

LV-2018-075



Landsvirkjun



Eftirlitsmælingar í Kröflu og Bjarnarflagi árið 2018

LV-2018-075



Eftirlitsmælingar í Kröflu og Bjarnarflagi árið 2018



ÍSOR-2018/066

Verknr. 18-0135

Nóvember 2018

Lykilsíða



Skýrsla LV nr.: LV-2018-075

Dags: Nóvember 2018

Fjöldi síðna: 51

Upplag: 5

Dreifing:

- Birt á vef LV
 Opin
 Takmörkuð til

Titill: Eftirlitsmælingar í Kröflu og Bjarnarflagi árið 2018.

Höfundar/fyrirtæki: Þorsteinn Egilson, Friðgeir Pétursson og Arnar Már Vilhjálmsson

Verkefnisstjóri: Anette K. Mortensen f.h. LV Sigvaldi Thordarson f.h. ÍSOR

Unnið fyrir: Unnið af Íslenskum orkurannsóknum fyrir Landsvirkjun

Samvinnuaðilar: _____

Útdráttur: Eftirlitsmælingar árið 2018 á jarðhitasvæðum Landsvirkjunar í Kröflu og Bjarnarflagi voru gerðar 3.–6. september. Í holu KG-10 lækkaði hiti í 800 m um 0,8°C frá 2017 til 2018. Kerfisbundin kæling í holu KG-10 (0,47°C/ár) hefur verið síðan 1976. Þrýstingur í 800 m hækkaði um 1,0 bar milli ára í holu KG-10 og er nú um 1,5 bar undir upphafsþrýstingi. Hóla KJ-18 hefur ekki alveg náð að jafna sig eftir ádælinguna 2015 og eru eftirlitsmælingar ársins því ekki fullkomlega samanburðarhæfar við fyrri mælingar. Hóla KJ-11 í Leirbotnum var mæld sjötta árið í röð. Hiti í 1350 m hækkaði um 5,8°C milli ára og þrýstingur hækkaði um 1,4 bar. Hóla KJ-21 við Hvíthóla var eftirlitsmæld, annað árið í röð. Jafnaðarbreyting í henni er 0,7°C/ár hitalækkun á 929 m dýpi en 1,3 bar/ár þrýstihækkun á sama dýpi. Breytingar sem sáust í hita og þrýstingi í holu B-2 í Bjarnarflagi eru að ganga til baka. Litlar breytingar urðu hins vegar í holu B-5. Þrýstingur er mjög svipaður upphafsþrýstingi en hiti vel undir berghita.

Lykilorð:

Krafla, Bjarnarflag, jarðhitakerfi, borholur, eftirlitsmælingar, hitamælingar, þrýstimælingar, vatnsborð, niðurdráttur, niðurdæling, kólnun, KG-10, KJ-11, KJ-18, KJ-21, KG-26, LUD-12, B58010, B58011, B58018, B58021, B58026, B-2, B-5, BJ-11, B58302, B58305, B58522, Landsvirkjun, ÍSOR

ISBN nr.:

Samþykki verkefnisstjóra
Landsvirkjunar

Undirskrift verkefnisstjóra

Yfirfarið

Magnús Ólafsson

Efnisyfirlit

1	Inngangur	7
2	Dagbók mælingamanna	7
3	Eftirlitsmælingar í Kröflu	9
3.1	Hola KG-10.....	11
3.2	Hola KJ-11	15
3.3	Hola KJ-18	19
3.4	Hola KJ-21	24
4	Eftirlitsmælingar í Bjarnarflagi	28
4.1	Hola B-2	28
4.2	Hola B-5	33
4.3	Hola BJ-14.....	37
5	Helstu niðurstöður	40
6	Heimildir	42
	Viðauki: Mælingar í Bjarnarflagi í september 2018	44

Töflur

Tafla 1.	<i>Yfirlit um hita- og þrýstimælingar í Kröflu- og Bjarnarflagsholum 2010–2018.</i>	10
----------	---	----

Myndir

Mynd 1.	<i>Yfirlit um holustaðsetningu og holuferla stefnuboraðra holna í Kröflu.</i>	9
Mynd 2.	<i>Saga hita á 800 m dýpi í holu KG-10 þar sem kerfisbundinnar kælingar gætir</i>	12
Mynd 3.	<i>Þrýstingur í 800 m og vatnsborð í holu KG-10 ásamt vinnslusögu Leirbotna til ársins 2018.</i>	12
Mynd 4.	<i>Hitamælingar síðustu átta ára í holu KG-10 ásamt metnum berghitaferli</i>	13
Mynd 5.	<i>Þrýstimælingar síðustu átta ára í KG-10 ásamt metnum upphafsþrýstingi 2010.</i>	14
Mynd 6.	<i>Hin stutta saga hita á 1350 m dýpi í holu KJ-11</i>	16
Mynd 7.	<i>Hin stutta saga þrýstings á 1350 m dýpi í holu KJ-11</i>	16
Mynd 8.	<i>Valdar hitamælingar úr holu KJ-11 í Kröflu ásamt metnum berghita</i>	17
Mynd 9.	<i>Nokkrar þrýstimælingar úr holu KJ-11 ásamt metnum upphafsþrýstingi.</i>	18
Mynd 10.	<i>Saga hita á 1000, 2000 og 2180 m dýpi yfir þann tíma sem KJ-18 hefur verið notuð sem eftirlitshola.</i>	20
Mynd 11.	<i>Saga vatnsborðs og þrýstings á 1000 og 2000 m dýpi í KJ-18 ásamt vinnslu- og niðurdælingarsögu Suðurhlíða fram til 2018.</i>	20
Mynd 12.	<i>Saga vatnsborðs og þrýstings á 1000 m dýpi í holu KJ-18 ásamt vinnslusögu Suðurhlíða fram til ársins 2017</i>	21
Mynd 13.	<i>Hitamælingar síðustu átta ára í holu KJ-18 ásamt metnum berghitaferli.</i>	22
Mynd 14.	<i>Þrýstimælingar síðustu átta ára í holu KJ-18 ásamt metnum upphafsþrýstingi.</i>	23

Mynd 15. Saga hita á 929 m dýpi úr eftirlitsmælingum í holu KJ-21 frá 1982.....	25
Mynd 16. Saga þrýstings á 929 m dýpi í holu KJ-21 úr eftirlitsmælingum í holu KJ-21 frá 1982 ásamt vinnslusögu Hvíthóla fram til ársins 2017.	25
Mynd 17. Hitamælingar úr eftirlitsmælingum í holu KJ-21 síðan 2003 ásamt metnum berghitaferli.	26
Mynd 18. Þrýstimælingar úr eftirlitsmælingum í holu KJ-21 síðan 2003 ásamt metnum upphafsþrýstingi.	27
Mynd 19. Yfirlitsmynd af staðsetningu og ferlum stefnuboraðra holna í Bjarnarflagi.	28
Mynd 20. Mældur hiti á 350 og 480 m dýpi í holu B-2 ásamt metnum berghita.....	30
Mynd 21. Mældur þrýstingur á 480 m dýpi í holu B-2 ásamt metnum upphafsþrýstingi og mældu vatnsborði.....	30
Mynd 22. Hitamælingar síðustu átta ára í holu B-2 ásamt metnum berghitaferli.	31
Mynd 23. Þrýstimælingar síðustu átta ára í holu B-2 ásamt metnum upphafsþrýstingi.	32
Mynd 24. Mældur hiti á 300 og 600 m dýpi í holu B-5 ásamt metnum berghita.....	34
Mynd 25. Mældur þrýstingur á 600 m dýpi í holu B-5 ásamt metnum upphafsþrýstingi, mældu vatnsborði og vinnslusögunni í Bjarnarflagi út árið 2017.	34
Mynd 26. Hitamælingar síðustu átta ára í holu B-5 ásamt metnum berghitaferli.	35
Mynd 27. Þrýstimælingar síðustu átta ára í holu B-5 ásamt metnum upphafsþrýstingi.	36
Mynd 28. Hitamælingin í holu BJ-14 í september 2018 ásamt berghitaferli, suðumarkshitaferli og mælingum frá 2012 og 2013.	38
Mynd 29. Þrýstimælingin í holu BJ-14 í september 2018 ásamt upphafsþrýstingi og mælingum frá 2012 og 2013.	39

1 Inngangur

Eftirlitsmælingar á hita- og þrýstibreytingum vegna gufuvinnslu úr jarðhitasvæðunum í Kröflu og Bjarnarflagi voru gerðar 3. og 5. september 2018. Helstu holur sem hafa verið notaðar undanfarna áratugi til að fylgjast með hita og þrýstingi í vinnslusvæðunum í Kröflu eru KJ-6, KG-10, KJ-18 og KJ-21 en einstakar aðrar holur hafa verið nýttar óreglulega í eftirlitinu. Þá hefur hola KJ-11 verið mæld árlega síðan 2013. Hola KJ-6, sem til margra ára var fastur punktur í vinnslueftirliti fyrir Kröflustöð, hefur verið tekin inn sem vinnsluhola fyrir lágþrýstiprep virkjunarinnar (Þorsteinn Egilson, 2017).

Hola KJ-11 hefur verið mæld síðan 2013 og er mælingin í september 2018 sú sjötta í röðinni en holan verður í næstu framtíð notuð til eftirlitsmælinga. Hola KG-10 var að venju mæld 2018 sem hluti af hefðbundnum eftirlitsmælingum á jarðhitasvæði Landsvirkjunar í Kröflu og sömu sögu er að segja um holu KJ-18. Hola KJ-21 var mæld að þessu sinni en hún er eftirlitshola fyrir jarðhitakerfið í Hvíthólum og er venjulega mæld í vinnsluhléum en hún var einnig mæld á síðasta ári (Þorsteinn Egilson o.fl., 2017) en hún hefur verið lokuð síðan 22. maí 2017.

Helstu holur sem hafa verið notaðar undanfarna áratugi í Bjarnarflagi til eftirlits með hita og þrýstingi eru holur B-2 og B-5 og voru þær báðar mældar í september 2018. Einnig var hola BJ-14 mæld í þessari ferð.

Hluti af þeim upplýsingum sem birtar eru í vinnslueftirlitskýrslum ÍSOR fyrir Kröflu og Bjarnarflag er ársvinnsla einstakra vinnslusvæða og koma þær jafnan fram með upplýsingum um vatnsborð og þrýsting í eftirlitsholunum. Vinnslan er ákvörðuð undir umsjón Trausta Haukssonar hjá Kemíu.

Greint er frá framkvæmd mælinganna hér á eftir í 2. kafla eins og henni er lýst í dagbók mælingamanna. Fyrir utan hefðbundnar eftirlitsmælingar voru gerðar mælingar í holu KJ-35, lóðun, hiti, þrýstingur og myndataka, auk vatnsborðsmælinga í holu KJ-26 og lóðunar í holu KJ-16 (sjá viðauka). Niðurstöður eftirlitsmælinganna 2018 eru hér birtar í langri röð mælinga sem gerðar hafa verið í eftirlitsholunum síðustu áratugina en yfirlit mælinga í hinum hefðbundnu eftirlitsholum í Kröflu og Bjarnarflagi síðustu níu ár er sýnt í töflu 1.

2 Dagbók mælingamanna

3. september 2018

Sunnudaginn 2. september kom mælingamaður (FP) með Mantra-bifreið ÍSOR norður í Kröflu en Mantran var búin búnaði til að skoða fóðringuna í holu KJ-35. Annar mælingamaður (PEg) kom með Econoline-mælingabifreið ÍSOR frá Akureyri að mánudagsmorgni 3. september og eftir fund með stöðvarstjóra Kröfluvirkjunar þar sem gengið var frá verkleyfi var haldið til mælinga. Þennan dag voru holur KG-10 í Kröflu, B-5 og B-2 í Bjarnarflagi og KJ-18 í Kröflu mældar, í þessari röð. Allar þessar mælingar gengu vel.

4. september 2018

Þessi dagur var tileinkaður holu KJ-35. Á hana hafði verið dælt í alllangan tíma og m.a. verið gert þrepapróf. Ádælingin á holuna þennan dag var 24 L/s. Fyrst af öllu var holan lóðuð og settist lóð á 1932 m dýpi og var hún síðan hita- og þrýstimæld í það dýpi. Töf varð á byrjun mælinga vegna þess að mælirörið á staðnum passaði ekki við flansinn á 3" loka holunnar en lóðið var þó komið af stað niður holuna um kl. 10:20. Eftir að hita- og þrýstimælingum lauk

var hafist handa við myndun holunnar og var henni lokið um kl. 22 um kvöldið. Niðurstöðum myndatökunnar sem og hita- og þrýstimælingunum verða gerð skil í sérstökum greinargerðum. Á meðan myndatöku stóð voru sérfræðingar Landsvirkjunar, Anette K. Mortensen og Ólafur Sverrisson, á staðnum og fylgdust með framgangi hennar auk þess að aðstoða við frágang búnaðar að mælingum loknum. Stefán Stefánsson stjórnaði krana við hífingar á mæliröri með tilheyrandi aðstoð við að koma mælunum í holuna og Kristján Stefánsson, Halldór Magni Sverrisson og Jakob Stefánsson, starfsmenn Landsvirkjunar, sáu um aðgengi að holunni. Nýr sambyggður stiga- og vinnupallsbúnaður fyrir kúluhús Landsvirkjunar var notaður við mælingarnar og það er ástæða til að hrósa LV fyrir þessa hönnun sem virkar mjög vel í það sem búnaðinum er ætlað.

5. september 2018

Að morgni miðvikudagsins 5. september urðu skipti á mælingamönnum, ÞEg þurfti frá að hverfa og AMV leysti hann af hólmi. Starfsmaður LV fór yfir verklagsreglur og áhættuþætti með AMV og verkleyfi var uppfært. Þá var haldið til mælinga og byrjað var á að mæla holu KJ-21. Toppþrýstingur hennar var um 24 bar og var notast við mælirör á holutopp. Nokkuð bras var að losa toppinn af kúluhúsinu enda mikill hiti frá óeinangruðum holutoppnum og var toppur kúluhússins festur með tugum bolta. Mælingin sjálf gekk þó greiðlega.

Eftir hádegi var haldið niður í Bjarnarflag til að mæla BJ-14. Upphaf mælinga tafðist um eina klukkustund þar sem mælingamenn mættu fyrstir á vettvang eftir að ferðamenn veltu bíl sínum í Námaskarði (meiðsli á fólki voru minniháttar). Mælt var í gegnum mælirör og gekk mælir hnökralaust niður en töluvert skak þurfti til að koma mæli upp í 3" legg við 10" flansinn.

6. september 2018

Þennan fimmtudagsmorgun var byrjað á að lóða holu KJ-16 í Suðurhlíðum Kröflu. Samkvæmt gagnagrunni ÍSOR hafði ekki verið mælt í holunni síðan 1997. Aðstæður voru svipaðar og við holu KJ-21, þ.e. toppur kúluhúss var festur með ótal boltum og mikil hitageislun frá holutoppi. Menn frá Kröfluvirkjun sáu um að opna toppinn á meðan mælingamenn undirbjuggu lóð. Toppþrýstingur var um 24 bar og því var notast við mælirörið. Lóðið fór niður á 2074 m dýpi.

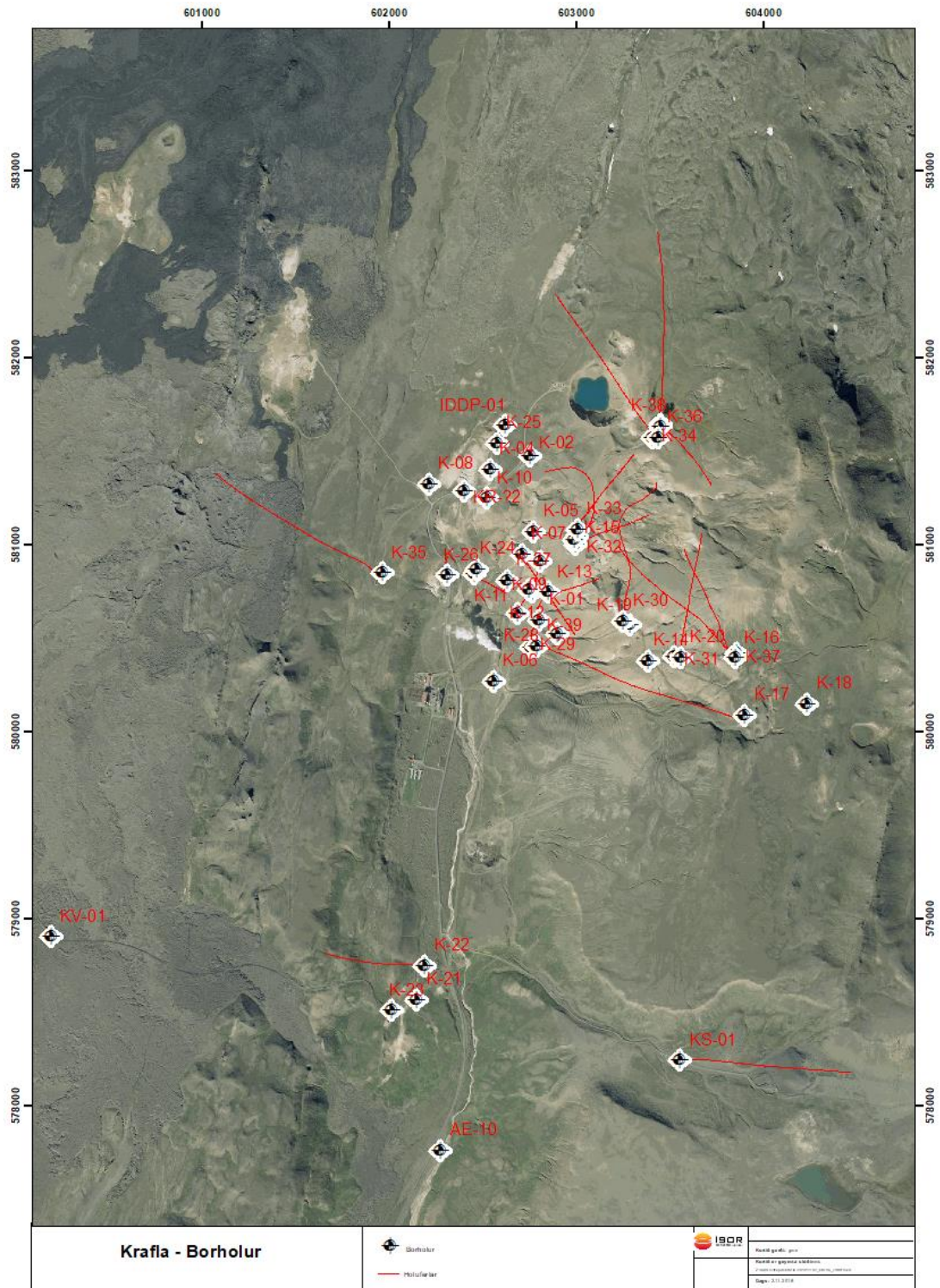
Næst voru gerðar hefðbundnar hita- og þrýstimælingar í holum KJ-26 og KJ-11. Kranamaður færði hús frá holutoppi KJ-26 og hífði mælirör á sinn stað. Mæling gekk vel en holuþrýstingur var 1,06 bar fyrir og eftir mælingu. Samkvæmt upplýsingum frá Landsvirkjun var áætluð dæling á holuna um 73 l/s en vatnsborðið í holunni mældist á 20 m. Í holu KJ-11 var mælt í opinni holu og því var hvorki þörf á mæliröri né kranamanni. Fram til þessa hefur aðgengi til mælinga í holunni verið ábótavant, einkum þar sem ekki hefur verið hægt að festa mælihjól til að taka vír út um dyr kúluhússins sem er á holunni. Yfirleitt hefur verið notast við steypuklump til að fá festu fyrir slíkt mælihjól og báðu mælingamenn kranamann um að koma því fyrir, sem hann og gerði. Í síðustu skýrslu um eftirlitsmælingar í Kröflu (Þorsteinn Egilson o.fl., 2017) var óskað eftir breytingum á aðstöðu til mælinga í holunni, nánar tiltekið að snúa lokanum þannig að handfangið myndi snúa í aðra átt en beint að hurð kúluhússins. Tekið hefur verið tillit til þessara ábendinga og því reyndist engin þörf fyrir steypuklumpinn. Mælir fór ofan í holu laust fyrir kl. 16, án lóða og miðjustilla. Vart var við einhverja fyrirstöðu á 1284 m dýpi á niðurleið og á 1243 m dýpi á leið upp, en mælitækið festist um stund í þeirri fyrirstöðu. Með stöðugu átaki og nokkrum atrennum með spilslúður lágt stillt hafðist að draga mælinn í gegn.

Að lokum má geta þess að Stefán Stefánsson var kranamaður alla þá daga sem mælingar stóðu yfir.

3 Eftirlitsmælingar í Kröflu

Í Kröflu voru reglubundnar hita- og þrýstimælingar gerðar haustið 2018 í holum KG-10, KJ-11, KJ-18 og holu KJ-21 á Hvíthólum sem nú var eftirlitsmæld annað árið í röð. Í töflu 1 er yfirlit um hita- og þrýstimælingar í Kröflu- og Bjarnarflagsholunum frá 2010 til 2018.

Borholusvæðið í Kröflu og ferlar stefnuboraðra holna eru sýndir á mynd 1.



Mynd 1. Yfirlit um holustaðsetningu og holuferla stefnuboraðra holna í Kröflu.

Tafla 1. Yfirlit um hita- og þrýstimælingar í Kröflu- og Bjarnarflagsholum 2010–2018.

Hóla	2010		2011		2012		2013		2014		2015		2016		2017		2018	
	Dags.	Dýpi	Dags.	Dýpi	Dags.	Dýpi	Dags.	Dýpi	Dags.	Dýpi	Dags.	Dýpi	Dags.	Dýpi	Dags.	Dýpi	Dags.	Dýpi
KJ-6	19/7	1200	11/8	1200	4/7	1200	-	-	-	-	25/6	1200	-	-	-	-	-	-
KG-10	21/7	800	11/8	800	5/7	800	10/9	805	5/7	800	24/6	800	6/8	800	13/8	800	3/9	800
KJ-18	20/7	2200	14/8	2195	5/7	2197	11/9	2197	9/4	2197	25/6	2198	7/8	2197	13/8	2195	3/9	2198
KJ-21	21/7	998	-	-	28/9	933	-	-	-	-	-	-	-	-	16/8	934	5/9	934
KJ-11							11/9	1400	6/7	1400	26/6	1400	6/8	1400	13/8	1400	6/9	1400
KJ-17									8/7	1941	-	-	-	-	-	-	-	-
KJ-26																	6/9	402
KJ-35							10/9	0	-	-	-	-	-	-	-	-	4/9	1932
KV-1											24/6	2878	-	-	-	-	-	-
B-2	19/7	488	1/12	490	3/7	488	10/9	485	6/7	488	24/6	488	2/7	488	13/8	488	3/9	488
B-5	19/7	611	1/12	611	3/7	611	11/9	600	6/7	611	24/6	612	2/7	612	13/8	611	3/9	610
BJ-11															20/8	1865	-	-
BJ-14							12/9	2398	-	-	-	-	-	-	-	-	5/9	2378

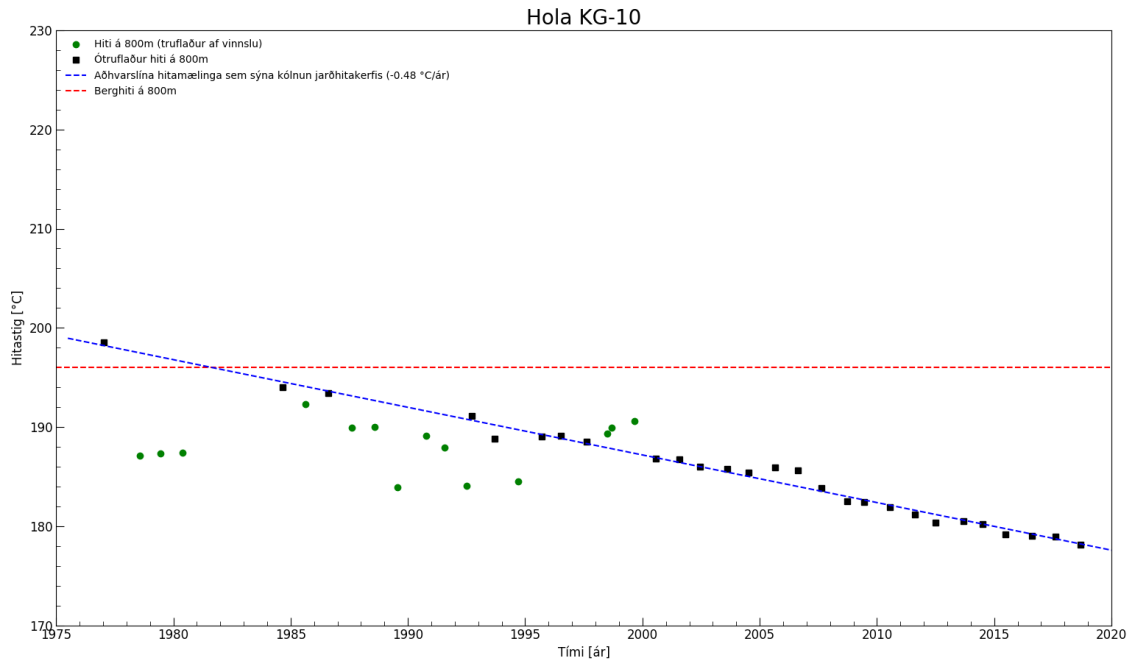
3.1 Hola KG-10

Hola KG-10 var boruð árið 1976 niður á 2082 m dýpi og er tengd bæði Efra- og Neðra-Leirbotnakerfinu (Valgarður Stefánsson o.fl., 1977). Holan reyndist aflmikil í byrjun en stíflaðist fljótlega vegna útfellinga. Við hreinsun holunnar árið 1977 kom í ljós að leiðarinn hafði fallið niður um 75 m, líklega vegna tæringar nálægt botni. Holan lóðast um 850 m djúp en þar eru festur og því er hún aðeins mæld niður á 800 m dýpi (Þorsteinn Egilson o.fl., 2015).

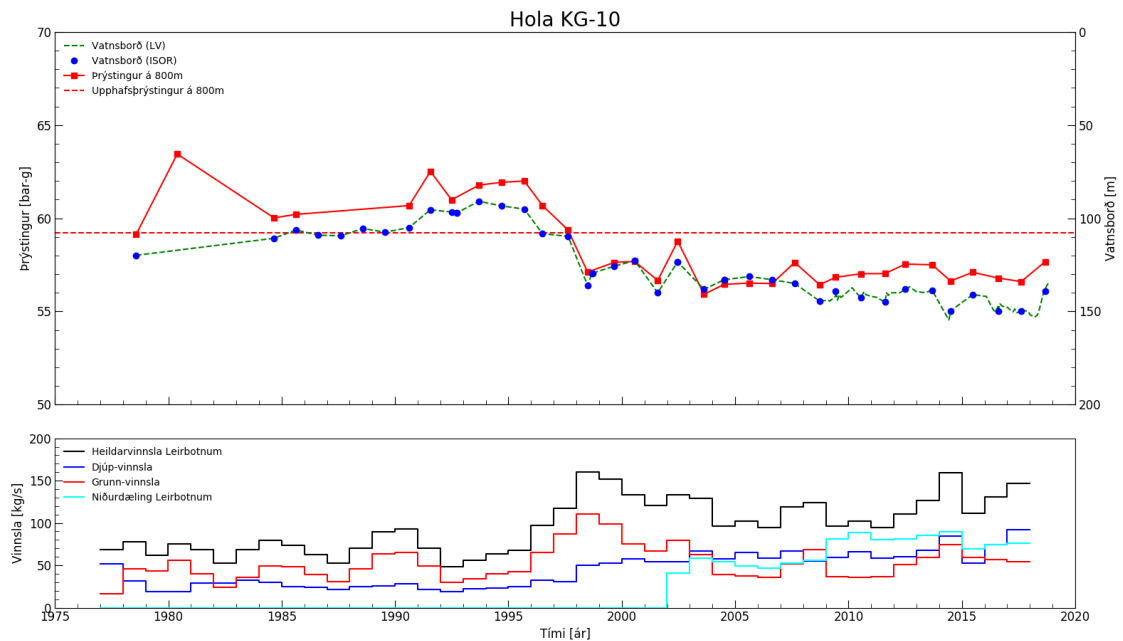
Eftirlitsmælingar ársins 2018 voru gerðar í holu KG-10 þann 3. september. Mynd 2 sýnir mældan hita á 800 m dýpi í holunni frá 1976 til 2018. Fram til ársins 1999 var nokkurt flökt á mældum hita á þessu dýpi og er vinnsla úr holu KG-24 að hluta til talin ábyrg fyrir því (Benedikt Steingrímsson og Grímur Björnsson, 1995) en sú hola vinnur úr Efra-Leirbotnakerfinu nærri holu KG-10. Frá árinu 2000 gætir þessa flökts óverulega og síðan þá er stöðug kólnun á 800 m dýpi greinileg. Að teknu tilliti til umrædds hitaflökts er talið að kólnunin hafi verið byrjuð þegar árið 1976 (Arnar Hjartarson, 2006; Þorsteinn Egilson o.fl., 2015). Meðalkólnunin, sem er mæld með hjálp aðhvarfslínu í gegnum valið safn mælinga frá 1977 (svartir kassar á mynd 2), er 0,48°C/ár. Hitamælingin í holunni sumarið 2018 fylgir þessari þróun. Hitinn á 800 m dýpi í holu KG-10 mældist 178,1°C 3. september 2018, sem er 17,9°C lægri en áætlaður berghiti á þessu sama dýpi. Hitinn í 800 m mældist 178,9°C síðsumars 2017 þannig að á milli ára er um 0,8°C lækkun að ræða sem er nokkru meira en meðaltalslækkunin segir til um. Berghitinn á 800 m dýpi var endurmetinn í ljósi kólnunarinnar sem orðið hefur síðan vinnsla úr Leirbotnakerfinu hófst (Þorsteinn Egilson, 2010) og er hann nú metinn 196°C í stað 186,5°C samkvæmt berghitamati frá 1990 (bhg 51; BS/GrB 5.4.1990, í gagnagrunni ÍSOR). Nýi berghitinn er birtur á mynd 4 og tilsvarendi ferill fyrir upphafsþrýsting er sýndur á mynd 5.

Mynd 3 sýnir mældan þrýsting á 800 m dýpi í holu KG-10 frá 1978 til 2018 ásamt áætluðum upphafsþrýstingi og mældu vatnsborði á sama tímabili. Í eftirlitsmælingaferðum ÍSOR er vatnsborð holunnar mælt (bláir hringir á mynd 3) en auk þess hefur vatnsborðið verið mælt af starfsmönnum LV (brotadregin, græn lína á mynd 3). Myndin sýnir einnig árlega meðalvinnslu úr Leirbotnakerfinu til ársins 2018. Þrýstingur á 800 m dýpi var sumarið 2018 um 1,5 bar undir áætluðum upphafsþrýstingi og hefur hækkað um 1,1 bar milli árána 2017 og 2018. Tímabundin þrýstilækkun sem kemur fram sumarið 2014 fellur saman við vinnslutopp og aukið niðurrennsli það ár. Frá 2014 hefur vinnsla úr efra kerfinu minnkað jafnt á sama tíma og vinnslan úr neðra kerfinu hefur aukist. Mælingarnar 2018 renna enn frekari stoðum undir þá túlkun að hola KG-10 skynjar trúlegast einvörðungu þrýsting í efra kerfinu (Þorsteinn Egilson o.fl., 2017). Hafa ber í huga þegar þrýstihækkunin 2018 er skoðuð að holum KJ-5 og KJ-24 var lokað 12. júlí 2018. Vatnsborð í holu KG-10 hefur verið mælt u.þ.b. einu sinni í mánuði síðan 2016 og er það vel. Einnig má skoða möguleikana á að sískrá vatnsborðið í holu KG-10.

Myndir 4 og 5 sýna hita- og þrýstiferla síðustu átta ára í holu KG-10 ásamt metnum berghita og upphafsþrýstingi (Þorsteinn Egilson, 2010).



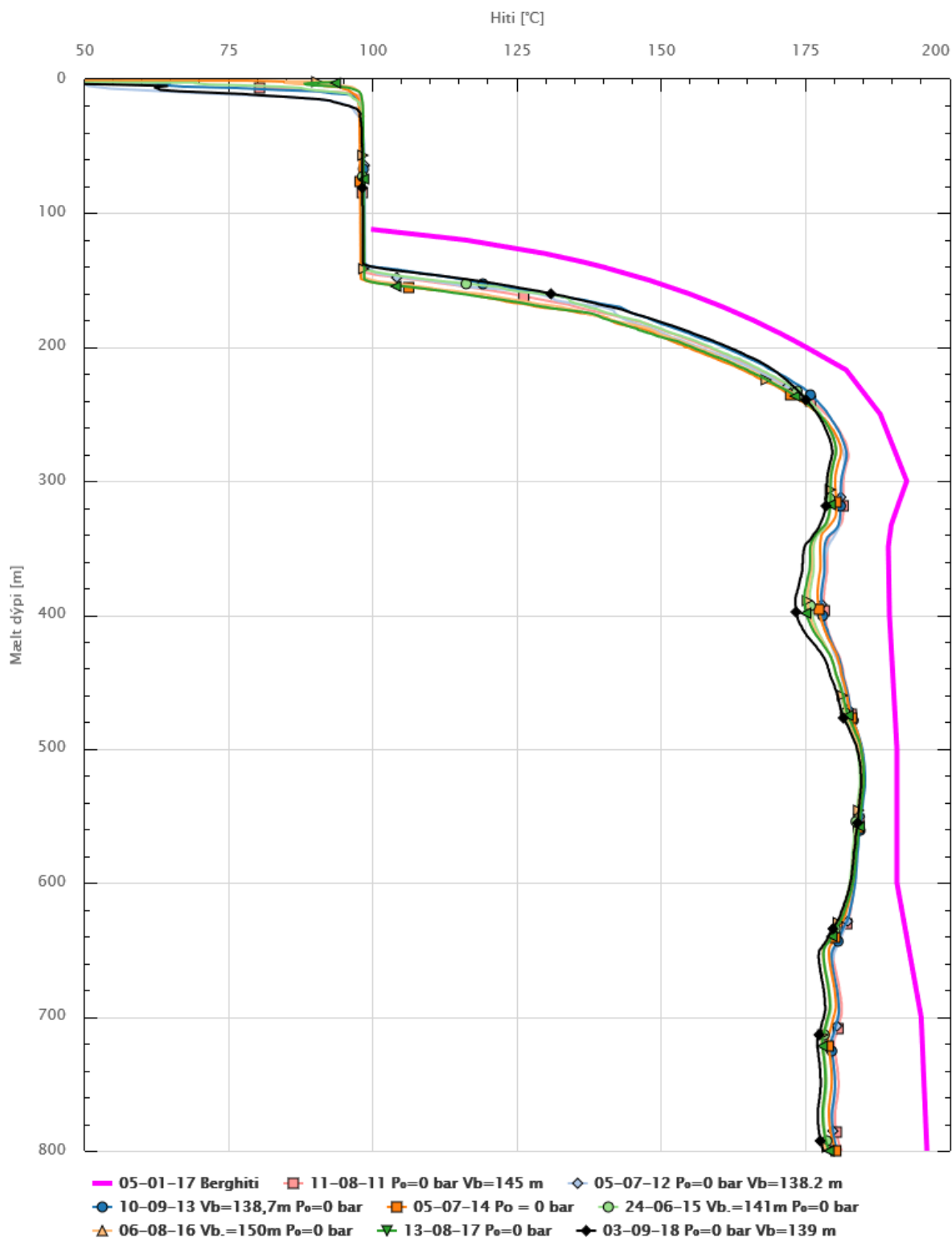
Mynd 2. Saga hita á 800 m dýpi í holu KG-10 þar sem kerfisbundinnar kælingar gættir. Grænmerktu mælipunktarnir eru undandregnir í mati á þessari kólnun vegna áhrifa frá vinnslu, fyrst úr holunni sjálfri og síðar vegna vinnslu úr holu KG-24.



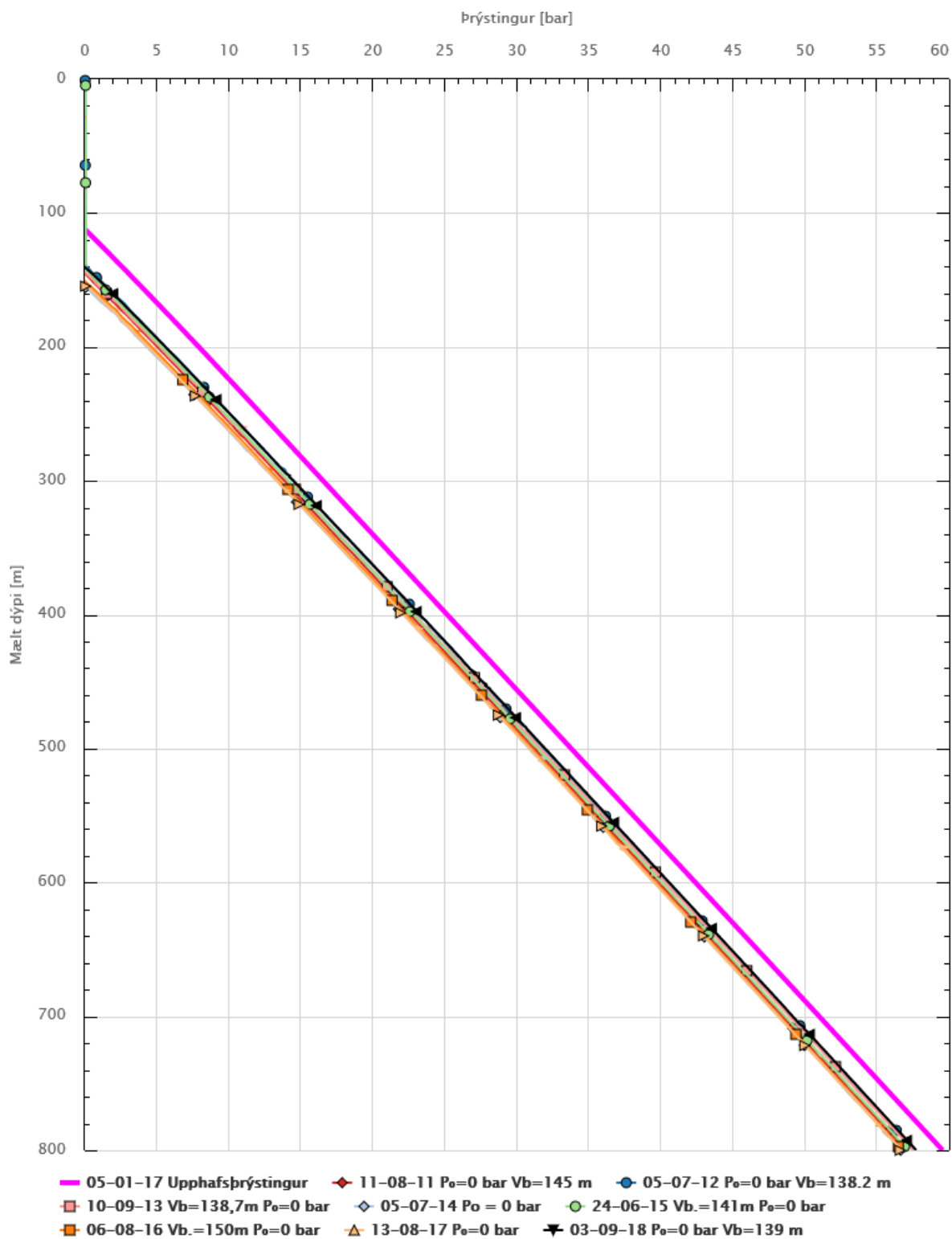
Mynd 3. Prýstingur á 800 m dýpi og vatnsborð í holu KG-10 ásamt vinnslusögu Leirbotna til ársins 2018.

Krafla

Hola KG-10



Mynd 4. Hitamælingar síðustu átta ára í holu KG-10 ásamt metnum berghitaferli sem síðast var endurskoðaður 2010 í ljósi túlkunar á kólnun í holunni frá því að vinnsla úr Leirbotnasvæðinu hófst.



Mynd 5. Þrýstimælingar síðustu átta ára í holu KG-10 ásamt metnum upphafsprýstingi 2010.

3.2 Hola KJ-11

Hola KJ-11 var boruð haustið 1976 með vinnslufóðringu í 788 m og holudýpi 2217 m. Holan var boruð sem lóðrétt hola en síðar kom í ljós í girómælingu að borkróna hafði leitað til austsuðausturs (sjá mynd 1). Skoltöp í vinnsluhluta voru nokkur en flest lítil og var 7⁵/₈" raufaður leiðari settur í vinnsluhluta holunnar (Hrefna Kristmannsdóttir o.fl., 1977). Haustið 1978 var leiðarinn skorinn í sundur á um 1290 m dýpi og tekinn upp og eftir það var holan fóðruð með 7⁵/₈" rörum á 770–1250 m dýpi og fóðringin steipt. Holan var síðan hreinsuð í botn. Tilgangurinn með þessari aðgerð var að loka af æðar efra kerfisins. Holan hefur verið mæld árlega síðan 2013 en fram til þess höfðu mælingar í henni ekki verið tíðar, enda holan lengstum í vinnslu eða niðurdælingu (Þorsteinn Egilson, 2017; Þorsteinn Egilson o.fl., 2015). Eftirlitsmælingin 6. september 2018 var gerð niður í 1400 m en við lóðun holunnar haustið 2012 reyndist vera fyrirstaða á 1428 m dýpi (Hörður Tryggvason og Halldór Ingólfsson, 2012). Hola KJ-11 var vinnsluhola frá 1977 fram á sumar 2002 og gaf lengst af eftir endurfóðrun 1978 um 1,2–1,5 MW. Holan var notuð til niðurdælingar, fyrst frá marslokum árið 2003 til ágústloka 2005 og síðan aftur frá október 2009 til apríl 2010 (Þorsteinn Egilson, 2017). Síðan hefur holan staðið lokuð og þrýstingslaus á toppi.

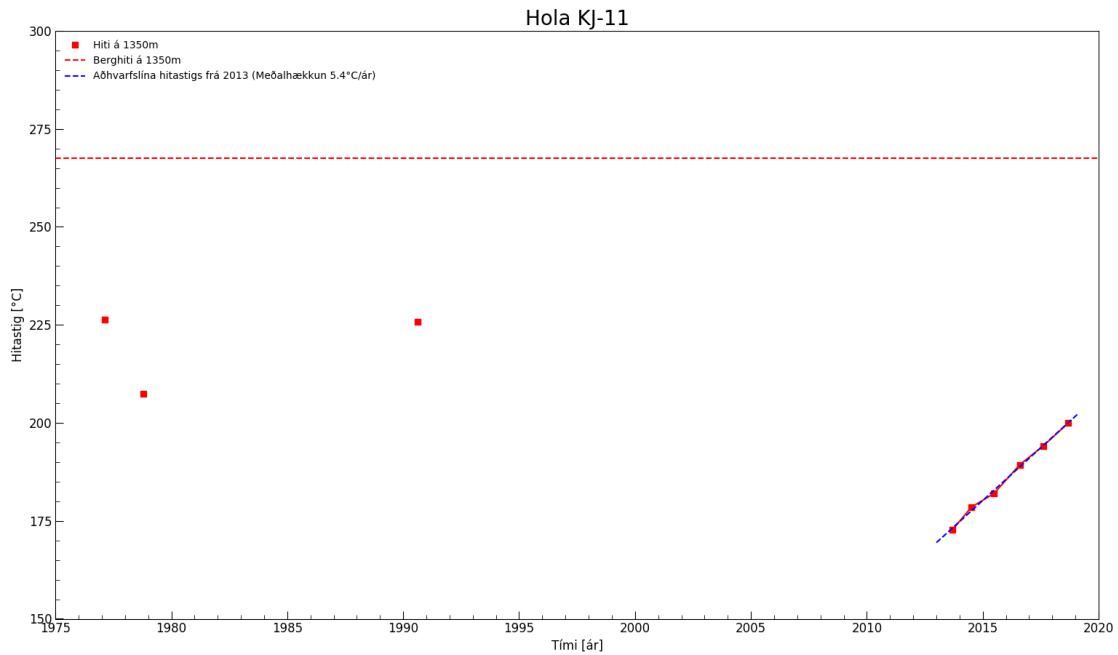
Myndir 6 og 7 sýna hita- og þrýstisögu holunnar á 1350 m dýpi. Aðeins er um sex athugarnir að ræða síðan 2013 og segja þær enn sem komið er ekki mikla sögu. Í september 2018 mældist hitinn á 1350 m dýpi 199,9°C, sem er um 67,6°C kaldara en áætlaður upphafshiti þar (miðað við 1976), og í ágúst 2017 mældist hitinn þarna 194,2°C. Frá árinu 2013 hefur hitinn á 1350 m dýpi að jafnaði hækkað um 5,4°C/ár (sjá aðhvarfslínu á mynd 6).

Í ágúst 2017 mældist þrýstingur á 1350 m dýpi 101,0 bar sem er 3,1 bar lægri en metinn kerfisþrýstingur á þessu dýpi. Á milli árána 2017 og 2018 hækkaði þrýstingur á 1350 m dýpi um 1,4 bar en engin breyting varð á þrýstingi á 1350 m dýpi frá 2016 til 2017. Hækkun á þrýstingi tengist líklega minnkaðri vinnslu í efra kerfinu þ.a. þrýstibreytingar í holu KJ-11 stjórnast aðallega af vinnslu úr efra kerfinu. Fyrir framhald KJ-11 sem eftirlitshola er mikilvægt að vatnsborð hennar verði mælt mánaðarlega í a.m.k. eitt ár.

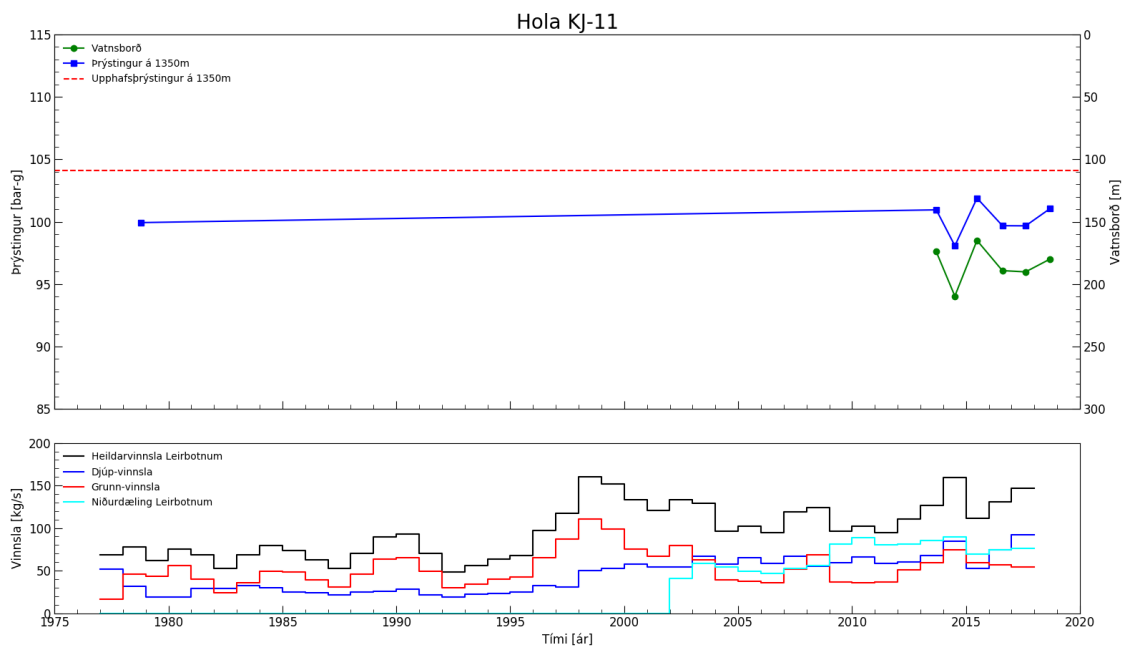
Mynd 8 sýnir þær hitamælingar úr holu KJ-11 sem gerðar hafa verið eftir að hún var tekin inn sem eftirlitshola. Að auki sýnir myndin berghitaferil holunnar sem var gefinn út árið 1990 og byggist á hugmyndum um skiptingu jarðhitakerfisins í Leirbotnum í efra og neðra kerfi (Valgarður Stefánsson o.fl., 1977). Í eftirlitsmælingunum eftir 2013 kemur fram kæling í um 1320 m en við borun holunnar var lek æð á 1326 m dýpi (Hrefna Kristmannsdóttir o.fl., 1977). Þessi kæling kemur ekki fram í hitamælingu árið 1990 en á þeim tíma hafði niðurdæling í Kröflu ekki hafist (Þorsteinn Egilson o.fl., 2017). Umrædd kæling er bein afleiðing niðurdælingar í holuna á sínum tíma.

Mynd 9 sýnir þær þrýstimælingar úr holu KJ-11 sem gerðar hafa verið eftir að hún var tekin inn sem eftirlitshola sem og upphafsþrýsting sem fylgir eiginleikum berghitaferilsins fyrir holuna með vatnsborð á 92 m dýpi.

Ítrekað er að ástæða er til að fylgjast í framtíðinni með þróun hita og þrýstings í holu KJ-11 vegna nálægðar hennar við niðurdælingarholuna KG-26 (Þorsteinn Egilson o.fl., 2015) og vert er að skoða möguleika á sískráningu vatnsborðs í holunni.



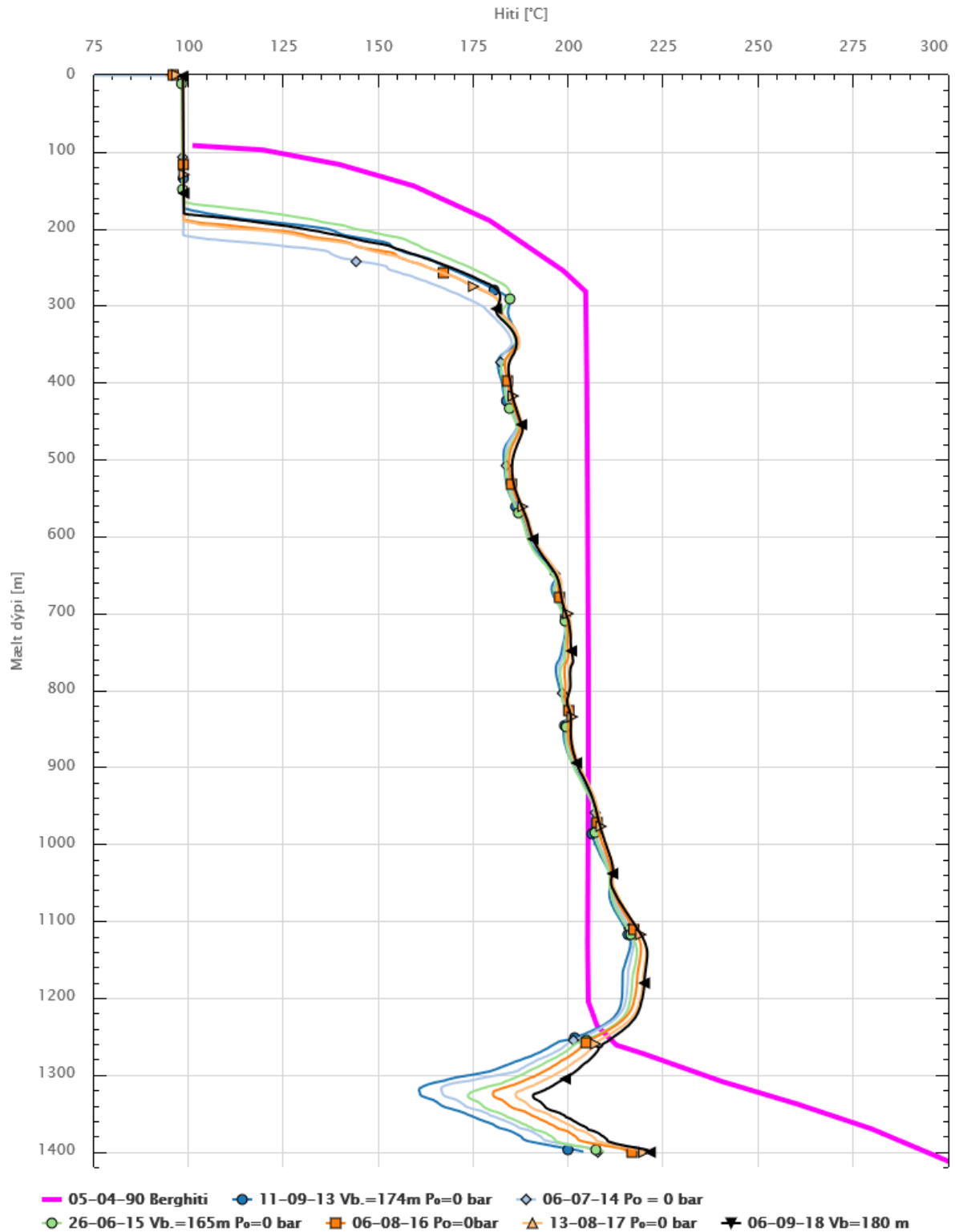
Mynd 6. Hin stutta saga hita á 1350 m dýpi í holu KJ-11. Grafið sýnir upphaf eftirlitsmælinga í holunni en þær hófust árið 2013.



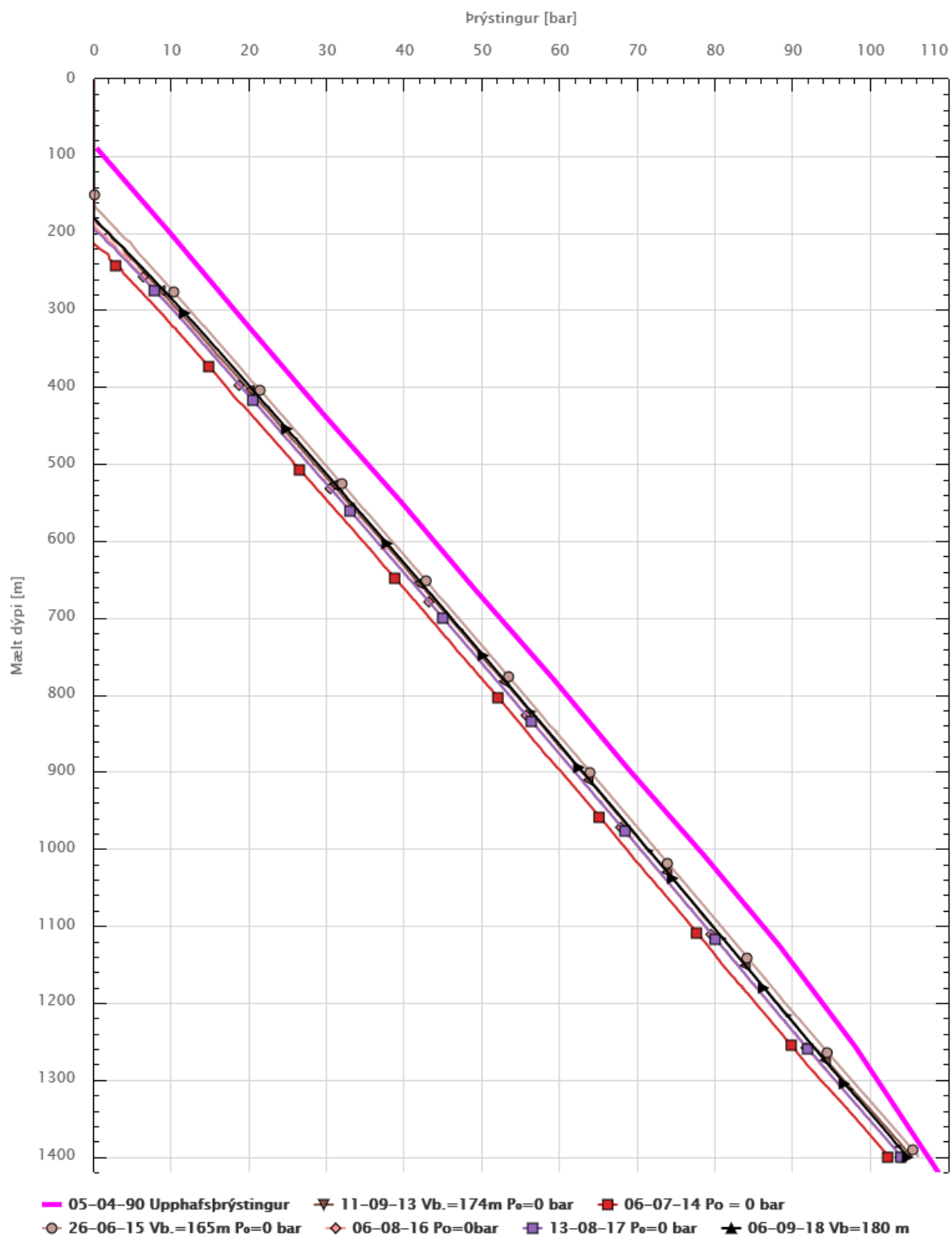
Mynd 7. Hin stutta saga þrýstings á 1350 m dýpi í holu KJ-11. Grafið sýnir upphaf eftirlitsmælinga í holunni en þær hófust árið 2013. Þá sýnir myndin einnig ársmeðalvinnslu úr Leirbotna-kerfunum fram til 2017.

Krafla

Hola KJ-11



Mynd 8. Valdar hitamælingar úr holu KJ-11 í Kröflu, sem var boruð 1976, ásamt metnum berghita. Holan var nýtt sem vinnsluhola til 2002 og síðan til niðurdælingar en hefur staðið lokuð frá 2010. Hitamæling frá 2002, þegar niðurdæling í grannholuna KG-26 hófst, nær ekki nægilega langt niður í holuna til að gefa upplýsingar um hitabreytingar við æð á 1326 m dýpi.



Mynd 9. Nokkrar þrýstimælingar úr holu KJ-11 í Kröflu sem var boruð 1976 ásamt metnum upphafsprýstingi.

3.3 HOLA KJ-18

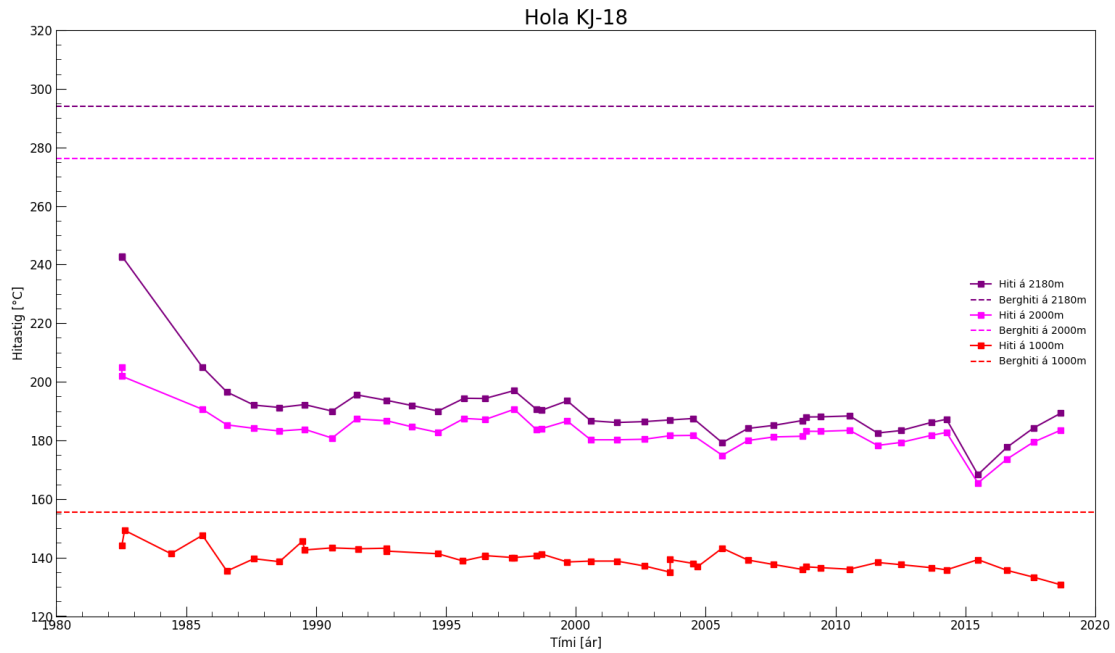
Hola KJ-18 er austan við vinnslusvæði Suðurhlíða Kröflu og var boruð haustið 1981 í 2215 m dýpi (Ásgrímur Guðmundsson o.fl., 1981). Vinnslufóðring nær niður á 663 m dýpi en enginn leiðari er í holunni sem hefur aldrei blásið. Ekki hefur orðið vart við neinar fyrirstöður í holunni og hafa mælingar ávallt gengið vel (Þorsteinn Egilson o.fl., 2013). Eftirlitsmælingin í holu KJ-18 árið 2018 var gerð 3. september.

Á árinu 2014 fóru fram umfangsmiklar mælingar í Kröflu á vegum Evrópuverkefnisins IMAGE (Gylfi Páll Hersir, 2013) og meðal annars var hola KJ-18 kæld niður. Eftirlitsmælingin árið 2015 var gerð 25. júní (Þorsteinn Egilson o.fl., 2015) og er hitaferillinn (mynd 13) verulega kældur frá 1315 m miðað við fyrri ár og er þessi kæling beintengd við áðurnefnda niðurdælingu.

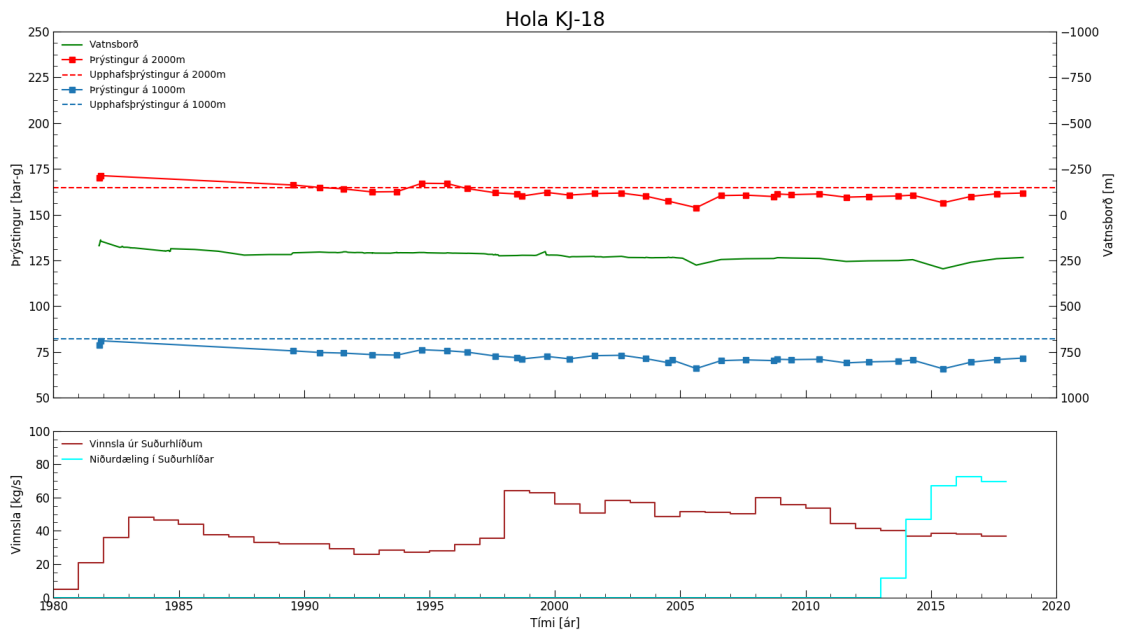
Mynd 10 sýnir sögu hitastigs á 1000, 2000 og 2180 m dýpi frá 1982 til 2018. Mældur hiti í 2000 m er 4,1°C hærri í september 2018 en í ágúst 2017 og samvarandi hitahækkun í 2180 m er 5,1°C. Hitinn í 1000 m lækkaði um 2,6°C milli ára, mældist 2,3°C lækkun árið áður. Frá 2011 til 2014 var jöfn hitahækkun á 2000 m dýpi um 1,7°C/ár en á 2180 m dýpi var þessi hitahækkun ~2°C/ár (Þorsteinn Egilson o.fl., 2017). Eins og sést á mynd 10 hafa komið fram nokkur nokkurra ára tímabil þar sem nokkuð jöfn hitabreyting hefur orðið í 2000 og 2180 m, ýmist til hækkunar eða lækkunar, þótt engin vinnsla hafi verið úr holunni. Á sama tíma, 2011–2014, greindist jöfn hitalækkun, 0,9°C/ár, í 1000 m í holu KJ-18. Áður en niðurdælingin var gerð árið 2014 var metin kólnun á 2000 m dýpi 92,7°C miðað við áætlaðan berghita, og á 2180 m dýpi (nærri botni holunnar) var kólnunin metin 106°C (Þorsteinn Egilson o.fl., 2014). Þessi mikla kæling skýrist af því að tiltölulega kalt vatn seytlar niður holuna úr smáæðum á 750–950 m dýpi.

Hinnar miklu röskunar sem varð á hitastigi í holunni við IMAGE-tilraunina árið 2014 gætir enn í holunni. Það er athyglisvert hvernig hitinn á 2000 og 2180 m dýpi hækkar og hvort hitahækkunin fellur inn á sömu braut og greina má á árunum 2011–2014. Frá 2014 hefur hitinn á 1000 m dýpi lækkað jafnt, 2,7°C/ár, og líklega gætir þar niðurdælingar í holu KJ-39 sem hófst fyrir alvöru árið 2014 (mynd 12).

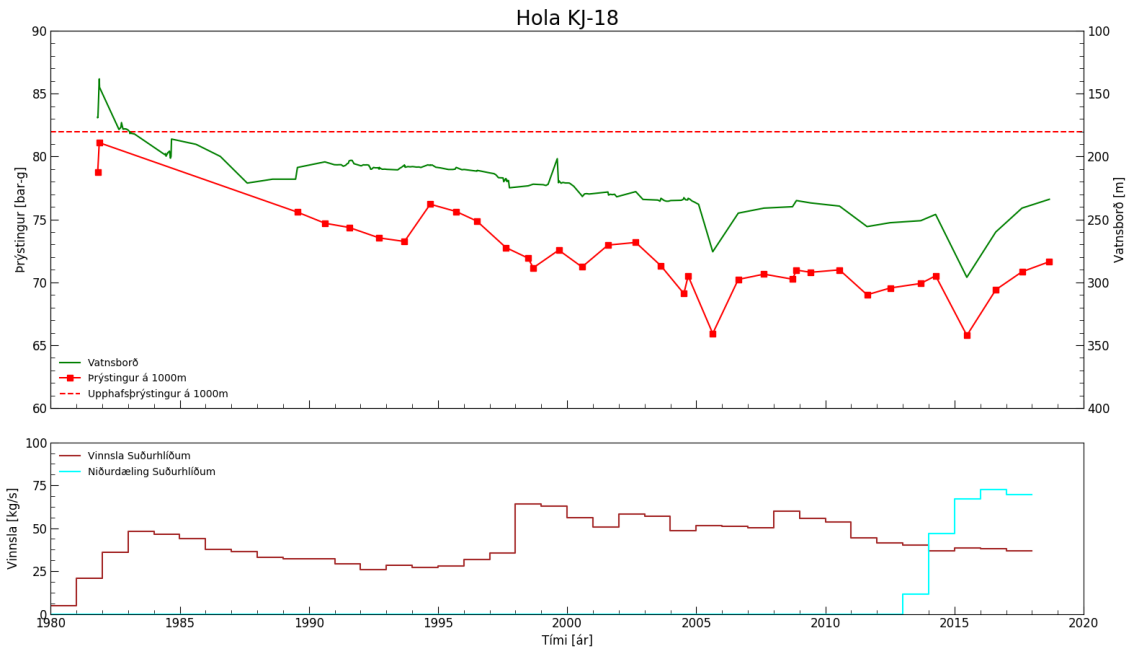
Mynd 11 sýnir mældan þrýsting á 1000 og 2000 m dýpi í holu KJ-18 frá 1981 til 2018, áætlaðan upphafsþrýsting, mælt vatnsborð og vinnslu- og niðurdælingarsögu Suðurhlíða fram til 2018. Frá 2006 til 2014 hafði þrýstingurinn á 1000 og 2000 m dýpi haldist nokkuð óbreyttur en hafði samt þokast aðeins upp á við sem er í samræmi við heldur minnkandi vinnslu úr Suðurhlíðakerfinu (Þorsteinn Egilson o.fl., 2015). Á 1000 m dýpi mældist þrýstingur í september 2018 71,6 bar sem er 10,4 bar lægri en metinn upphafsþrýstingur. Þetta er 0,8 bar hærri þrýstingur en mældist í ágúst 2017, þar á undan hækkaði þrýstingur um 1,4 bar milli ára. Á 2000 m dýpi er þrýstingurinn í september 2018 3,1 bar lægri en metinn upphafsþrýstingur og svarar til 0,4 bar þrýstihækkunar frá 2017 til 2018 og vatnsborðið hækkaði um 7 m á sama tíma. Í ágúst 2017 var vatnsborð í 241 m og hafði þá hækkað um 19 m frá 2016. Mynd 12 sýnir þrýsting á 1000 m dýpi og vatnsborð með hærri upplausn en sýnt er á mynd 11 til að draga betur fram breytingar sem hafa orðið. Eins og sést á mynd 12 fór vinnslan úr Suðurhlíðum minnkandi frá 2008 til 2014 en hefur ekki verið aukin eftir það auk þess sem niðurdæling í kerfið um holu KJ-39, sem hófst árið 2013, hefur verið stóraukin. Myndir 13 og 14 sýna hita- og þrýstimælingar síðustu átta ára í holu KJ-18 ásamt metnum berghita og upphafsþrýstingi. Í gegnum tíðina hafa hitamælingar í holunni bent til millirennslis (niðurrennslis) í henni (Þorsteinn Egilson, 2010). Áður hefur verið lagt til að þetta rennsli sé metið með rennslismæli sem er sambyggður hita- og þrýstimæli (Þorsteinn Egilson o.fl., 2017) og það er ítrekað hér.



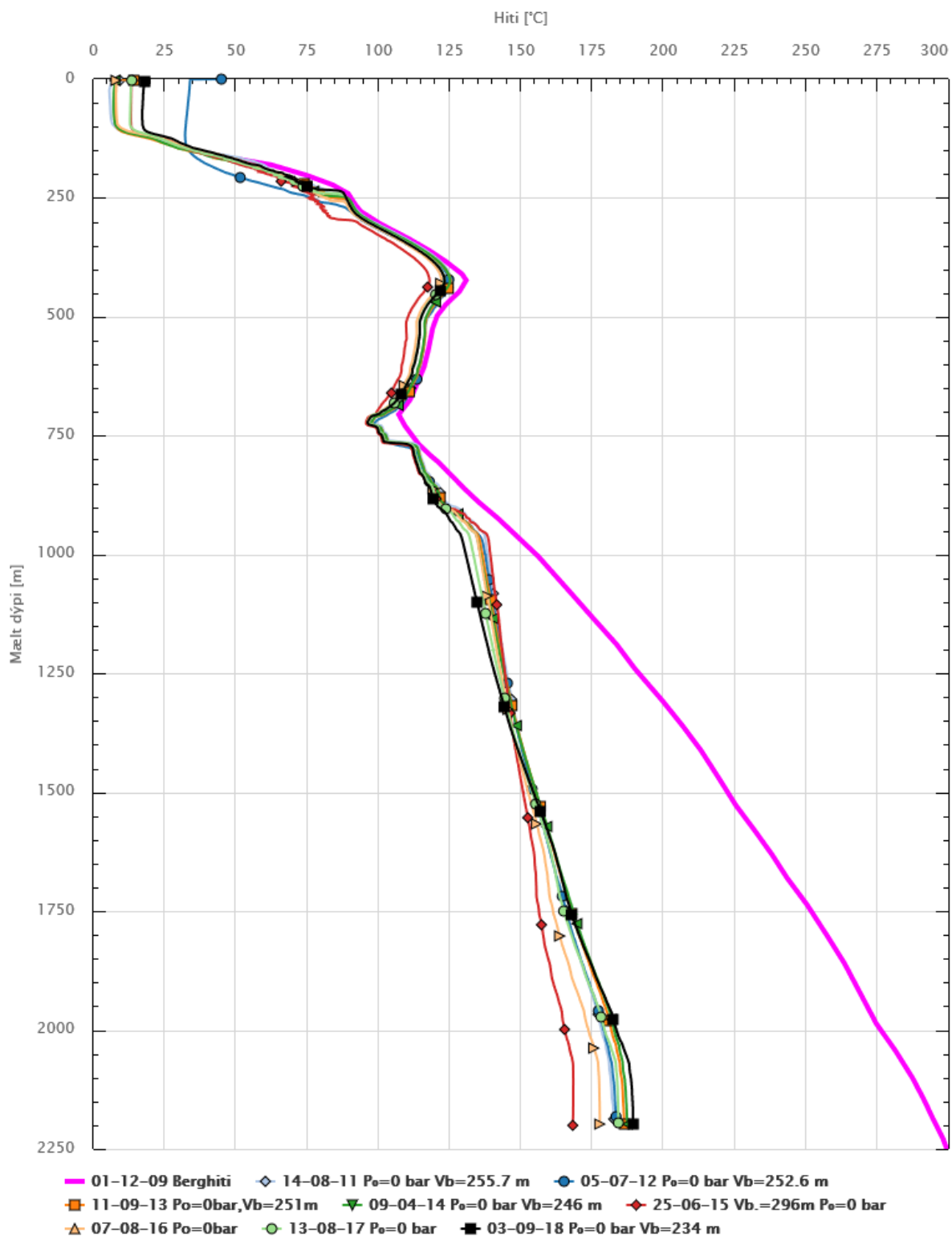
Mynd 10. Saga hita á 1000, 2000 og 2180 m dýpi yfir þann tíma sem KJ-18 hefur verið notuð sem eftirlitshola.



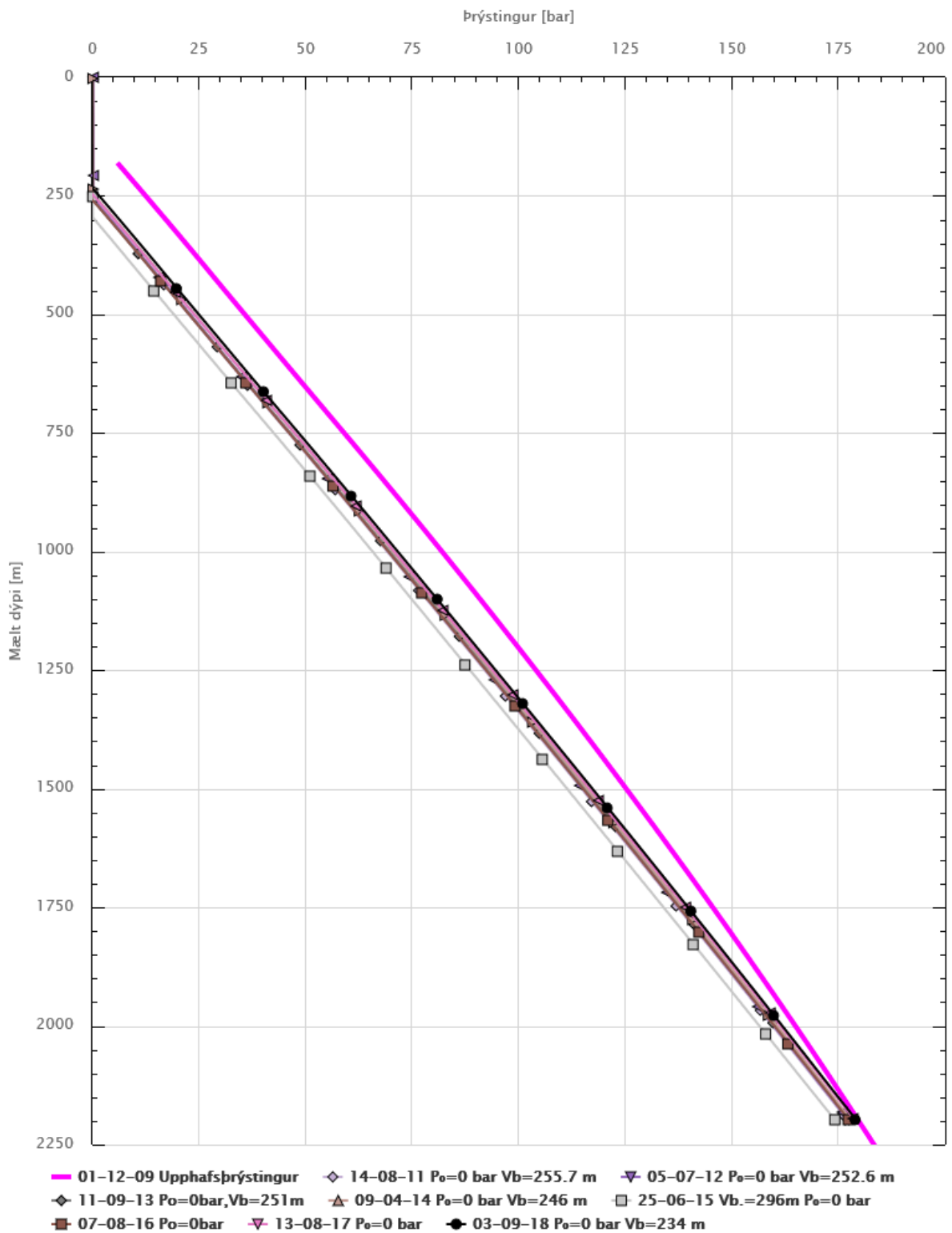
Mynd 11. Saga vatnsborðs og þrýstings á 1000 og 2000 m dýpi í holu KJ-18 ásamt vinnslu- og niðurdælingarsögu Suðurhlíða fram til 2018.



Mynd 12. Saga vatnsborðs og þrýstings á 1000 m dýpi í holu KJ-18 ásamt vinnslusögu Suðurhlíða fram til ársins 2017 þar sem breytingar eru með hærri upplausn en sýnt er á mynd 11. Niðurdæling í holu KJ-39 frá 2013 er einnig sýnd.



Mynd 13. Hitamælingar síðustu átta ára í holu KJ-18 ásamt metnum berghitaferli.



Mynd 14. Þrýstimælingar síðustu átta ára í holu KJ-18 ásamt metnum upphafsprýstingi.

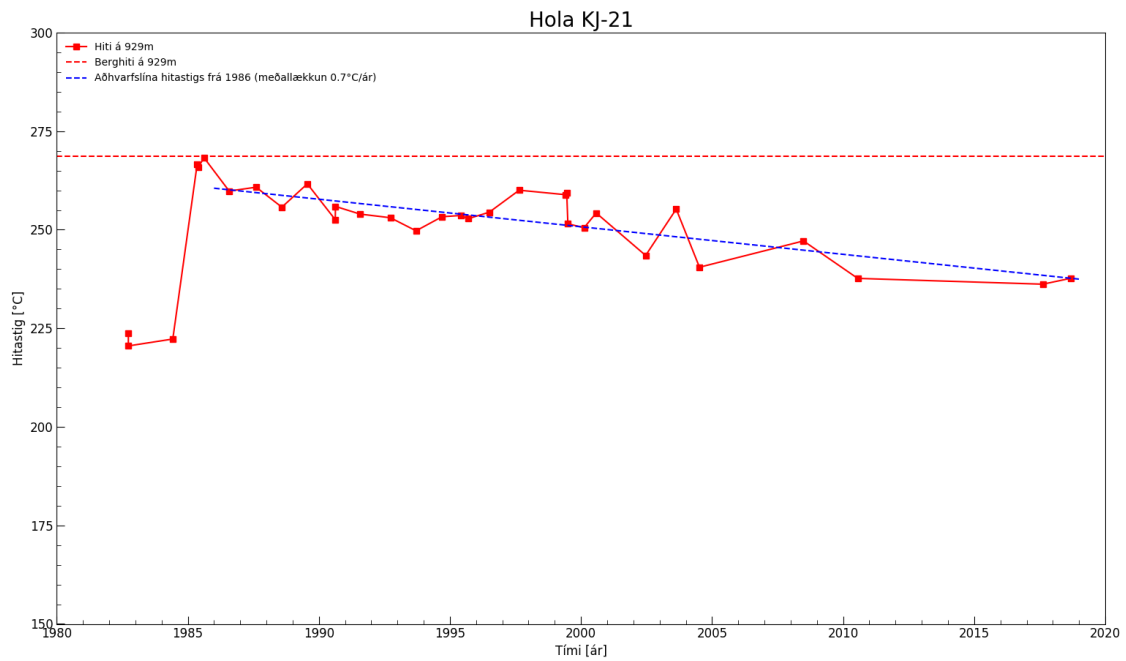
3.4 Hola KJ-21

Hola KJ-21 við Hvíthóla var boruð í 1200 m dýpi árið 1982 með tæplega 300 m $13\frac{3}{8}$ " öryggisfóðringu sem jafnframt varð vinnslufóðring og í hana var hengdur 7" leiðari. Árið 1984 var leiðarinn fjarlægður vegna leir- og drullupéttinga á 640 m dýpi og ný 1030 m $9\frac{5}{8}$ " fóðring sett í holuna og var hún raufluð neðan 300 m dýpis (Ásgrímur Guðmundsson o.fl., 1984). Undanfarin ár hefur hola mælst í kringum 1000 m djúp en við eftirlitsmælingu 16. ágúst 2017 komst mælirinn einungis niður á um 934 m dýpi (Þorsteinn Egilson o.fl., 2017). Í fyrri vinnslu- eftirlitsskýrslum hefur skoðunardýpi verið 995 m en vegna þeirrar stöðu sem upp er komin er skoðunardýpi að þessu sinni 929 m. Holan var blossaörvuð árið 2011 (Friðgeir Pétursson, 2011) og rennslismæld í blæstri í október 2014 (Þorsteinn Egilson og Benedikt Steingrímsson, 2014). Hola KJ-21 hefur staðið lokuð síðan 22. maí 2017.

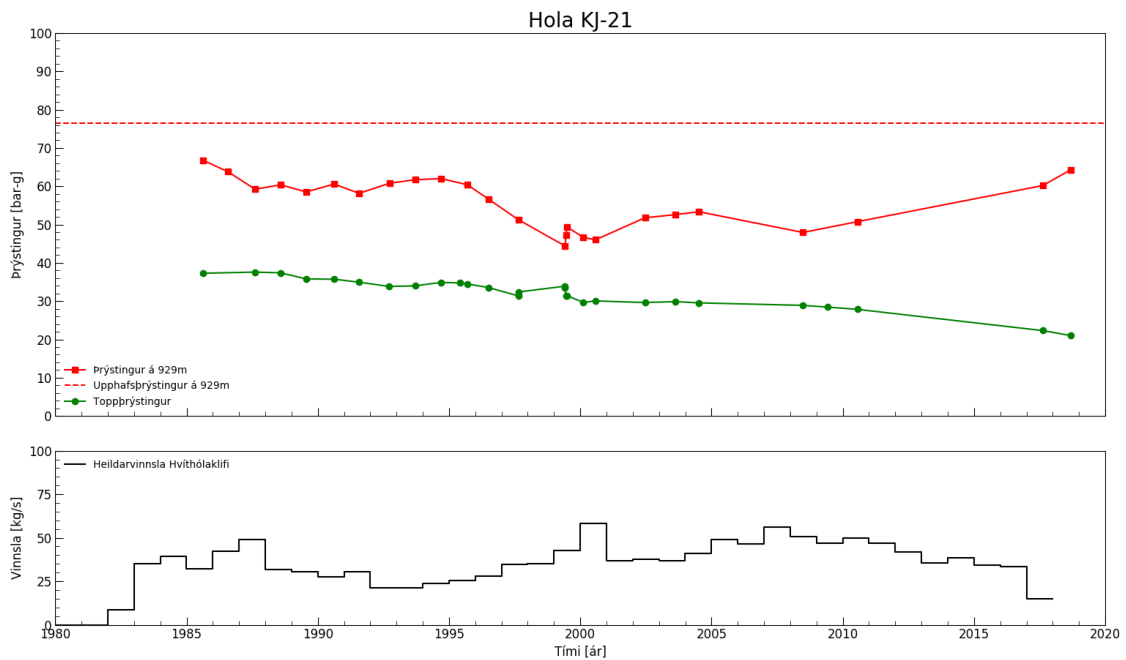
Mynd 15 sýnir mældan hita á 929 m dýpi í KJ-21 frá 1982 til 2018 auk áætlaðs berghita á sama dýpi. Vegna þess að hola er mæld mislögnum tíma eftir að vinnsluhlé hefst einkennast mælingarnar af nokkrum sveiflum eða toppum í hita og þrýstingi með tíma en tíminn frá lokun hefur mikið að segja um þrýsti- og hitajöfnunina. Því getur verið erfitt að sjá bein áhrif vinnslunnar á niðurdráttinn í svæðinu (Þorsteinn Egilson, 2010). Þrátt fyrir það má sjá að einhver kólnun á sér stað til lengri tíma og á mynd 15 hefur þetta verið metið með jafnaðarlínu í gegnum mælingarnar og er niðurstaðan sú að kólnunin geti legið nærri $0,7^{\circ}\text{C}/\text{ár}$ síðan 1986. Hitinn 2018 er $30,9^{\circ}\text{C}$ undir áætluðum berghita á 929 m dýpi sem er $268,6^{\circ}\text{C}$ en um $1,5^{\circ}\text{C}$ hækkun er að ræða frá ágúst 2017 til september 2018 sem er bein afleiðing þess að hola hefur verið lokuð í rúmt ár þegar mælingin árið 2018 var gerð.

Mynd 16 sýnir mældan þrýsting á 929 m dýpi í hola KJ-21 frá 1982 til 2018 auk áætlaðs upphafsþrýstings á sama dýpi. Þá sýnir myndin einnig mældan toppþrýsting á holunni í gegnum árin. Þrýstingur í september 2018 er um 12 bar undir áætluðum upphafsþrýstingi í 929 m en frá 2008 er þrýstihækkunin um 16,4 bar og þar sem þrýstingur á 929 m dýpi árið 2010 fellur að þessari breytingu benda mælingarnar til þrýstihækkunar um 1,3 bar/ár. Frá 2007 til 2016 minnkaði vinnslan nokkuð jafnt, $2,5\text{ kg/s/ár}$, en árið 2017 var vinnslan innan við helming þess sem hún var árið áður, aðallega vegna styttri nýtingartíma. Einnig er vermi vökvans á undanhaldi og hefur verið að minnka um 32 kJ/kg/ár (Trausti Hauksson, 2017) og á milli 2016 og 2017 minnkaði vermið um 30 kJ/kg .

Myndir 17 og 18 sýna hita- og þrýstimælingar úr eftirlitsmælingum í hola KJ-21 sem gerðar hafa verið frá 2003 ásamt metnum berghita og upphafsþrýstingi.



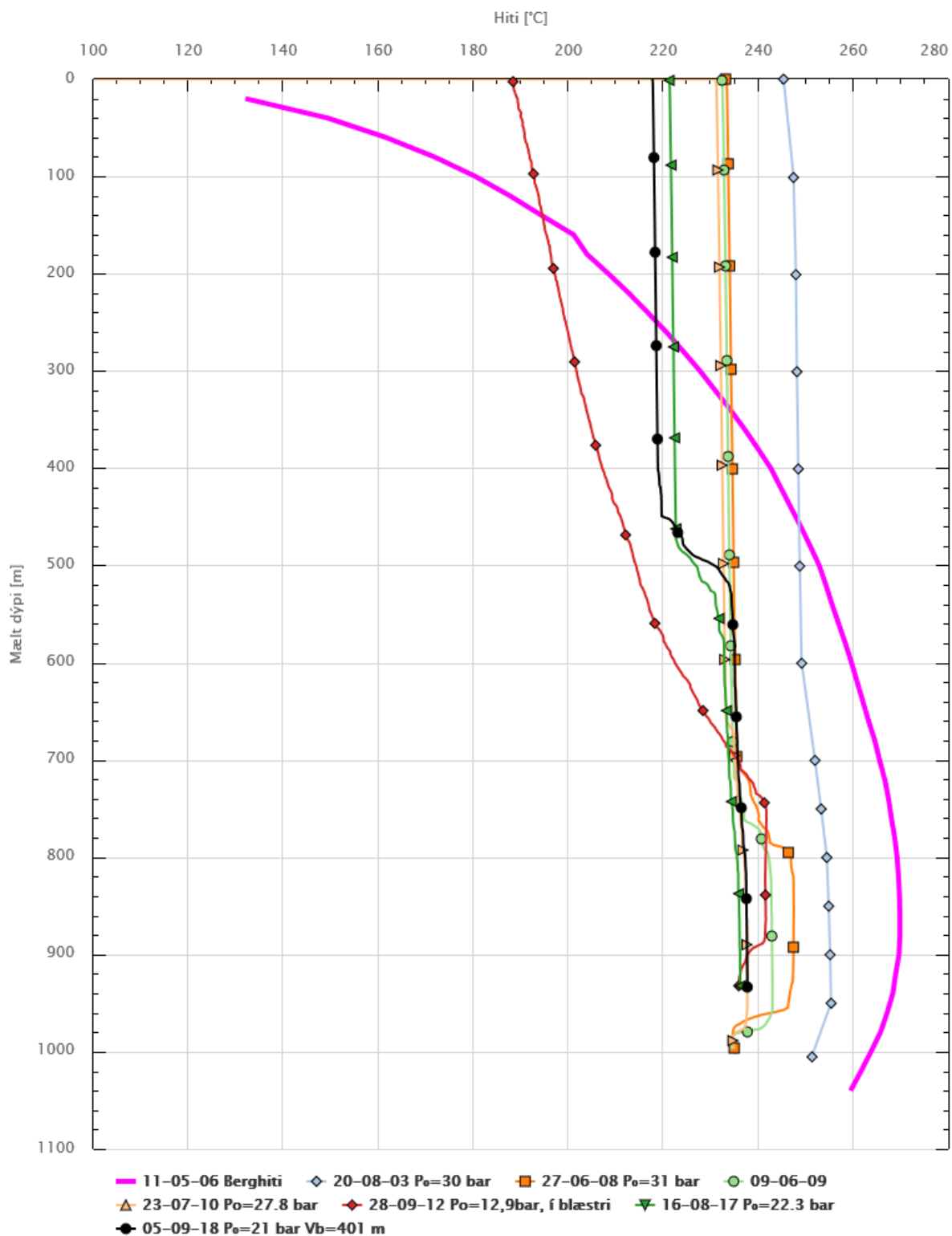
Mynd 15. Saga hita á 929 m dýpi úr eftirlitsmælingum í holu KJ-21 frá 1982.



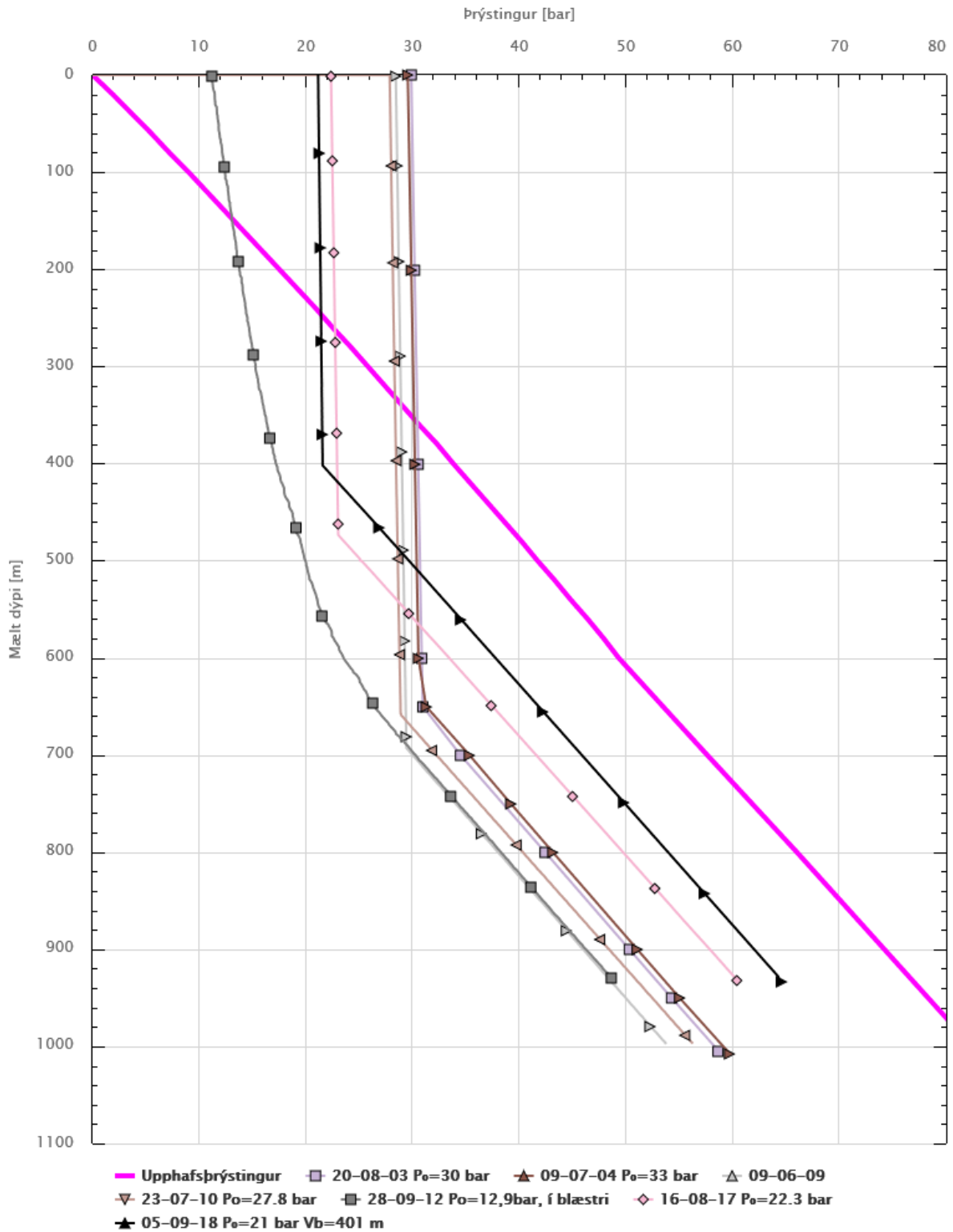
Mynd 16. Saga þrýstings á 929 m dýpi í holu KJ-21 úr eftirlitsmælingum í holu KJ-21 frá 1982 ásamt vinnslusögu Hvíthóla fram til ársins 2017.

Krafla

Hola KJ-21



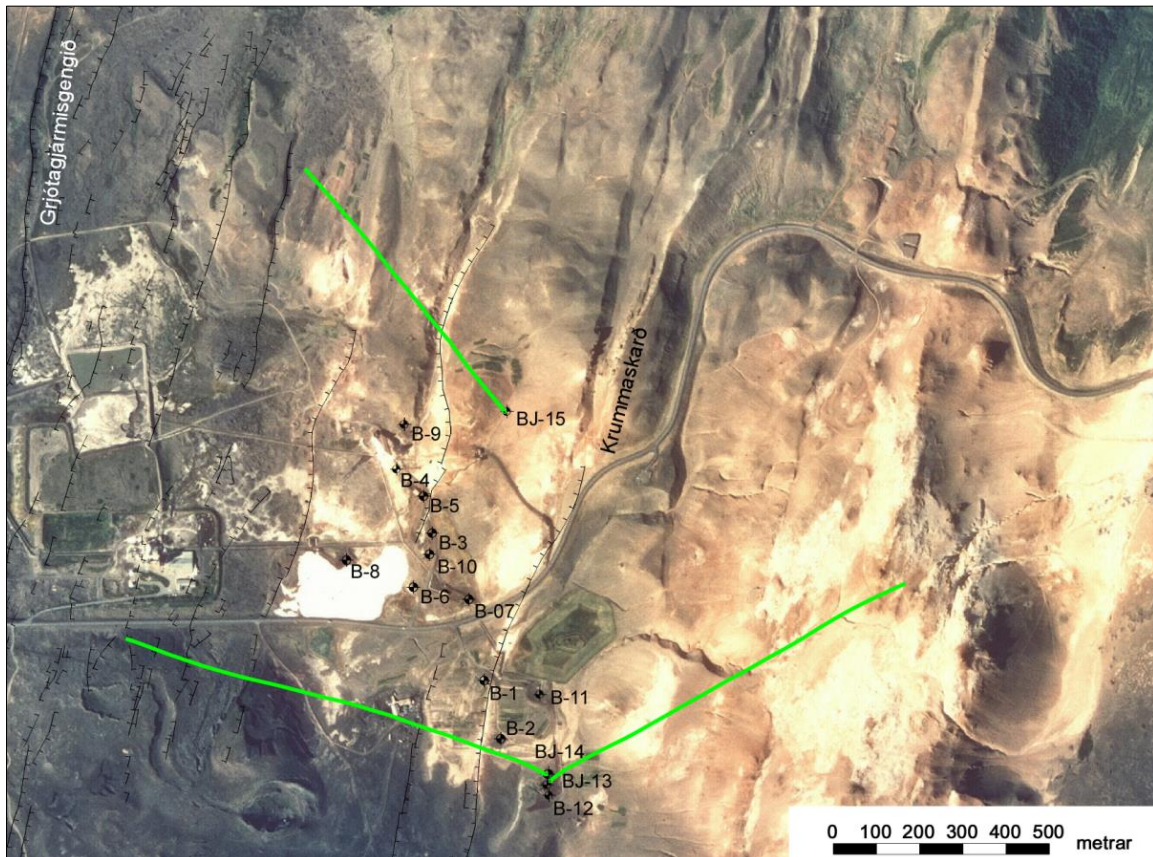
Mynd 17. Hitamælingar úr eftirlitsmælingum í holu KJ-21 síðan 2003 ásamt metnum berghitaferli.



Mynd 18. Drýstimælingar úr eftirlitsmælingum í holu KJ-21 síðan 2003 ásamt metnum upphafsprýstingi.

4 Eftirlitsmælingar í Bjarnarflagi

Borun á Bjarnarflagssvæðinu hófst árið 1963 með holu B-1 en alls hafa verið boraðar 15 jarðhitaholur í Bjarnarflagi. Aðal vinnsluholurnar á svæðinu eftir 1979 hafa lengst af verið holur B-11 og B-12. Hola B-9 bættist í hóp vinnsluholna árið 2001 og eftir að borun holu BJ-13 lauk árið 2006 hefur hún verið notuð sem vinnsluhola (Þorsteinn Egilson o.fl., 2014). Mynd 19 sýnir holustaðsetningu og ferla holna í Bjarnarflagi. Holur B-2 og B-5 eru aðaleftirlitsholur í Bjarnarflagi og hafa verið mældar reglulega síðan 1979, í fyrstu á nokkurra ára fresti en árlega frá 1993 með fáum undantekningum.



Mynd 19. Yfirlitsmynd af staðsetningu og ferlum stefnuboraðra holna í Bjarnarflagi.

4.1 Hola B-2

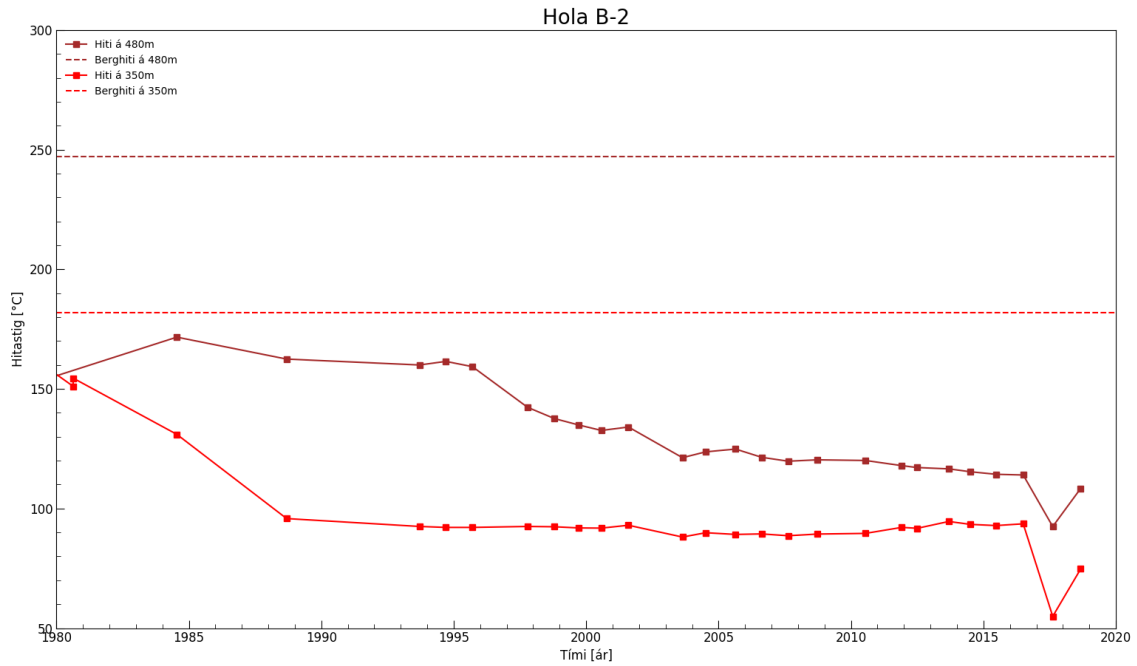
Hafist var handa við að bora holu B-2 í Bjarnarflagi árið 1963 en borun hennar lauk þó ekki fyrr en 1965. Þá var hún um 492 m djúp með steyptri fóðringu niður á tæplega 210 m dýpi en á ýmsu gekk við borun hennar (Kristján Sæmundsson, 1969). Holan er staðsett 10–20 m austan við Krummaskarósmisgengið, vel sunnan við þjóðveginn. Holan blés af og til en var aflítill og hefur aldrei verið nýtt (Ásgrímur Guðmundsson o.fl., 1989). Nú stendur hún þrýstingslaus með vatnsborð á um 65 m dýpi.

Hola B-2 var hita- og þrýstimæld 3. september 2018. Mynd 20 sýnir mældan hita í holu B-2 á 350 og 480 m dýpi frá 1979 til 2018 þar sem fram kemur greinileg kæling miðað við áætlaðan berghitaferil holunnar. Á 350 m dýpi verður ríflega 62°C kæling frá 1979 til 1988 en frá 1989 til

2016 hélst hitinn á 350 m dýpi nokkuð stöðugur. Þróun hitastigs á 480 m dýpi í holu B-2 hefur verið með öðrum hætti en á 350 m dýpi. Frá 1984 til 1995 urðu ekki miklar breytingar á hitastiginu þar en hitinn var þó 74–88°C undir metnum berghita. Frá 1995 til 2003 varð nokkuð skörp hitalækkun á 480 m dýpi úr tæpum 160°C í 125°C. Frá 2005 hefur hiti á 480 m dýpi lækkað nokkuð jafnt um 1,1°C/ár (Þorsteinn Egilson, 2017). Í eftirlitsmælingunni 2017 kom hins vegar fram mikil hitalækkun frá fyrra ári, 38°C á 350 m dýpi og 21,6°C í 480 m, sem er grundvallarbreyting. Þessi mikla breyting var rakin til þess að í apríl 2016 hófst 20–25 L/s niðurdæling á affallsvatni í holu LUD-12 við jarðböðin í Mývatnssveit (Þorsteinn Egilson o.fl., 2017). Þann 17. október 2017 var ferilefni sett í holu LUD-12. Sýni voru tekin úr holu B-2 og á sex öðrum stöðum í Mývatnssveit. Í lok árs 2017 höfðu engar endurheimtur verið á ferilefninu í holu B-2. Í september 2018 hefur hitinn í 350 m hækkað úr 54,9°C í 74,8°C sem er rúmum 107°C lægri en metinn berghiti á þessu dýpi en á 480 m dýpi hefur hitinn hækkað úr 92,5°C í 108,4°C sem er um 139°C lægra en metinn berghiti.

Mynd 21 sýnir mældan þrýsting í holu B-2 á 480 m dýpi frá 1980 til 2018. Myndin sýnir einnig mælt vatnsborð í holunni og vinnslusögu Bjarnarflags frá 1980 fram til ársins 2018. Volga (100°C) grunnvatnskerfið á 200–400 m dýpi stjórnar þrýstingi í holunni og ljóst að þrýstingurinn í því kerfi haggast lítið við vinnslu úr djúpu holunum (BJ-11, BJ-12 og BJ-13) (Þorsteinn Egilson o.fl., 2015). Hin mikla vinnsluaukning árið 2011, vegna prófana á holu BJ-14 (Trausti Hauksson, 2014), leiddi hvorki til lækkunar á þrýstingi né hita í holu B-2. Þrýstingur á 480 m dýpi lækkar um 0,2 bar milli ára og er í september 2018 1 bar ofan við metinn upphafsþrýsting. Frá ágúst 2017 til september 2018 hækkar vatnsborðið í holunni hins vegar um 1,5 m en útreikningar sýna að breyting á vatnsborði milli 2017 og 2018 svarar til hitamunarins sem er í holunni á milli ára.

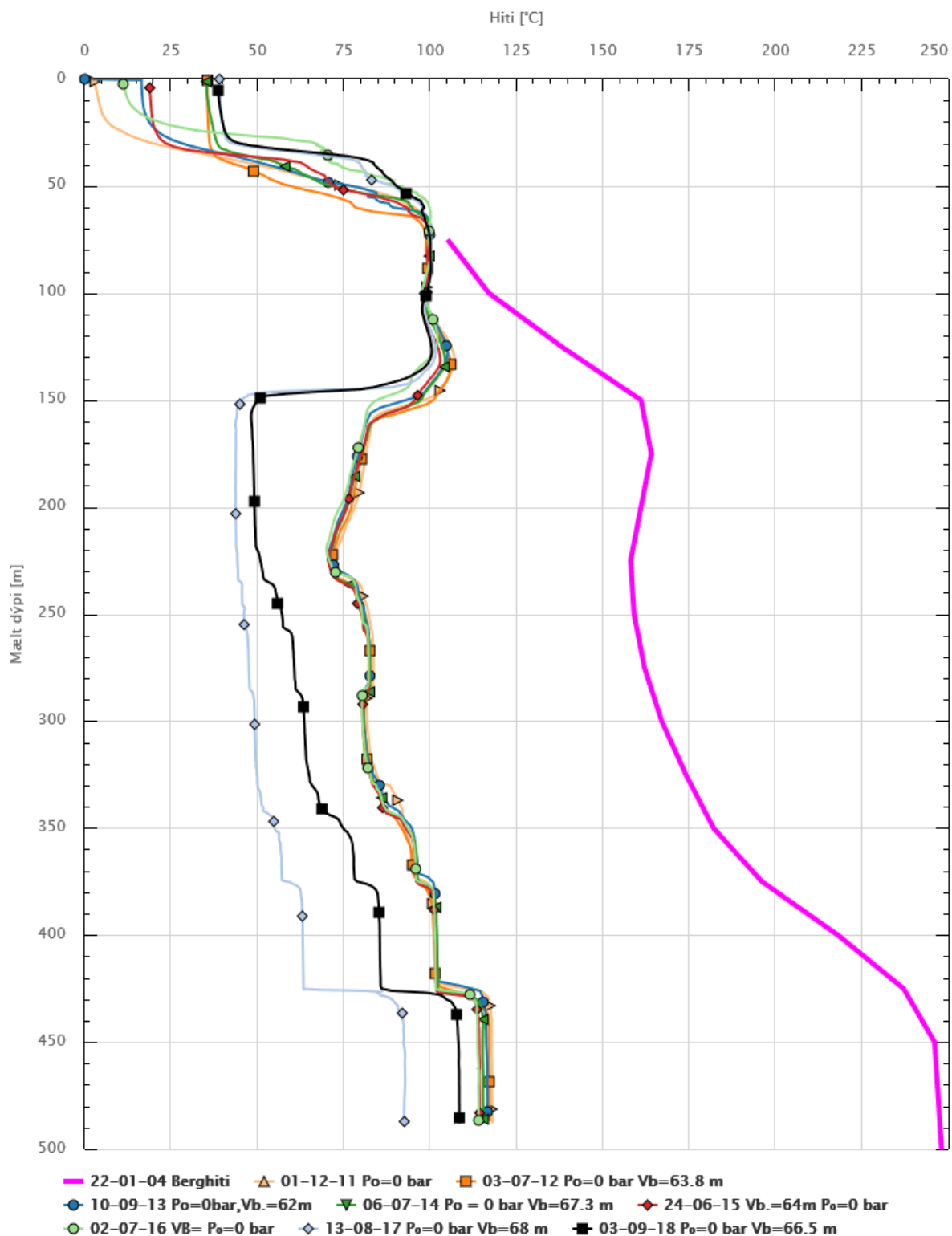
Myndir 22 og 23 sýna hita- og þrýstimælingar síðustu átta ára í holu B-2 ásamt metnum berg-hita og upphafsþrýstingi.



Mynd 20. Mældur hiti á 350 og 480 m dýpi í holu B-2 ásamt metnum berghita.



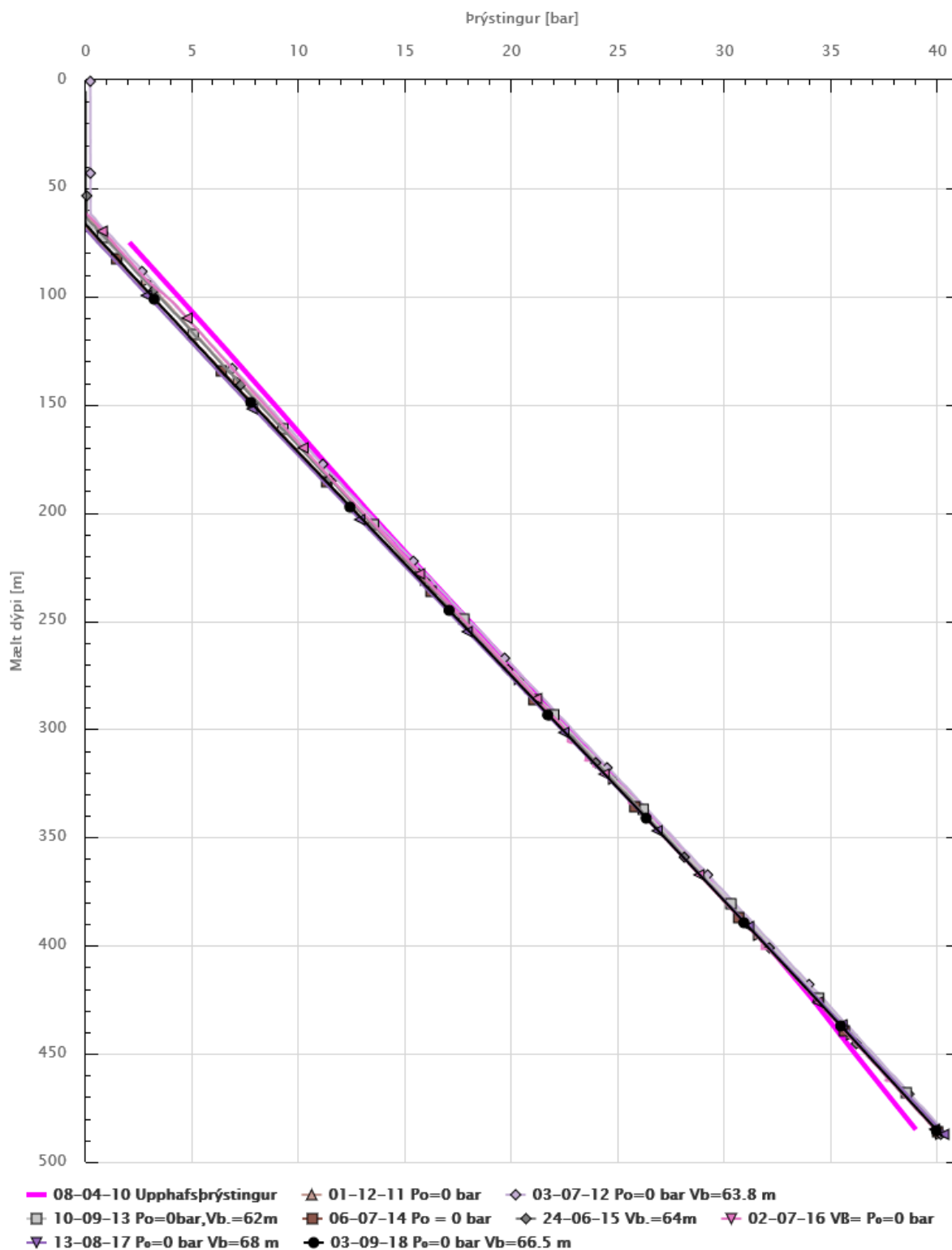
Mynd 21. Mældur þrýstingur á 480 m dýpi í holu B-2 ásamt metnum upphafsprýstingi og mældu vatnsborði. Þá sýnir myndin einnig vinnslusöguna í Bjarnarflagi fram til ársins 2018.



Mynd 22. Hitamælingar síðustu átta ára í holu B-2 ásamt metnum berghitaferli.

Bjarnarflag

Hola B-2



Mynd 23. Þrýstímælingar síðustu átta ára í holu B-2 ásamt metnum upphafsprýstingi.

4.2 Hola B-5

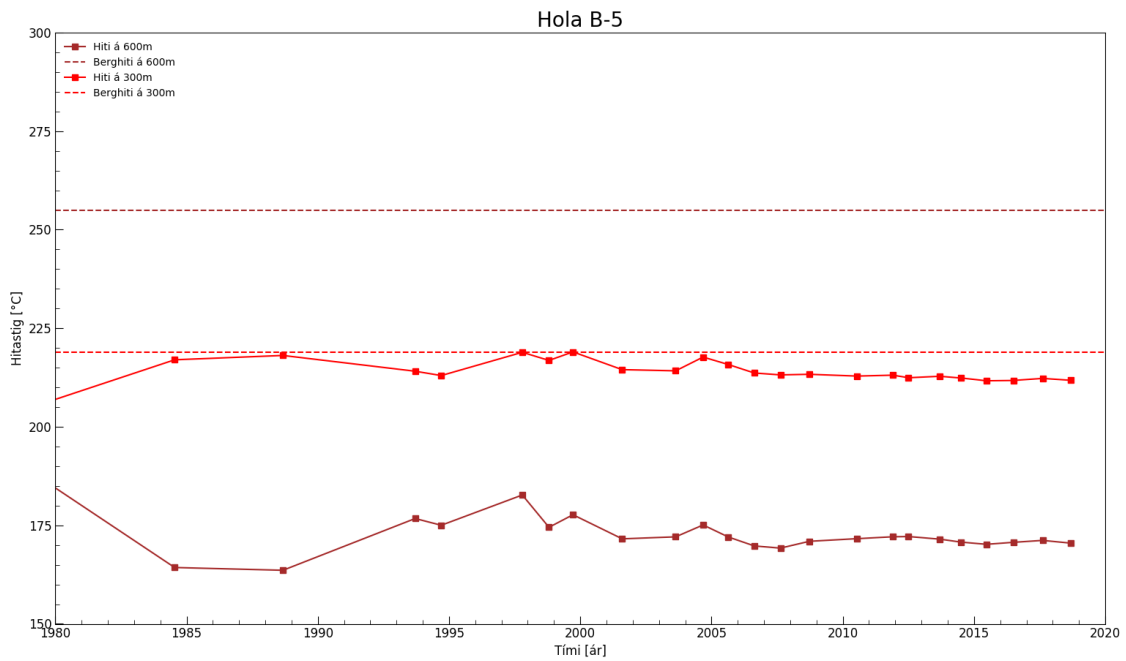
Hola B-5 í Bjarnarflagi var boruð veturinn 1968–1969 niður á 638 m dýpi. Í henni er 7" fóðring sem nær niður á 478 m dýpi en henni var komið fyrir eftir að holan hafði verið kæfð vegna þess að hún hljóp í gos (Ásgrímur Guðmundsson o.fl., 1989). Holan fór fljótlega í notkun en hún var afllítill og notkun hennar var hætt árið 1976. Frá 1984 hefur hún nýst sem reglubundin eftirlitshola.

Hola B-5 var hita- og þrýstimæld 3. september 2018. Mynd 24 sýnir mældan hita á 300 og 600 m dýpi í holunni frá 1984 til 2018 ásamt áætluðum berghita á sama dýpi. Á 300 m dýpi hefur hitinn lítið breyst í holunni en hann hefur þó mælst með lítills háttar sveiflum í gegnum tíðina. Síðan árið 2006 hefur hitinn á 300 m dýpi haldist tæpum 7°C undir metnum berghita. Greining hitamælinganna árin 2013–2016 með aðhvarfslínu leiddi í ljós 0,64°C/ár jafna kólnun (Þorsteinn Egilson, 2017) en milli 2017 og 2018 er 0,4°C hitalækkun milli ára.

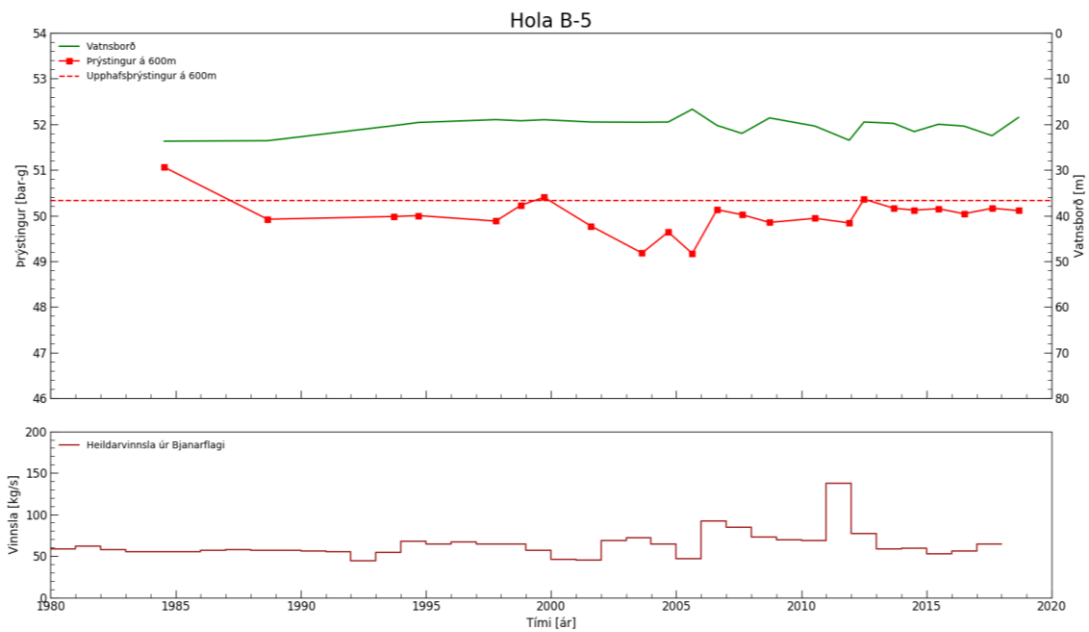
Hitinn á 600 m dýpi er um 83°C lægri en metinn berghiti við holuna en eins og sjá má á mynd 24 hefur svo verið frá 1984. Nokkrar sveiflur hafa þó verið á mældum hita á umræddu dýpi í gegnum tíðina. Frá 2007 til 2012 hækkaði hitinn á 600 m dýpi um rúmar 3°C. Líkt og með þróun hitastigs á 300 m dýpi gætti um 0,68°C/ár kólnunar frá 2012 til 2015 (Þorsteinn Egilson o.fl., 2015) en mælingin í ágúst 2017 sýnir 0,5°C hækkun frá fyrra ári og í september 2018 hefur hitinn lækkað um 0,7°C frá fyrra ári.

Mynd 25 sýnir mælt vatnsborð í holu B-5 og mældan þrýsting á 600 m dýpi frá 1984 til 2018, áætlaðan upphafsþrýsting á sama dýpi og vinnslusögu Bjarnarflags út árið 2017. Í september 2018 mældist vatnsborð í 18,5 m en í ágúst 2017 mældist það á 22,5 m dýpi. Þrýstingurinn í 600 m mælist í september 2018 um 0,2 bar lægri en metinn upphafsþrýstingur og þrýstilækkun milli ára er innan við 0,1 bar. Miðað við mældan hita í holunni (mynd 26) er óútskýrt ósamræmi milli hækkaðs vatnsborðs í holunni og lækkaðs þrýstings neðar í henni. Vinnslan úr jarðhitakerfinu í Bjarnarflagi hefur haldist stöðug síðan 2012 en holu BJ-13 var lokað 1. febrúar 2018 vegna vinnu við gufustöðina í Bjarnarflagi.

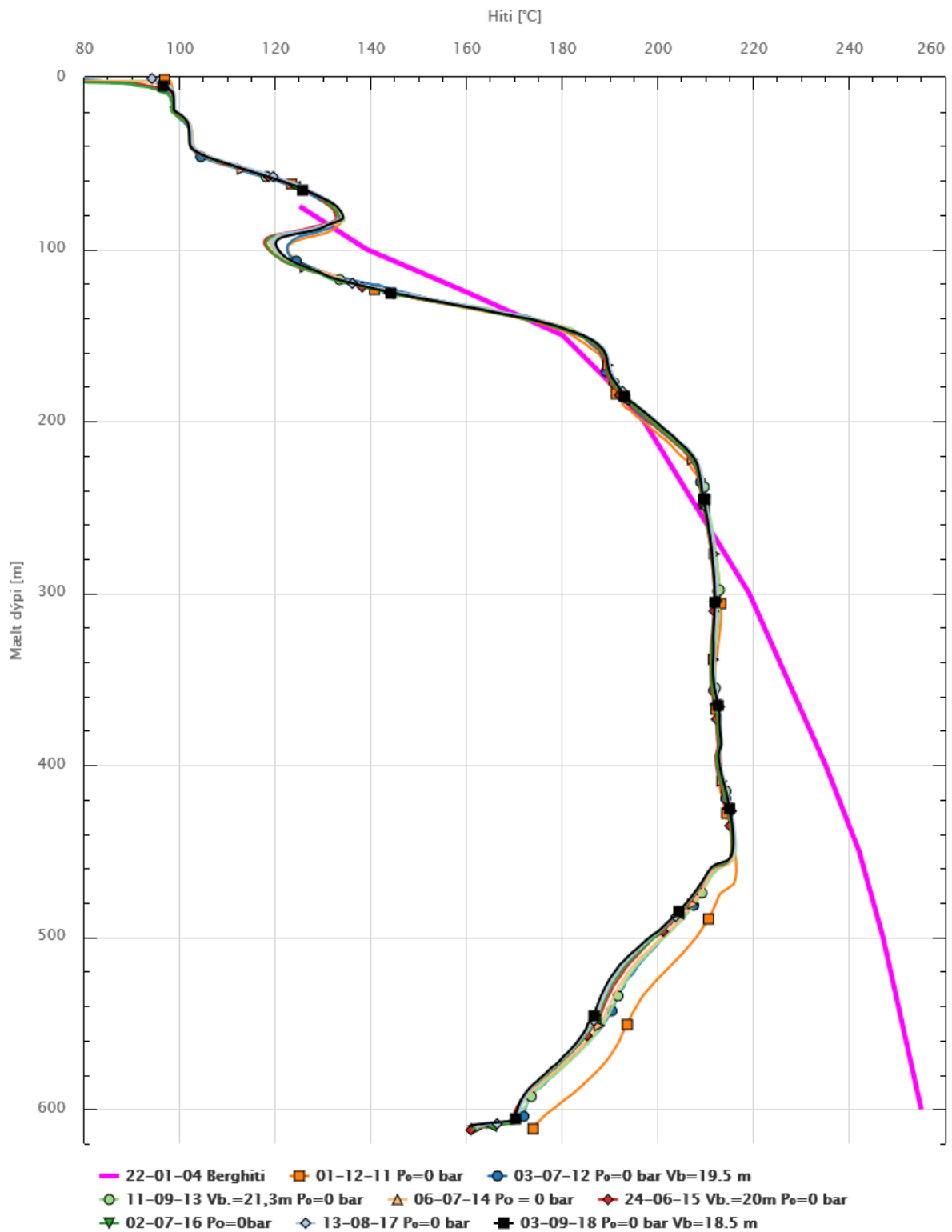
Myndir 26 og 27 sýna hita- og þrýstimælingar síðustu átta ára í holu B-5 ásamt metnum berg-hita og upphafsþrýstingi.



Mynd 24. Mældur hiti á 300 og 600 m dýpi í holu B-5 ásamt metnum berghita.



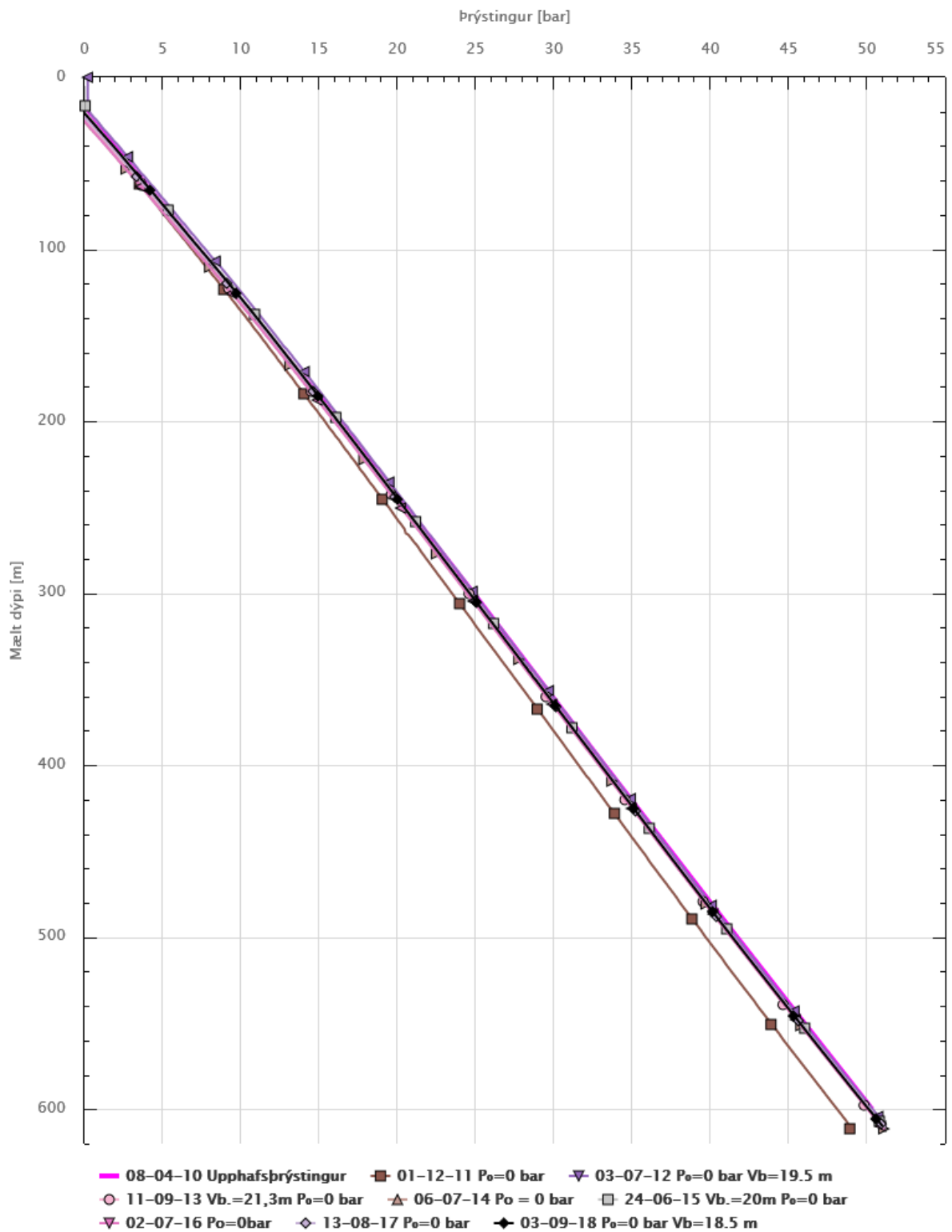
Mynd 25. Mældur þrýstingur á 600 m dýpi í holu B-5 ásamt metnum upphafsprýstingi, mældu vatnsborði og vinnslusögunni í Bjarnarflagi út árið 2017.



Mynd 26. Hitamælingar síðustu átta ára í holu B-5 ásamt metnum berghitaferli.

Bjarnarflag

Hola B-5



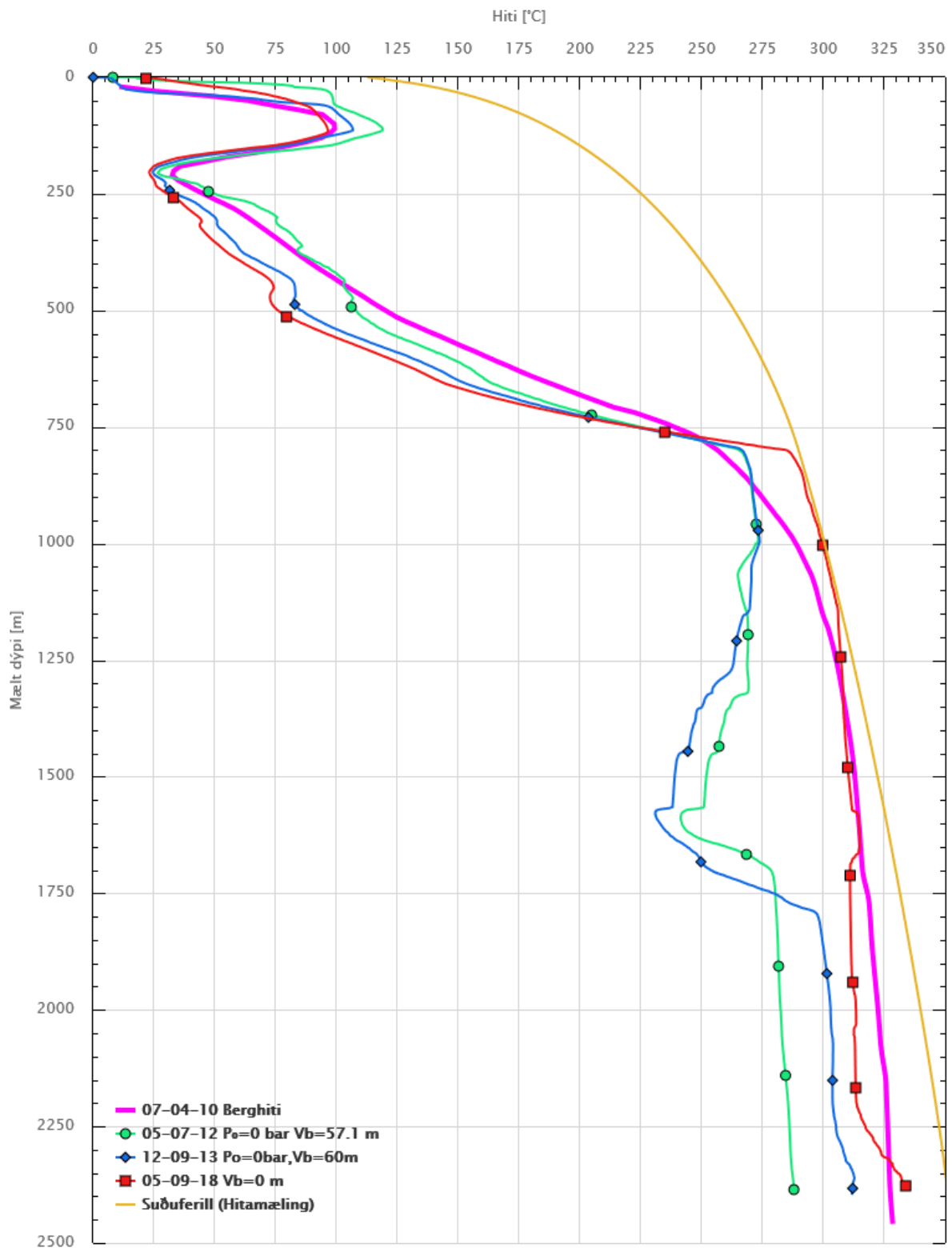
Mynd 27. Þrýstimælingar síðustu átta ára í holu B-5 ásamt metnum upphafsprýstingi.

4.3 Hola BJ-14

Lokið var við borun holu B-14 í lok apríl 2008 og var hún í upphitun fram í miðjan júní. Henni var þá hleypt í blástur og látin blása fram í miðjan júlí. Frá miðjum desember 2008 fram í miðjan mars 2009 var B-14 í blæstri vegna álagsprófs á jarðhitakerfinu í Námafjalli. Í febrúar 2011 var holunni aftur hleypt í blástur og var hún í blæstri þar til henni var lokað þann 8. mars 2012.

Hola BJ-14 var mæld 5. september 2018 en þar áður var hún mæld 12. september 2013 en holan hefur ekki verið í vinnslu undanfarin ár. Mynd 28 sýnir hitamælinguna ásamt berghitaferli, suðumarkshitaferli og hitamælingum frá 2012 og 2013. Frá 800 m dýpi niður í 1150 m er hitinn við suðumark miðað við þrýstinginn sem mælist. Ofan við 800 m dýpi er hitinn langt undir suðumarki og neðan við 1150 m lækkar hitinn undir suðumark vegna vökva sem seytlar inn í holuna úr æðum þar fyrir neðan. Þetta kom einnig fram í mælingum sem gerðar voru eftir álagspróf á jarðhitakerfinu í Námafjalli (Sigríður Sif Gylfadóttir, 2012).

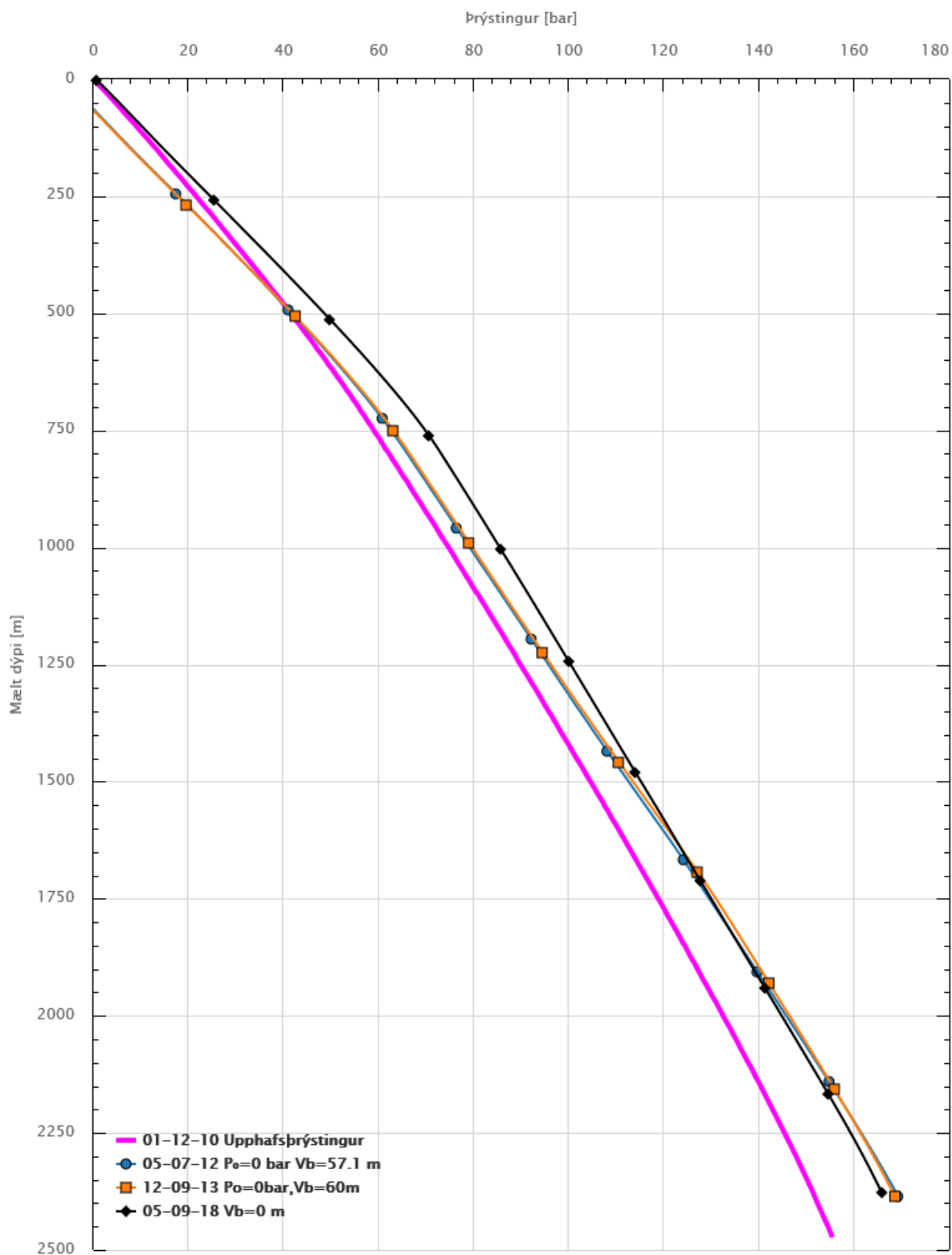
Mynd 29 sýnir þrýstimælinguna ásamt metnum upphafsþrýstingi og þrýstimælingum frá 2012 og 2013.



Mynd 28. Hitamælingin í holu BJ-14 í september 2018 ásamt berghitaferli, suðumarkshitaferli og mælingum frá 2012 og 2013.

Bjarnarflag

Hola BJ-14



Mynd 29. Prýstimælingin í holu BJ-14 í september 2018 ásamt upphafsprýstingi og mælingum frá 2012 og 2013.

5 Helstu niðurstöður

- Árlegar eftirlitsmælingar voru gerðar í Kröflu og Bjarnarflagi í byrjun september 2018.
- Mældar voru holur KG-10, KJ-11, KJ-18 og KJ-21 í Kröflu og holur B-2 og B-5 í Bjarnarflagi. Auk þess var mælt í holum KJ-35 og KJ-26 í Kröflu og holu BJ-14 í Bjarnarflagi.
- Hitinn á 800 m dýpi í holu KG-10 heldur áfram að lækka í samræmi við þróun síðustu áratuga og mælist í september 2018 um 17,9°C lægri en metinn berghiti.
- Þrýstingur á 800 m dýpi í holu KG-10 hækkaði um 1,1 bar frá 2017 til 2018.
- Sumarið 2018 var þrýstingur á 800 m dýpi í holu KG-10 1,5 bar lægri en metinn upphafsþrýstingur.
- Auka þarf skráningu á vatnsborði í holu KG-10. Ef ekki finnst til þess sjálfvirk tækni þarf að mæla það handvirkt tvisvar í mánuði.
- Vegna niðurdælingar í holu KJ-11 á árunum 2003–2005 og síðan 2009–2010 er að svo stöddu ekki unnt að segja til um hversu mikil áhrif niðurdælingin í KG-26 hefur á hita og þrýsting í henni en kæling á um 1320 m dýpi bendir til áhrifa frá KG-26.
- Fyrir framhald KJ-11 sem eftirlitsholu er mikilvægt að vatnsborð hennar verði mælt með síríta eða mælt mánaðarlega með handmæli í eitt ár og eftir það verði mælitíðni endurákvörðuð.
- Á árinu 2014 fóru fram umfangsmiklar mælingar í Kröflu á vegum Evrópuverkefnisins IMAGE sem m.a. fólu í sér ádælingu í holu KJ-18 sem truflaði ástand hennar frá því sem verið hefur í eftirlitmælingum undanfarinna ára. Þessarar truflunar gætir ennþá.
- Hitinn í 1000 m í holu KJ-18 hefur lækkað um 2,6°C milli ára.
- Mældur hiti í 2000 m í holu KJ-18 er 4,1°C hærri í september 2018 en hann var í ágúst 2017 og samsvarandi hitahækkun á 2180 m dýpi er 5,1°C.
- Frá 2011 til 2014 var jöfn hitahækkun í 2000 m um 1,7°C/ár en í 2180 m var hitahækkunin ~2°C/ár.
- Áður en niðurdælingin var gerð 2014 var kólnun á 2000 m dýpi 92,7°C og á 2180 m dýpi var kólnunin metin 106°C. Miðað við þá þróun eru áhrif kælingarinnar að verða hverfandi.
- Þrýstingurinn í holu KJ-18 mælist 1,2 bar hærri á 1000 m dýpi sumarið 2018 en hann mældist í ágúst 2017. Tilsvarandi þrýstihækkun á 2000 m dýpi er 0,4 bar og vatnsborðið mældist 7 m ofar 2018 en árið áður.
- Þrýstingurinn í KJ-18 mældist í september 2018 vera 10,4 bar lægri en metinn upphafsþrýstingur á 1000 m dýpi og á 2000 m dýpi mældist tilsvarandi þrýstimunur 3,1 bar.
- Enn er lagt til að við næstu eftirlitsmælingar í holu KJ-18 verði notaður sambyggður hita-, þrýsti- og rennslismælir (Kuster K-10/PTS) til að meta og áætla niðurrennslið í holunni.
- Hiti í 930 m í holu KJ-21 hefur farið lækkandi og er jafnaðarmat kólnunar um 0,7°C/ár.
- Þrýstingur í 930 m í holu KJ-21 fer hækkandi á sama tíma og toppþrýstingur lækkar.
- Frá 2007 til 2016 minnkaði vinnslan úr holu KJ-21 nokkuð jafnt úr 55 kg/s í 34 kg/s en vinnslan árið 2017 var einungis 15 kg/s.

- Frá 2007 til 2017 hefur verið jöfn vermislækkun í holu KJ-21, um 31 kJ/kg/ár.
- Hiti í 350 m í holu B-2 hefur hækkað um tæpar 20°C milli ára 2017 og 2018 þrátt fyrir að enn renni affallsvatn Jarðbaðanna í holu LUD-12.
- Hitinn á 480 m dýpi í holu B-2 hefur hækkað um tæpar 16°C milli ára og á stutt eftir í að falla inn á þá hitaþróun sem sést síðan 2005.
- Um 0,2 bar þrýstilækkun á 480 m dýpi kemur fram milli ára í holu B-2.
- Þrýstingur á 480 m dýpi í holu B-2 mælist í september 2018 0,9 bar hærrí en metinn upphafsþrýstingur en á 350 m dýpi er þessi munur um 0,2 bar.
- Volga (100°C) grunnvatnskerfið á 200–400 m dýpi stjórnar þrýstingi í holu B-2 þ.a. þrýstingurinn í því kerfi haggast lítið við vinnslu úr djúpu vinnsluholunum.
- Eftirlitsholan B-5 í Bjarnarflagi sýnir 0,4°C hitalækkun síðasta árið á 300 m dýpi og liggur hitinn þar um 7°C lægra en áætlaður berghiti. Á 600 m dýpi er hitinn 2018 hins vegar um 85°C lægri en metinn berghiti.
- Mælingarnar 2018 sýna að þrýstingurinn í holu B-5 er nánast jafn metnum upphafsþrýstingi á bæði 300 og 600 m dýpi og ekki er um markverða breytingu að ræða frá 2017.
- Hóla BJ-14 í Bjarnarflagi var mæld í fyrsta skipti í fimm ár. Hún er verulega kæld ofan 800 m og neðan við 1150 m seytla úr æðum og heldur hita í holunni neðan suðumarks.

6 Heimildir

- Arnar Hjartarson (2006). *Eftirlitsmælingar í Kröflu og Bjarnarflagi frá 1996 til 2005*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2006/020, Landsvirkjun, LV-2006/077, 52 bls.
- Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt Steingrímsson, Dagbjartur Sigursteinsson, Guðjón Guðmundsson, Halldór Ármannsson, Hilmar Sigvaldason, Jón Benjamínsson og Sigurður Benediktsson (1984). *Krafla, hola KJ-21. Viðgerð vorið 1984*. Orkustofnun, OS-84070/JHD-24 B, 46 bls.
- Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt Steingrímsson, Gísli Karel Halldórsson, Guðjón Guðmundsson og Valgarður Stefánsson (1981). *Krafla, hola KJ-18. Borun vinnsluhluta og borlok*. Orkustofnun, greinargerð ÁG-BS-GKH-GjG-VS-81/05, 17 bls.
- Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt Steingrímsson, Sæþór L. Jónsson og Sverrir Þórhallsson (1989). *Borholur í Bjarnarflagi*. Orkustofnun, OS-89046/JHD-21B, 93 bls.
- Benedikt Steingrímsson og Grímur Björnsson (1995). *Borholumælingar í Kröflu og Bjarnarflagi árið 1994*. Orkustofnun, OS-95024/JHD-17, 62 bls.
- Friðgeir Pétursson (2011). *Aðkoma ÍSOR að blossaörvun í holu KJ-21 í Kröflu þann 1. júní 2011*. Íslenskar orkurannsóknir, minnisblað 3/6/2011, 7 bls.
- Gylfi Páll Hersir (2013). *IMAGE: Integrated methods for advanced geothermal exploration. Exploration and assessment of geothermal reservoir.*
http://www.isor.is/sites/isor.is/files/704/image-isor-georg_presentation.pdf
- Hrefna Kristmannsdóttir, Ásgrímur Guðmundsson og Margrét Kjartansdóttir (1977). *Krafla. Hola KJ-11. Borun, vatnsæðar, jarðlög og ummyndun*. Orkustofnun, OD-JHD-77/08, 23 bls.
- Hörður Tryggvason og Halldór Ingólfsson (2012). *Krafla. Lóðanir og mælingar í vinnsluholum í september og október 2012*. Íslenskar orkurannsóknir, greinargerð ÍSOR-12069, 11 bls.
- Kristján Sæmundsson (1969). *Boranir við Námafjall 1963-1968*. Orkustofnun, OS/JHD, júní 1969, 61 bls.
- Sigríður Sif Gylfadóttir (2012). *Hita- og þrýstingsmælingar í Bjarnarflagi í júlí 2012*. Íslenskar orkurannsóknir, greinargerð, ÍSOR-12066, 15 bls.
- Trausti Hauksson (2014). *Krafla og Bjarnarflag. Afköst borhola og efnainnihald vatns og gufu í borholum og vinnslurás árið 2013*. Landsvirkjun, LV-2014-064, 75 bls.
- Trausti Hauksson (2017). *Krafla og Bjarnarflag. Afköst borholna og efnainnihald vatns og gufu í borholum og vinnslurás árið 2016*. Landsvirkjun, LV-2017-051, 78 bls.
- Valgarður Stefánsson, Karl Ragnars og Kristján Sæmundsson (1977). *Gufuöflun fyrir Kröfluvirkjun 1977*. Orkustofnun, OS-JHD-7707, 17 bls.
- Þorsteinn Egilson (2010). *Eftirlitsmælingar í Kröflu og Bjarnarflagi árin 2006–2009*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2010/029, Landsvirkjun, LV-2010/078, 51 bls.
- Þorsteinn Egilson (2017). *Eftirlitsmælingar í Kröflu og Bjarnarflagi árið 2016*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2017/003, Landsvirkjun, LV-2017-006, 38 bls.
- Þorsteinn Egilson og Benedikt Steingrímsson (2014). *Hita-, þrýsti- og rennslismælingar í holu KJ-21 í Kröflu í október 2014*. Íslenskar orkurannsóknir, greinargerð, ÍSOR-14082, 36 bls.

- Þorsteinn Egilson, Hörður H. Tryggvason, Halldór Ingólfsson og Halldór Ö. Stefánsson (2017). *Eftirlitsmælingar í Kröflu og Bjarnarflagi 2017*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2017/084, Landsvirkjun, LV-2017-118, 44 bls.
- Þorsteinn Egilson, Hörður Tryggvason og Bjarni Kristinsson (2013). *Eftirlitsmælingar í Kröflu og Bjarnarflagi 2013*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2013/059, Landsvirkjun, LV-2013/129, 40 bls.
- Þorsteinn Egilson, Hörður Tryggvason og Björn Már Sveinbjörnsson (2015). *Eftirlitsmælingar í Kröflu og Bjarnarflagi 2015*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2015/071, Landsvirkjun, LV-2015/132, 45 bls.
- Þorsteinn Egilson, Hörður Tryggvason, Halldór Ingólfsson og Halldór Örvar Stefánsson (2014). *Eftirlitsmælingar í Kröflu og Bjarnarflagi 2014*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/055, Landsvirkjun, LV-2014/128, 42 bls.

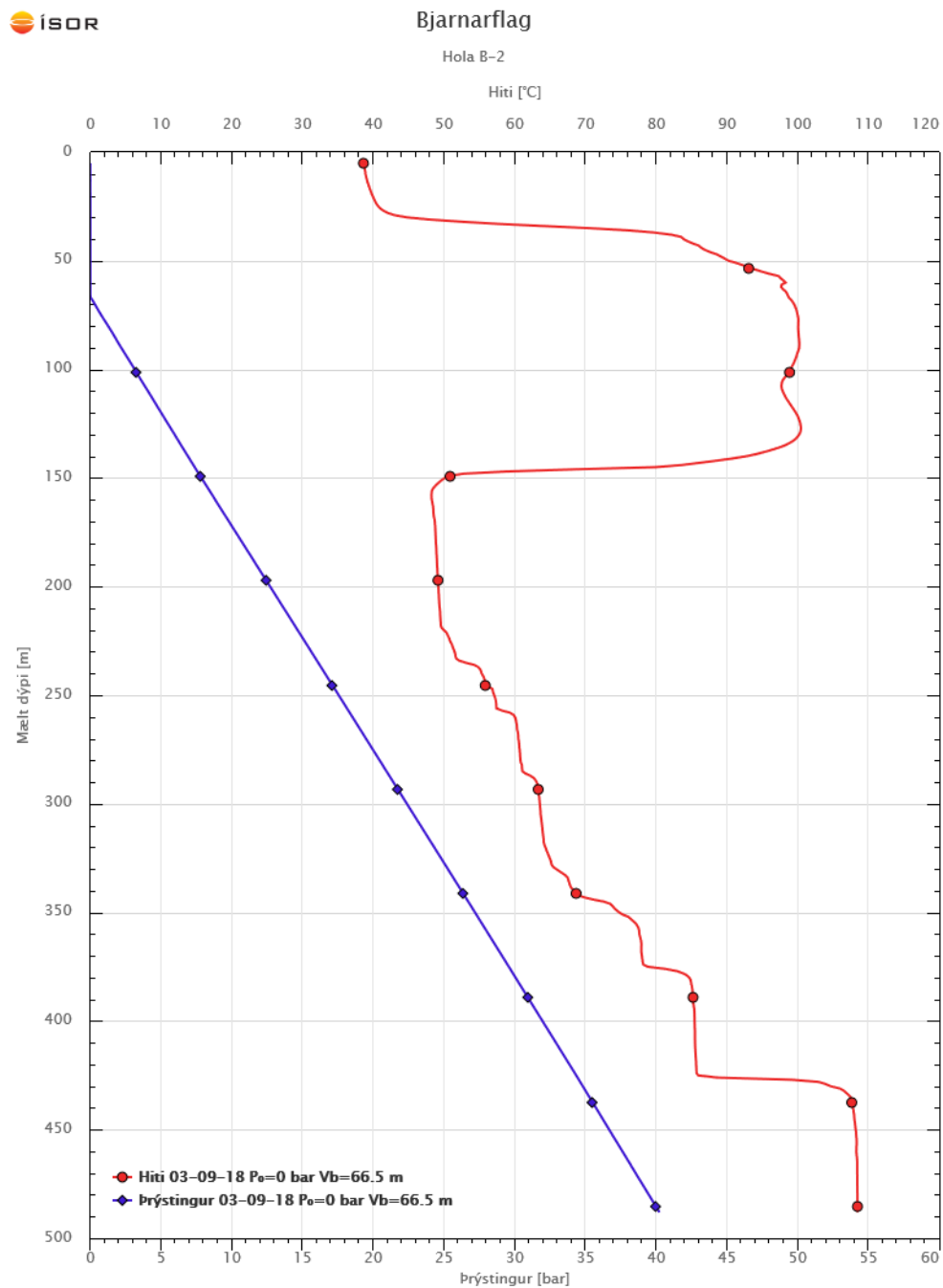
Viðauki: Mælingar í Bjarnarflagi í september 2018

Eftirlitsmælingar í Kröflu og Bjarnarflagi í september 2018

Dagana 3.–6. sept. 2018 fóru fram árlegar eftirlitsmælingar í Kröflu og Bjarnarflagi. Í Kröflu eru það holur KG-10, KJ-11, KJ-18 og KG-21 en í Bjarnarflagi eru það holur B-2 og B-5. Að auki var hola KJ-16 lóðuð, hola KG-26 vatnsborðsmæld og í Bjarnarflagi var hola BJ-14 hita- og þrýstímæld.

Hola B-2, Bjarnarflagi

Holan var hita- og þrýstímæld 3.9.2018.



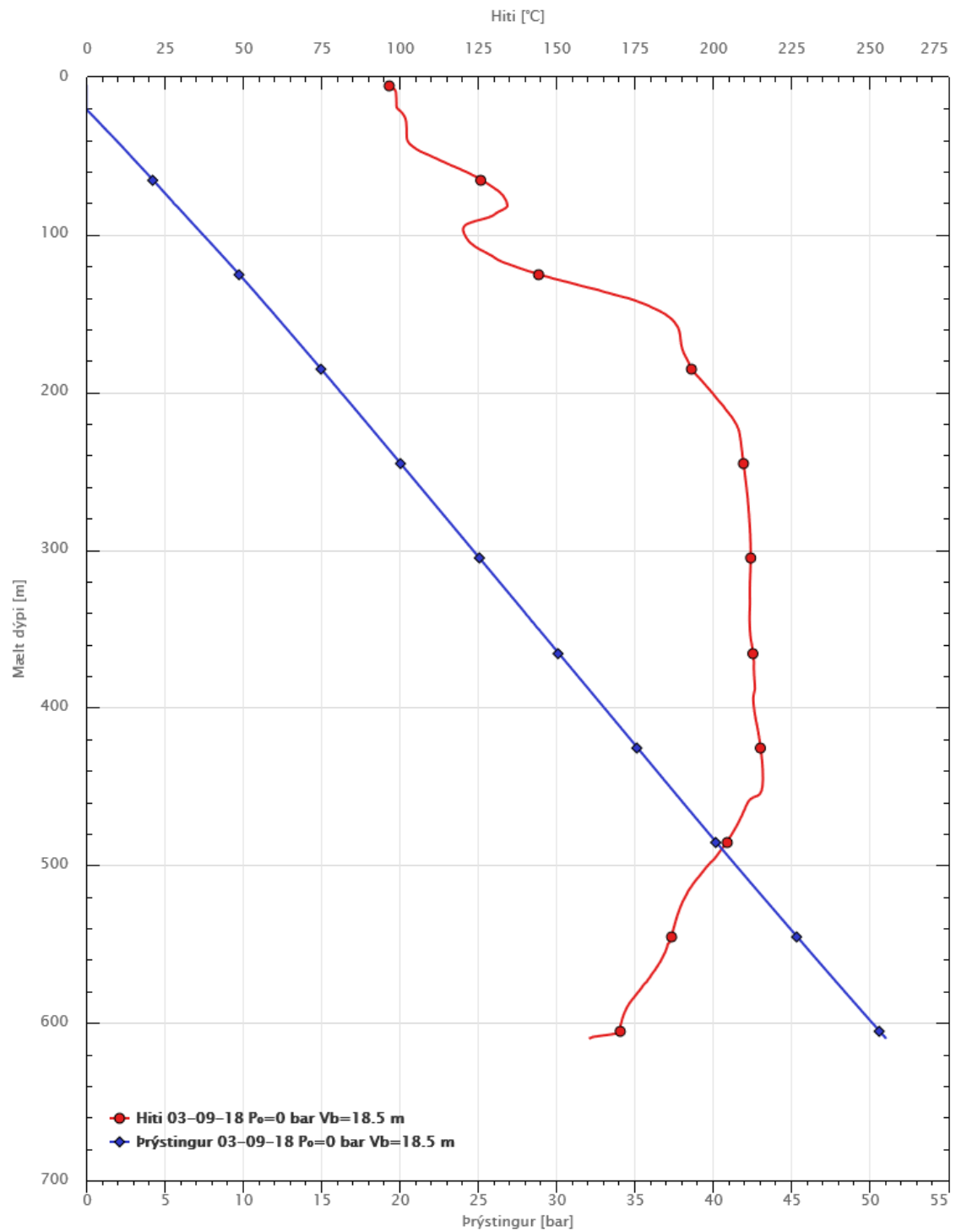
Hola B-5, Bjarnarflagi

Holan var hita- og þrýstimæld 3.9.2018.



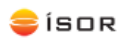
Bjarnarflag

Hola B-5



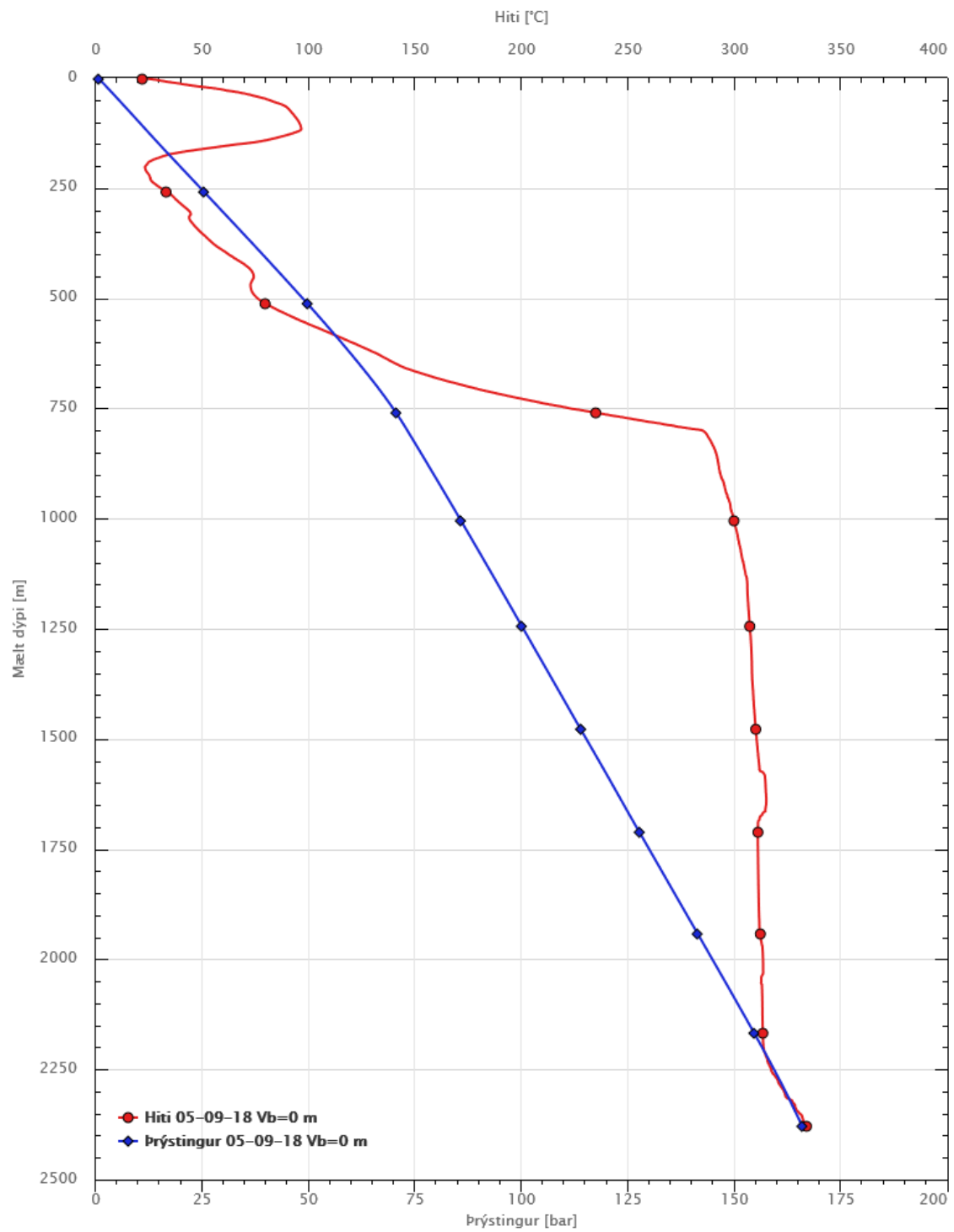
Hola BJ-14, Bjarnarflagi

Holan var hita- og þrýstimæld 5.9.2018.



Bjarnarflag

Hola BJ-14



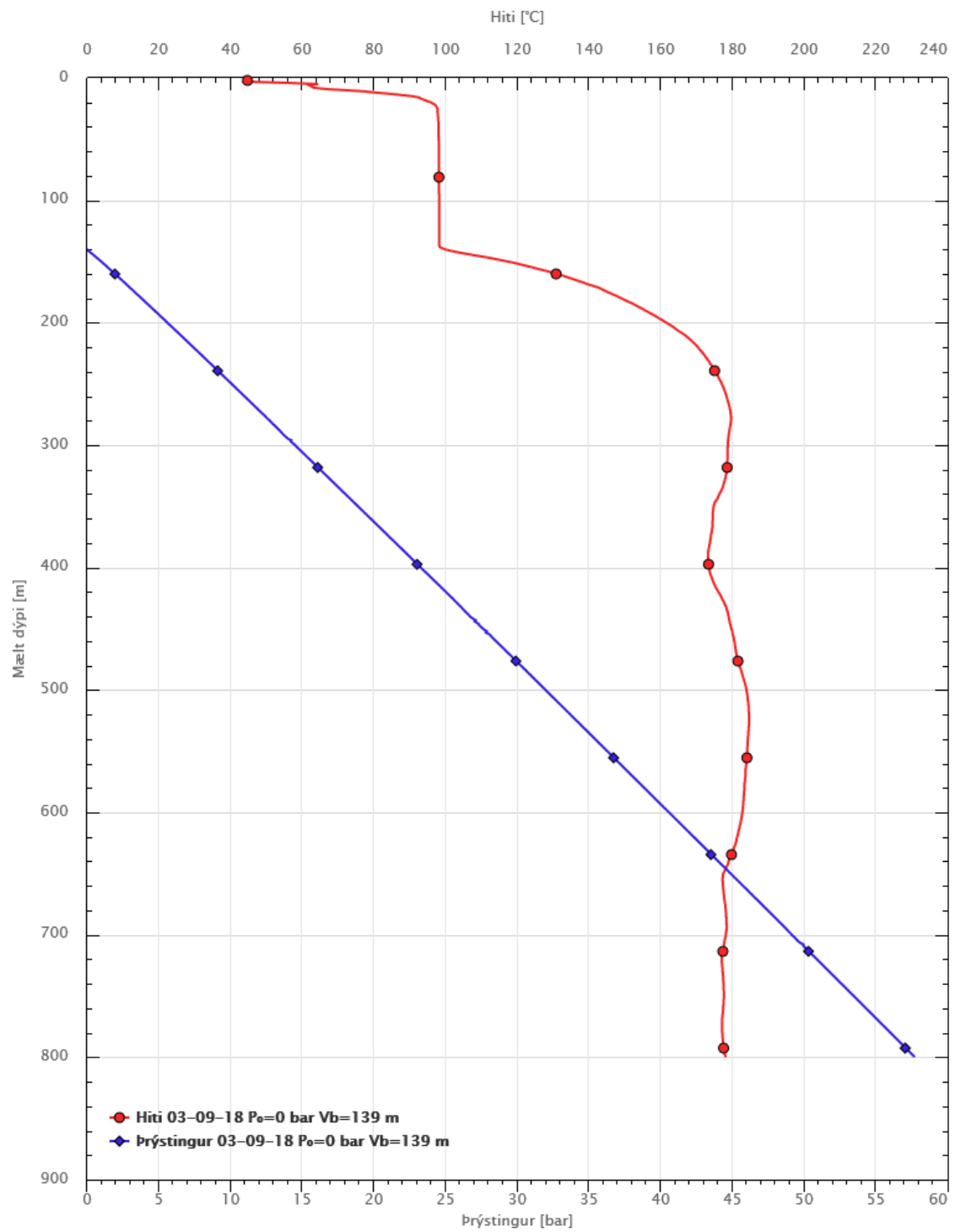
Hola KG-10, Kröflu

Holan var mæld 3.9.2018.



Krafla

Hola KG-10



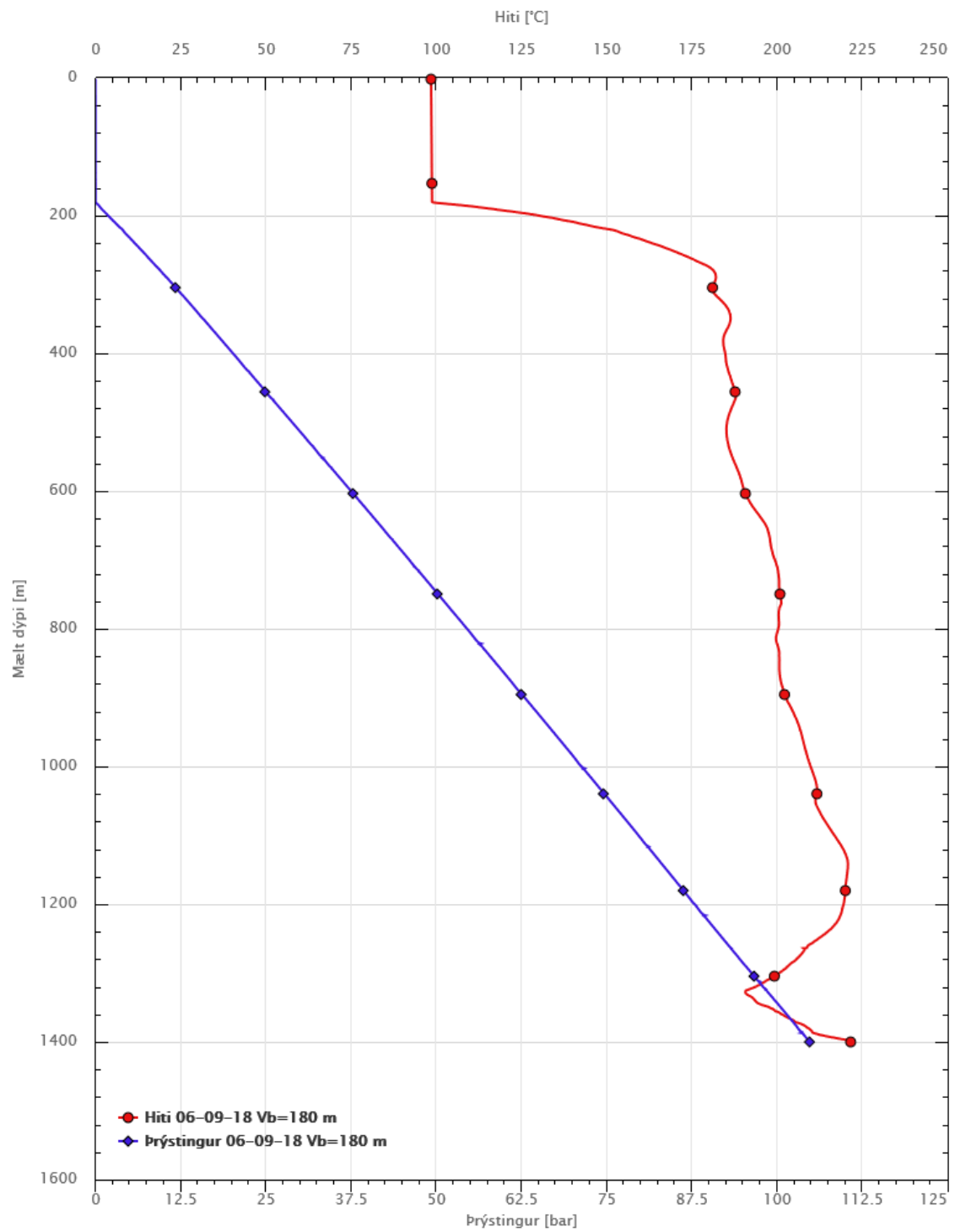
Hola KJ-11, Kröflu

Holan var mæld 6.9.2018.



Krafla

Hola KJ-11



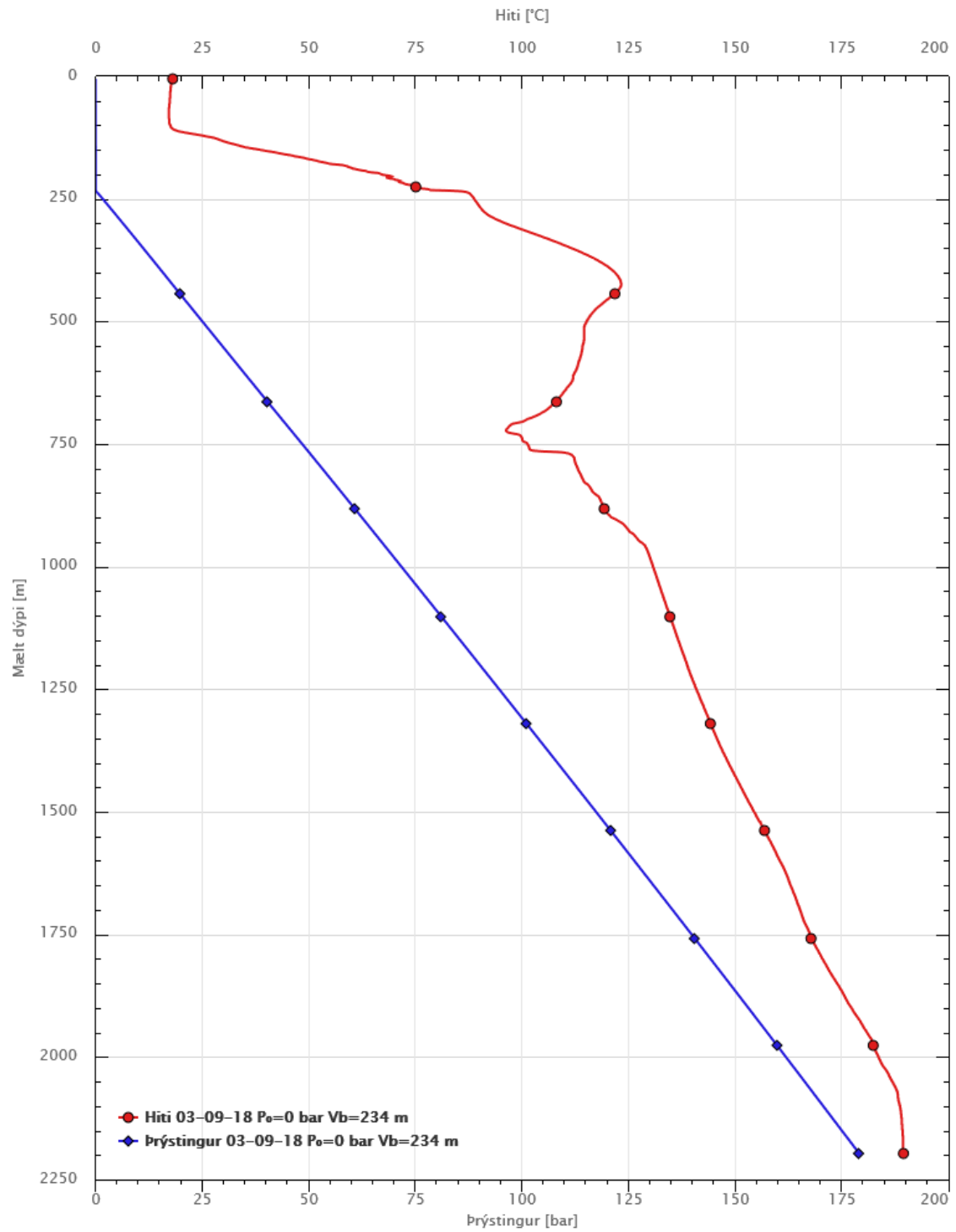
Hola KJ-18, Kröflu

Holan var mæld 3.9.2018.



Krafla

Hola KJ-18



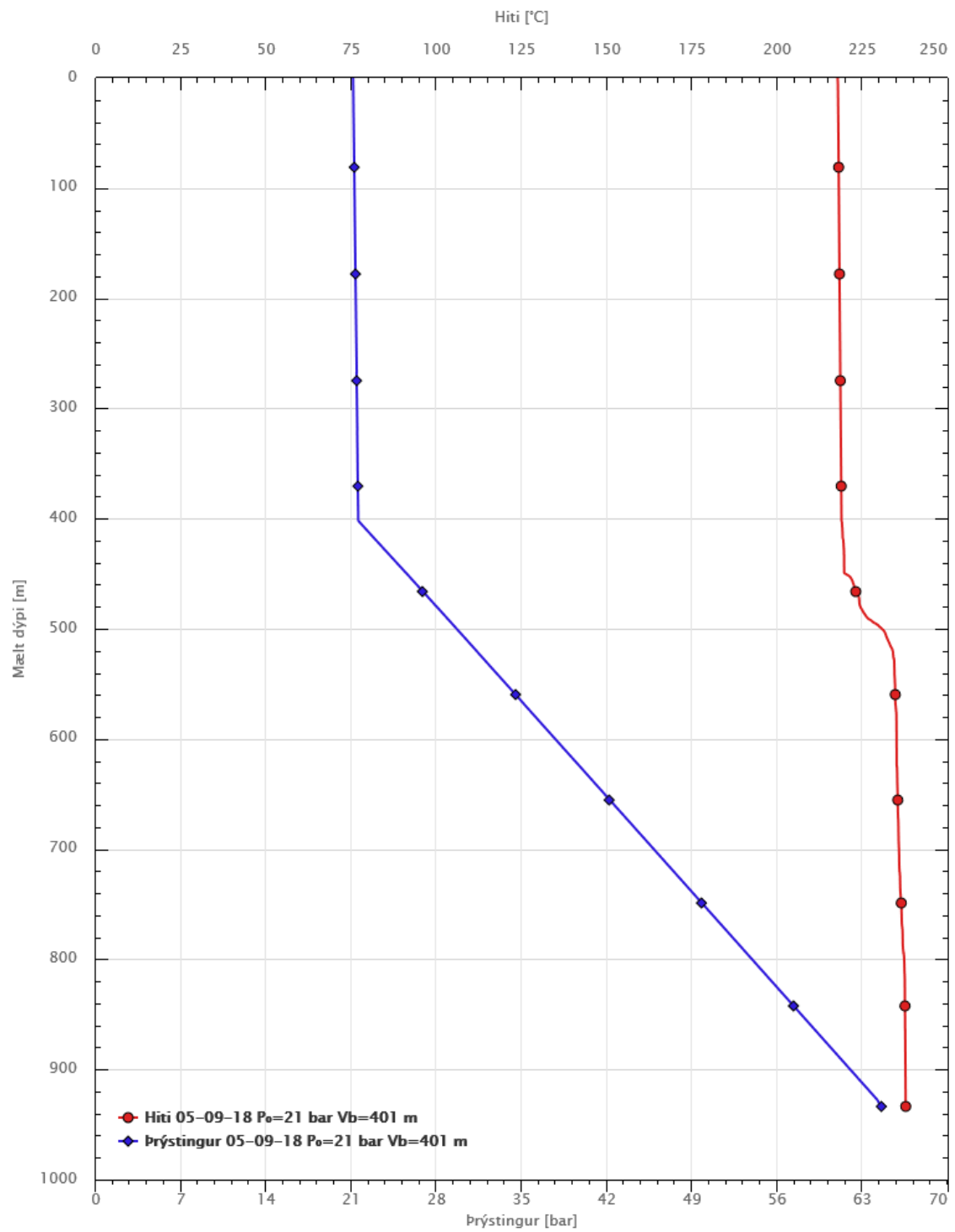
Hola KJ-21, Kröflu

Holan var mæld 5.9.2018.



Krafla

Hola KG-21

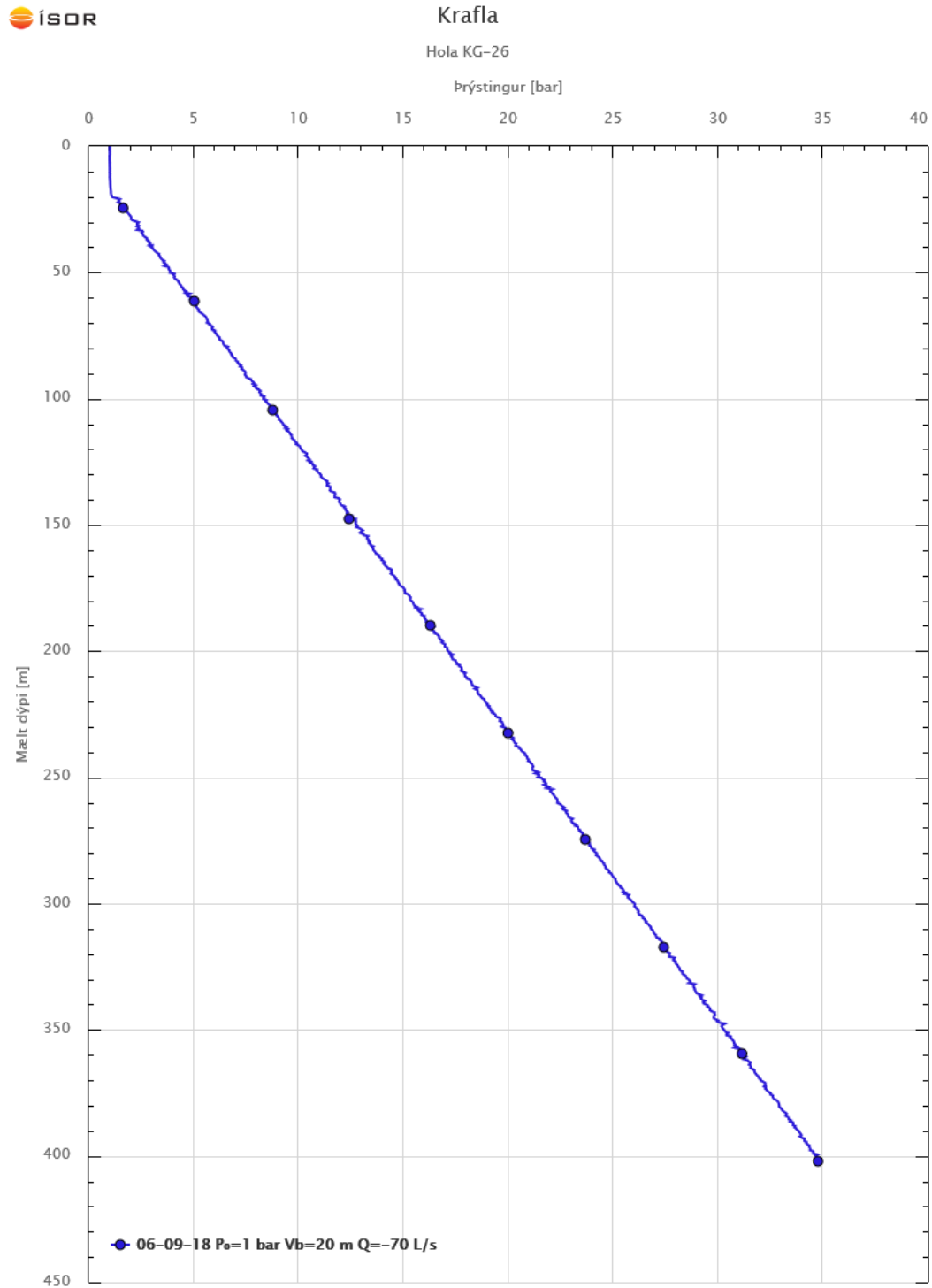


Hola KJ-16, Kröflu

Holan var lóðuð 6.9.2018 niður á 2074 m dýpi.

Hola KJ-26, Kröflu

Holan var vatnsborðsmæld 6.9.2018 niður á 20 m dýpi.





Landsvirkjun

Háaleitisbraut 68
103 Reykjavík
landsvirkjun.is

landsvirkjun@lv.is
Sími: 515 90 00

