



Landsvirkjun

LV-2020-037

Eftirlitsmælingar í Kröflu, Bjarnarflagi og á Þeistareykjum árið 2020

Eftirlitsmælingar í Kröflu, Bjarnarflagi og á Þeistareykjum árið 2020



ÍSOR-2020/038

Verknr. 20-0080

Október 2020

Lykilsíða



Skýrsla LV nr.: LV-2020-037

Dags: Október 2020

Fjöldi síðna: 53

Upplag: 1

Dreifing:

- ☒ Birt á vef LV
☒ Opin
☐ Takmörkuð til

Titill: Eftirlitsmælingar í Kröflu, Bjarnarflagi og á Þeistareykjum árið 2020.

Höfundar/fyrirtæki: Þorsteinn Egilson

Verkefnisstjóri: Anette K. Mortensen f.h. LV Steinþór Níelsson f.h. ÍSOR

Unnið fyrir: Unnið af Íslenskum orkurannsóknum fyrir Landsvirkjun

Samvinnuaðilar:

Útdráttur: Eftirlitsmælingar árið 2020 á jarðhitasvæðum Landsvirkjunar í Kröflu, Bjarnarflagi og á Þeistareykjum voru gerðar í júní. Hiti í 800 m í holu KG-10 lækkar um 0,1°C milli ára sem er minna en kerfisbundin hitalækkun hefur verið frá 1977. Þrýstingur þar hækkaði um 0,1 bar milli ára og er nú um 0,3 bar undir upphafsþrýstingi. Vírhankir ofan við leiðara í holu KJ-33 komu í veg fyrir mælingar. Innan við 0,1 bar þrýstilækkun á 600 m dýpi mældist frá 2018 til 2020 í holu B-5, er 0,3 bar undir metnum upphafsþrýstingi. Hiti á 300 m dýpi í holu B-5 breytist lítið frá mælingu 2018 en á 600 m dýpi í hol-unni lækkaði hiti um 2,8°C á sama tímabili. Hiti á 1300 m í ÞG-1 breytist ekki milli ára en á 1800 m sést kerfisbundin hitalækkun. Þrýstingur á 1300 m í ÞG-1 er stöðugur. Hvorki sjást merki um hita- né þrýstibreytingar á 1700 m dýpi í holu ÞG-15. Hiti á 1850 m í ÞG-18 helzt stöðugur en þá breytingu sem verður á þrýstingi má tengja við 3ja mánaða vinnslukafla undir lok árs 2019. Vatnsborðsbreytingar á Þeistareykjum sýna enn sem komið er ekki áhrif vinnslu úr kerfinu en holur ÞR-7, ÞG-2 og ÞG-8 er næmar fyrir ádælingu og breytingum á henni.

Lykilorð:

Krafla, Bjarnarflag, Þeistareykir, jarðhitakerfi, borholur, eftirlitsmælingar, hitamælingar, þrýstimælingar, vatnsborð, niðurdráttur, niðurdæling, kólnun, KG-10, KJ-33, ÞG-1, ÞG-15, ÞG-18, B-5, B58010, B58033, B58305, B60415, B60418, Landsvirkjun, ÍSOR

Samþykki verkefnisstjóra
Landsvirkjunar

Anette K. Mortensen

Undirskrift verkefnisstjóra

Steinþór Níelsson

Yfirfarið

Helga Tulinius

Efnisyfirlit

1	Inngangur	8
2	Eftirlitsmælingar í Kröflu	9
2.1	Hola KG-10	11
2.2	Hola KJ-33	15
3	Eftirlitsmælingar í Bjarnarflagi	16
3.1	Hola B-5	16
4	Eftirlitsmælingar á Peistareykjum	21
4.1	Hola PG-1	22
4.2	Hola PG-15	26
4.3	Hola PG-18	30
4.4	Vatnsborð, vinnsla og niðurdæling	34
5	Samantekt	41
6	Heimildir	43
	Viðauki: Minnisblöð mælingamanna	45

Töflur

Tafla 1.	Yfirlit um hita- og þrýstimælingar í Kröflu- og Bjarnarflagsholum 2012–2020.	10
Tafla 2.	Yfirlit um hita- og þrýstimælingar í Peistareykjaholum 2018–2020.	22

Myndir

Mynd 1.	Yfirlit um holustaðsetningu og holuferla stefnuboraðra holna í Kröflu.	9
Mynd 2.	Saga hita á 800 m dýpi í holu KG-10 þar sem kerfisbundinnar kælingar gætir. Grænmerktu mælipunktarnir eru undanskildir í mati á þessari kólnun vegna áhrifa frá vinnslu, fyrst úr holunni sjálfri og síðar vegna vinnslu úr holu KG-24.	12
Mynd 3.	Þrýstingur á 800 m dýpi og vatnsborð í holu KG-10 ásamt vinnslusögu Leirbotna fram á mitt ár 2020.	12
Mynd 4.	Hitamælingar síðustu sjö 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.	13
Mynd 5.	Þrýstimælingar síðustu sjö ára í holu KG-10 ásamt metnum upphafsþrýstingi 2010.	14
Mynd 6.	Yfirlitsmynd af staðsetningu og ferlum stefnuboraðra holna í Bjarnarflagi.	16
Mynd 7.	Saga hita á 300 og 600 m dýpi í holu B-5 ásamt metnum berghita á tilsvarendi dýpi. Á 600 m dýpi mælist 2,8°C hitalækkun á tveggja ára tímabili. Jafnaðarlækkun hita á 600 m dýpi frá 2017 er 1,26°C/ár.	17
Mynd 8.	Þrýstingur á 600 m dýpi og vatnsborð í holu B-5 ásamt vinnslusögu Bjarnarflags fram á mitt ár 2020.	18

Mynd 9. Hitamælingar árin 2011–2020 í holu B-5 ásamt metnum berghitaferli og suðumarksferli miðað við mældan þrýsting 2020.	19
Mynd 10. Þrýstimælingar árin 2011–2020 í holu B-5 ásamt metnum upphafsþrýstingi.	20
Mynd 11. Yfirlit um holustaðsetningu og holuferla stefnuboraðra holna á Þeistareykjum.	21
Mynd 12. Hin stutta saga hitastigs á 1300 og 1800 m dýpi í holu ÞG-1. Mælingin árið 2020 er sú þriðja í eftirlitsmælingaferli holunnar. Regluleg hitalækkun á 1800 m dýpi frá 2018 er 2,2°C/ár.	23
Mynd 13. Hin stutta saga þrýstings á 1300 m dýpi í holu ÞG-1. Mælingarnar árin 2018, 2019 og 2020 eru þær fyrstu sem eru hluti af eftirlitsmælingaferli í holunni. Myndin sýnir einnig vinnslusögu holunnar sem og mældan toppþrýsting. Vermislækkunin frá 2018 er að jafnaði um 115 kJ/kg/ár.	23
Mynd 14. Hitamælingar í holu ÞG-1 árin 2012–2020 ásamt metnum berghitaferli og suðumarksferli m.v. mældan þrýsting 2020.	24
Mynd 15. Þrýstimælingar í holu ÞG-1 frá 2012 til 2020 ásamt metnum upphafsþrýstingi.	25
Mynd 16. Mælt hitastig í holu ÞG-15 á 1700 m dýpi ásamt metnum berghita á þessu sama dýpi. Mælingarnar árin 2018–2020 eru þær fyrstu sem eru hluti af eftirlitsmælingaferli í holunni og á þeim tíma hefur hiti á 1700 m dýpi haldizt stöðugur.	27
Mynd 17. Saga þrýstings á 1700 m dýpi í holu ÞG-15. Mælingarnar árin 2018–2020, sem eru þær fyrstu í eftirlitsmælingaferli í holunni, sýna að þrýstingur í 1700 m hefur haldizt stöðugur. Myndin sýnir einnig hina stuttu vinnslusögu holunnar sem og mældan toppþrýsting, bæði í og án vinnslu.	27
Mynd 18. Hitamælingar í holu ÞG-15 árin 2017–2020 ásamt metnum berghitaferli og suðumarksferli m.v. mældan þrýsting árið 2020.	28
Mynd 19. Þrýstimælingar í holu ÞG-15 frá 2017 til 2020 ásamt metnum upphafsþrýstingi.	29
Mynd 20. Mælt hitastig í holu ÞG-18 á 1850 m dýpi ásamt metnum berghita á þessu sama dýpi. Lægri hiti í upphafi endurspeglar upphitunarferli eftir vinnsluprófun.	31
Mynd 21. Saga þrýstings á 1850 m dýpi í holu ÞG-18. Myndin sýnir einnig vinnslusögu holunnar sem (vinnsla og vermi) og mældan toppþrýsting.	31
Mynd 22. Hitamælingar í holu ÞG-18 árin 2018 til 2020 ásamt metnum berghitaferli og suðumarksferli m.v. mældan þrýsting 2020.	32
Mynd 23. Þrýstimælingar í holu ÞG-18 frá 2018 til 2020 ásamt metnum upphafsþrýstingi.	33
Mynd 24. Yfirlitsmynd sem sýnir staðsetningu holna þar sem vatnsborð er skráð með reglubundnum hætti.	36
Mynd 25. Mæld vatnshæð í m y.s. í þeim holum sem notaðar eru til að fylgjast með vatnsborði m.t.t. vinnslu og niðurdælingar í jarðhitakerfinu á Þeistareykjum.	37
Mynd 26. Breytingar á vatnsborði í vatnsborðsholunum m.v. upphafsvatnsborð hvernar holu fyrir sig ásamt vinnslu og niðurdælingu frá 2014. Með neikvæðri breytingu er átt við lækkun vatnsborðs.	37
Mynd 27. Mæld vatnsborðsstaða í holum ÞG-2, ÞG-8 og ÞR-7 á Þeistareykjum. Greinileg vatnsborðshækkun er samfara niðurdælingu í holur ÞN-1, ÞN-2 og ÞN-12. Áhrif frá vinnslu eru ekki greinanleg.	38
Mynd 28. Hita- og þrýstimælingar í holu ÞG-2 árin 2006–2015.	39

Mynd 29. <i>Hita- og þrýstimælingar í holu ÞG-8 árin 2014–2015.</i>	40
---	----

1 Inngangur

Í skýrslunni er fjallað um eftirlitsmælingar á jarðhitasvæðunum í Kröflu, Bjarnarflagi og á Þeistareykjum. Mælingarnar sem um ræðir eru hita-, þrýsti- og vatnsborðsmælingar í völdum holum auk þess sem rýnt er í ársvinnslu svæðanna.

Hita- og þrýstimælingar á jarðhitasvæðunum þremur voru gerðar 8.–12. júní 2020. Minnisblöð mælingamanna um framkvæmd mælinganna eru birt í viðauka skýrslunnar.

Helztu 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. Hóla KJ-11 hefur verið tekin inn sem hluti af eftirliti með vinnslunni í Kröflu og var mæld árlega frá 2013 til 2019 (Þorsteinn Egilson, 2019b) en var ekki mæld sumarið 2020. Hóla KJ-6, sem var til margra ára fastur punktur í vinnslueftirliti fyrir Kröflustöð, hefur verið tekin inn sem vinnsluhóla fyrir lágþrýstiprep virkjunarinnar (Þorsteinn Egilson, 2017a). Árið 2020 voru einungis fyrirhugaðar eftirlitsmælingar í holum KG-10 og KJ-33 en vegna fyrirstöðu í holu KJ-33 náðust ekki mælingar úr henni.

Helztu holur sem hafa verið notaðar undanfarna áratugi í Bjarnarflagi til eftirlits með hita og þrýstingi eru holur B-2 og B-5 en með nýju fyrirkomulagi mælinga eru þær mældar annað hvert ár, hvor sitt árið (Þorsteinn Egilson, 2019b), og nú var komið að holu B-5.

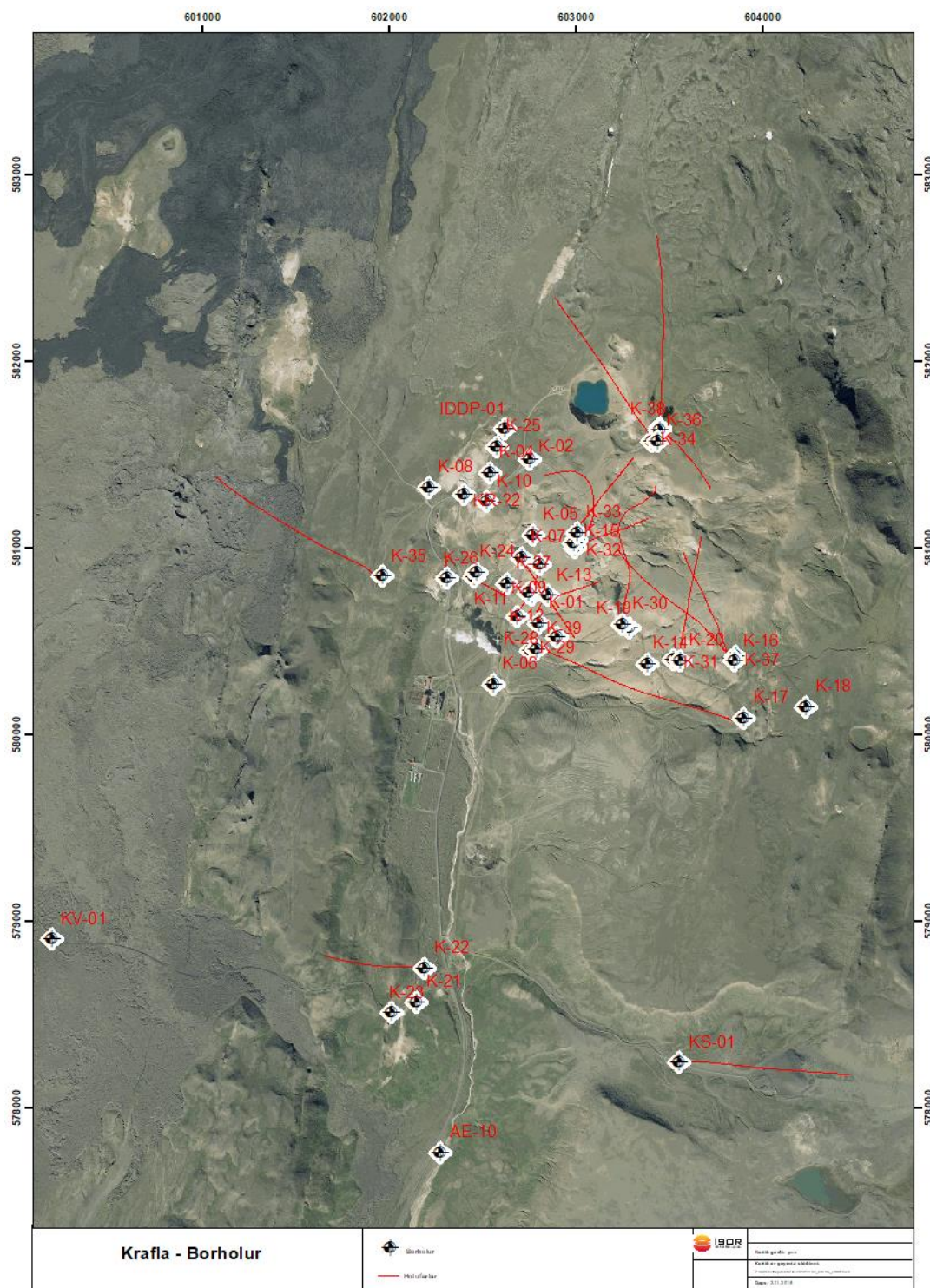
Saga eftirlitsmælinga á Þeistareykjum er stutt og skipulag þeirra enn í mótun (Þorsteinn Egilson, 2019b). Árið 2020 voru þrjár holur hita- og þrýstimældar, PG-1, PG-15 og PG-18.

Hluti af þeim upplýsingum sem birtar eru í vinnslueftirlitsskýrslum ÍSOR er ársvinnsla einstakra vinnslusvæða og koma þær jafnan fram með upplýsingum um vatnsborð og þrýsting í eftirlitsholunum. Fram til þessa hefur vinnslu úr jarðhitasvæðinu í Kröflu verið skipt upp eftir vinnslusvæðunum Neðri- og Efri-Leirbotnar, Suðurhlíðar, Vesturhlíðar og Hvíthólar (Trausti Hauksson, 2019) og við vinnslu þessarar skýrslu ná vinnslutölur til ársins 2020.

2 Eftirlitsmælingar í Kröflu

Í Kröflu voru reglubundnar hita- og þrýstimælingar sumarið 2020 gerðar í holu KG-10 en fyrirhugaðar mælingar í KJ-33 tókust ekki vegna fyrirstöðu.

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 2012–2020.

Hóla	2012		2013		2014		2015		2016		2017		2018		2019		2020	
	Dags.	Dýpi	Dags.	Dýpi	Dags.	Dýpi	Dags.	Dýpi	Dags.	Dýpi	Dags.	Dýpi	Dags.	Dýpi	Dags.	Dýpi	Dags.	Dýpi
KJ-6	4/7	1200	-	-	-	-	25/6	1200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
KG-10	5/7	800	10/9	805	5/7	800	24/6	800	6/8	800	13/8	800	3/9	800	13/8	800	10/6	800
KJ-18	5/7	2197	11/9	2197	9/4	2197	25/6	2198	7/8	2197	13/8	2195	3/9	2198	13/8	2198	-	-
KJ-21	28/9	933	-	-	-	-	-	-	-	-	16/8	934	5/9	934	1/8	933	-	-
KJ-11			11/9	1400	6/7	1400	26/6	1400	6/8	1400	13/8	1400	6/9	1400	14/8	1400	-	-
KJ-14															24/9	399	-	-
KG-26													6/9	402	14/8	400	-	-
KJ-35			10/9	0	-	-	-	-	-	-	-		4/9	1932	-	-	-	-
KV-1							24/6	2878	-	-	-		-		-	-	-	-
B-2	3/7	488	10/9	485	6/7	488	24/6	488	2/7	488	13/8	488	3/9	488	14/8	488	-	-
B-5	3/7	611	11/9	600	6/7	611	24/6	612	2/7	612	13/8	611	3/9	610	-	-	10/6	611
BJ-11											20/8	1865	-	-	-	-	-	-
BJ-14			12/9	2398	-	-	-	-	-	-	-	-	5/9	2378	-	-	-	-
BJ-13															23/9	860	-	-
B J-15															23/9	2611	-	-

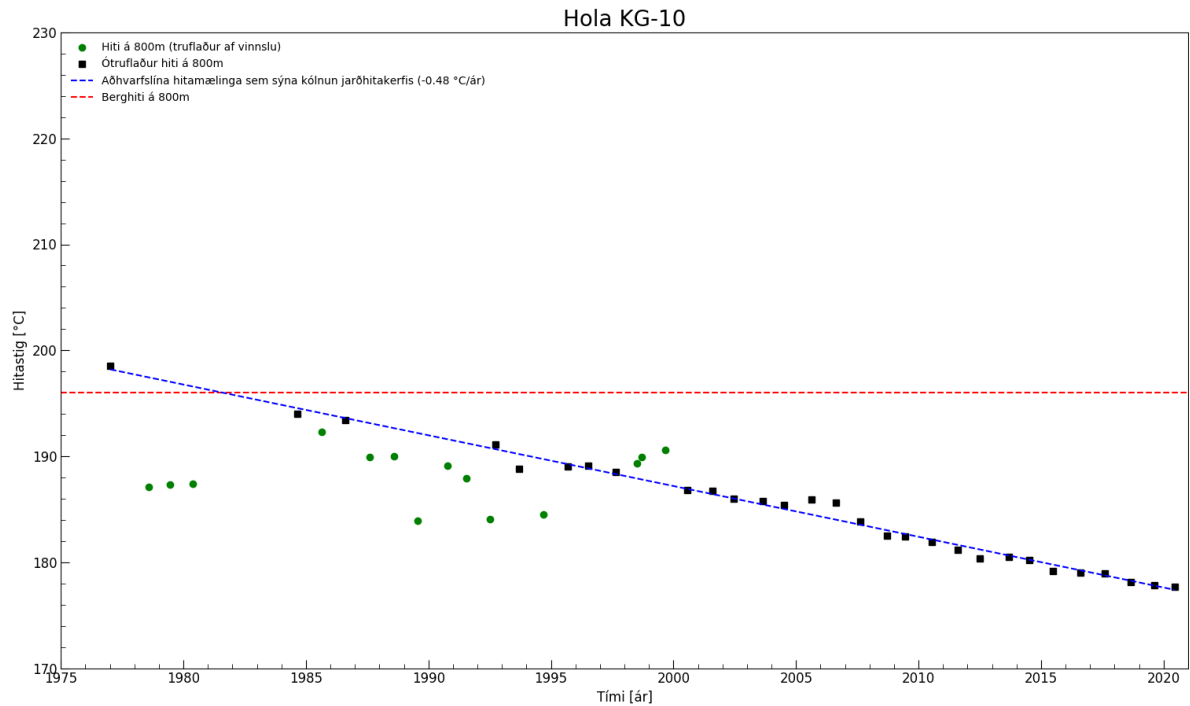
2.1 Hola KG-10

Hola KG-10 var boruð árið 1976 niður á 2082 m dýpi og var í fyrstu talin tengjast bæði Efra- og Neðra-Leirbotnakerfinu (Valgarður Stefánsson o.fl., 1977) en í seinni tíð benda athuganir til að holan skynji einvörðungu þrýsting í efra kerfinu (Þorsteinn Egilson o.fl., 2017). 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 nærri botni. Nákvæm rannsókn var gerð á útfellingum í holunni sumarið 1977 (Hrefna Kristmannsdóttir og Jan Svantesson, 1978). 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).

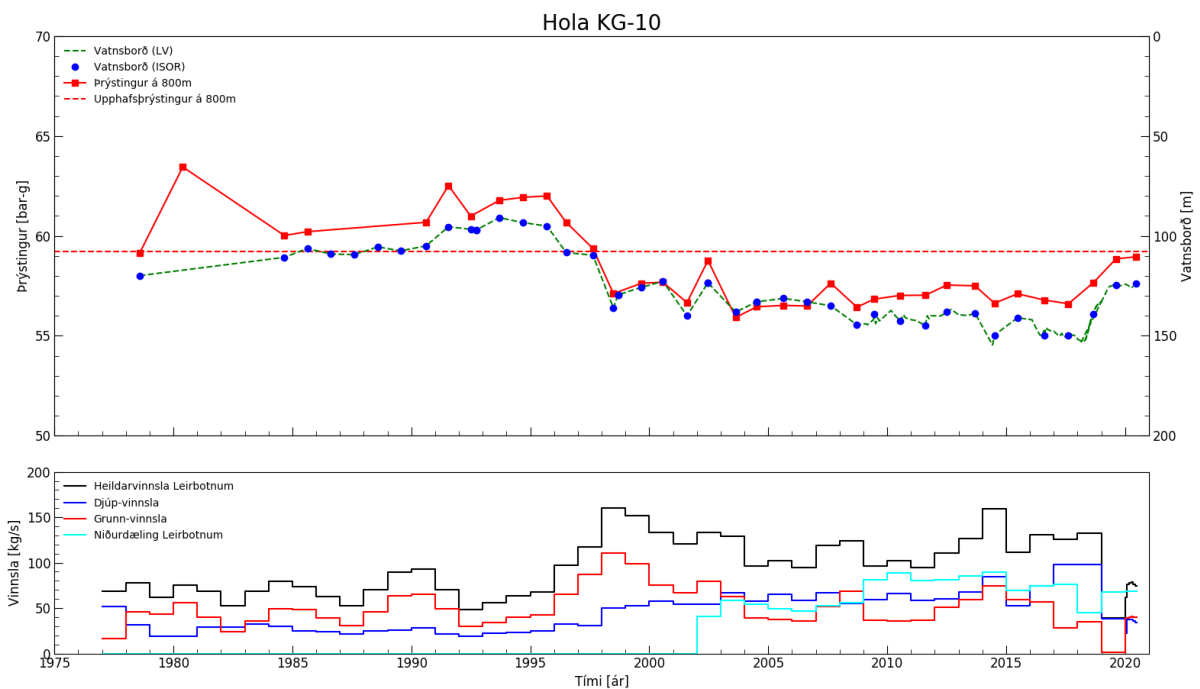
Eftirlitsmælingar ársins 2020 voru gerðar í holu KG-10 þann 10. júní. Mynd 2 sýnir mældan hita á 800 m dýpi í holunni frá 1976 til 2020. Fram til ársins 1999 var nokkurt flökt á mældum hita á þessu dýpi og er vinnsla úr holu KG-24 að hluta til talin ábyrg fyrir því (Benedikt Steingrímsson og Grímur Björnsson, 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. Hitinn á 800 m dýpi í holu KG-10 mældist 177,7°C 10. júní 2020, sem er 18,3°C lægri en áætlaður berghiti á þessu sama dýpi. Hitinn á 800 m dýpi mældist 177,8°C miðsumars 2020 þannig að 0,1°C hitalækkun milli ára er mun minni en hin kerfisbundna kólnun frá 1977 spáði fyrir 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 tilsvareandi ferill fyrir upphafsþrýsting er á mynd 5. Meðalvermi vinnslu úr neðra kerfi Leirbotna frá janúar til júní 2020 er um 1180 kJ/kg en meðalvermið úr efra kerfinu á sama tíma er um 1110 kJ/kg.

Mynd 3 sýnir mældan þrýsting á 800 m dýpi í holu KG-10 frá 1978 til 2020 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 loka júní 2020 en með breyttu fyrirkomulagi gagnamiðlunar ná vinnslugögn fram til sama tíma og eftirlitsmælingin er gerð. Þrýstingur á 800 m dýpi var sumarið 2020 um 0,3 bar undir áætluðum upphafsþrýstingi og hefur hækkað um 0,1 bar milli árána 2019 og 2020. Frá 2014 hefur vinnsla úr efra kerfinu minnkað jafnt á sama tíma og vinnslan úr neðra kerfinu hefur aukist en árið 2019 var engin vinnsla úr efra kerfinu og einungis þriðjungs vinnsla úr neðra kerfinu miðað við vinnsluna árið 2018. Á sama tíma er niðurdæling í kerfið nokkuð stöðug. 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 til lengri eða skemmri tíma til að fá nákvæmar upplýsingar um ártíðarbundnar sveiflur á vatnsborði holunnar.

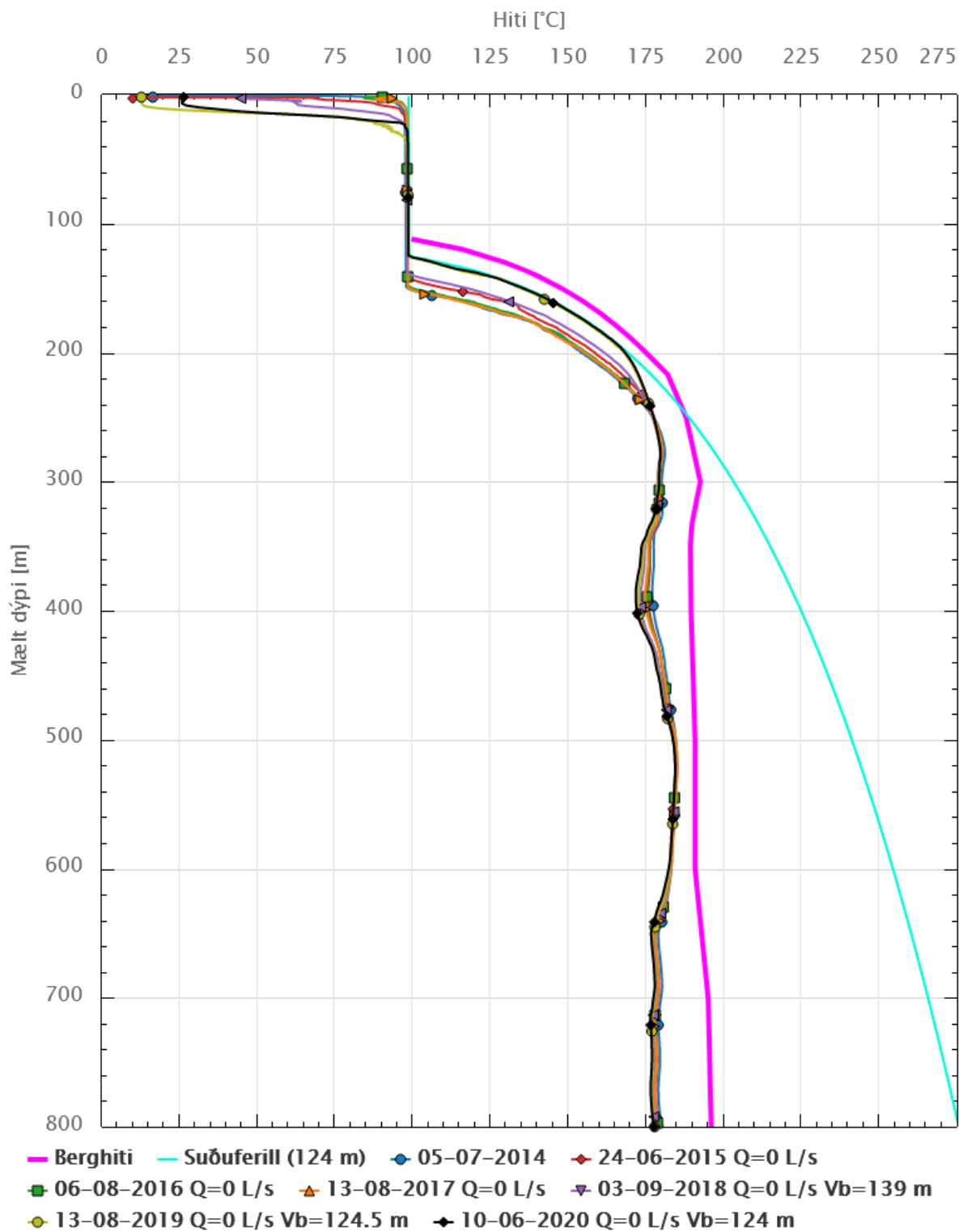
Myndir 4 og 5 sýna hita- og þrýstiferla síðustu sjö ára í holu KG-10 ásamt metnum berghita og upphafsþrýstingi (Þorsteinn Egilson, 2010).



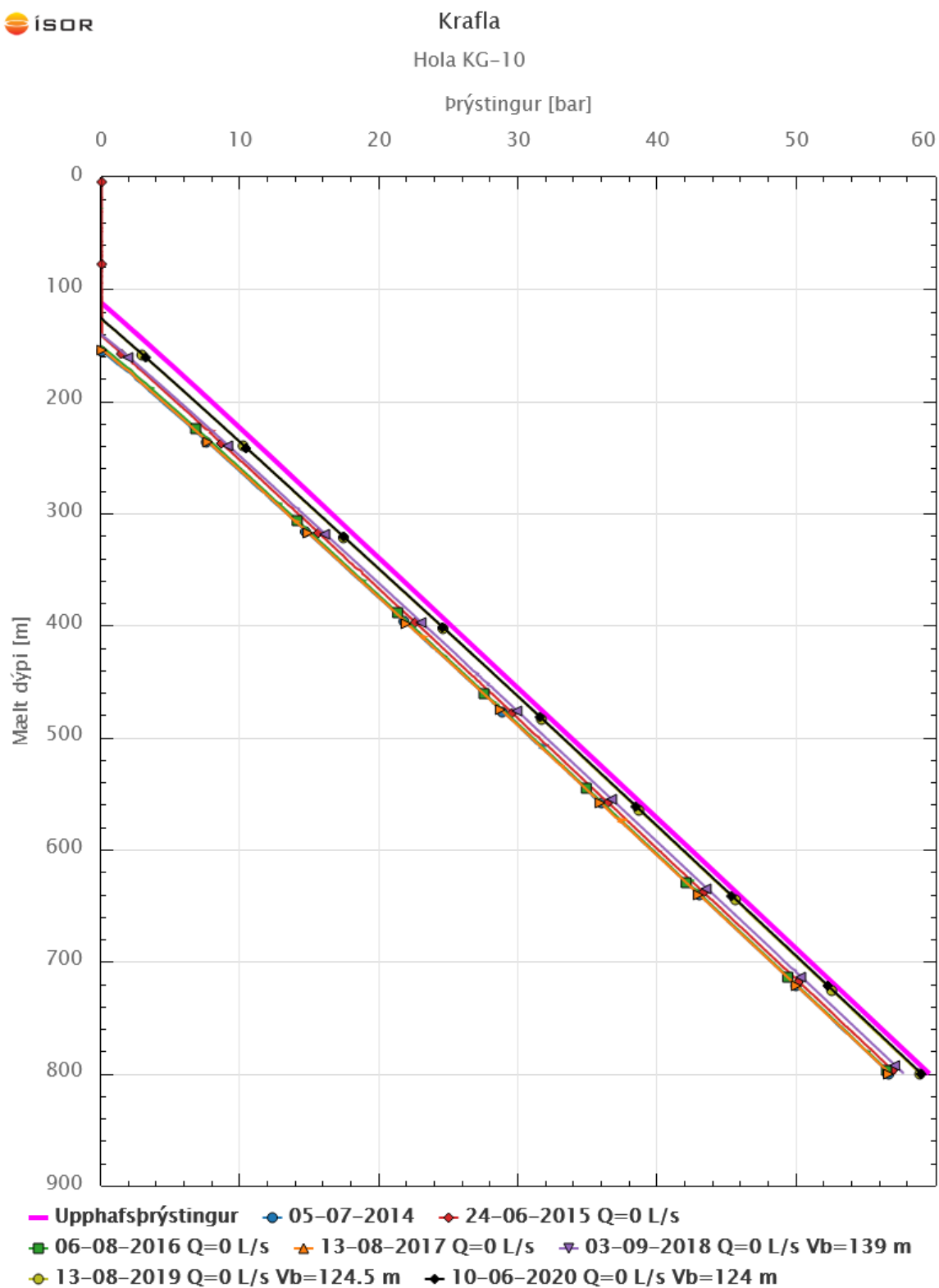
Mynd 2. Saga hita á 800 m dýpi í holu KG-10 þar sem kerfisbundinnar kælingar gætir. Grænmerktu mælipunktarnir eru undanskildir í mati á þessari kólnun vegna áhrifa frá vinnslu, fyrst úr holunni sjálfri og síðar vegna vinnslu úr holu KG-24.



Mynd 3. Þrýstingur á 800 m dýpi og vatnsborð í holu KG-10 ásamt vinnslusögu Leirbotna fram á mitt ár 2020.



Mynd 4. Hitamælingar síðustu sjö 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 sjö ára í hölu KG-10 ásamt metnum upphafsprýstingi 2010.

2.2 Hola KJ-33

Hola KJ-33, sem var boruð sumarið 1999, er staðsett vestan Hveragils, boruð með NA-stefnu með 25–30° halla frá lóðréttu. Með því átti hún að skera Hveragilssprunguna á 1300–1600 m dýpi (MD héðan í frá). Holan var boruð í 2011 m dýpi með vinnslufóðringu í 1103 m en borstrengur festist í henni og var skilinn eftir neðan við 1885 m en þar var strengurinn sprengdur í sundur. Vinnslufóðring holunnar, 9⁵/₈", var sett niður í 1103 m og 7" leiðarinn nær niður á 1869 m dýpi (Ásgrímur Guðmundsson o.fl., 1999).

Í körfumælingu 20. júní 2002 stöðvaðist 9" karfa á 1852 m dýpi í holunni. Í þeirri mælingu urðu 1200 m af vír eftir í holunni eftir að karfan skorðaðist föst á 1202 m dýpi en vegna óhapps með vírhjól skarst vírinn í sundur við holutoppinn. Árið 2012 var holan lóðuð í 1600 m og miðast mælingar nú við það dýpi (Hörður Tryggvason og Halldór Ingólfsson, 2012).

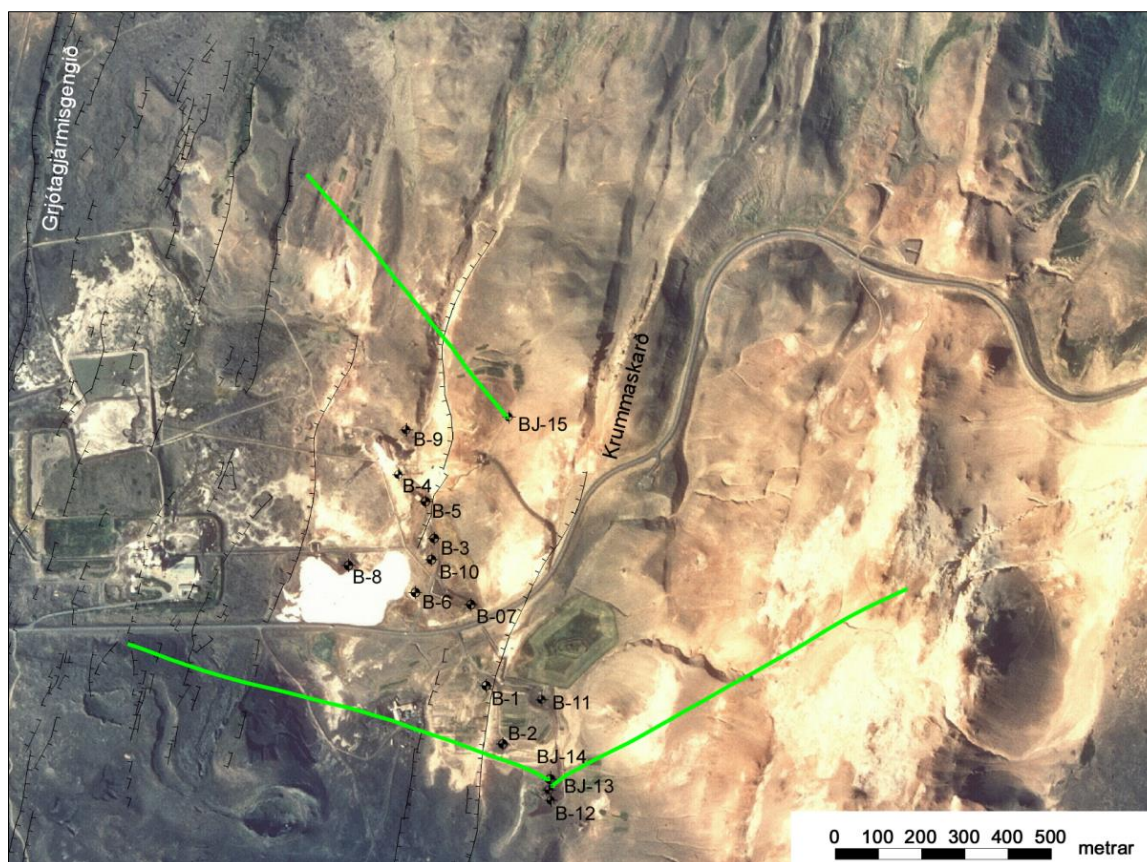
Í ljósi niðurstaðna hita- og þrýstimælinga 2019 var fyrirhuguð mæling í holunni sumarið 2020 vegna kælingar sem m.a. gat talist vera vegna suðu niður holuna og vel út í berg (Þorsteinn Egilson, 2019b).

Vegna atburða við fyrri mælingar og mæliferðir í holuna var ákveðið að byrja með lóðun. Í upphafi gekk lóðið aðeins 160 cm niður úr mæliröri og stöðvaðist þannig efst við T-tengingu holunnar inn á veitulögnina. Við upptekt lóðsins úr mæliröri kom í ljós vírbútur sem hafði fest við lóðið sem var vísbending um að vírhreiður væri að finna í T-tenginu inn á gufulögnina. Í samráði við Anette K. Mortensen verkefnisstjóra og Stein Ágúst Steinsson stöðvarstjóra var ákveðið að loka aðalloka holunnar, fjarlægja 10" flansinn af holunni og líta á aðstæður við holutoppinn. Í ljós kom vírhönk í T-tenginu og var hluti hennar dreginn út með kranabílnum. Í framhaldinu var blástursröri komið fyrir á toppi holunnar og hún opnuð til að freista þess að losna við vírdræsu sem eftir var við holutoppinn. Í þeirri aðgerð þeytti holan af sér viðbótar vírhönk. Mat á lengd vírhankarinnar sem kom úr holunni er um 211 m.

Eftir að vír hafði verið losaður úr holutoppi var lóðinu komið fyrir í mæliröri fyrir aðra tilraun til lóðunar. Í þetta sinn gekk lóð vel niður úr lokasamstæðunni en á 1075,6 m dýpi stöðvaðist lóðið ítrekað aftur, þ.e. tæpum 13 m ofan við hengistykki leiðarans sem er á 1088 m dýpi. Eftir ítrekaðir tilraunir til að koma lóðinu neðar festist það en það náðist svo að losa. Sú ályktun er dregin að vírhönk sitji í og við hengistykkið. Nánari lýsing á lóðunaraðgerðum er að finna í mælingadagbók mælingamanna sem er í viðhengi við skýrsluna.

3 Eftirlitsmælingar í Bjarnarflagi

Borun á Bjarnarflagssvæðinu hófst árið 1963 með holu B-1 en alls hafa verið boraðar 15 jarðhitaholur í Bjarnarflagi. Aðalvinnsluholurnar á svæðinu eftir 1979 hafa lengst af verið holur B-11 og B-12. Hóla B-9 bættist í hóp vinnsluholna árið 2001 og eftir að borun holu BJ-13 lauk árið 2006 var hún notuð sem vinnsluhola (Þorsteinn Egilson o.fl., 2014). Mynd 6 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. Samkvæmt nýju skipulagi eftirlitsmælinga eru þær mældar annað hvort ár, og þá til skiptis (Þorsteinn Egilson o.fl., 2018).



Mynd 6. Yfirlitsmynd af staðsetningu og ferlum stefnuboraðra holna í Bjarnarflagi.

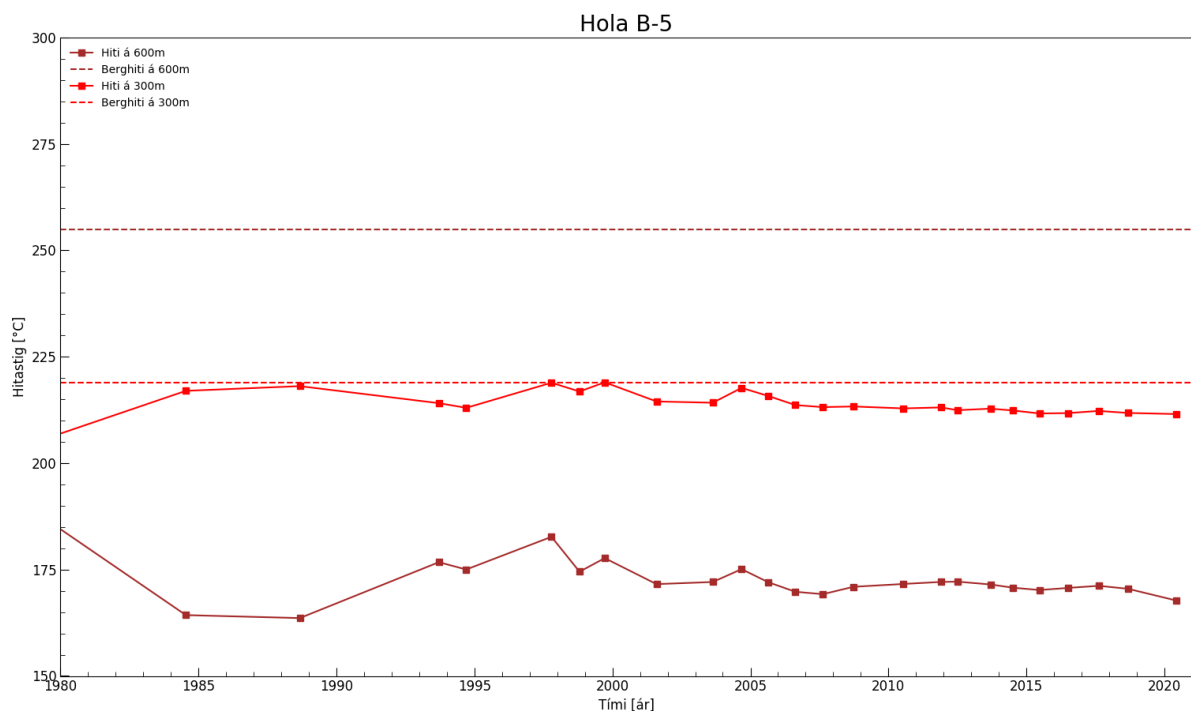
3.1 Hóla B-5

Hóla 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 aflítil og notkun hennar var hætt árið 1976. Frá 1984 hefur hún nýst sem reglubundin eftirlitshola.

Hóla B-5 var hita- og þrýstimæld 10. júní 2020 en hún var ekki mæld 2019 þar sem ný áætlun um vinnslueftirlit gerir ráð fyrir því að holur B-2 og B-5 verði mældar annað hvert ár og þá til skiptis. Mynd 7 sýnir mældan hita á 300 og 600 m dýpi í holunni frá 1984 til 2020 ásamt

áætluðum berghita á sama dýpi. Á 300 m dýpi hefur hitinn lítið breytzt í holunni en hann hefur þó mælt með lítils háttar sveiflum í gegnum tíðina en hefur síðan árið 2006 haldizt í tæpum 7°C undir metnum berghita. Greining hitamælinganna árin 2013–2016 með aðhvarfs-línu leiddi í ljós 0,64°C/ár jafna kólnun (Þorsteinn Egilson, 2017a) en sú þróun hefur ekki haldið áfram þótt um sé að ræða 0,25°C hitalækkun milli áranna 2018 og 2020.

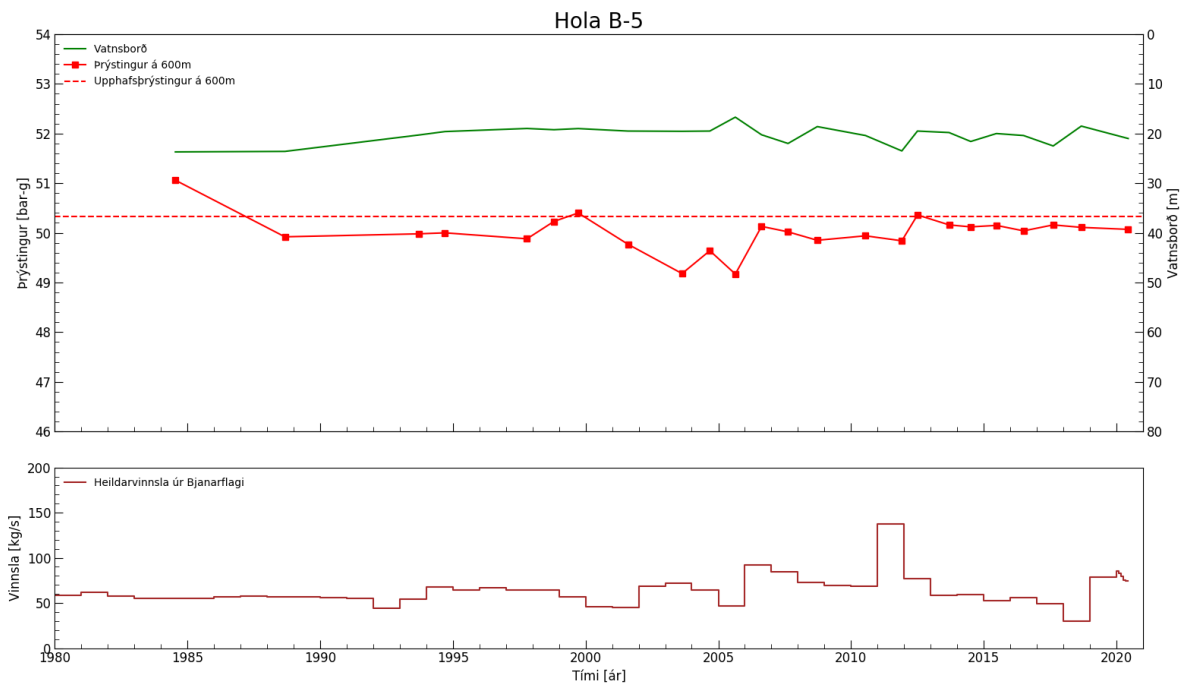
Hitinn á 600 m dýpi hefur frá 1993 verið um 85°C lægri en metinn berghiti við holuna (mynd 7) en nokkrar sveiflur hafa þó verið á mældum hita á umræddu dýpi í gegnum tíðina. Frá 2007 til 2012 hækkaði hitinn á 600 m dýpi um rúmar 3°C. Líkt og með þróun hitastigs á 300 m dýpi gætti um 0,68°C/ár kólnunar frá 2012 til 2015 (Þorsteinn Egilson o.fl., 2015). Hitinn sem mældist í 600 m í júní 2020 er hins vegar 2,8°C lægri en hann mældist 2018 og 3,5°C lægri en hitinn mældist 2017. Frá 2017 hefur jafnaðarlækkun hita verið 1,26°C/ár á 600 m dýpi í holu B-5 í Bjarnarflagi. Verm heildarvinnslunnar úr Bjarnarflagi er um 900 kJ/kg.



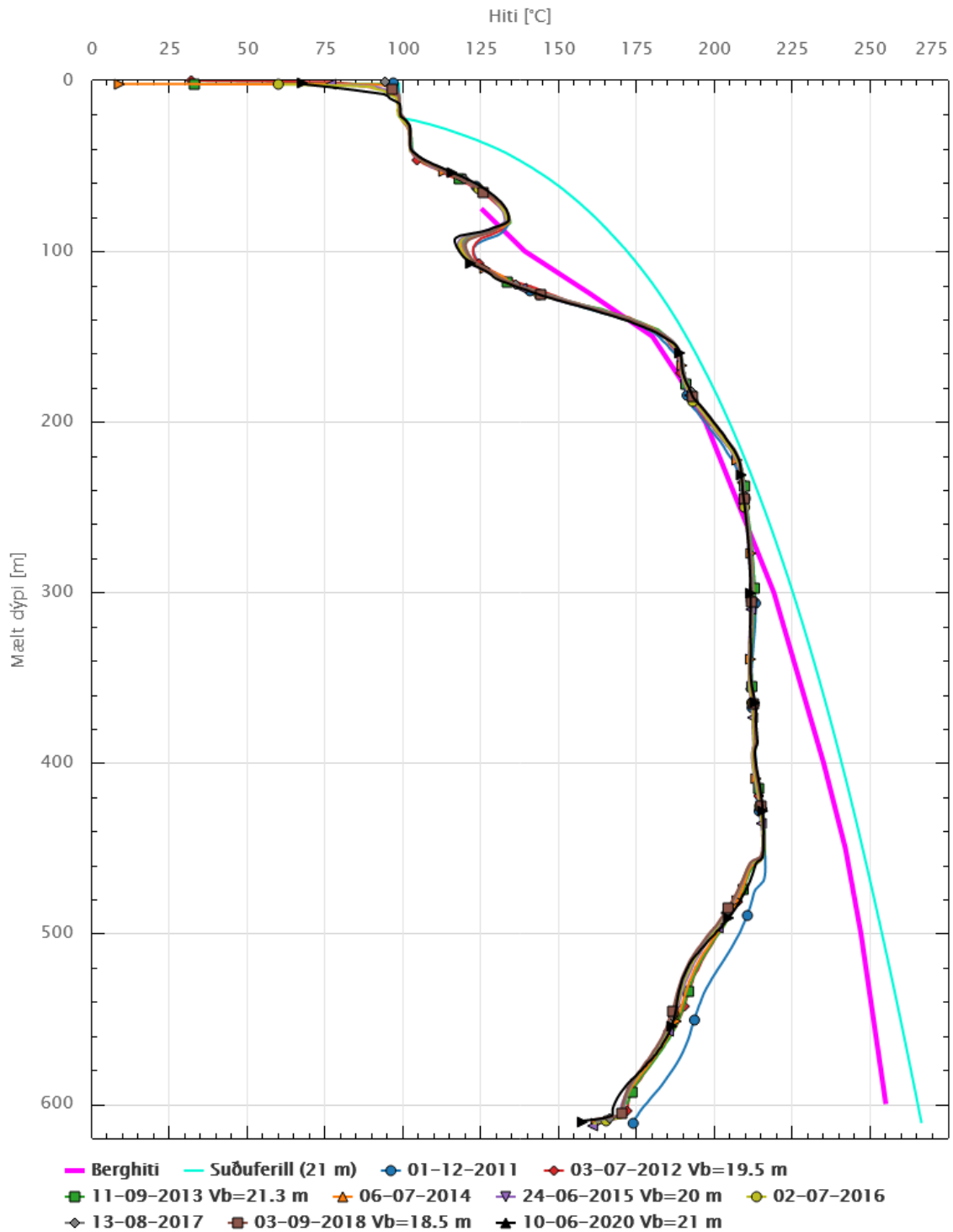
Mynd 7. Saga hita á 300 og 600 m dýpi í holu B-5 ásamt metnum berghita á tilsvorandi dýpi. Á 600 m dýpi mælist 2,8°C hitalækkun á tveggja ára tímabili. Jafnaðarlækkun hita á 600 m dýpi frá 2017 er 1,26°C/ár.

Mynd 8 sýnir mælt vatnsborð í holu B-5 og mældan þrýsting á 600 m dýpi frá 1984 til 2020, áætlaðan upphafsþrýsting á sama dýpi og vinnslusögu Bjarnarflags fram á mitt ár 2020. Í júní 2020 mældist vatnsborð í 21,0 m en í september 2018 mældist það á 18,5 m dýpi. Þrýstingurinn í 600 m mældist í júní 2020 um 0,3 bar lægri en metinn upphafsþrýstingur og þrýstilækkun milli ára 2018 og 2020 er innan við 0,1 bar. Fyrir utan vinnslutopp árið 2011 (137 kg/s meðalvinnsla) var jafnaðarleg 6,5 kg/s ár vinnsluminnkun frá 2006 til 2017. Eftir vinnslulægð árið 2018 (Þorsteinn Egilson, 2019b) var vinnslan aukin aftur 2019 og það sem af er 2020 hefur sú vinnsla haldizt.

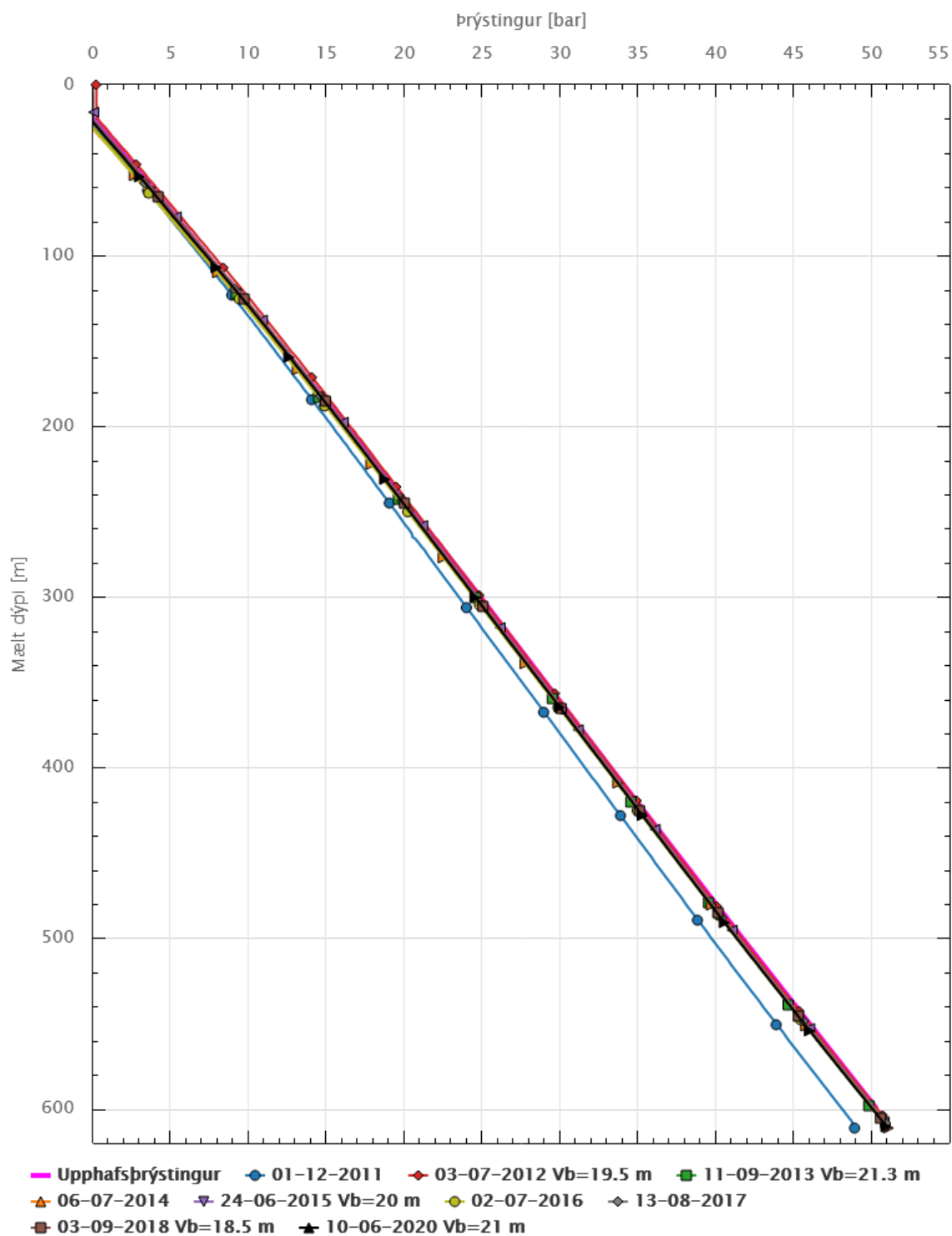
Myndir 9 og 10 sýna hita- og þrýstimælingar síðustu tíu ára í holu B-5 ásamt metnum berghita og upphafsþrýstingi.



Mynd 8. Þrýstingur á 600 m dýpi og vatnsborð í holu B-5 ásamt vinnslusögu Bjarnarflags fram á mitt ár 2020.



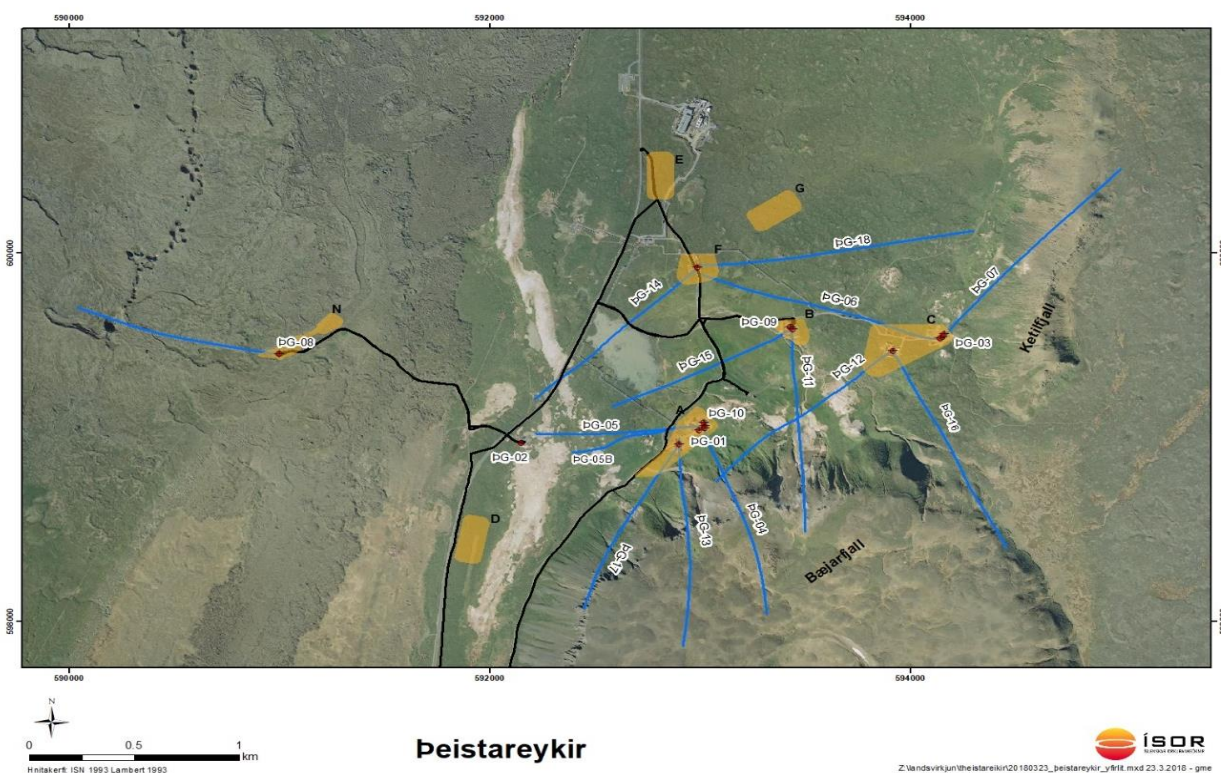
Mynd 9. Hitamælingar árin 2011–2020 í holu B-5 ásamt metnum berghitaferli og suðumarksferli miðað við mældan þrýsting 2020.



Mynd 10. *Prýstimælingar árin 2011–2020 í holu B-5 ásamt metnum upphafsprýstingi.*

4 Eftirlitsmælingar á Þeistareykjum

Nú þegar vinnsla til raforkuframleiðslu er hafin úr jarðhitasvæðinu á Þeistareykjum er verið að hanna skipulag vinnslueftirlits. Fyrstu formlegu eftirlitsmælingar voru gerðar í júlí og október 2018. Í fyrstu eru eftirlitsmælingar miðaðar við að fylgjast með hitastigi og þrýstingi í holum ÞG-1, ÞG-11 og ÞG-15, sem eru vinnsluholur, og holum ÞG-2, ÞG-8 og ÞG-18 sem ekki eru nýttar til vinnslu. Reynsla af þessu skipulagi mun síðan hafa áhrif á það hvernig vinnslueftirlit innan jarðhitasvæðisins á Þeistareykjum mun þróast. Hér er rífað upp að eftirlitsmælingar fyrir árið 2018 voru skipulagðar þannig að holur ÞG-1, ÞG-11, ÞG-15 og ÞG-18 skyldu mældar tvisvar, fyrst í júlí og síðan nærri mánaðamótum október/nóvember. Mælt var í þeim öllum í júlí en fyrirstaða reyndist í holu ÞG-11 í um 750 m þ.a. hún féll af dagskrá sem eftirlits-hola. Þegar til átti að taka í október var vinnsla í ÞG-1 ekki stöðvuð eins og lagt var upp með þannig að einungis holur ÞG-15 og ÞG-18 voru mældar í seinni mælingaferð ársins (Þorsteinn Egilson, 2019b). Framsetning gagna miðast að mestu við breytingar sem kunna að tengjast gufuvinnslu Þeistareykjavirkjunar og/eða prófunar á holum rétt fyrir gangsetningu hennar en í fyrri vinnslueftirlitsskýrslum hafa öll til tæk gögn verið kynnt (Þorsteinn Egilson, 2019b). Birt er vinnslusaga hvernar holu fyrir sig frá 2015 en til skoðunar er að skipta vinnslusvæðum á Þeistareykjum upp eftir áhrifa svæði hvernar eftirlitsholu fyrir sig og birta heildarvinnslu þeirra eftir því sem við á. Heildarvinnsla úr gufuholum á Þeistareykjum er birt með gögnum um vatnsborð og niðurdælingu.



Mynd 11. Yfirlit um holustaðsetningu og holuferla stefnuboraðra holna á Þeistareykjum.

Mælingarnar 2019 fylgdu ofangreindri áætlun nema hvað að hola ÞG-6 var tekin inn sem eftirlitsmælingahola í stað ÞG-11 og að hola ÞG-18 var ekki mæld. Gerð var tilraun til mælinga í holu ÞG-12 í stað ÞG-18 en við lóðun á holunni festist lóðið í 1861 m og varð eftir þar (Þorsteinn

Egilson, 2019a). Í júní voru holur ÞG-1, ÞG-15 og ÞG-18 mældar sem hluti af eftirlitsmælingaferli en mælingar í holum ÞG-2 og ÞG-8 hafa ekki komist á dagskrá. Yfirlit eftirlitsmælinga á Þeistareykjum er sýnt í töflu 2.

Vel er fylgst með vatnsborði í grunnvatnsholum á svæðinu sem og niðurdælingu.

Tafla 2. Yfirlit um hita- og þrýstimælingar í Þeistareykjaholum 2018–2020.

Hóla	2018				2019				2020	
	Dags.	Dýpi [m]	Dags.	Dýpi [m]	Dags.	Dýpi [m]	Dags.	Dýpi [m]	Dags.	Dýpi [m]
ÞG-1	16/7	1913	-	-	2/8	1600	14/8	1913	10/6	1913
ÞG-6							24/9	1523	-	-
ÞG-11	17/7	750	-	-	-	-	-	-	-	-
ÞG-15	17/7	2244	31/10	2244	-	-	26/9	2244	9/6	2242
ÞG-18	18/7	2614	31/10	2613	-	-	-	-	9/6	2607

4.1 Hóla ÞG-1

Hóla ÞG-1 var boruð í 1953 m árið 2002 og voru borlok 7. september. Holan er lóðrétt með vinnsluhluta frá 613 m. Í þrepaprófi eftir örvunaraðgerðir mældist áðælingarstuðull holunnar 3,5 (l/s)/bar (Ásgrímur Guðmundsson o.fl., 2002). Vinnsla úr holunni er að jafnaði um 20 kg/s við um 13,5 bar toppþrýsting. Vermisvökvans úr holunni við þá vinnslu hefur síðustu mánuð mælt 1560–1610 kJ/kg.

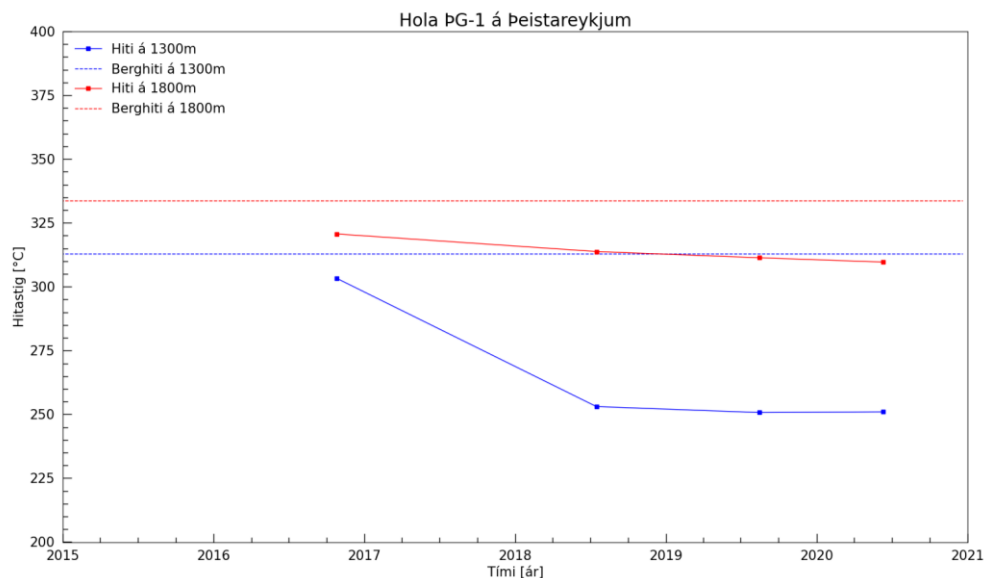
Hóla ÞG-1 er hugsuð sem eftirlitshóla þ.a. hún verði mæld í vinnslustoppi einu sinni á ári svo sambærilegur tími líði á milli þess sem holunni er lokað þar til hún er mæld. Sumarið 2018 var hún mæld eftir 14 daga lokun en þegar til átti að taka við mælingar í holunni í lok október 2018 var hætt við að loka henni og fyrirhuguð mæling slegin af. Árið 2019 var hún mæld eftir tveggja vikna lokun í samræmi við áætlanir og sama staða var uppi við mælingarnar í júní 2020.

Mynd 12 sýnir mældan hita á 1300 og 1800 m dýpi. Í fyrri eftirlitsmælingaskýrslum (Þorsteinn Egilsson, 2019a, 2019b) hefur athyglin beinst að hita á 1300 m dýpi í holunni en þar er þrýsti-jafnvægi hennar í upphitun. Að þessu sinni er einnig skoðað hvernig hiti í 1800 m hefur þróast en hitalækkunar gætir í holunni neðan við 1500 m og auk þess er viðsnúningur í hita við 1750 m. Þá er athygli vakin á jafnaðarlegri vermislækkun vinnsluvökvans um 115 kJ/kg/ár frá 2018 (mynd 13). Samstæðar (staðlað vinnsluhlé) mælingar á hita á 1300 m dýpi sýna að hiti þar hefur ekki breytzt eftir að vinnsla til rafmagnsframleiðslu hófst 2018. Hiti í 1300 m í holu ÞG-1 mældist í júní 2020 um 62°C undir metnum berghita. Hiti í 1800 m í holu ÞG-1 mældist í júní 2020 rúmum 24°C undir metnum berghita en á því dýpi hefur hiti lækkað nokkuð jafnt frá 2018 og er jafnaðarlækkunin um 2,17°C/ár.

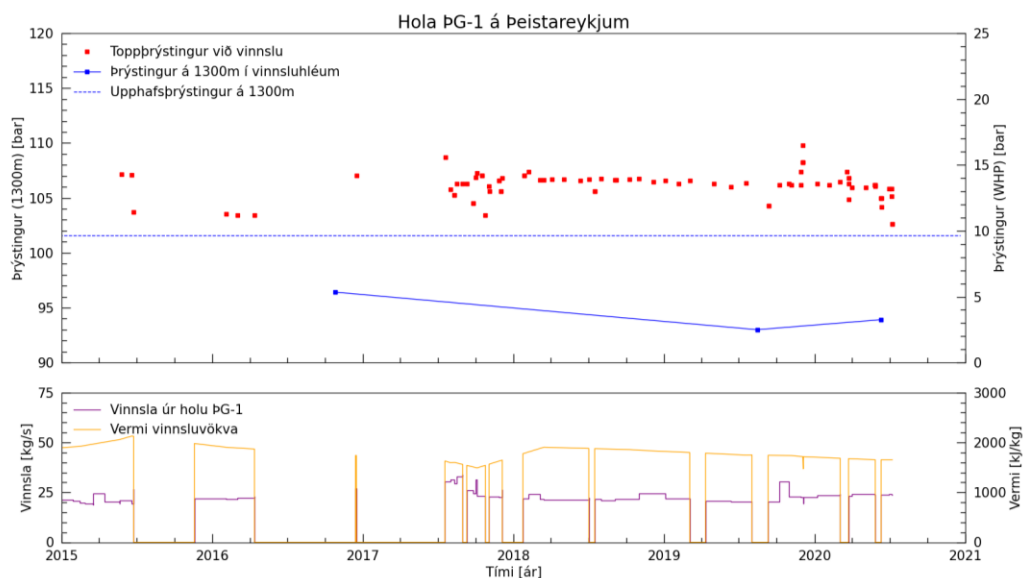
Mynd 13 sýnir vinnslusögu holunnar frá upphafi. Vinnsla, vermi og toppþrýstingur er úr skráningarkerfi Landsvirkjunar og auk þess sýnir myndin mældan þrýsting á 1300 m dýpi sem var jafnvægisstaður þrýstings við upphitun (Þorsteinn Egilsson o.fl., 2004). Í vinnslu fer þrýstingur á 1300 m dýpi niður undir 25 bar en eftir 14 daga vinnsluhlé nær þrýstingur þar í

a.m.k. 96 bar, sem er 5,6 bar undir metnum upphafsþrýstingi, en ekki eru sjáanleg merki um þrýstiniðurdrátt í holunni enn sem komið er.

Myndir 14 og 15 sýna valdar hita- og þrýstimælingar frá 2012 til 2020 í holu ÞG-1 ásamt metnum berghitaferli og upphafsþrýstingi og marka þessi gögn ákveðna upphafsstöðu kerfisins við upphaf langtímaþrýstingssvæðisins. Áður hefur verið minnst á að markvisst geti verið að mæla holuna reglulega (allt að árlega) í blæstri auk mælinga í lok vinnsluhléa (Þorsteinn Egilson, 2019a) og er það ítrekað hér.



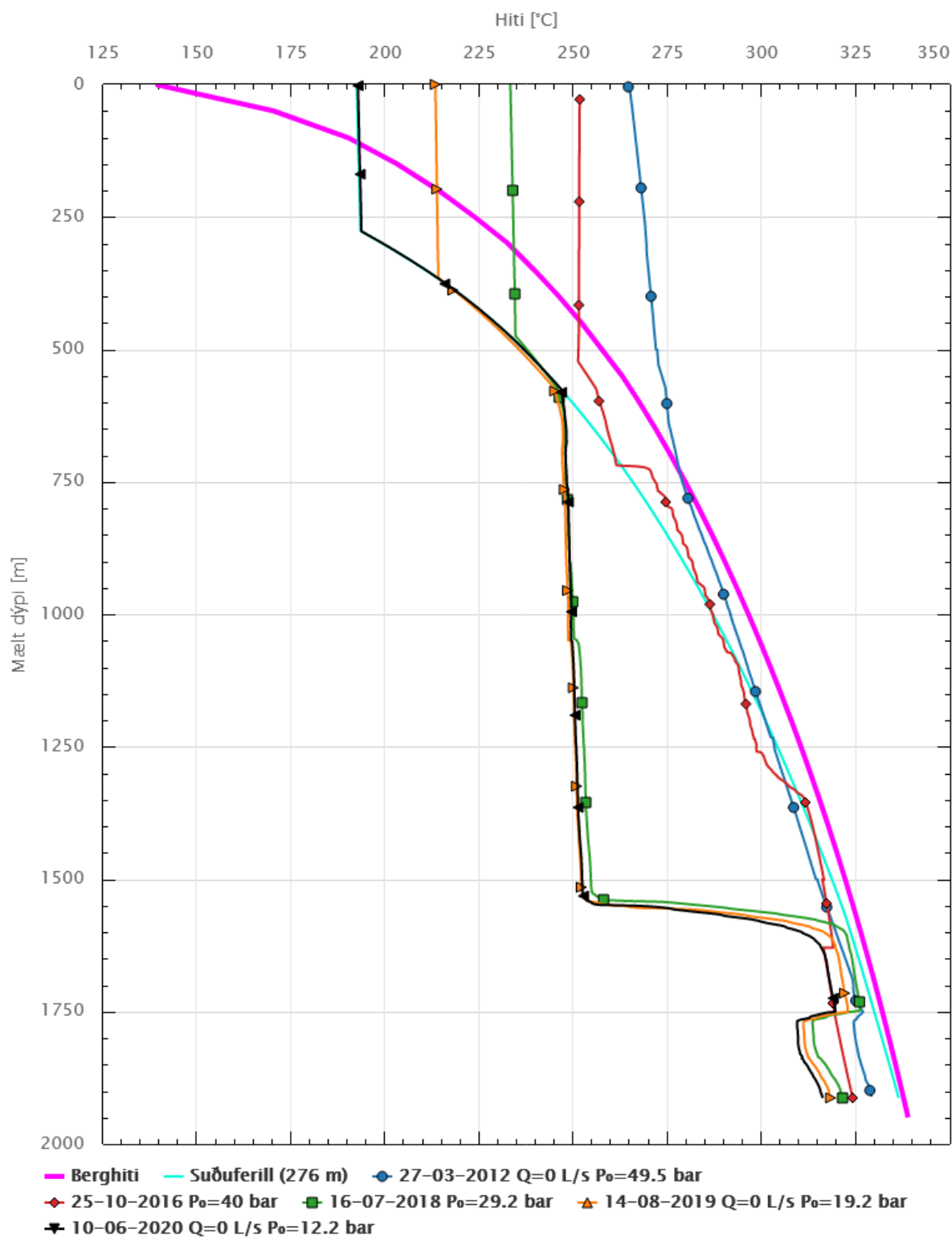
Mynd 12. Hin stutta saga hitastigs á 1300 og 1800 m dýpi í holu ÞG-1. Mælingin árið 2020 er sú þriðja í eftirlitsmælingaferli holunnar. Regluleg hitalækkun á 1800 m dýpi frá 2018 er 2,2°C/ár.



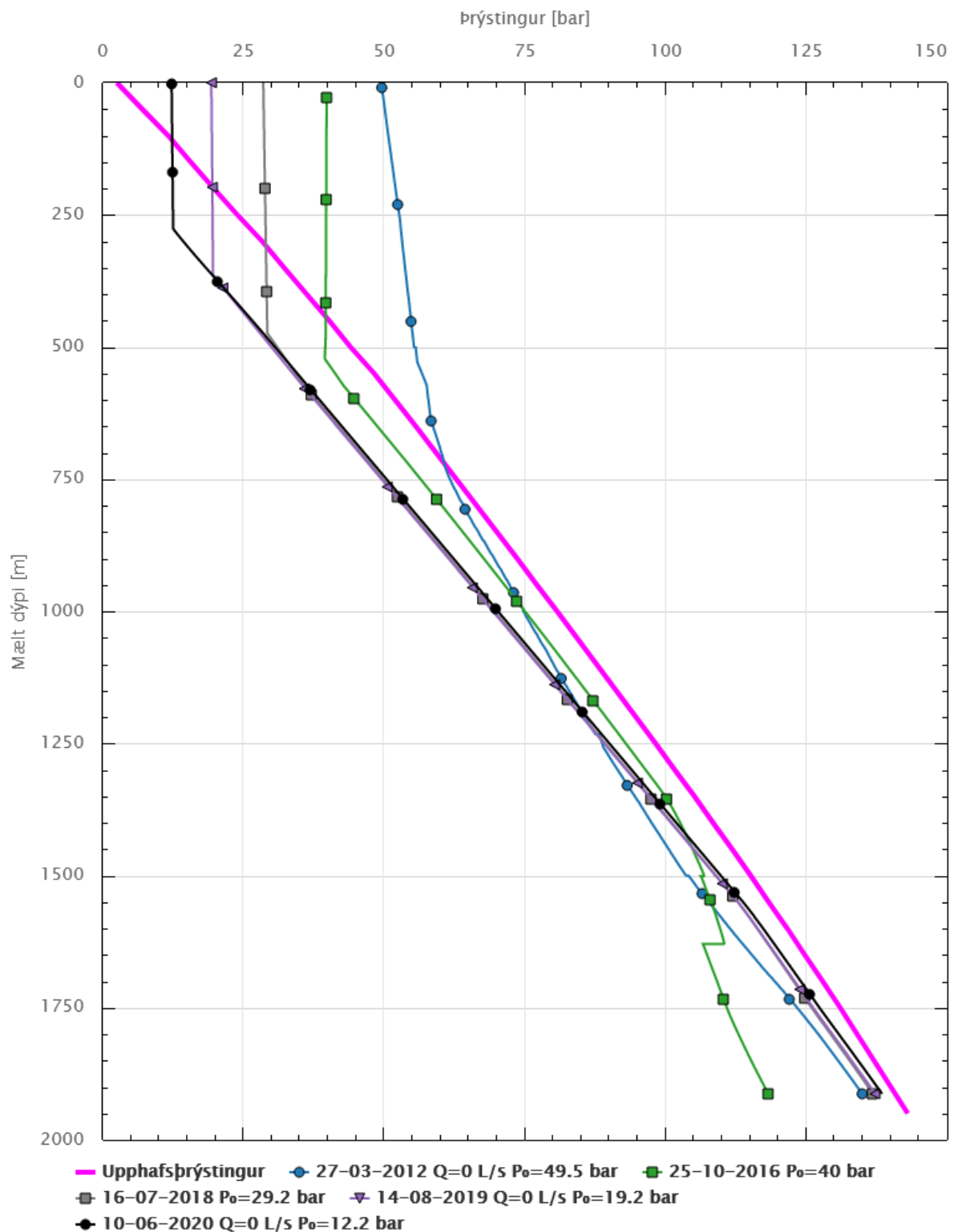
Mynd 13. Hin stutta saga þrýstings á 1300 m dýpi í holu ÞG-1. Mælingarnar árin 2018, 2019 og 2020 eru þær fyrstu sem eru hluti af eftirlitsmælingaferli í holunni. Myndin sýnir einnig vinnslusögu holunnar sem og mældan toppþrýsting. Vermislækkunin frá 2018 er að jafnaði um 115 kJ/kg/ár.

Þeistareykir

Hola ÞG-1



Mynd 14. Hitamælingar í holu ÞG-1 árin 2012–2020 ásamt metnum berghitaferli og suðumarksferli m.v. mældan þrýsting 2020.



Mynd 15. Þrýstimælingar í holu ÞG-1 frá 2012 til 2020 ásamt metnum upphafsprýstingi.

4.2 HOLA ÞG-15

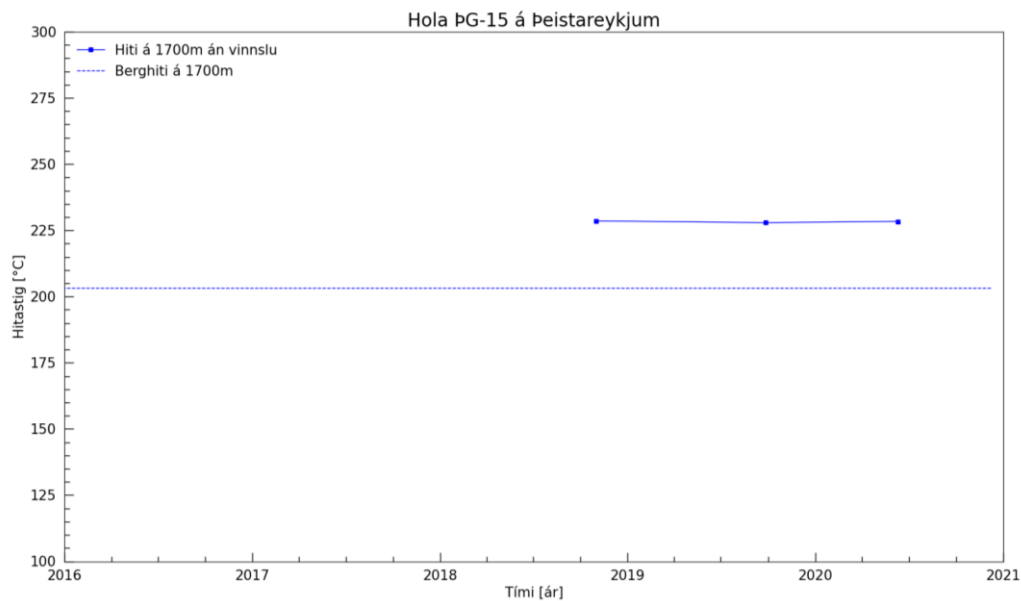
Hola ÞG-15 var boruð árið 2017 og lauk borun á 2260 m dýpi þann 11. marz. Holan liggur til suðvesturs af borplani B (mynd 11). Í þrepaprófi við borlok mældist áðælingarstuðull holunnar 3,9 (l/s)/bar (Magnús Á. Sigurgeirsson o.fl., 2017). Við vinnsluprófun á holunni náðist um 14 kg/s við um 8,7 bar og 950 kJ/kg vermi. Hola ÞG-15 er ekki nýtt sem vinnsluhola.

Hola ÞG-15 liggur í átt að svæði sem holur ÞG-5b og ÞG-14 vinna úr og er hugsuð sem eftirlitshola fyrir það vinnslusvæði. Ráðgert er að hún verði mæld a.m.k. einu sinni á ári því þótt hiti í holum ÞG-14 og ÞG-15 sé lægri en í holu ÞG-5b er gert ráð fyrir þrýstisambandi á milli holnanna. Þá eiga reglulegar mælingar í holu ÞG-2 einnig að gefa upplýsingar um hugsanlegar þrýstibreytingar sem vinnsla úr holum ÞG-5b, ÞG-14 og ÞG-15 veldur (Þorsteinn Egilson, 2019a). Í upphitunarmælingum eftir borun var jafnvægisdýpi þrýstings í 1700 m (Þorsteinn Egilson, 2017b) og er það dýpi notað til viðmiðunar þegar skoðaðar eru breytingar og þróun á hita og þrýstingi í holunni. Hola ÞG-15 er mjög mikilvæg fyrir vinnslueftirlit á Þeistareykjum.

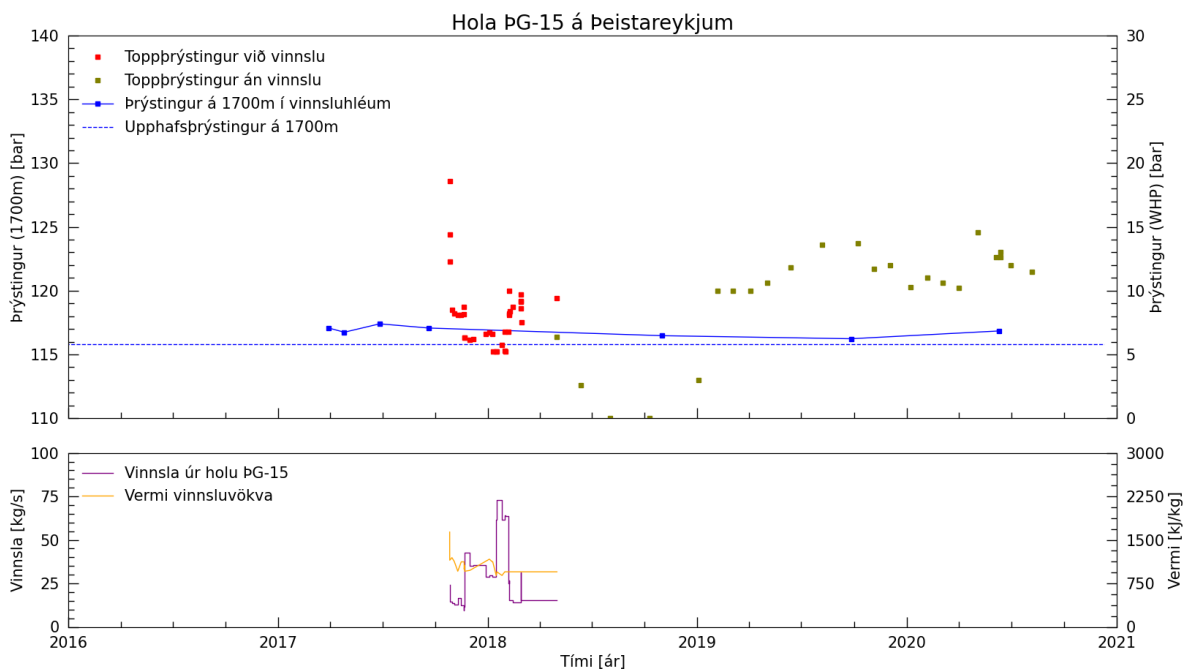
Mynd 16 sýnir mælt hitastig í holu ÞG-15 á 1700 m dýpi ásamt metnum berghita á þessu sama dýpi en hola ÞG-15 var afkastaprófuð í rúma þrjá mánuði frá 2017 til 2018. Í eftirlitsmælingunum 2020 mælist hitinn í 1700 m 228,4°C, eða nánast sá sami og árin 2018 og 2019, sem er um 25°C hærri hiti en metinn berghiti (203,2°C) á þessu dýpi.

Mynd 17 sýnir vinnslusögu holu ÞG-15 frá upphafi en vinnsla, vermi og toppþrýstingur er úr skráningarkerfi Landsvirkjunar. Auk þess sýnir myndin mældan þrýsting á 1700 m dýpi sem var jafnvægisstaður þrýstings við upphitun. Í eftirlitsmælingunum 2020 mældist þrýstingurinn á 1700 m dýpi 116,8 bar sem er nánast jafnt metnum upphafsþrýstingi, líkt og þrýstingur á þessu dýpi mældist árin 2018 og 2019.

Myndir 18 og 19 sýna valdar hita- og þrýstimælingar frá 2017 til 2020 í holu ÞG-15 ásamt metnum berghitaferli og upphafsþrýstingi. Auk þess sýnir mynd 18 suðumarksferil sem svarar til þrýstimælingar 9. júní 2020.



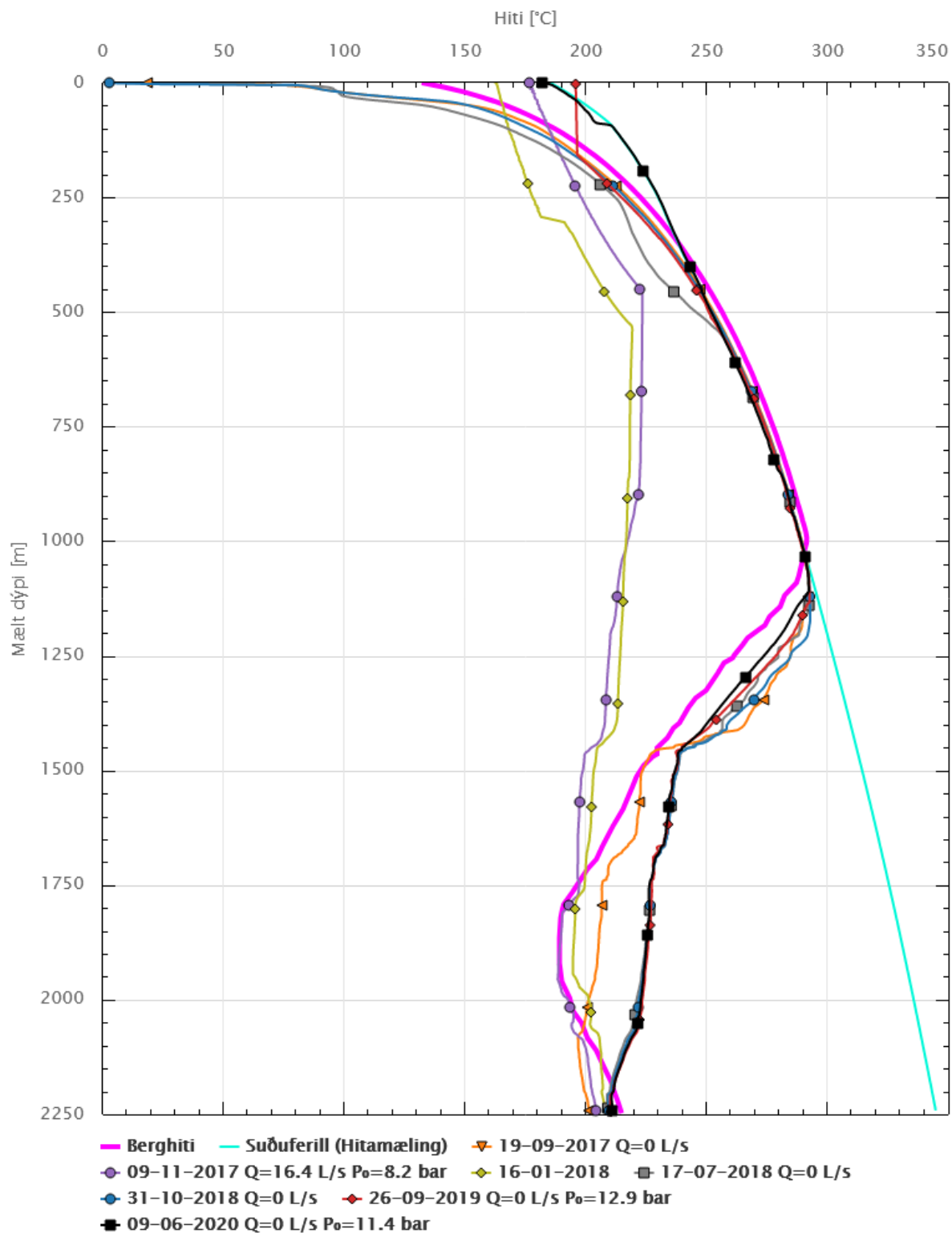
Mynd 16. Mælt hitastig í holu ÞG-15 á 1700 m dýpi ásamt metnum berghita á þessu sama dýpi. Mælingarnar árin 2018–2020 eru þær fyrstu sem eru hluti af eftirlitsmælingaferli í holunni og á þeim tíma hefur hiti á 1700 m dýpi haldizt stöðugur.



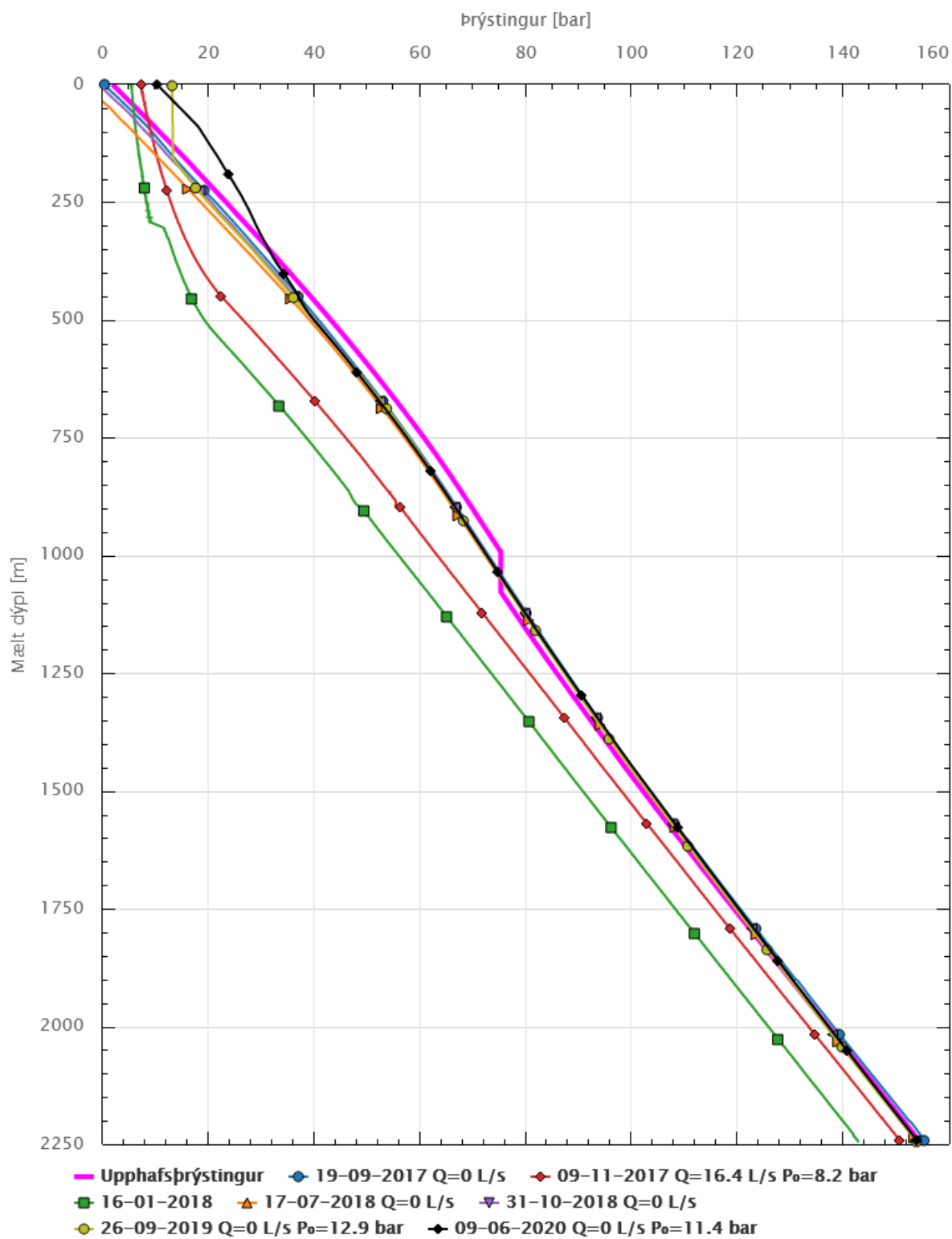
Mynd 17. Saga þrýstings á 1700 m dýpi í holu ÞG-15. Mælingarnar árin 2018–2020, sem eru þær fyrstu í eftirlitsmælingaferli í holunni, sýna að þrýstingur í 1700 m hefur haldizt stöðugur. Myndin sýnir einnig hina stuttu vinnslusögu holunnar sem og mældan toppþrýsting, bæði í og án vinnslu.

Þeistareykir

Hola ÞG-15



Mynd 18. Hitamælingar í holu ÞG-15 árin 2017–2020 ásamt metnum berghitaferli og suðumarksferli m.v. mældan þrýsting árið 2020.



Mynd 19. Þrýstimælingar í holu ÞG-15 frá 2017 til 2020 ásamt metnum upphafsprýstingi.

4.3 Hola ÞG-18

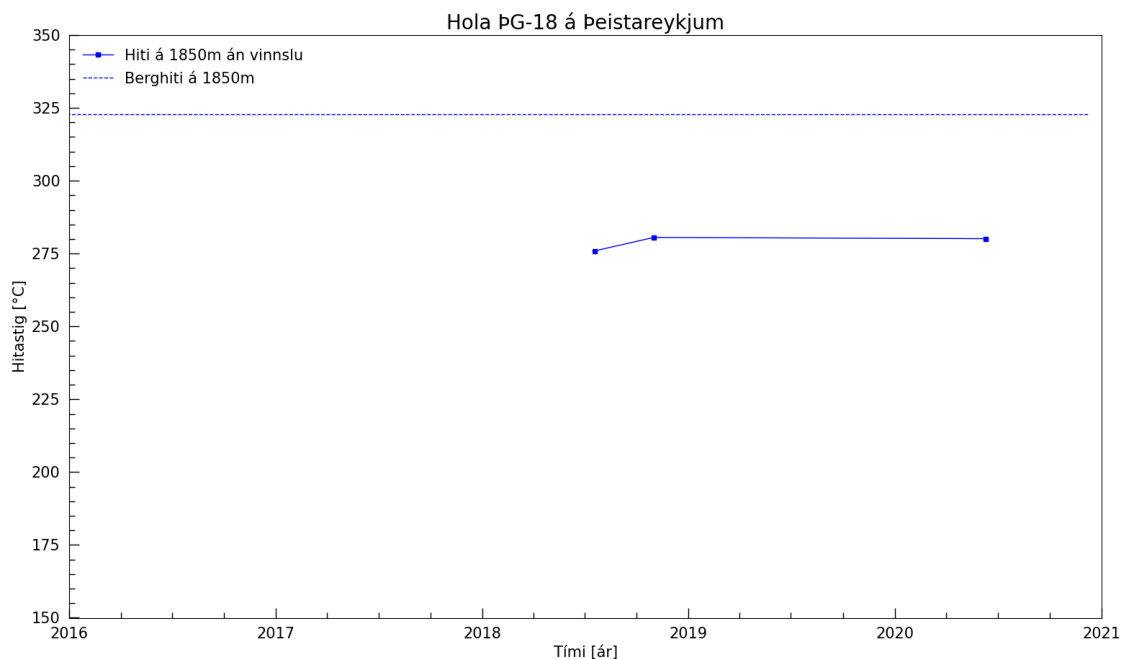
Hola ÞG-18 er stefnuboruð vinnsluhola fyrir Þeistareykjavirkjun. Hún er á borplani F (mynd 11) þar sem fyrir er holan ÞG-14. Borplanið liggur um 1 km norður af Bæjarfjalli. Holan stefnir til austurs í því augnamiði að skera sprungur vestur af og undir Ketilfjalli. Borun holunnar lauk 21. ágúst 2017 á 2644 m dýpi en mælingum og þrepaprófi lauk 29. ágúst. Holan mældist með litla lekt og var farið í að undirbúa blossaörvun sem var gerð 22. september 2017. Við borlok var ádælingarstuðull holunnar 0,8 (l/s)/bar. Eftir um þriggja vikna ádælingu fyrir blossaörvunina mældist ádælingarstuðullinn 1,2 (l/s)/bar og breyttist ekki við blossaörvunina (Sylvía Rakel Guðjónsdóttir o.fl., 2017).

Mynd 20 sýnir mælt hitastig í holu ÞG-18 á 1850 m dýpi ásamt metnum berghita á þessu sama dýpi. Í júní 2020 mældist hiti á þessu dýpi 280,1°C sem er 42,6°C lægri en metinn berghiti. Aðeins munar 0,4°C á milli mælinga í júní 2020 og lok október 2018.

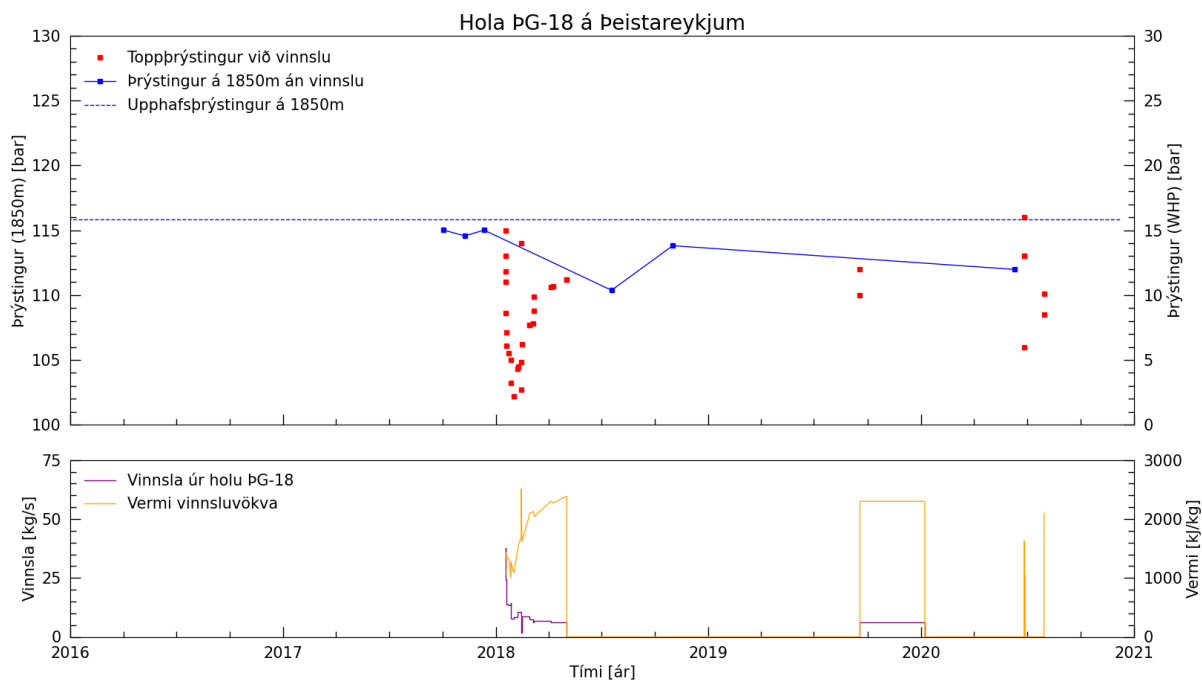
Mynd 21 sýnir vinnslusögu holu ÞG-18 frá upphafi en vinnsla, vermi og toppþrýstingur er úr skráningarkerfi Landsvirkjunar. Auk þess sýnir myndin mældan þrýsting á 1850 m dýpi sem var jafnvægisstaður þrýstings við upphitun. Í júní 2020 mældist þrýstingur þar 112,0 bar sem er 3,9 bar lægri en metinn upphafsþrýstingur. Í eftirlitsmælingum 31. október 2018 mældist þessi þrýstingur 113,8 bar, þ.e. 2,0 bar undir metnum upphafsþrýstingi. Við prófanir á holunni janúar til apríl 2018 jafnaðist vinnslan undir lok tímans út með 6,2 kg/s af vökva með um 2100 kJ/kg vermi við 10 bar toppþrýsting. Vinnsla í holunni í stuttan tíma undir lok árs 2019 gaf 6,5 kg/s af vökva með um 2300 kJ/kg í vermi við 10–15 bar toppþrýsting.

Myndir 22 og 23 sýna valdar hita- og þrýstimælingar í holu ÞG-18 árin 2018 og 2020 ásamt metnum berghita og upphafsþrýstingi. Auk þess sýnir mynd 22 suðumarksferil holunnar miðað við mældan þrýsting 9. júní 2020.

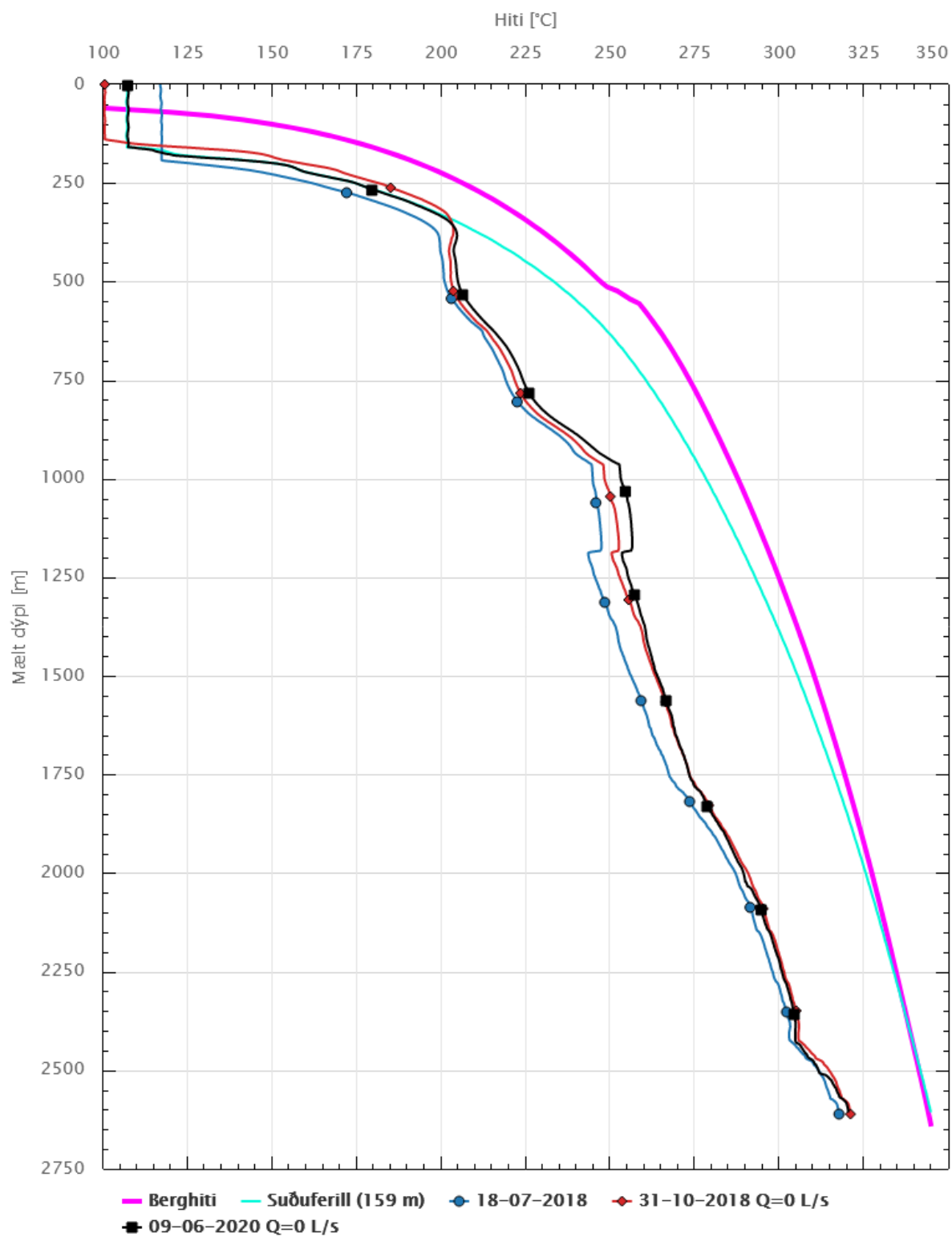
Hola ÞG-18 er mikilvægur hlekkur í vinnslueftirliti á Þeistareykjum vegna legu sinnar til austurs í átt að Ketilfjalli.



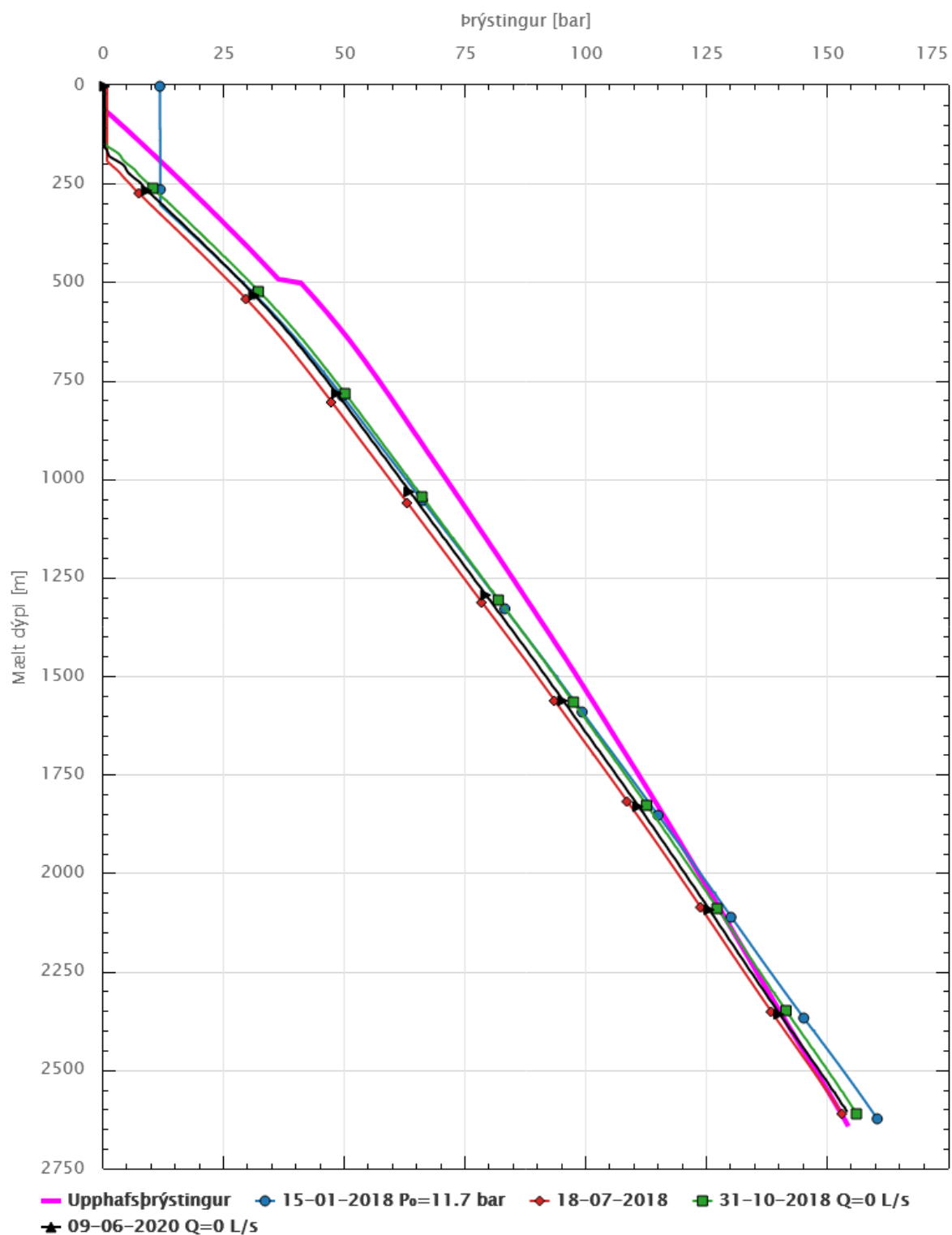
Mynd 20. Mælt hitastig í hól ÞG-18 á 1850 m dýpi ásamt metnum berghita á þessu sama dýpi. Lægri hiti í upphafi endurspeglar upphitunarferli eftir vinnsluprófun.



Mynd 21. Saga þrýstings á 1850 m dýpi í hól ÞG-18. Myndin sýnir einnig vinnslusögu holunnar sem (vinnsla og vermi) og mældan toppþrýsting.



Mynd 22. Hitamælingar í holu ÞG-18 árin 2018 til 2020 ásamt metnum berghitaferli og suðumarksferli m.v. mældan þrýsting 2020.



Mynd 23. Þrýstimælingar í hól ÞG-18 frá 2018 til 2020 ásamt metnum upphafsprýstingi.

4.4 Vatnsborð, vinnsla og niðurdæling

Vatnsborð hefur verið mælt í holum á Þeistareykjum frá 1975, fyrst afar stopult en frá 2004 hefur vatnsborð verið mælt reglulega og með tímanum hefur fjöldi holna aukist þar sem fylgst er með vatnsborði. Mynd 24 sýnir afstöðu holna ÞR-1, ÞR-2, ÞR-7, ÞR-8, ÞR-9, ÞR-10/10b og ÞR-15 til vinnslusvæðisins en þetta eru þær holur þar sem reglulegar vatnsborðsmælingar eru fyrirbyggjandi og mælt vatnsborð í þessum holum er sýnt á mynd 25. Grunnvatnsborð á Þeistareykjum liggur því á 80–120 m dýpi í þessum holum en mynd 26 sýnir vatnsborðsbreytingar í þeim þar sem miðað var við fyrstu vatnsborðsmælingu í hverri þeirra.

Holur ÞR-8 og ÞR-15 eru í mestri fjarlægð frá vinnslusvæðinu, 8,95 km og 9,46 km í norður frá borplani B (mynd 11), og er staðsetning holnanna í þessari umfjöllun miðuð við það. Hóla ÞR-1 er næst vinnslusvæðinu, 2,15 km í norður, hóla ÞR-2 er 2,81 km í suðsuðvestur, hóla ÞR-7 er 3,22 km í norðvestur, hóla ÞR-10/10b er 3,73 km í suðvestur og hóla ÞR-9 er 4,35 km norðnorðvestur frá borplani B (Þorsteinn Egilson, 2019a).

Fyrir vinnslu þessarar skýrslu um vinnslueftirlit á Þeistareykjum hafa borist ný gögn um vatnsborð í holum ÞR-7, ÞR-10 og ÞR-15, auk þess sem gögn um vatnsborð í holum ÞG-2 og ÞG-8 ná til júliloka 2020.

Árleg sveifla í vatnsborði er sjáanleg í öllum vatnsborðsholunum með lægstu stöðu um og eftir miðjan maí, um það leyti sem leysingarvatn síast niður í jarðveginn, en með hæsta stöðu eftir sumarlok, í september til október. Vatnsborðsbreytingarnar (mynd 26) fylgjast vel að. Frá 2006/2007 og fram til 2012 eru tiltæk gögn úr holum ÞR-2 og ÞR-8 en svo virðist sem vatnsborðsmælir í holu ÞR-2 lendi á þurru þegar vatnshæð í holunni verður lægri en 232,5 m y.s. Hóla ÞR-10/10b kemur inn í nóvember 2011, hóla ÞR-9 í júlí 2012, holur ÞR-7 og ÞR-15 eru með gögn frá í október 2014 og síðast kemur inn hóla ÞR-1 í janúar 2015 (Þorsteinn Egilson, 2019b). Eins og sjá má á mynd 26 er vatnsborðsbreytingin í ÞR-10 og ÞR-15 óvenju kröpp um það leyti sem leysingarvatnið fer að skila sér niður í jarðveginn, um og eftir miðjan maí. Ný gögn úr þessum holum benda ekki til neinna áhrifa vinnslu og/eða niðurdælingar á jarðhitavökva á Þeistareykjum

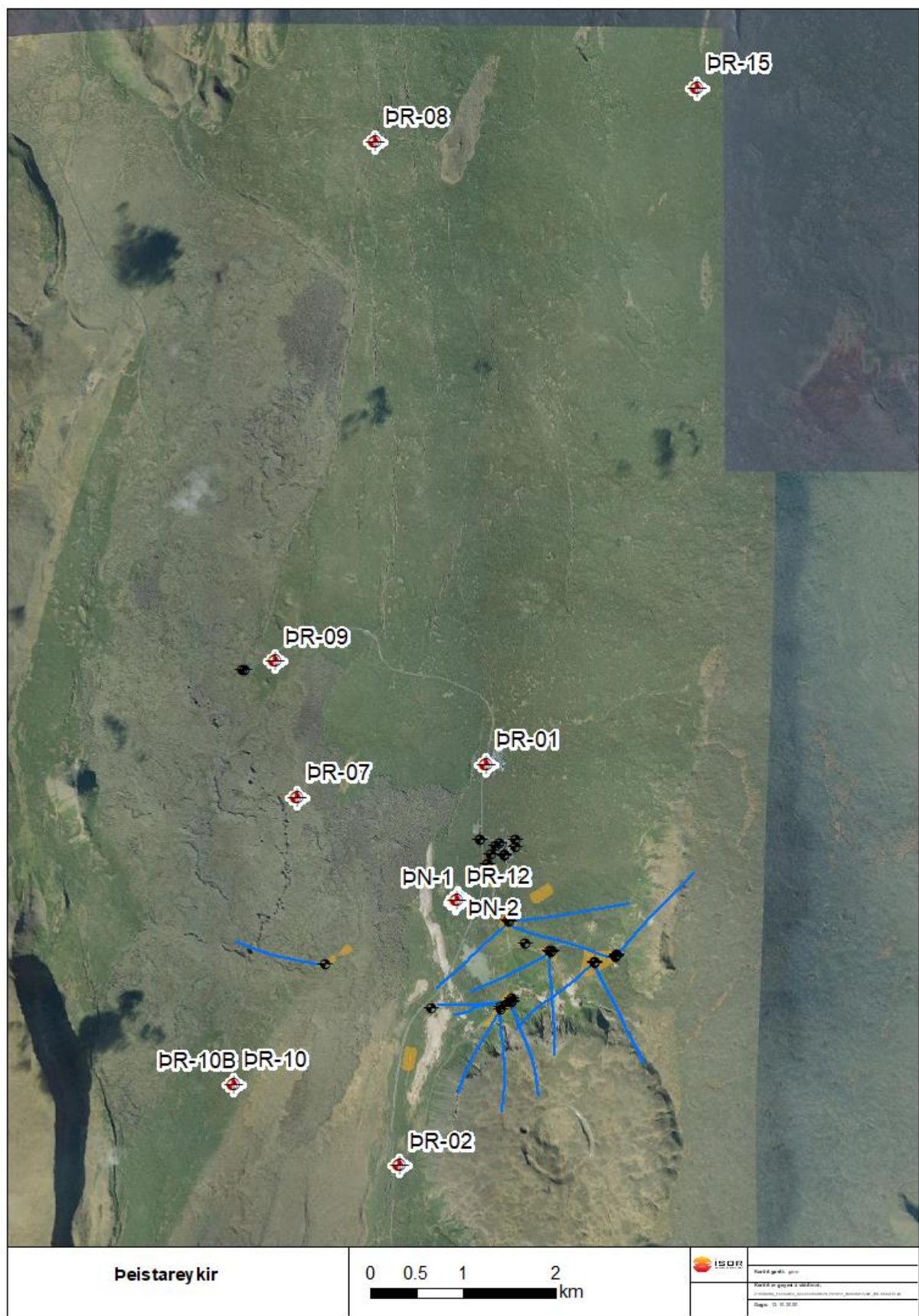
Vatnsborðsbreytingar fylgja að miklu leyti sama mynstri í öllum holum fram í janúar 2018 en þá verður eðlisbreyting á vatnsborði í holu ÞR-7 sem ekki sést í gögnum úr öðrum holum, enn sem komið er. Af því tilefni hefur vinnslan úr Þeistareykjakerfinu ásamt niðurdælingu verið samræmd vatnsborðinu í holunni og er niðurstaðan sýnd á mynd 26. Hækkun vatnsborðs í holu ÞR-7 er ekki í takti við þá vinnslu sem er í gangi úr svæðinu og nú er ljóst að vatnsborðshækkunin tengist niðurrennsli í holur ÞN-1, ÞN-2 og ÞR-12 sem eru í um 2,07 km fjarlægð frá ÞR-7 (mynd 24). Í fyrstu var niðurdælingin metin gróflega (Þorsteinn Egilson, 2019b) en frá júlí 2018 er niðurdælingin tengd sískráningarbúnaði.

Samkvæmt mælingaáætlun er stefnt að eftirlitsmælingum í holum ÞG-2 og ÞG-8 þegar síritanemar sem í þeim eru teknir upp en þær mælingar hafa ekki enn verið gerðar. Hóla ÞG-2 var síðast mæld 2015 (mynd 28) en hún er suðvestur af suðurenda Tjarnaráss og um 850 m vestan við borteig A þar sem holur ÞG-1, ÞG-4, ÞG-5b, ÞG-13 og ÞG-17 eru. Algjört skoltap varð í holunni á 657 m dýpi og flest bendir til að vatnsæð eða vatnsæðakerfi á því dýpi ráði lekt holunnar (Ásgrímur Guðmundsson o.fl., 2004). Hóla ÞG-8 er á borteig N á Vestursvæðinu og var hún boruð í 2503 m til vesturs undir Stóra-Hver en allmargar vatnsæðar voru greindar í holunni í 1680–2430 m og er sú helzta talin vera í 1680 m en ádælingarstuðull reyndist fremur lágur, 2,3 (l/s)/bar (Steinþór Níelsson o.fl., 2011). Hóla ÞG-8 var síðast hita- og þrýstimæld 19. nóvember 2015 og eru þær mælingar sýndar, ásamt nokkrum eldri, á mynd 29.

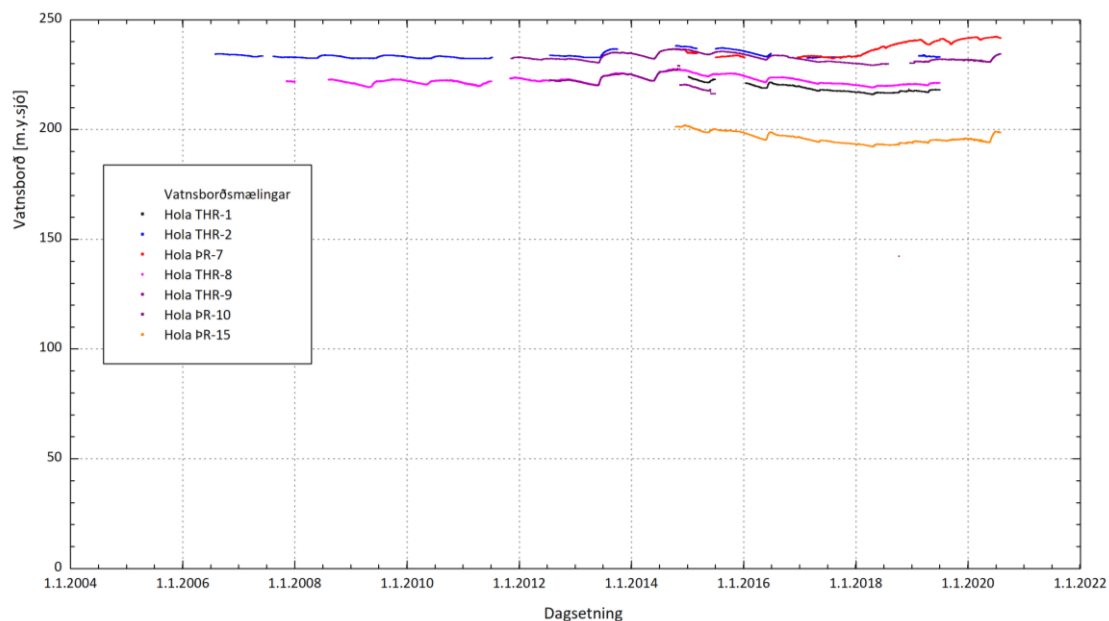
Hola ÞG-2 er um 1210 m suður af niðurdælingarteigi þar sem holur ÞN-1, ÞN-2 og ÞN-12 eru. Hola ÞG-8 liggur um 1570 m suðvestur af niðurdælingarteignum og hún er 1250 m vestnorðvestur af holu ÞG-2.

Mynd 27 sýnir vatnsborð í holum ÞR-7, ÞG-2 og ÞG-8 ásamt heildarvinnslu úr jarðhitakerfinu á Þeistareykjum og heildarniðurdælingu. Áhrif niðurdælingarinnar á vatnsborð í öllum þessum holum eru greinileg en ekki sjást nein bein áhrif vinnslu úr gufuholunum. Til að meta þessi áhrif frekar þarf að hita- og þrýstimæla holur ÞG-2 og ÞG-8 við gott tækifæri en auk þess fer einföld hermun gagnanna með þjöppuðu líkani að verða áhugaverð með aukinni gagnaröð.

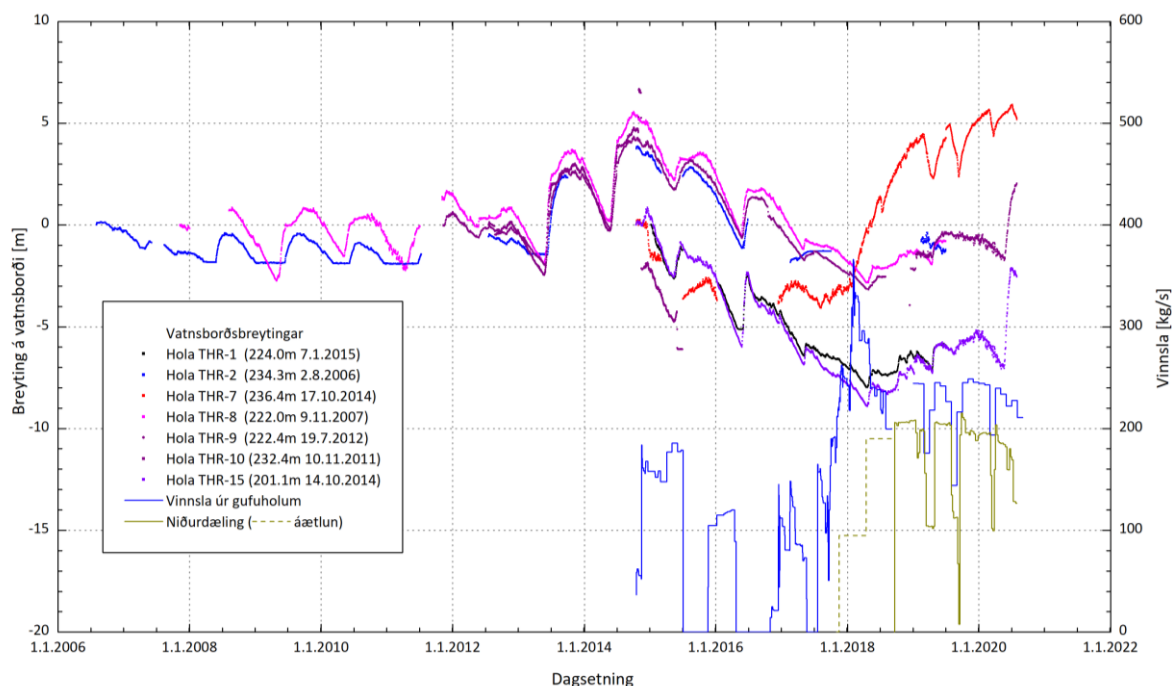
Víðtækar vatnsborðsmælingar í holum umhverfis vinnslusvæðið mynda góðan grunn fyrir mat á áhrifum langtíma vinnslu úr jarðhitakerfinu á Þeistareykjum en bent hefur verið á að vatnsborðsholu nærri Ketilfjalli austur eða austsuðaustur af holu ÞR-1 gæti verið góð viðbót (Þorsteinn Egilson, 2019b).



Mynd 24. Yfirlitsmynd sem sýnir staðsetningu holna þar sem vatnsborð er skráð með reglubundnum hætti.

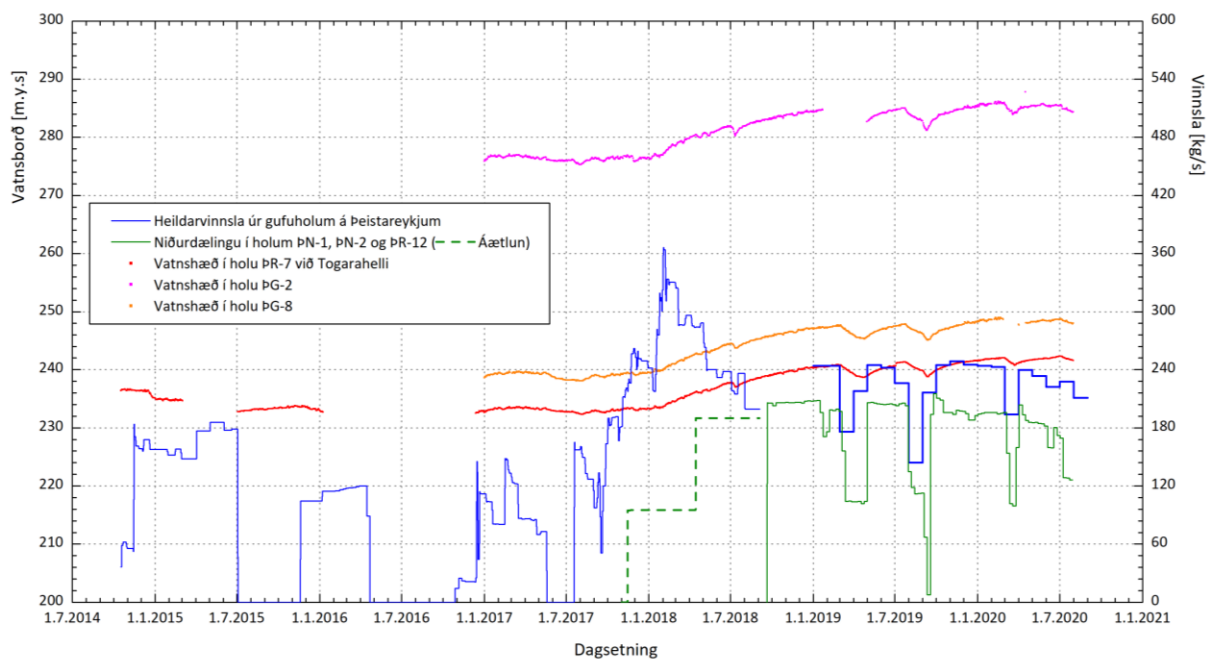


Mynd 25. Mæld vatnshæð í m y.s. í þeim holum sem notaðar eru til að fylgjast með vatnsborði m.t.t. vinnslu og niðurdælingar í jarðhitakerfinu á Þeistareykjum.

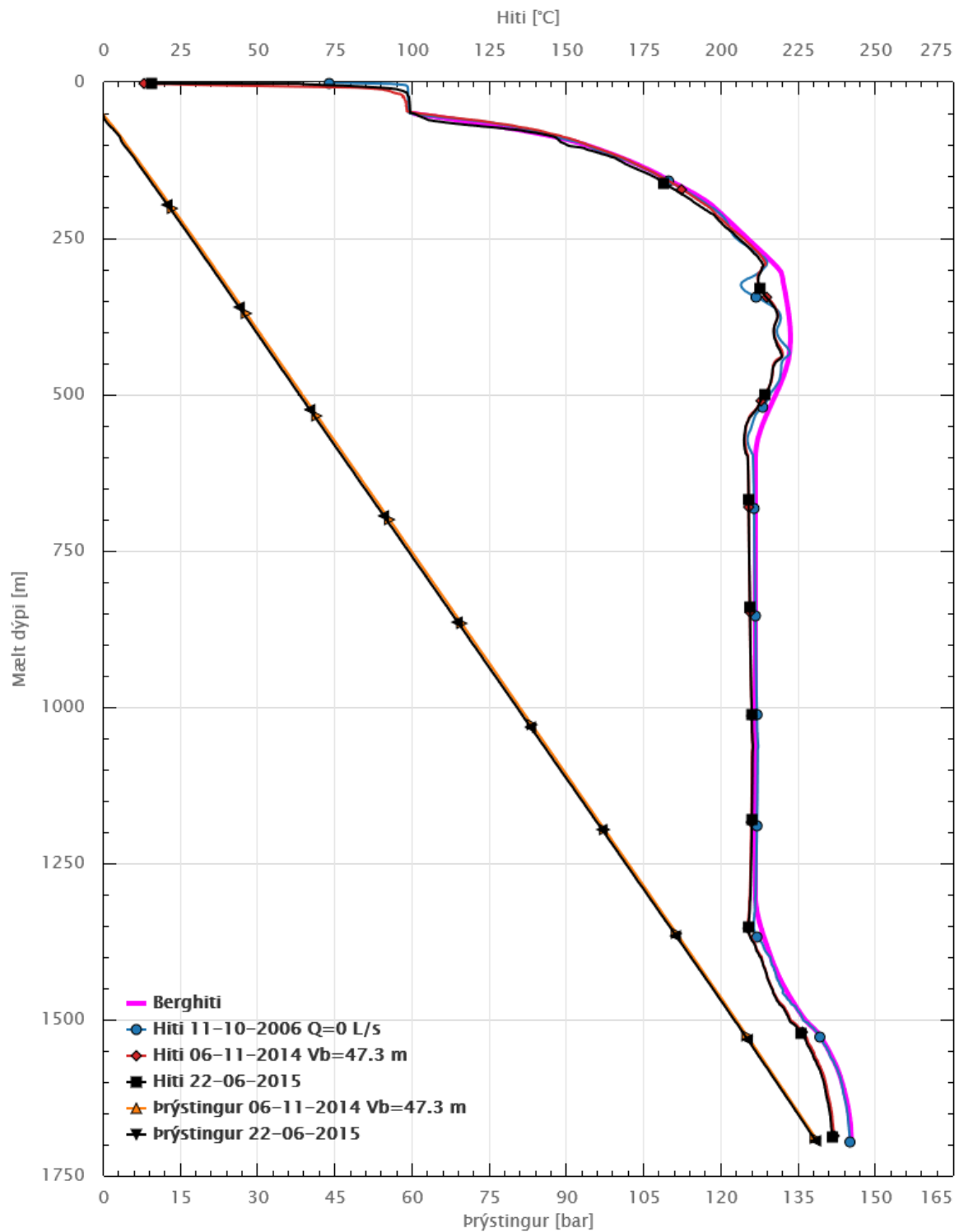


Mynd 26. Breytingar á vatnsborði í vatnsborðsholunum m.v. upphafsvatnsborð hverrar holu fyrir sig ásamt vinnslu og niðurdælingu frá 2014. Með neikvæðri breytingu er átt við lækun vatnsborðs.

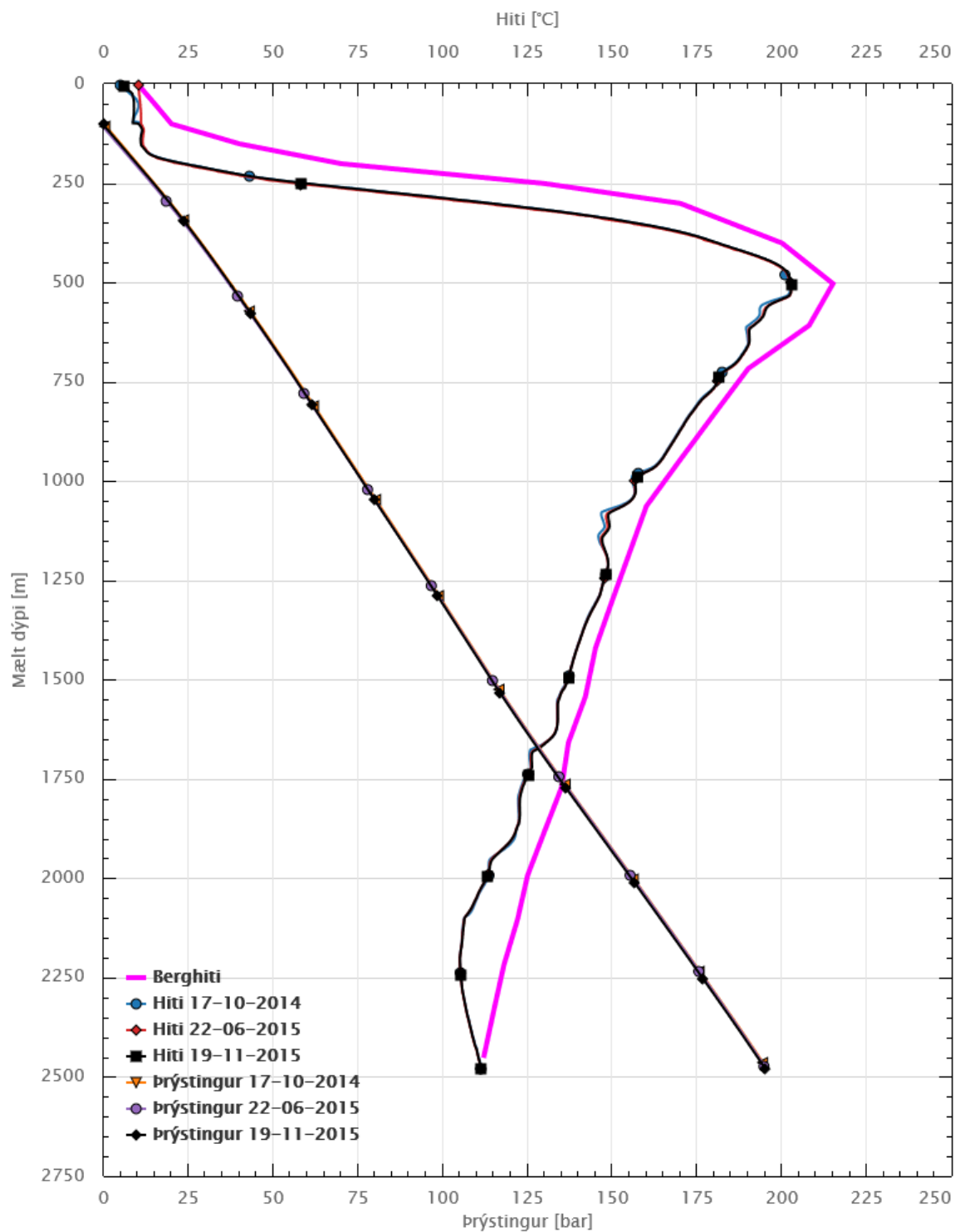
Vinnsla, niðurdæling og vatnsborð



Mynd 27. Mæld vatnsborðsstaða í holum ÞG-2, ÞG-8 og ÞR-7 á Þeistareykjum. Greinileg vatnsborðshækkun er samfara niðurdælingu í holur ÞN-1, ÞN-2 og ÞN-12. Áhrif frá vinnslu eru ekki greinanleg.



Mynd 28. Hita- og þrýstimælingar í holu ÞG-2 árin 2006–2015.



Mynd 29. Hita- og þrýstimælingar í holu ÞG-8 árin 2014–2015.

5 Samantekt

- Árlegar eftirlitsmælingar voru gerðar í Kröflu, Bjarnarflagi og á Þeistareykjum í júní 2020.
- Mældar voru holur KG-10 í Kröflu, hola B-5 í Bjarnarflagi og holur ÞG-1, ÞG-15 og ÞG-18 á Þeistareykjum.
- Tilraunir til mælinga í holu KJ-33 í Kröflu mistókust vegna vírhanka sem heftu för mælis.
- Hitinn á 800 m dýpi í holu KG-10 lækkaði um $0,1^{\circ}\text{C}$ milli ára sem er mun minna en þróun síðustu ára spáði fyrir um. Mælist í júní 2020 um $18,3^{\circ}\text{C}$ lægri en metinn berghiti.
- Þrýstingur á 800 m dýpi í holu KG-10 hækkaði um 0,1 bar frá 2019 til 2020.
- Sumarið 2020 var þrýstingur á 800 m dýpi í holu KG-10 0,3 bar lægri en metinn upphafsþrýstingur.
- Mælt er með tímabundinni rafrænni skráningu á vatnsborði í holu KG-10 til að fá skýra mynd af ártíðabundnum sveiflum.
- Hiti á 300 m dýpi í holu B-5 breytist lítið en mældist í júní 2020 um 7°C undir metnum berghita.
- Hiti á 600 m dýpi í holu B-5 lækkaði um $2,8^{\circ}\text{C}$ frá 2018 og mældist í júní 2020 um 85°C undir metnum berghita.
- Frá 2017 hefur verið jöfn $1,3^{\circ}\text{C}/\text{ár}$ hitalækkun á 600 m dýpi í holu B-5.
- Þrýstingur á 600 m dýpi í holu B-5 mældist í júní 2020 um 0,3 bar undir metnum upphafsþrýstingi. Þrýstibreytingin frá síðustu mælingu 2018 var minni en 0,1 bar.
- Viðmiðunardýpi þrýstings í eftirlitsholum á Þeistareykjum er nærri því dýpi þar sem þrýstijafnvægi sást við upphitun á þeim: 1300 m í ÞG-1, 1700 m í ÞG-15 og 1850 m í ÞG-18.
- Sambærilegar mælingar á 14. degi vinnsluhlés sýna ekki hitabreytingu á 1300 m dýpi í ÞG-1 og mælist hitinn þar um 62°C undir metnum berghita.
- Á 1800 m dýpi í holu ÞG-1 er jöfn $2,17^{\circ}\text{C}$ kólnun frá 2018 og í júní 2020 mældist hiti þar rúmar 24°C undir metnum berghita.
- Sambærilegar mælingar á 14. degi vinnsluhlés sýna stöðugan þrýsting á 1300 m dýpi í holu ÞG-1 sem er um 5,6 bar undir metnum upphafsþrýstingi. Þrýstiniðurdráttur vegna vinnslu er merkjanlegur í holunni.
- Hitinn á 1700 m dýpi í holu ÞG-15 breytist ekki á milli ára og er um 25°C hærri en metinn berghiti á þessu dýpi.
- Þrýstingurinn á 1700 m dýpi í holu ÞG-15 breytist ekki milli ára og mælist nánast jafnt metnum upphafsþrýstingi.
- Hitinn á 1850 m dýpi í holu ÞG-18 mældist $42,6^{\circ}\text{C}$ undir metnum berghita og $0,4^{\circ}\text{C}$ lægri en í október 2018.
- Þrýstingur í 1850 m mældist 3,9 bar undir metnum upphafsþrýstingi og hefur lækkað um tæp 2 bar síðan í október 2018.
- Holur ÞG-1, ÞG-15 og ÞG-18 eru, ásamt holum ÞG-1 og ÞG-8, taldar góður kostur til að vakta hita- og þrýstibreytingar sem tengjast gufuvinnslu úr núverandi vinnslusvæðum á Þeistareykjum.

- Víðtækar vatnsborðsmælingar í holum utan við vinnslusvæðið mynda góðan grunn fyrir mat á áhrifum langtímaþinnslu úr jarðhitakerfinu á Þeistareykjum.
- Engin vatnsborðsholnanna á Þeistareykjum sýnir, enn sem komið er, merki um niðurdrátt vegna þinnslu úr jarðhitakerfinu þar.
- Vatnsborð í holu ÞR-7 við Togarahelli stjórnast mjög af niðurdælingu í jarðhitakerfið.
- Vatnsborð í holum ÞG-2 og ÞG-8 breytist í greinilegum takti við niðurdælingu á Þeistareykjum en áhrif þinnslu úr gufuholum eru ekki sjáanleg.
- Vatnsborðsmælingar eru í góðu horfi og mikilvægt að viðhalda því verkefni áfram af kostgæfni og meta hvort og hvar er æskilegt að bæta við vatnsborðsholum.
- Skráning á allri niðurdælingu frá virkjuninni er komin í gott horf og eru þau gögn vel aðgengileg.

6 Heimildir

- Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt Steingrímsson, Grímur Björnsson, Guðlaugur Hermannsson, Haraldur Sigurðsson, Hilmar Sigvaldason, Hjalti Franzson, Kjartan Birgisson, Sigurður Sveinn Jónsson, Sigvaldi Thordarson og Steinar Þór Guðlaugsson (1999). *Krafla, hola KJ-33. 3. áfangi: Borun vinnsluholu í 2011 m dýpi*. Orkustofnun, OS-99072, 38 bls.
- Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt Steingrímsson, Sæþór L. Jónsson og Sverrir Þórhallsson (1989). *Borholur í Bjarnarflagi*. Orkustofnun, OS-89046/JHD-21B, 93 bls.
- Ásgrímur Guðmundsson, Bjarni Gautason, Grímur Björnsson, Þorsteinn Egilson og Sveinbjörn Þórisson (2004). *Rannsóknarborun á Þeistareykjum – Hola ÞG-2. 3. áfangi: Borun vinnsluhluta í 1723 m dýpi*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2004/034, 58 bls.
- Ásgrímur Guðmundsson, Bjarni Gautason, Sigvaldi Thordarson, Þorsteinn Egilson og Sveinbjörn Þórisson (2002). *Rannsóknarborun á Þeistareykjum. Hola ÞG-1 : 3. áfangi: Borun Vinnsluhluta í 1953 m*. Orkustofnun, OS-2002/079.
- Benedikt Steingrímsson og Grímur Björnsson (1995). *Borholumælingar í Kröflu og Bjarnarflagi árið 1994*. Orkustofnun, OS-95024/JHD-17, 62 bls.
- Hrefna Kristmannsdóttir og Jan Svantesson (1978). *Greining á á útfellingum úr borholum KJ-7, KG-10 og KJ-9 í Kröflu*. Orkustofnun, OD-JHD-78/20, 33 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.
- Magnús Á. Sigurgeirsson, Sýlvía Rakel Guðjónsdóttir, Ragnheiður S. Ásgeirsdóttir, Hörður H. Tryggvason, Þorsteinn Egilson, Valdís Guðmundsdóttir, Bjarni Steinar Gunnarsson, Sigurjón Vilhjálmsson, Heimir Ingimarsson, Friðgeir Pétursson og Halldór Ingólfsson (2017). *Þeistareykir – Well ÞG-15. Phase 3: Drilling for a 7" Perforated Liner down to 2260 m*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2017/036, 165 bls.
- Steinþór Níelsson, Þorsteinn Egilson, Sveinborg Hlíf Gunnarsdóttir, Halldór Ö. Stefánsson, Haraldur Jónasson, Hörður Tryggvason og Sigurjón Vilhjálmsson (2011). *Þeistareykir – Hola ÞG-8, 3. áfangi: Borsaga. Borun vinnsluhluta með 8½" krónu frá 1495 m í 2503 m dýpi*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2011/080, 69 bls.
- Sýlvía Rakel Guðjónsdóttir, Magnús Á. Sigurgeirsson, Ragnheiður S. Ásgeirsdóttir, Þorsteinn Egilson, Valdís Guðmundsdóttir, Hörður H. Tryggvason, Friðgeir Pétursson, Halldór Ingólfsson, Halldór Örvar Stefánsson, Björn Már Sveinbjörnsson, Haraldur Jónasson, Heimir Ingimarsson and Sigurjón Vilhjálmsson (2017). *Þeistareykir – Well ÞG-18. Phase 3: Drilling for a 7" Perforated Liner down to 2644 m*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2017/078, 123 bls.
- Trausti Hauksson (2019). *Þeistareykir, Krafla og Bjarnarflag. Afköst borholna og efnainnihald vatns og gufu í borholum og vinnslurás árið 2018*. Landsvirkjun, LV-2019-026, 86 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 (2017a). *Eftirlitsmælingar í Kröflu og Bjarnarflagi árið 2016*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2017/003, Landsvirkjun, LV-2017-006 , 38 bls.

- Þorsteinn Egilson (2017b). *Þeistareykir. Holur ÞG-14 og ÞG-15. Blástursmælingar í nóvember 2017*. Íslenskar orkurannsóknir, greinargerð ÍSOR-17091, 11 bls.
- Þorsteinn Egilson (2019a). *Þeistareykir. Eftirlitmælingar árið 2018*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2019/029, Landsvirkjun, LV-2019-034, 40 bls.
- Þorsteinn Egilson (2019b). *Eftirlitmælingar í Kröflu, Bjarnarflagi og á Þeistareykjum árið 2019*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2019/078, Landsvirkjun, LV-2019-082, 77 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.
- Þorsteinn Egilson, Friðgeir Pétursson og Arnar Már Vilhjálmsson (2018). *Eftirlitmælingar í Kröflu og Bjarnarflagi 2018*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2018/066, Landsvirkjun, LV-2018-075, 54 bls.
- Þorsteinn Egilson, Hörður H. Tryggvason, Halldór Ingólfsson og Halldór Ö. Stefánsson (2017). *Eftirlitmælingar í Kröflu og Bjarnarflagi 2017*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2017/084, Landsvirkjun, LV-2017-118, 44 bls.
- Þorsteinn Egilson, Hörður Tryggvason, Halldór Ingólfsson og Halldór Örvar Stefánsson (2014). *Eftirlitmælingar í Kröflu og Bjarnarflagi 2014*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/055, Landsvirkjun, LV-2014-128, 44 bls.
- Þorsteinn Egilson, Hörður Tryggvason og Björn Már Sveinbjörnsson (2015). *Eftirlitmælingar í Kröflu og Bjarnarflagi 2015*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2015/071, Landsvirkjun, LV-2015/132, 45 bls.

Viðauki: Minnisblöð mælingamanna

Yfirlit um mælingar sem gerðar voru sem hluti af vinnslueftirliti Landsvirkjunar í Kröflu, Bjarnarflagi og Þeistareykjum var sent út í formi minnisblaðs 15.6.2020.

Minnisblað um mælingar í Kröflu, Bjarnarflagi og á Þeistareykjum 8.–12.6.2020

Almennt um mælingar

Árlegar eftirlitsmælingar í Kröflu, Bjarnarflagi og á Þeistareykjum árið 2020 voru gerðar 8.–12. júní. Eftirfarandi dagskrá lá fyrir:

- Hita- og þrýstimælingar í holum ÞG-1, ÞG-15 og ÞG-18 á Þeistareykjum. Holu ÞG-1 var lokað 27. maí og skyldi mæld tveim vikum síðar þ. 10.6.
- Hita- og þrýstimælingar í holu B-5 í Bjarnarflagi.
- Hita- og þrýstimælingar í holu K-10 í Kröflu.
- Lóðun holu K-33 í Kröflu ásamt hita- og þrýstimælingum.

Eftirfarandi minnispunktar lýsa þessum mælingum.

8. júní

Mælingamaður (FP) fór frá Reykjavík með nýja mælikerru ÍSOR í eftirdragi og tók upp annan (ÞEg) á Akureyri áður en farið var með mælikerruna inn á Þeistareyki þar sem mælingatörn átti að hefast daginn eftir. Eftir það var ekið til gistingar í Kröflu en vegna COVID-19 var ekki boðið upp á gistimöguleika í búðunum á Þeistareykjum. Ástand vegar um inn á Þeistareyki af Hólasandsvegi bauð ekki upp á að ný mælikerra ÍSOR (mynd V1) yrði dregin þá leið.



Mynd V1. Mælikerra ÍSOR í „aksjón“ við mælingar í holu B-5 í Bjarnarflagi.

9. júní

Eftir verkfund með Vésteini Vésteinssyni í Dyngju (áður Knútshús) þar sem farið var yfir öryggisatriði við mælingar í háhitaholum og fengið verkleyfi á gufuholusvæðum Landsvirkjunar var haldið út á Þeistareyki þar sem fyrirhugað var að mæla holur ÞG-15 og ÞG-18. Til aðstoðar við hífingar á mæliröri ÍSOR var Stefán Stefánsson, bifreiðarstjóri, vandvirkur og traustur kranamaður. Mælingar í báðum holum gengu vel og eru þær birtar með myndum V7 og V8 ásamt tilheyrandi suðumarksferli, metnum berghita og upphafsþrýstingi við holurnar.

10. júní

Farið úr Kröflu út á Þeistareyki til að mæla holu ÞG-1. Mælingar í henni gengu vel og eru þær birtar á mynd V9 ásamt tilheyrandi suðumarksferli, metnum berghita og upphafsþrýstingi við holuna. Holunni var lokað 27. maí 2020 og hún hafði því staðið lokað í nákvæmlega tvær vikur áður en mælingin var gerð.

Eftir mælingar í holu ÞG-1 á Þeistareykjum var haldið í Bjarnarflag þar sem hola B-5 var mæld en hún var síðast mæld sumarið 2018. Mælingar í holunni gengu vel og eru þær birtar á mynd V10 ásamt tilheyrandi suðumarksferli, metnum berghita og upphafsþrýstingi við holuna.

Úr Bjarnarflagi var haldið að Kröflu þar sem hola K-10 var mæld, en hún er mæld árlega. Mælingar í henni gengu vel og eru þær birtar með mynd V11 ásamt tilheyrandi suðumarksferli, metnum berghita og upphafsþrýstingi við holuna.

11. júní

Pennan dag var áætlað að mæla holu KJ-33 í Kröflu. Vegna atburða við fyrri mælingar og ferðir í holuna var ákveðið að byrja með lóðun. Í upphafi gekk lóðið aðeins 160 cm niður úr mæliröri og stöðvaðist þannig efst við T-tengingu holunnar inn á veitulögnina, sjá mynd V2. Við upptekt lóðsins úr mæliröri kom í ljós vírbútur sem hafði fest við það sem var vísbending um að vírhreiður væri að finna í T-tenginu inn á gufulögnina.

Í samráði við Anette K. Mortensen, verkefnisstjóra, og Stein Ágúst Steinsson, stöðvarstjóra, var ákveðið að loka aðalloka holunnar, fjarlægja 10" flansinn af holunni og líta á aðstæður við holutoppinn. Til aðstoðar við það verk voru sendir Ómar Zarioh frá LV og Karl Óskar Hólmgeirsson frá Vélsmiðjunni Grími. Í ljós kom vírhönk í T-tenginu, sjá mynd V3, og var hluti hennar dregin út með kranabílnum. Í framhaldinu var blástursröri komið fyrir á toppi holunnar og hún opnuð til að freista þess að losna við vírdræsu sem eftir var við holutoppinn. Í þeirri aðgerð þeytti holan af sér viðbótar vírhönk. Ekki hafa fengist upplýsingar um þyngd vírsins sem kom upp en hönkin er sýnd með sjá mynd V10.

Eftir að vír hafði verið losaður úr holutoppi var lóðinu komið fyrir í mæliröri fyrir aðra tilraun til lóðunar. Í þetta sinn gekk lóð vel niður úr lokasamstæðunni en á 1075,6 m dýpi stöðvaðist lóðið ítrekað aftur, þ.e. tæpum 13 m ofan við hengistykki leiðarans sem er á 1088 m. Eftir ítrekaðir tilraunir til að koma lóðinu neðar festist það um tíma. Togað var allt að 600 kgf og því togi haldið í rúmar 10 mínútur. Þá var slakað nokkra metra, eða niður fyrir þyngdarjafnvægispunkt, en við það losnaði lóðið og það dregið upp (mynd V6). Við skoðun á lóðinu þegar það kom upp sáust merki um að það hafi dregist með vír og það var ályktað að vírhönk sæti í og við hengistykkið (mynd V5). Það er því tilraunar virði að setja blástursstútinn á holuna og kanna hvort hún skili af sér meiri vír en ein tilgátan er að vírhönk neðan við aðallokann hafi skorist frá við lokun hans og sitji nú í hengistykki leiðarans.



Mynd V2. Örin sýnir hvar lóð stöðvaðist fyrir neðan 3" topploka holunnar.



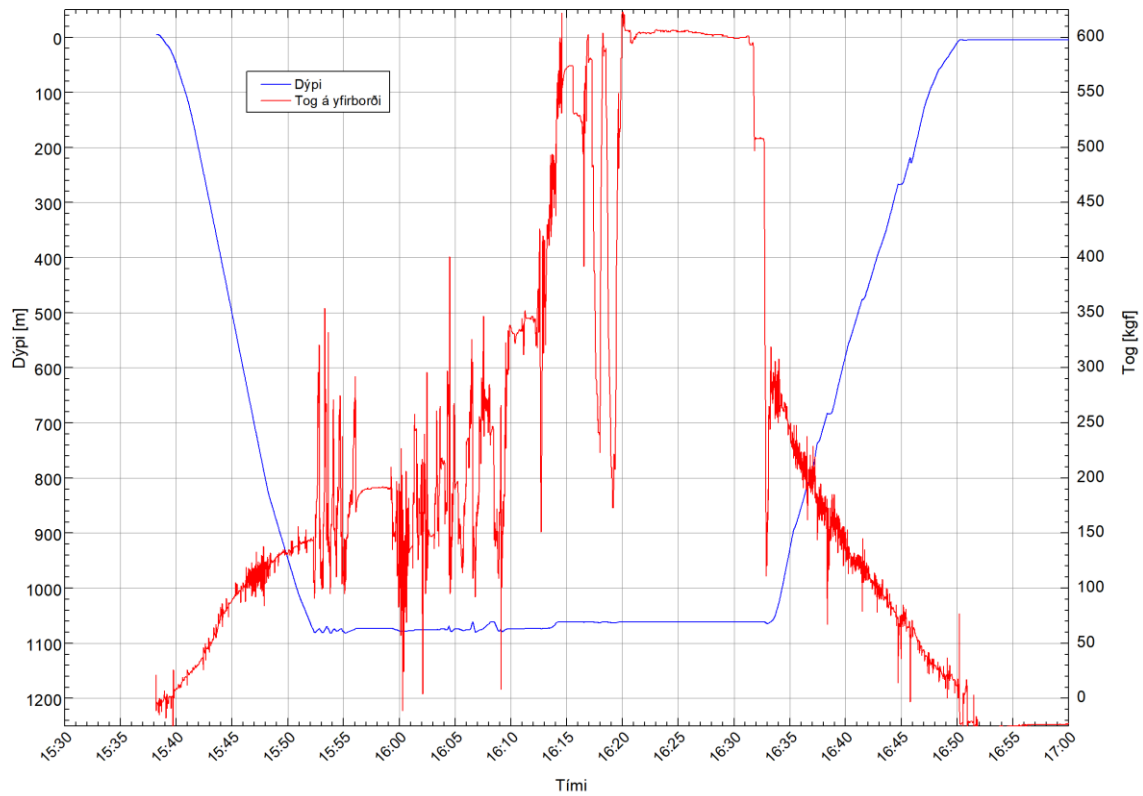
Mynd V3. Vírhreiður sem hefur fest í T-tengi gufulagnarinnar við holutoppinn. Líklegast síðan í desember 2019 er gerð var tilraun til að hleypa holunni upp.



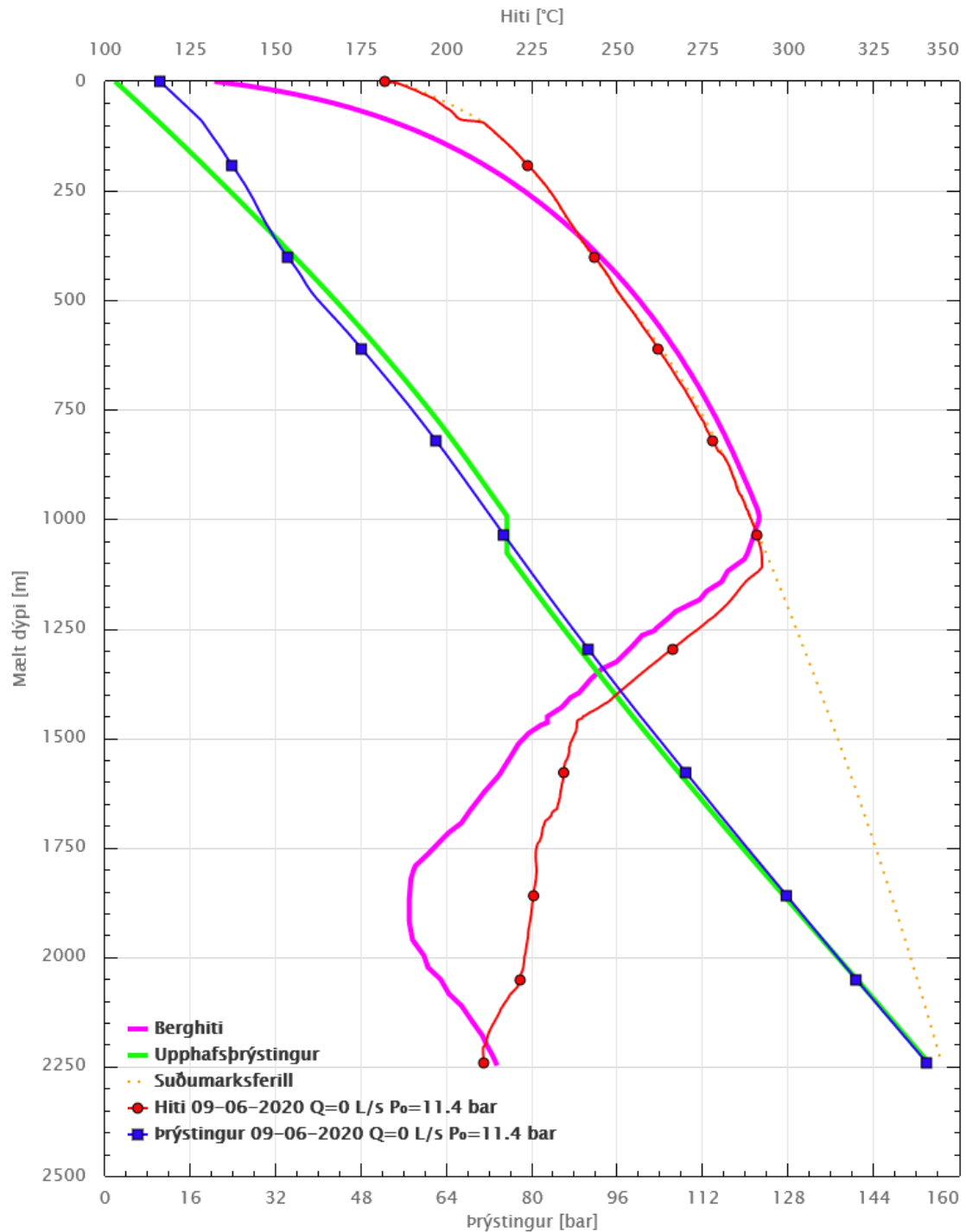
Mynd V4. Vírhankir sem náðust úr holu KJ-33 þann 11.júní 2020. Hluti vírs sem tapaðist í körfumælingu árið 2002.



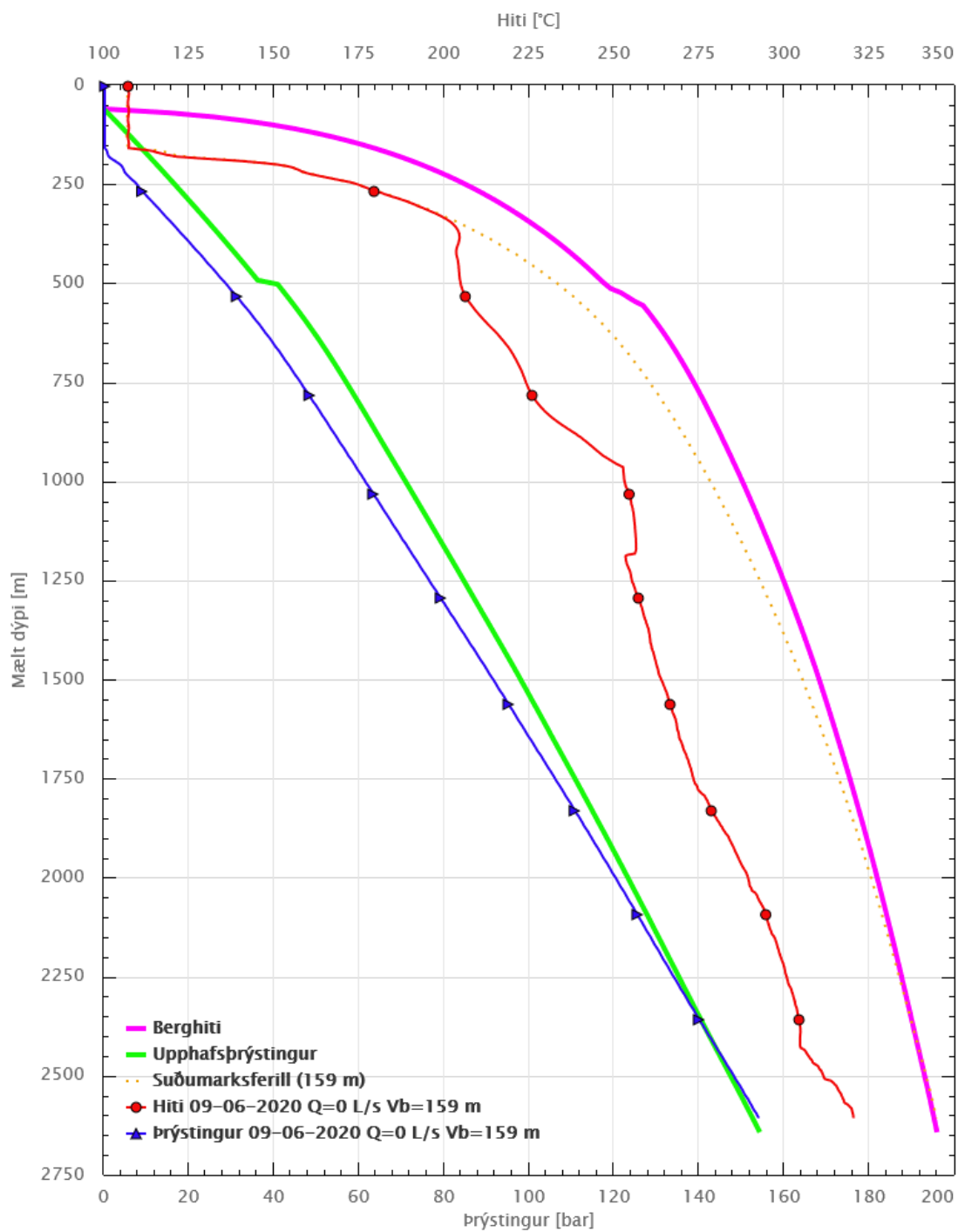
Mynd V5. Við skoðun á lóðinu þegar það kom úr festu á um 1070 m sáust merki um að það hafi dregist með vír, líklegast í vírhönk við hengistykkið.



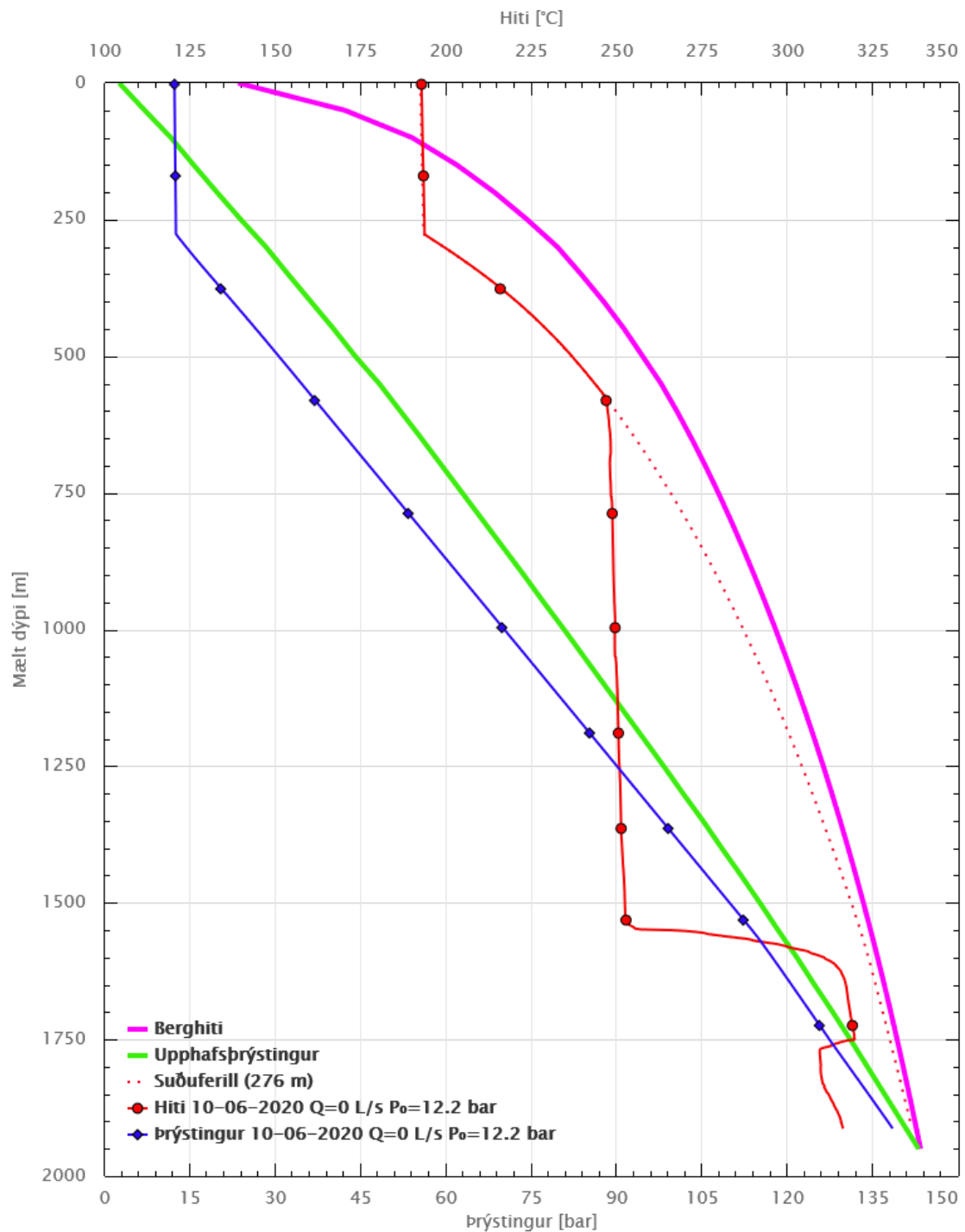
Mynd V6. Mældýpi og tog sem fall af tíma sem skráð var við lóðun holu K-33.



Mynd V7. Hita- og þrýstimælingar í holu ÞG-15 þann 9.júní 2020 ásamt suðumarksferli, metnum berghita og upphafsprýstingi við holuna.

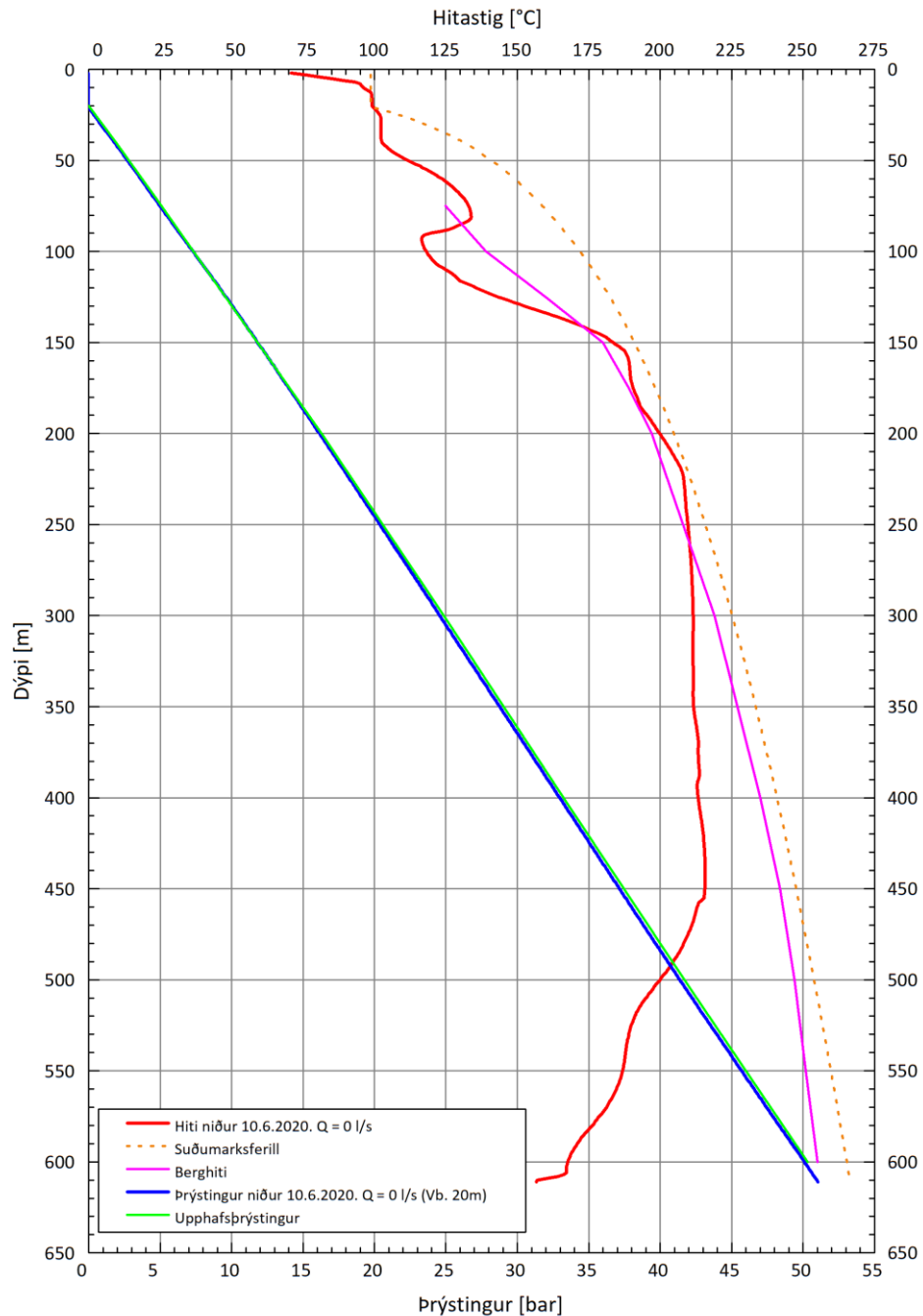


Mynd V8. Hita- og þrýstimælingar í hól ÞG-18 þann 9.júní 2020 ásamt suðumarksferli, metnum berghita og upphafsprýstingi við holuna.

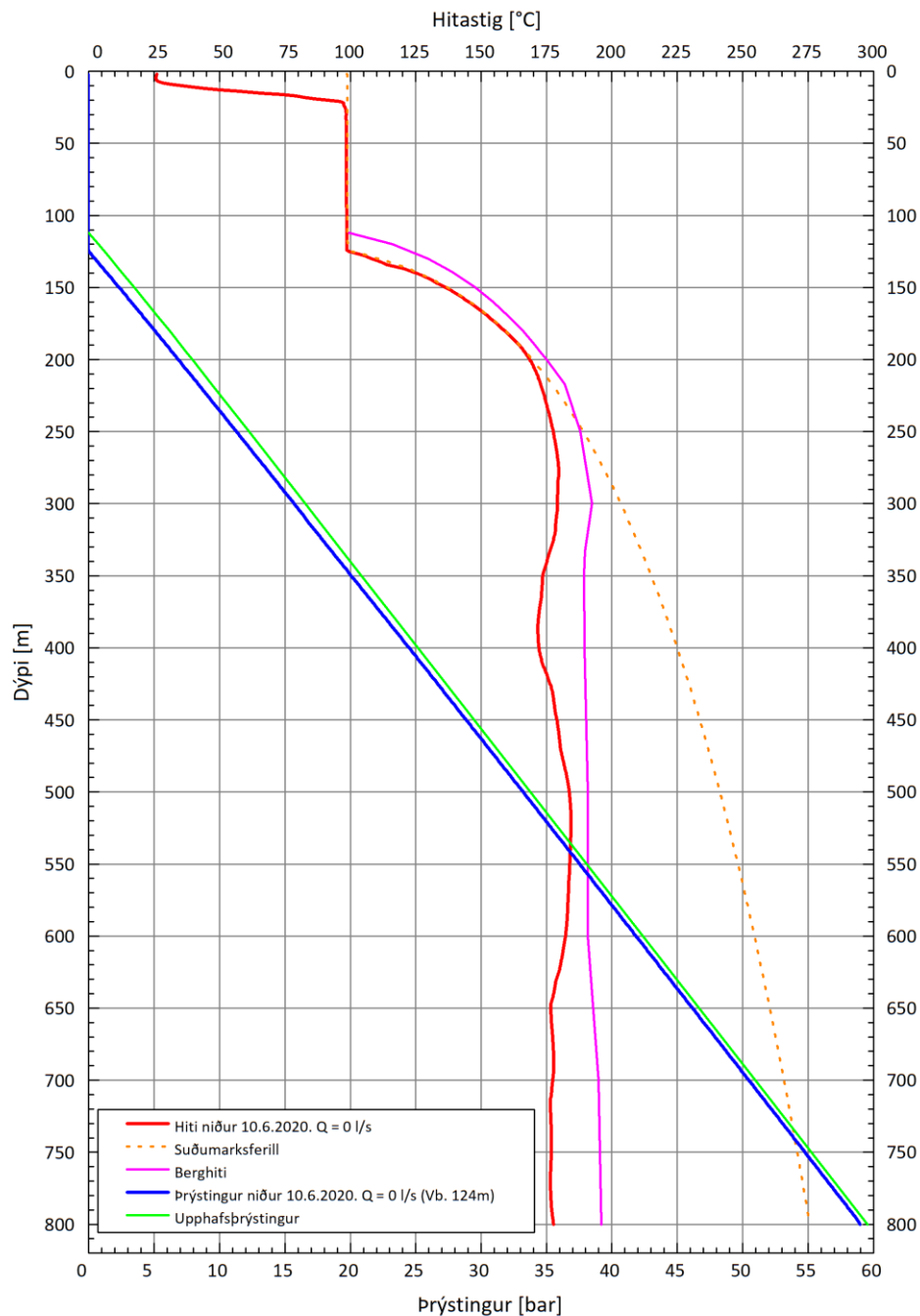


Mynd V9. Hita- og þrýstimælingar í hól ÞG-1 þann 10. júní 2020 ásamt suðumarksferli, metnum berghita og upphafsprýstingi við holuna.

Hola B-5



Mynd V10. Hita- og þrýstimælingar í holu B-5 þann 10. júní 2020 ásamt suðumarksferli, metnum berghita og upphafsprýstingi við holuna.



Mynd V11. Hita- og þrýstimælingar í holu K-10 þann 10. júní 2020 ásamt suðumarksferli, metnum berghita og upphafsþrýstingi við holuna.

*Dorsteinn Egilson
Friðgeir Pétursson*