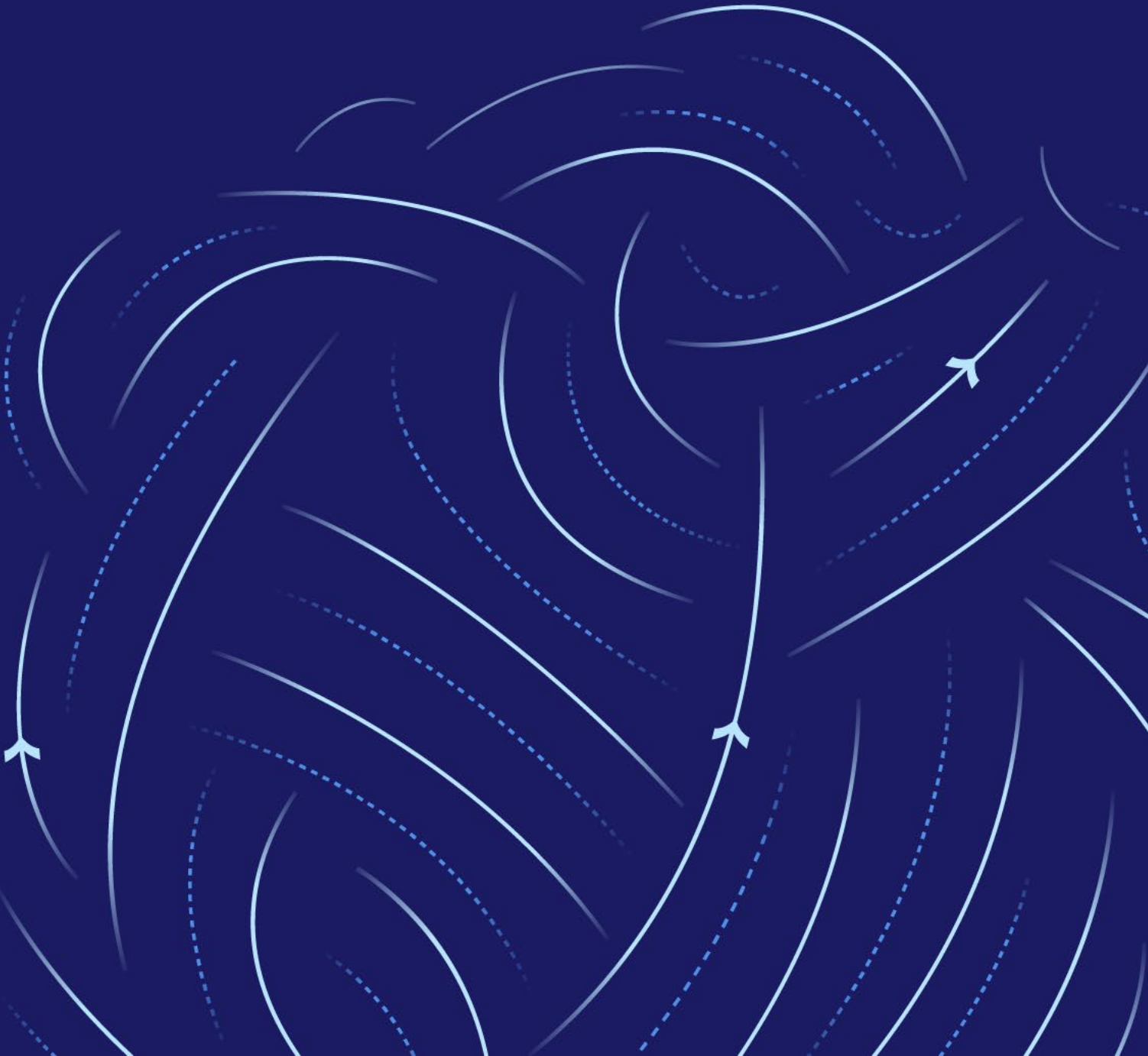


Eftirlitsmælingar í Kröflu, Bjarnarflagi og á Þeistareykjum árið 2023





Eftirlitsmælingar í Kröflu, Bjarnarflagi og á Þeistareykjum árið 2023

Höfundar

Guðjón Helgi Eggertsson
Ingibjörg Þórðardóttir

1.9.2024

September 2024

Lykilsíða

Skýrsla LV nr	LV-2024-058	Dagsetning	1.9.2024 ár
Fjöldi Síðna	0	Upplag	1
Dreifing	<input checked="" type="checkbox"/> Birt á vef LV	<input checked="" type="checkbox"/> Opin	<input type="checkbox"/> Takmörkuð til [Dags.]
Titill	Eftirlitsmælingar í Kröflu, Bjarnarflagi og á Þeistareykjum árið 2023		
Höfundar/fyrirtæki	Guðjón Helgi Eggertsson, Ingibjörg Þórðardóttir		
Verkefnisstjóri	Anette Kærgaard Mortensen		
Unnið fyrir	Landsvirkjun		
Samvinnuaðilar	—		
Útdráttur	<p>Sumarið 2023 voru gerðar árlega eftirlitsmælingar á hita og þrýstingi í völdum holum á jarðhitasvæðunum í Kröflu, á Þeistareykjum og í Bjarnarflagi. Mælt var í holum KG-10, KJ-15, ÞG-18, og BN-02. Að auki voru holu ÞR-17, ÞR-18 mældar til að afla upplýsingar um hitaástand í grunnu útstreymið norðvestur frá jarðhitakerfinu á Þeistareykjum.</p> <p>Engar óvæntar breytingar koma fram í mælingum ársins 2023. Í Kröflu er sterk svörun milli breytinga í vinnslu í Leirbotnum og vatnsborðsbreytinga í KG-10. Á Þeistareykjum og Bjarnarflagi eru óverulegar breytingar milli ára.</p>		
Lykilorð	Krafla, Bjarnarflag, Þeistareykir, jarðhitakerfi, borholur, eftirlitsmælingar, hitamælingar, þrýstingsmælingar, vatnsborð, niðurdráttur, niðurdæling, kólnun, KG-10, KJ-15, ÞG-18, ÞR-17, ÞR-18, BN-02, BN-05.		

Samþykki verkefnisstjóra
Landsvirkjunar

Anette K. Mortensen

Efnisyfirlit

1	Inngangur	6
2	Samandregnar niðurstöður	6
3	Krafla	10
3.1	KJ-15	10
3.2	KG-10	11
4	Þeistareykir	13
4.1	ÞG-18.....	13
4.2	ÞR-17 og ÞR-18	15
5	Þjarnarflag	17
5.1	BN-02.....	17
6	Grunnvatn á Þeistareykjum	18

Töflur

Tafla 1. Yfirlit hita- og þrýstimælinga í Kröflu, Bjarnarlagi og Þeistareykjum árin 2014-2023 ...	7
Tafla 2. Samanburður á mælingum í KJ-15, árin 1980, 2022 og 2023, samanborið við metinn berghita og upphafsþrýsting.....	10

Myndir

Mynd 1. Loftmynd af Kröflu. Borholur úr árlegum eftirlitsmælingum (Tafla 1) eru merktar með rauðum punktum. Holuferlar í stefnuboruðum holum eru merktir með rauðri línu.	8
Mynd 2. Loftmynd af Bjarnarflagi. Borholur úr árlegum eftirlitsmælingum (Tafla 1) eru merktar með rauðum punktum. Holuferlar í stefnuboruðum holum eru merktir með rauðri línu.	8
Mynd 3. Loftmynd af Þeistareykjum. Borholur úr árlegum eftirlitsmælingum (Tafla 1) eru merktar með rauðum punktum. Holuferlar í stefnuboruðum holum eru merktir með rauðri línu.	9
Mynd 4. Mælingar á hita m.v. dýpi í holu KJ-15 frá árunum 2022 og 2023. Kæling er nærri fyrirstöðu í holunni, fyrir neðan 1300 m dýpi í holunni vegna millirennslis í holunni.	11
Mynd 5. a. Grunnvatnshæð í KG-10 frá árunum 2009 - 2023. b. Vinnsla og niðurdæling í Leirbotnum á sama tímabili	12
Mynd 6. Grunnvatnshitastig í KG-10 á 378 m dýpi árið 2023.....	12
Mynd 7. a. Hitistig og b. Þrýstingur í ÞG-18 á 1850 m dýpi frá árunum 2018 - 2023. c. Heildarvinnsla í holum ÞG-03, ÞG-06, ÞG-07, ÞG-09 og ÞG-16 á Þeistareykjum á sama tímabili.	13
Mynd 8 Mælingar á hita m.v. dýpi í holu ÞG-18 frá árunum 2020-2023.	14
Mynd 9. Niðurstöður mælinga í ÞR-17.	15
Mynd 10 Niðurstöður mælinga í ÞR-18.	16
Mynd 11. a. Hitistig og b. Þrýstingur í BN-02 á u.þ.b. 488 m dýpi frá árunum 1993 - 2023. c. Heildarvinnsla í Bjarnarflagi á sama tímabili.....	17
Mynd 12. Mæld vatnshæð í m.y.s. í holum sem notaðar eru til að fylgjast með vatnsborði m.t.t. vinnslu og niðurdælingar í jarðhitakerfinu á Þeistareykjum.	19

1 Inngangur

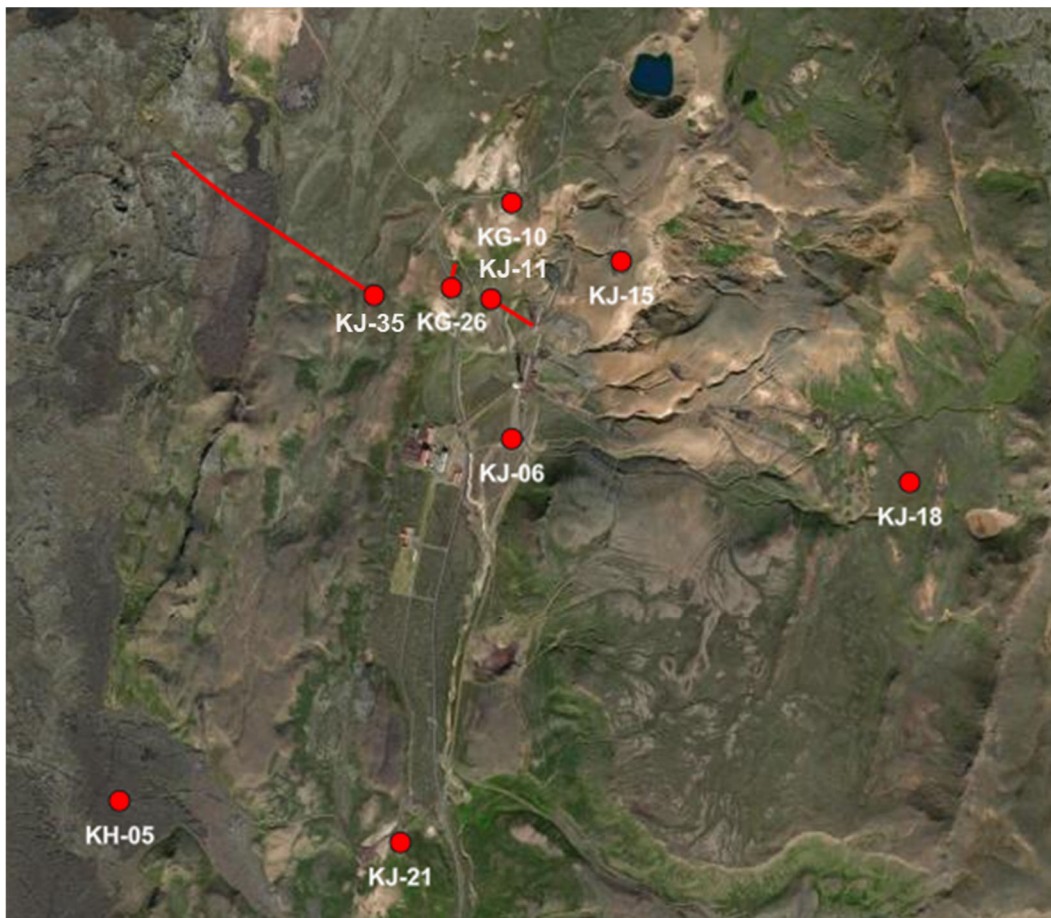
Í skýrslunni er fjallað um niðurstöður eftirlitsmælinga á jarðhitasvæðunum í Kröflu, Þeistareykjum og Bjarnarflagi árið 2023 og borið saman við þróun síðustu ára. Mælingar á hita og þrýstingi voru framkvæmdar í 3 háhitaholum samtals (Ein hola á hverju svæði fyrir sig, í Kröflu, Þeistareykjum og í Bjarnarflagi), ásamt sísmælingu vatnsborðs í einni holu í Kröflu (KG-10). Einnig voru hola ÞR-17 og ÞR-18 mældar.

Þróun vinnslu og niðurdælingar er einnig sýnd í samanburði við þróun hita/þrýstings í gegnum árin. Árleg vinnslugögn (kg/s) til og með 2016 eru fengin úr skýrslum frá Trausta Hauksyni¹. Vinnslugögn eftir 2016 eru brúuð gögn, byggð á afkastamati borholna yfir árið.

2 Samandregnar niðurstöður

- Árlegar eftirlitsmælingar voru gerðar í Kröflu, Bjarnarflagi og á Þeistareykjum.
- Niðurstöður eru í samræmi við niðurstöður síðustu ára og ekki markverðar breytingar að verða.
- Millirennslí í KJ-15 veldur kólnun frá 1040 m dýpi og niður í botni holunnar en hiti við botni er 196°C. Milli 2022 og 2023 má sjá 1,5 °C kælingu á 1300-1500 m dýpi en þrýstingur á 1500 m dýpi lækkar 0,3 bar á milli ára.
- Þróun í KG-10 er með sama móti og síðustu ár. Kæling er í holunni og þrýstingur svarar vinnslu á grynri hluta Leirbotnasvæðisins.
- Vatnsborð í holu KG-10 hefur lækkað 30 m frá 2021, en vatnsborð hefur náð svipaðri hæð og áður en dregið var úr vinnslu á svæðinu 2018. Vatnsborð í holu KG-10 svarar mjög vel við breytingum í vinnslu úr holum í Leirbotnum.
- Á Þeistareykjum er hitastig að hækka í ÞG-18 á síðustu árum vegna millirennslis í holunni, en á 1850 m dýpi hefur hiti hækkað 7°C frá 2020 en holan virðist ennþá vera að jafna sig eftir blástursprófun 2020. Þrýstingur er nokkuð stöðugur og lækkar bara örlítið milli ára (innan við 0,4 bör síðan 2020).
- Borholur ÞR-17 og ÞR-18 voru mældar 2023, í þeim tilgangi að safna grunnögnum af svæðinu norðvestur af jarðhitakerfinu. Er það til að eiga gögn af svæðinu til framtíðar, ef breytingar verða í kerfinu.
- Breytingar í Bjarnarflagi eru óverulegar milli ára, þ.e. kæling heldur áfram að sjást í BN-2. Á 488 m dýpi hefur kæling að jafnaði verið 1,1 °C/ári, en 2023 lækkar hiti 4°C frá síðustu mælingu 2021.
- Engar nýjar breytingar koma fram í grunnvatnsholum á Þeistareykjum.

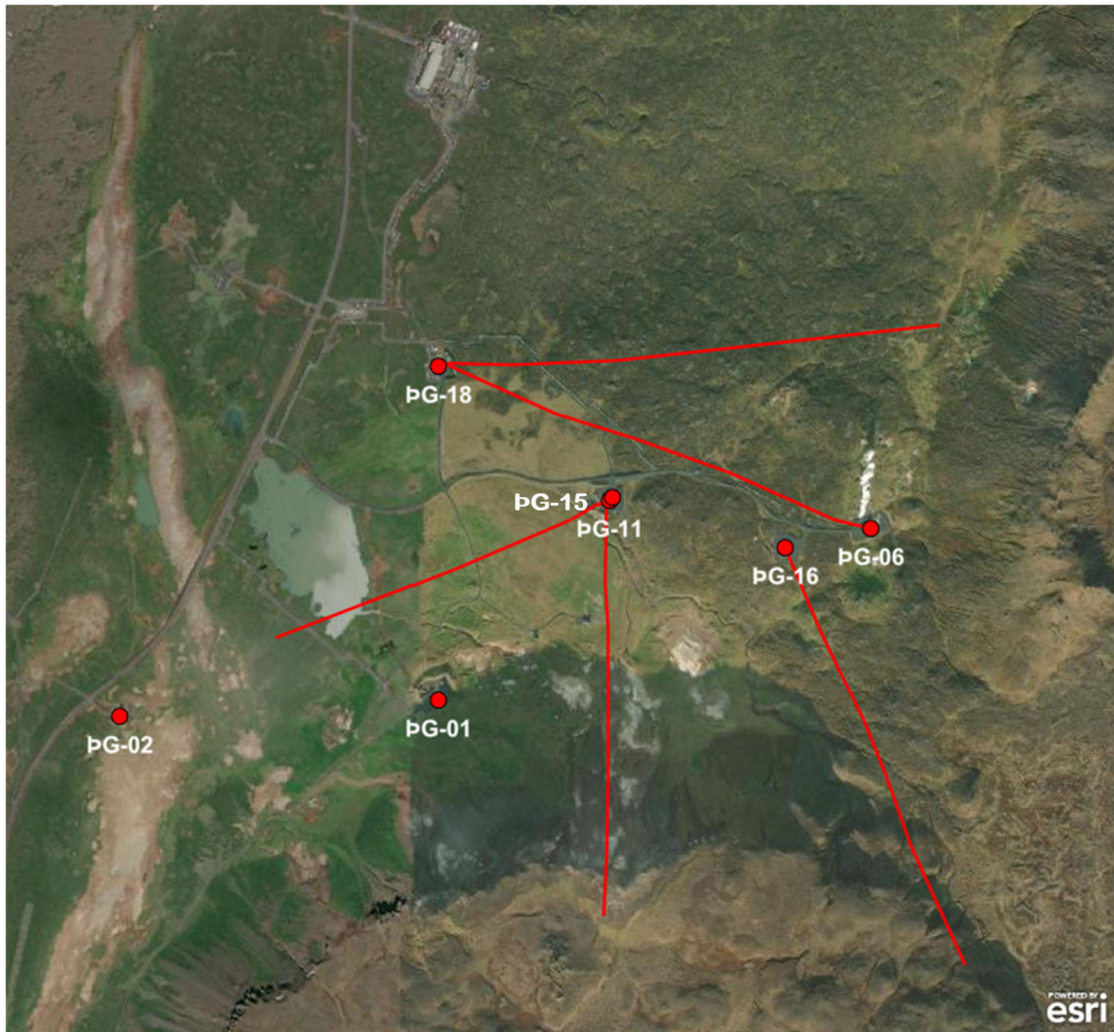
¹Trausti Hauksson 2017. Krafla og Bjarnarflag. Afköst borhola og efnainnihald vatns og gufu í borholum og vinnslurás árið 2016. Landsvirkjun, maí 20167 Skýrsla nr: LV-2017-051/ 77 s.



Mynd 1. Loftmynd af Kröflu. Borholur úr árlegum eftirlitsmælingum (Tafla 1) eru merktar með rauðum punktum. Holuferlar í stefnuboruðum holum eru merktir með rauðri línu.



Mynd 2. Loftmynd af Bjarnarflagi. Borholur úr árlegum eftirlitsmælingum (Tafla 1) eru merktar með rauðum punktum. Holuferlar í stefnuboruðum holum eru merktir með rauðri línu.



Mynd 3. Loftmynd af þeistareykjum. Borholur úr árlegum eftirlitsmælingum (Tafla 1) eru merktar með rauðum punktum. Holuferlar í stefnuboruðum holum eru merktir með rauðri línu.

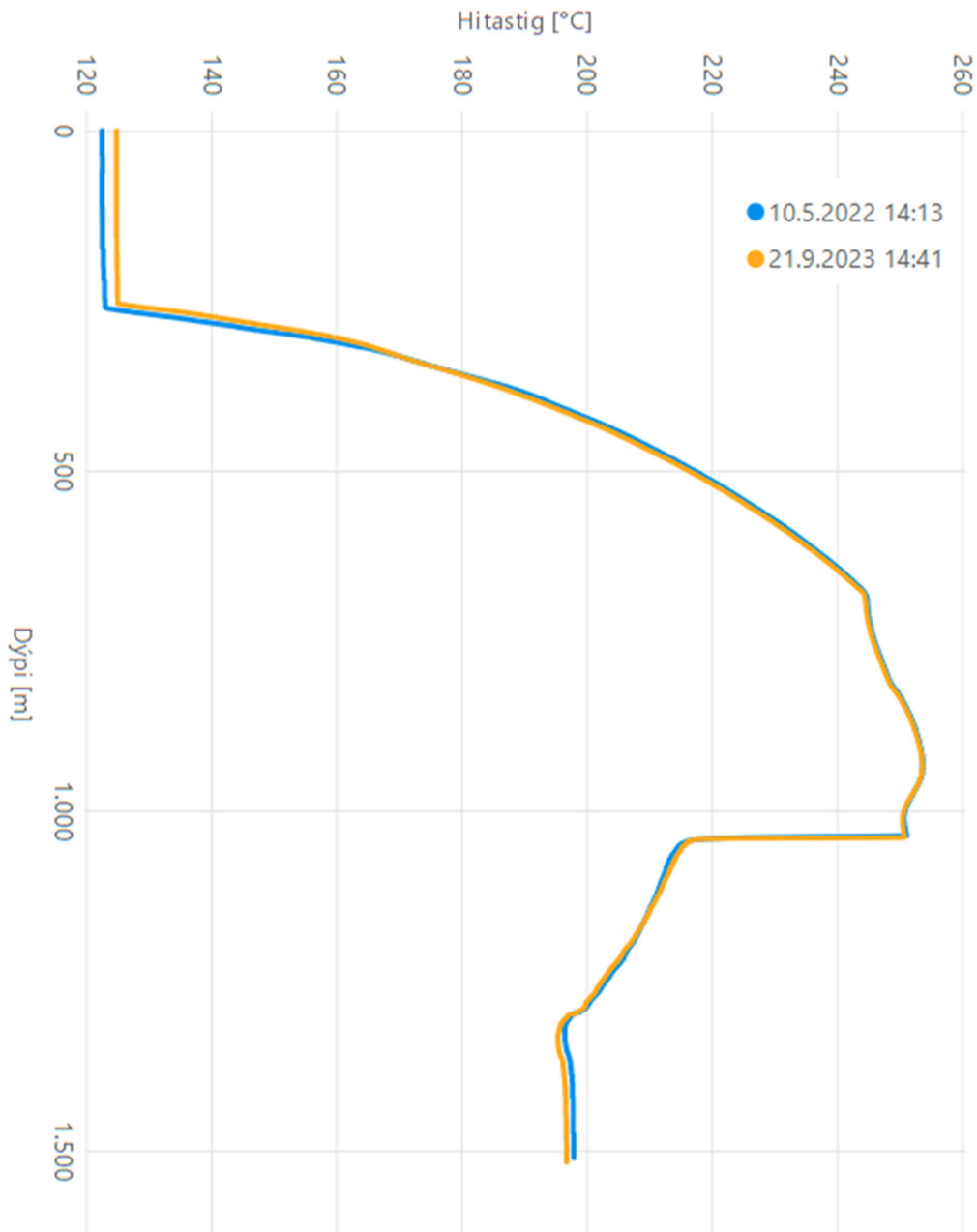
3 Krafla

3.1 KJ-15

Tafla 2 sýnir niðurstöður mælinga í KJ-15 árin 1980, 2022 og 2023, samanborið við áætluð upphafsgildi holunnar. Eins og sést í töflunni eru breytingar milli áráanna 2022 og 2023 ekki miklar (Mynd 4) en veruleg kæling kemur fram neðan við vinnslufóðringu tengt æð á 1040 m dýpi þaðan kæli holan sig úr 215°C í 196°C niður á 1500 m vegna millirennslis. Helst er að nefna kælingu um 1,5 °C á 1300-1500 m dýpi en þrýstingur lækkar 0,3 bar á milli ára á 1500 m dýpi. Árið 2015 var holan hreinsuð en eftir hreinsun tókst ekki að koma holunni aftur í rekstur. Hefur hún því staðið óhreyfð frá þeim tíma.

Tafla 2. Samanburður á mælingum í KJ-15, árin 1980, 2022 og 2023, samanborið við metinn berghita og upphafsþrýsting.

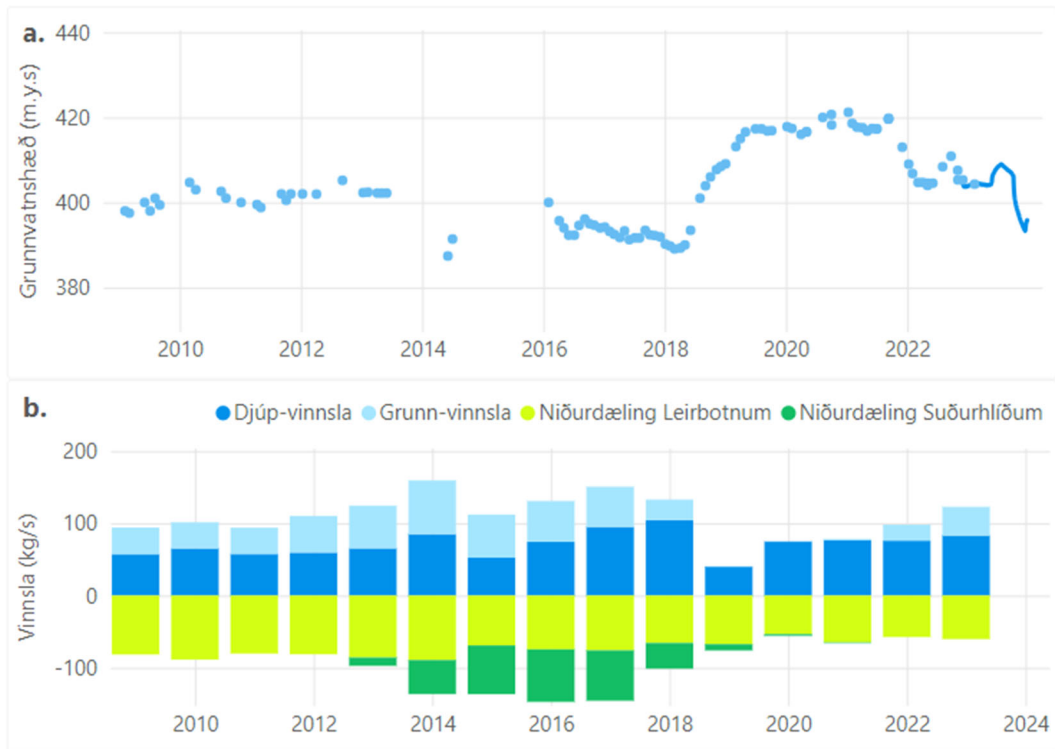
Dýpi ↓	Upphafsgildi		1980				2022				2023			
	T [°C]	P [bar]	T [°C]	ΔT [°C]	P [bar]	ΔP [bar]	T [°C]	ΔT [°C]	P [bar]	ΔP [bar]	T [°C]	ΔT [°C]	P [bar]	ΔP [bar]
1100	300	86,1	243	-58	79,8	-6,3	212	-88	69	-17	212	-88	68,8	-17,3
1300	312	99,6	243	-69	95,8	-3,7	198	-114	85,8	-14	198	-114	85,6	-14
1500	321	113	221	-100	112	-0,6	198	-123	103	-9,9	196,5	124,5	102,8	-10,2



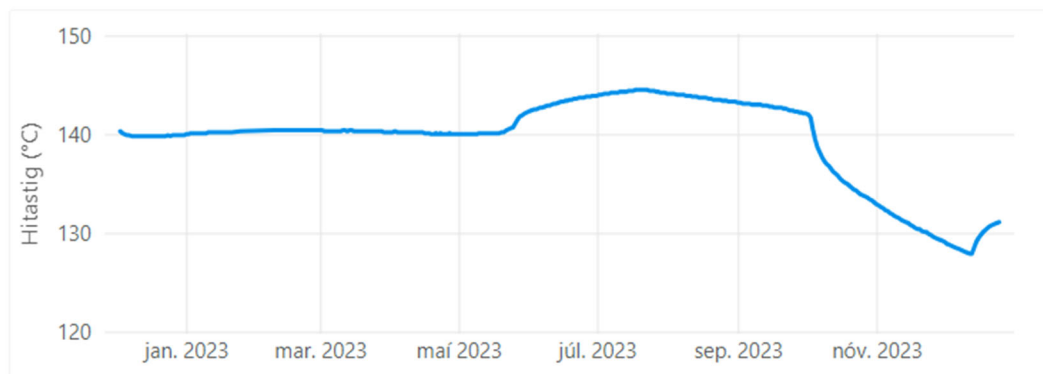
Mynd 4. Mælingar á hita m.v. dýpi í holu KJ-15 frá árunum 2022 og 2023. Kæling er nærri fyrirstöðu í holunni, fyrir neðan 1300 m dýpi í holunni vegna millirennslis í holunni.

3.2 KG-10

Hola KG-10 skynjar þrýstings- og hitastigsbreytingar í efra kerfi Leirbotnasvæðisins. Mynd 5.a og b. sýna þróun þrýstings í holunni samanborið við vinnslu Leirbotnasvæðisins. Þróun síðustu ára í hita hefur sýnt kólnun um 0,7°C á ári að jafnaði. Frá árslokum 2022 hefur hitastig og þrýstingur verið símældur (Mynd 5.a og Mynd 6). Síritamælingarnar undirstrika sterkt samspil milli reksturs á einstökum holum og breytingar á vatnsborði í Leirbotnum og Vítismó. Vatnsborð hækkaði um 30 m árið 2018 þegar dregið var úr vinnslu á svæðinu. Frá haustinu 2022 hefur vatnsborð lækkað á svæðinu samhliða því að vinnslan er aukin. Sterk svörun er síðan haustið 2023 þegar niðurdráttur eykst enn fremur vegna aukinnar vinnslu úr efra kerfi Leirbotnasvæðisins og er vatnsborðið að nálgast sömu stöðu og 2018 áður en dregið var úr vinnslu í Kröflu.



Mynd 5. a. Grunnvatnshæð í KG-10 frá árunum 2009 - 2023. b. Vinnsla og niðurdæling í Leirbotnum á sama tímabili

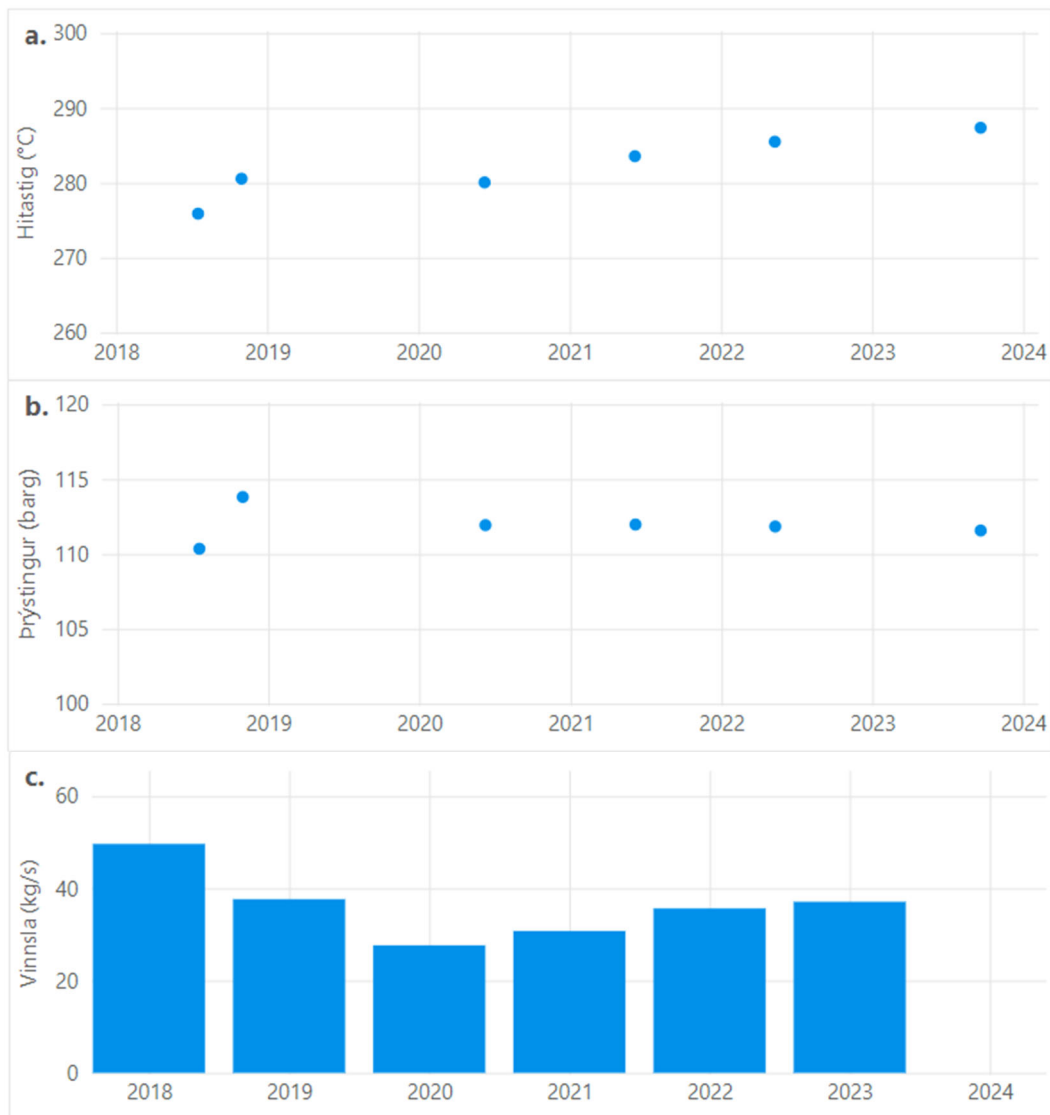


Mynd 6. Grunnvatnshitastig í KG-10 á 378 m dýpi árið 2023

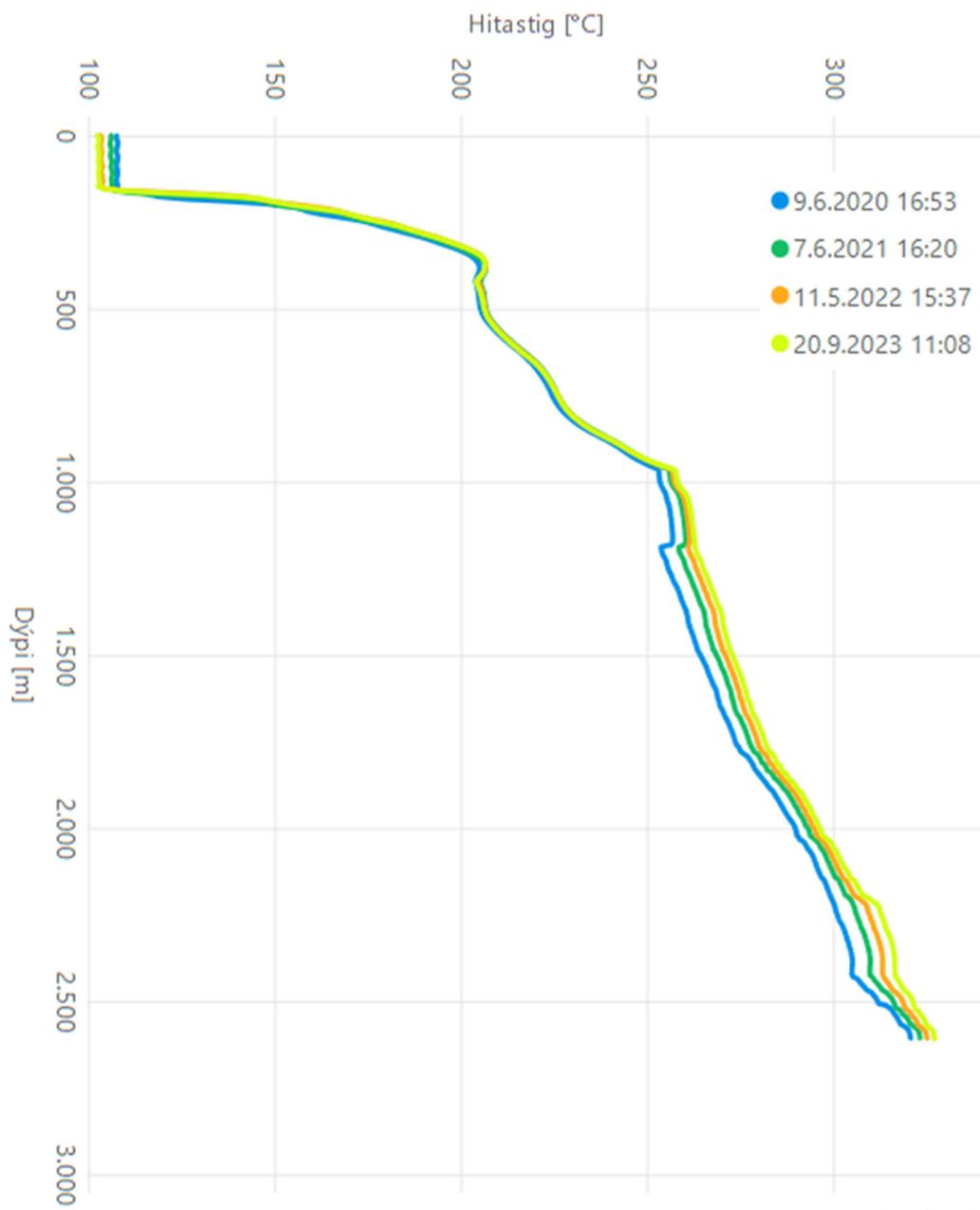
4 Þeistareykir

4.1 ÞG-18

Borholumælingar í ÞG-18 eru taldar gefa vísbendingar um áhrif vinnslu á þann hluta jarðhitakerfisins sem kenndur er við Ketilfjall á Þeistareykjum, þ.e. austari hluta jarðhitakerfisins. Í upphafi var vinnsla á svæðinu meiri en hún hefur að jafnaði verið síðan virkjunin var gangsett. Mynd 7.a-c sýnir þróun eftir að vinnsla á svæðinu hófst. Litlar þrýstingsbreytingar eru að merkja af áhrifum vinnslu en frá 2020 er þrýstingslækkun < 0,4 bar í holunni. Millirennslí er í holunni úr æðum neðan við vinnslufóðringu á 970-1200 m dýpi og niður að holubotni. Frá 2020 hefur hiti hækkað 7°C á 1850 m dýpi sem bendir til að hitastig er ennþá að jafna sig eftir að holan var síðustu í blæstri í 2020 (mynd 8).



Mynd 7. a. Hitastig og b. Þrýstingur í ÞG-18 á 1850 m dýpi frá árunum 2018 - 2023. c. Heildarvinnsla í holum ÞG-03, ÞG-06, ÞG-07, ÞG-09 og ÞG-16 á Þeistareykjum á sama tímabili.



Mynd 8 Mælingar á hita m.v. dýpi í holu ÞG-18 frá árunum 2020-2023.

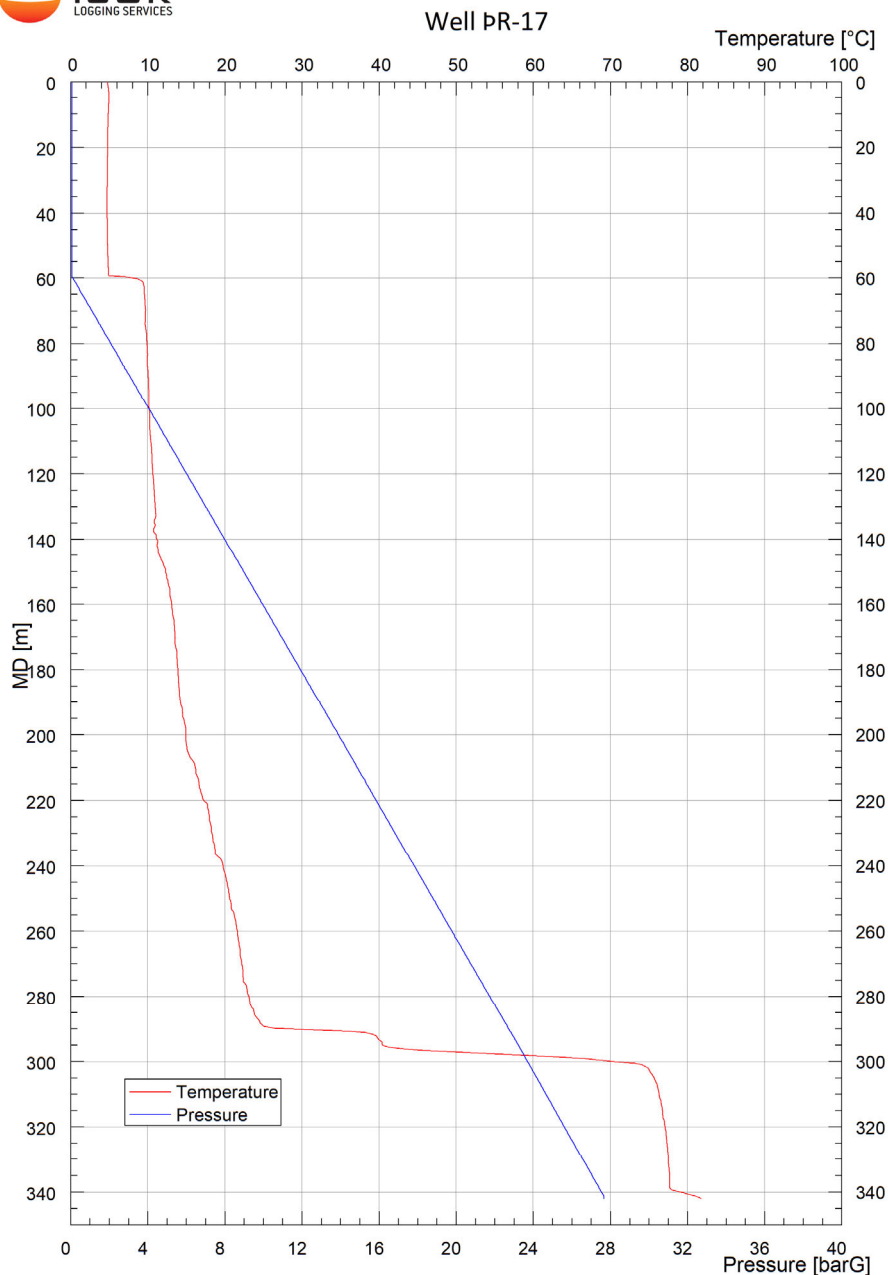
4.2 ÞR-17 og ÞR-18

Hola ÞR-17 er staðsett rúmlega 2,5 km norðvestan við Þeistareykjastöð á meðan holu ÞR-18 er staðsett rétt sunnan við tengivirki Landsnets 300 m vestan við Þeistareykjastöð. Holurnar eru notuð sem jarðskautsholur annars vegar fyrir Þeistareykjastöð og hins vegar fyrir tengivirki Landsnets en tilgangur mælinga var að eiga grunn mælingar fyrir svæðið, ef breytingar kæmu þar fram. Því væri gott að hafa samanburð við óraskað tímabil. Myndir 9 og 10 sýna niðurstöður þessara mælinga. Hola ÞR-17 var boruð 2016 en þetta var fyrstu hita og þrýstingsmæling í holunni (mynd 9). Vatnsborð er á 60 m dýpi þar sem hitastig er 10°C. Holan hitnar hægt og er hiti innan við 25°C niður að æð á 290 m. Milli 290-305 m dýpi hækkar hiti skyndilega í 75°C vegna æðar á 290 og 295 m dýpi. Samkvæmt mælingu er útrennsli nær botni á 340 m dýpi en botnhiti í holunni er 82°C.



Þeistareykir

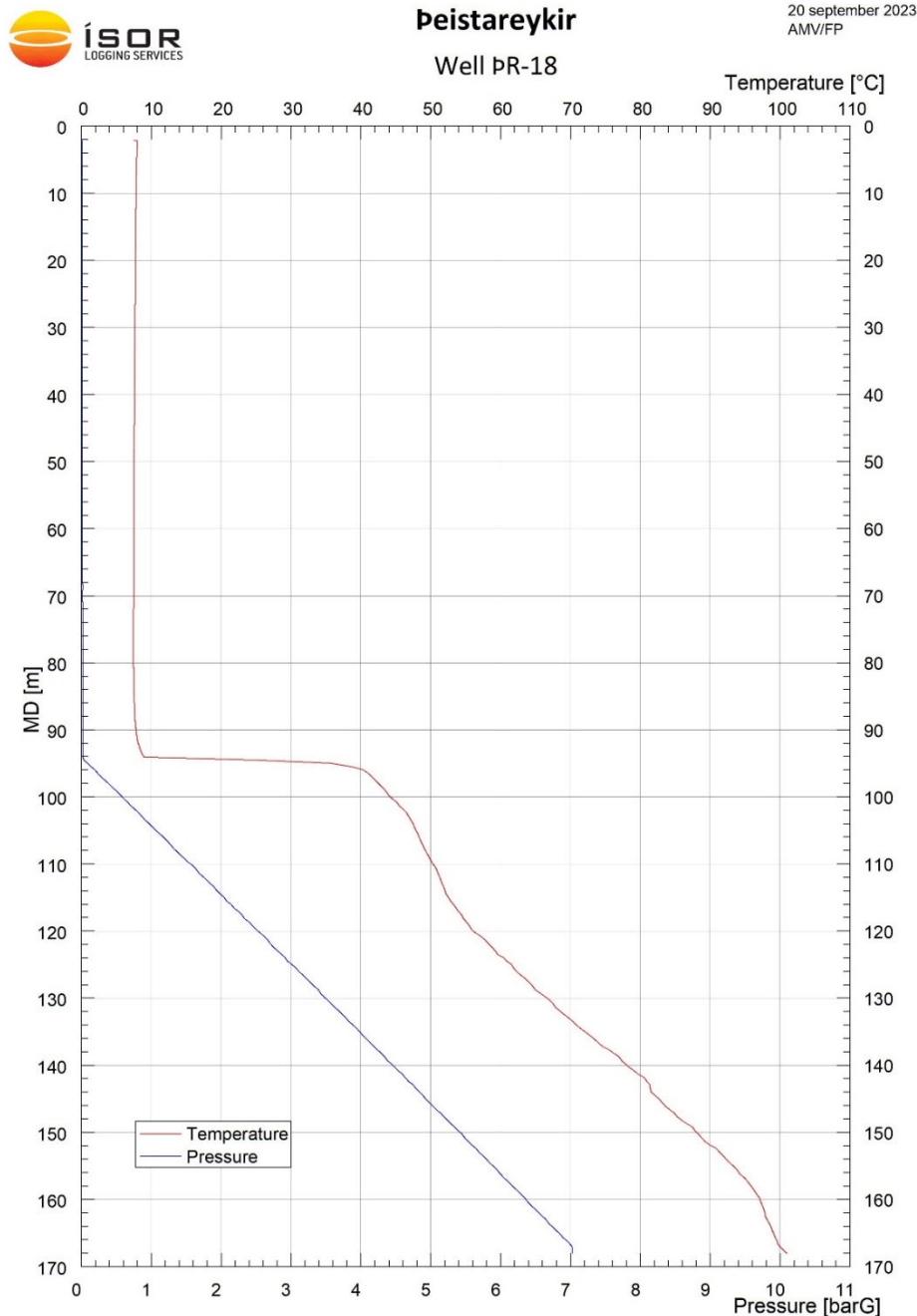
19 september 2023
AMV/FP



Mynd 9. Niðurstöður mælinga í ÞR-17 þann 19.9.2023.

Hola ÞR-18 er staðsett í grunnu en heitu jarðhitaútreymi sem rennur til norðurs frá Þeistareykjum meðfram Tjarnarás misgengið og út í sprungusveimnum til norðurs að Kelduverfi² (Vatnaskil, 2009). Hola ÞR-18 var boruð vorið 2016 og var lokadýpi 237 m en seinustu hitamæling í holunni var frá þ. 21.2.2016 sem var gert 13,5 klukkutímar eftir borlok en þá var vatnsborð á 98,5 m dýpi. Fyrirstaða er í holunni og við mælingu þ. 20.9.2023 stoppaði mæli á 168 m dýpi. Vatnsborð er á 95 m dýpi og er búið að hækka 2,5 m frá 2016. Hiti við vatnsborð er tæplega 40°C og nær 50°C á 110 m dýpi en síðan hækkar nokkuð jafnt og þétt með dýpi og er orðinn 100°C á 168 m dýpi.

Frá síðustu mælingu hefur hiti hækkað allt að 30°C efst í holunni á 95-115 m dýpi. Neðan við 115 m dýpi er hitabreyting lítil en þar hefur hiti hækkað um 3-5°C frá síðustu mælingu.



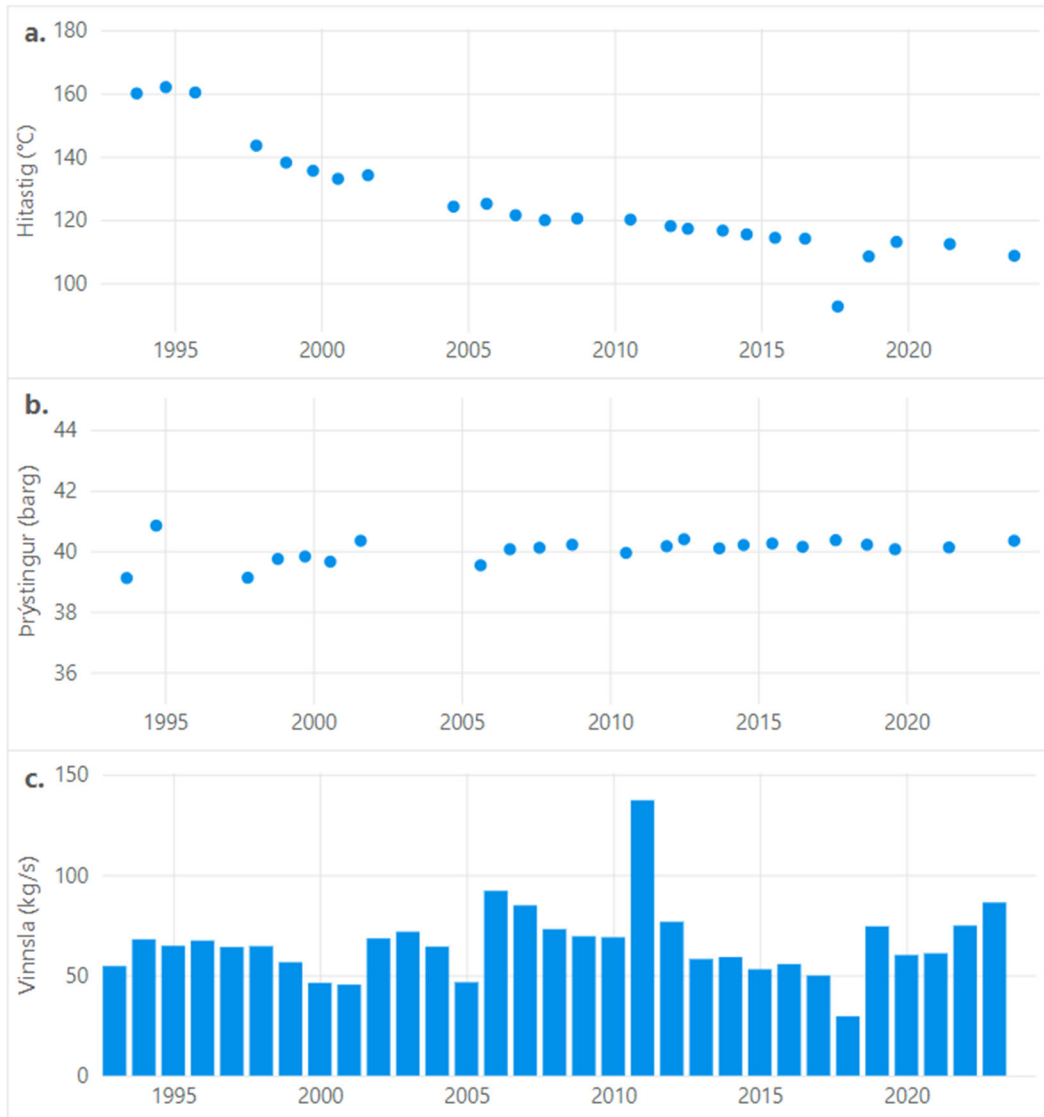
Mynd 10 Niðurstöður mælinga í ÞR-18 þann 20.9.2023.

² Vatnaskil, 2009, Þeistareykir: Dreifing efna í grunnvatni við grunnförgun skiljuvatns, Vatnaskil 09.12, 53 bls.

5 Bjarnarflag

5.1 BN-02

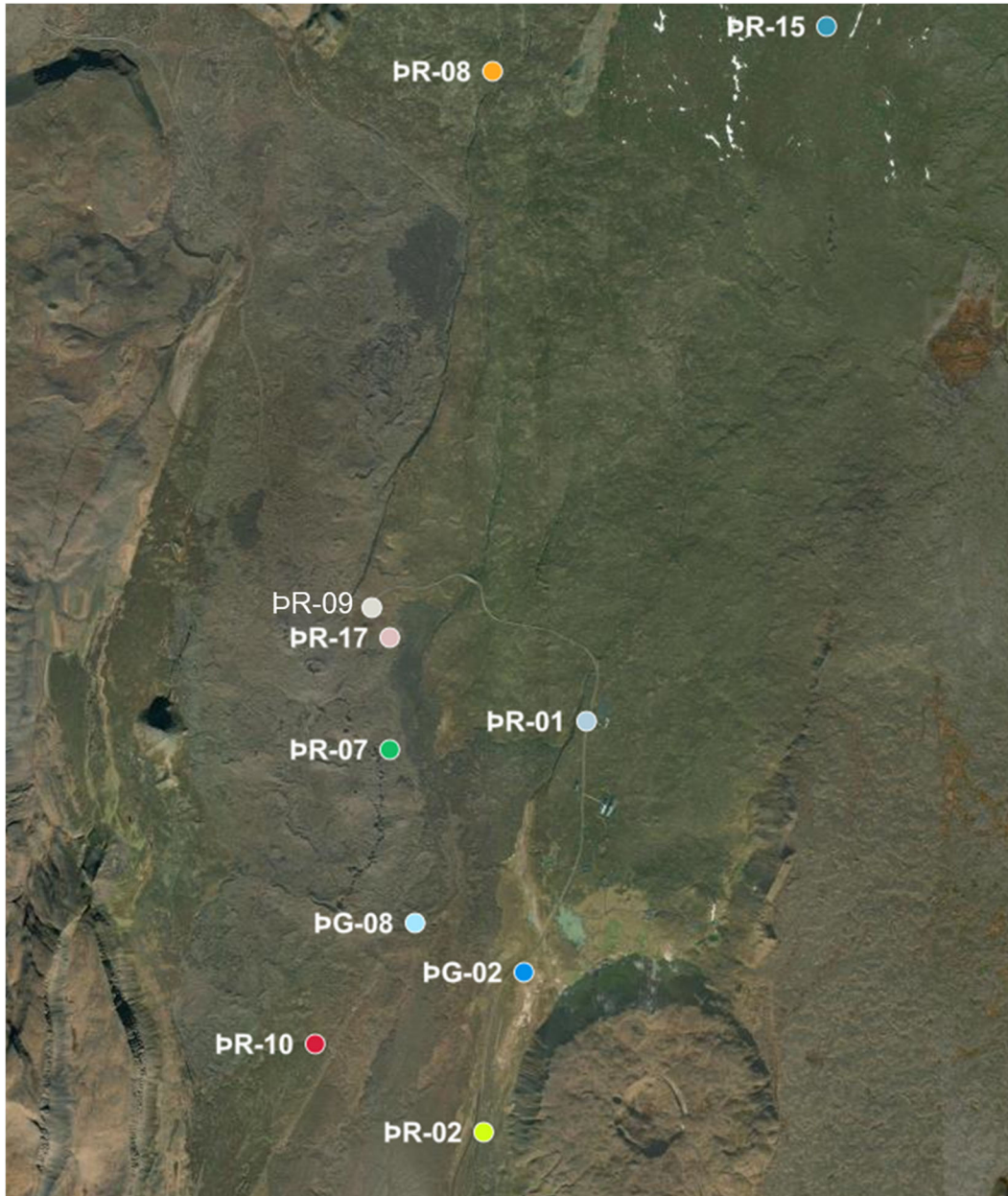
Mælingar síðustu áratuga í holu BN-2 í Bjarnarflagi hafa sýnt kælingu. Frá 1995-2003 var nokkuð skörp kæling í holunni en frá 2005 hefur hún verið nokkuð jöfn, eða að jafnaði $1,1^{\circ}\text{C}/\text{ári}$. Niðurdæling jarðbaðanna í LUD-12 frá 2016 olli eining breytingum í mældum hita. Mæling ársins 2023 sýndi að kæling er enn viðvarandi en hiti á 488 m dýpi lækkar tæplega 4°C frá seinustu mælingu 2021, sem er aðeins meiri kælingu hefur en fyrir 2017. Þrýstingur er einnig innan þess breytileika sem gera má ráð fyrir og breytingar því óverulegar og virðist ekki vera í tengslum við vinnslu svæðisins (Mynd 11 a-c.).



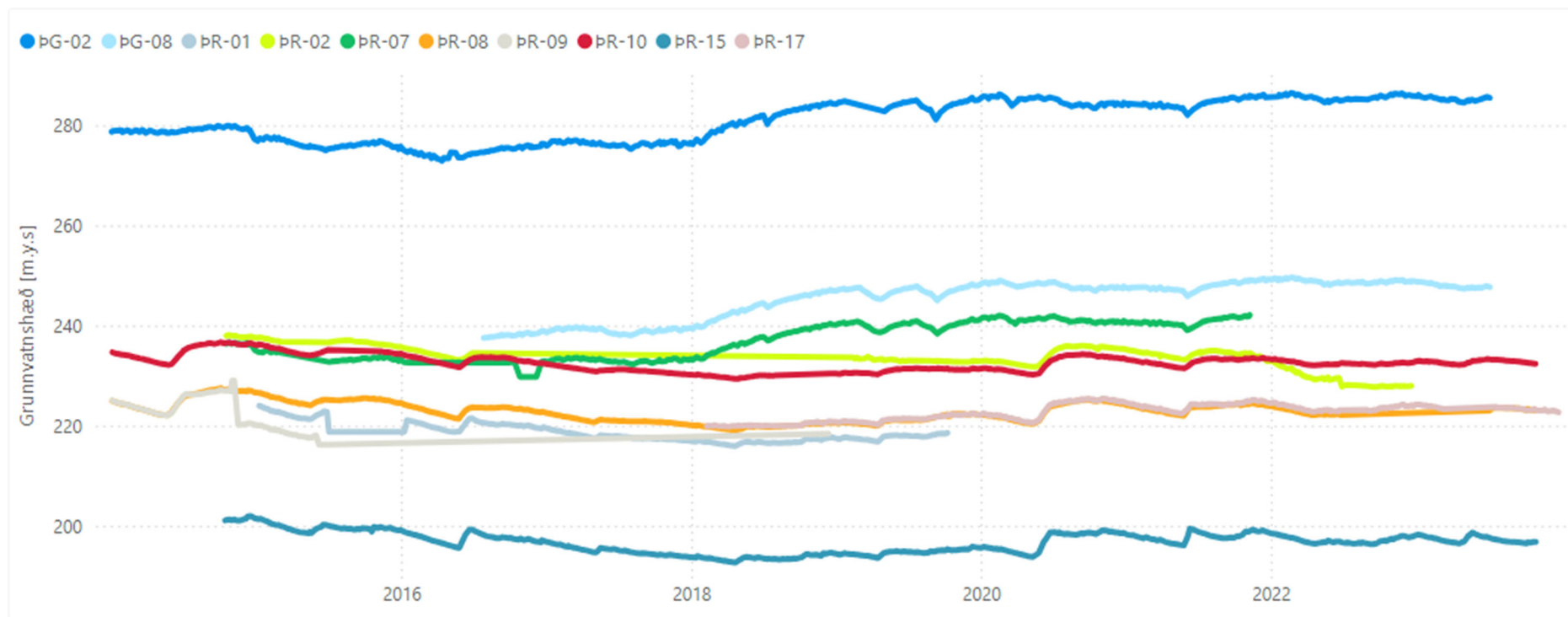
Mynd 11. a. Hitistig og b. Þrýstingur í BN-02 á u.þ.b. 488 m dýpi frá árunum 1993 - 2023. c. Heildarvinnsla í Bjarnarflagi á sama tímabili.

6 Grunnvatn á Þeistareykjum

Fylgst er með vatnsborði í grunnvatnsholum á Þeistareykjum (Mynd 12). Árleg sveifla í vatnsborðinu er sjáanleg í öllum vatnsborðsholum, með lægstu stöðu í maí og hæstu stöðu í lok sumars. Þrjár holur (ÞG-2, ÞR-7, ÞG-8) hafa sýnt áhrif af niðurdælingunni, en frá 2018 hefur vatnsborð í þeim hækkað um allt að 10 m og þar myndast nýtt jafnvægi. Áhrif vinnslu koma ekki fram í grynri holum á svæðinu.



Mynd 12. Staðsetning grunnvatnsholna á Þeistreykjum.



Mynd 13. Mæld vatnshæð í m.y.s. í holum sem notaðar eru til að fylgjast með vatnsborði m.t.t. vinnslu og niðurdælingar í jarðhitakerfinu á Þeistareykjum.