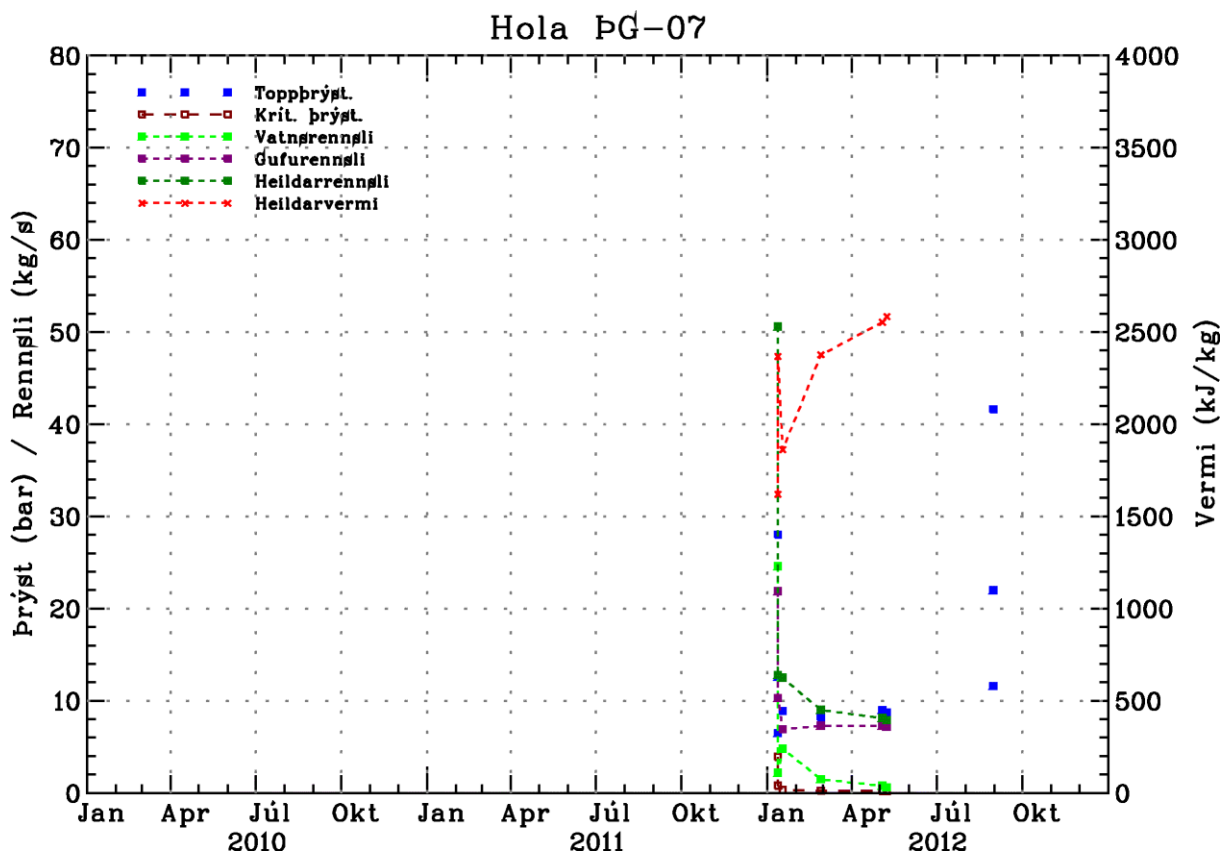
Mynd 22. Þrýstingsmælingar í holu PG-6 eftir blástursprófið 2010–2011 ásamt síðustu mælingu fyrir prófið.



Mynd 23. Aflmælingar á holu ÞG-6 árin 2010 og 2011.

8 ÞG-7

Holu ÞG-7 var boruð haustið 2011 til norðausturs frá sama borteig og holur ÞG-3 og ÞG-6. Borun holunnar hófst með forborun 16. júlí 2011 (Sigurveig Árnadóttir o.fl., 2011a) en borun hennar lauk á 2509 m dýpi og fór hún í upphitun 17. september 2011 (Sigurveig Árnadóttir o.fl., 2011b). Ekkert skoltap varð í holu ÞG-7 fyrr en komið var á um 2200 m dýpi (4/9/2011), lítið í fyrstu en þegar borun lauk var skoltapið komið yfir 35 l/s. Holu ÞG-7 var örvuð með þeim hætti að dælt var af henni vatni með loftdælingu í þeim tilgangi að snúa við rennsli í æðum hennar, bæði til að fá til baka eitthvað af svarfi sem hafði borist út í æðar og að fá fram víxlverkun hitnunar og kólnunar, til viðbótar við aukinn þrýsting sem fæst með mikilli ádælingu, með það fyrir augum að ná að opna lokaðar sprungur í berginu (thermal- and hydraulic stimulation). Þrepapróf holunnar gaf ádælingarstuðul upp á 1,9 (l/s)/bar (Sigurveig Árnadóttir o.fl., 2011b). Holu ÞG-7 var hleypt upp 21. janúar 2012 og var í vinnslu þegar mælingum í tengslum við álagsprófið lauk í júlí 2012 þannig að holunni var svo að segja hleypt upp í miðju álagsprófi, þ.e. á meðan holurnar ÞG-3 og ÞG-6 voru í þrýstingsjöfnun eftir að hafa verið í vinnslu frá hausti 2010 fram á vor 2011. Holu ÞG-7 var upphaflega ekki beinn þátttakandi í afkastaprófinu en óhjákvæmilegt þykir að geta hennar hér og birta þær vinnslutölur sem borist höfðu fram á vor 2012 (sjá mynd 24). Ofangreindir atburðir eru merktir inn á mynd 25 sem sýnir þrýstingsjöfnun fyrir holu ÞG-6 en þar er ekki að sjá að áhrifa þessa gæti með beinum hætti. Sem fyrr getur í umfjöllun um holu ÞG-2 er ekki að sjá að vinnsla úr ÞG-7 hafi áhrif á þrýsting í henni. Að öðru leyti bíður umfjöllun um afkastamælingarnar í holu ÞG-7 síðari tíma.



Mynd 24. Afl- og toppþrýstingsmælingar á holu ÞG-7 eftir að hún fór í blástur 2012.

9 Hita- og þrýstingsjöfnun eftir blástur

Auk þeirra hitamælinga sem að framan hefur verið fjallað um voru gerðar uppbyggingar/jöfnunarmælingar á hita og þrýstingi í holum ÞG-4, ÞG-5b og ÞG-6 eftir að þeim var lokað. Holu ÞG-6 var lokað 30. maí 2011, auk holna ÞG-1 og ÞG-3, og var fylgst með þrýstingi á 1500 m dýpi í holunni í 4,5 klst. eftir lokun. Næsta dag var þrýstingurinn mældur í 3 klst. og í hálf tíma daginn eftir það. Seinna fylgdu nokkrar stakar mælingar í rúmlega ár eftir lokun. Þessar mælingar eru sýndar á mynd 25 á Horner-grafi. Horner-grafið sýnir mældan þrýsting sem fall af logranum af svokölluðum Horner-tíma en hann er skilgreindur sem

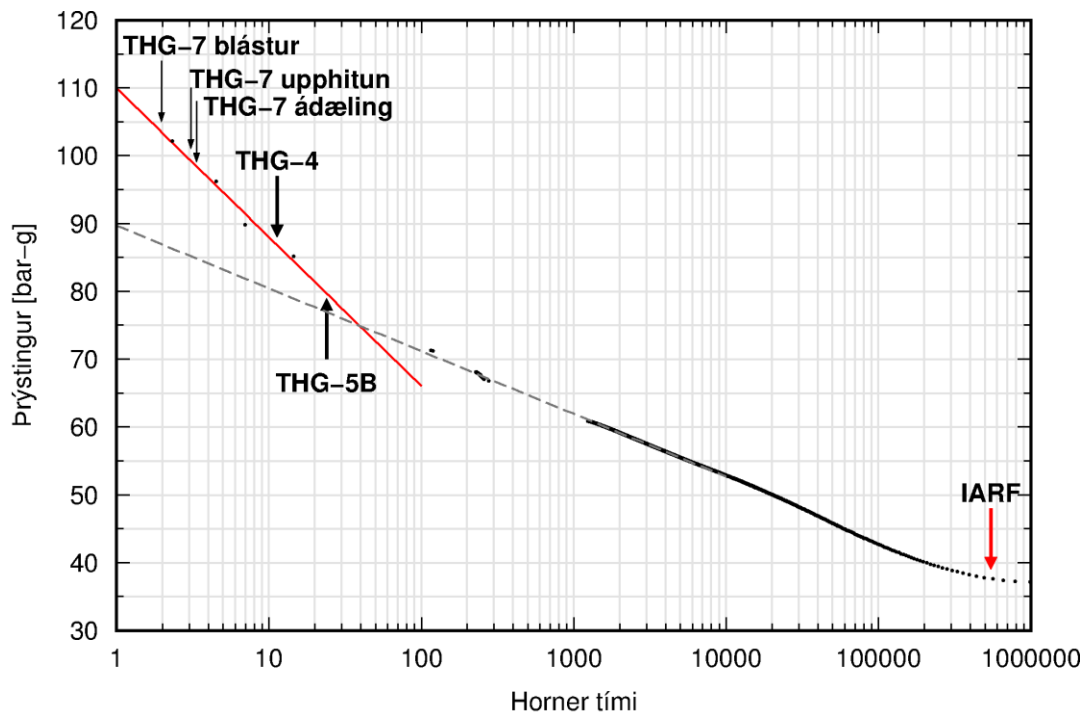
$$\frac{t_p + \Delta t}{\Delta t}$$

þar sem t_p er blásturstíminn og Δt er tíminn frá lokun holunnar. Þegar nægilegur tími hefur liðið frá lokun holunnar ætti þrýstingurinn að vaxa í réttu hlutfalli við logrann af Horner-tímanum (Grant og Bixley, 2011). Með því að finna aðhvarfslínu í gegnum mælipunkta má meta lokaþrýstinginn á því dýpi sem mælt er. Þetta kemur til vegna þess að þegar tíminn frá lokun stefnir á óendanlegt stefnir Horner-tíminn á 1. Með því að reikna þrýstinginn á Horner-tíma 1 út frá aðhvarfslínunni fæst því mat á lokaþrýstingi. Ennfremur má nota

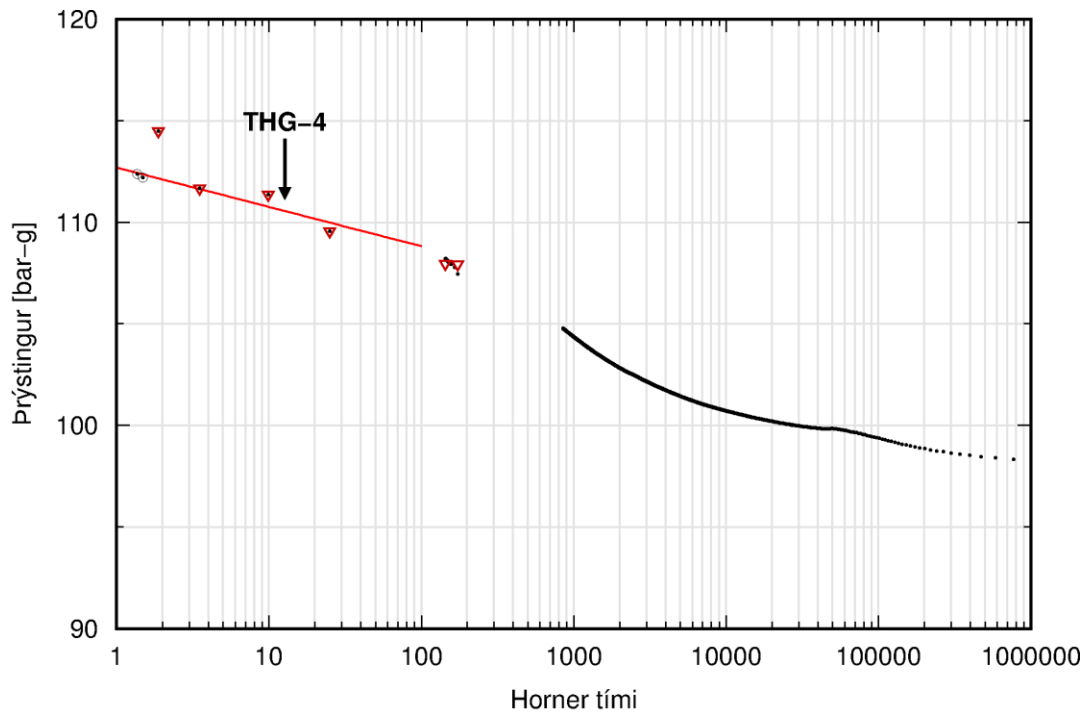
hallatölu ferilsins til að fá mat á lektarþykkt jarðhitageymisins því hallatalan uppfyllir skilyrðið

$$m = \frac{2,303 q\mu}{4\pi kh} = \frac{2,303 W\nu}{4\pi kh}$$

þar sem q er flæðið, μ er skriðseigjan (dynamic viscosity), W er massaflæðið, ν er hreyfiseigjan (kinematic viscosity) og kh er lektarþykktin (permeability thickness). Í tilfalli holu ÞG-6 er augljóst að blástur holu ÞG-5b hefur áhrif á þrýstinginn í ÞG-6 því þegar henni er lokað breytist hallatalan á ferlinum mikið og munar 20 bar á lokaþrýstingnum sem fæst út frá gögnum fyrir og eftir lokun hinna holnanna. Erfiðara er að meta hvort lokun holu ÞG-4 hafi haft áhrif á þrýstinginn í holu ÞG-6. Gögnin frá því eftir lokun allra holna gefa mat á lokaþrýstingi upp á 110 bar-g en upphafsþrýstingurinn á 1500 m dýpi í ÞG-6 er um 110,2 bar-g ef miðað er við þær upphitunarmælingar sem gerðar voru haustið 2008. Mælingarnar benda því til hverfandi niðurdráttar eftir álagsprófið 2010–2011. Eins og áður segir virðist blástur ÞG-7 ekki hafa áhrif á þrýsting í holu ÞG-6.

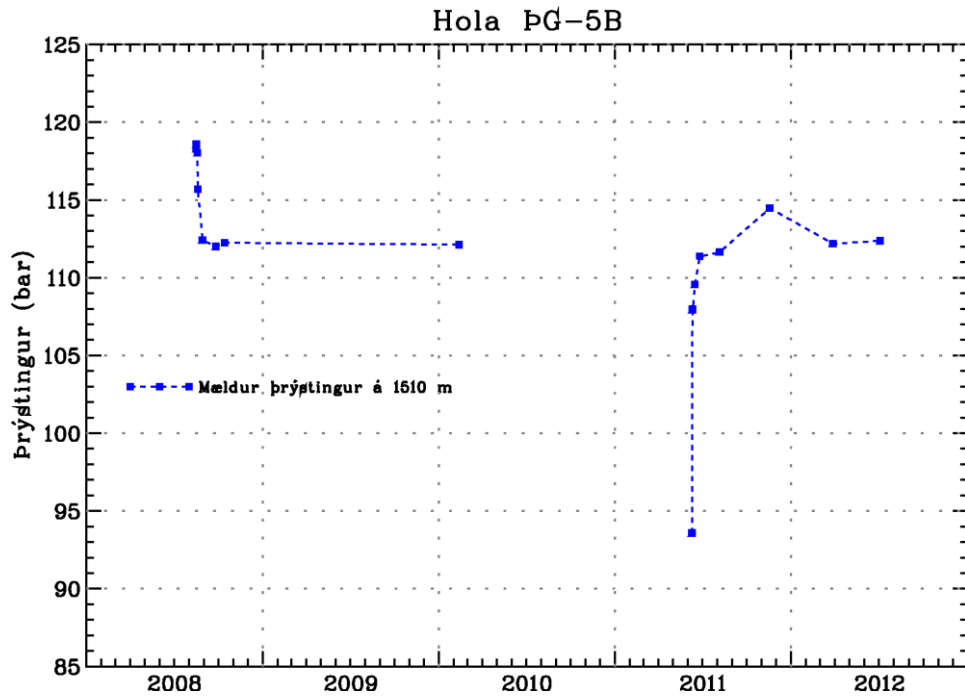


Mynd 25. Þrýstingsjöfnunarmælingar á 1500 m dýpi í holu ÞG-6 á Þeistareykjum á Horner-grafi. Tímasetning lokana á holum ÞG-4 og ÞG-5b eru sýndar með svörtum örvum. Rauða örin sýnir hvenær búast mætti við beinni línu á semilogaritmísku grafi af mælingum (Infinite Acting Radial Flow) (sjá Horne, 1995). Rauð lína sýnir besta aðhvarfsferilinn í gegnum síðustu fjóra mælipunktana. Grá brotalína sýnir besta aðhvarfsferilinn í gegnum mælipunkta sem teknir voru fyrir lokun holna ÞG-4 og ÞG-5b. Tímasetningar á atburðum í borun holu ÞG-7 eru sýndar með örvum og texta.

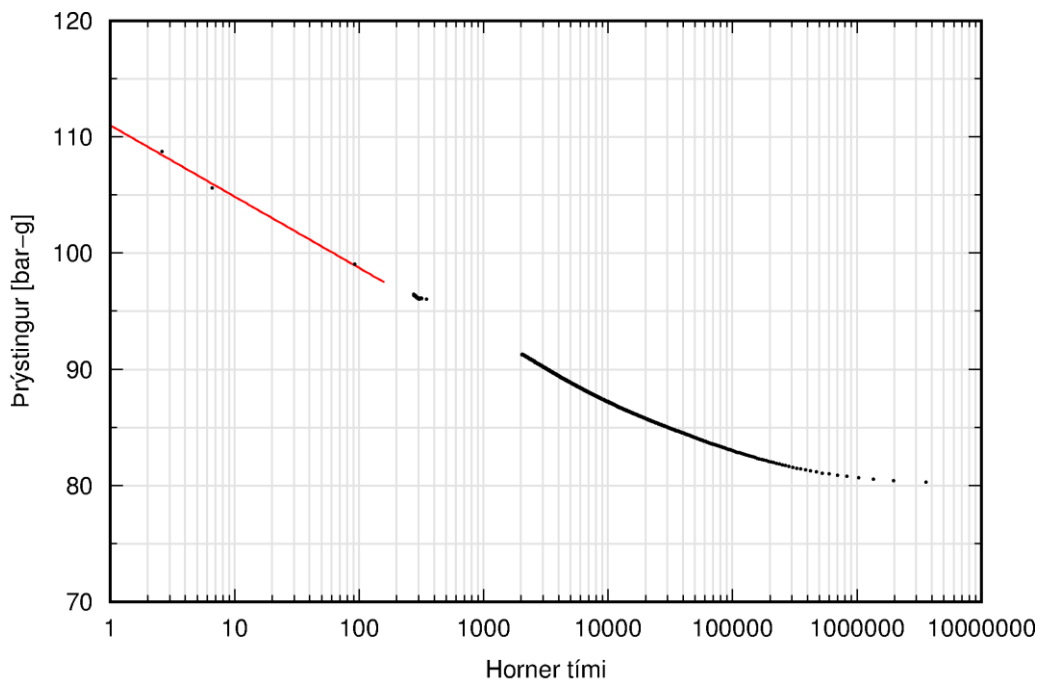


Mynd 26. *Prýstingsjöfnunarmælingar á 1510 m dýpi í holu PG-5b á Þeistareykjum á Horner-grafi. Tímasetning lokunar holu PG-4 er sýnd með svartri ör. Rauðir þríhyrningar sýna stakar mælingar og svartir hringir gefa til kynna mælingar sem gerðar voru eftir að holan var sett á blæðingu. Rauð lína sýnir besta aðhvarfsferil í gegnum síðustu fjórar mælingar fyrir blæðingu.*

Mælingar á þrýstingsjöfnun í holu PG-5b eru sýndar á mynd 26. Holunni var lokað 9. júní 2011 um kl. 14:24 og var fylgst með þrýstingi á 1510 m dýpi í 4 klst. eftir lokun. Næsta dag var þrýstingurinn mældur í 2 klst. en eftir það voru gerðar stakar mælingar í samræmi við mæliplan og eru þær auðkenndar með rauðum þríhyrningum á myndinni. Ljóst er að mælingarnar úr holunni þarf að túlka með fyrirvara. Stuttu eftir lokun (nokkrum mínútum, Horner-tími um 50.000) kemur brot í ferilinn sem ekki hefur svo mikla þýðingu en getur stafað m.a. af breyttu millirennslu í holunni við lokun hennar. Aðhvarfslína í gegnum síðustu mælingar gefur mat á lokaþrýstingi nálægt 112,7 bar-g en metinn upphafsþrýstingur er 115,5 bar-g á 1510 m dýpi. Við gerð aðhvarfslínunnar var þriðju síðustu mælingunni (frá 17. nóv. 2011) sleppt. Ástæðan er sú að í athugasemdum mælingamanna kemur fram að misræmi hafi verið á milli rafrænnar og mekanískrar dýptarskráningar og tekið fram að sú mekaníska sé réttari. Þegar þrýstiferilinn, sem mældur var þennan dag, er skoðaður nánar er ljóst að í gagnagrunninum er hann hliðraður upp á við og gerir það að verkum að þrýstingur á 1510 m dýpi er of hár. Upphitunarmælingar benda til þess að vendipunktur holunnar liggi frá 1350–1550 m dýpi og mælist þrýstingurinn á 1510 m dýpi 112,25 bar-g, eins og mynd 27 sýnir. Samanburður við lokaþrýsting metinn skv. aðferð Horners bendir því ekki til mælanlegs niðurdráttar í kerfinu eftir álagsprófið.



Mynd 27. Mældur prýstingur á 1510 m dýpi í holu ÞG-5b sýnir að jöfnunarprýstingur þar er nærri 112,3 bar-g. Myndin sýnir einnig að prýstingsmæling gerð 17. nóvember 2011 er að öllum líkindum hliðruð í dýpi sem kemur heim og saman við athugasemdir mælingamanna.



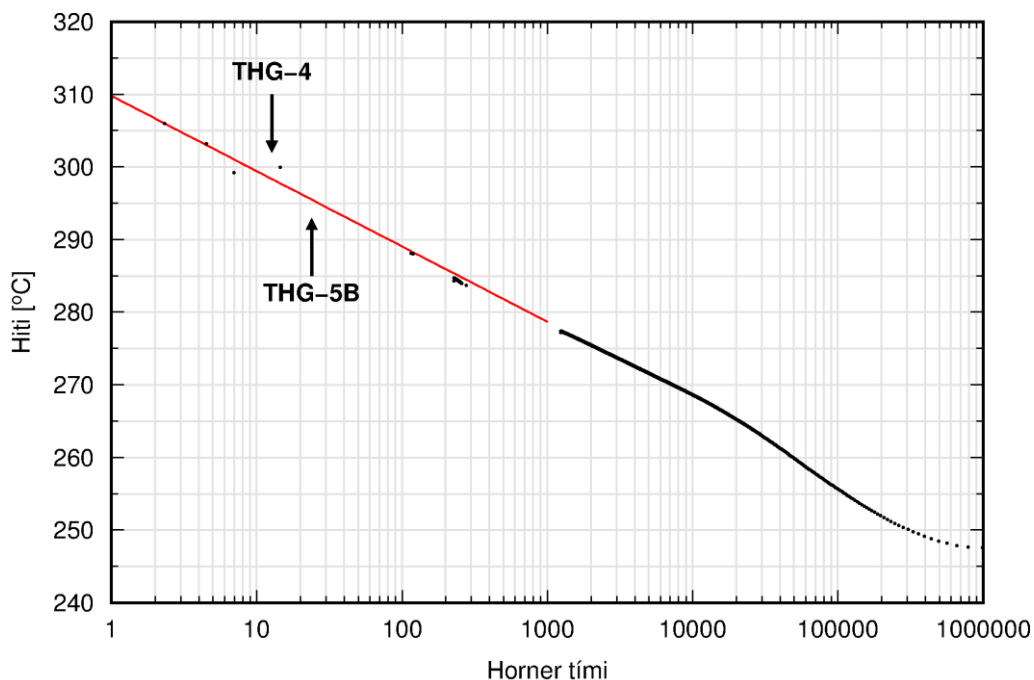
Mynd 28. Prýstingsjöfnunarmælingar á 1640 m dýpi í holu ÞG-4 á Þeistareykjum á Horner-grafi. Rauð lína sýnir besta aðhvarfsferil í gegnum síðustu þrjá mælipunktana.

Mælingar á þrýstingsjöfnun holu ÞG-4 eru sýndar á mynd 28 ásamt bestu aðhvarfslínu í gegnum þrjá síðustu mælipunktana. Holu ÞG-4 var lokað 21. júní 2011 um kl. 16:55 og strax eftir lokun var þrýstingur á 1640 m dýpi mældur í 3 klst. Næsta dag var hann mældur í 3 klst. en eftir það hafa verið gerðar þrjár mælingar í holunni. Jöfnunarmælingarnar í holu ÞG-4 eru þær einu sem er ótruflaðar af lokun annarra holna þar sem holan var sú síðasta sem lokað var. Aðhvarfslínan gefur mat á lokaþrýstingi rétt um 111 bar-g en við túlkun upphitunarmælinga í holunni haustið 2007 var kerfisþrýstingurinn á 1640 m dýpi metinn sem 119,2 bar-g. Þetta bendir því til þess að niðurdráttur eftir álagsprófið 2010–2011 sé um 8,2 bar. Hallatala aðhvarfslínunnar reyndist vera $m = -6,1346$ bar/lotu. Út frá gögnum skráðum í ViewData-gagnagrunn Landsvirkjunar er meðalflæðið úr holunni á blásturstímanum metið um $W = 30,4$ kg/s. Hreyfiseigja jarðhitavökvans á 1640 m dýpi, m.v. upphafsþrýstinginn 119,2 bar-g og suðumarkshita, er $\nu = 3 \cdot 10^{-7}$ m²/s. Þetta leiðir til mats á lektarþykkt jarðhitageymisins:

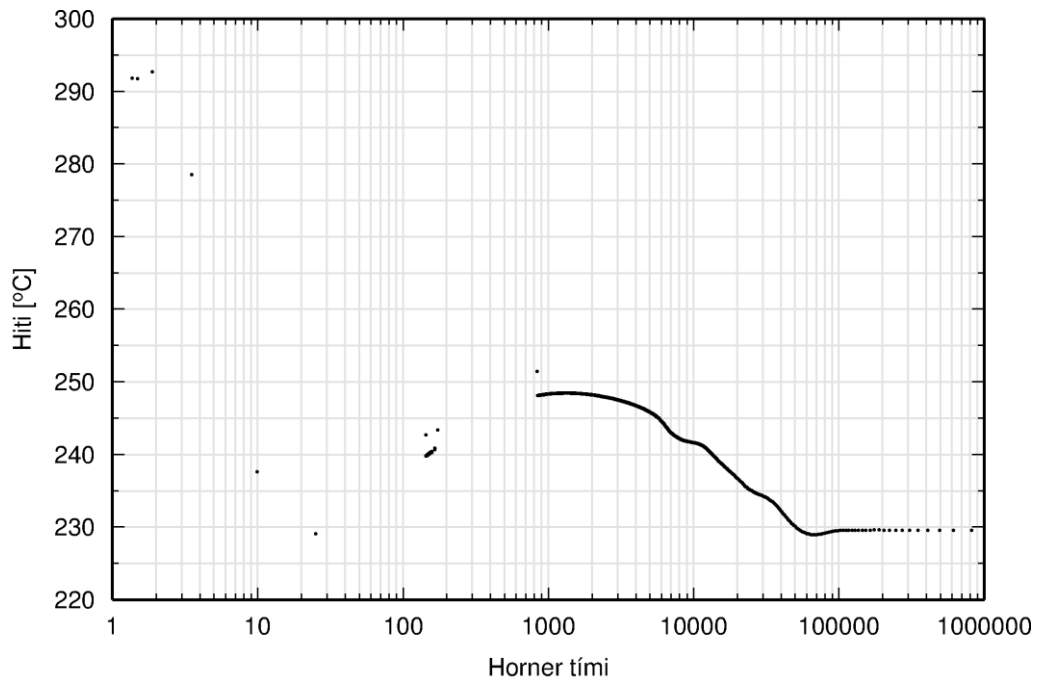
$$kh = \frac{2,303 W \nu}{4\pi|m|} = 2,7 \text{ D}\cdot\text{m}$$

Prepaprófun holu ÞG-4 eftir borun gaf lektarþykkt á bilinu 5,6–8,4 Dm, sem er þó nokkuð hærra en það sem nú reiknast. Hugsanlega eru það áhrif þess að í álagsprófinu koma inn áhrif frá öðrum holum sem voru í blæstri. Einnig gefa niðurstöður þrepaprófana oft annað mat á lektarþykkt vegna þess að köldu vatni er dælt í viðkomandi holu.

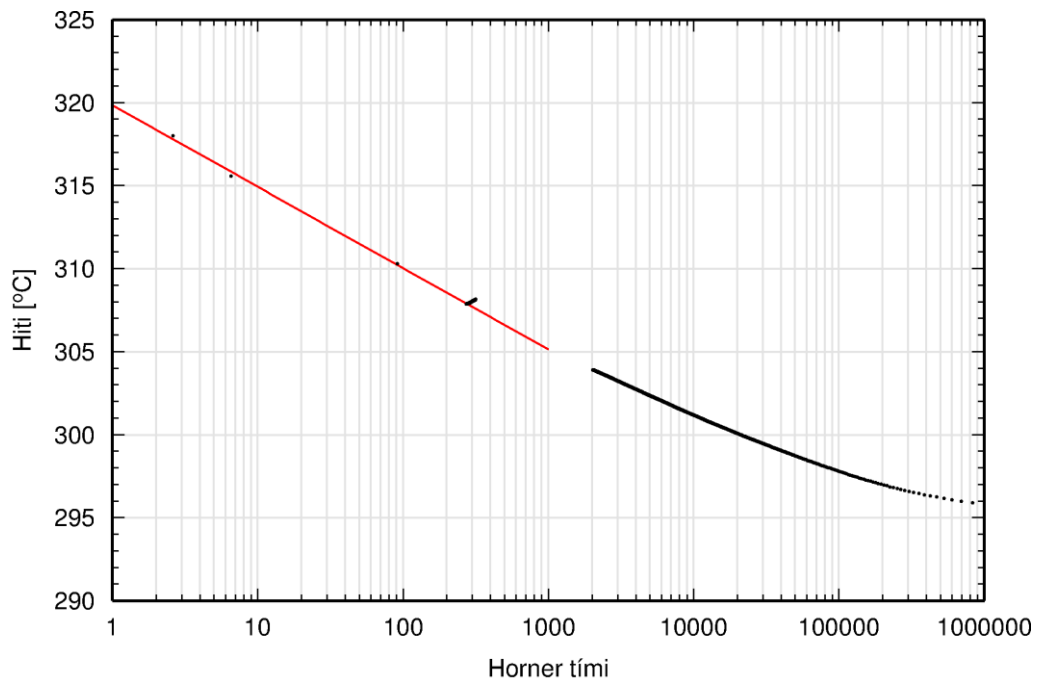
Mælingar á hitajöfnun holna ÞG-4, ÞG-5b og ÞG-6 eru sýndar á myndum 29–31. Ekki reyndist unnt að meta lokahita í holu ÞG-5b vegna óreglulegra mælipunkta en í holum ÞG-4 og ÞG-6 reyndist hann vera 319,8°C og 309,8°C. Lokahitinn í holu ÞG-6 er langt yfir metnum berghita en eins og áður hefur komið fram er talið líklegt að berghitinn í holunni sé vanmetinn. Lokahitinn í holu ÞG-4 er 5,7°C undir metnum berghita í samræmi við þá þrýstingslækkun sem orðið hefur eftir blásturstímann, enda fylgir hitinn í holunni suðumarksferli.



Mynd 29. Hitajöfnunarmælingar á 1500 m dýpi í holu ÞG-6 á Þeistareykjum á Horner-grafi. Tímasetning lokana á holum ÞG-4 og ÞG-5b eru sýndar með svörtum örvum. Rauð lína sýnir besta aðhvarfsferil í gegnum síðustu mælipunkta frá Horner-tíma undir 200.



Mynd 30. Hitajöfnunarmælingar á 1500 m dýpi í holu DG-5b á Þeistareykjum á Horner-grafi.

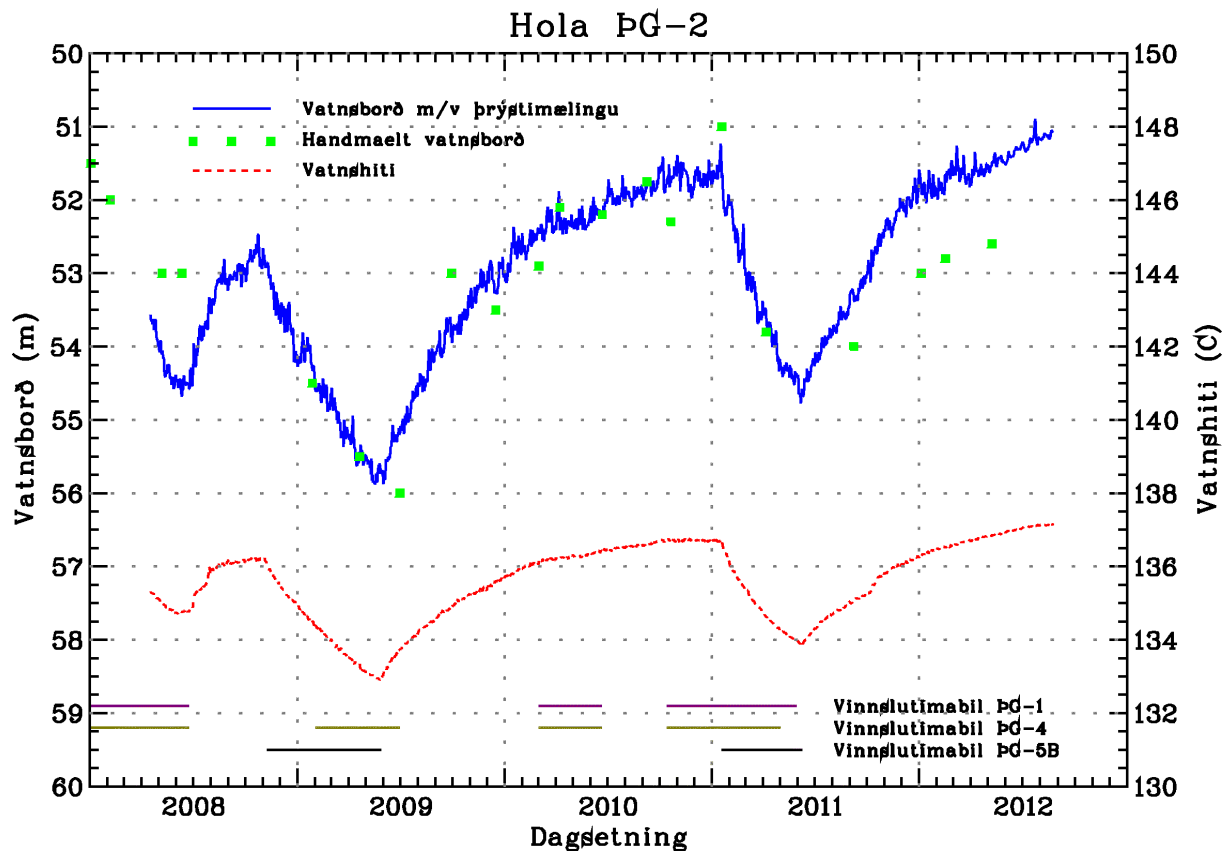


Mynd 31. Hitajöfnunarmælingar á 1640 m dýpi í holu DG-4 á Þeistareykjum á Horner-grafi. Rauð lína sýnir besta aðhvarfsferil í gegnum síðustu þrjá mælipunktana.

10 Vatnsborð í holu ÞG-2

Hola ÞG-2 var boruð haustið 2003 við erfiðar aðstæður, bæði gekk borverkið brösuglega auk þess sem snjóþyngsli gerði mönnum erfitt fyrir, en borverkinu lauk 12. desember með þrepa-
prófi og fór holan þá í upphitun. Holan er mjög lek með ádælingarstuðul 10–12 (l/s)/bar en
opnasta æðin er líklegast á um 660 m dýpi (Ásgrímur Guðmundsson o.fl., 2004). Holunni var
hleypt upp 8. febrúar 2004 og var hún í vinnslu út apríl 2004. Vermis rennisins frá holunni var
um 900 kJ/kg í um 35 kg/s heildarrennsli þar sem hlutur vatns var um 30 kg/s (Benedikt
Steingrímsson, 2004). Frá 2008 hefur holan verið mæld með sambyggðum hita- og þrýstings-
mæli á 189 m dýpi ásamt því að vatnsborð hennar er mælt reglulega. Mynd 32 sýnir að
vinnsla úr holu ÞG-5b hefur bein áhrif á vatnsborð (þrýsting) í holu ÞG-2 en ekki er augljóst
hvort áhrifa vegna vinnslu úr ÞG-1 og/eða ÞG-4 gæti til viðbótar. Athygli vekur að hitinn í
189 m breytist einnig (lækkar um rúmar 2°C) með aukinni vinnslu og er hitalækkunin í takt
við þrýstingsbreytingarnar en vinnslufóðringin nær niður í 617 m (Ásgrímur Guðmundsson
o.fl., 2004). Hola ÞG-7 var sett í vinnslu í janúar 2012 en ekki gætir áhrifa hennar í holu ÞG-2.
Um holur ÞG-3 og ÞG-6 er lítið hægt að segja þar sem vinnslutími þeirra fellur mjög saman
við vinnslutíma ÞG-1, ÞG-4 og ÞG-5b.

Hola ÞG-2 mun gegna mikilvægu hlutverki við vöktun áhrifa frá vinnslu á Þeistareykjum en
út frá þeim gögnum sem liggja fyrir er ekki unnt að kortleggja áhrif annarra holna en ÞG-5b
á vatnsborðið í ÞG-2. Þessi áhrif mætti á næstu mánuðum mæla með beinum hætti með því
að keyra eina holu í einu í tvo til þrjá mánuði og hafa síðan þriggja til fjögurra mánaða
vinnsluhlé. Hér þarf að hafa í huga að áhrif annarra holna en ÞG-5b eru mjög lítil, ef einhver
eru, og því helst líklegt að hola ÞG-2 vakti fyrst og fremst ÞG-5b.



Mynd 32. Mældur hiti og reiknað vatnsborðs út frá þrýstingsmælingu í holu ÞG-2 ásamt handmældu vatnsborði. Þá sýnir myndin einnig vinnslutímabil í nærliggjandi holum ÞG-1, ÞG-4 og ÞG-5b. Hita- og vatnsborðsbreytingar í ÞG-2 ráðast alfarið af vinnslu úr holu ÞG-5b.

11 Lokaorð

Hér að framan hefur verið gerð grein fyrir niðurstöðum mælinga á holum á Þeistareykjum sem gerðar hafa verið í tengslum við álagspróf á jarðhitakerfinu frá hausti 2010 fram á sumar 2011. Mælingarnar gefa frekari upplýsingar um eiginleika holna og þrýsti- og hitajöfnun þeirra eftir að þeim var lokað í maí og júní 2011. Í töflu 2 er, eins og kostur er, gefið yfirlit um heildarvinnsluna á Þeistareykjum síðan gufuholurnar þar voru settar í vinnslu. Tölurnar byggjast að mestu leyti á vinnsluskráningu úr ViewData-gagnagrunnskerfi Landsvirkjunar en í þeim eru eyður, langar og stuttar, sem skekkja heildarmyndina. Samkvæmt töflu 2 hafa um 5,4 milljónir tonna verið unnar úr jarðhitakerfi Þeistareykja á árunum 2002–2012 en það er af fyrrgreindum ástæðum vanmat auk þess sem stutt vinnslutímabil holu ÞG-2 er ekki inni í þessum tölum.

Líkt og flestar aðrar holur á Þeistareykjasvæðinu sýður hola ÞG-1 sig í botn í blæstri. Þrýstingurinn í holunni fellur mikið við blástur og rétt eftir lokun verður vart við niðurrennsli í holunni sem kælir hana niður í 1600 m. Þegar þrýstingurinn hefur hækkað nægilega stöðvast niðurrennslið að mestu og áhrif kælingarinnar hverfa.

Í álagsprófinu reyndist ekki unnt að mæla holu ÞG-3 nema niður á 800 m dýpi vegna fyrirstöðu. Eldri mælingar í blæstri sýndu gufuríkt rennsli ofan 1500 m dýpis en neðan þess er vökvinn tvífasa blanda vatns og gufu við suðumark. Rétt eftir lokun í maí 2011 er gufa og gas í holunni niður að fyrirstöðunni í 800 m en þegar tveir mánuðir eru liðnir frá lokun færast vatnsborðið upp fyrir fyrirstöðuna og er í síðustu mælingu komið upp á 400–500 m dýpi en síðan er gufa/gas þaðan og upp í holutopp. Því er öfugt farið með holu ÞG-4 þar sem gufu/gastappi virðist nokkuð stöðugur frá yfirborði niður á 1800 m dýpi í öllum mælingum. Þrýstingsjöfnun holunnar gefur til kynna að lokaþrýstingur á 1500 m dýpi eftir blásturinn 2010–2011 sé rétt um 111 bar-g, sem er um 8,2 bar undir metnum upphafsþrýstingi í kerfinu. Þetta er nær örugglega töluvert ofmat þar sem það vantar nýrri mælingar á þrýstingsjöfnun og upphafsþrýstingur er líklega ofmetinn. Mat á lokahita á 1500 m dýpi er um 5,7°C undir metnum berghita. Mat á lektarþykkt jarðhitageymisins við holu ÞG-4 reynist vera 2,7 Dm sem er a.m.k. helmingi lægra gildi en fékkst við þrepaprófun holunnar.

Mælingar í holu ÞG-5b gefa skýrari mynd af hegðun holunnar en áður. Í blæstri kemur fram kæling í holunni frá um 1000 m dýpi niður á botn. Rétt eftir lokun mælist hitinn nokkuð nálægt metnum berghita og kælingin á 1000–2000 m er mjög skýr. Tæpum tveimur mánuðum eftir lokun sést hins vegar að hitinn í holunni hefur hækkað töluvert og hækkar enn í seinni mælingum. Lögun hitaferilsins bendir til þess að uppstreymi úr neðstu æð blandist kaldari vökva úr æðum ofar í holunni og rennur uppstreymið svo að öllum líkindum út í æð á 860 m dýpi. Þrýstingurinn neðan til í holunni lækkar eftir því sem lengra líður frá lokun. Það er því líklegt að uppstreymið frá botni nái yfirhöndinni þegar þrýstingur neðan 1500 m dýpis hefur lækkað nægilega mikið. Fram að því streymir kaldari vökvi úr efri æðum inn í holuna og stjórnar hitadreifingunni. Mælingar á þrýstingsjöfnun holu ÞG-5b gefa mat á lokaþrýstingi nálægt 112,7 bar en metinn upphafsþrýstingur er 114,8 bar-g á 1500 m dýpi. Upphafsþrýstingurinn er að öllum líkindum ofmetinn og því er niðurdrátturinn í holunni nær enginn eftir blásturinn 2011.

Hitamælingar í holu ÞG-6 sýna að í blæstri sýður holan a.m.k. niður fyrir 1500 m dýpi en ekki reyndist unnt að mæla neðar vegna fyrirstöðu í holunni. Stuttu eftir lokun er suðuborðið ennþá neðan 1500 m dýpis en ríflega mánuði síðar færast það upp á við og var á 950 m

dýpi fimm og hálfum mánuði eftir lokun. Nýjustu hitamælingar í holunni og stöðugt hátt vermi hennar í blæstri styðja þá túlkun að berghiti holunnar sé vanmetinn. Þrýstingsjöfnun holu ÞG-6 sýnir augljós áhrif frá blæstri holna ÞG-4 og ÞG-5b. Eftir lokun þeirra breytist hallatalan á þrýstingsjöfnunarferlinum mikið og munar um 20 bar á lokaþrýstingi sem fæst út frá gögnum fyrir og eftir lokun þessara tveggja holna. Gögnin frá því eftir lokun allra holna gefa mat á lokaþrýstingi upp á 110 bar-g en upphafsþrýstingurinn á 1500 m dýpi er metinn sem 115,2 bar-g. Ef miðað er við upphitunarmælingar sem gerðar voru haustið 2008 er upphafsþrýstingurinn á 1500 m dýpi í ÞG-6 um 110,2 bar-g. Þrýstingsjöfnunarmælingarnar benda því til hverfandi niðurdráttar eftir álagsprófið 2010–2011. Lokahitinn í holu ÞG-6 sem metinn var út frá hitajöfnunarmælingum er langt yfir metnum berghita en eins og áður kom fram er hann talinn vera vanmetinn.

Vinnslutölur holnanna yfir tímabilið sem afkastamatið er gert á eru nokkuð strjálar auk þess sem búnaður til mælinga á þrýstingi þriggja holna var í ólagi tímabundið. Eins voru aðstæður til mælinga á vatnsborði í vatnskari stundum erfiðar og jafnvel ófærar. Þetta gerir það að verkum að massa- og orkuvinnslutölurnar sem þessi skýrsla fjallar um eru vanmetnar.

Undir lok blásturtímans mældist vermi vökvans úr ÞG-1 um 2000 kJ/kg við 15 kg/s vinnslu við 28 bar-g á holutoppi, hola ÞG-3 skilaði þá 12 kg/s með háu vermi, yfir 2500 kJ/kg, við 27 bar-g toppþrýsting. Hola ÞG-4 var með 26 kg/s í vinnslu af 2600 kJ/kg hávermi við 23 bar-g holutoppþrýsting en hola er talin munu skila um 13 MWe við raforkuframleiðslu. Miklar sveiflur eru í vinnslugögnum fyrir holu ÞG-5b en hún skilaði undir lok vinnslutímans um 58 kg/s af tiltölulega lágu vermi, 1250 kJ/kg, og svo virðist sem vatnsrennsli úr holunni hafi verið að aukast, var 36 kg/s undir lokin. Hola ÞG-6 skilaði 12 kg/s af vökva með um 2600 kJ/kg vermi við 20 bar-g toppþrýsting.

Ekki verða gerðar tilraunir til að reikna vinnslustuðla fyrir holurnar (samband þrýstiniðurdráttar og vinnslu) auk þess sem almennt gildir að ekki er línulegt samband milli vinnslu og þrýstingsbreytinga við tvífasa innrennsli (Grant og Bixley, 2011)

Greinilegra áhrifa vinnslu úr holu ÞG-5b gætir á vatnsborð í holu ÞG-2 en hún hefur verið vöktuð stöðugt síðan 2008. Aðrar holur virðast hafa lítil áhrif á holu ÞG-2.

12 Heimildaskrá

- Ásgrímur Guðmundsson, Bjarni Gautason, Sigvaldi Thordarson, Þorsteinn Egilsson og Sveinbjörn Þórisson (2002). *Rannsóknarborun á Þeistareykjum. Hóla ÞG-1. 3. áfangi: Borun vinnsluhluta í 1953 m dýpi*. Orkustofnun, OS-2002/079, 59 bls.
- Ásgrímur Guðmundsson, Bjarni Gautason, Grímur Björnsson, Þorsteinn Egilsson og Sveinbjörn Þórisson (2004). *Rannsóknarborun á Þeistareykjum, Hóla ÞG-2. 3. áfangi: Borun vinnsluhluta í 1723 m dýpi*. Íslenskar orkurannsóknir, skýrsla, ÍSOR-2004/034, 58 bls.
- Anette K. Mortensen og Steinþór Níelsson (2011). *Þeistareykir. Fyrirstöður í holum ÞG-3 og ÞG-6. Greining á útfellingum*. Íslenskar orkurannsóknir, greinargerð, ÍSOR-11101, 12 bls.
- Auður Ingimarsdóttir, Þorsteinn Egilsson, Bjarni Gautason, Magnús Á. Sigurgeirsson, Ragnar Bjarni Jónsson, Friðgeir Pétursson, Sveinbjörn Sveinbjörnsson yngri, Sveinbjörn Sveinbjörnsson eldri, Hörður H. Tryggvason, Páll Jónsson og Kristján Haraldsson (2009). *Þeistareykir – Hóla ÞG-5b. Borun nýs vinnsluhluta út úr holu ÞG-5 frá 813 m í 2499 m dýpi: Jarðlagagreining og mælingar*. Íslenskar orkurannsóknir, skýrsla, ÍSOR-2009/056, 45 bls.
- Benedikt Steingrímsson (2004). *Upphleyping holu ÞG-2 á Þeistareykjum*. Íslenskar orkurannsóknir, greinargerð, ÍSOR-04145, 9 bls.
- Bjarni Richter, Þorsteinn Egilsson, Anette K. Mortensen, Ragnar Bjarni Jónsson, Sigvaldi Thordarson, Friðgeir Pétursson, Oddur Kjartansson, Robert Stacy og Kristján Haraldsson (2007). *Rannsóknarborun á Þeistareykjum. Hóla ÞG-4. 3. áfangi: Borun vinnsluhluta fyrir 7" leiðara frá 839 m í 2240 m dýpi*. Íslenskar orkurannsóknir, skýrsla, ÍSOR-2007/054, 108 bls.
- Grant, M. A. og Bixley, P. F. (2011). *Geothermal Reservoir Engineering. 2nd ed.* Academic Press, Burlington, MA 01803, USA.
- Guðni Axelsson og Þorsteinn Egilsson (2011). *Mælingar í borholum á Þeistareykjum 2011*. Íslenskar orkurannsóknir, minnisblað 15. apríl 2011, 3 bls.
- Horne, R. N. (1995). *Modern Well Test Analysis. A Computer-Aided Approach. 2nd ed.* Petroway Inc., Palo Alto, CA 94303, USA.
- Sigríður Sif Gylfadóttir (2011). *Álagspróf á Þeistareykjum. Staða mælinga í desember 2011*. Íslenskar orkurannsóknir, skýrsla, ÍSOR-2011/073, 32 bls.
- Sigríður Sif Gylfadóttir (2012). *Hita- og þrýstingsmælingar á Þeistareykjum í mars 2012*. Íslenskar orkurannsóknir, greinargerð, ÍSOR-12057, 11 bls.
- Sigurjón Böðvar Þórarinsson, Bjarni Gautason, Ásgrímur Guðmundsson, Guðmundur Sigurðsson og Kristján Haraldsson (2006a). *Rannsóknarborun á Þeistareykjum. Hóla ÞG-3. Forborun og 1. áfangi: Borun fyrir 18⁵/₈" yfirborðsfóðringu í 74,5 m og 13³/₈" öryggisfóðringu frá 74,5 m í 257 m dýpi*. Íslenskar orkurannsóknir, skýrsla, ÍSOR-2006/043, 35 bls.
- Sigurjón Böðvar Þórarinsson, Ásgrímur Guðmundsson, Bjarni Gautason, Þorsteinn Egilsson, Kjartan Birgisson og Guðmundur Sigurðsson (2006b). *Rannsóknarborun á Þeistareykjum – Hóla ÞG-3. 3. áfangi: Borun vinnsluhluta fyrir 7" leiðara frá 757 m í 2659 m dýpi*. Íslenskar orkurannsóknir, skýrsla ÍSOR-2006/053, 135 bls.

- Sigurveig Árnadóttir, Auður Ingimarsdóttir, Bjarni Gautason, Anette K. Mortensen, Þorsteinn Egilson, Ragnar Bjarni Jónsson, Sveinbjörn Sveinbjörnsson, Hörður Tryggvason og Sigurjón Vilhjálmsson (2009). *Þeistareykir – Hóla ÞG-6. 3. áfangi: Jarðlagagreining og mælingar*. Íslenskar orkurannsóknir, skýrsla, ÍSOR-2009/072, 67 bls.
- Sigurveig Árnadóttir, Anette K. Mortensen, Sigurður Sveinn Jónsson, Hörður Tryggvason, Hermann Hafsteinsson, Halldór Ingólfsson, Sigurjón Vilhjálmsson og Haraldur Jónasson (2011a). *Þeistareykir – Hóla ÞG-7. Forborun og 1. áfangi: Jarðlög og mælingar. Borun fyrir yfirborðsfóðringu í 97 m og öryggisfóðringu í 270 m dýpi*. Íslenskar orkurannsóknir, skýrsla, ÍSOR-2011/048, 29 bls.
- Sigurveig Árnadóttir, Anette K. Mortensen, Sigurður Sveinn Jónsson, Hörður Tryggvason, Halldór Ingólfsson, Sigurjón Vilhjálmsson, Bjarni Kristinsson, Þorsteinn Egilson, Halldór Örvar Stefánsson, Sveinbjörn Sveinbjörnsson og Friðrik Ágústsson (2011b). *Þeistareykir – Hóla ÞG-7 3. áfangi: Borsaga. Borun vinnsluhluta fyrir 7" götuðum leiðara frá 776 m í 2509 m dýpi*. Íslenskar orkurannsóknir, skýrsla, ÍSOR-2011/062, 154 bls.
- Þorsteinn Egilson, Halldór Ármannsson, Benedikt Steingrímsson, Ásgrímur Guðmundsson og Hreinn Hjartarson (2004). *Þeistareykir – Hóla ÞG-1. Mælingar í upphitun og blæstri 2002–2003*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2004/040, 29 bls.
- Þorsteinn Egilson, Sveinbjörn Sveinbjörnsson og Sveinbjörn Sveinbjörnsson (2010). *Borholu-mælingar á Þeistareykjum 11.–13. febrúar 2010*. Íslenskar orkurannsóknir, greinargerð, ÍSOR-10027, 12 bls.
- Þorsteinn Egilson (2011a). *Upphitunar- og þrýstijöfnunarmælingar á Þeistareykjum 2004–2008*. Íslenskar orkurannsóknir, skýrsla, ÍSOR-2011/014, 64 bls.
- Þorsteinn Egilson (2011b). *Upphitunar- og þrýstijöfnunarmælingar í holum ÞG-1, ÞG-3, ÞG-4, ÞG-5b og ÞG-6 á Þeistareykjum í maí–ágúst 2011*. Íslenskar orkurannsóknir, greinargerð, ÍSOR-11075, 31 bls.

Viðauki:
Minnisblöð

Minnisblað fyrstu mælitarnar á Peistareykjum 2011.

Upphafleg áætlun var að mæla holu ÞG-05 þrisvar, þeirri áætlun var síðan breytt og ákveðið var að mæla holu ÞG-06 í blæstri, loka henni og mæla hana síðan í þrýstijöfnun daga tvö og fjögur. Mæla svo holu ÞG-01 á degi þrjú.

Endanleg framkvæmd varð þannig að hola ÞG-06 var mæld fyrstu þrjá dagana og hola ÞG-03 á degi fjögur.

Farið var á mælingarbíl, PO-029, Möntru með rafstöð. Gengu allar ferðir vel þrátt fyrir misjafna færð.



Mynd 1: Peystareykir 30. maí 2011.

30. maí 2011.

Mælingamenn, Bjarni Kristinsson og Halldór Stefánsson voru mættir á plan C um klukkan 11, báðar holurnar á planinu, ÞG-03 og ÞG-06, voru í blæstri. Hiti á toppi ÞG-06 var mældur með geislaæli og reyndist hann vera 208°C og toppþrýstingur 28 bar. Mæliröri var komið fyrir og K10 æli slakað niður. Mælir komst niðurfyrir hljóðdeyfisrör án þess að minnka þyrfti útblástur. Í 1504 m settist mælirinn og fór ekki neðar þrátt fyrir ítrekaðar tilraunir. Vegna hættu á að missa



Mynd 2: Mæling ÞG-06 í blæstri.

vír úti hljóðdeyfi var ekki telft á tæpasta vað. Lokað var fyrir blásturinn og reynt var að komast neðar, það gekk ekki þannig að í 1500 m var stöðvað og þrýstijöfnun mæld eins og til var ætlast. Fáum mínútum eftir lokun var toppþrýstingur 37 bar og jókst. Hitinn fór í 230°C. Mælinn hékk í 1500 m í rúma 4 tíma. Eftir það var enn reynt að komast neðar en aftur settist mælirinn á 1504 m dýpi. Híft upp.

Þegar upp var komið kom í ljós að lóðið var bogið og af brotinu að dæma og nuddsárinu virðist lóðið hafa bognað á blaði í loka á leiðinni niður og þá væntanlega þegar það lenti í blæstrinum úti hljóðdeyfi (sjá mynd 3). Þennan boga á lóðinu töldum við hugsanlega orsök þess að mælirinn komst ekki niður og bendir eindregið til þess að lokinn opnast ekki að fullu.



Mynd 3: Lóðið eftir blástursmælingu,

31. maí.

Hola ÞG-06 mæld aftur. Holan hafði verið lokuð í tæpan sólaring og toppþrýstingur var kominn í 65 bar. Mælirinn fór nú í holuna án lóðs, reynt var að komast niður í botn en mælirinn stoppaði aftur í 1504 m og komst ekki neðar. Mælir var settur í 1500 m og þrýstijöfnun mæld þar í 3 tíma.

1. Júní.

Mæla átti holu ÞG-06 í þriðja sinn. Ákveðið var að fullreyna að komast framhjá þrengingunni. Lóði var slakað í holuna og stöðvaðist það á sama stað og áður, á 1504 m dýpi. Lóðinu var slakað ítrekað á mismunandi hraða, allt að 150 m/mín en allt kom fyrir ekki, það stoppaði alltaf á 1504 m. Toppþrýstingur var kominn í 67 bar.

Við skoðun á efra hjóli komu í ljós sprungur, en til allrar lukku voru "Grímsmenn" með suðugræjur og gátu soðið í hjólið. Mælt var niður og stoppað í 1500 m í u.þ.b. 30 mín.



Mynd 4: Grímsmenn sjóða í hjólið.

2. júní.

Mæling í ÞG-03. Toppþrýstingur var 52 bar og hiti við topp mældist u.þ.b. 18°C. Holan er 2638 m djúp og bein. Mælir sem var án miðjustillis stoppaði í 786 m. Þess má geta að hengistykkið er ofanvið 756 m þannig að mjög ólíklegt er að mælir hafi stoppað á því. Ákveðið var að Bjarni færi í Kröflu og syði miðjustilli á nef K10 mælis meðan



Mynd 5: Mæling holu ÞG-03.



Mynd 6: Ásoðinn miðjustillir

Halldór lóðaði holuna. Lóði var slaka í holuna og það stoppaði í 786

m eins og mælirinn. Margar tilraunir voru gerðar á mismunandi hraða, þegar fullreynt þótti var lóðið tekið upp.

Þegar lóðið var kominn upp í mælirör var 3" loka lokað og Heiðar starfsmaður Gríms ehf. fór inní húsið til að opna krana á mæliröri til að hleypa út þrýstingi. Húsið virðist hafa fyllt af gasi úr mælirörinu því Heiðar skjögraði í dyrnar og datt þar niður, þegar Halldór kom að honum örskömmu síðar var hann alveg meðvitundarlaus. Halldór dró hann í ferskara loft og hann jafnaði sig nokkuð fljótt, sennilega hefur hann verið meðvitundarlaus eða meðvitundarlíttill í innan við 30 sek.

Sjá má á hitamælingu að það virðist vera u.þ.b. 40 m af gasi efst í holunni, þar að auki er húsið lítið opið í toppinn og ekki mikill vindur þannig að gasið hélst inni í húsinu. Enginn gasmælir var með í för og hefði hann engu bjargað við þessar aðstæður.

Bjarni kom til baka frá Kröflu og reynt var að komast neðar með miðjustilli. Allt kom fyrir ekki og mælir stöðvaðist aftur í 786 m. Nú þótti fullreynt.

Þriggja tommu lokinn á holu ÞG-03 var óþéttur við snigilinn og lak gasi einnig var flansinn illa farinn og þörf er á að laga hann fyrir næstu mælingar.

Framhaldið

Samkvæmt fyrirbyggjandi áætlun verða holur ÞG-05B og ÞG-01 mældar í næstu mælingatörn. Við viljum að lokar á holum ÞG-05B og ÞG-04 verði skoðaðir og tryggt verði að þeir séu í lagi áður en mælingamenn ÍSOR fara norður í næstu lotu. Ástand holutopps ÞG-01 er hins vegar óviðunandi og er hún því ekki í mælihæfu ástandi. (sjá mynd 7). Tekið var á 3" lokanum með tóngum og lítillaga náðist að hreyfa hann, en ekki var áhættunnar virði að reyna meira.



Mynd 7: Tekið á loka ÞG-01

Halldór Stefánsson
Bjarni Kristinsson.

PT-mælingar á Þeistareykjum 2011

Starfsmenn ISOR, þeir Friðgeir Pétursson og Sveinbjörn Sveinbjörnsson(e) mældu hita og þrýsting í fjórum holum á Þeistareykjum dagana 15. og 16. júní 2011. Starfið gekk vel.

Holurnar voru ÞG-01 og ÞG-05B á plani A og ÞG-03 ÞG-06 á plani C.

Hola	Dags	Svunta	Bor- dýpi	Mæli- dýpi	Po bar	Aths.
ÞG-01	15/6	H: 60477 P: 60478	1953	1929	36	Nýr gir á aðalloka og nýr 3" loki, svo loks var hægt að mæla þessa holu.
ÞG-05B	15/6	H: 60483 P: 60484	2499	2494	5	Síðasta mæling, þann 10. júní var daginn eftir að lokað fyrir blástur. Þá fór mælir í 2455 m.
ÞG-03	16/6	H: 60479 P: 60480	2659	796	53	2. júní sl. fór mælir í 786 m og lóð í sama.
ÞG-06	16/6	H: 60481 P: 60482	2792	1536	68	1. júní sl. fór mælir í 1500 m og lóð í 1511 m. Holan blés til 30. maí.

Mældýpi dagana 15. og 16. er hér skráð eins og það skráðist í Econoline. Eldri mælingar, sem getið er í athugasemdum voru gerðar í Sprinter bílnum. E. mælingarnar sýna nærri 2% meira dýpi en S. mælingarnar. Það er búið að gera samanburðarmælingu og leiðrétt verður bráðlega.

Bjarni Kristinsson

Minnisblað vegna mælinga á Þeistareykjum 20. - 25. júní 2011

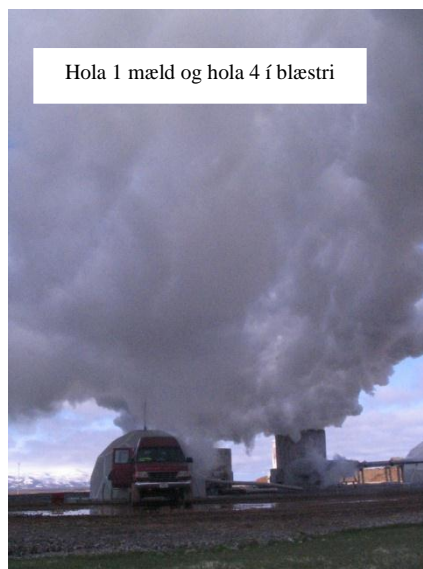


Sveinbjörn Sveinbjörnsson, yngri
Sveinbjörn Sveinbjörnsson, eldri

Mánudagur 20. júní 2011.

Farið var inn á Þeistareyki til eftirlitsmælinga mánudaginn 20. júní 2011. Byrjað var á að fara í Kröflu og gengið var frá gistingu og þess háttar. Þar hittum við Karl Emil Sveinsson hjá gufuveitunni og sögðum honum frá því að við værum á leið inn á Þeistareyki til eftirlitsmælinga. En við höfðum fengið plan fyrir vikuna og áttum að byrja á að mæla holu eitt og fjögur þann daginn.

Hola fjögur var í blæstri. Karli leist ekki vel á að mæla holu fjögur í blæstri þar sem að hún er öflug og því ekki auðvelt að mæla holuna. Síðan höfðum við samband við Þorstein Egilson hjá ÍSOR og þá vorum við að velta fyrir okkur hvaða rör skildi nota því að rörið sem að til er á Þeistareykjum hefur ekki nægilegt þrýstipól fyrir holu fjögur. Það var reiknað með að þrýstingur á holutopp gæti farið í kringum 100 bar eftir að lokað yrði fyrir holuna. Eftir nokkrar bollaleggingar var ákveðið að senda háþrýstímælirör norður til að hægt væri að mæla holu fjögur og gæta fyllsta öryggis. Það að rörið var ekki á staðnum þýddi það að fresta þurfti blástursmælingu á holu fjögur um einn dag. En



mælingarmenn fóru til Akureyrar á mánudagskvöldinu til að geta sótt rörið um leið og opnað var hjá flutningsaðilanum á þriðjudagsmorgni. Þetta var allt saman ákveðið í samráði við Þorstein. Hola númer eitt var hins vegar mæld þennan dag og gengu aðgerðir við holuna vel. En það sem vert er að hafa í huga er að hafa góða loftræstingu og gasskynjara þar sem að töluvert gas var í kúluhúsinu. Enn við sem vorum þarna að störfum tveir menn frá ÍSOR og einn maður frá Vélsmiðjunni Grím á Húsavík höfðum ákveðið að haga störfum með þeim hætti að hafa helst ekki nema einn mann í kúluhúsinu í einu og ávallt gasskynjara á þeim sem að fór inn í húsið. Einnig er ágætt að koma skynjaranum fyrir inni í húsinu því að það blikka á honum rauð ljós um leið og hann nemur of mikið gas.

Þriðjudagur 21. júní 2011.

Byrja átti að mæla holu fjögur í blæstri (*degi á eftir áætlun þar sem að nógu öflugt mælirör var ekki á staðnum*) og hífa svo mæli á 1640 metra og láta hann vera þar í 3 klukkustundir áður mælir var hífður til yfirborðs. Holan er mjög kröftug og ekki var um annað að ræða en að skrúfa fyrir blástur að hluta til að koma mæli niður. Áður en að farið var í þessar aðgerðir var haft náíð og gott samstarf við Þorstein. Aðgerðir gengu bara þó nokkuð vel fyrir sig en eftir að mælir var komin niður í leiðara þá þurfti að þrengja lítillega að holunni þar sem að mælir gekk treglega niður. Allar slíkar aðgerðir voru skráðar niður og með mælingunum þann daginn fylgdi útfyllt skjal þar sem að þessar lýsingar komu fram. Fylgst var náíð með hita á holutopp ásamt þrýstingi og kom þá í ljós að nauðsynlegt var að fá háþrýstirörið til þessarar mælingar.

Miðvikudagur 22. júní 2011.

Á miðvikudeginum var hola fjögur mæld og var holan lokuð. Þrýstingur á holutoppi var um 87 bar og þegar mæling byrjaði hitnaði holutoppurinn upp í 270-280°C mælt með laser mæli. Mælingar gengu vel og ekki er hægt að segja að neitt hafi komið upp á í þeim mælingum sem fram hafa farið til þessa. En við myndum mæla með að búnir yrðu til blindtappar á 3 tommu lokana þar sem að sæti fyrir þéttihringi liggur undir skemmdum þegar ekkert er ofan á lokanum meðan að holan stendur, jafnvel í fullum blæstri. En þéttisæti á 3ja tommu lokanum var orðið nokkuð skemmt og þurfti að djöflast með vírburstann á þessu áður en að holan var mæld í fyrsta skipti. Maður vill helst hafa þetta eins þétt og mögulegt er. Þó tókst alveg að herða saman mælirör og 3ja tommu lokann þannig að ekkert



lak með samskeytum. En það gefur nokkuð auga leið að þegar holutoppur er orðinn allt að 300°C að þá verður er allt voðalega heitt þar í kring. Eini lekinn á búnaðinum var leki með þéttitappa þó var notaður grafitþráður til þéttingar. Einnig lak með samskeytum mælirörs þegar rörið fór að hitna.

Fimmtudagur 23. júní 2011.

Þennan dag voru holur þrjú og sex mældar. Hola sex mældist einungis niður á 1064 metra sem er mun styttra en fyrri mæling sem að gerð var þann 16. júní 2011. Ekki var farið með lóð í holuna en fyrsta fyrirstaða var á um 859 metra dýpi og þurfti nokkrar tilraunir til að komast niður fyrir þá fyrirstöðu. Svo þegar mælir var dreginn upp aftur þá varð vart við fyrirstöðu á 859 metra dýpi og var það einnig vel merkjanlegt á vigt. Mikið gas var í kúluhúsi við holu númer þrjú og algert gas-grímufæri. Botn holu þrjú mældist á sama dýpi og í mælingu sem gerð var þann 16. júní 2011. Þegar komið var á planið þar sem að holur þrjú og sex eru þá var nokkuð þröngt þar vegna framkvæmda við plan fyrir holu sjö. Gunnar verktaki við plangerðina var afar liðlegur og lagaði til þannig að við gætum mælt.

Föstudagur 24. júní 2011.

Hola fjögur var mæld þennan dag. Þá var þrýstingur kominn í um 90 bar og hiti á gasi í blæðingu var um 300°C og hitnaði holutoppur mjög fljótt. Smávægileg töf varð í byrjun mælingar vegna forrits sem notað er við dýpistalningu. Segja má að það hafi tafið um eina klukkustund. Að öðru leyti gekk mæling dagsins vel. Þess má þó geta að nokkuð erfitt er að finna botn holunnar og eftir á að hyggja þá væri kannski ráð að mæla holuna næst með lóði, en þannig verður maður betur var við þegar mælir sest.

Nokkur leki er með þéttitappa í mæliröri og á samsetningum mælirörs við þennan hita og þrýsting og því má segja að holan hafi verið í blæðingu meðan á mælingum stóð.

Laugardagur 25. júní 2011.

Byrjað var á að mæla holu eitt. Mælingin gekk vel og veður var lygnt og því var nokkuð gas í kúluhúsinu. Búið er að endurnýja þriggja tommu lokann á holu eitt og einnig er búið að setja nýjan gir á aðalokann þannig að þar er allt í lagi og engin vandamál með holutoppinn. Síðan var hola fimm mæld og gekk sú mæling að óskum. Þó virtist manni að eftir að mælir var kominn á meira en 2100m þá var eins og að mælir væri að rykkjast niður sem að sást á vigt sem töluvert flökt. En að öðru leyti gengu mælingar dagsins mjög vel.

Samantekt:

Eitt af því sem að manni dettur í hug eftir þessa ferð er að það væri kannski ráð að búa til milliflans á IDDP mælirörið þannig að hægt væri að nota það við holu númer fjögur. Það er bæði dýrt og tafsamt að lenda í því að hafa ekki nógu öflugt rör til taks þegar komið er á staðinn. Eins er þetta samsetta mælirör sem að við vorum að nota frekar óþægilegt í notkun því að það þarf að berja á samsetningarrærnar með stórri sleggju þegar að rörið liggur á jörðinni og einnig þyrfti að vera með búkka undir rörið sem að stillir það saman þar sem að engar stýringar eru við samsetningar rörsins. Eftir að hafa notað háþrýstimælirörið var það sent suður þar sem að rörið verður í notkun næstu þrjár vikur, eftir því sem að Peter Danielsen hjá ÍSOR tjáði okkur. **Því þarf að hugsa fyrir því nú að vera með einhvern búnað tiltækan við næstu mælingu á holu 4 sem að er á dagskrá þann 7. eða 8. júlí næstkomandi.** Síðan urðum við þess varir að búið var að sjóða flatjárn á mælirörið sem að er í eigu Þeistareykja. Þetta var gert að beiðni starfsmanns ÍSOR að því er þeir hjá Vélsmiðjunni Grím sögðu okkur. Að okkar mati var ekki þörf á þessu flatjárninu um miðbik rörsins enda mun það ekki hafa verið notað mikið. Hins vegar er það mat okkar að á mæliröri sem notað er við blásturmælingar og gert er fyrir 80 bar og 200°C á ekki að vera að framkvæma suður nema að setja rörið í myndun. Þarna er soðið í rörið á eina hlið og svona suða getur valdið sprungumyndun í rörinu. Það er fyllsta ástæða til þess að menn sýni þessu svolitla virðingu þar sem að menn eru að störfum í kringum þetta við þennan há þrýsting og hita. Síðan má geta þess að mælitækin eru dýr og því finnst manni að svona tilraunir og æfingar eigi ekki að eiga sér stað. Ef fylgja ætti eðlilegum vinnureglum varðandi búnað sem notaður er við háan þrýsting, þá þarf að taka þetta rör og senda í myndun eða þrýstiprófun. Við vitum það bara að þegar verið er að prófa búnað fyrir kælikerfi sem að vinnur við mikið mun lægri þrýsting þá er ekkert gefið eftir varðandi öryggiskröfur. Okkur finnst að menn eigi að hafa öryggið sín megin og að fara að öllu með gát og ekki vanþörf á þegar fengist er við gufuþrýsting sem farinn er að síga upp undir 100 bar og hiti um 300°C. Á næstu síðu má sjá upplýsingar sem teknar eru úr reglum um þrýstibúnað og er það von okkar að menn framkvæmi ekki svona hluti úti á beis í framtíðinni.

Hér að neðan má sjá smá upplýsingar sem að tekið er úr reglum um þrýstibúnað.

Stjtið. B, nr. 571/2000

3.9. eftirlitsbúnaður í borholum sem eru notaðar við jarðolíu-, gas- eða jarðhitaleit og -vinnslu og við geymslu neðanjarðar til að halda niðri og/eða stjórna þrýstingi í borholum. Þar á meðal efsti hluti borholu (jólátré), þrýstingslásar (BOP (blow out preventers)), lagnagreinar og allur uppstreymisbúnaður;

Eftirlit með markaðinum.

1. Vinnueftirlit ríkisins gerir viðeigandi ráðstafanir til að tryggja að því aðeins verði heimilt að markaðssetja og taka í notkun þrýstibúnað og samsetningar, sem um getur í 1. gr., að heilsu og öryggi manna og, þar sem við á, húsdýra eða öryggi eigna stafi ekki hættu af þeim þegar þær eru settar upp á réttan hátt og haldið við sem skyldi og notaðar í þeim tilgangi sem ráð var fyrir gert.

2. Ákvæði þessara reglna skulu ekki hafa áhrif á rétt Vinnueftirlitsins til að mæla fyrir um að allar kröfur sem það telur nauðsynlegar til að menn og einkum starfsmenn séu varðir þegar þeir nota umræddan þrýstibúnað og samsetningar, að því tilskildu að það hafi ekki í för með sér að þrýstibúnaðinum og samstæðunum verði breytt á nokkurn hátt sem ekki er tilgreindur í þessum reglum.

3. Heimilt er, á kaupstefnum, vörusýningum, kynningum o.s.frv., að koma fyrir sýningu á þrýstibúnaði og samsetningum sem fullnægja ekki ákvæðum þessara reglna, svo fremi það sé tekið skýrt fram á áberandi skilti að þrýstibúnaðurinn eða samsetningarnar fullnægi ekki ákvæðum og séu ekki til sölu fyrr en framleiðandinn eða viðurkenndur fulltrúi hans með staðfestu innan EES hafi fært hann til samræmis við ákvæðin. Skylt er að gera nauðsynlegar öryggisráðstafanir í samræmi við kröfur lögbærs yfirvalds til þess að öryggi manna sé tryggt meðan kynning stendur yfir.

Hita- og þrýstimælingar á Þeistareykjum 7. júlí 2011

Mælingamenn ÍSOR, Hjalti Steinn Gunnarson og Sveinbjörn Sveinbjörnsson yngri voru mættir um morguninn til að mæla holur ÞG-06 og ÞG-01. Ákveðið var að nota ekki Þeistareykjarörið því búið var að sjóða á það og beðið eftir að það væri þrýstiprófað.

Tafla 1. Yfirlit mælinga 7. júlí 2011.

Hola	Dags.	Bordýpi (m)	Mældýpi (m)	P ₀ (bar)
ÞG-01	7.7.2011	1953	1913	17.2
ÞG-06	7.7.2011	2792	1520	64.1

ÞG-01

Í byrjun mælingar átti að notast við mælirör úr Kröflu í staðinn fyrir Þeistareykjarörið en flangs á Kröflurörinu var ekki góður. Mælingar byrjuðu seint á meðan fundið var út úr því. Eftir að byrjað var að mæla gekk allt vel.

ÞG-06

Mæling gekk vel og fór mælir mun lengra en í síðustu mælingu. Í henni fór mælirinn í 1064 m en nú í 1520 m dýpi. Samt var uppsetning mælis sú sama. Mikið gas var í kúluhúsi og var notast við blásara frá Grími á meðan verið var að vinna í húsinu.

Hita- og þrýstimælingar á Þeistareykjum 3-5. ágúst 2011.

Mælingamenn á vakt á Þeistareykjum notuðu dauðann tíma í mælingum á ÞG-07 til að eftirlitsmæla holur ÞG-01, ÞG-03, ÞG-04, ÞG-05b og ÞG-06. Þriðjudaginn 2. ágúst skiptu starfsmenn hjá vélsmiðjunni Grím um búnað á holutopp ÞG-04 og fóru úr 600 ANSI holutopp í 900 ANSI holutopp.

Tafla 2. Yfirlit mælinga á Þeistareykjum 3.-5. ágúst 2011.

Hola	Dags.	Bordýpi (m)	Mældýpi (m)	P ₀ (bar)
ÞG-03	3.8.2011	2659	789	58.5
ÞG-06	3.8.2011	2792	1521	69
ÞG-01	5.8.2011	1953	1912	45.5
ÞG-05b	5.8.2011	2499	2470	0
ÞG-04	5.8.2011	2240	2053	95

ÞG-03

Mælingamenn (Halldór Ingólfsson og Sigurjón Vilhjálmsson) voru mættir á Þeistareyki um hálfnú og byrjuðu á að mæla ÞG-03. Ákveðið var í samráði við Jarðboranir að byrja á að mæla hana þar sem hún er á miðju athafnasvæði þeirra og hentaði það þeim best. Notast var við Þeistareykjarörið en Vélsmiðja Gríms hafði þrýstiprófað rörið upp í 160 bar (ekki vottað). Mikið gas kom frá holunni og var mælir hífður hratt upp til að lágmarka gasmengunina því tappi í mæliröri var ekki alveg þéttur. Mælir settist á um 789 m dýpi.

ÞG-06

Næst var hola ÞG-06 mæld. Einnig var mikið gas frá henni og notast var við gasgrímur inn í kúluhúsinu. Mæling gekk vel en að mælingu lokinni þegar verið var að loka 3“ lokanum þá brotnaði festing fyrir lokann og ekki náðist að þétta alveg fyrir holuna. Ákveðið var að loka aðallokanum en á hann vantaði hjól og var tekið hjól af lokanum á holu ÞG-03 til að loka aðaloka ÞG-06. Hann var mjög stífur og var það hátt í klukkutímaverk fyrir tvo menn að loka honum, en það tafði mjög að vera með gasgrímur á sér við það verk. Ekki bætti úr skák að aðalokinn hélt heldur ekki fullkomlega. Ekki náðist að þétta tappann í mælirörinu í þessari holu heldur. Mælir settist á um 1521 m dýpi. Þegar verið var að taka K-10 mæli í sundur fór í sundur leiðslan fyrir hitanemann og því var sá mælir úr leik, en gögnin hlutu ekki skaða af.

ÞG-01

Að lokum var farið í holu ÞG-01 en lítið er að segja frá því nema þar bilaði hinn mælirinn sem við höfðum og því var mælingin ónýtt. Hitaneminn sýndi bara 3578°C sem er heldur heitt þarna.

Ekkert var því mælt 4. ágúst því beðið var eftir nýjum mælum, en þeir komu ekki fyrir en seint um kvöldið (lentu fyrst til Egilsstaða).

5. ágúst

ÞG-01

Mælingamenn (Halldór Ingólfsson og Haraldur Jónasson) voru mættir um áttaleytið ásamt manni frá Vélsmiðjunni Grími. Þar sem mælingin var ónýtt frá 3. ágúst var ákveðið að byrja á að mæla holu ÞG-01. Allt gekk vel og var mælt þar niður á 1912 m dýpi.

ÞG-05b

Næst var farið í ÞG-05b og var hún orðin þrýstingslaus á hlotoppi. Allt gekk vel þar og var mælt niður á 2470 m dýpi.

ÞG-04

Að lokum þennan dag farið í holu ÞG-04 og var notað `hammer union` rörið frá ÍSOR. Holan var um 95 bar á toppi en nokkuð vel náðist að þétta rörið, einungis var örlítill leki með tappanum. Töluvert gas var í húsinu og nota þurfti gasgrímur inni í því eftir mælinguna. Notaður var blásari frá Grími til að loftræsta húsið. Allt gekk vel og var mælt niður á 2053 m dýpi.

Mælingarnar sem gerðar voru þessa daga, 3.-5. ágúst 2011 eru birtar aftan við texta þessa sjals.

Epilog

Eftir mælinguna í ÞG-01 miðvikudaginn 3. ágúst hefur mæling ekki verið skoðuð nægilega gaumgæfilega og það fattaðist ekki fyrir en um kvöldið þegar farið var að skoða gögnin nánar að mælingin væri ónýtt. Ákveðið var að fara upp á Þeistareyki um morguninn og vonast til þess að bilunin hafi verið tilfallandi og því voru Grímsmenn ekki afboðaðir.

Þegar búið var að taka af allan vafa um að hægt væri að mæla og óskað hafði verið eftir nýjum mælum ákvað Heiðar hjá Grími að fara til baka niður á Húsavík og bíða eftir að við hringdum, ef hægt væri að mæla þegar nýju mælarnir kæmu. Hann fer og við vitum ekki betur en að hann sé farinn til Húsavíkur. Við förum niður í Kröflu því Sigurjón var að fara til Akureyrar að skipta við Harald sem átti að koma með nýju mælana.

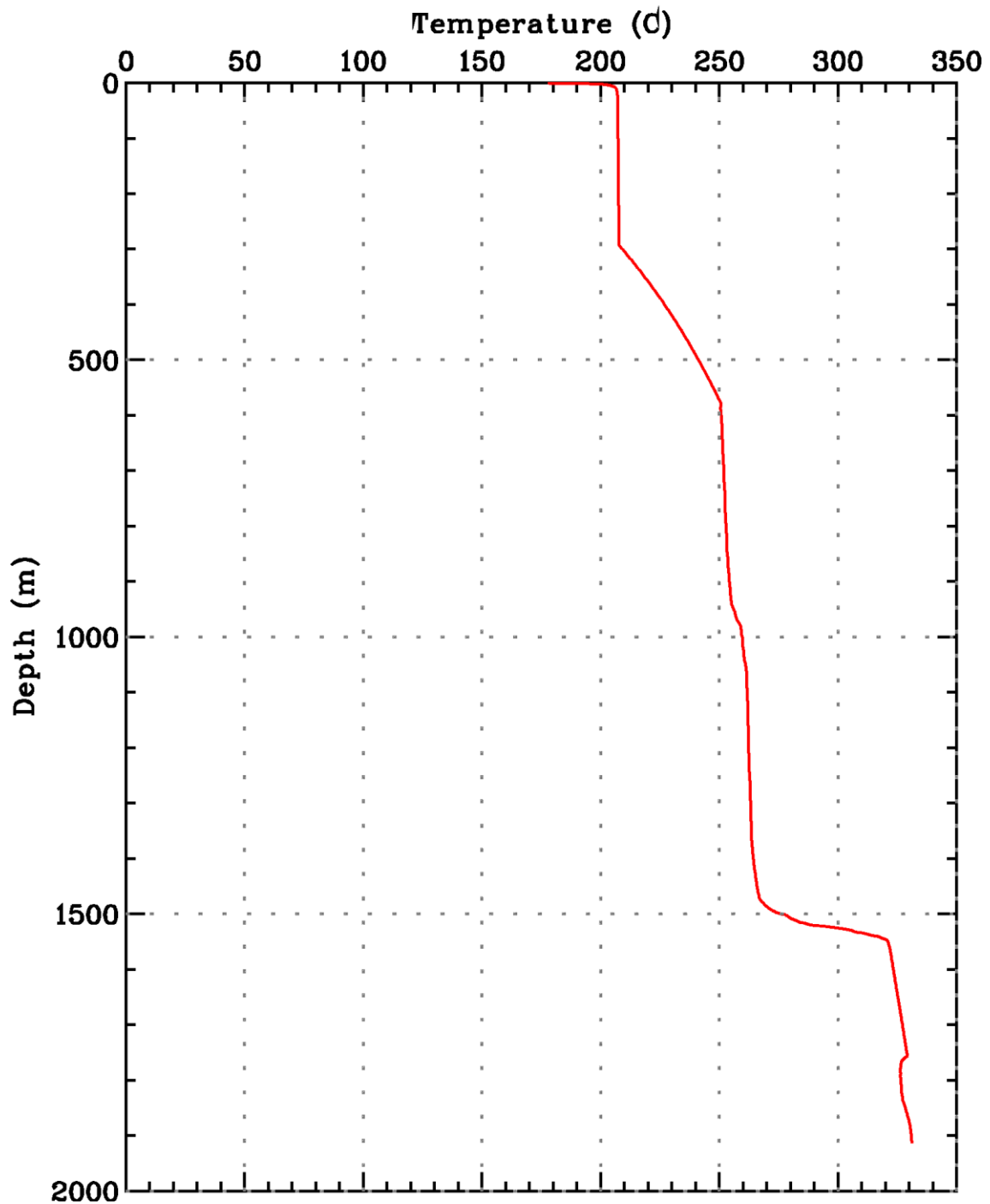
Þegar við komum í Kröflu kom fljótlega í ljós að mælarnir höfðu endað á Egilsstöðum og þá var útséð að ekki yrði mælt meira þann daginn. Þá var reynt að hringja (HI) í Heiðar hjá Grími til að segja honum það, og spyrja hvort hann geti komið á föstudeginum, en hann var alltaf utan þjónustuvæðis. Það var svo ekki fyrr en um kl. 15 að Sigurveig jarðfræðingur hringir og segir að hann sé hjá sér og sé farinn að undrast um okkur. Þá gat ég sagt honum að ekkert yrði af mælingum og hann fór heim.

Halldór Ingólfsson

Þorsteinn Egilson

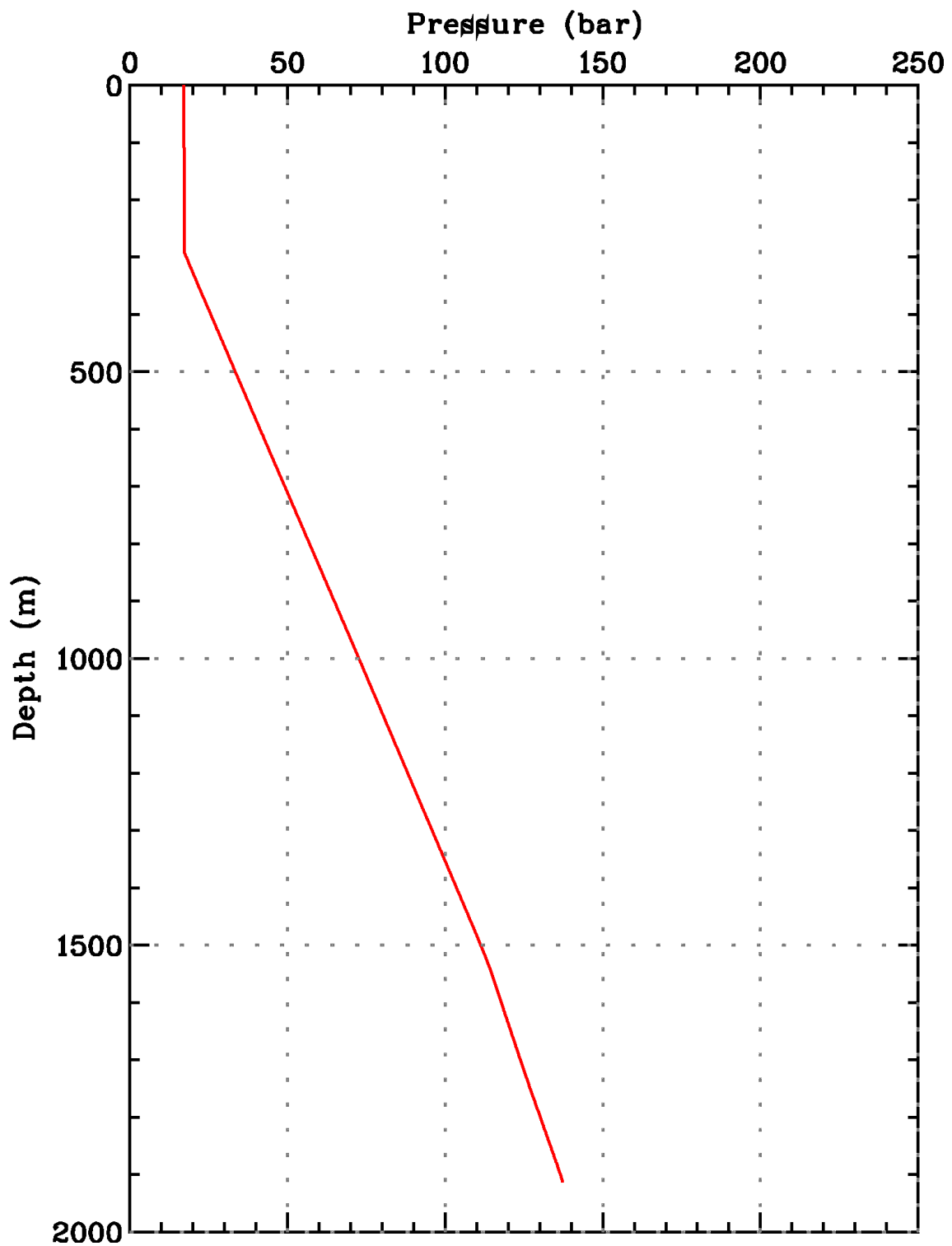
Mælingar.

H201107071655



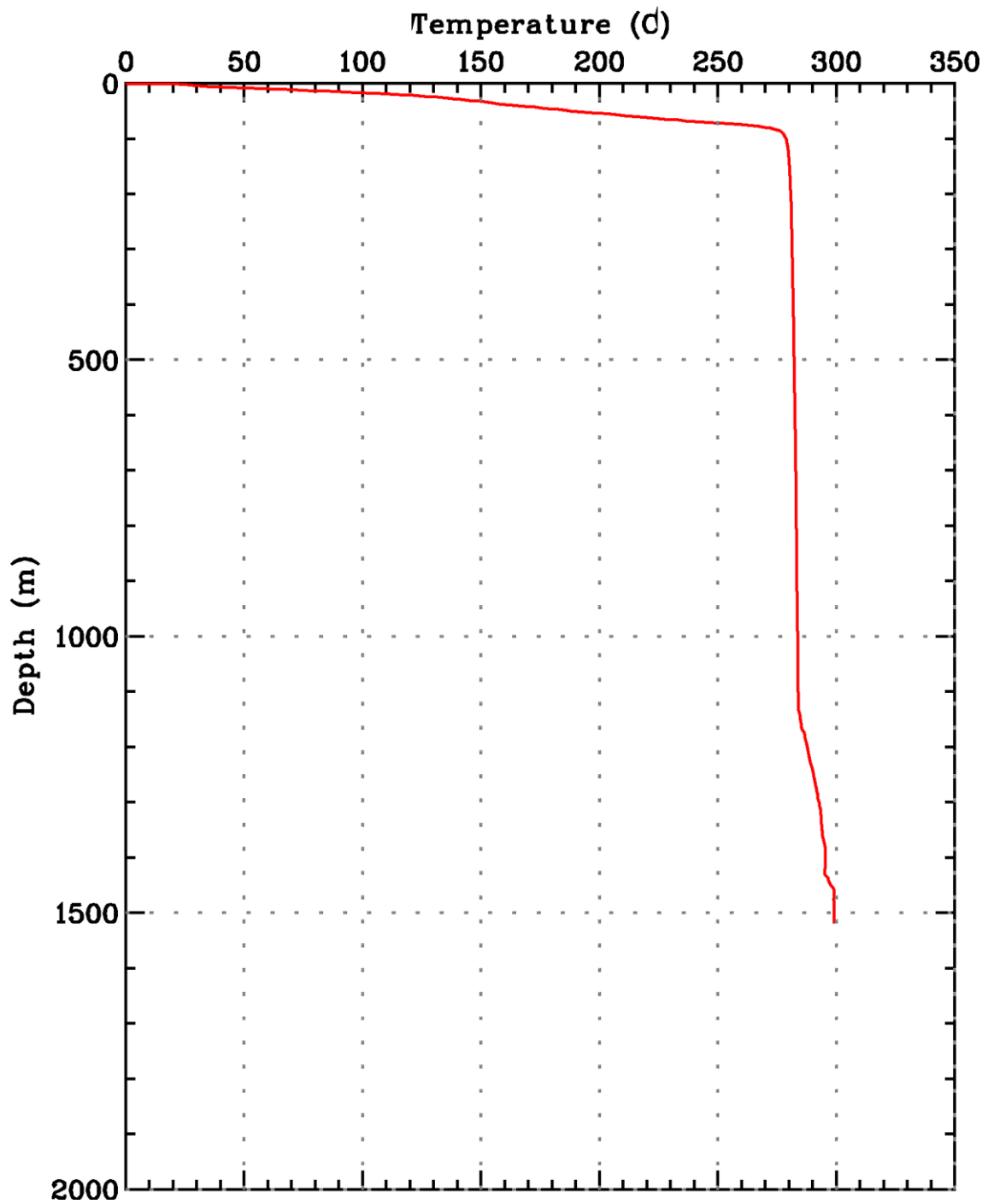
Mynd 1. Hitamæling í ÞG-1 7.júlí 2011

P201107071655



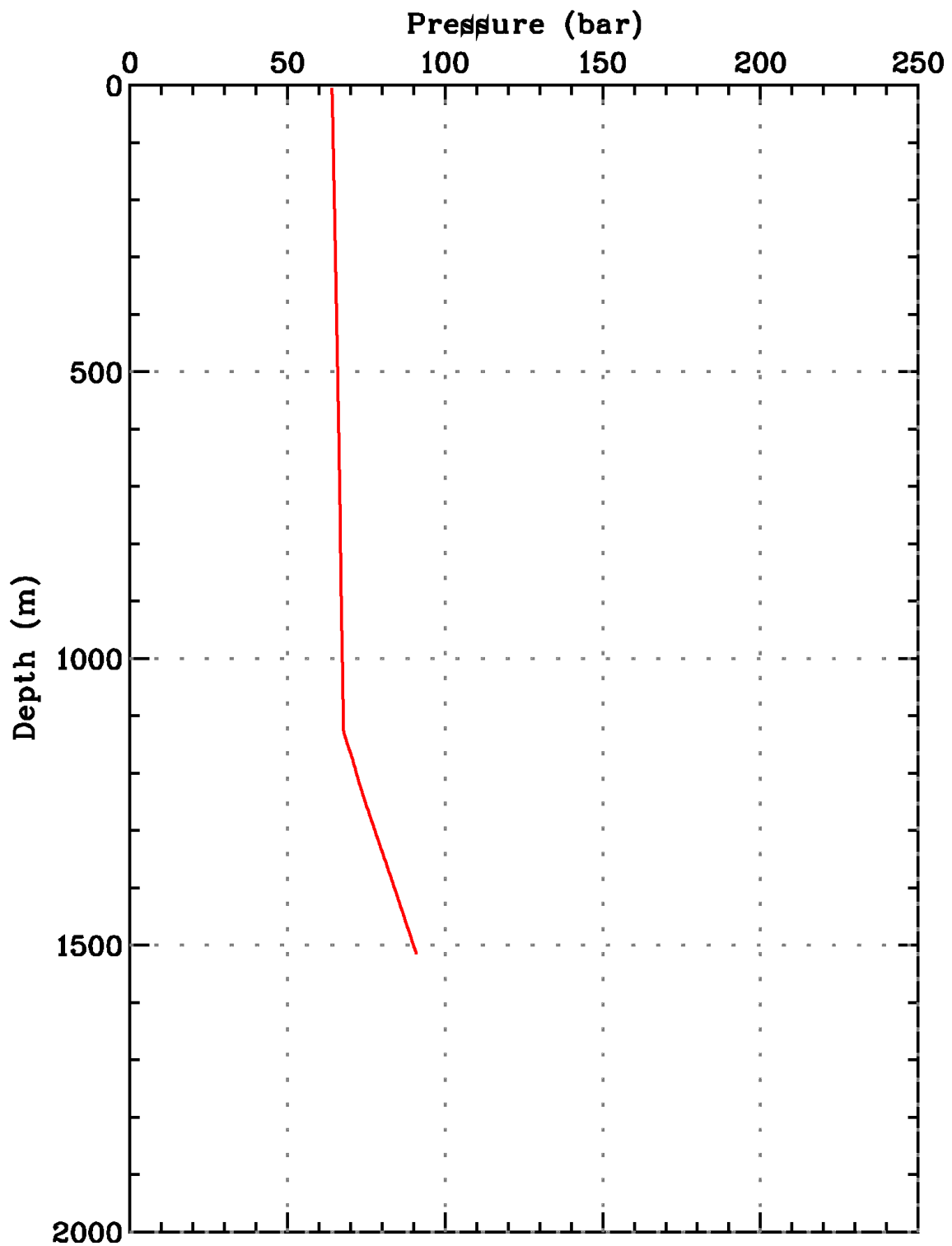
Mynd 2. Þrýstimæling í PG-1 7. júlí 2011.

H201107072116



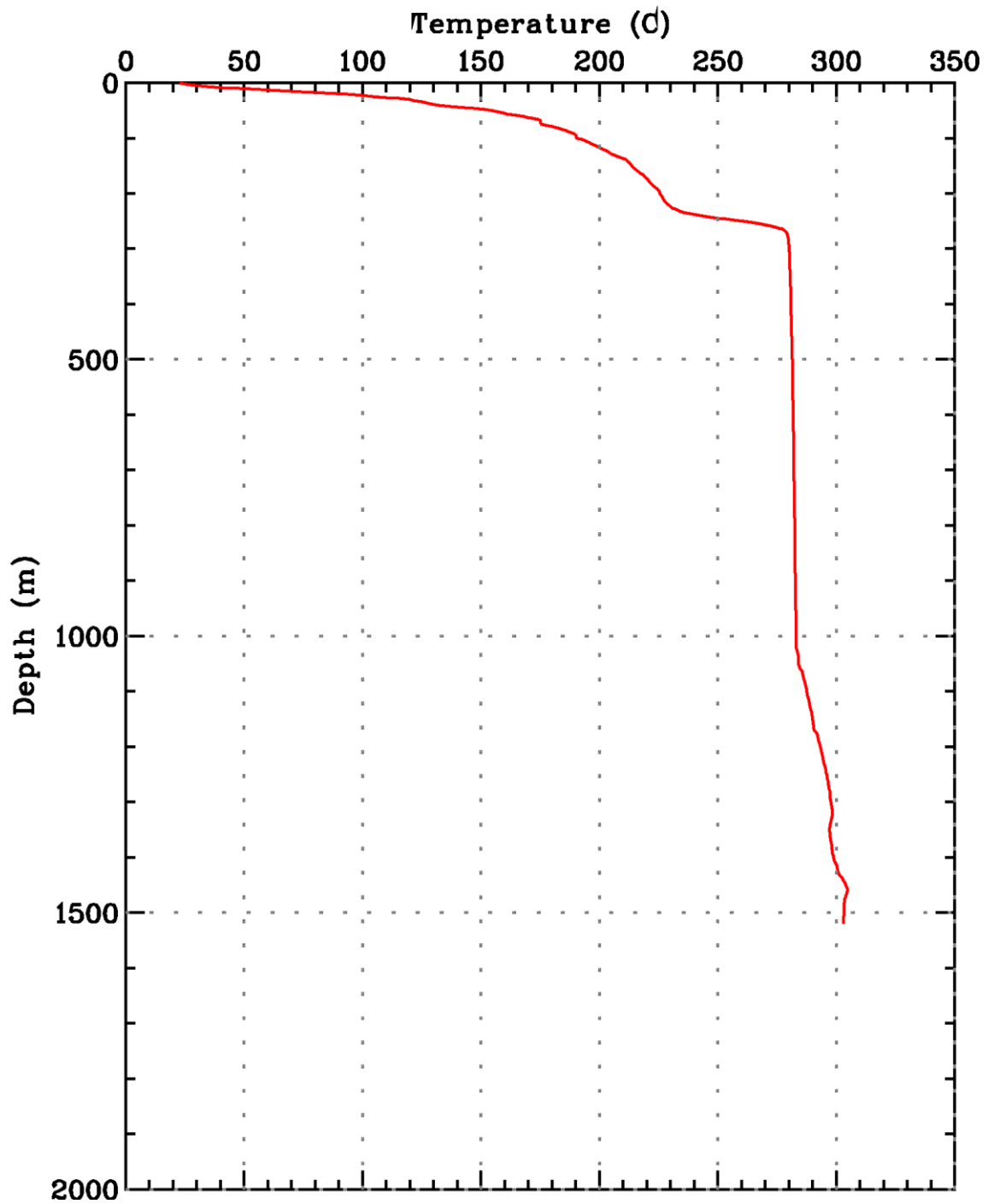
Mynd 3. Hitamæling í ÞG-6 þ. 7. júlí 2011.

P201107072116



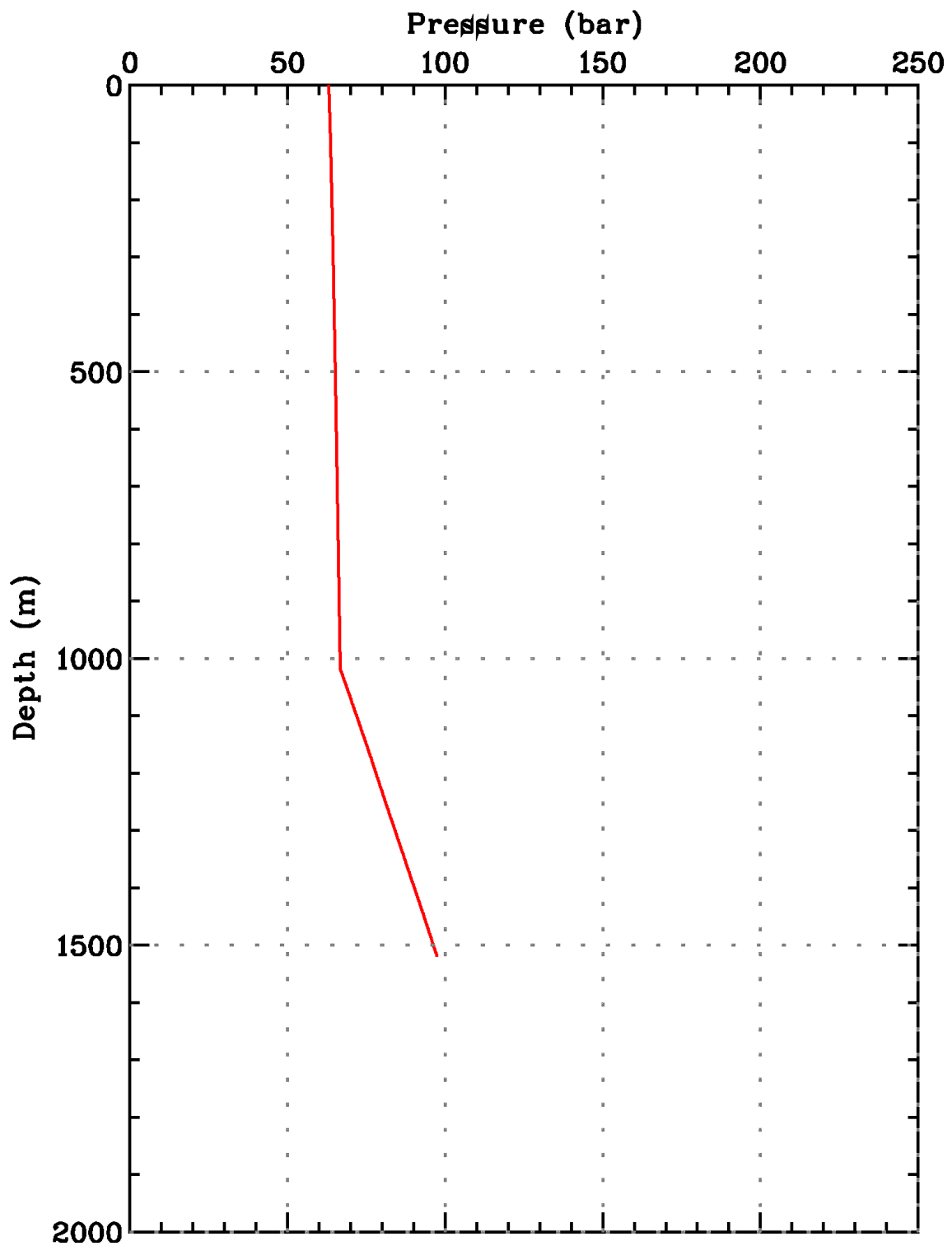
Mynd 4. Þrýstimæling í PG-6 þ. 7. júlí 2011.

H201108031329



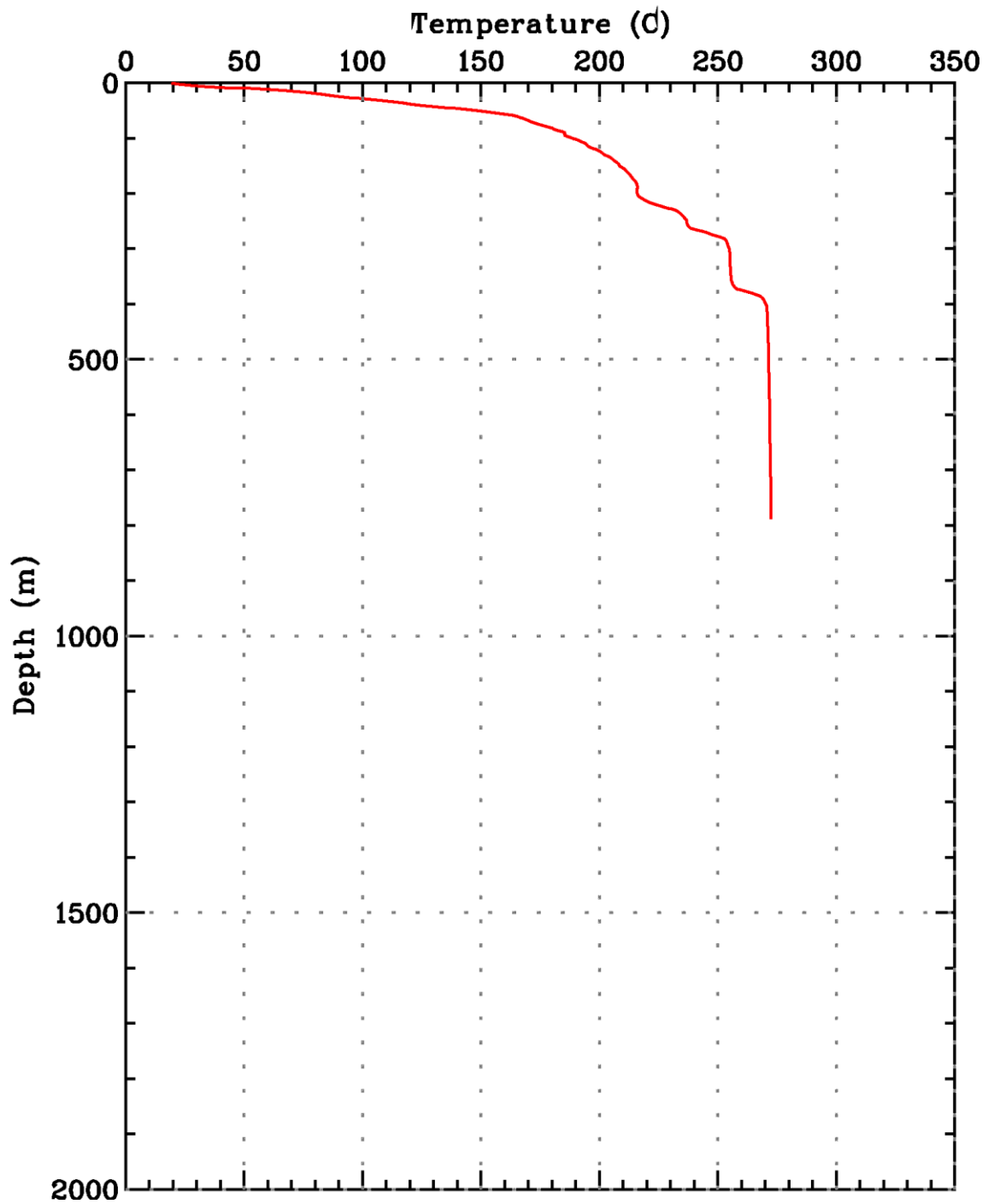
Mynd 5. Hitamæling í PG-6 þ. 3. ágúst 2011.

P201108031329



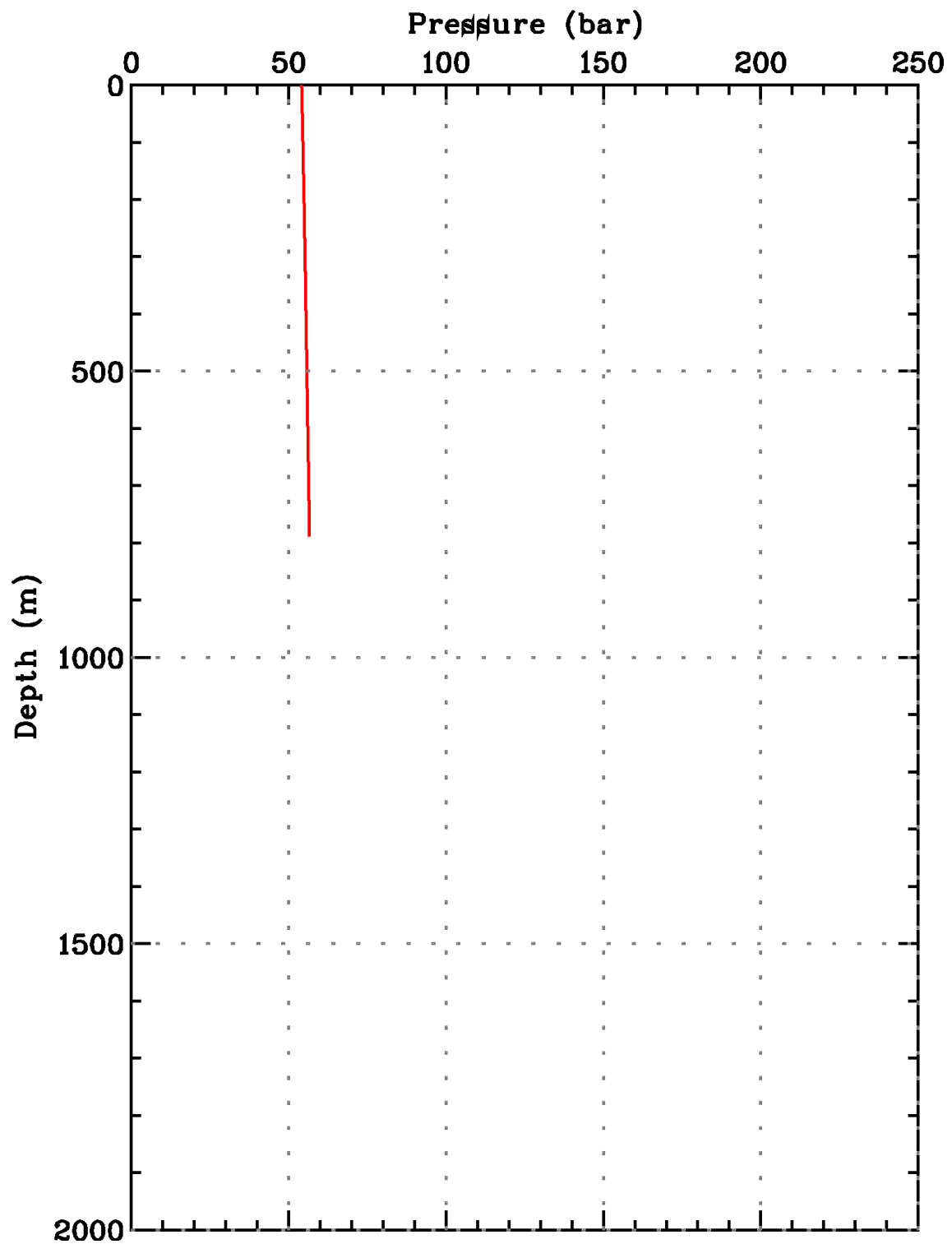
Mynd 6. Þrýstimæling í PG-6 þ. 3. ágúst 2011.

H201108031040



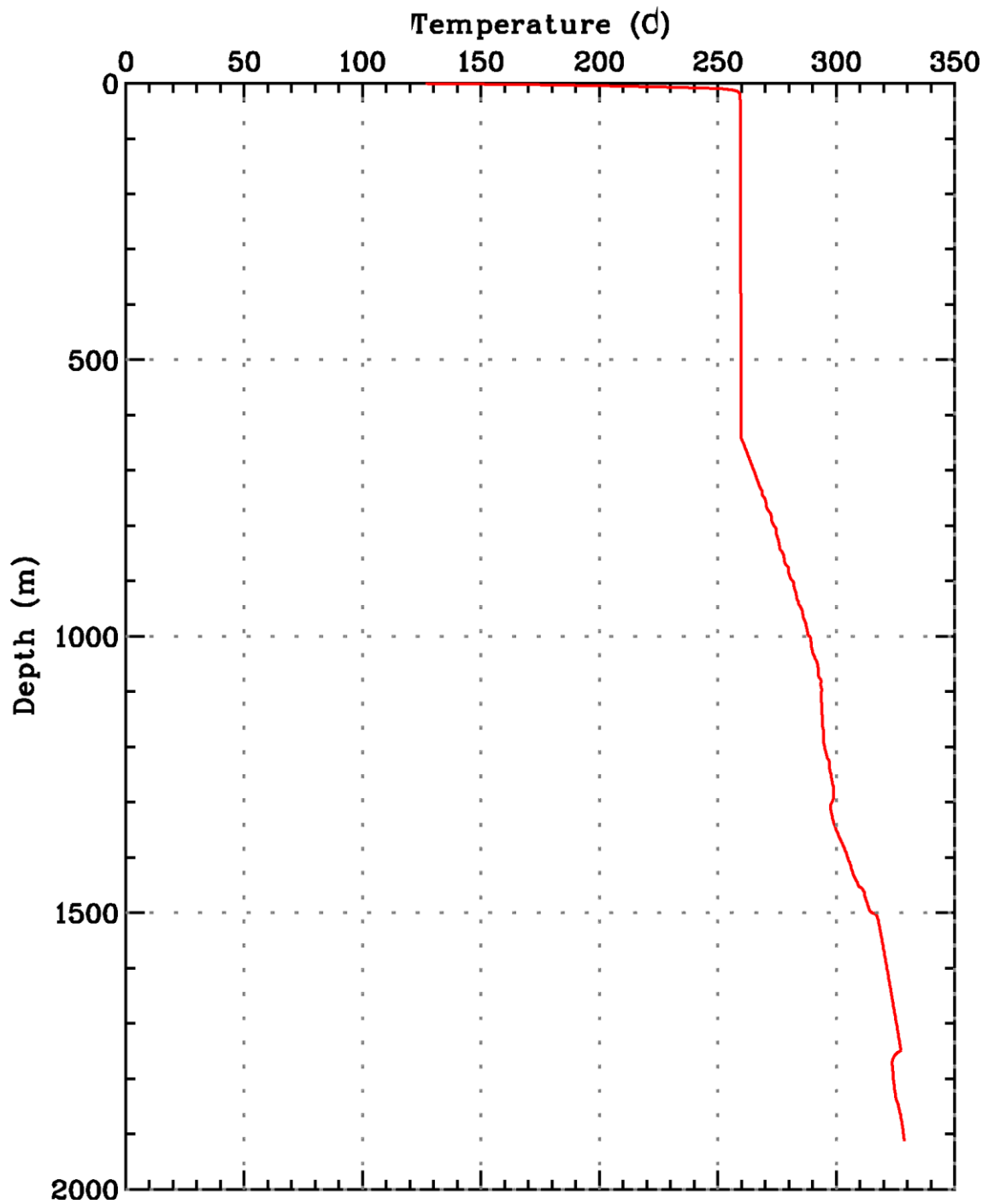
Mynd 7. Hitamæling í ÞG-3 þ. 3. ágúst 2011.

P201108031040



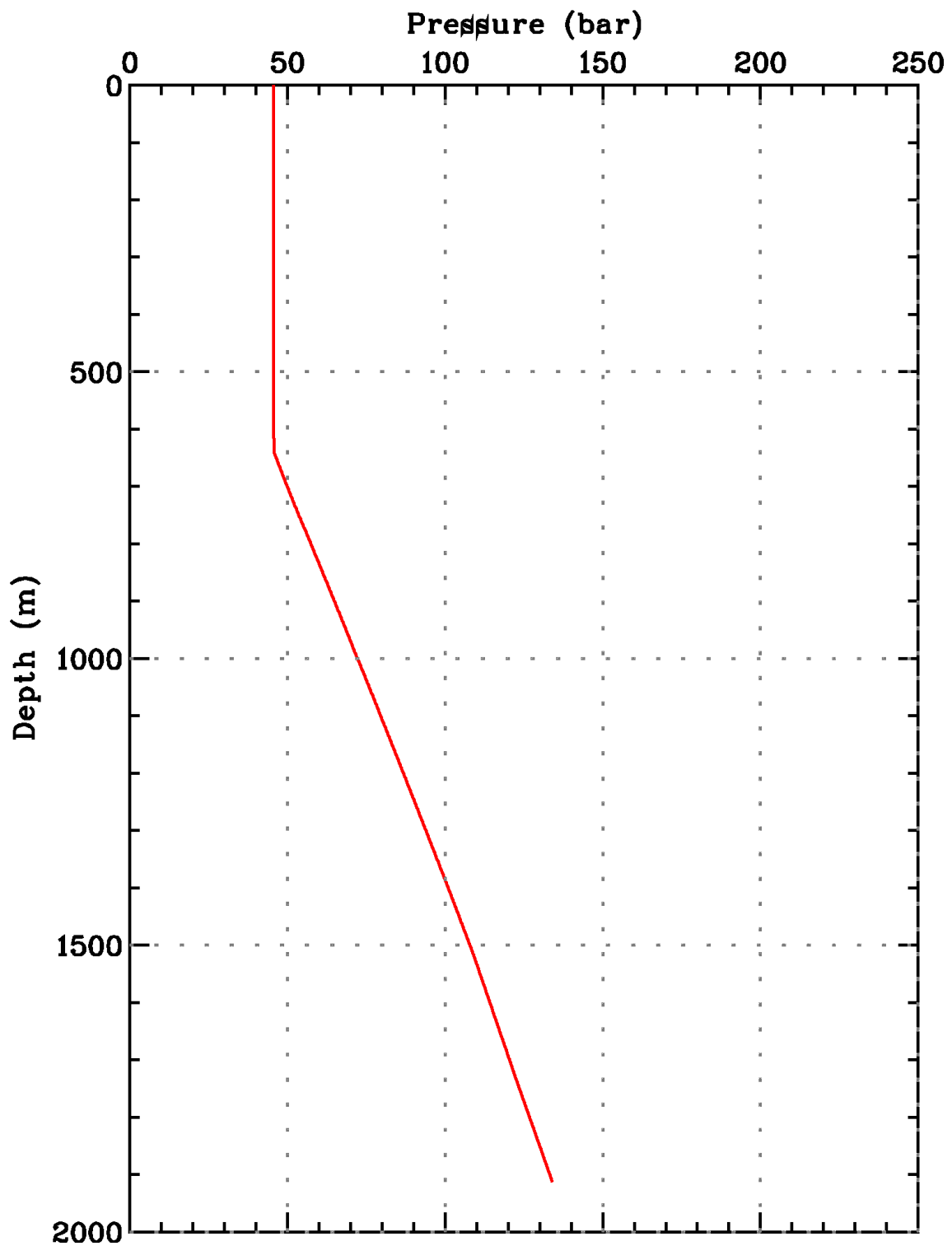
Mynd 8. Þrýstimæling í PG-3 þ. 3. ágúst 2011.

H201108050929



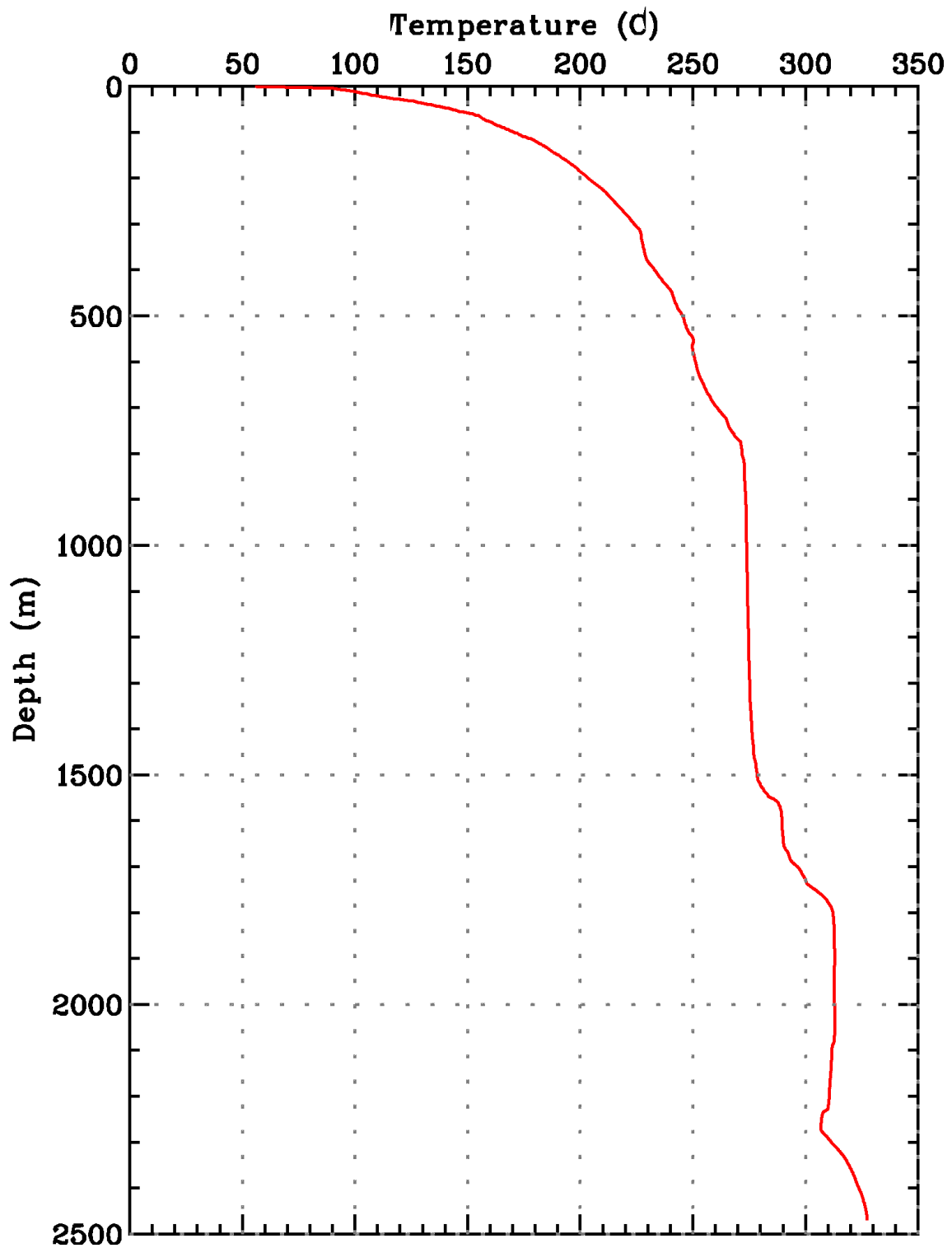
Mynd 9. Hitamæling í PG-1 þ. 5. ágúst 2011.

P201108050929



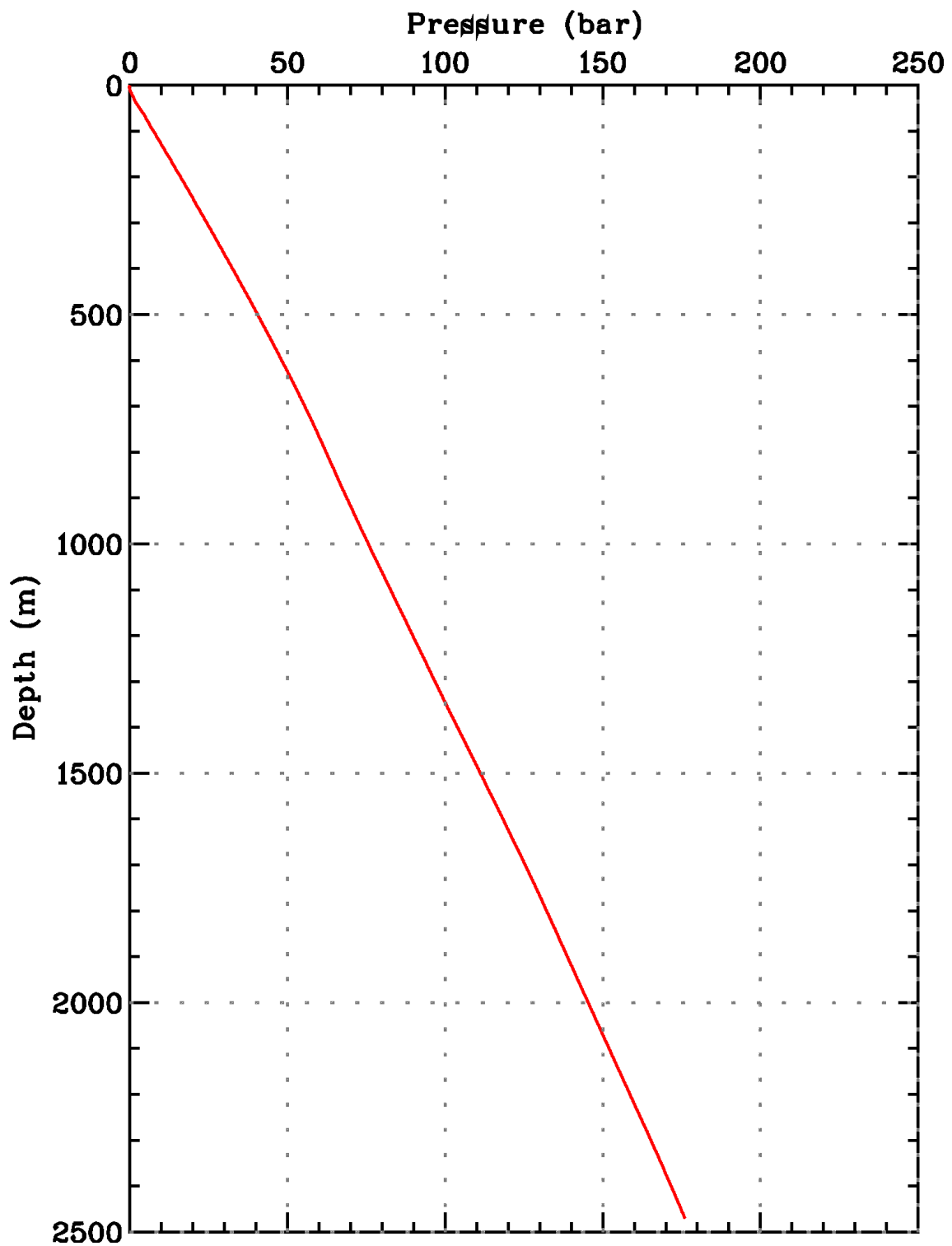
Mynd 10. Þrýstimæling í PG-1 þ. 5. ágúst 2011.

H201108051249



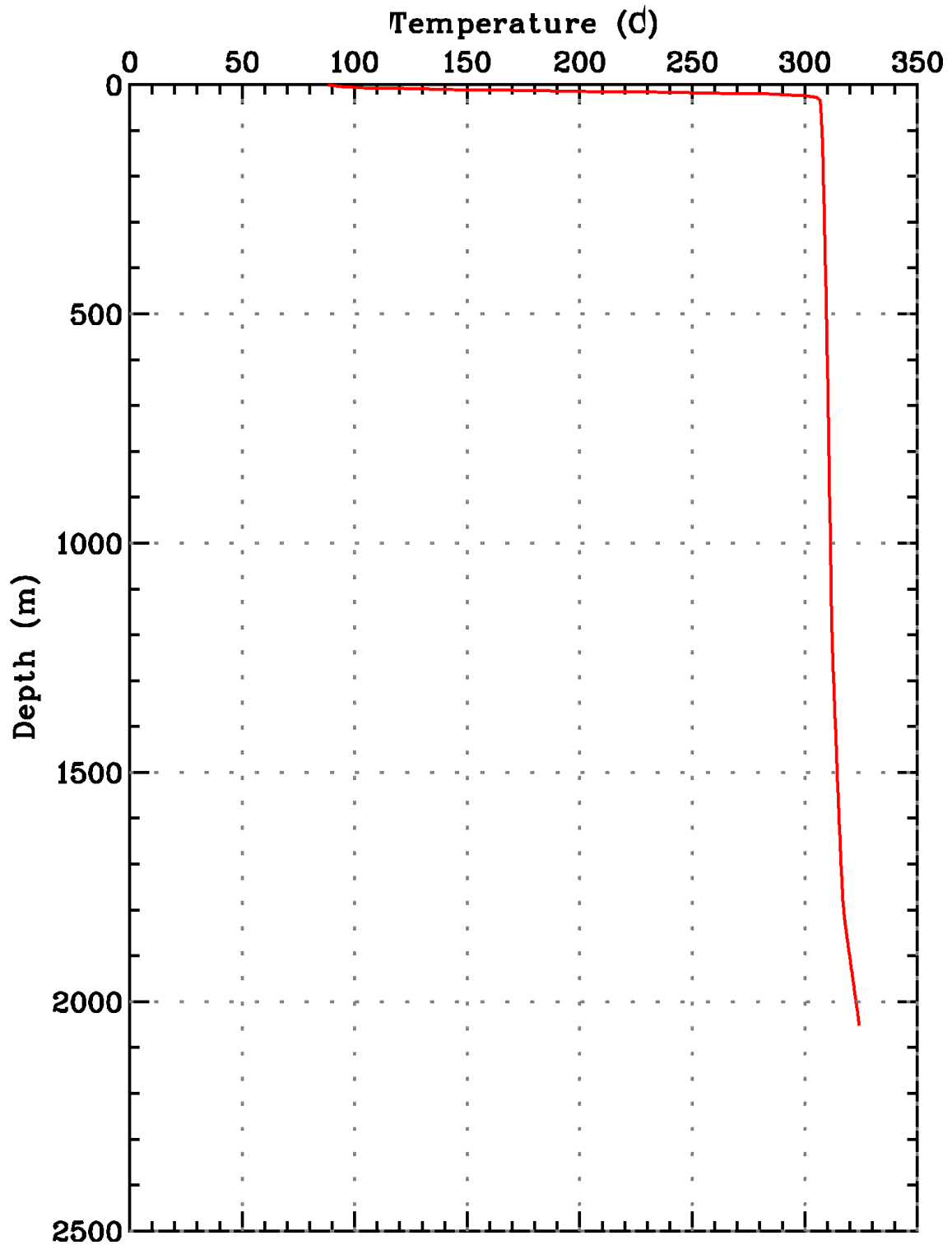
Mynd 11. Hitamæling í ÞG-5b 5. ágúst 2011.

P201108051249



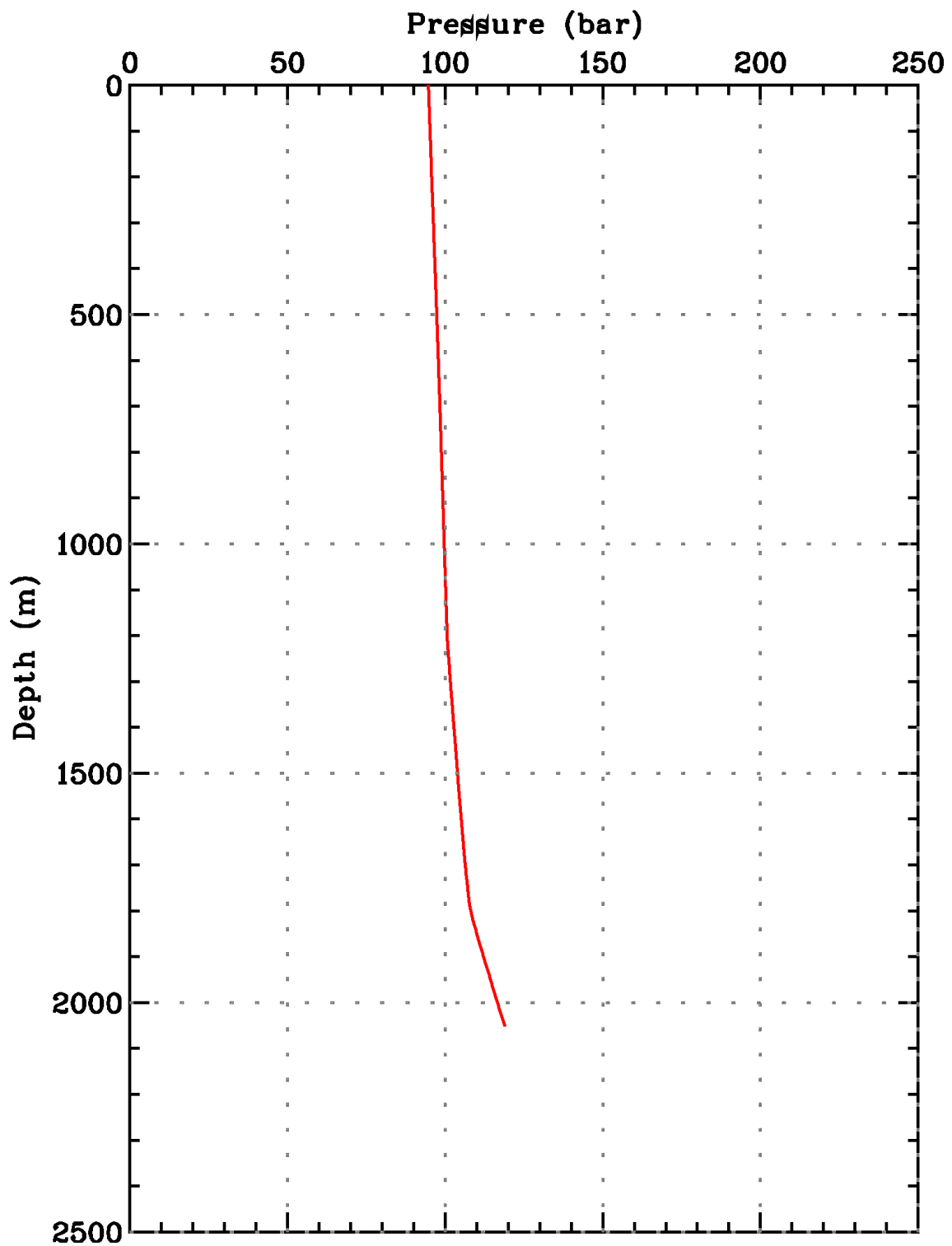
Mynd 12. Þrýstimæling í PG-5b 5. ágúst 2011.

H201108051749



Mynd 13. Hitamæling í ÞG-4 5. ágúst 2011.

P201108051749



Mynd 14. Þrýstimæling í PG-4 5. ágúst 2011.

Minnisblað um mælingar í Bjarnarflagi og Þeistareykjum 26-29. mars 2012

Starfsmenn ÍSOR: Hörður Tryggvason og Sigurjón Vilhjálmsson

Starfsmenn Vélaverkstæðis Gríms á Húsavík: Heiðar

Holur: B-14, ÞG-1, ÞG-3, ÞG-5 og ÞG-8

Almennt um búnað og frammistöðu hans

Mælingar voru gerðar á Mantra Sprinter mælingabíl ÍSOR og var notast við háþrýsti mælirör ÍSOR við allar mælingarnar. Kranabíll frá Vélaverkstæði Gríms á Húsavík var notaður til að sjá um hífingar á mæliröri.

Byrjað var að mæla holu B-14 í Bjarnarflagi. Aðgengi var gott þar sem í síðustu mælingu var fjarlægt lok af holutopp og 3[“] loki var liðugur eftir síðustu mælingu. Mjög hvasst var þegar mælt var í Bjarnarflagi og hefði ekki verið auðvelt að fjarlægja lok af kúluhúsi ef það hefði verið á. Þarna þyrfti að smíða lítið lok í stóra lokið eins og búið er að gera á öllum holum á Þeistareykjum og holu K-38 í Kröflu. Mæling gekk vel og var brunað til Húsavíkur að henni lokinni.

Daginn eftir var farið að Þeistareykjum og byrjað á holu ÞG-1 á plani A þar sem enn var ófært að borplönnum C og D. Holan var í blæðingu í gengum 3[“] loka og þurfti að byrja að fjarlægja blæðingarstút ofan af loka. Auðvelt var að opna litla lokið ofan af kúluhúsinu til að koma niður mæliröri þó að það væri bálhvasst. Annar búnaður á holu reyndist í góðu lagi og gekk mæling vel. Á meðan verið var að mæla holu ÞG-1 var hola ÞG-5 gerð klár til mælinga og reyndist allur búnaður í góðu lagi þar. Holan var ekki í blæðingu og var 3[“] loki lokaður. Þegar mælirör var komið á sinn stað og byrjað var að skrúfa frá 3[“] loka fór að mælast brennisteinsvetni og var styrkur þess inni í kúluhúsi frá 2-5 ppm í upphafi. Þegar mælingu var lokið var H₂S styrkur inni í húsi 8 – 20 ppm og var notast við gasgrímu við vinnu inni í kúluhúsinu. Mælingin gekk vel.

Meðan verið var að mæla holu ÞG-5 var farið að undirbúa mælingu á ÞG-4 en hún var í blæðingu í gegnum 3[“] loka. Skrúfað var fyrir 3[“] loka sem er nýlegur 900 punda loki en áfram kom gufa út um blæðingarstút. H₂S styrkur inni í húsi var á milli 8 – 50 ppm og var notast við gasgrímu þegar að unnið var inni í húsinu. Gerðar voru nokkrar tilraunir til að opna og loka fyrir 3[“] loka en ljóst var að hann næði ekki að loka nægjanlega vel til þess að hægt væri að athafna sig við mælingar. Að þessu loknu var haldið til Húsavíkur.

Daginn eftir var hola ÞG-8 mæld en þá var búið að moka í burtu snjó sem var í slóðinni. Holan var þrýstingslaus og var allur búnaður þar í lagi og gekk mæling vel. Þó hefði mátt moka planið sjálft betur svo auðveldara væri að aka bílunum á því og stilla þá af. Næst stóð til að mæla holu ÞG-6 sem var í blæðingu út um 3[“] loka sem stóð fullopin. Eins og á holu ÞG-4 gekk illa að fá 3[“] loka til að þetta nægjanleg vel og ekki hægt að mæla við þær aðstæður. Því var hola ÞG-3 mæld sem var einnig í blæðingu í gegnum 3[“] loka. Allur búnaður þar reyndist í lagi og gekk mæling vel. Að því loknu var farið til

Húsavíkur en rafstöð og kranabíll skilinn eftir á Þeistareykjum ef gerð yrði tilraun til að mæla holur ÞG-4 og ÞG-6 með því að loka aðalloka.

Daginn eftir var ákveðið að holurnar yrðu ekki mældar og var því farið að Þeistareykjum til að ná í rafstöð og kranabíl og síðan haldið til Akureyrar.

Nokkrir punktar sem gott væri að athuga fyrir næstu mælingatörn á Þeistareykjum.

- Báðir mælingamenn annað hvort með gasgrímur eða súrefnistæki í mælingabíl.
- Kranabílsmaður líka með sambærilega grímu ef á þarf að halda.
- Útbúa þrýstimæli (helst digital) með spíral til þess að mælir hitni ekki of mikið (eins og gufuveitumenn hjá Kröflu nota). Ekki var hægt að mæla toppþrýsting á holu 4 með hefðbundnum þrýstimæli eins og eru í mælingarbíl.
- Útbúa vinnupalla í kúluhúsum til þess að auðvelda aðgengi og minka fallhættu þegar unnið er við holutopp. Ef pallar hefðu verið á holum 4 og 6 eru mun meiri líkur á að hægt hefði verið að mæla þó að loki þétti ekki nægjanlega vel.
- Útbúa færanlegan stiga til að klifra upp á kúluhúsin með öruggari hætti en nú er gert.

Hörður Tryggvason, Sigurjón Vilhjálmsson



Landsvirkjun

Háaleitisbraut 68
103 Reykjavík
landsvirkjun.is

landsvirkjun@lv.is
Sími: 515 90 00

