



Cdrgpjgrq k Î jg l e \_ p đ l pEđjs\*  
@h \_ p l \_ pdj \_ eg me Ć Ūcgqr \_ pcw i h s k  
Ćpgå 0 . /7



# Eftirlitsmælingar í Kröflu, Bjarnarflagi og á Þeistareykjum árið 2019



ÍSOR-2019/078

Verknr. 19-0118

Desember 2019



## Lykilsíða



Skýrsla LV nr.: LV-2019-082

Dags: Desember 2019

Fjöldi síðna: 69

Upplag: 5

Dreifing:

- ☒ Birt á vef LV  
☒ Opin  
☐ Takmörkuð til

Titill: Eftirlitsmælingar í Kröflu, Bjarnarflagi og á Þeistareykjum árið 2019.

Höfundar/fyrirtæki: Þorsteinn Egilson

Verkefnisstjóri: Egill Júlíusson f.h. LV Bjarni Steinar Gunnarsson f.h. ÍSOR

Unnið fyrir: Unnið af Íslenskum orkurannsóknnum fyrir Landsvirkjun

Samvinnuaðilar:

Útdráttur:

Eftirlitsmælingar árið 2019 á jarðhitasvæðum Landsvirkjunar í Kröflu, Bjarnarflagi og á Þeistareykjum voru gerðar í ágúst og september. Kerfisbundin kæling í holu KG-10 (0,47°C/ár) hefur verið síðan 1976. Þrýstingur í 800 m hækkaði um 1,2 bar milli ára í holu KG-10 og er nú um 0,4 bar undir upphafsþrýstingi. Hóla KJ-18 hefur ekki alveg náð að jafna sig eftir ádælinguna 2015. Hóla KJ-11 í Leirbotnum var mæld sjöunda árið í röð. Hiti í 1350 m hækkaði um 1,2°C milli ára og þrýstingur hækkaði um 3,2 bar. Hóla KJ-21 við Hvíthóla var eftirlitsmæld, þriðja árið í röð. Jafnaðarbreyting í henni er 0,7°C/ár hitalækkun á 929 m dýpi. Breytingar sem sáust í hita og þrýstingi í holu B-2 í Bjarnarflagi eru að ganga til baka. Vatnsborðsbreytingar á Þeistareykjum sýna enn sem komið er ekki áhrif vinnslu úr kerfinu en vatnsborðshóla ÞR-7 er næm fyrir ádælingu og breytingum á henni.

Lykilorð:

Krafla, Bjarnarflag, Þeistareykir, jarðhitakerfi, borholur, eftirlitsmælingar, hitamælingar, þrýstimælingar, vatnsborð, niðurdráttur, niðurdæling, kólnun, KG-10, KJ-11, KJ-18, KJ-21, KG-26, ÞG-1, ÞG-6, ÞG-12, ÞG-15, ÞG-18, B58010, B58011, B58018, B58021, B58026, B-2, B-5, BJ-11, B58302, B58305, B58522, B60401, B60406, B60412, B60415, B60418, Landsvirkjun, ÍSOR

ISBN nr.:

Samþykki verkefnisstjóra  
Landsvirkjunar

Undirskrift verkefnisstjóra

Yfirfarið

Helga Tulinius



## Efnisyfirlit

|          |                                               |           |
|----------|-----------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Inngangur .....</b>                        | <b>9</b>  |
| <b>2</b> | <b>Eftirlitsmælingar í Kröflu.....</b>        | <b>10</b> |
| 2.1      | Hola KG-10.....                               | 12        |
| 2.2      | Hola KJ-11 .....                              | 16        |
| 2.3      | Hola KJ-18 .....                              | 20        |
| 2.4      | Hola KJ-21 .....                              | 25        |
| 2.5      | Hola KG-26.....                               | 29        |
| <b>3</b> | <b>Eftirlitsmælingar í Bjarnarflagi .....</b> | <b>31</b> |
| 3.1      | Hola B-2 .....                                | 31        |
| 3.2      | Hola B-5 .....                                | 36        |
| 3.3      | Hola BJ-13.....                               | 36        |
| 3.4      | Hola BJ-14.....                               | 40        |
| 3.5      | Hola BJ-15.....                               | 40        |
| <b>4</b> | <b>Eftirlitsmælingar á Peistareykjum.....</b> | <b>45</b> |
| 4.1      | Hola PG-1 .....                               | 46        |
| 4.2      | Hola PG-6 .....                               | 50        |
| 4.3      | Hola PG-15 .....                              | 54        |
| 4.4      | Vatnsborðsmælingar.....                       | 58        |
| <b>5</b> | <b>Helstu niðurstöður .....</b>               | <b>62</b> |
| <b>6</b> | <b>Heimildir .....</b>                        | <b>64</b> |
|          | <b>Viðauki: Minnisblöð mælingamanna .....</b> | <b>67</b> |

## Töflur

|          |                                                                                   |    |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tafla 1. | Yfirlit um hita- og þrýstimælingar í Kröflu- og Bjarnarflagsholum 2011–2019 ..... | 11 |
| Tafla 2. | Yfirlit um hita- og þrýstimælingar í Peistareykjaholum 2018 og 2019 .....         | 46 |

## Myndir

|         |                                                                                          |    |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Mynd 1. | Yfirlit um holustaðsetningu og holuferla stefnuboraðra holna í Kröflu. ....              | 10 |
| Mynd 2. | Saga hita á 800 m dýpi í holu KG-10 þar sem kerfisbundinnar kælingar gætir .....         | 13 |
| Mynd 3. | Þrýstingur í 800 m og vatnsborð í KG-10 ásamt vinnslusögu Leirbotna til ársins 2020. ... | 13 |
| Mynd 4. | Hitamælingar síðustu átta ára í holu KG-10 ásamt metnum berghitaferli.....               | 14 |
| Mynd 5. | Þrýstimælingar síðustu átta ára í holu KG-10 ásamt metnum upphafsþrýstingi 2010. ....    | 15 |
| Mynd 6. | Hin stutta saga hita á 1350 m dýpi í holu KJ-11 .....                                    | 17 |
| Mynd 7. | Hin stutta saga þrýstings á 1350 m dýpi í holu KJ-11 .....                               | 17 |
| Mynd 8. | Valdar hitamælingar úr holu KJ-11 í Kröflu ásamt metnum berghita .....                   | 18 |
| Mynd 9. | Nokkrar þrýstimælingar úr holu KJ-11 í Kröflu ásamt metnum upphafsþrýstingi.....         | 19 |

|                                                                                                                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Mynd 10. Saga hita á 1000, 2000 og 2180 m dýpi yfir þann tíma sem KJ-18 hefur verið notuð sem eftirlitshola .....                                                 | 21 |
| Mynd 11. Saga vatnsborðs og þrýstings á 1000 og 2000 m dýpi í holu KJ-18 ásamt vinnslu- og niðurdælingarsögu Suðurhlíða fram til 2020 .....                       | 21 |
| Mynd 12. Saga vatnsborðs og þrýstings á 1000 m dýpi í holu KJ-18 ásamt vinnslusögu Suðurhlíða fram til ársins 2020 .....                                          | 22 |
| Mynd 13. Hitamælingar síðustu átta ára í holu KJ-18 ásamt metnum berghitaferli .....                                                                              | 23 |
| Mynd 14. Þrýstimælingar síðustu átta ára í holu KJ-18 ásamt metnum upphafsþrýstingi .....                                                                         | 24 |
| Mynd 15. Saga hita á 929 m dýpi úr eftirlitsmælingum í holu KJ-21 frá 1982 .....                                                                                  | 26 |
| 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 2020 .....                | 26 |
| Mynd 17. Valdar hitamælingar úr eftirlitsmælingum í holu KJ-21 síðan 2003 ásamt metnum berg-hitaferli .....                                                       | 27 |
| Mynd 18. Valdar þrýstimælingar úr eftirlitsmælingum í holu KJ-21 síðan 2003 ásamt metnum upp-hafsþrýstingi .....                                                  | 28 |
| Mynd 19. Valdar þrýstimælingar notaðar til að fylgjast með vatnsborði í holu KG-26 .....                                                                          | 30 |
| Mynd 20. Yfirlitsmynd af staðsetningu og ferlum stefnuboraðra holna í Bjarnarflagi .....                                                                          | 31 |
| Mynd 21. Mældur hiti á 350 og 480 m dýpi í holu B-2 ásamt metnum berghita .....                                                                                   | 33 |
| Mynd 22. Mældur þrýstingur á 480 m dýpi í holu B-2 ásamt metnum upphafsþrýstingi og mældu vatnsborði .....                                                        | 33 |
| Mynd 23. Hitamælingar síðustu átta ára í holu B-2 ásamt metnum berghitaferli og suðumarksferli m.v. mældan þrýsting 2019 .....                                    | 34 |
| Mynd 24. Þrýstimælingar síðustu átta ára í holu B-2 ásamt metnum upphafsþrýstingi .....                                                                           | 35 |
| Mynd 25. Áður en holunni var hleypt upp mældist hún auðveldlega niður í 2195 m .....                                                                              | 37 |
| Mynd 26. Hitamælingar síðustu átta ára í holu BJ-13 ásamt metnum berghitaferli og suðumarksferli m.v. mældan þrýsting 2019 .....                                  | 38 |
| Mynd 27. Þrýstimælingar síðustu átta ára í holu BJ-13 ásamt metnum upphafsþrýstingi .....                                                                         | 39 |
| Mynd 28. Hita- og þrýstimælingar samhliða upphleypingu á holu BJ-15 .....                                                                                         | 41 |
| Mynd 29. Hitamælingar í holu BJ-13 2009 til 2019 ásamt metnum berghitaferli og suðumarksferli m.v. mældan þrýsting 2019 .....                                     | 42 |
| Mynd 30. Þrýstimælingar í holu BJ-15 frá 2009 til 2019 ásamt metnum upphafsþrýstingi .....                                                                        | 43 |
| Mynd 31. Mælt hitastig í BJ-15 á 1700 og 2600 m dýpi ásamt metnum berghita á sömu dýpum .....                                                                     | 44 |
| Mynd 32. Mældur þrýstingur í BJ-15 á 1700 m dýpi ásamt tilsvorandi upphafsþrýstingi, holutopp-þrýstingi og heildarvinnslu úr jarðhitakerfinu í Bjarnarflagi ..... | 44 |
| Mynd 33. Yfirlit um holustaðsetningu og holuferla stefnuboraðra holna á Þeistareykjum .....                                                                       | 45 |
| Mynd 34. Hin stutta saga hitastigs á 1300 m dýpi í holu ÞG-1 .....                                                                                                | 47 |
| Mynd 35. Hin stutta saga þrýstings á 1300 m dýpi í holu ÞG-1 .....                                                                                                | 47 |
| Mynd 36. Hitamælingar í holu ÞG-1 árin 2012 til 2019 ásamt metnum berghitaferli og suðumarks-ferli m.v. mældan þrýsting 2019 .....                                | 48 |
| Mynd 37. Þrýstimælingar í holu ÞG-1 frá 2011 til 2019 ásamt metnum upphafsþrýstingi .....                                                                         | 49 |
| Mynd 38. Hin stutta saga hitastigs á 1500 m dýpi í holu ÞG-1 .....                                                                                                | 51 |
| Mynd 39. Mældur þrýstingur í holu ÞG-6 á 1500 m dýpi ásamt tilsvorandi upphafsþrýstingi, holu-toppsþrýstingi og vinnslu úr holunni frá upphafi .....              | 51 |



|                                                                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Mynd 40. Hitamælingar í holu ÞG-6 árin 2008 til 2019 ásamt metnum berghitaferli og suðumarksferli m.v. mældan þrýsting 2019 .....                                   | 52 |
| Mynd 41. Þrýstimælingar í holu ÞG-6 frá 2008 til 2019 ásamt metnum upphafsþrýstingi.....                                                                            | 53 |
| Mynd 42. Mælt hitastig í holu ÞG-15 á 1700 m dýpi ásamt metnum berghita á þessu sama dýpi ....                                                                      | 55 |
| Mynd 43. Hin stutta saga þrýstings á 1700 m dýpi í holu ÞG-15 .....                                                                                                 | 55 |
| Mynd 44. Hitamælingar í holu ÞG-15 árin 2017 til 2019 ásamt metnum berghitaferli og suðumarksferli m.v. mældan þrýsting 2019 .....                                  | 56 |
| Mynd 45. Þrýstimælingar í holu ÞG-15 frá 2017 til 2019 ásamt metnum upphafsþrýstingi.....                                                                           | 57 |
| Mynd 46. Yfirlitsmynd sem sýnir staðsetn. holna þar sem vatnsborð er skráð með reglubundnum hætti. ....                                                             | 59 |
| Mynd 47. Mælt vatnsborð 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..... | 60 |
| Mynd 48. Breytingar á vatnsborði í vatnsborðsholunum m.v. upphafsvatnsborð hverrar holu fyrir sig .....                                                             | 60 |
| Mynd 49. Samantekt vinnslu úr jarðhitakerfinu á Þeistareykjum og niðurdælingu í það í samhengi við mælt vatnsborð í holu ÞR-7 við Togarahelli. ....                 | 61 |



# 1 Inngangur

Í þessari skýrslu 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 í ágúst og september 2019. Minnisblöð mælingamanna um framkvæmd mælinganna eru birt í viðauka skýrslunnar.

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, 2017a). Árið 2019 voru gerðar hita- og þrýstimælingar í fjórum holum í Kröflu, KJ-11, KG-10, KJ-18 og KJ-21. Auk þess var vatnsborðið mælt í holu KG-26 og hola KJ-14 lóðuð. Hola KJ-21 var ekki beint mæld þetta árið sem hluti af vinnslueftirliti en hún var þó mæld 1. ágúst 2019 vegna djúpsýnarannsóknar, en holunni var lokað rétt fyrir mælingarnar og djúpsýnatökuna og var því í mikilli þrýsti-uppbyggingu á meðan mælingarnar fóru fram.

Helstu holur sem hafa verið notaðar undanfarna áratugi í Bjarnarflagi til eftirlits með hita og þrýstingi eru holur B-2 og B-5. Nú hefur fyrirkomulagi mælinganna verið breytt þannig að þær verða mældar annað hvert ár, hvor sitt árið. Að auki voru holur BJ-13 og BJ-15 mældar og er fjallað um það í þessari skýrslu. Árið 2018 var hola BJ-14 mæld sem hluti af vinnslueftirliti (Þorsteinn Egilson o.fl., 2018).

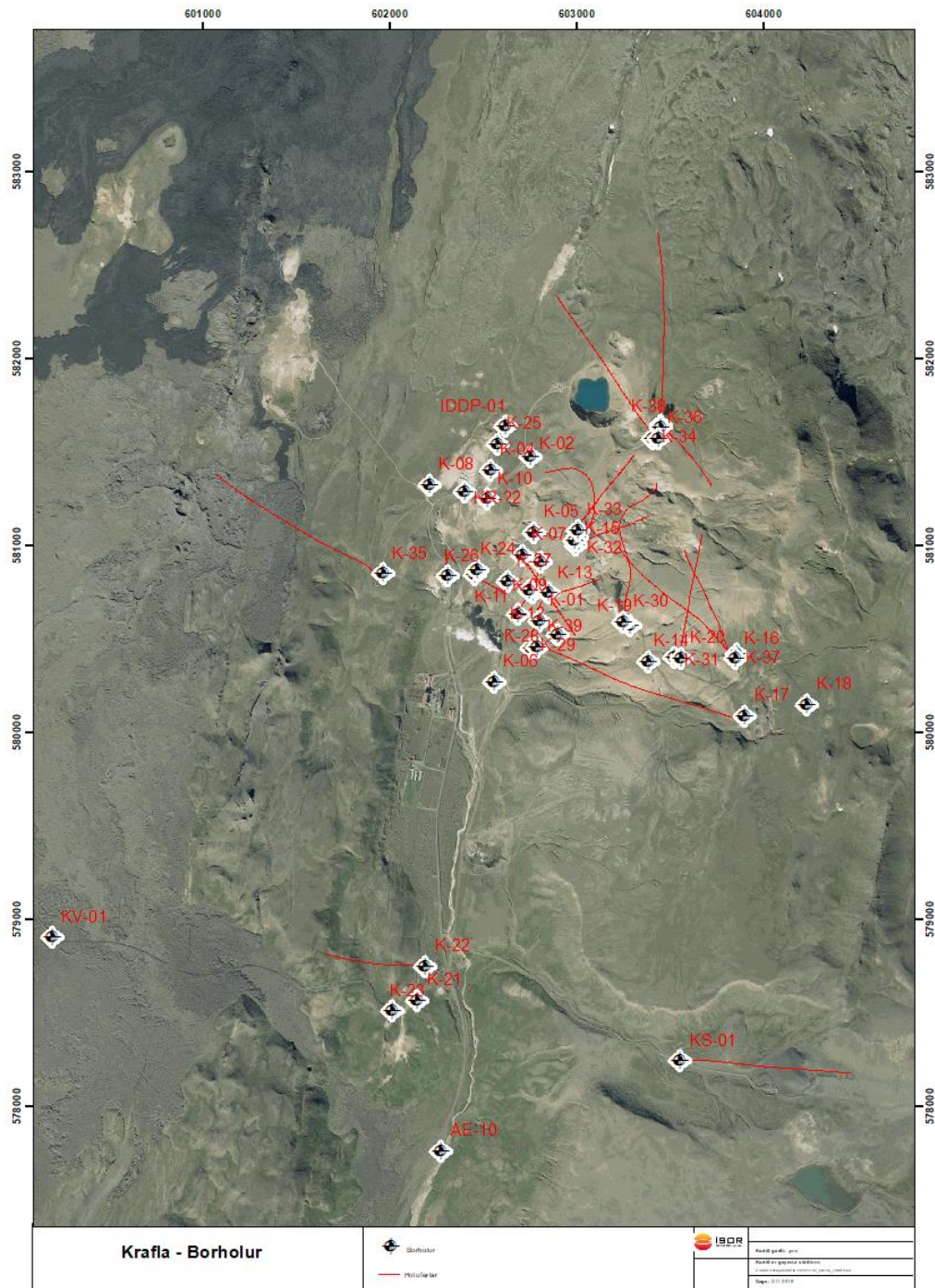
Saga eftirlitsmælinga á Þeistareykjum er stutt og skipulag þeirra enn í mótun. Árið 2019 voru þrjár holur hita- og þrýstimældar, PG-1, PG-6 og PG-15. Auk þess var hola PG-12 lóðuð.

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 2019.

## 2 Eftirlitsmælingar í Kröflu

Í Kröflu voru reglubundnar hita- og þrýstimælingar gerðar sumar og haust 2019 í holum KG-10, KJ-11 og KJ-18. Auk þess var KG-21 mæld eftir eins dags lokun 1. ágúst, hola KJ-14 lóðuð og tekin úr henni útfellingasýni (Sigurður Sveinn Jónsson, 2019) og hola KG-26 vatnsborðsmæld. Í töflu 1 er yfirlit um hita- og þrýstimælingar í Kröflu- og Bjarnarflagsholum frá 2010 til 2019.

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



**Tafla 1.** Yfirlit um hita- og þrýstimælingar í Kröflu- og Bjarnarflagsholum 2011–2019.

| Hóla   | 2011  |      | 2012  |      | 2013  |      | 2014  |      | 2015  |      | 2016  |      | 2017  |      | 2018  |      | 2019  |      |
|--------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|
|        | Dags. | Dýpi | Dags. | Dýpi | Dags. | Dýpi | Dags. | Dýpi | Dags. | Dýpi | Dags. | Dýpi | Dags. | Dýpi | Dags. | Dýpi | Dags. | Dýpi |
| KJ-6   | 11/8  | 1200 | 4/7   | 1200 | -     | -    | -     | -    | 25/6  | 1200 | -     | -    | -     | -    | -     | -    | -     | -    |
| KG-10  | 11/8  | 800  | 5/7   | 800  | 10/9  | 805  | 5/7   | 800  | 24/6  | 800  | 6/8   | 800  | 13/8  | 800  | 3/9   | 800  | 13/8  | 800  |
| KJ-18  | 14/8  | 2195 | 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    | 1/12  | 490  | 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    | 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 | -     | -    |
| BJ-13  |       |      |       |      |       |      |       |      |       |      |       |      |       |      |       |      | 23/9  | 860  |
| B J-15 |       |      |       |      |       |      |       |      |       |      |       |      |       |      |       |      | 23/9  | 2611 |
|        |       |      |       |      |       |      |       |      |       |      |       |      |       |      |       |      |       |      |

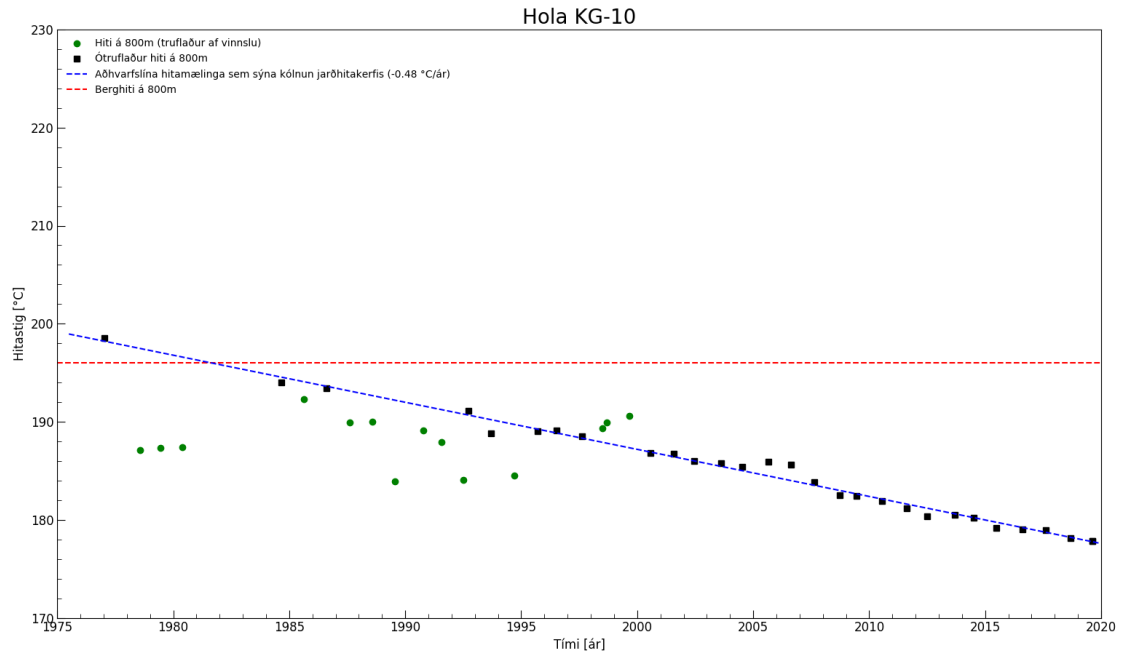
## 2.1 Hola KG-10

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 trúlegast 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. 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).

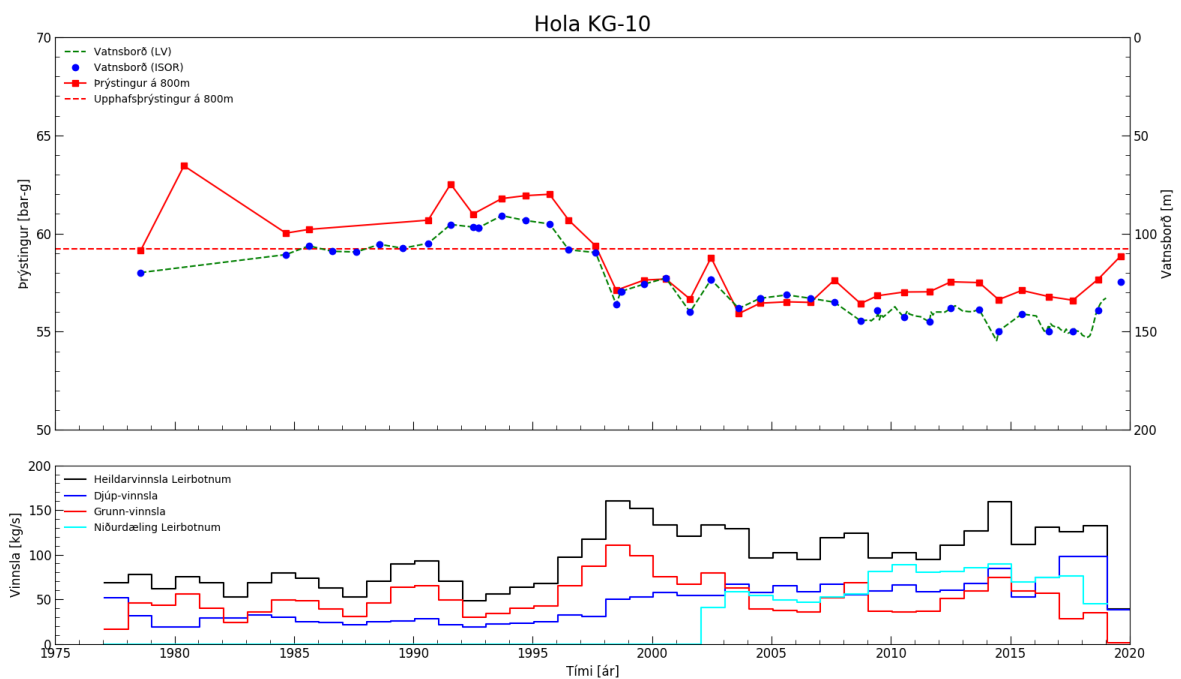
Eftirlitsmælingar ársins 2019 voru gerðar í holu KG-10 þann 13. ágúst. Mynd 2 sýnir mældan hita á 800 m dýpi í holunni frá 1976 til 2019. Fram til ársins 1999 var nokkurt flökt á mældum hita á þessu dýpi og er vinnsla úr holu KG-24 að hluta til talin ábyrg fyrir því (Benedikt Steingrímsson og Grímur Björnsson, 1995) en sú hola vinnur úr Efra-Leirbotnakerfinu nærri holu KG-10. Frá árinu 2000 gætir þessa flöks óverulega og síðan þá er stöðug kólnun á 800 m dýpi greinileg. Að teknu tilliti til umrædds hitaflöks 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 2019 fylgir þessari þróun. Hitinn á 800 m dýpi í holu KG-10 mældist 177,8°C 13. ágúst 2019, sem er 18,2°C lægri en áætlaður berghiti á þessu sama dýpi. Hitinn á 800 m dýpi mældist 178,1°C síðsumars 2018. 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 sýndur á mynd 5.

Mynd 3 sýnir mældan þrýsting á 800 m dýpi í holu KG-10 frá 1978 til 2019 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 2019 um 1,5 bar undir áætluðum upphafsþrýstingi og hefur hækkað um 1,2 bar milli áranna 2018 og 2019. 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. Hafa ber í huga þegar þrýstihækkunin 2018 og 2019 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.

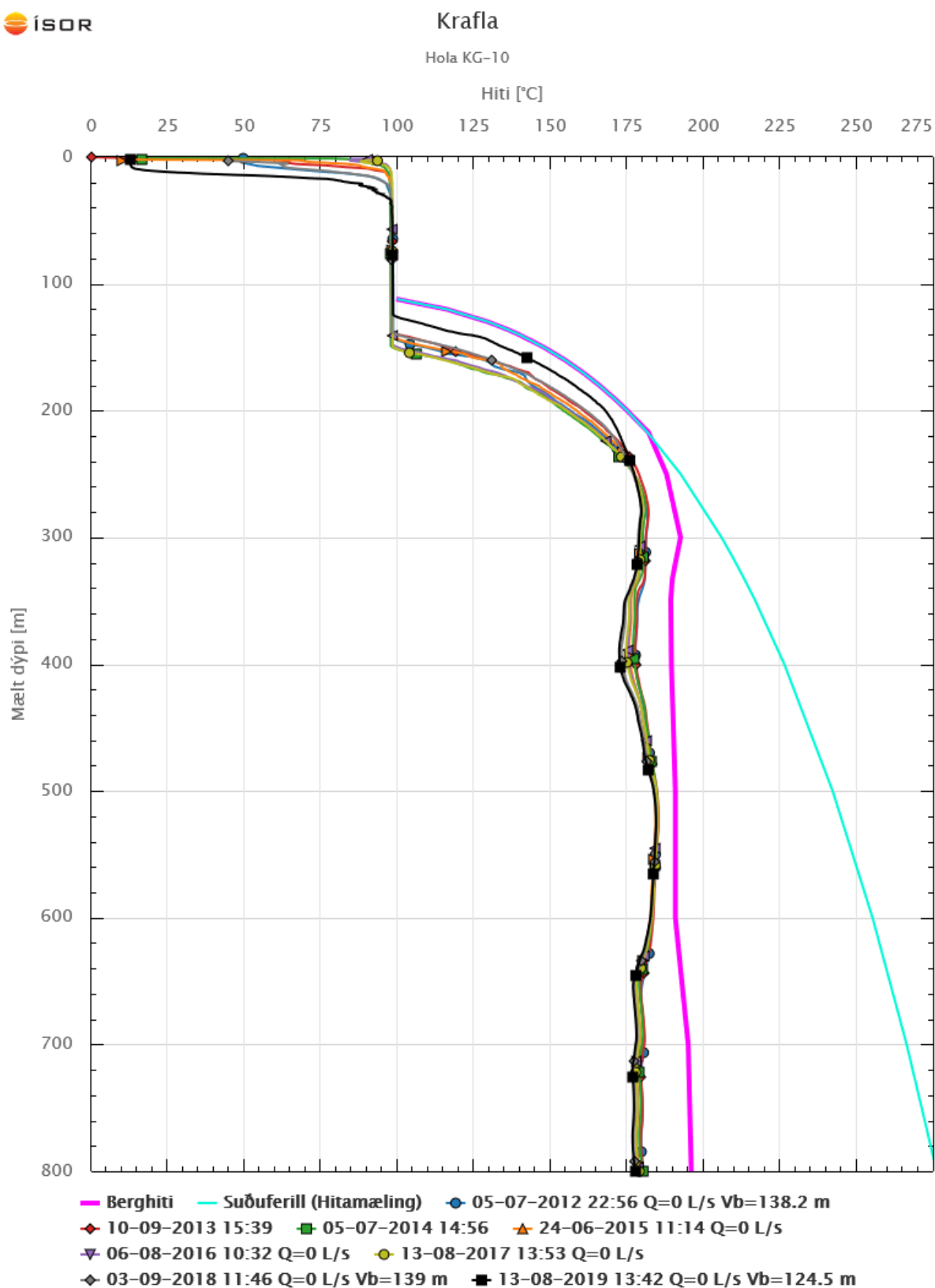
Myndir 4 og 5 sýna hita- og þrýstiferla síðustu átta ára í holu KG-10 ásamt metnum berghita og upphafsþrýstingi (Þorsteinn Egilson, 2010).



**Mynd 2.** Saga hita á 800 m dýpi í holu KG-10 þar sem kerfisbundinnar kælingar 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.

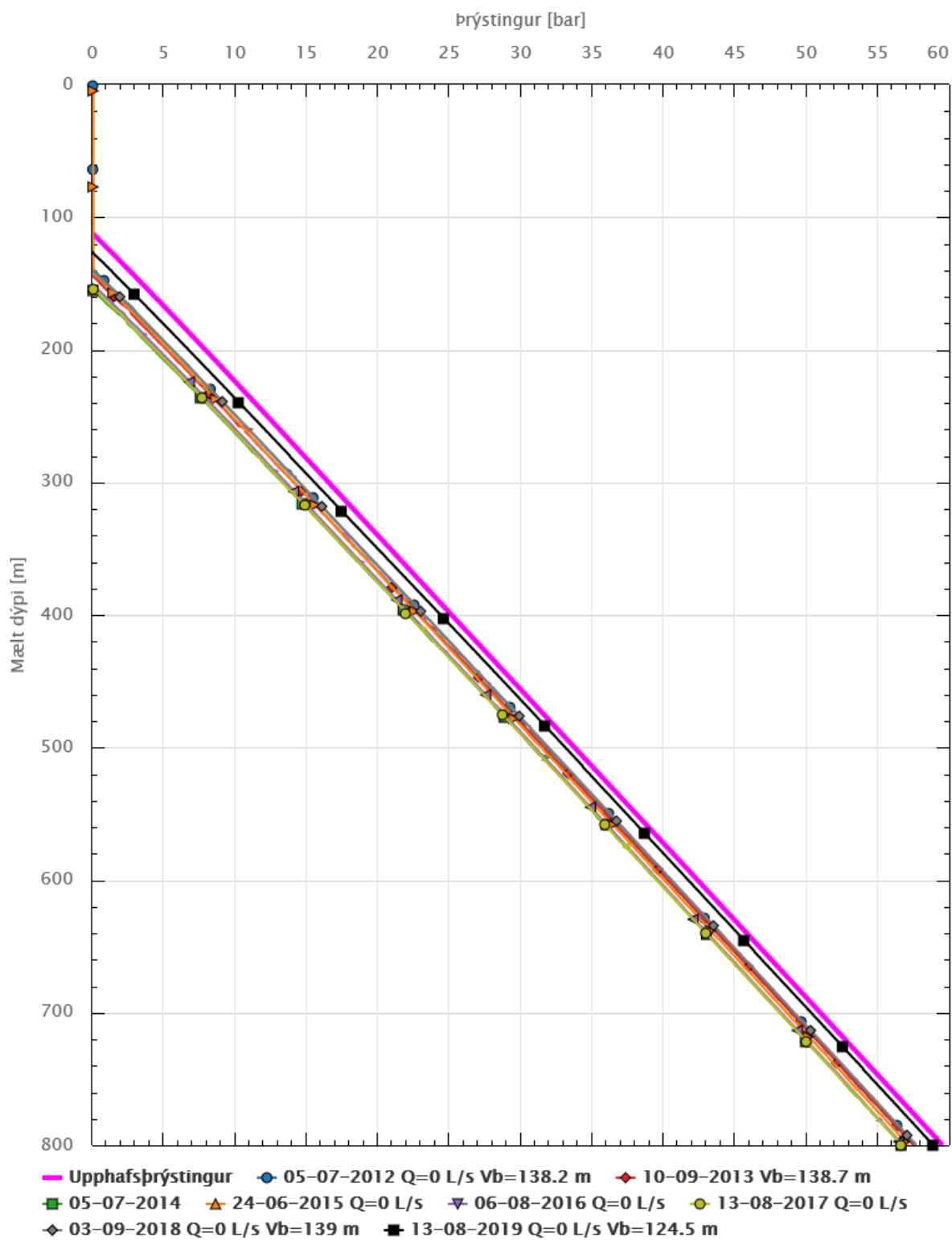


**Mynd 3.** Þrýstingur á 800 m dýpi og vatnsborð í holu KG-10 ásamt vinnslusögu Leirbotna til ársins 2020.



**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 hól KG-10 ásamt metnum upphafsprýstingi 2010.

## 2.2 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 aust-suðausturs (sjá mynd 1). Skoltöp í vinnsluhluta voru nokkur en flest lítil og var 75% 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% rorum á 770–1250 m dýpi og fóðringin steyppt. 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, 2017a; Þorsteinn Egilson o.fl., 2015). Eftirlitsmælingin 14. ágúst 2019 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 lok mars árið 2003 til loka ágúst 2005 og síðan aftur frá október 2009 til apríl 2010 (Þorsteinn Egilson, 2017a). Eftir það hefur holan staðið lokuð og þrýstingslaus á toppi. Mikilvægi holu KJ-11 sem eftirlitsholu er mikið vegna nálægðar hennar við niðurdælingarholuna KG-26 (Þorsteinn Egilson o.fl., 2015).

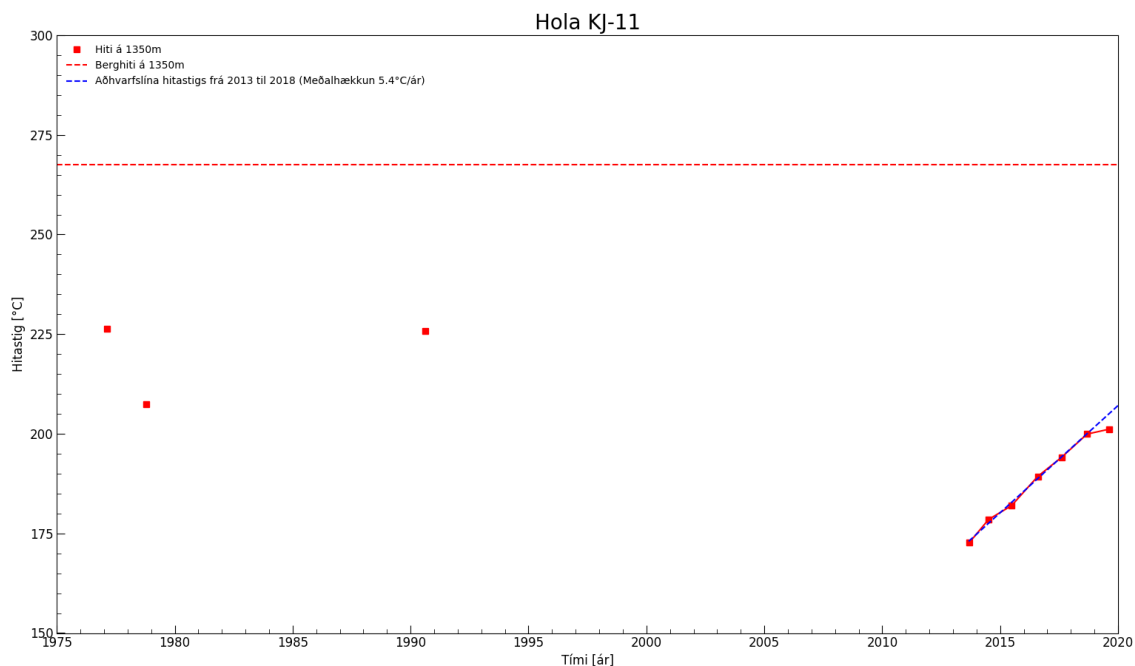
Myndir 6 og 7 sýna hita- og þrýstisögu holunnar á 1350 m dýpi. Aðeins er um sjö athugarnir að ræða síðan 2013 og segja þær enn sem komið er ekki mikla sögu. Í ágúst 2019 mældist hitinn á 1350 m dýpi 201,2°C sem er um 66,4°C kaldara en áætlaður upphafshiti þar (miðað við 1976), og í september 2018 mældist hitinn þarna 199,9°C. Frá árinu 2013 til 2018 hækkaði hitinn á 1350 m dýpi að jafnaði um 5,4°C/ár (sjá aðhvarfslínu á mynd 6) en mælingin 2019 fylgir ekki þeirri reglu.

Í september 2018 mældist þrýstingur á 1350 m dýpi 101,0 bar sem er 3,1 bar lægri en metinn kerfisþrýstingur á þessu dýpi. Á milli áranna 2018 og 2019 hækkaði þrýstingur á 1350 m dýpi um 3,2 bar þ.a. mældur þrýstingur á 1350 m dýpi í ágúst 2019 fellur nánast saman við metinn upphafsþrýsting á þessu dýpi. Hækkun á þrýstingi tengist líklega minnkaðri vinnslu í efra kerfinu þ.a. þrýstibreytingar í holu KJ-11 stjórnað aðallega af vinnslu úr efra kerfinu. Í skýrslu um eftirlit með vinnslu úr jarðhitakerfunum í Kröflu og Bjarnarflagi fyrir árið 2018 (Þorsteinn Egilson o.fl., 2018) er mælt með því að vatnsborð í henni sé mælt mánaðarlega í a.m.k. eitt ár en ekki liggur fyrir hvernig því hefur verið framfylgt.

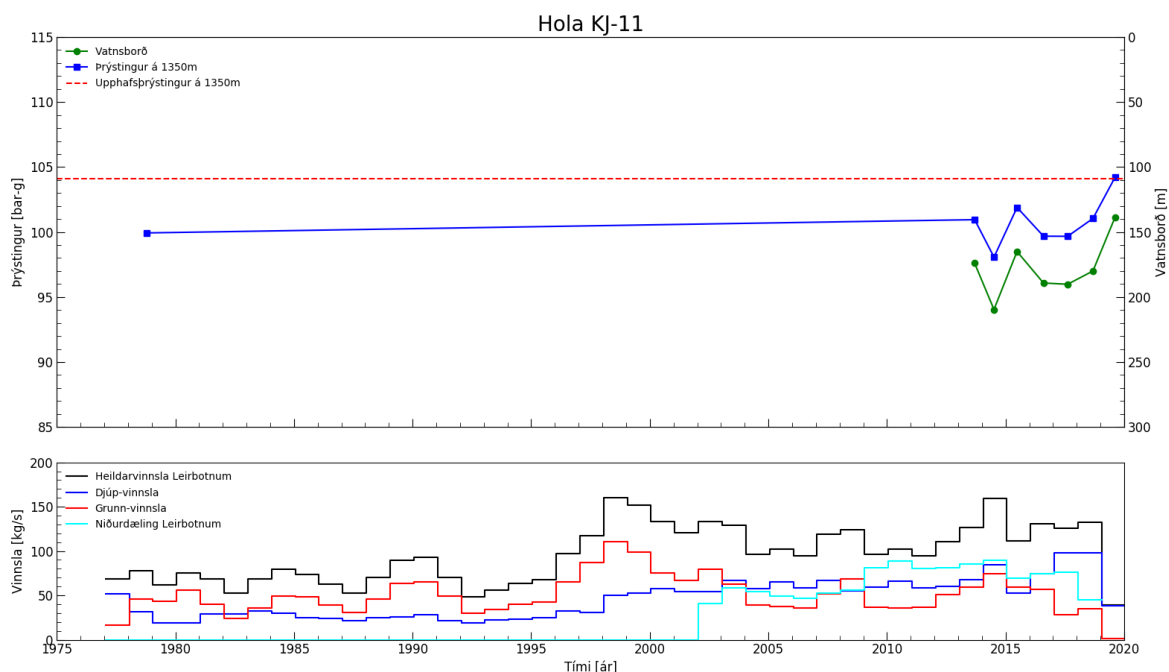
Mynd 8 sýnir þær hitamælingar úr holu KJ-11 sem gerðar hafa verið eftir að hún var tekin inn sem eftirlitshola. Að auki sýnir myndin berghitaferil holunnar sem var gefinn út árið 1990 og byggist á hugmyndum um skiptingu jarðhitakerfisins í Leirbotnum í efra og neðra kerfi (Valgarður Stefánsson o.fl., 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 talin vera 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.

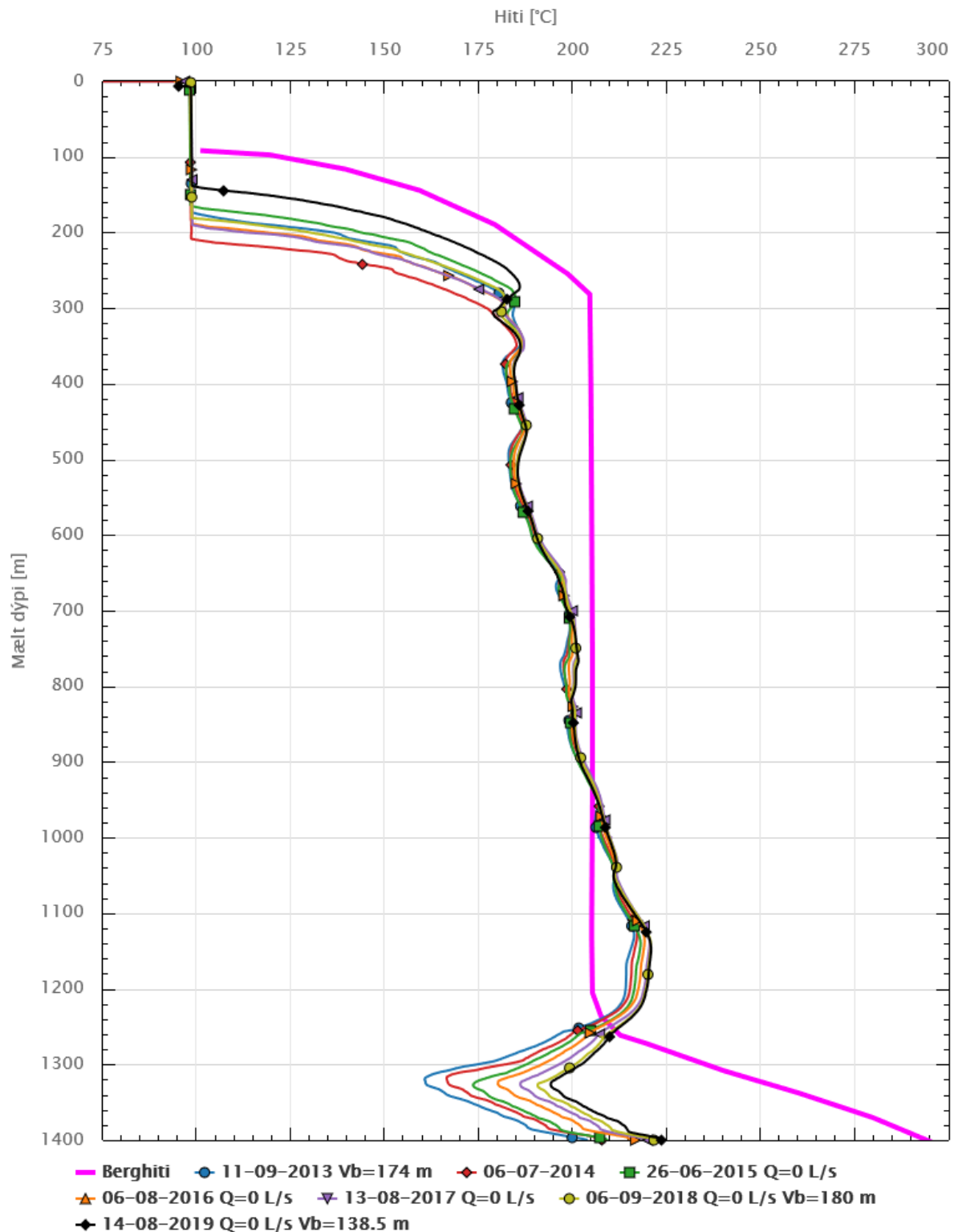
Ítrekað er að ástæða er til að fylgjast í framtíðinni með þróun hita og þrýstings í holu KJ-11 vegna nálægðar hennar við niðurdælingarholuna KG-26 (Þorsteinn Egilson o.fl., 2015) og vert er að skoða möguleika á sískráningu vatnsborðs í holunni.



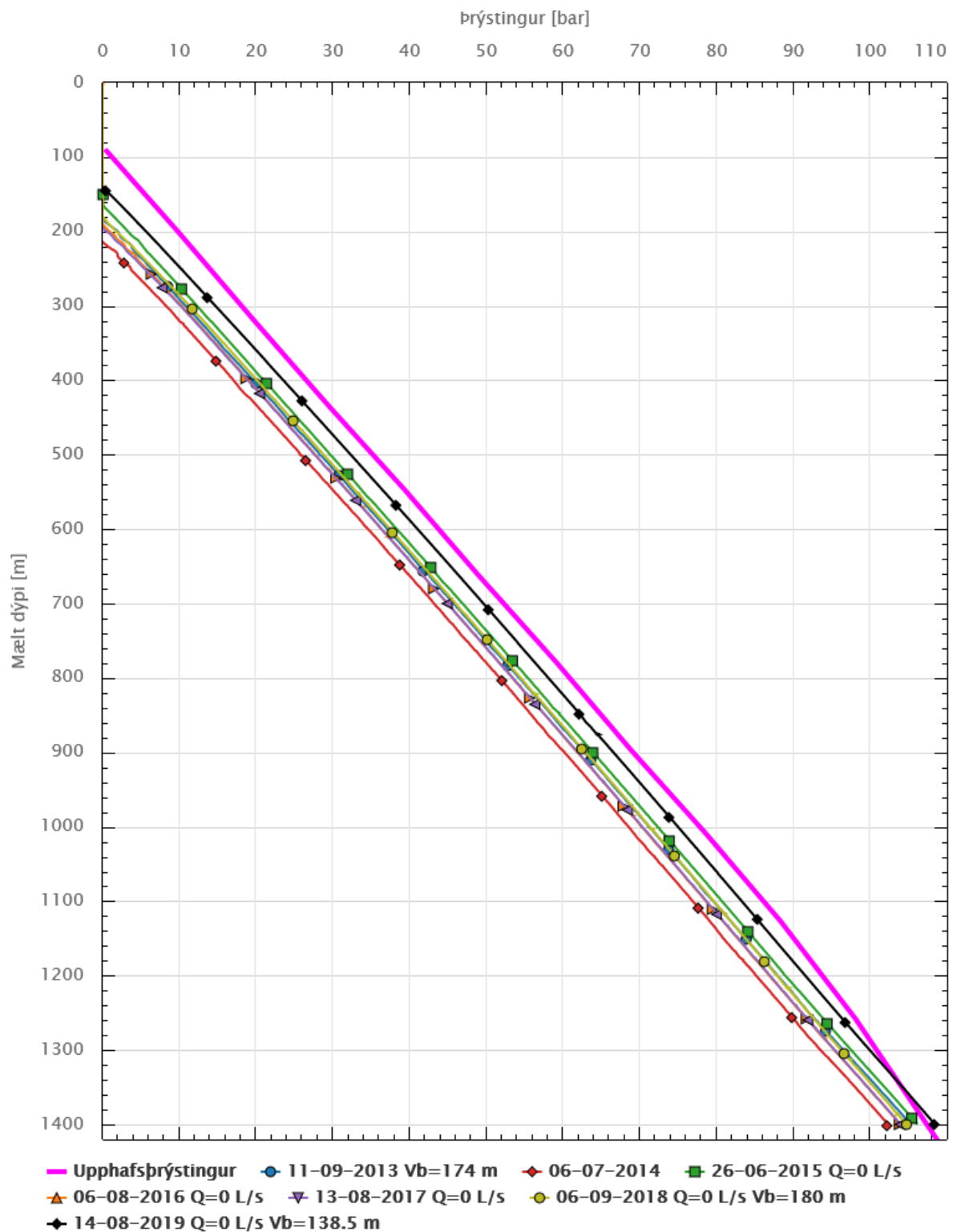
**Mynd 6.** Hin stutta saga hita á 1350 m dýpi í holu KJ-11. Grafið sýnir upphaf eftirlitsmælinga í holunni en þær hófust árið 2013. Hitamælingin 2019 fylgir ekki hinni jöfnu hitnun, 5,4°C/ár, sem mælist frá 2013 til 2018.



**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 2020.



**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 lokað 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.

## 2.3 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 2019 var gerð 13. ágúst.

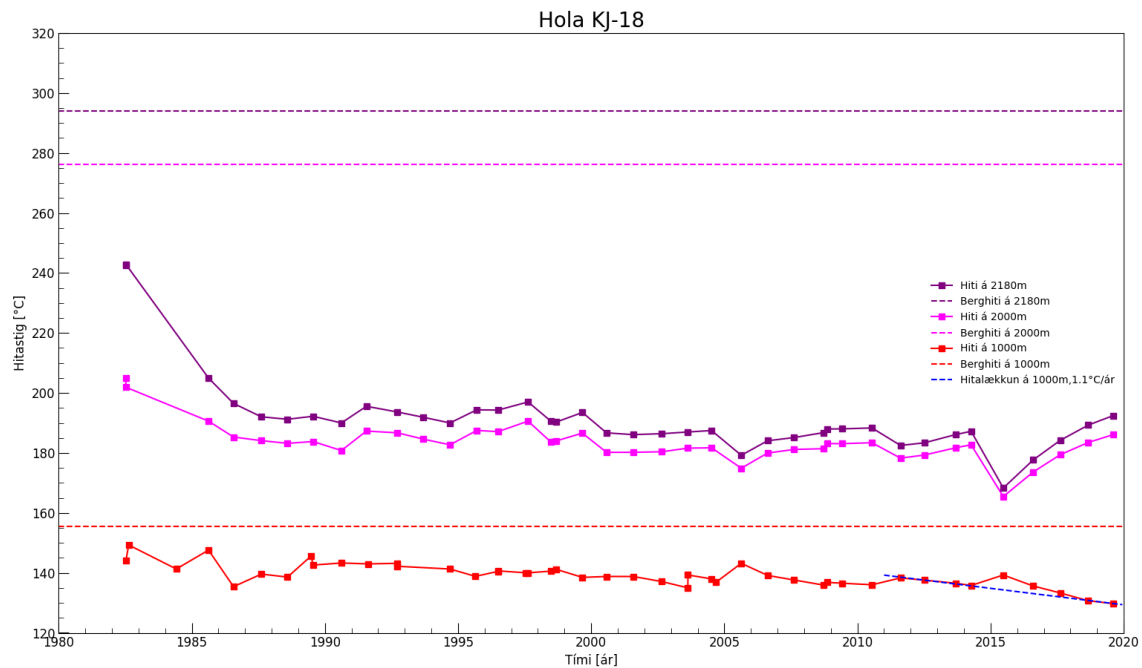
Á árinu 2014 fóru fram umfangsmiklar mælingar í Kröflu á vegum Evrópuverkefnisins IMAGE (Gylfi Páll Hersir, 2013) og meðal annars var hola KJ-18 kæld niður. Eftirlitsmælingin árið 2015 var gerð 25. júní (Þorsteinn Egilson o.fl., 2015) og er hitaferillinn (mynd 13) verulega kældur frá 1315 m miðað við 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 2019. Mældur hiti í 2000 m er 2,7°C hærri í ágúst 2019 en í september 2018 og samsvarandi hitahækkun í 2180 m er 6,9°C. Hitinn í 1000 m lækkaði um 0,9°C milli ára en árið áður var 2,6°C lækkun milli ára. 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 er vegna þess að tiltölulega kalt vatn seytla niður holuna úr smáaðum í 750–950 m.

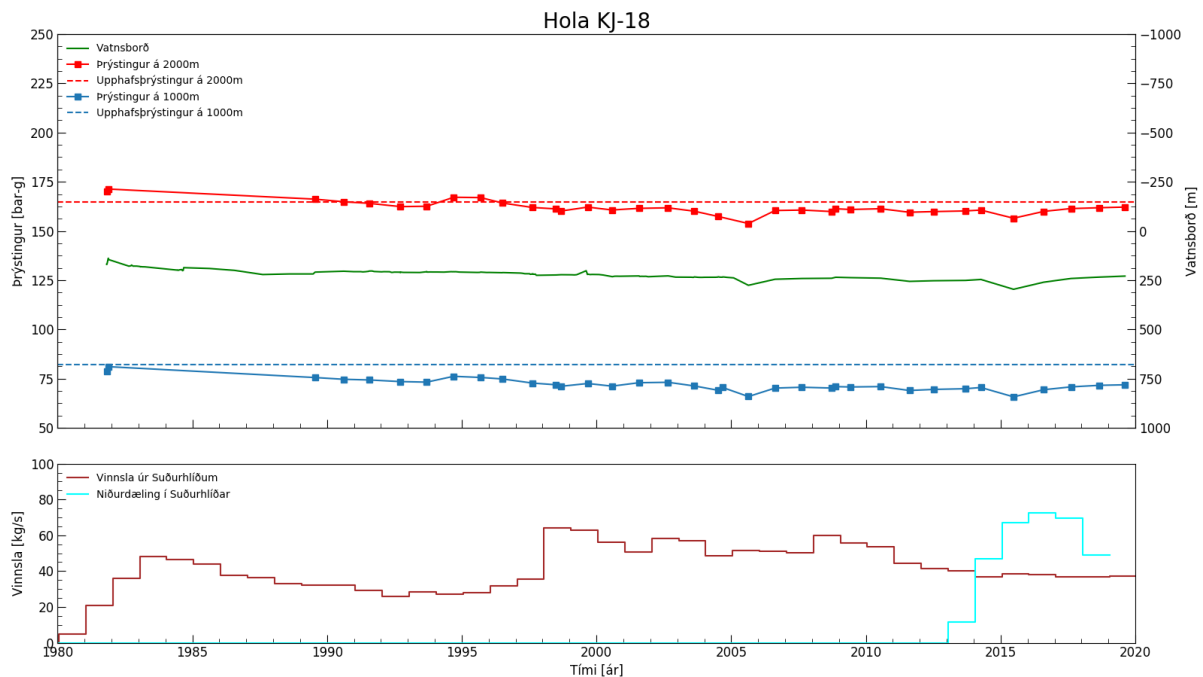
Röskunar sem varð á hitastigi í holunni við IMAGE-tilraunina árið 2014 gætir enn í holunni en svo virðist sem hitinn á 2000 og 2180 m dýpi falli inn á svipaða braut og greina má á árunum 2011–2014. Frá 2014 hefur hitinn á 1000 m dýpi lækkað jafnt, 2,7°C/ár, og líklega gætir þar niðurdælingar í holu KJ-39 sem hófst fyrir alvöru árið 2014 (mynd 12), þó er hitalækkunin á 1000 m dýpi milli 2018 og 2019 heldur minni, eða 0,9°C. Einnig má sjá að frá 2011 til 2019, að undanskildum 2015, 2016 og 2017, er nokkuð línuleg hitalækkun á 1000 m dýpi, 1,1°C/ár (sjá mynd 10), sem gæti tengst niðurdælingunni í holu KJ-39.

Mynd 11 sýnir mældan þrýsting á 1000 og 2000 m dýpi í holu KJ-18 frá 1981 til 2019, áætlaðan upphafsþrýsting, mælt vatnsborð og vinnslu- og niðurdælingarsögu Suðurhlíða fram til 2018. Frá 2006 til 2014 hafði þrýstingurinn í 1000 og 2000 m 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 ágúst 2019 71,9 bar sem er 0,3 bar minni þrýstingur en í september 2018 og 10,3 bar minni en metinn upphafsþrýstingur. Árið á undan hækkaði þrýstingur um 0,8 bar milli ára. Á 2000 m dýpi er þrýstingurinn í ágúst 2019 162,2 bar sem er 2,7 bar lægri en metinn upphafsþrýstingur og svarar til 0,4 bar þrýstihækkunar frá 2018 til 2019 en vatnsborðið hækkaði um 5 m á sama tíma. 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 augin 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 þrýstismælingar 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

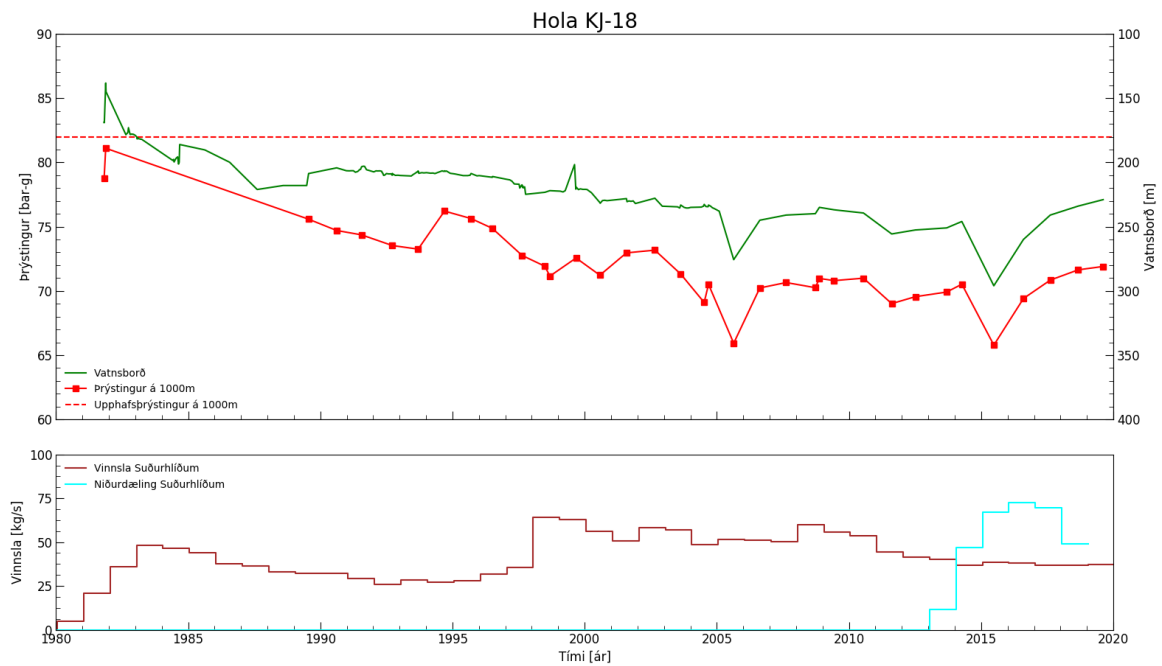
Egilson, 2010). Áður hefur verið lagt til að þetta rennsli sé metið með rennslismæli sem er sambyggður hita- og þrýstismæli (Þorsteinn Egilson o.fl., 2018) og það er ítrekað hér.



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

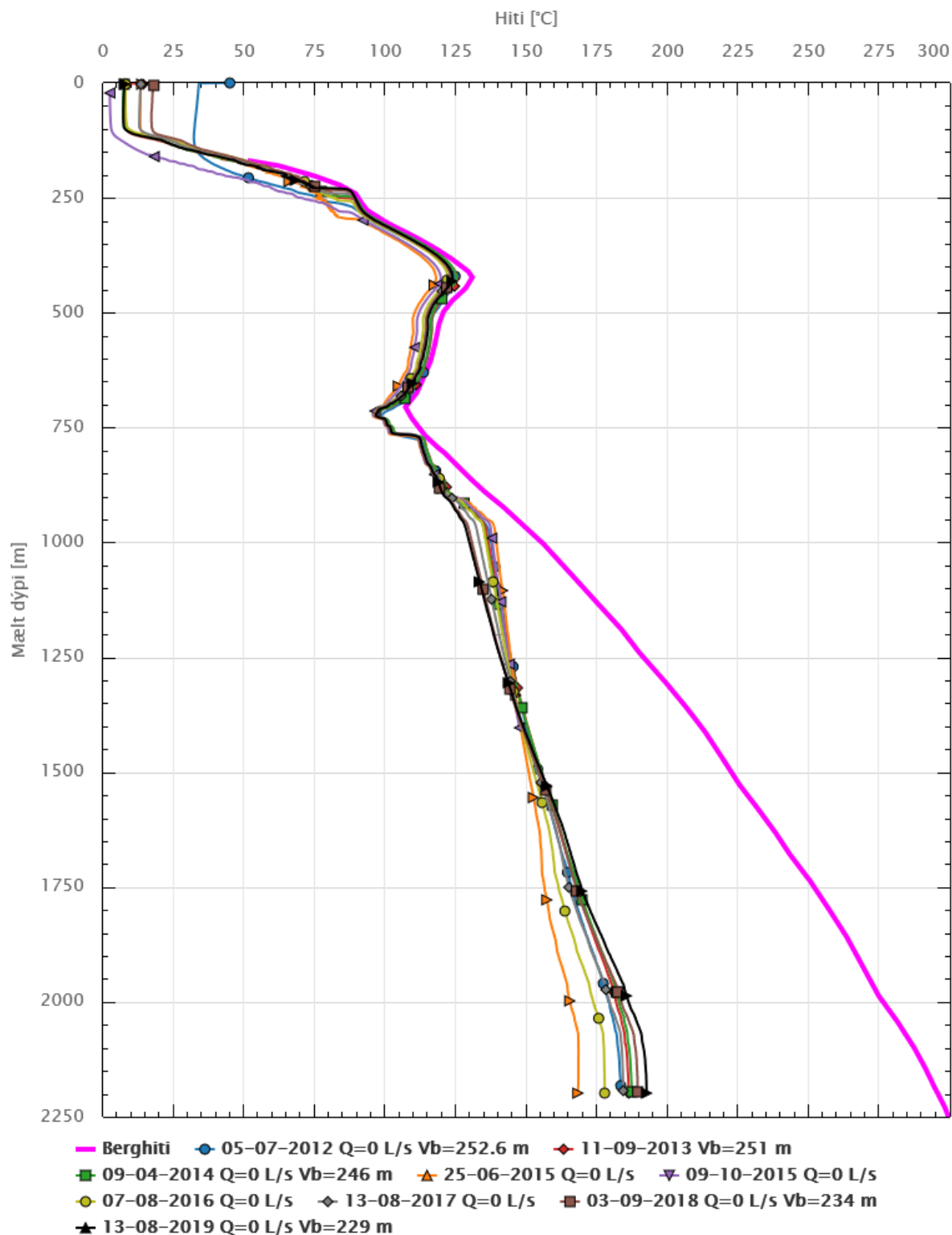


**Mynd 11.** Saga vatnsborðs og þrýstings á 1000 og 2000 m dýpi í holu KJ-18 ásamt vinnslu- og niðurdælingarsögu Suðurlíða fram til 2020.

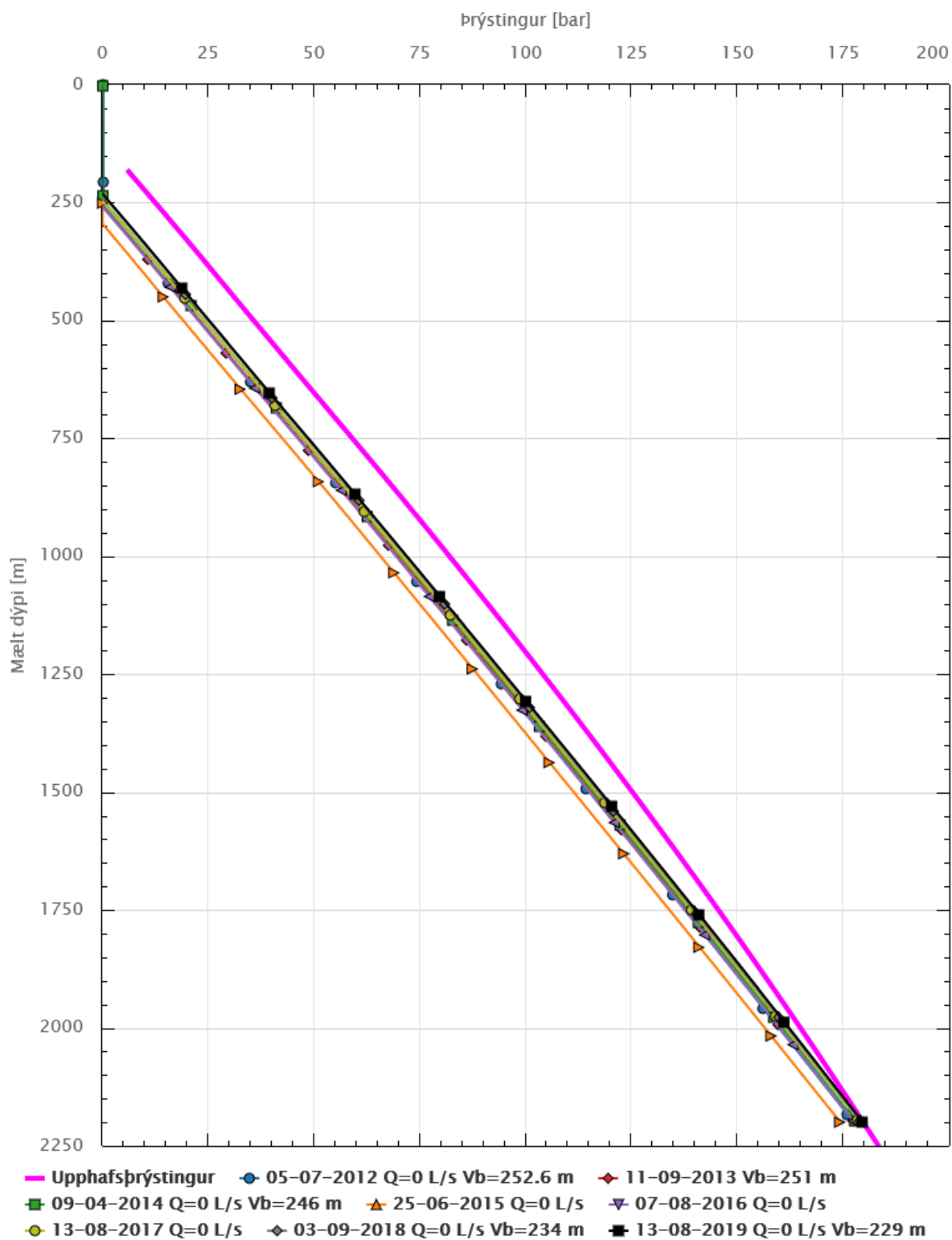


**Mynd 12.** Saga vatnsborðs og þrýstings á 1000 m dýpi í holu KJ-18 ásamt vinnslusögu Suðurhlíða fram til ársins 2020 þar sem breytingar eru með hærri upplausn en sýnt er á mynd 11. Niðurdæling í holu KJ-39 frá 2013 er einnig sýnd.





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



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

## 2.4 Hola KJ-21

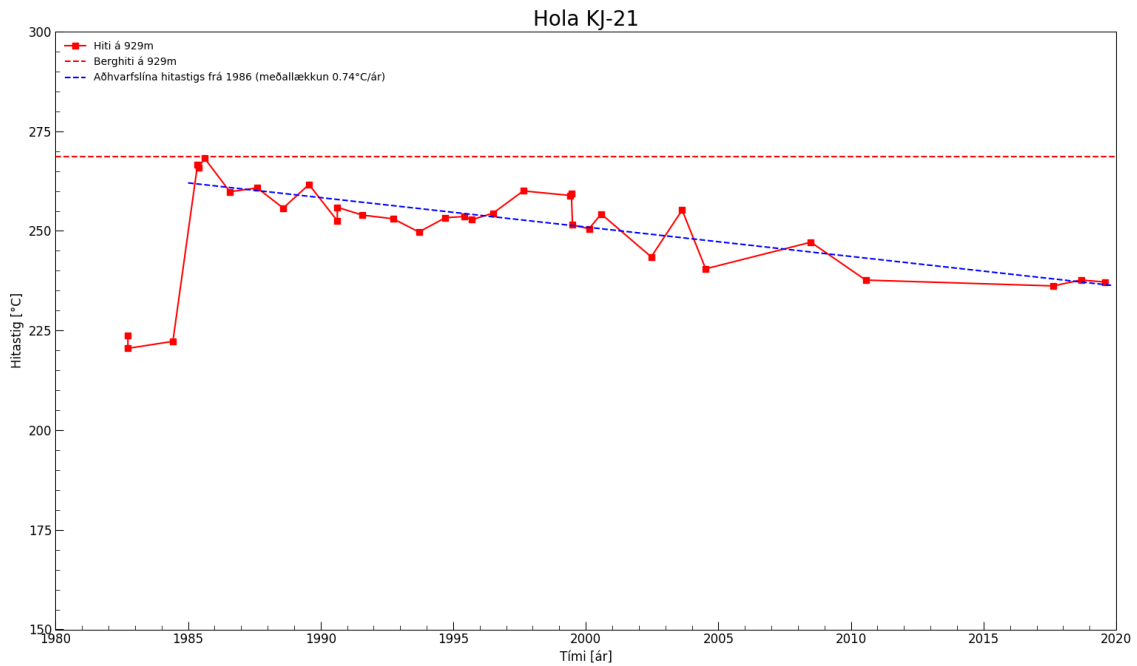
Hola KJ-21 við Hvíthóla var boruð í 1200 m dýpi árið 1982 með tæplega 300 m  $13\frac{3}{8}$ " öryggisfóðringu sem jafnframt varð vinnslufóðring og í hana var hengdur 7" leiðari. Árið 1984 var leiðarinn fjarlægður vegna leir- og drullupéttinga á 640 m dýpi og ný 1030 m  $9\frac{5}{8}$ " fóðring sett í holuna og var hún rauðuð neðan 300 m dýpis (Ásgrímur Guðmundsson o.fl., 1984). Undanfarin ár hefur holan 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 vinnslueftirlitsskýrslum 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 stóð lokuð frá 22. maí 2017 til 25. október 2018 en var í vinnslu eftir það fram að mælingunni 1. ágúst 2019.

Mynd 15 sýnir mældan hita á 929 m dýpi í KJ-21 frá 1982 til 2019 auk áætlaðs berghita á sama dýpi. Vegna þess að holan er mæld mislöngum 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). Mælingin í holu KJ-21 árið 2019 fór fram 1. ágúst og þá í tengslum við djúpsýnatöku þ.a. holunni var lokað einungis einum degi áður en mælingin var gerð.

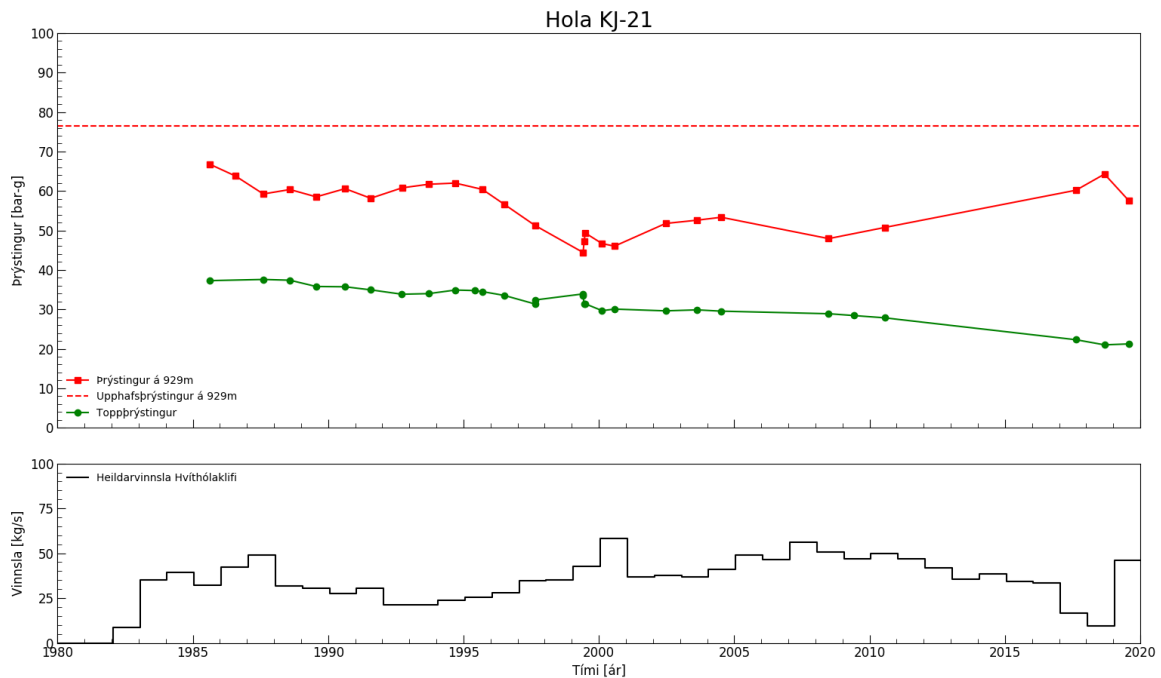
Þrátt fyrir óreglu með tíma frá lokun holunnar fram að mælingu má sjá að einhver kólnun á sér stað til lengri tíma og á mynd 15 hefur þetta verið metið með jafnaðarlínu í gegnum mælingarnar og er niðurstaðan sú að kólnunin geti legið nærri  $0,74^{\circ}\text{C}/\text{ár}$  síðan 1986. Hitinn 2019 er  $30,9^{\circ}\text{C}$  undir áætluðum berghita á 929 m dýpi sem er  $268,6^{\circ}\text{C}$  en um  $0,5^{\circ}\text{C}$  lækkun er að ræða frá september 2018 til ágúst 2019. Þá hefur vermi vökvans úr holunni verið á undanhaldi og hefur verið að minnka um  $32\text{ kJ/kg/ár}$  (Trausti Hauksson, 2017).

Mynd 16 sýnir mældan þrýsting á 929 m dýpi í holu KJ-21 frá 1982 til 2019 auk áætlaðs upphafsþrýstings á sama dýpi. Þá sýnir myndin einnig mældan toppþrýsting á holunni í gegnum árin. Þrýstingur í ágúst 2019 var um 19,1 bar undir áætluðum upphafsþrýstingi í 929 m en þessi munur var um 12 bar í september 2018. Í mælingunum frá 2008 til 2017 sést regluleg þrýstihækkun í 929 m  $1,3\text{ bar/ár}$  en mælingarnar frá september 2018 og ágúst 2019 falla ekki vel að þeirri þróun.

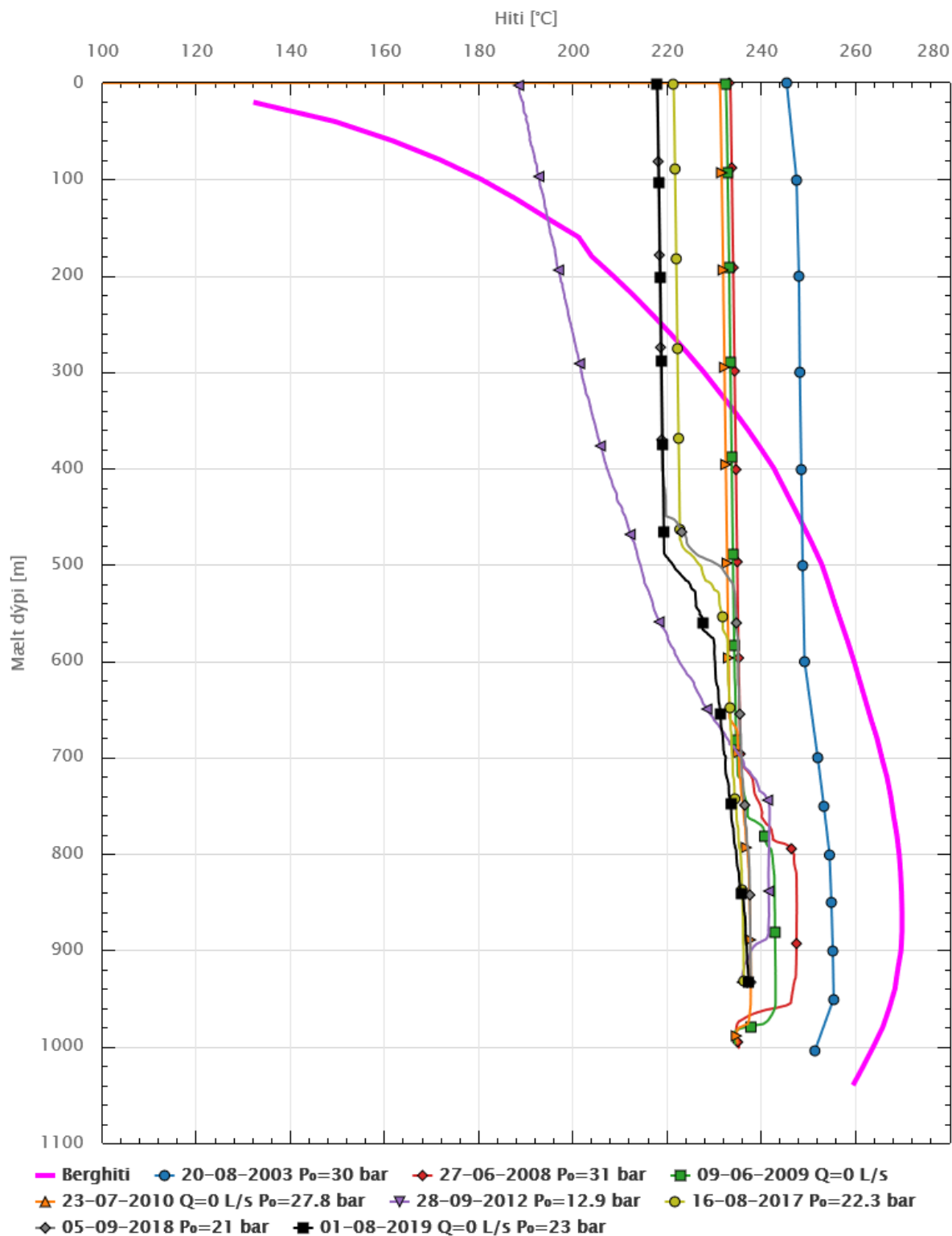
Myndir 17 og 18 sýna hita- og þrýstimælingar úr eftirlitsmælingum í holu KJ-21 sem gerðar hafa verið frá 2003 ásamt metnum berghita og upphafsþrýstingi.



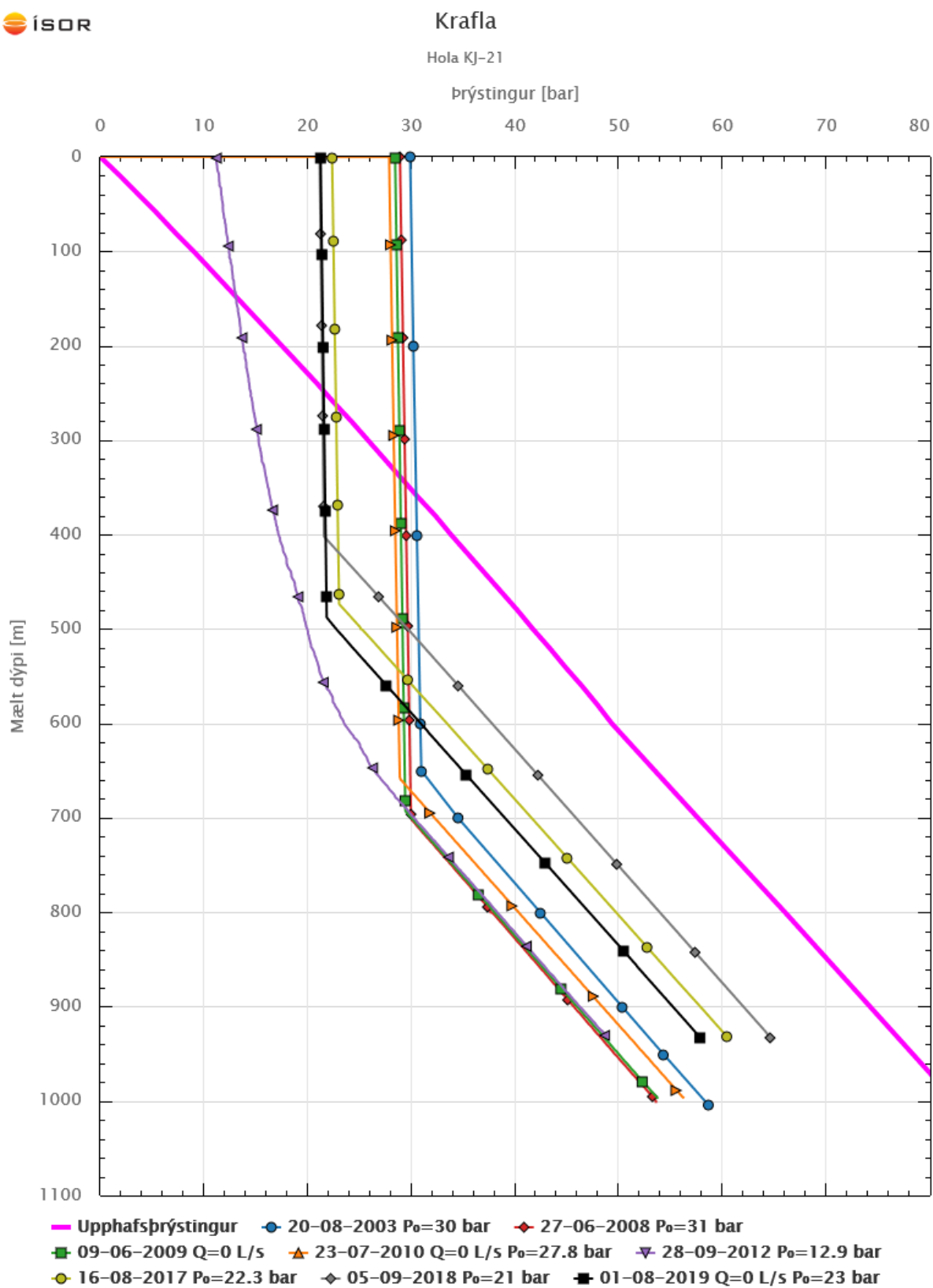
**Mynd 15.** Saga hita á 929 m dýpi úr eftirlitsmælingum í holu KJ-21 frá 1982.



**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 2020.



**Mynd 17.** Valdar hitamælingar úr eftirlitsmælingum í holu KJ-21 síðan 2003 ásamt metnum berghitaferli.

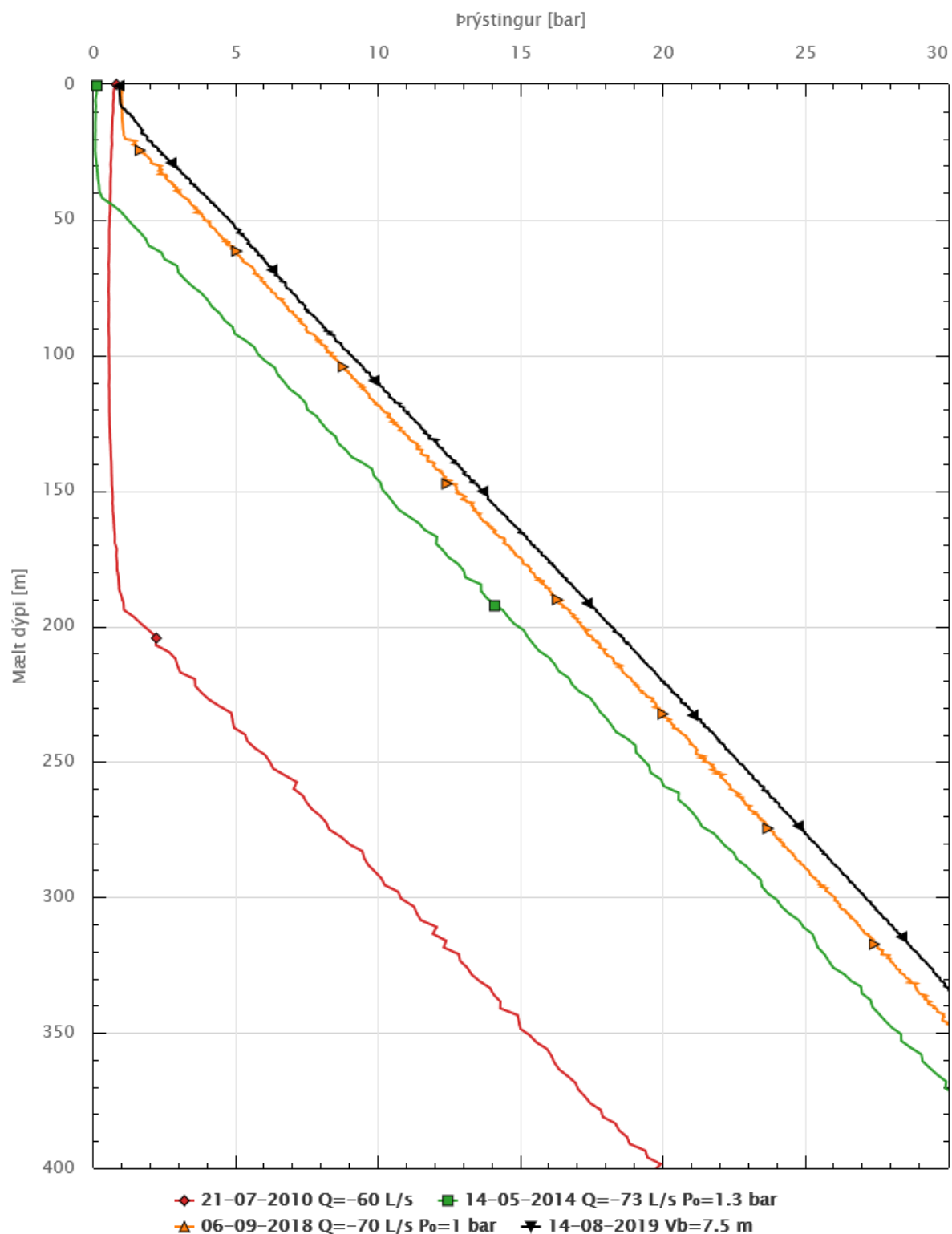


**Mynd 18.** Valdar þrýstimælingar úr eftirlitsmælingum í hól KJ-21 síðan 2003 ásamt metnum upphafsprýstingi.

## 2.5 Hola KG-26

Hola KG-26 var boruð 1990, 1. áfangi í 62 m og síðan var hún dýpkuð í 2127 m og lauk þeirri borun í lok nóvember 1991. Holan er boruð í Leirbotnakerfin og vinnsluhlutinn er fóðraður með 7" götuðum leiðara til hálfis á móti ógötuðum. Mælingar í borun sýndu að helsta æð holunnar væri í 1700–1750 m en smáæð sást þó í 1850 m. Í þrepaprófi við borlok mældist ádælingarstuðull holunnar vera um 2,2 (l/s)/bar. Í örvun eftir lok borunar opnaðist æð alveg við botn holunnar (Ásgrímur Guðmundsson o.fl., 1992). Sú æð er nú stífluð, trúlega vegna 60 m botnfalls í leiðaranum en í lektarprófi sem gerð var á holunni 2017 með þrepaprófi og rennslismælingum (spinner) finnst botn hennar á 2055 m dýpi. Í þeim mælingum sést að opnasta æð holunnar er á 1840 m dýpi og ádælingarstuðullinn mældist þar 8,7 (l/s)/bar (Þorsteinn Egilson, 2017b).

Mælingarnar 2018 og 2019 eru gerðar til þess að fylgjast með vatnsborði í holu KG-26 jafnframt því sem dælt er á holuna og eru þær sýndar ásamt þrýstimælingum sem gerðar voru 2010 og 2014. Athygli er vakin á því að fyrirbyggjandi upplýsingar um ádælingu, samtímis því sem mælingarnar eru gerðar, eru misvísandi en nákvæm ádælingarsaga er nauðsynleg til að einfalda túlkun gagnanna.

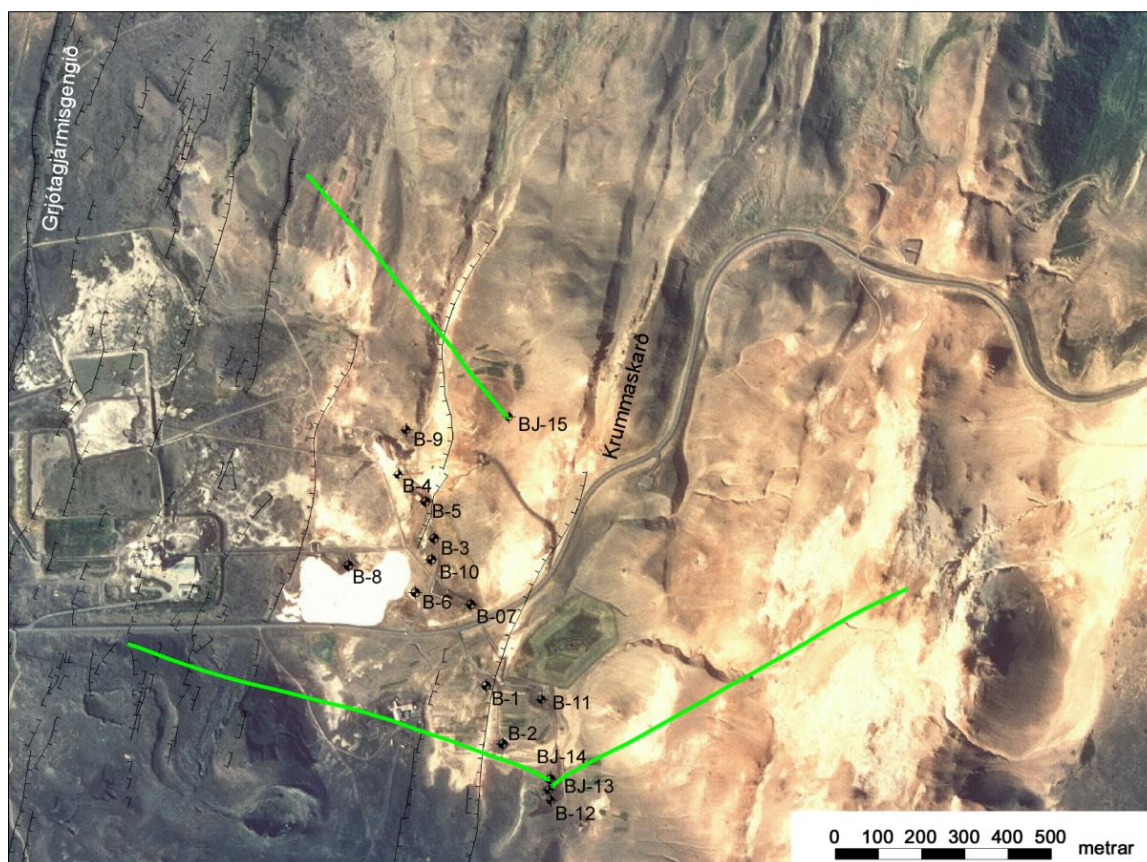


**Mynd 19.** Valdar þrýstimælingar notaðar til að fylgjast með vatnsborði í holu KG-26. Athugið að fyrirliggjandi upplýsingar um niðurdælingu eru misvísandi.



### 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 hefur hún verið notuð sem vinnsluhola (Þorsteinn Egilson o.fl., 2014). Mynd 20 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. Frá og með 2019 verða holur B-2 og B-5 mældar annað hvert ár til skiptis og byrjað á holu B-2 árið 2019.



Mynd 20. Yfirlitsmynd af staðsetningu og ferlum stefnuboraðra holna í Bjarnarflagi.

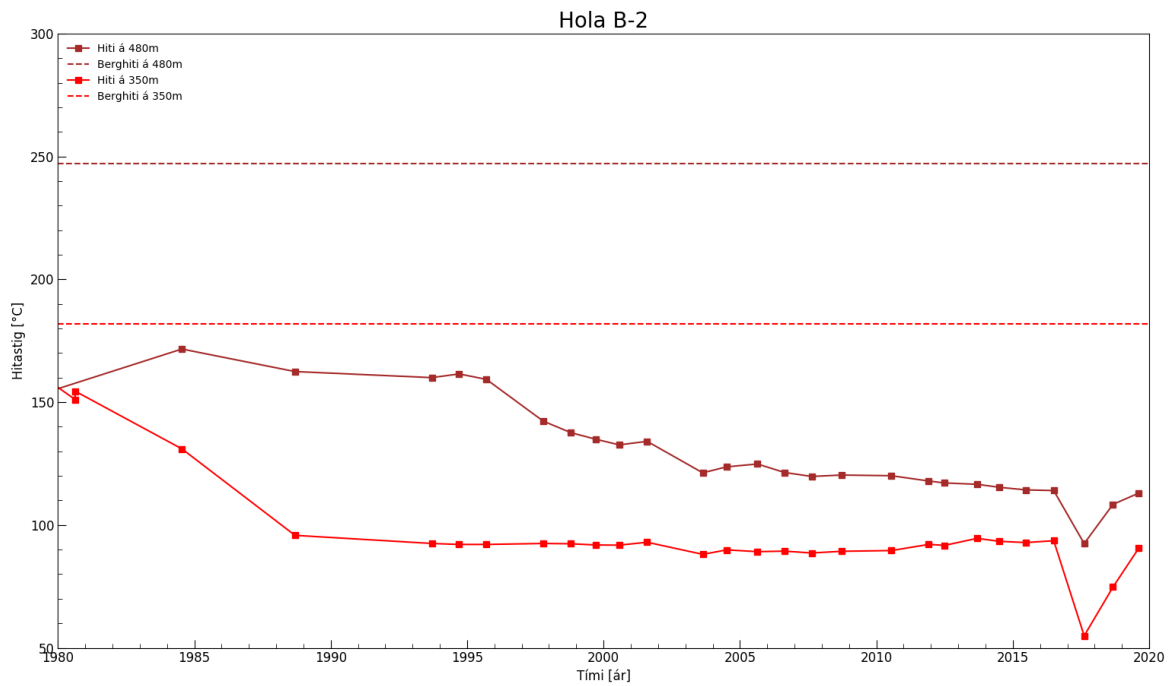
#### 3.1 Hóla B-2

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 Krummaskarðsmisgengið, vel sunnan við þjóðveginn. Holan blés af og til en var aflítil og hefur aldrei verið nýtt (Ásgrímur Guðmundsson o.fl., 1989). Nú stendur hún þrýstingslaus með vatnsborð á um 65 m dýpi.

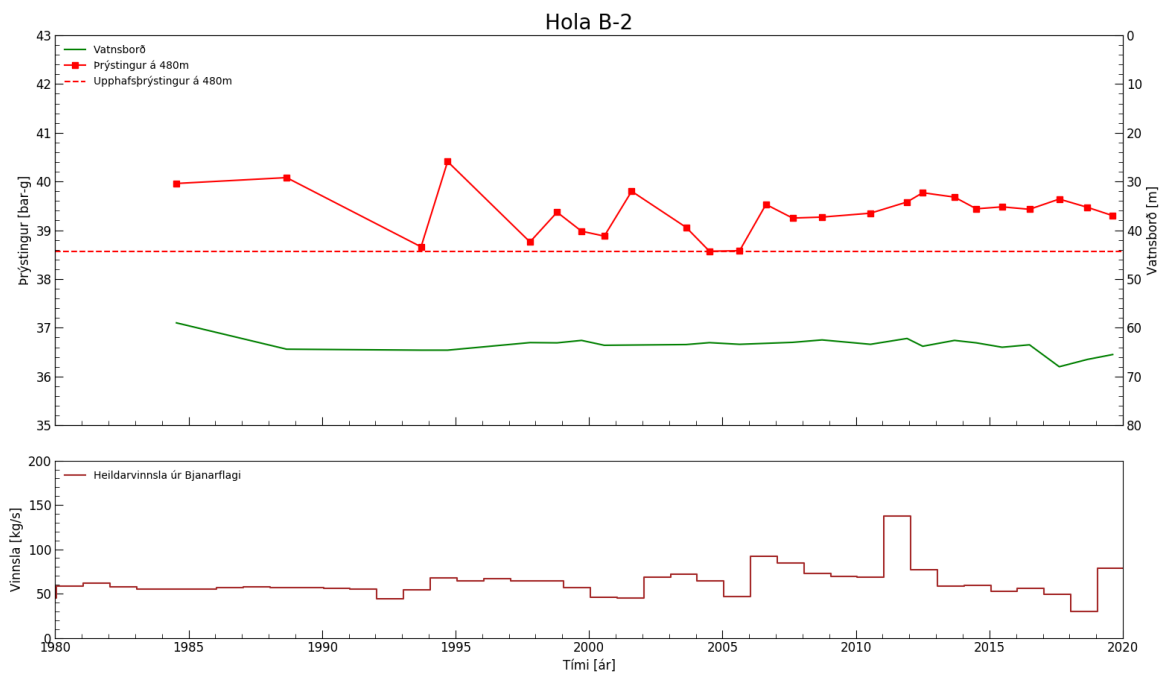
Hola B-2 var hita- og þrýstimæld 14. ágúst 2019. Mynd 21 sýnir mældan hita í holu B-2 á 350 og 480 m dýpi frá 1979 til 2018 þar sem fram kemur greinileg kæling miðað við áætlaðan berg-hitaferil holunnar. Á 350 m dýpi verður ríflega 62°C kæling frá 1979 til 1988 en frá 1989 til 2016 hélst hitinn á 350 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, 2017a). 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 grundvallar-breyting. 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 ágúst 2019 hefur hitinn í 350 m hækkað úr 54,9°C (13.8.2017) í 90,6°C, sem er rúmum 91°C lægri en metinn berghiti á þessu dýpi, en á 480 m dýpi hefur hitinn hækkað úr 92,5°C í ágúst 2017 í 112,8°C í ágúst 2019 sem er um 134°C lægra en metinn berghiti á því dýpi.

Mynd 22 sýnir mældan þrýsting í holu B-2 á 480 m dýpi frá 1980 til 2019. Myndin sýnir einnig mælt vatnsborð í holunni og vinnslusögu Bjarnarflags frá 1980 fram til ársins 2019. Volga (100°C) grunnvatnskerfið á 200–400 m dýpi stjórnar þrýstingi í holunni og ljóst að þrýstingur-inn í því kerfi hefur lítið haggast 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. Þrýst-ingur á 480 m dýpi lækkar um 0,2 bar milli ára og er í ágúst 2019 0,7 bar ofan við metinn upphafsþrýsting. Frá september 2018 til ágúst 2019 lækkar vatnsborðið í holunni um 1,0 m.

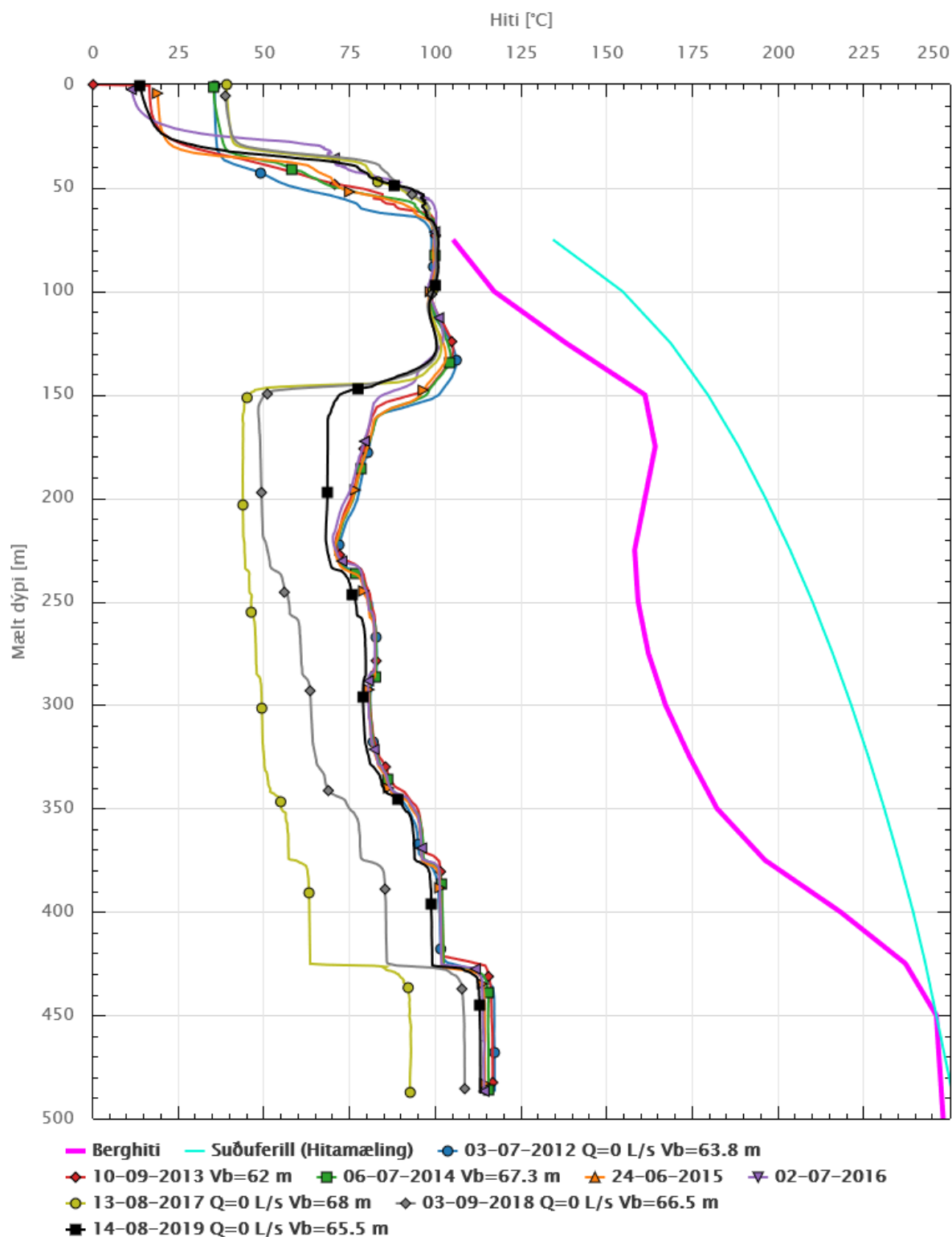
Myndir 23 og 24 sýna hita- og þrýstimælingar síðustu átta ára í holu B-2 ásamt metnum berg-hita og upphafsþrýstingi.



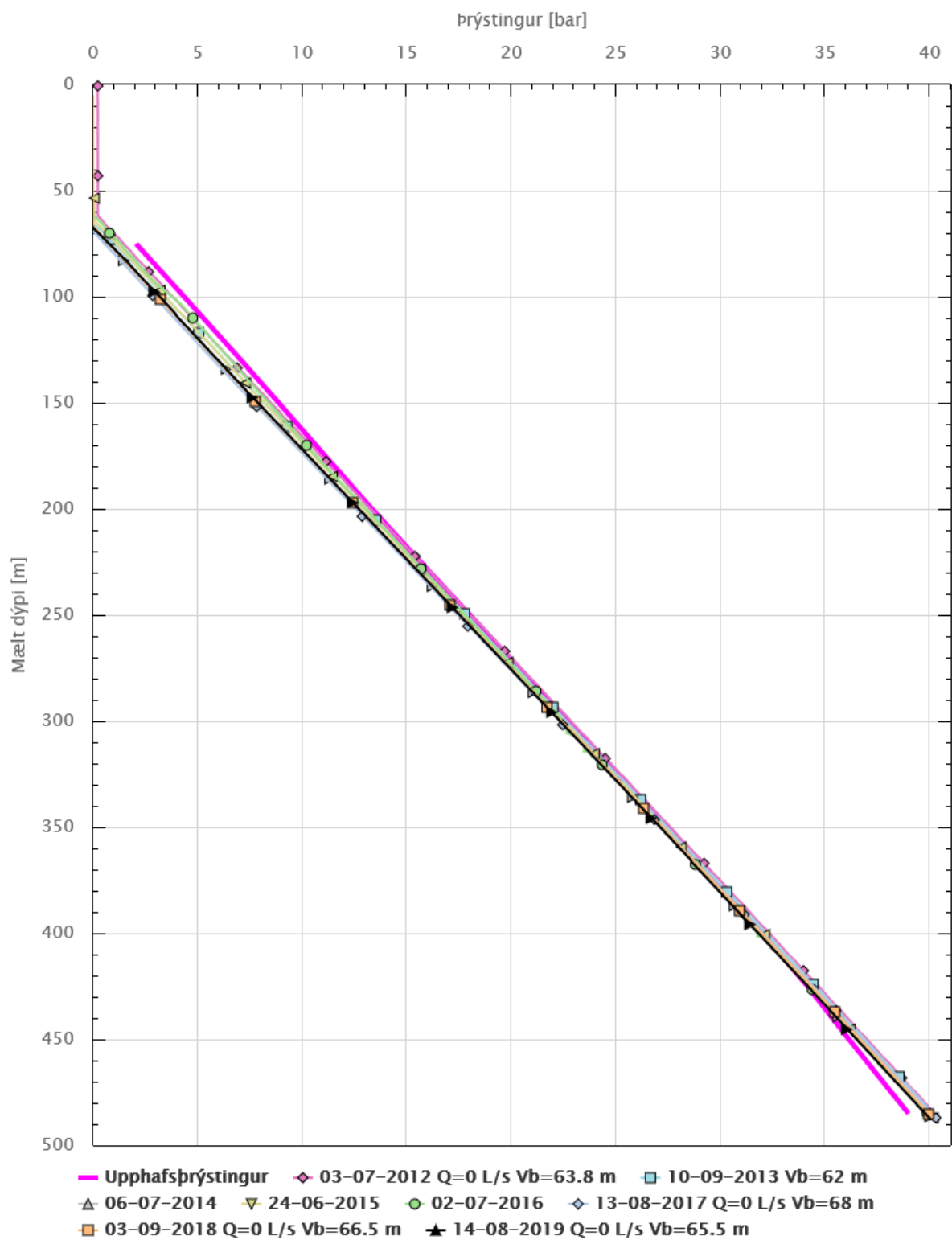
**Mynd 21.** Mældur hiti á 350 og 480 m dýpi í holu B-2 ásamt metnum berghita.



**Mynd 22.** 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 2020.



**Mynd 23.** Hitamælingar síðustu átta ára í holu B-2 ásamt metnum berghitaferli og suðumarksferli m.v. mældan þrýsting 2019.



**Mynd 24.** Þrýstimælingar síðustu átta ára í holu B-2 ásamt metnum upphafsprýstingi.

### 3.2 Hola B-5

Hola B-5 í Bjarnarflagi var boruð veturinn 1968–1969 niður á 638 m dýpi. Í henni er 7" fódoring 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.

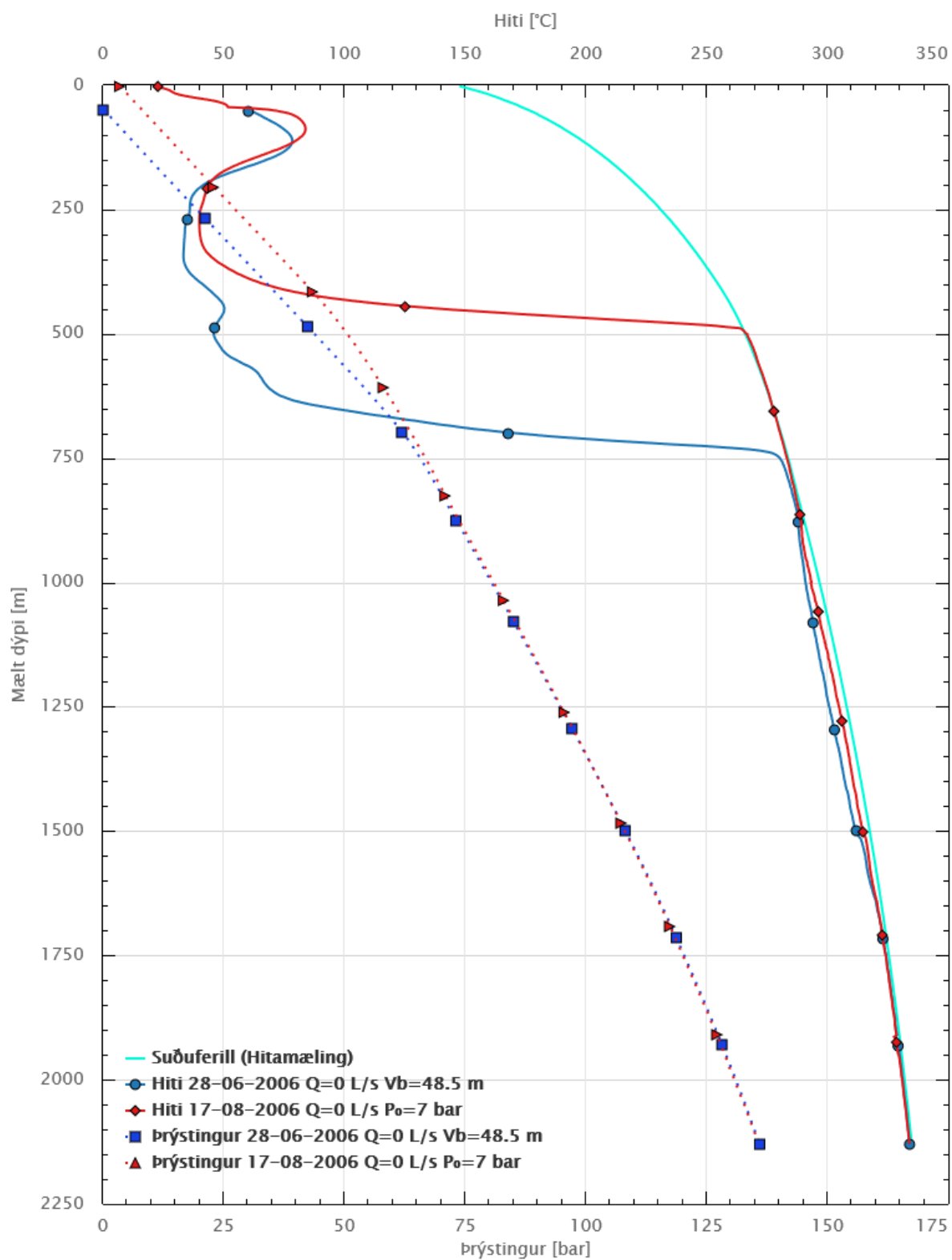
Hola B-5, sem notuð er til reglubundins vinnslueftirlits í Bjarnarflagi, var ekki hita- og þrýstismæld 2019 þar sem ný áætlun um vinnslueftirlit gerir ráð fyrir því að holur B-2 og B-5 verði mældar annað hvert ár og þá til skiptis. Greining hitamælinga árin 2013–2016 með aðhvarfslínu leiddi í ljós  $0,64^{\circ}\text{C}/\text{ár}$  jafna kólnun sem vert er að gefa gaum (Þorsteinn Egilson o.fl., 2018).

### 3.3 Hola BJ-13

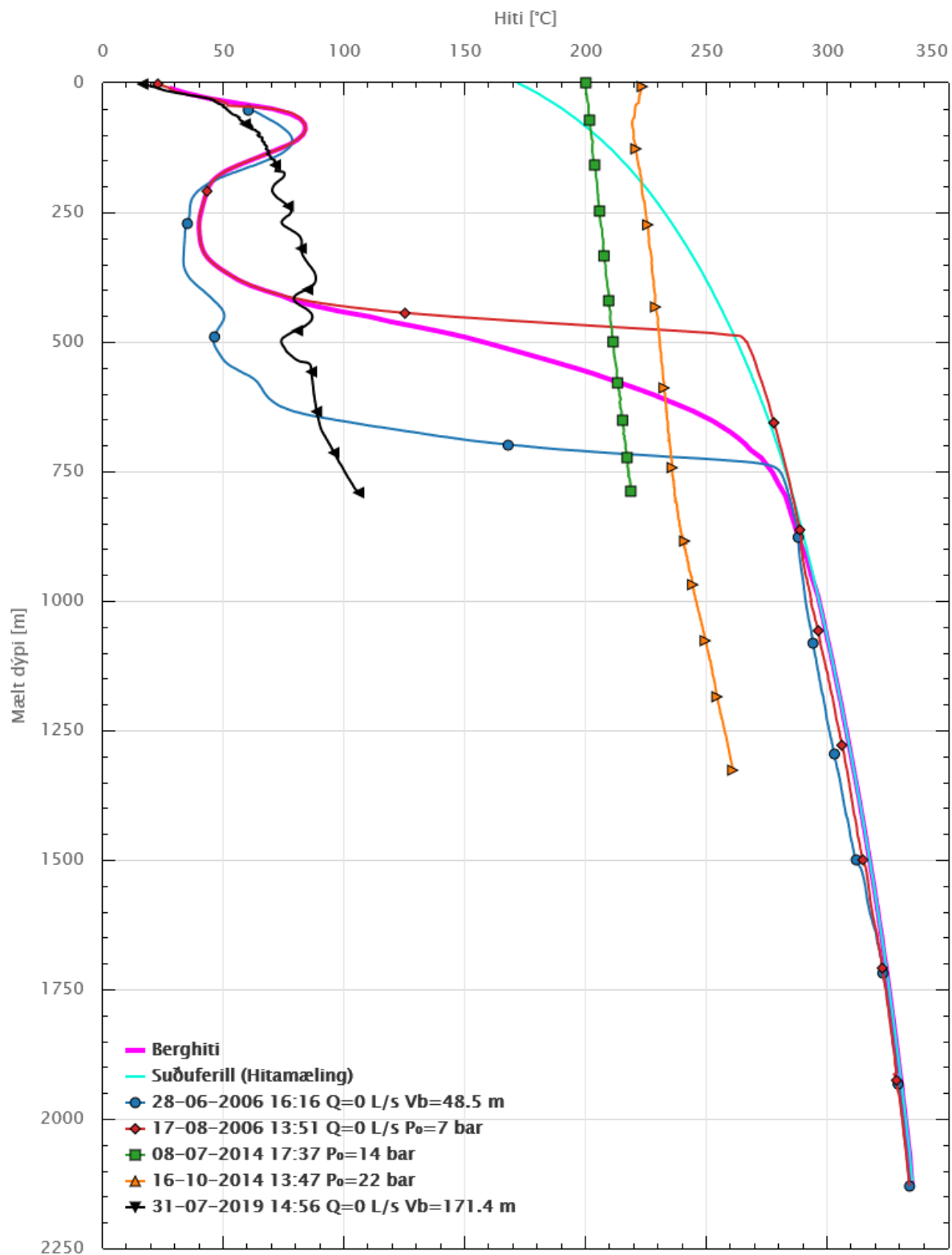
Hola BJ-13 var boruð í 2174 m frá 4. maí til 4. júní 2006 með stefnu  $65^{\circ}\text{N}$  og ráðgerðan  $35^{\circ}$  halla sem fór í allt að  $47^{\circ}$ . Vinnsluáfangi holunnar var borðaður með  $8\frac{1}{2}$ " borkrónu og fóðraður með 7" götuðum leiðara (Sigurjón Böðvar Þórarinnsson o.fl., 2006). Holan var tekin til vinnslu í mars 2007 og var nýtt með einungis stuttum hléum til byrjun janúar 2018. Lengstan þann tíma var vinnsluþrýstingurinn (WHP) um 15 bar en í byrjun apríl 2016 var gerð breyting sem hækkaði vinnsluþrýstinginn í um 20 bar.

Hola BJ-13 var mæld tvisvar í upphitun, í bæði skiptin í 2129 m (mynd 25), en eftir að henni var hleypt upp hefur gegnið illa að koma mælum niður hana. Þann 27. maí 2007 fór fram rennslismæling en mælir gekk illa niður á móti rennslinu og mælingu hætt í 705 m. Í upphafi mælingarinnar var toppþrýstingurinn 18 bar við fullt rennsli en fór í 22 bar við minnkað rennsli. Önnur rennslismæling var gerð 8. júlí 2014 en þá gekk einnig illa að koma mæli niður. Í upphafi mælingar var toppþrýstingurinn 14 bar en þrengt var að holunni og mælir fór niður þegar toppþrýstingurinn var kominn í 20 bar. Hætt var við mælingu í 790 m en þar var mælir byrjaður að fljóta. Nokkuð mikið átak þurfti til að ná mælinum upp sem bendir til þess að hann hafi lent í einhvers konar fyrirstöðu. Enn var reynt að rennslismæla holuna 16. okt. 2014. Til að koma mælinum af stað niður holuna þurfti að þrengja að henni þar til toppþrýstingurinn var kominn í um 22 bar. Illa gekk að koma mæli niður en þó fór svo að hann fór í 1332 m en mikil hreyfing var á þunga mælisins alla leið niður.

Þegar komið var að holunni 31. júlí 2019 var hún þrýstingslaus og opin. Fyrst var lóði rennt niður holuna og settist það á 792 m dýpi en það gerði sambyggður hita- og þrýstímælir einnig en þær mælingar ásamt öðrum eru sýndar á myndum 26 og 27. Þann 23. sept. 2019 var farið niður í holuna með sérsníðaðan sýnatökubúnað til að reyna að ná sýni af fyrirstöðu sem er í 792 m (Sigurður Sveinn Jónsson, 2019). Fyrirstaða fannst í 792 m en eftir smá skak (sýnatöku) fór búnaðurinn niður fyrir haftið. Mælt var niður í 860 m áður en ákveðið var að draga búnaðinn til yfirborðs þar sem enginn öryggisbúnaður var á toppi holunnar.

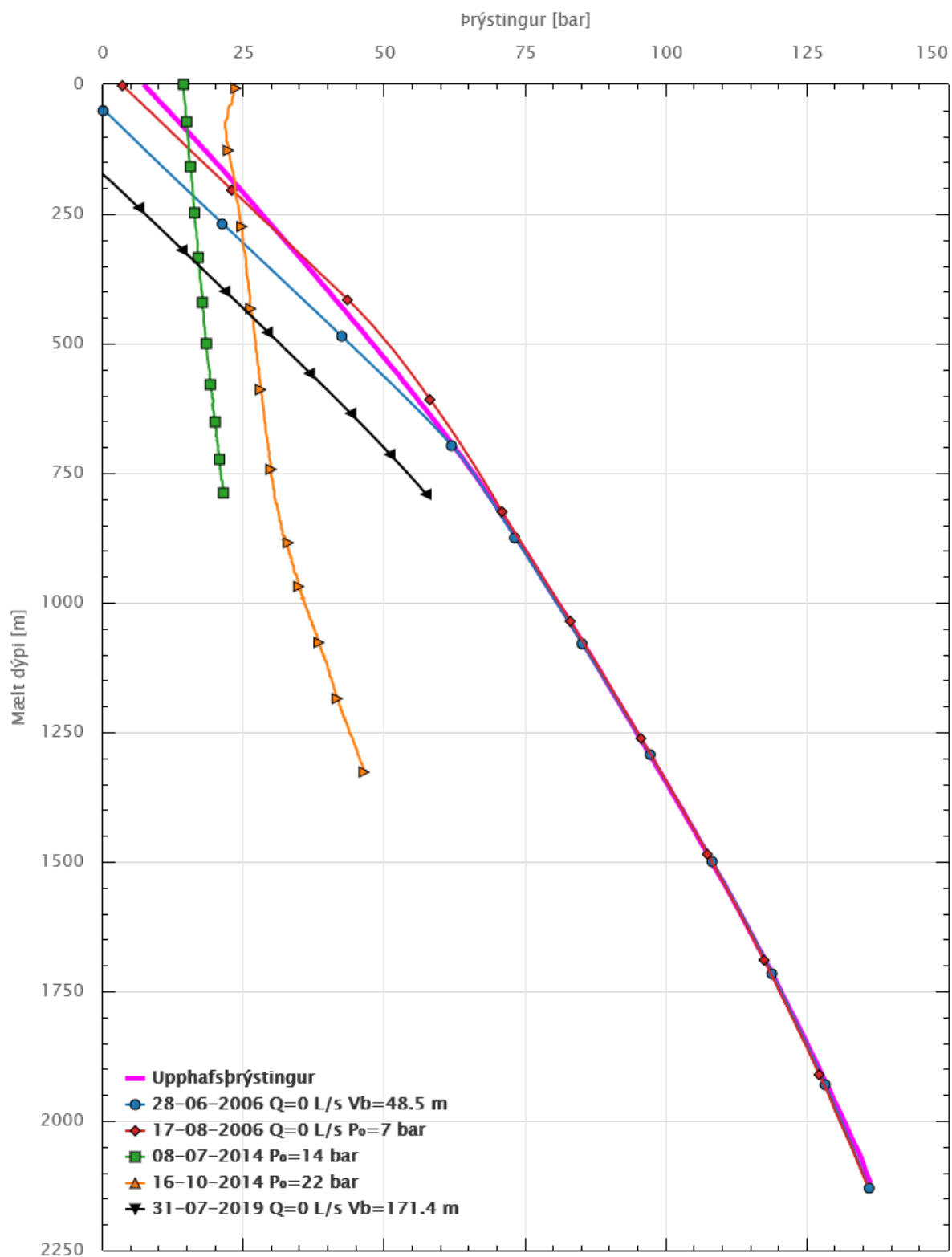


**Mynd 25.** Áður en holunni var hleypt upp mældist hún auðveldlega niður í 2195 m. Eftir 75 daga upphitun, þann 17. ágúst 2006, var holan við suðumark frá 500 m dýpi.



**Mynd 26.** Hitamælingar síðustu átta ára í holu BJ-13 ásamt metnum berghitaferli og suðumarksferli m.v. mældan þrýsting 2019.





Mynd 27. Þrýstimælingar síðustu átta ára í holu BJ-13 ásamt metnum upphafsprýstingi.

### 3.4 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 jarðhitakerfið í Námafjalli. Í febrúar 2011 var holunni aftur hleypt í blástur og var hún í blæstri þar til henni var lokað 8. mars 2012.

Hola BJ-14 var síðast mæld 5. september 2018 og var sú mæling hluti af eftirlitsmælingum þess árs í Bjarnarflagi (Þorsteinn Egilson o.fl., 2018).

### 3.5 Hola BJ-15

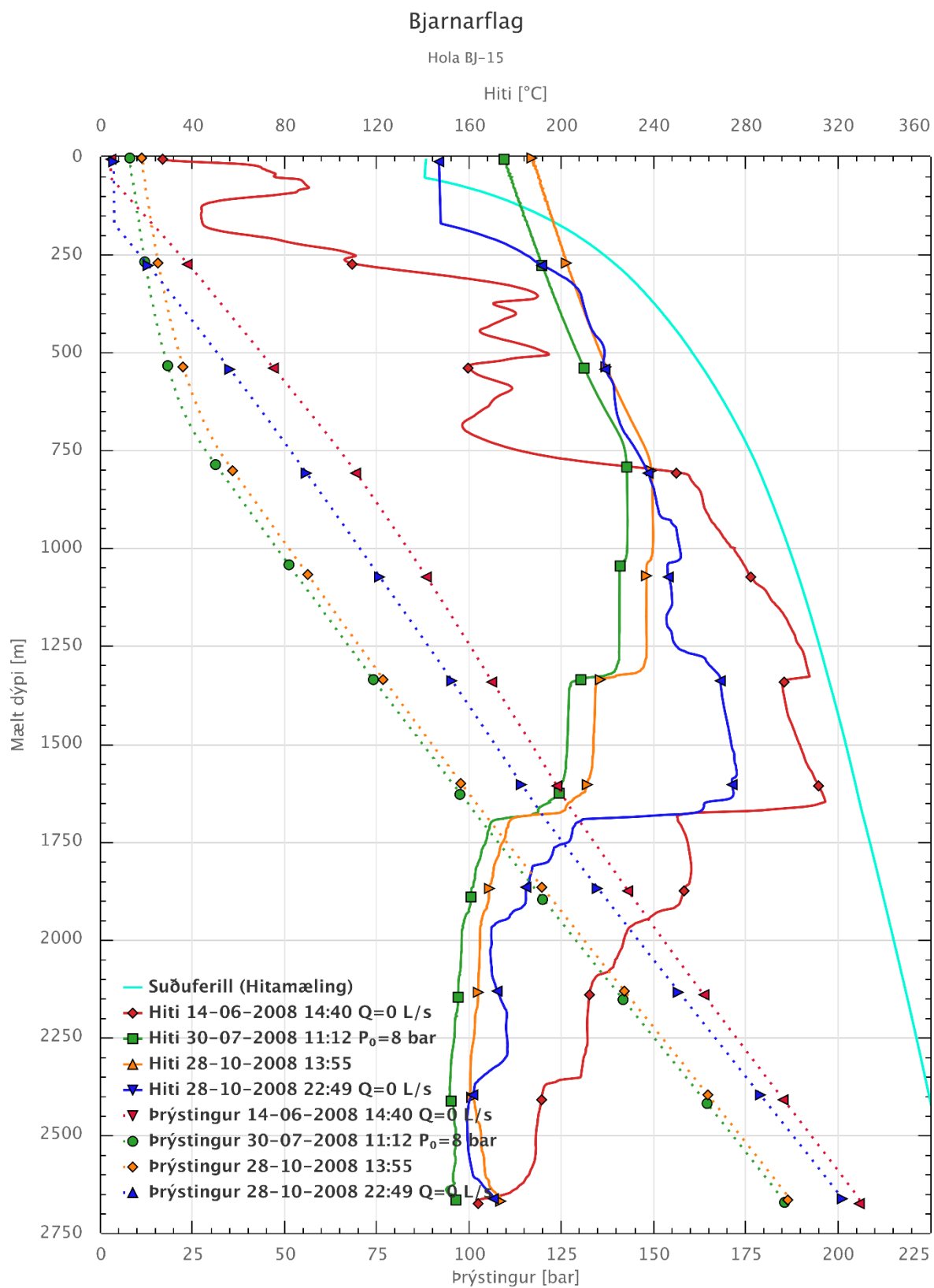
Borun holu BJ-15 lauk 6. maí 2008 og var hún þá 2690 m MD (mælt dýpi). Vinnsluhluti hennar var boraður með 8½" krónu og fóðraður með 7" götuðum leiðara. Stefna holunnar var ráðgerð 320°N með 20° halla á vinnsluhluta hennar og gekk það að mestu eftir. Í lok örvunaraðgerða var ádælingarstuðull hennar um 5 (l/s)/bar (Anette K. Mortensen o.fl., 2009; Anett Blischke o.fl., 2009).

Holu BJ-15 var hleypt upp 26. júní 2008 og henni lokað 28. okt. 2008 og hefur hún ekki farið í vinnslu eftir það. Mynd 28 sýnir hita- og þrýstimælingar í holunni 14. júní 2008 fyrir upphleypingu, 30. júlí 2008 í vinnslu og 28. okt. 2008 fyrir og eftir lokun holunnar. Við prófun holunnar fór holutoppsþrýstingurinn í 10–11 bar, og samkvæmt skráningarkerfi Landsvirkjunar gaf hún um 20 kg/s með um 1100 kJ/kg vökva, þar af um 5,5 kg/s gufu. Hitamælingar í blæstri sýna að flæði frá botni og upp í 1700 m er með einungis 680 kJ/kg í vermi sem hækkar í 945 kJ/kg eftir innstreymi þar og eftir viðbótarinnstreymi á 1350 og 1050 m dýpi er vermið um 1040 kJ/kg en frá botni og upp í 850 m dýpi er vökvinn einfasa vatn. Mynd 28 sýnir einnig að fyrir upphleypingu eftir 44 daga upphitun hafði holan hvergi náð suðumarki.

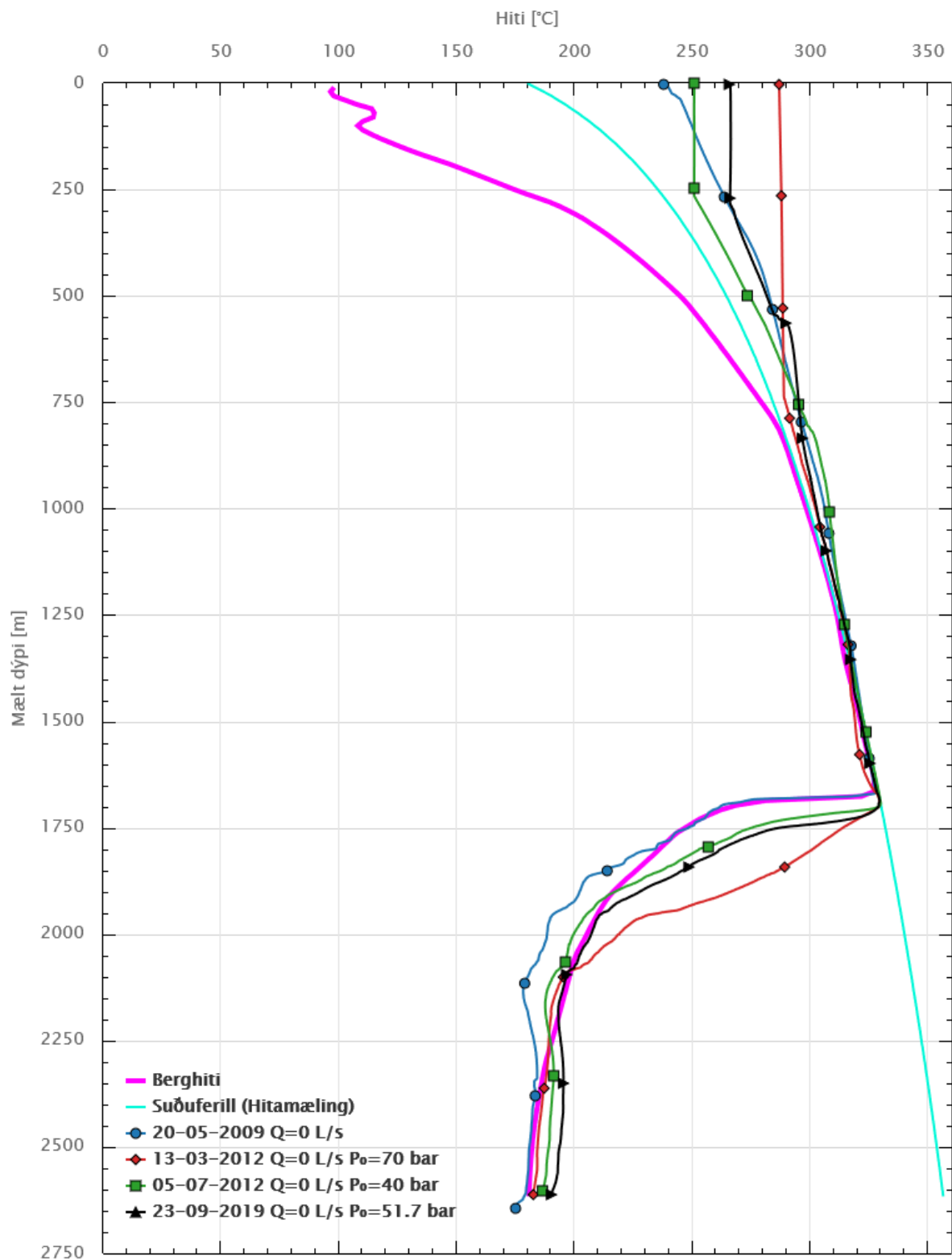
Hitamælingar í holu BJ-15 frá 2009, 2012 og 2019 (mynd 29) sýna að botnhitinn er 180–190°C og frá 1700 m fylgir hitinn suðumarki upp í 1300 m en þar fyrir ofan er yfirhituð gufa þegar holan er á léttri blæðingu. Mynd 30 sýnir samsvarandi þrýstimælingar sem endurspeгла vel hitabreytinguna sem verður á 1700 m dýpi.

Mynd 31 sýnir hitastig, annars vegar á 1700 m dýpi og hins vegar á 2600 m dýpi, sem er nærri botni holunnar. Frá 2009 eru mælingar stopular en hiti í 1700 m hefur haldist nærri metnum berghita sem er nærri suðumarkshita á því dýpi. Frá árslokum 2008 hefur hiti í 2600 m hækkað nokkuð jafnt og út frá tiltækum mælingum er þessi hækkun um 1,2°C/ár.

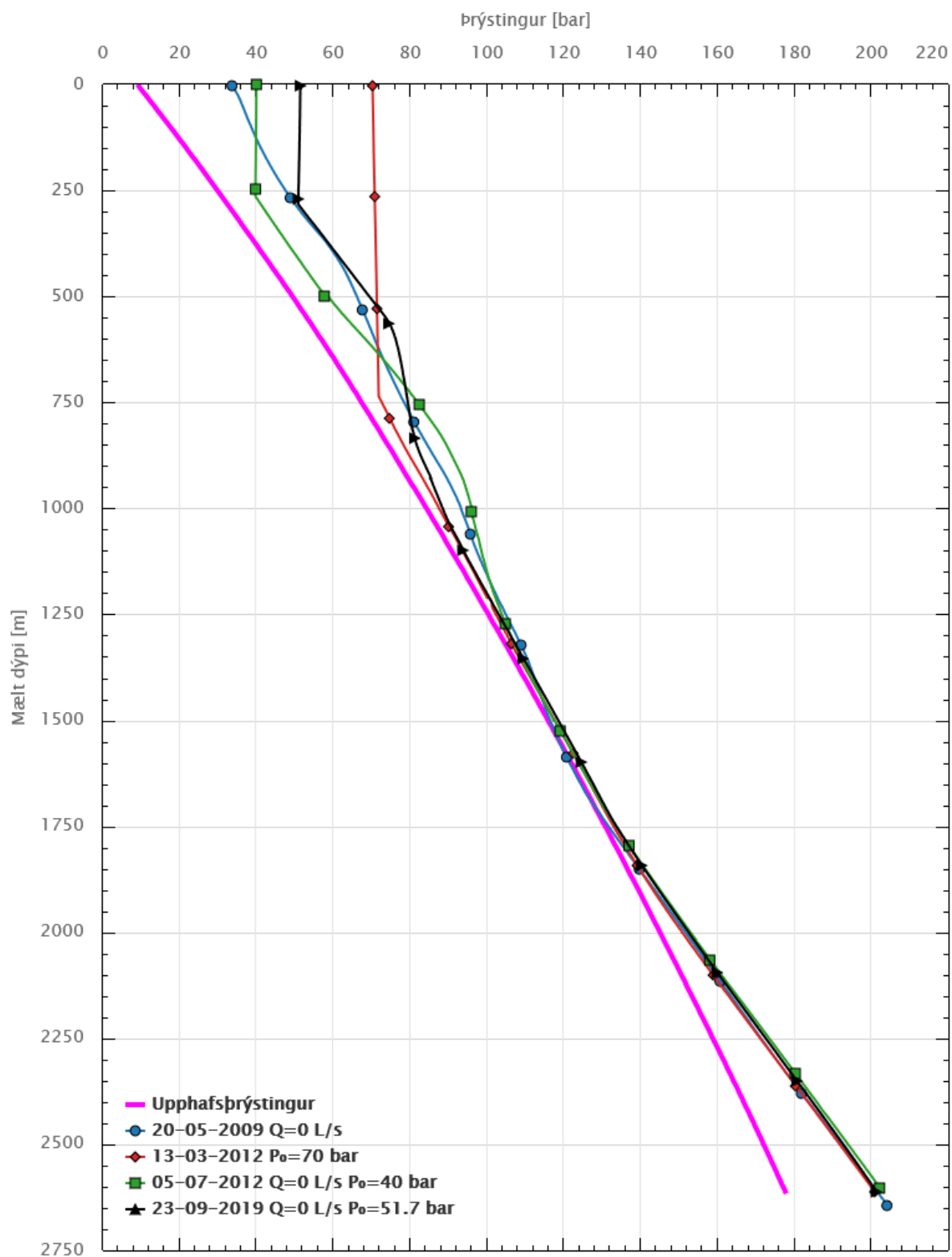
Mynd 32 sýnir mældan þrýsting á 1700 m dýpi, metinn upphafsþrýsting á því dýpi, mældan holutoppsþrýsting og samanlagða vinnslu úr Bjarnarflagi frá 2008 til 2018. Á henni sést að ekki mælist breyting frá 2012 til 2019 en þá er þrýstingurinn um 6,7 bar hærri en metinn upphafsþrýstingur á umræddu dýpi. Myndin sýnir vel áhrif þess að holan var prófuð frá júní til október 2008. Eins og sjá má eru nokkrar sveiflur í holutoppsþrýstingnum en vegna strjálle mælinga niður í holunni er ekki unnt að tengja það saman en hluti sveiflunnar tengist væntanlega hvernig blæðingu af holunni er hátað hverju sinni.



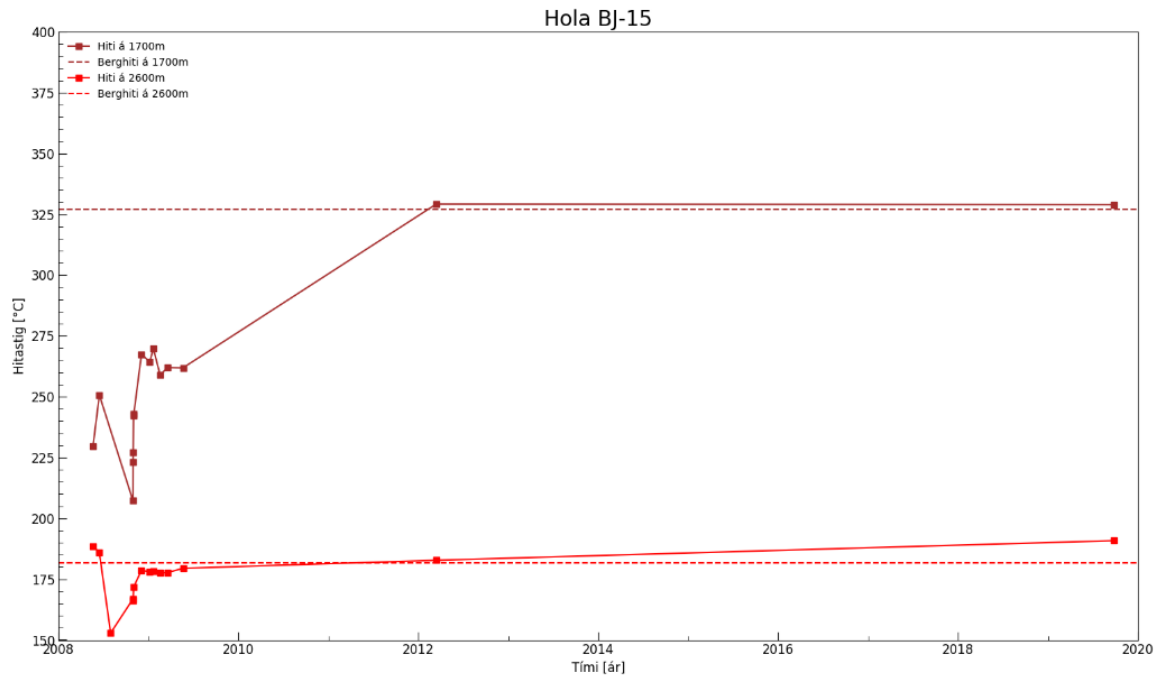
**Mynd 28.** Hita- og þrýstimælingar samhliða upphleypingu á holu BJ-15 (26. júní til 28. okt. 2008).



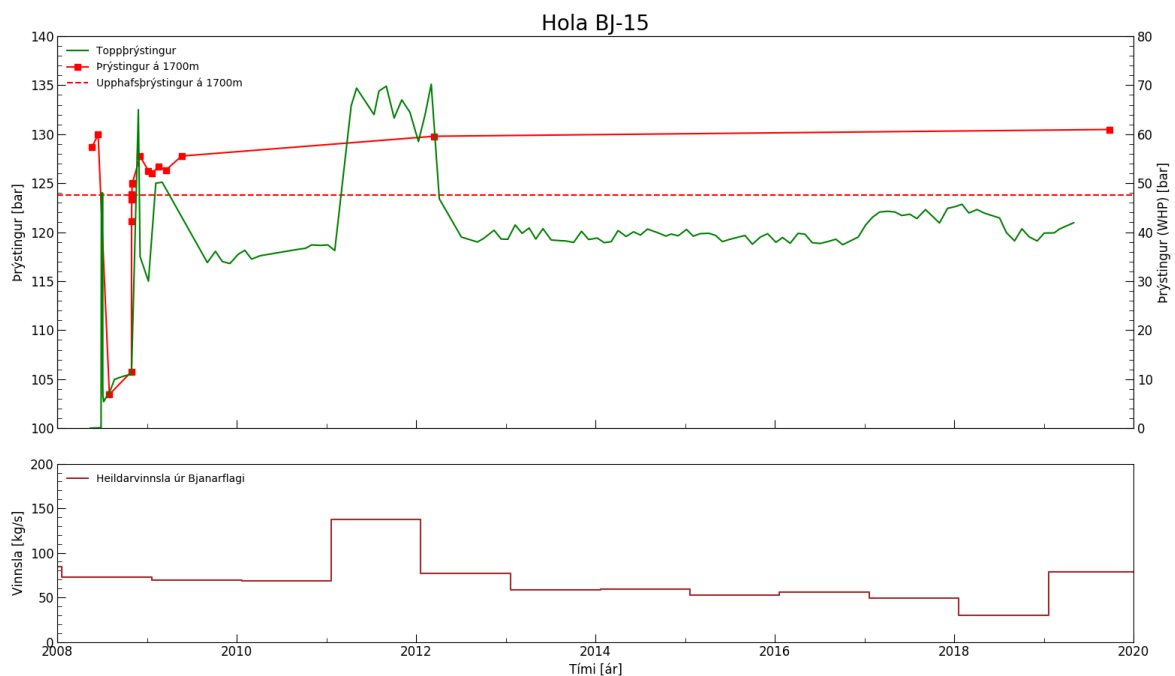
**Mynd 29.** Hitamælingar í holu BJ-13 2009 til 2019 ásamt metnum berghitaferli og suðumarksferli m.v. mældan þrýsting 2019.



Mynd 30. Þrýstimælingar í holu BJ-15 frá 2009 til 2019 ásamt metnum upphafsprýstingi.



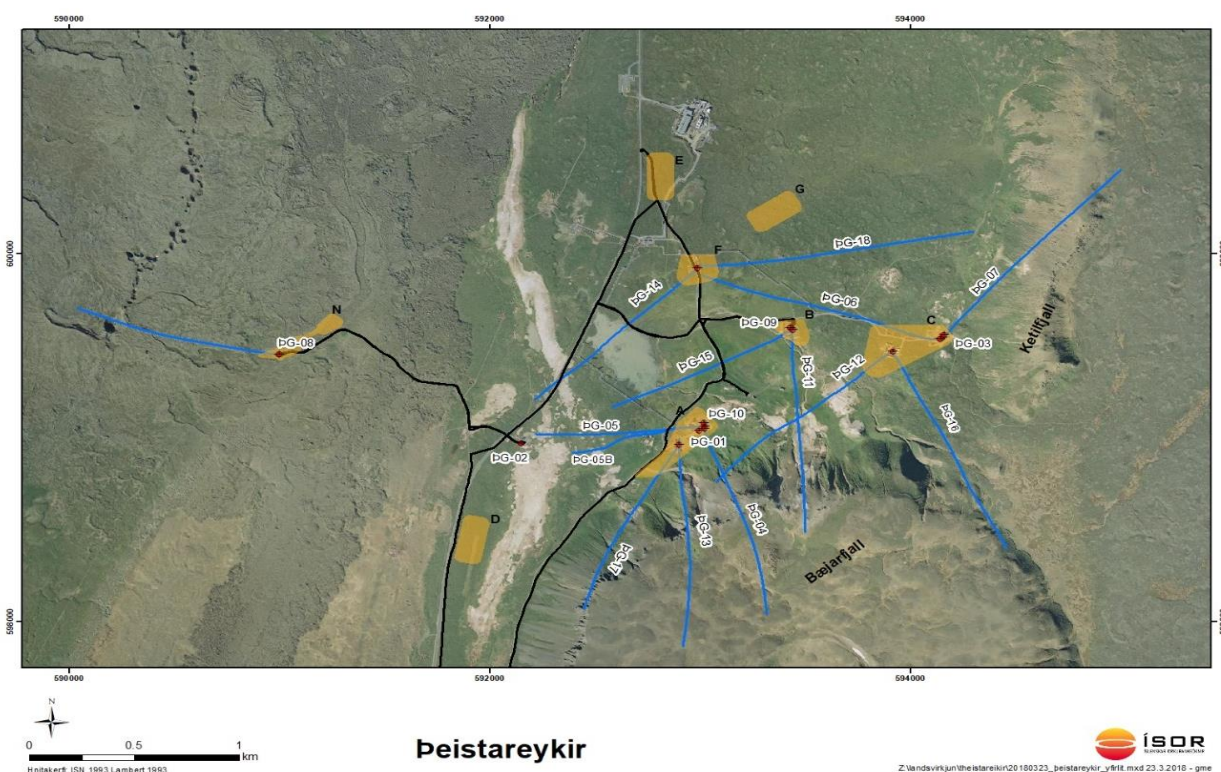
**Mynd 31.** Mælt hitastig í holu BJ-15 á annars vegar 1700 m dýpi og hins vegar 2600 m dýpi, nærri botni holunnar, ásamt metnum berghita á þessum sömu dýpum.



**Mynd 32.** Mældur þrýstingur í holu BJ-15 á 1700 m dýpi ásamt tilsvareandi upphafsprýstingi, holutoppsprýstingi og heildarvinnslu úr jarðhitakerfinu í Bjarnarflagi.

## 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. Hún er þar með döttin af dagskrá sem eftirlitshola. 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, 2019).



**Mynd 33.** Yfirlit um holustaðsetningu og holuferla stefnuboraðra holna á Þeistareykjum.

Um fyrirkomulag eftirlitsmælinga á Þeistareykjum var fjallað á fundi ÍSOR með Landsvirkjun (15. júní 2018) og var niðurstaðan sem hér segir (Þorsteinn Egilson, 2019):

- Eftirlitsholur á Þeistareykjum (hvaða holur, hvenær og hvernig mældar):
  - Eftirlit í byrjun júlí og nóvember (sætum færiss með veður) fyrsta árið en annars er miðað við að eftirlit mælingarnar fari fram fyrir lok september hvert ár.
  - Hóla ÞG-18 alltaf lokuð og mæld árlega (tvisvar fyrsta árið).
  - Holur ÞG-15 og ÞG-11 lokaðar um óákveðinn tíma og mældar árlega (tvisvar fyrsta árið).

- Holu ÞG-1 lokað í 2 vikur árlega og mæld í lokin (tvisvar fyrsta árið).
- Holur ÞG-2 og ÞG-8 mældar þegar hentar, þ.e. ef símælinganemi er tekinn upp.

Mælingarnar 2019 fylgja ofangreindri áætlun nema hvað 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. Ekki var hætt á að setja mæli ofan í holuna eftir þetta (sjá minnisblöð mælingamanna í viðauka). Mælingar í holum ÞG-2 og ÞG-8 hafa ekki komist á dagskrá.

**Tafla 2.** Yfirlit um hita- og þrýstimælingar í Þeistareykjaholum 2018 og 2019.

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

## 4.1 Hola ÞG-1

Hola 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 um 20 kg/s við um 13,5 bar toppþrýsting og 1900 kJ/kg vermi.

Hola ÞG-1 er hugsuð sem eftirlitshola þ.a. hún verði mæld í vinnslustoppi a.m.k. 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. Í ár, 2019, var hún mæld eftir tveggja vikna lokun í samræmi við áætlanir.

Mynd 34 sýnir mældan hita á 1300 m dýpi. Ósamstæði mælinganna er vegna þess að mælingarnar eru gerðar við mismunandi aðstæður í holunni m.t.t. vinnslu, vinnsluhléa og þegar það á við, hvenær í vinnsluhléum þær eru gerðar.

Mynd 35 sýnir vinnslusögu holunnar frá upphafi, vinnsla, vermi og toppþrýstingur eru úr skráningarkerfi Landsvirkjunar og auk þess sýnir myndin mældan þrýsting á 1300 m dýpi sem var jafnvægisstaður þrýstings við upphitun (Þorsteinn Egilson o.fl., 2004). Í vinnslu fer þrýstingur á 1300 m dýpi niður undir 25 bar en í vinnsluhléum nær þrýstingur þar í a.m.k. 96 bar sem er 5,6 bar undir metnum upphafsþrýstingi. Vert er að vekja athygli á að allt frá árinu 2015 hefur vermi vinnsluvökvans minnkað um 120 kJ/kg/ár og er þessi rénun áberandi vinnsluárin 2018 og 2019.

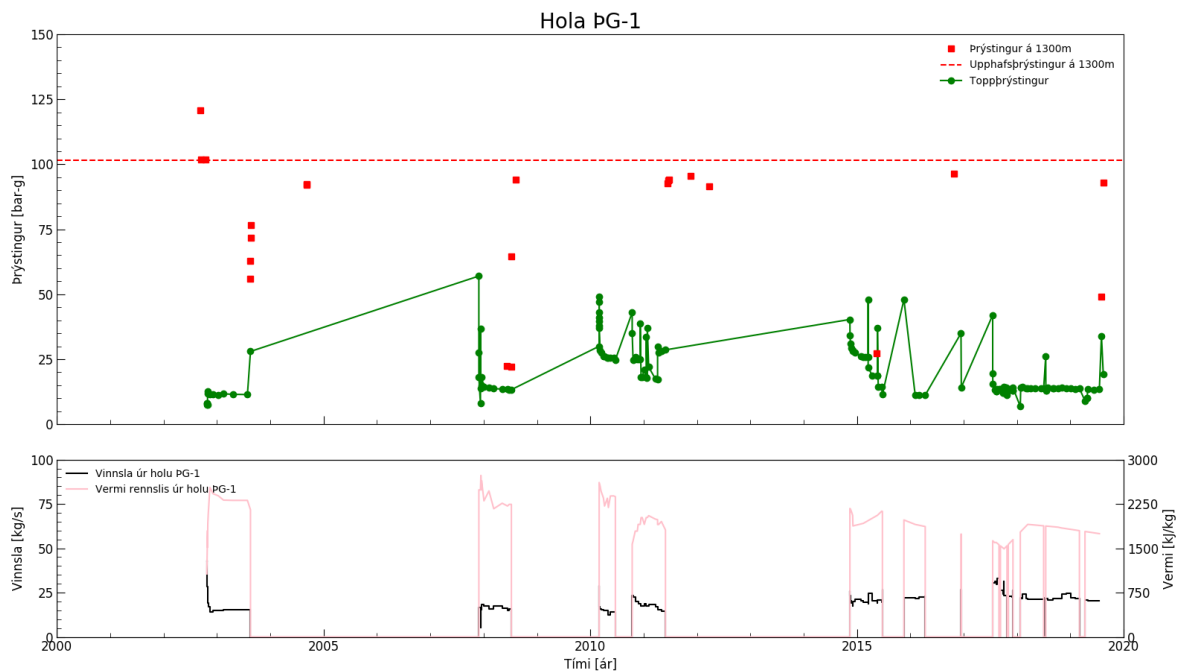
Myndir 36 og 37 sýna valdar hita- og þrýstimælingar frá 2012 til 2018 í holu ÞG-1 ásamt metnum berghitaferli og upphafsþrýstingi og marka þessi gögn ákveðna upphafsstöðu kerfisins við upphaf langtíma vinnslu svæðisins.



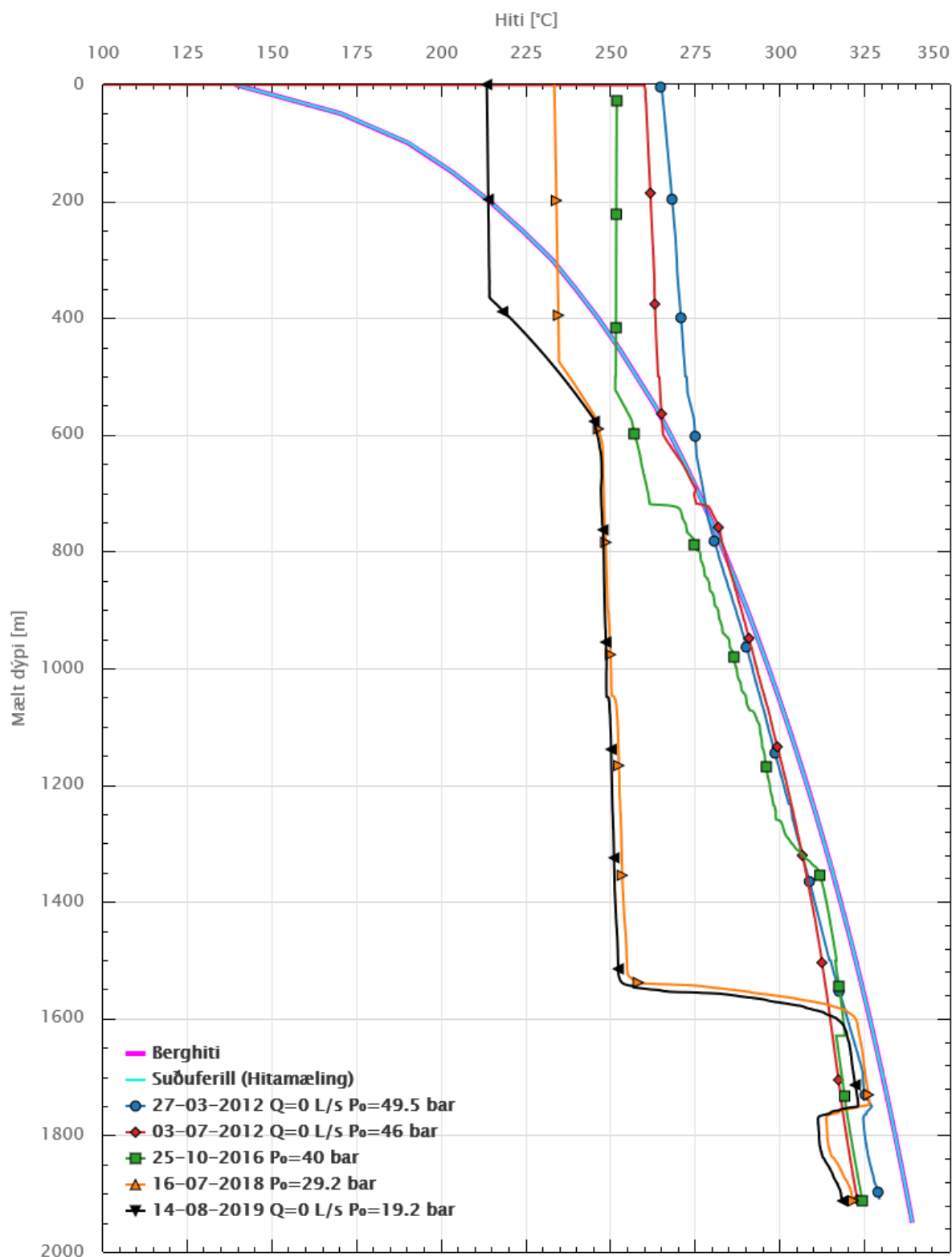
Til að gera eftirlitsmælingar í holu ÞG-1 á Þeistareykjum markvissari er lagt til að hún verði mæld árlega í vinnslu en auk þess mæld í lok vinnsluhléa sem vara lengur en fjórar til sex vikur.



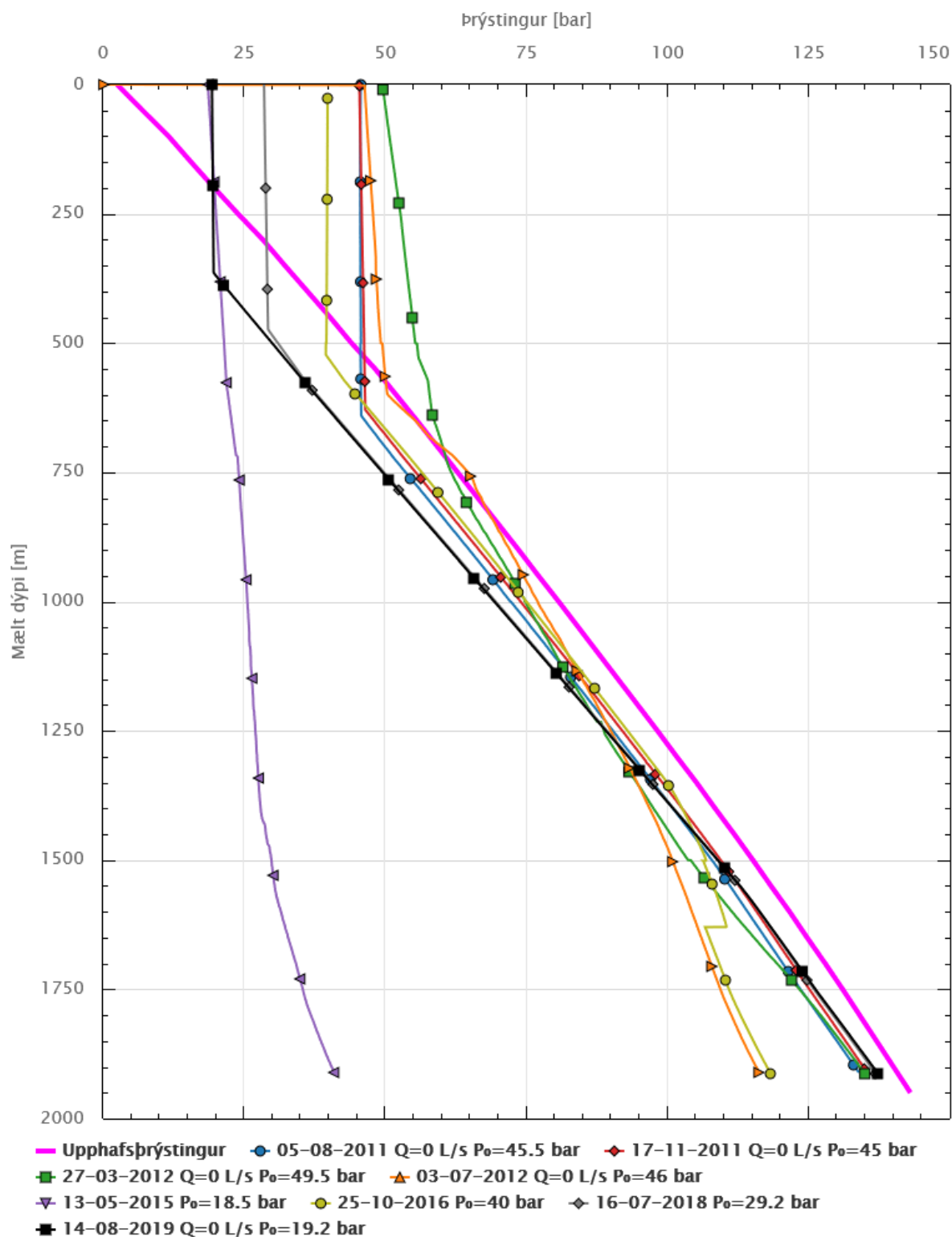
**Mynd 34.** Hin stutta saga hitastigs á 1300 m dýpi í holu ÞG-1. Mælingarnar árin 2018 og 2019 eru þær fyrstu sem eru hluti að eftirlitsmælingaferli í holunni.



**Mynd 35.** Hin stutta saga þrýstings á 1300 m dýpi í holu ÞG-1. Mælingarnar árin 2018 og 2019 eru þær fyrstu sem eru hluti af eftirlitsmælingaferli í holunni. Myndin sýnir einnig vinnslusögu holunnar sem og mældan toppþrýsting.



**Mynd 36.** Hitamælingar í hólum ÞG-1 árin 2012 til 2019 ásamt metnum berghitaferli og suðumarksferli m.v. mældan þrýsting 2019.



Mynd 37. Þrýstimælingar í holu ÞG-1 frá 2011 til 2019 ásamt metnum upphafsprýstingi.

## 4.2 Hola ÞG-6

Hola ÞG-6 var boruð frá júní til ágúst 2008 og liggur hún vestur undir Þeistareykjagrundir.

Hugmyndin að stefnuborun holu ÞG-6 til vesturs var að fá upplýsingar um hita og lekt í berggrunninum norður af Bæjarfjalli. Einnig að aðaluppstreymi jarðhitakerfisins á Þeistareykjum sé eftir NNA-SSV sprungukerfi norður úr Bæjarfjalli. Holu ÞG-6 var ætlað að skera framhald þeirra brota sem sjá má í norðurhlíðum Bæjarfjalls en hverfa undir hraun og framburð úr Bæjarfjalli á Þeistareykjagrundum. Reynslan úr holu ÞG-4, sem sker brotin undir Bæjarfjalli, er að góð lekt virðist vera tengd brotunum undir fjallinu (Sigurveig Árnadóttir o.fl., 2009a). Æðar í holu ÞG-6 dreifast nokkuð jafnt. Flestar æðar eru taldar vera tiltölulega litlar (Sigurveig Árnadóttir o.fl., 2009b). Ádælingarstuðull holunnar í þrepaprófi í borlok mældist á bilinu 2,5–3,1 (l/s)/bar en lektarmat unnið út frá þrepaprófinu er lágt, 2–4 Darcy-m (Þorsteinn Egilson, 2009).

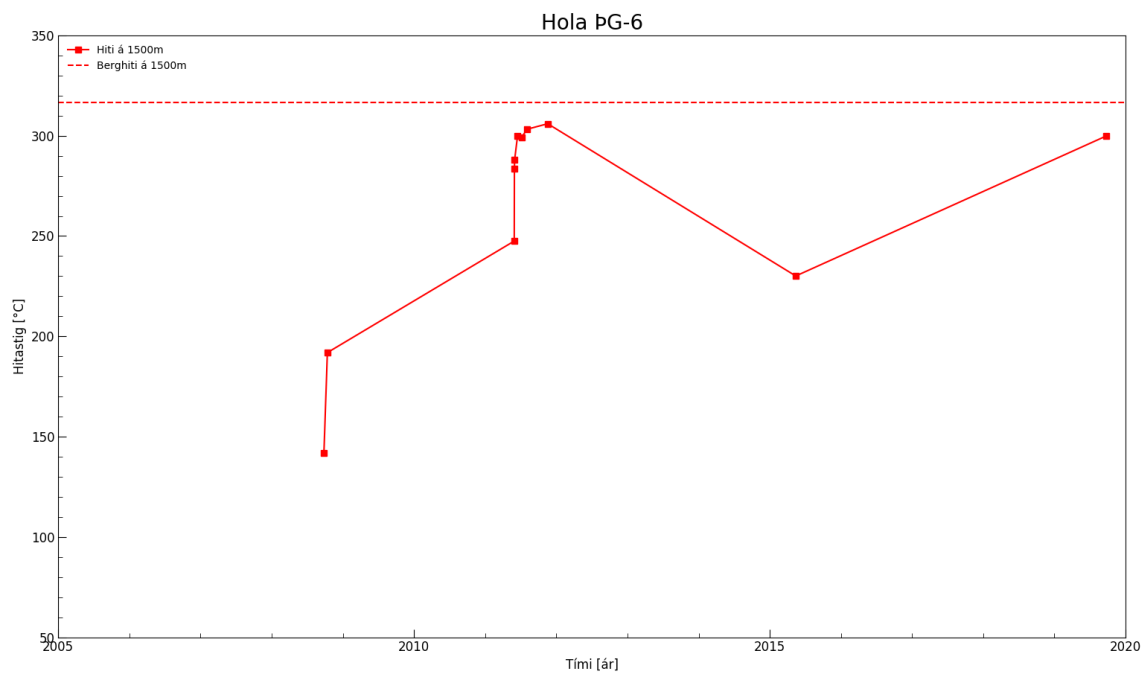
Mynd 38 sýnir mældan hita á 1500 m dýpi. Dreifing mælinganna ræðst mest af tímalegri afstöðu þeirra til vinnslu en svo virðist sem hitinn í 1500 m fari í um 305°C þegar vel er liðið á vinnsluhlé sem er um 11°C undir metnum berghita á umræddu dýpi.

Mynd 39 sýnir vinnslusögu holunnar frá upphafi. Vinnsla, vermi og toppþrýstingur er úr skráningarkerfi Landsvirkjunar og auk þess sýnir myndin mældan þrýsting á 1500 m dýpi sem var jafnvægisstaður þrýstings við upphitun (Þorsteinn Egilson, 2011). Eftirlitsmælingin 2019 var gerð 24. september, sjö dögum eftir að holunni var lokað, þannig að þegar mælingin var gerð var holan á fullri ferð í þrýstijöfnun og erfitt að setja mælinguna í samhengi við t.d. metinn upphafsþrýsting. Við þrýstijöfnunarmælingar árið 2011 var þrýstingur á 1500 m dýpi kominn í 96,2 bar eftir tæpar níu vikur, 10,5 bar undir metnum upphafsþrýstingi, en 18. nóv. 2011, 140 dögum eftir lokun holunnar, var þrýstingurinn í 1500 m kominn í 102,2 bar, sem er 4,5 bar undir hinum metna upphafsþrýstingi.

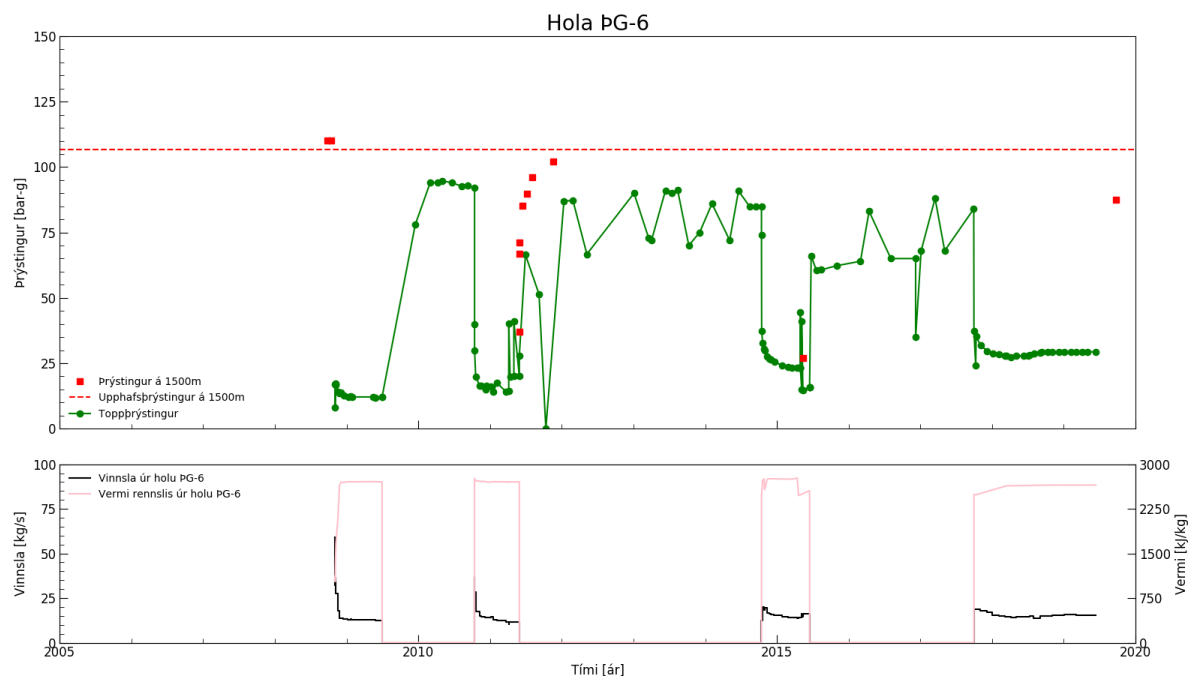
Mæling á vinnslu og vermi (mynd 39) sýnir að vermið hefur haldist um 2650 kJ/kg allan vinnslutímann en vinnslunni hefur verið haldið í kringum 15 kg/s, að mestum hluta vatnsgufa. Þegar kemur að skráningu á toppþrýstingi með holuna lokaða er vert að veita athygli þeirri meðaltalsþróun í lækkun á þrýstingi sem er gróflega metin um 1,3 bar/ár.

Mynd 40 sýnir hitaferla úr holu ÞG-6 frá 2009 til 2019 ásamt metnum berghita og suðumarkshita miðað við mældan þrýsting 2019. Mynd 41 sýnir þrýstiferla fyrir holu ÞG-6 frá 2008 til 2019 ásamt metnum upphafsþrýstingi.

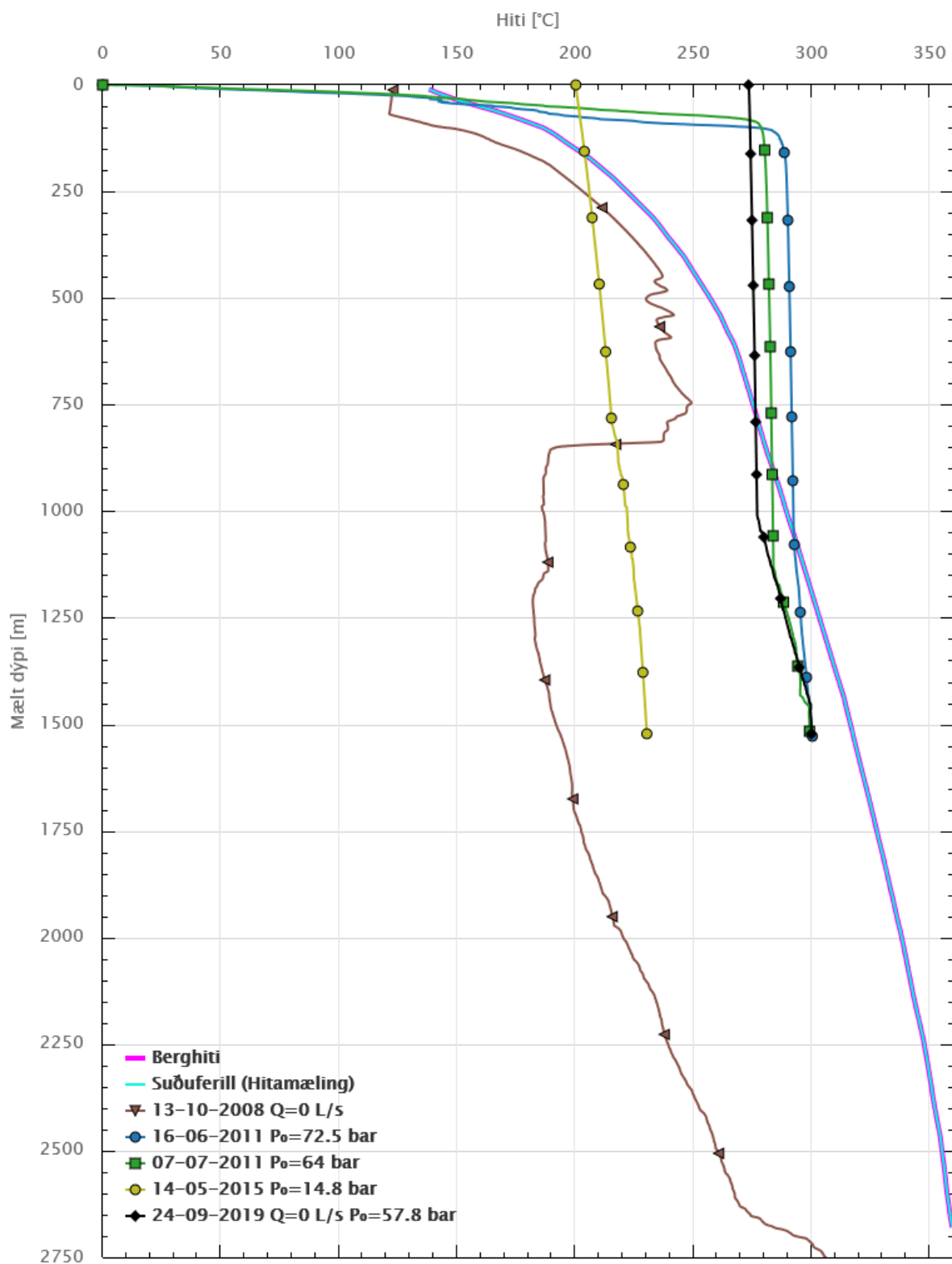
Ef nota á holu ÞG-6 til eftirlitsmælinga í framtíðinni er lagt til að hún sé mæld í blæstri og síðan mæld þar fyrir utan í lok vinnsluhléa sem ná a.m.k. átta vikum.



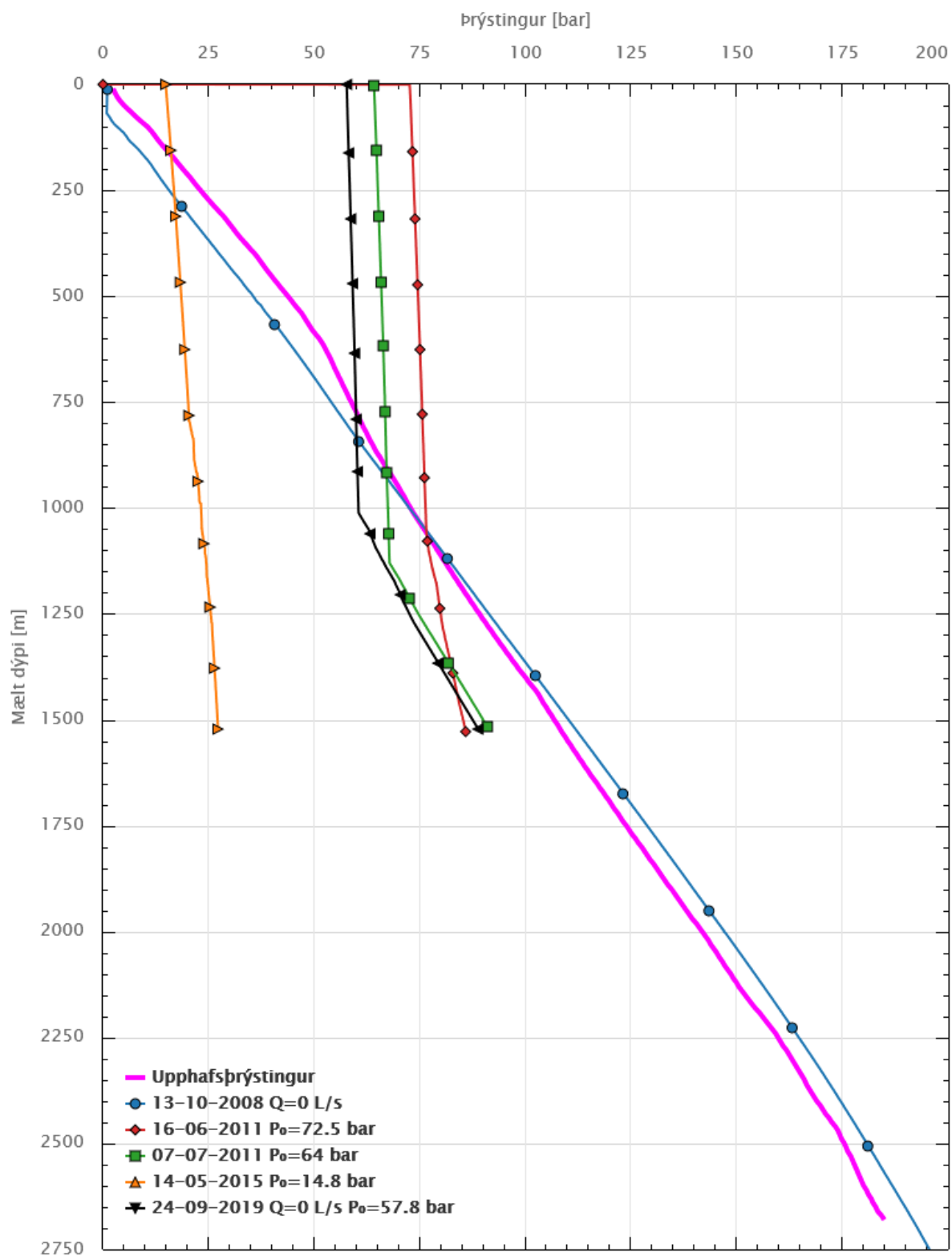
**Mynd 38.** Hin stutta saga hitastigs á 1500 m dýpi í holu ÞG-1. Mælingarnar árin 2018 og 2019 eru þær fyrstu sem eru hluti af eftirlitsmælingaferli í holunni.



**Mynd 39.** Mældur þrýstingur í holu ÞG-6 á 1500 m dýpi ásamt tilsvarendi upphafsprýstingi, holu-toppþrýstingi og vinnslu úr holunni frá upphafi.



**Mynd 40.** Hitamælingar í holu ÞG-6 árin 2008 til 2019 ásamt metnum berghitaferli og suðumarksferli m.v. mældan þrýsting 2019.



**Mynd 41.** Þrýstimælingar í holu ÞG-6 frá 2008 til 2019 ásamt metnum upphafsprýstingi.

### 4.3 Hóla ÞG-15

Hóla ÞG-15 var boruð árið 2017 og lauk borun á 2260 m dýpi þann 11. mars. Hólan liggur til suðvesturs af borplani B. 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.

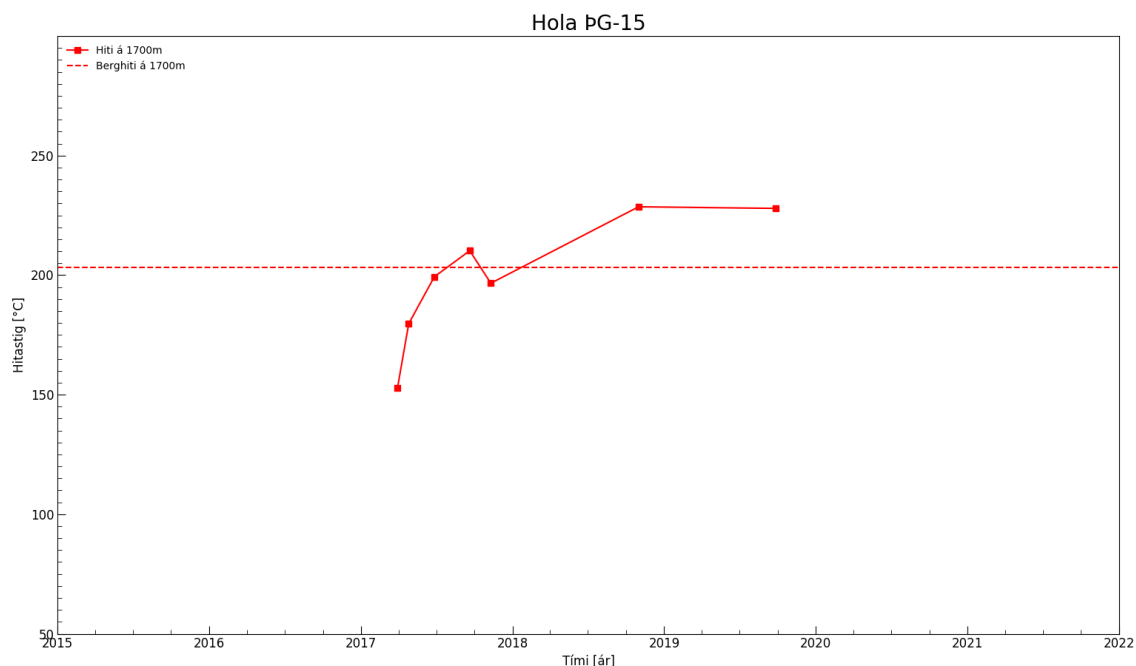
Hóla ÞG-15 liggur í átt að svæði sem holur ÞG-5b og ÞG-14 vinna einnig úr og er hugsuð sem eftirlitshóla fyrir það vinnslusvæði og að hún verði mæld a.m.k. einu sinni á ári því þótt hiti í holum ÞG-14 og ÞG-15 sé lægri en í holu ÞG-5b er gert ráð fyrir þrýstisambandi á milli holnanna. Þá eiga reglulegar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

Mynd 42 sýnir mælt hitastig í holu ÞG-15 á 1700 m dýpi ásamt metnum berghita á þessu sama dýpi en hóla ÞG-15 var afkastaprófuð í rúma þrjá mánuði frá 2017 til 2018. Í eftirlitsmælingunum 2018 og 2019 mælist hitinn í 1700 m nánast sá sami, 228,6°C og 227,9°C sem er um 25°C hærri hiti en metinn berghiti (203,2°C) á 1700 m dýpi.

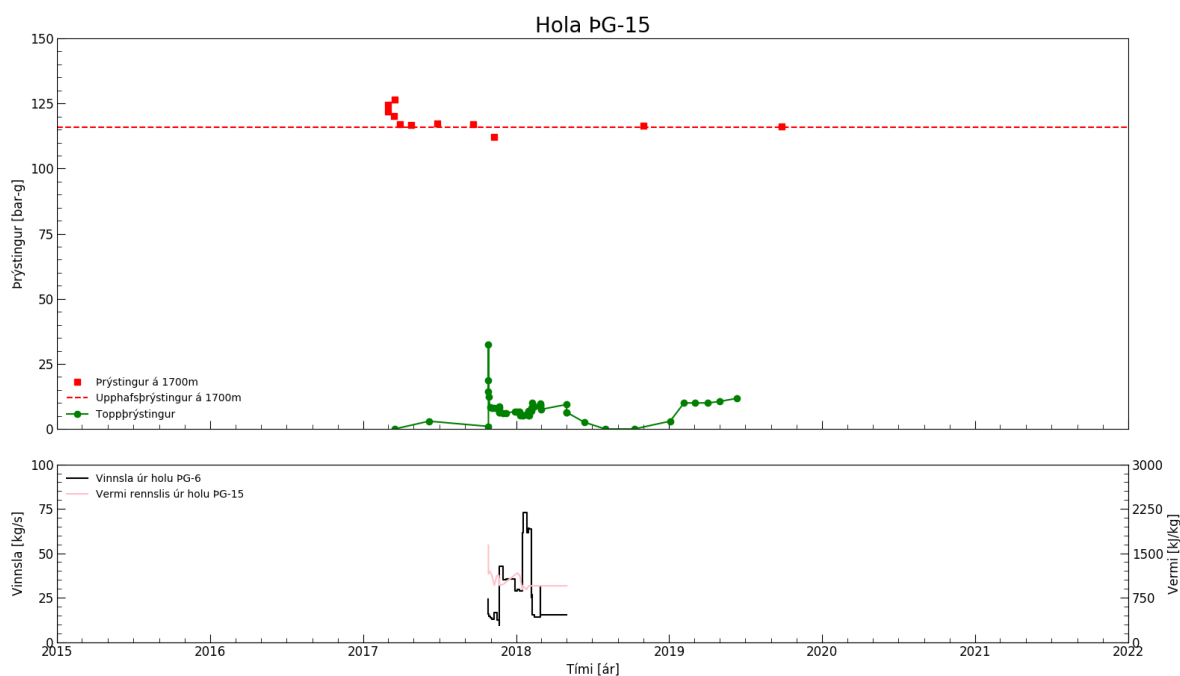
Mynd 43 sýnir vinnslusögu holu ÞG-15 frá upphafi, vinnsla, vermi og toppþrýstingur er úr skráningarkerfi Landsvirkjunar og auk þess sýnir myndin mældan þrýsting á 1700 m dýpi sem var jafnvægisstaður þrýstings við upphitun. Í eftirlitsmælingunum 2018 og 2019 mældist þrýstingurinn á 1700 m dýpi nánast sá sami, 116,5 bar og 116,2 bar, eða sem næst jafn metnum upphafsþrýstingi á 1700 m dýpi sem er 115,8 bar.

Mælingarnar árin 2018 og 2019 eru þær fyrstu sem eru hluti af eftirlitsmælingaferli í holunni en miðað við eiginleika hennar er líklegt að hún haldist sem eftirlitshóla næstu árin.

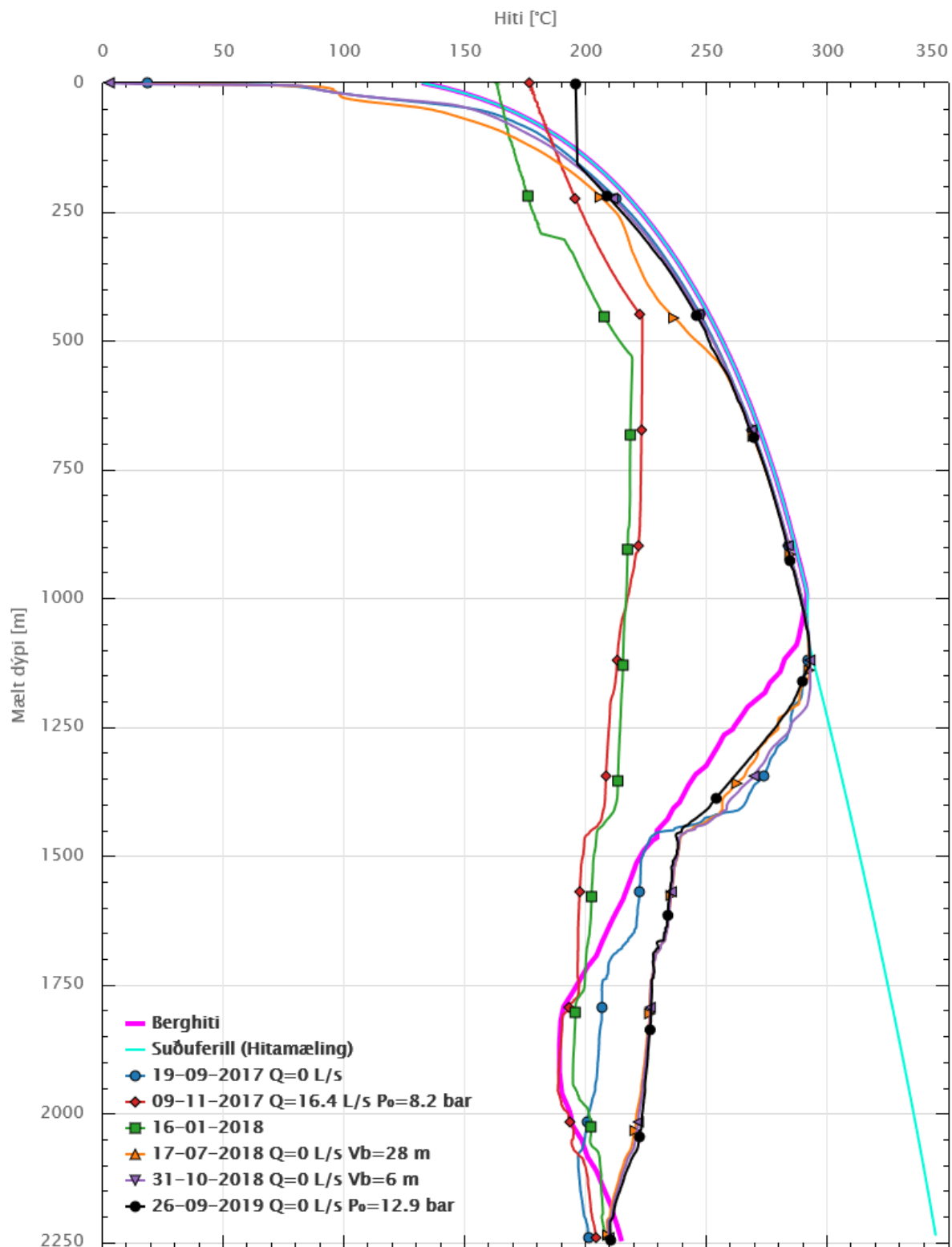




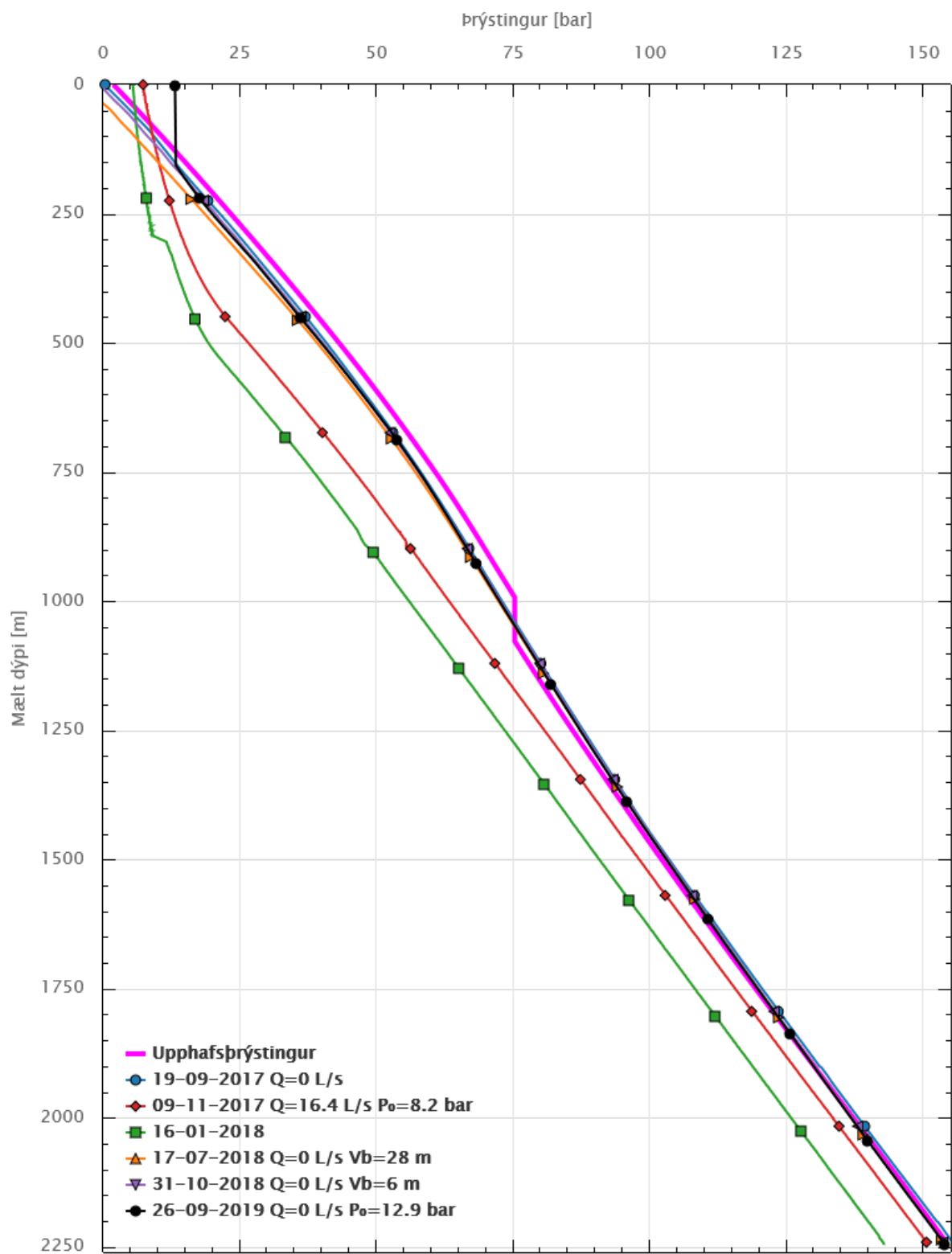
**Mynd 42.** Mælt hitastig í holu ÞG-15 á 1700 m dýpi ásamt metnum berghita á þessu sama dýpi. Mælingarnar árin 2018 og 2019 eru þær fyrstu sem eru hluti af eftirlitsmælingaferli í holunni.



**Mynd 43.** Hin stutta saga þrýstings á 1700 m dýpi í holu ÞG-15. Mælingarnar árin 2018 og 2019 eru þær fyrstu sem eru hluti af eftirlitsmælingaferli í holunni. Myndin sýnir einnig vinnslusögu holunnar sem og mældan toppþrýsting.



**Mynd 44.** Hitamælingar í hól ÞG-15 árin 2017 til 2019 ásamt metnum berghitaferli og suðumarksferli m.v. mældan þrýsting 2019.



Mynd 45. Þrýstimælingar í holu ÞG-15 frá 2017 til 2019 ásamt metnum upphafsprýstingi.

## 4.4 Vatnsborðsmælingar

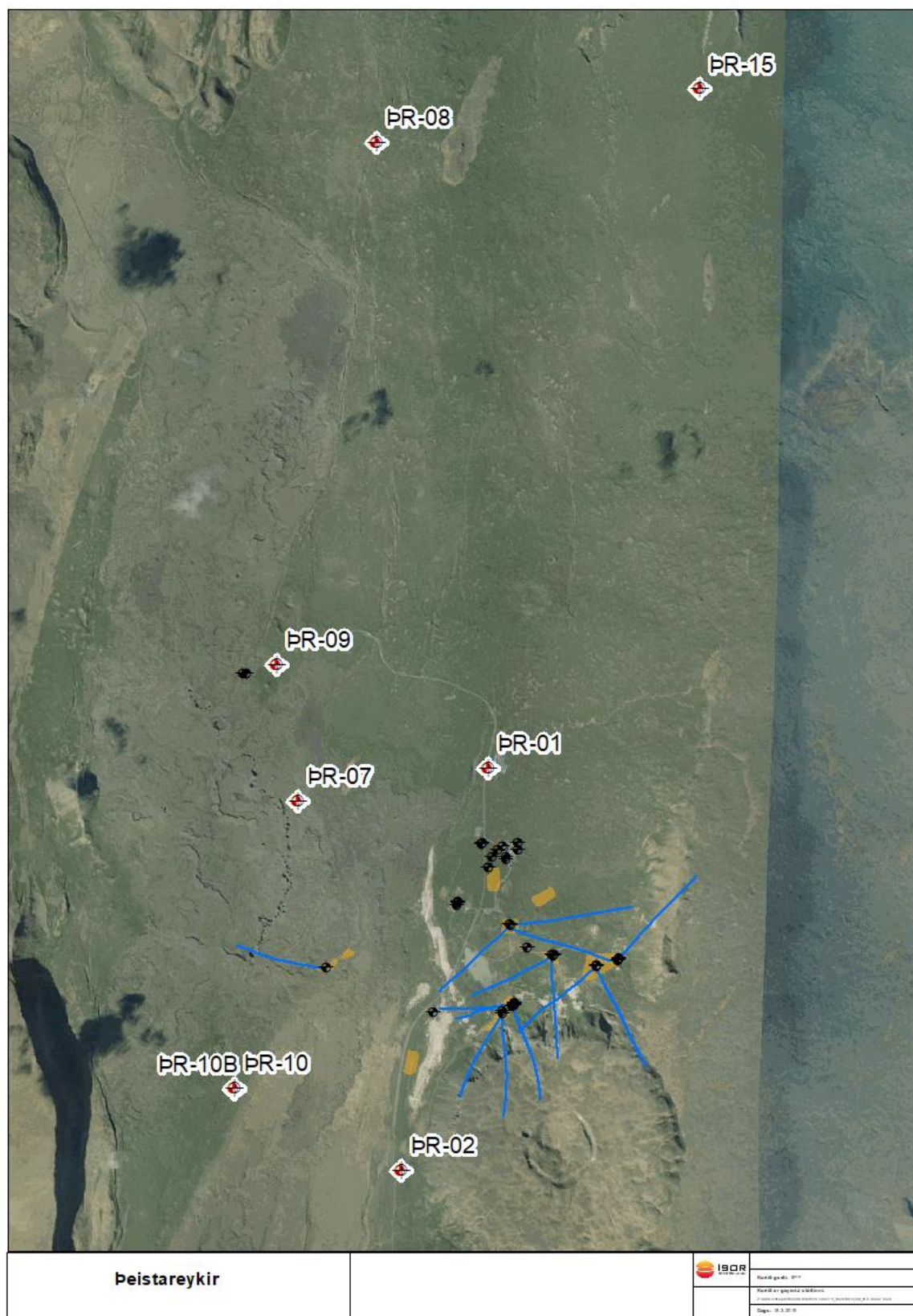
Vatnsborð hefur verið mælt í holum á Þeistareykjum frá 1975, fyrst afar stopult en frá 2004 hefur vatnsborð verið mælt reglulega og með tímanum hefur fjöldi holna aukist þar sem fylgst er með vatnsborði. Mynd 46 sýnir afstöðu holna ÞR-1, ÞR-2, ÞR-7, ÞR-8, ÞR-9, ÞR-10/10b og ÞR-15 til vinnslusvæðisins en þetta eru þær holur þar sem reglulegar vatnsborðsmælingar eru fyrirbyggjandi og mælt vatnsborð í þessum holum er sýnt á mynd 47. Grunnvatnsborð á Þeistareykjum liggur því á 80–120 m dýpi í þessum holum en mynd 48 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, 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, 2019).

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 48) 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 sé, eða hafi verið, á um 101 m dýpi og 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, 2019).

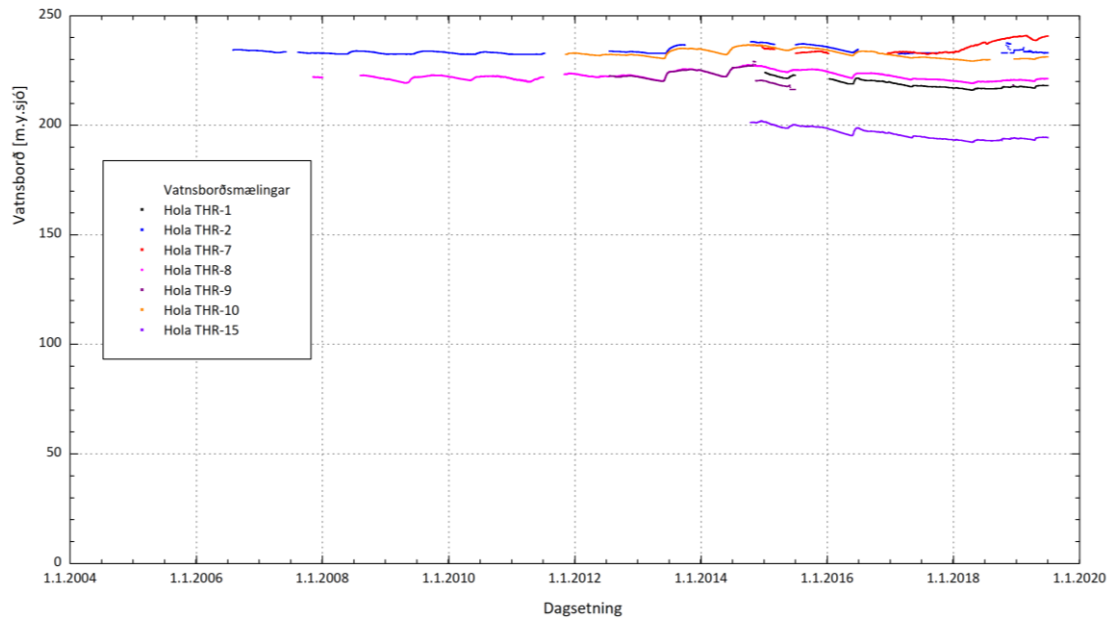
Vatnsborðsbreytingar fylgja að miklu leyti sama mynstri í öllum holum fram í janúar 2018 en þá verður eðlisbreyting á vatnsborði í holu ÞR-7 sem ekki sést í gögnum úr öðrum holum, enn sem komið er. Af því tilefni hefur vinnslan úr Þeistareykjakerfinu ásamt niðurdælingu verið samræmd vatnsborðinu í holunni og er niðurstaðan sýnd á mynd 49. 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 49). Í fyrstu var niðurdælingin metin gróflega (Þorsteinn Egilson, 2019) en frá júlí 2018 er niðurdælingin tengd sískráningarbúnaði.

Víðtækar vatnsborðsmælingar í holum umhverfis vinnslusvæðið mynda góðan grunn fyrir mat á áhrifum langtíma vinnslu úr jarðhitakerfinu á Þeistareykjum en velta þarf upp þeirri spurningu hvort æskilegt geti verið að bæta við vatnsborðsholu nærri Ketilfjalli austur eða austsuðaustur af holu ÞR-1.



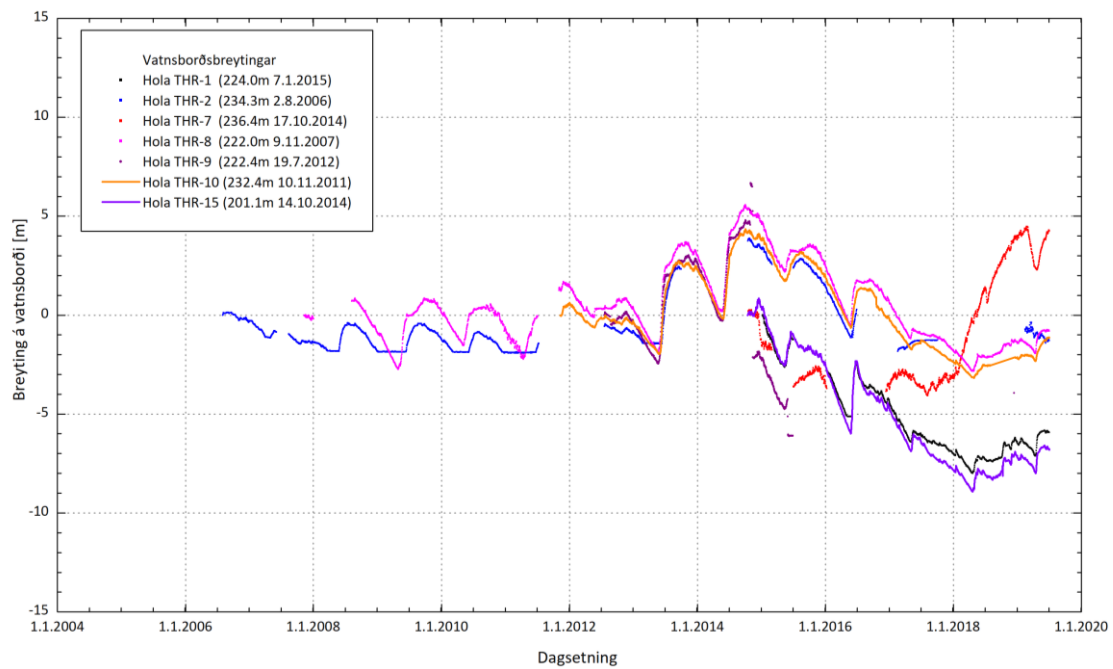
**Mynd 46.** Yfirlitsmynd sem sýnir staðsetningu holna þar sem vatnsborð er skráð með reglubundnum hætti.

## Þeistareykir Vatnsborðsmælingar

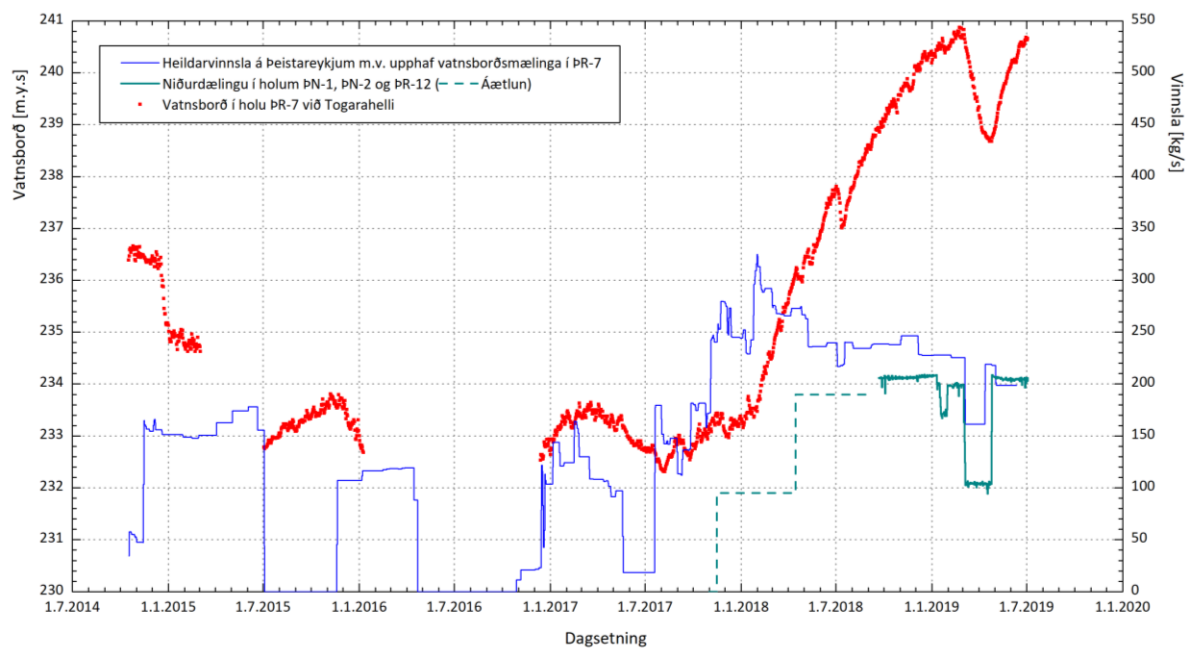
 19.12.2019  
 ÞEg


**Mynd 47.** Mælt vatnsborð 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.

## Þeistareykir Vatnsborðsmælingar

 18.3.2019  
 ÞEg


**Mynd 48.** Breytingar á vatnsborði í vatnsborðsholunum m.v. upphafsvatnsborð hverrar holu fyrir sig.



**Mynd 49.** Samantekt vinnslu úr jarðhitakerfinu á Þeistareykjum og niðurdælingu í það í samhengi við mælt vatnsborð í holu ÞR-7 við Togarahelli.

## 5 Helstu niðurstöður

- Árlegar eftirlitsmælingar voru gerðar í Kröflu, Bjarnarflagi og á Peistareykjum í ágúst og september 2019.
- Mældar voru holur KG-10, KJ-11, KJ-18 og KJ-21 í Kröflu, holur B-2 og BJ-13 í Bjarnarflagi og holur PG-1, PG-6 og PG-15 á Peistareykjum.
- Auk þess var vatnsborð mælt í holu KG-26 í Kröflu.
- Hitinn á 800 m dýpi í holu KG-10 heldur áfram að lækka í samræmi við þróun síðustu áratuga og mælist í ágúst 2019 um 18,2°C lægri en metinn berghiti.
- Þrýstingur á 800 m dýpi í holu KG-10 hækkaði um 1,2 bar frá 2018 til 2019.
- Sumarið 2018 var þrýstingur á 800 m dýpi í holu KG-10 0,4 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 til að fá fram hvernig vatnsborð í henni breytist eftir árstíðum.
- 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.
- Hitinn í 1000 m í holu KJ-18 hefur lækkað um 1,0°C milli ára. Jafnaðarlækkun hita á þessu dýpi er 1,1°C/ár frá 2015.
- Mældur hiti í 2000 m í holu KJ-18 er 2,6°C hærri í ágúst 2019 en hann var í september 2018 og samsvarandi hitahækkun á 2180 m dýpi er 3,2°C.
- 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 mældist um 0,4 bar hærri á 1000 m dýpi sumarið 2019 en hann mældist í september 2018. Tilsvareandi þrýstihækkun á 2000 m dýpi var 0,3 bar og vatnsborðið mældist 5 m ofar 2019 en árið áður.
- Þrýstingurinn í KJ-18 mældist í ágúst 2019 10,1 bar lægri en metinn upphafsþrýstingur á 1000 m dýpi og á 2000 m dýpi mældist tilsvareandi þrýstimunur 2,7 bar.
- Enn er lagt til að við næstu eftirlitsmælingar í 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 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 36°C milli áranna 2017 og 2019 þrátt fyrir að enn renni affallsvatn Jarðbaðanna í holu LUD-12, eftir því sem best er vitað.



- Hitinn á 480 m dýpi í holu B-2 hefur hækkað um tæpar 4,6°C milli ára og á stutt eftir í að falla inn á þá hitaþróun sem hefur 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 ágúst 2019 0,9 bar hærri en metinn upphafs-þrýstingur en á 350 m dýpi er þessi munur um 0,3 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.
- Viðmiðunardýpi þrýstings í eftirlitsholum verður nærri því dýpi þar sem þrýstijafnvægi sást við upphitun á þeim: 1300 m í ÞG-1, 1500 m í ÞG-6 og 1700 m í ÞG-15.
- Víðtækar vatnsborðsmælingar í holum utan við vinnslusvæðið mynda góðan grunn fyrir mat á áhrifum langtíma vinnslu úr jarðhitakerfinu á Þeistareykjum.
- Fyrirliggjandi gögn leiða líkum að áhrifum niðurdælingar á holur ÞN-1, ÞN-2 og ÞR-12 á hækkandi vatnsborð í holu ÞR-7 við Togarahelli.
- Engin vatnsborðsholnanna sýnir, enn sem komið er, merki um niðurdrátt vegna vinnslu úr jarðhitakerfinu á Þeistareykjum.
- Hóla ÞG-13 er vinnsluhóla með um 15 kg/s við 16 bar toppþrýsting og 2200 kJ/kg vermi. Hún liggur inn undir Bæjarfjall á milli holna ÞG-4 og ÞG-17 sem eru þær öflugustu á Þeistareykjum og gæti því verið betri eftirlitshóla en ÞG-1 sem er lóðrétt og óvíst hversu vel hún er tengd vinnslusvæðinu undir Bæjarfjalli.
- Hóla ÞG-9 er lóðrétt hóla á borplani B sem gefur 7–8 kg/s af hreinni gufu við um 30 bar toppþrýsting. Hún vinnur úr svipuðum svæðum og hóla ÞG-6 tengist en sú hóla er öflug, með um 14 kg/s við 29 bar toppþrýsting og 2640 kJ/kg hávermi, og því ætti hóla ÞG-9 að koma til álita sem eftirlitshóla.
- Þegar fram líða stundir verður hægt að byggja upp einföld þjöppuð líkön til að herma vatnsborðs- og/eða þrýstibreytingar sem endurspeglar áhrif vinnslu til lengri og styttri tíma.
- Ef farið verður að tillögu um að ÞG-9 og ÞG-13 verði notaðar til vinnslueftirlits þarf að setja upp áætlun þar að lútandi.
- Vatnsborð í holu ÞR-7 við Togarahelli stjórnast mjög af niðurdælingu í jarðhitakerfið.
- 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

- Anett Blischke, Anette K. Mortensen, Þorsteinn Egilson, Hörður Tryggvason, Sveinbjörn Sveinbjörnsson og Ólafur Guðnason (2009). *Bjarnarflag – Hóla BJ-15. 3.áfangi: Jarðlagagreining og mælingar*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2009/065, Landsvirkjun, LV-2009/133, 59 bls.
- Anette K. Mortensen, Þorsteinn Egilson, Anett Blischke, Hörður Tryggvason, Sveinbjörn Sveinbjörnsson og Ólafur Guðnason (2009). *Bjarnarflag – Hóla BJ-15. 3.áfangi: Borsaga*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2009/064, Landsvirkjun, LV-2009/132, 105 bls.
- 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, Bjarni Gautason, Sigvaldi Thordarson, Þorsteinn Egilson og Sveinbjörn Þórisson (2002). *Rannsóknarborun á Þeistareykjum. Hóla ÞG-1 : 3. áfangi: Borun Vinnsluhluta í 1953 m*. Orkustofnun, OS-2002/079.
- Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt Steingrímsson, Sæþór L. Jónsson og Sverrir Þórhallsson (1989). *Borholur í Bjarnarflagi*. Orkustofnun, OS-89046/JHD-21B, 93 bls.
- Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt Steingrímsson, Dagbjartur Sigursteinsson, Guðjón Guðmundsson, Halldór Ármannsson, Hilmar Sigvaldason, Jón Benjamínsson og Sigurður Benediktsson (1984). *Krafla, hóla KJ-21. Viðgerð vorið 1984*. Orkustofnun, OS-84070/JHD-24 B, 46 bls.
- Ásgrímur Guðmundsson, Hjalti Franzson, Ómar Sigurðsson, Sigurður Benediktsson, Jósef Hólmjárn og Dagbjartur Sigursteinsson (1992). *KRAFLA. Borun 3. áfanga holu KG-26*. Orkustofnun, OS-92009/JHD-03 B, 50 bls.
- Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt Steingrímsson, Gísli Karel Halldórsson, Guðjón Guðmundsson og Valgarður Stefánsson (1981). *Krafla, hóla KJ-18. Borun vinnsluhluta og borlok*. Orkustofnun, greinargerð ÁG-BS-GKH-GjG-VS-81/05, 17 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](http://www.isor.is/sites/isor.is/files/704/image-isor-georg_presentation.pdf)
- Hrefna Kristmannsdóttir, Ásgrímur Guðmundsson og Margrét Kjartansdóttir (1977). *Krafla. Hóla 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.
- 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).

- Peistareykir – Well ÞG-15. Phase 3: Drilling for a 7" Perforated Liner down to 2260 m. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2017/036, 165 bls.*
- Sigurður Sveinn Jónsson (2019). *Niðurstöður XRD-greiningar, Íslenskar orkurannsóknir, minnisblað U-2019-15, 3 bls.*
- Sigurjón Böðvar Þórarinnsson, Ásgrímur Guðmundsson, Ragnar K. Ásmundsson, Bjarni Gautason, Guðmundur Sigurðsson og Páll Jónsson (2006). *Bjarnarflag-Hola BJ-13. 3. áfangi: Borun vinnsluhluta frá 861 m í 2174 m dýpi fyrir 7" gataðan leiðara. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2006/037, Landsvirkjun LV-2006/120, 117 bls.*
- Sigurveig Árnadóttir, Auður Ingimarsdóttir, Bjarni Gautason, Anette K. Mortensen, Þorsteinn Egilson, Ragnar Bjarni Jónsson, Sveinbjörn Sveinbjörnsson, Hörður Tryggvason og Sigurjón Vilhjálmsson (2009a). *Peistareykir – Hola ÞG-6. 3. áfangi: Borsaga og borgögn. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2009/071, 103 bls.*
- Sigurveig Árnadóttir, Auður Ingimarsdóttir, Bjarni Gautason, Anette K. Mortensen, Þorsteinn Egilson, Ragnar Bjarni Jónsson, Sveinbjörn Sveinbjörnsson, Hörður Tryggvason og Sigurjón Vilhjálmsson (2009b). *Peistareykir – Hola ÞG-6. 3. áfangi: Jarðlagagreining og mælingar. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2009/072, 67 bls.*
- Trausti Hauksson (2014). *Krafla og Bjarnarflag. Afköst borholna 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.*
- Trausti Hauksson (2019). *Peistareykir, 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 (2009). *Hola ÞG-6 á Peistareykjum. Túlkun á þrepaprófi. Íslenskar orkurannsóknir, greinargerð, ÍSOR-09002, 16 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 (2011). *Upphitunar- og þrýstijöfnunarmælingar á Peistareykjum 2004-2008. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2011/014, 67 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). *Krafla-Hola KG-26. Borholumælingar og þrepapróf í september 2017. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2017/061, Landsvirkjun, LV-2017-090, 33 bls.*
- Þorsteinn Egilson (2017c). *Peistareykir. Holur ÞG-14 og ÞG-15. Blástursmælingar í nóvember 2017. Íslenskar orkurannsóknir, greinargerð ÍSOR-17091, 11 bls.*
- Þorsteinn Egilson (2019). *Peistareykir. Eftirlitsmælingar árið 2018. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2019/029, Landsvirkjun, LV-2019-034, 40 bls.*
- Þorsteinn Egilson, Halldór Ármannsson, Benedikt Steingrímsson, Ásgrímur Guðmundsson, Hreinn Hjartarson, & Peistareykir (2004). *Peistareykir - hola ÞG-1 : Mælingar í upphitun og blæstri 2002-2003. Íslenskar orkurannsóknir ; ÍSOR-2004/040.*

- 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, Friðgeir Pétursson og Arnar Már Vilhjálmsson (2018). *Eftirlitsmælingar 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). *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: Minnisblöð mælingamanna**

Yfirlit um mælingar sem gerðar voru sem hluti af vinnslueftirliti Landsvirkjunar í Kröflu, Bjarnarflagi og Þeistareykjum var sent út í formi minnisblaða, hið fyrra 23.8.2019 og hið seinna 30.9.2019 og eru þau birt hér í viðauka.

### **P/T monitoring in Krafla, Bjarnarflag and Þeistareykir on 13-14 August 2019**

In order to monitor pressure and temperature changes in the Krafla, Bjarnarflag and Þeistareykir high enthalpy geothermal systems, a program was set up for the autumn of 2019. In the first stage, wells K-10, K-11, K-18, K-26, K-33, B-2 and ÞG-1 were logged on 13-14 August as well as B-13 which was logged during a deep sampling survey on the 31st of July. Logging engineers from ÍSOR arrived in Krafla in the late evening on 12th of August with a logging truck. The truck is equipped with a crane to hoist the lubricator, with the logging tools, to and from well head. In the past, a lubricator owned by LV has been used for the P/T monitoring but this time ÍSOR's lubricator was used. Hence, there was no need for external crane service. In general, the logging went as planned but with a few exceptions:

- B-13 was supposed to be logged down to 1330 m but the sinker bar stopped repeatedly at 792 m and therefore the pressure and temperature was only logged down to that depth.
- Since 1200 m of wire, sinker bar and wire basket were dropped in well K-33 a few years back, ÍSOR's engineers in consultation with LV employers in Krafla, decided to run a sinker bar in well K-33 prior to P/T logging. At 1088 m depth, some minor obstruction was observed, both on the way down and up. Only a minor bump was noticed on the way down, but two attempts were needed to get pass the hindrance on the way up. A small amount of salt-like scaling came up with the logging tool.
- The tool stopped at 1245 m during POOH in K-11. The logging engineers had to put in a considerable amount of effort to overcome the problem. The engineers felt as the rope socket got hooked in the liner. That is not the first time that this happens in this well and it might be risky to log below this depth in the future. Finally, it should be mentioned that K-26 was in use as an injection well during the logging process. The logging results are displayed in the figures below, but further analysis will be done in an ÍSOR report later.

Arnar Már Vilhjálmsson  
Friðgeir Pétursson

### **Second Slickline Survey Campaign in Bjarnarflag, Krafla and Þeistareykir on 23-27 September 2019.**

The second slickline survey campaign continued work from the previous campaign on 13-14 August. As in the previous campaign, the larger slickline truck was utilized, equipped with its own PCE (Pressure Control Equipment) and crane for lifting operations. This time around, attempts were made to collect scaling samples from wells K-14 and B-13, P/T surveys in wells B-15, ÞG-06 and ÞG-15, while a clearance run was done in well ÞG-12.

### **Day 1 – Monday 23 September 2019.**

Mobilization to site from Akureyri, ÍSOR Slickline crew arrived in Bjarnarflag at 10:00. Met with Steam Supply staff from Krafla by well B-13 to co-ordinate operations in B-13 and B-15. Safety meeting in Krafla to review work permits and safety precautions. Well B-13 – Run in hole with a custom-made Scaling Catcher. Tool string setup was as follows; 70 mm Scaling Catcher/Scraper – centralizer - sinker bar – centralizer - tool top - rope socket. The centralizers were set to a large enough diameter to ensure the catcher would not scrape the casing while RIH unless a protrusion from the casing was encountered. Catcher landed at the expected obstacle at 791 m, after a few up/down runs at the obstacle depth were made to collect samples, the sampler went past the obstacle. A couple of additional attempts were made to gather a sample, while each time the sampler moved past the obstacle. The sampler was run in hole down to 860 m to establish that there was a clear path down into the liner. POOH to see if a sample had been collected. Although some of the teeth on the catcher had been bent inwards, only sand/powdery like substance was found in the sampling cup. Operations terminated, rigged down and moved on to the next well. Well B-15 – RIH with a dummy tool at approximately 16:00 to check maximum clear depth as the well had not been surveyed in several years. Dummy run revealed the MCD to be at 2611 m. POOH dummy and RIH PT instrument at approx. 18:00, PT instrument back on surface at 21:00. Rig down and leave site. Arrive at Krafla at 22:30.

### **Day 2 – Tuesday 24 September 2019**

Well K-14 – Arrive on site at 08:30, rig up to RIH with the same Scaling Catcher as the previous day. The 3" valve required considerable force (>1m long handle) to break open, after a few attempts it opened up with a loud bang. Upon RIH however, the scraper part would not pass through the 3" valve. Several attempts were made but were terminated due to risk of getting stuck in the valve. It was decided to run in with an older version of the scaling catcher with a narrower diameter. RIH was at around 11:30, landed at obstacle at 399 m. Several up/down passes made to attempt collecting samples before POOH. Sampler back on surface at 12:00, some small flakes, metallic in appearance, were collected. During the sampling run, the well remained in production, as the client did not deem it safe to shut it for risk of it dying completely. Rig down and mobilize to Þeistareykir at 13:30.

Well ÞG-06 – Arrive at Þeistareykir at approx. 15:30, set-up site and rig up PCE and RIH at 17:30 with a dummy tool (Centralizer – Sinker bar – Tool Top – Rope Socket) to check MCD, which was found at 1523m as in the previous survey in 2015. POOH Dummy, changed over to PT instrument which was RIH at approx. 20:00. Instrument back on surface at 22:00, rig down equipment and prepare for the next well. Left site at midnight. It is worth mentioning that the 3" valve on ÞG-06 was in appalling condition, where the gate stem was severely corroded. The valve was open upon arrival, with a flange and ½" bleed-valve on top. Bleed valve was corroded beyond function but was in the closed position. Upon closing the 3" valve, there were severe leaks along the gate stem. While tightening the gland seal provided some relief, the leak persisted. After a couple of close/open cycles, the gate sealed slightly better each time, but stem leak got worse. Full PPE was utilized, including a full-face mask and powered air purifying respirator.

### **Day 3 – Wednesday 25 September 2019**

Well ÞG-12. Arrive on site at 09:00, rig up PCE and dummy tool went smoothly, RIH was delayed by 30 min to wait on LV staff to open up 10" electric valve. After opening 10" valve,

quite a bit of gas was detected, which dissipated while RIH. While RIH with dummy (Centralizer – Sinker bar – Tool Top – Rope Socket), it was observed that the line tension started bouncing at approximately 800 m and continued bouncing down to approx. 1500 m without the tool actually stopping. Tension started bouncing again at approx. 1830 m and the dummy tool hung up at 1892 m. An overpull of about 50 kgf was required to pull free again. A couple more successful attempts were made to confirm MCD at 1892 m, but no overpull was noted again on pulling out. While POOH at about 1860 m, tension suddenly spiked, winch was stopped and tension released, an overpull of about 150 kgf had been observed. Several attempts were made to pull back out with reduced overpull, waited with about 80 kgf overpull for about a minute, then tension was released and run back in hole about 3.5 m, it soon became apparent that the tool was no longer on the line. As the slickline returned to surface, it was apparent that the line had parted from the rope socket, therefore no line was left on top of the fish. After conferring with the client, it was decided to abandon work and terminate further operations on ÞG-12. PCE was rigged down and maintenance and repairs made to the hydraulic stuffing box before preparing for the next survey.

#### **Day 4 – Thursday 26. September 2019**

Well ÞG-15. On site at 07:15, rig up PT instrument and PCE was quick as everything had been prepared the day before, RIH was at approx. 08:00, nothing out of the ordinary was noted on RIH or POOH. Instrument back on surface at 10:30, rig down and load truck with equipment for demobilization was finished by 12:00. Left Þeistareykir at 12:45, demobilization to Akureyri/Reykjavík. Arrive Reykjavík at 20:00.

#### **Overview of surveys;**

| <b>Well</b> | <b>Date Surveyed</b> | <b>MCD [m]</b> | <b>Comment</b>                        |
|-------------|----------------------|----------------|---------------------------------------|
| B-13        | 23. September 2019   | 860            | Obstacle at 791m was found but passed |
| B-15        | 23. September 2019   | 2611           | Dummy run before PT                   |
| K-14        | 24. September 2019   | 399            | Obstacle at 399m                      |
| ÞG-06       | 24. September 2019   | 1523           | Dummy run before PT                   |
| ÞG-12       | 25. September 2019   | 1892           | Dummy left in well at 1861m           |
| ÞG-15       | 26. September 2019   | 2244           | n/a                                   |

Friðgeir Pétursson  
 Arnar Már Vilhjálmsson



**Landsvirkjun**

Háaleitisbraut 68  
103 Reykjavík  
landsvirkjun.is

landsvirkjun@lv.is  
Sími: 515 90 00

