



Eftirlitsmælingar í Kröflu og Bjarnarflagi 2013

Eftirlitsmælingar í Kröflu og Bjarnarflagi 2013



ÍSOR-2013/059

Verknr. 13-0364

Desember 2013

Skýrsla LV nr.: LV-2013-129

Dags: Desember 2013

Fjöldi síðna: 37

Upplag: 8

Dreifing:

- ☒ Opin
☒ Birt á vef LV
☐ Takmörkuð til

Titill: Eftirlitsmælingar í Kröflu og Bjarnarflagi 2013.

Höfundar / fyrirtæki Þorsteinn Egilson, Hörður Tryggvason og Bjarni Kristinsson

Verkefnisstjóri: Ásgrímur Guðmundsson f.h. LV Benedikt Steingrímsson f.h. ÍSOR

Unnið fyrir: Unnið af Íslenskum orkurannsóknum fyrir Landsvirkjun

Samvinnuaðilar:

Útdráttur: Eftirlitsmælingar á jarðhitasvæðum Landsvirkjunar í Kröflu og Bjarnarflagi voru gerðar 10. og 11. september 2013.

Hola KJ-6 er mikilvæg fyrir eftirlitsmælingar í Kröflu en hún var ekki mæld sumarið 2013 þar sem verið var að gera ferilefnaprófanir í henni. Í holu KG-10 lækkaði hiti með svipuðu sniði og undanfarin ár en þrýstingur breyttist ekki milli ára. Smávægilegar breytingar mældust milli ára á 1000 og 2000 m dýpi og við botn (2180 m) í holu KJ-18 í Suðurhlíðum, bæði í hita og þrýstingi. Hola KJ-11 í Leirbotnum var mæld 2013 sem hluti af eftirlitsferlinu í Kröflu. Hola KJ-21 í Hvíthólum var ekki mæld og hefur ekki verið mæld síðan 2010.

Litlar breytingar eru milli ára í hita og þrýstingi í holum B-2 og B-5 í Bjarnarflagi. Hola BJ-14 var einnig mæld.

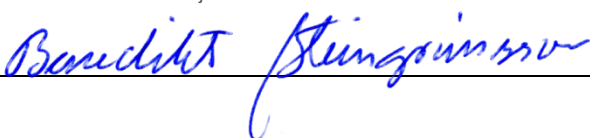
Lykilorð:

Krafla, Bjarnarflag, jarðhitakerfi, borholur, eftirlitsmælingar, hitamælingar, þrýstimælingar, vatnsborð, niðurdráttur, niðurdæling, kólnun, KJ-6, KG-10, KJ-11, KJ-18, KJ-21, KJ-26, B58006, B58010, B58011, B58018, B58021, B58026, B-2, B-5, BJ-13, BJ-14, B58302, B58305, B58313, B58314

ISBN nr.:

Samþykki verkefnisstjóra
Landsvirkjunar

Undirskrift verkefnisstjóra



Yfirfarið af

BS, AKM

Efnisyfirlit

1	Inngangur	7
2	Ferðadagbók mælingamanna.....	8
3	Eftirlitsmælingar í Kröflu.....	9
3.1	Hola KJ-6	10
3.2	Hola KG-10.....	12
3.3	Hola KJ-11	16
3.4	Hola KJ-18	19
4	Eftirlitsmælingar í Bjarnarflagi	24
4.1	Hola B-2	24
4.2	Hola B-5	29
4.3	Hola BJ-14.....	33
5	Helstu niðurstöður	36
6	Heimildir	37

Töflur

Tafla 1.	<i>Yfirlit um hita- og þrýstimælingar í Kröflu- og Bjarnarflagsholum 2008–2013.</i>	7
----------	---	---

Myndir

Mynd 1.	<i>Yfirlit um holustaðsetningar og holustefnur í Kröflu.</i>	9
Mynd 2.	<i>Saga hita á 1000 og 1200 m dýpi yfir þann tíma sem KJ-6 hefur verið nýtt sem eftirlitshola.</i>	10
Mynd 3.	<i>Árlega mældur þrýstingur á 1200 m dýpi til 2012, mælt vatnsborð fram til september 2013 ásamt árlegri meðalvinnslu út árið 2012 úr Leirbotnakerfinu í Kröflu.</i>	11
Mynd 4.	<i>Saga hita á 800 m dýpi í holu KG-10 þar sem kerfisbundinnar kælingar gætir.</i>	12
Mynd 5.	<i>Þrýstingur á 800 m dýpi og vatnsborð í holu KG-10 ásamt vinnslusögu Leirbotna fram til ársins 2013.</i>	13
Mynd 6.	<i>Hitamælingar síðustu átta ára í holu KG-10 ásamt berghitaferlinum.</i>	14
Mynd 7.	<i>Þrýstimælingar síðustu átta ára í holu KG-10 ásamt metnum upphafsþrýstingi.</i>	15
Mynd 8.	<i>Nokkrar hitamælingar úr holu KJ-11 í Kröflu</i>	17
Mynd 9.	<i>Nokkrar þrýstimælingar úr holu KJ-11 í Kröflu</i>	18
Mynd 10.	<i>Saga hita á 1000, 2000 og 2180 m dýpi yfir þann tíma sem KJ-18 hefur verið notuð sem eftirlitshola.</i>	20
Mynd 11.	<i>Saga vatnsborðs og þrýstings á 1000 og 2000 m dýpi í holu KJ-18 ásamt vinnslusögu Suðurrhlíða fram til ársins 2013.</i>	20
Mynd 12.	<i>Saga vatnsborðs og þrýstings á 1000 m dýpi í holu KJ-18 ásamt vinnslusögu Suðurrhlíða fram til ársins 2013</i>	21

Mynd 13. Hitamælingar síðustu sjö ára í holu KJ-18 ásamt metnum berghitaferli.	22
Mynd 14. Þrýstimælingar síðustu sjö ára í holu KJ-18 ásamt metnum upphafsþrýstingi.....	23
Mynd 15. Yfirlitsmynd um holustaðsetningar og stefnur holna í Bjarnarflagi.	24
Mynd 16. Mældur hiti á 350 og 480 m dýpi í B-2 ásamt tilsvareandi upphafshita í jarðhitakerfinu þar sem holan stendur.	25
Mynd 17. Mældur þrýstingur á 350 og 480 m dýpi í holu B-2 ásamt tilsvareandi upphafsþrýstingi og mældu vatnsborði.....	26
Mynd 18. Mældur þrýstingur á 480 m dýpi í holu B-2 ásamt tilsvareandi upphafsþrýstingi og mældu vatnsborði.....	26
Mynd 19. Hitamælingar síðustu sjö ára í holu B-2 ásamt metnum berghitaferli.....	27
Mynd 20. Þrýstimælingar síðustu sex ára í holu B-2 ásamt metnum upphafsþrýstingi	28
Mynd 21. Mældur hiti á 300 og 600 m dýpi í holu B-5 ásamt tilsvareandi berghita.....	29
Mynd 22. Mældur þrýstingur á 300 og 600 m dýpi í holu B-5 ásamt tilsvareandi upphafsþrýstingi, mældu vatnsborði og vinnslusögunni í Bjarnarflagi fram til ársins 2012.	30
Mynd 23. Mældur þrýstingur á 600 m dýpi í holu B-5 ásamt tilsvareandi upphafsþrýstingi, mældu vatnsborði og vinnslusögunni í Bjarnarflagi fram til ársins 2012.	30
Mynd 24. Hitamælingar síðustu sjö ára í holu B-5 ásamt metnum berghita	31
Mynd 25. Þrýstimælingar síðustu sjö ára í holu B-5 ásamt metnum upphafsþrýstingi	32
Mynd 26. Hitamælingar í holu BJ-14 frá 2009. Holan stóð í blæstri árið 2011.	34
Mynd 27. Þrýstimælingar í holu BJ-14 frá 2009–2013. Holan stóð í blæstri 2011.....	35

1 Innangangur

Hefðbundnar eftirlitsmælingar á jarðhitasvæðum Landsvirkjunar í Kröflu og Bjarnarflagi voru gerðar dagana 10. og 11. september 2013. Reglubundnar hita- og þrýstimælingar voru gerðar í holum KG-10 og KJ-18 í Kröflu og holum B-2 og B-5 í Bjarnarflagi. Vegna ferilefna-prófana var hola KJ-6 ekki til reiðu fyrir eftirlitsmælingar þetta árið en holan hefur verið fastur punktur í vinnslueftirliti fyrir Kröflustöð. Ekki var heldur mælt í holu KJ-21 að þessu sinni en hún er eftirlitshola fyrir jarðhitakerfið við Hvíthóla og er mæld í vinnsluhléum. Síðasta s.k. eftirlitsmæling var gerð 2010 en holan var síðan mæld 2012 þegar farið var í lóðanir og körfumælingar í allmörgum holum í Kröflu (Hörður Tryggvason og Halldór Ingólfsson, 2012). Þetta árið var ákveðið að bæta holum KJ-11 og KJ-35 við sem eftirlitsholum í Kröflu og holu BJ-14 í Bjarnarflagi. Áður en hola KJ-35 skyldi mæld stóð til að lóða hana en vegna örðugleika við lokakerfið á holutoppi þurftu menn frá að hverfa. Eftirlitsmælingarnar voru gerðar í sömu ferð og gerðar voru mælingar (lóðun) í holu ÞG-9 á Þeistareykjum. Yfirlit mælinga í hinum hefðbundnu eftirlitsholum í Kröflu og Bjarnarflagi síðustu sex ár er sýnt í töflu 1.

Tafla 1. Yfirlit um hita- og þrýstimælingar í Kröflu- og Bjarnarflagsholum 2008–2013.

Hola	2008		2009		2010		2011		2012		2013	
	Dags	Dýpi	Dags	Dýpi	Dags	Dýpi	Dags	Dýpi	Dags	Dýpi	Dags	Dýpi
KJ-6	24/9	1200	8/6	1200	19/7	1200	11/8	1200	4/7	1200	-	-
KG-10	23/9	800	9/6	800	21/7	800	11/8	800	5/7	800	10/9	805
KJ-18	23/9	2213	9/6	2200	20/7	2200	14/8	2195	5/7	2197	11/9	2197
KJ-21	27/6	1004	9/6	998	21/7	998	-	-	28/9	933	-	-
KJ-11											11/9	1400
KJ-35											10/9	0
B-2	24/9	490	-	-	19/7	488	1/12	490	3/7	488	10/9	485
B-5	24/9	615	-	-	19/7	611	1/12	611	3/7	611	11/9	600
BJ-14											12/9	2398

Niðurstöður mælinganna 2013 eru birtar í langri röð mælinga sem gerðar hafa verið í eftirlitsholunum en skýrsla um eftirlitsmælingar og vinnslu fram á árið 2012 var gefin út í fyrra (Þorsteinn Egilson o.fl., 2012).

2 Ferðadagbók mælingamanna

10. september

Mælingabíll var keyrður frá Reykjavík til Akureyrar mánudaginn 9. september vegna eftirlitsmælinga í Kröflu og Bjarnarflagi. Einnig stóð til að lóða holu ÞG-9 á Þeistareykjum. Mælingamenn, Hörður Tryggvason og Bjarni Kristinsson, lögðu af stað í Kröflu frá Akureyri að morgni 10. september. Þegar komið var í Kröflu var byrjað á að ganga frá verkleyfi vegna mælinga og ná í mælingarör í Skemmu 2 áður en farið var að fyrstu holu. Samkvæmt verkplani átti að byrja á lóðun holu KJ-35 og mæla síðan hita og þrýsting niður að lóðdýpinu. Talsvert gas var í kúluhúsi um holutoppinn og mældist gasstyrkur (H_2S) að 15–25 ppm, þrátt fyrir talsverðan suðvestanstrekking. Lóði var komið fyrir í mæliröri og það skrúfað ofan á 3" loka efst á holunni. Nokkuð erfitt var að opna 3" lokann og þurfti að notast við töng til að opna hann. Smá gas lak út með flans á holuloka og mældist H_2S styrkur tæp 90 ppm en mælingamenn notuðu gasgrímur við vinnuna. Lóð stoppaði strax við 3" loka. Gerðar voru nokkrar tilraunir til að koma lóði niður en án árangurs. Í fyrstu datt mælingamönnum í hug að „tunga“ hefði slitnað frá „spindli“ í lokanum og var því gerð tilraun til að loka honum aftur. Gekk það vandræðalaust og var holan opnuð aftur og greinilegt var að engin bilun var í lokanum. Gerðar voru nokkrar tilraunir til viðbótar að koma lóði niður með því að tosa í mælivír og láta lóð skella niður á meiri hraða en allt án árangurs. Meðan á þessum tilraunum stóð tóku mælingamenn eftir því að í hvert sinn sem lóðið settist stöðvaðist gasleki út með tappa á mæliröri. Var því líkast að mikil þrenging væri í 3" lokanum og lóð næði að loka fyrir gasstreymi úr holunni.

Höfðu mælingamenn því áhuga á að loka aðalloka holunnar til að hægt væri að kíkja í 3" lokann. Haft var sambandi við starfsmenn Kröflustöðvar, sem mættu á svæðið stuttu síðar. Ljóst var strax er byrjað var að eiga við lokann að hann myndi ekki lokast auðveldlega og ákváðu mælingamenn því að yfirgefa borplan holu KJ-35 til að mæla aðrar holur.

Farið var á holu K-10 og gekk vel að mæla hana enda þrýstingslaus á toppi. Að því loknu var farið í Bjarnarflag og var hola B-2 mæld og gekk þar líka allt að óskum. Að þessu loknu fóru mælingamenn aftur í Kröflu.

11. september

Að morgni 11. september byrjuðu mælingamenn á að mæla holu KJ-18. Keðja var yfir veginn að holunni, læst með keðjulás, og þurftu mælingamenn að hringja í starfsmann Kröflustöðvar til að láta hann opna hliðið og biðu þeir þar í nokkrar mínútur. Vel gekk að mæla holunna og var næst haldið á holu KJ-11. Þegar komið var þangað fengu mælingamenn þær fréttir að ekkert gengi að loka holu KJ-35 og því yrðu ekki gerðar frekari tilraunir til að lóða eða mæla hana.

Þegar komið var að holu KJ-11 kom í ljós að ekki var hægt að koma mæli með miðjustilli ofan í holuna nema að gera gat í topp kúluhússins. Enn var hringt og aðstoð fengin frá Vésteini, aðstoðarstöðvarstjóra Kröfluvirkjunar. Bora varð gat með dósabor í topp kúluhússins og var þá ekkert mál að koma mæli í holuna. Vel gekk að mæla og voru engin vandræði að koma mæli upp og niður holuna og aldrei varð vart við neina fyrirstöðu en mælingu var hætt í 1400 m þar sem vitað var um festur þar fyrir neðan. Eftir að mælingu lauk náðu mælingamenn í mælirörið sem hafði verið skilið eftir daginn áður hjá holu KJ-35

og fóru með það að holu BJ-14 í Bjarnarflagi. Þá var farið í að mæla holu B-5 og gekk það ljómandi vel. Að því loknu héldu mælingamenn til fiskibolluáts í Kröflumötuneyti.

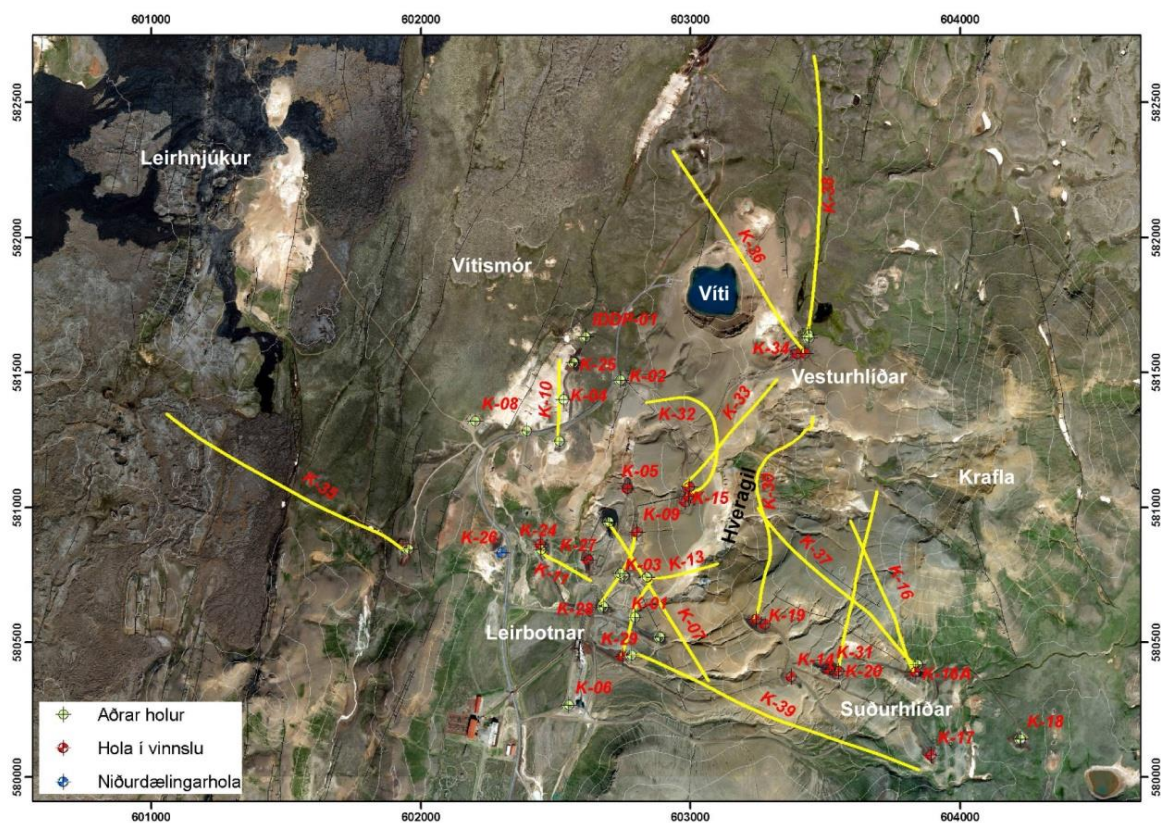
12. september

Að morgni 12. september fóru mælingamenn í Bjarnarflag til að mæla holu BJ-14. Mjög hvasst var í Bjarnarflagi í byrjun mælingar en allt gekk þó að óskum. Eftir að búið var að pakka saman í Bjarnaflagi var farið á Þeistareyki til að lóða holu ÞG-9. Vel gekk að lóða holuna og urðu mælingamenn ekki varir við neina fyrirstöðu í henni fyrr en komið var niður á botn leiðarans. Lóð var því dregið aftur upp og gengið frá áður en lagt var á stað til Akureyrar að lokinni vel heppnaðri mælingatörn.

3 Eftirlitsmælingar í Kröflu

Í Kröflu voru reglubundnar hita- og þrýstismælingar gerðar í holum KG-10 og KJ-18. Hóla KJ-11 í Leirbotnum var auk þess mæld en hún liggur nærri holu KG-26 sem hefur verið nýtt til niðurdælingar síðan 2002. Einnig var gerð tilraun til að mæla holu KJ-35 en það tókst ekki vegna vandræða með holutoppsbúnað.

Yfirlit um holur í Kröflu og ferlar stefnuboraðra holna eru sýndir á mynd 1.



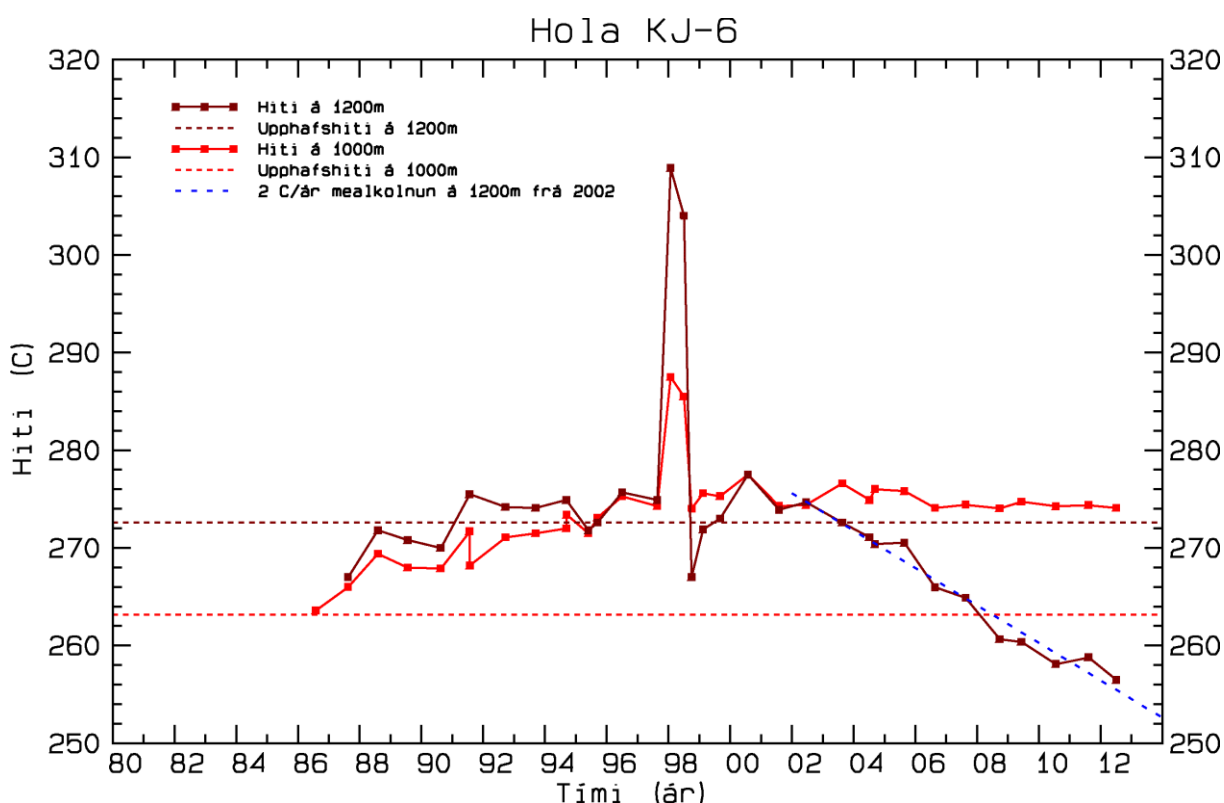
Mynd 1. Yfirlit um holustaðsetningar og holustefnur í Kröflu.

3.1 Hola KJ-6

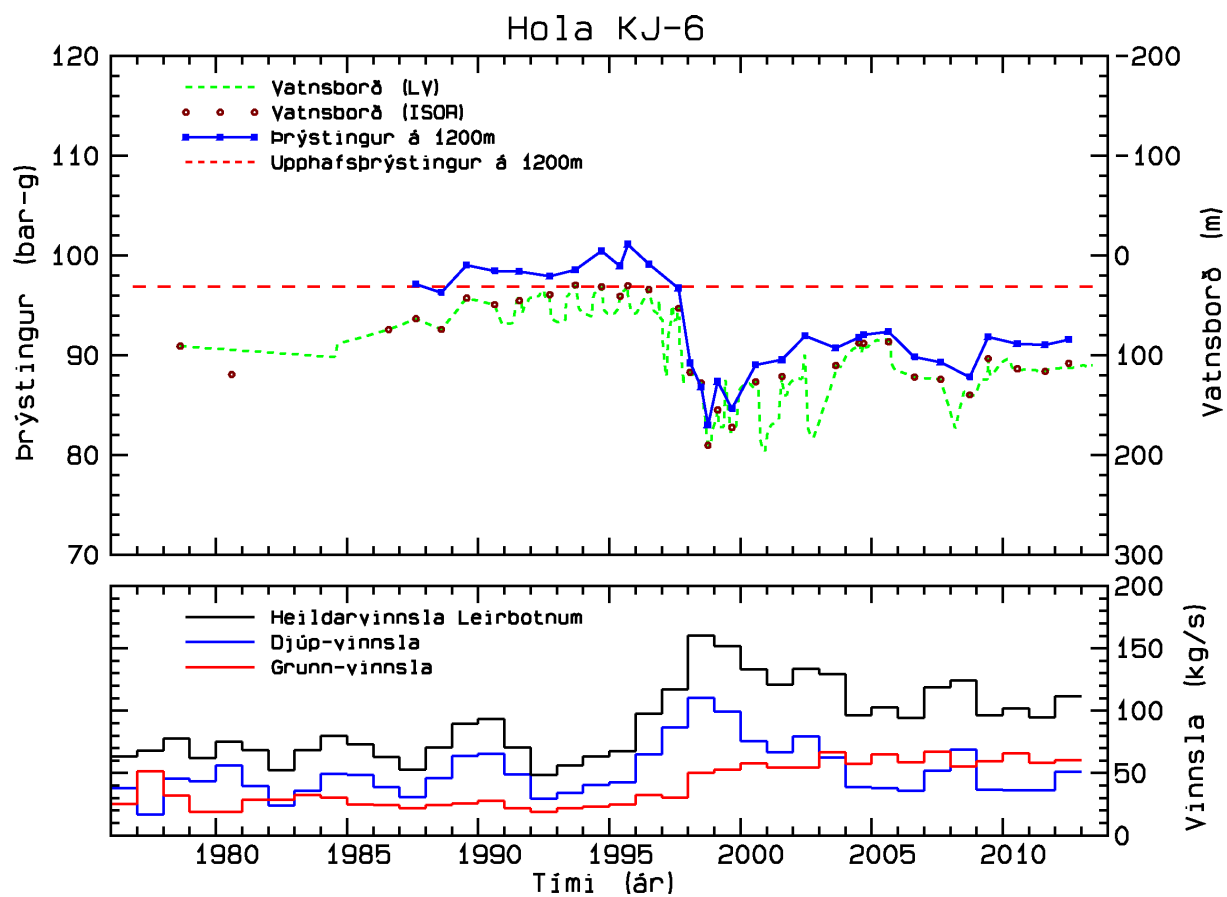
Hola KJ-6 var boruð sumarið 1976 í 2000 m dýpi. Holan er aðeins mæld í 1200 m dýpi og er ástæðan sú að ýmislegt rusl er í henni og vitað er um skemmdir á leiðaranum. Hún hefur verið hryggjarstykkið í eftirlitsmælingum fyrir Leirbotnakerfið (Þorsteinn Egilson o.fl., 2012). Holan var ekki mæld sumarið 2013 vegna þess að hún var ekki aðgengileg vegna ferilefna-prófana en holunni var hleypt upp 15. júlí 2013.

Í eftirlitsvinnu sl. ára hefur verið fylgst með hita og þrýstingi á 1000 og 1200 m dýpi í holunni en frá árinu 2002 hófst niðurdæling í holu KG-26 en það hefur valdið kólnun á 1200 m. Fram til ársins 2012 hefur þróun hitastigs á þessu dýpi verið með þeim hætti að vatnshitinn í 1000 m helst í stað en kólnun sem verður vart á 1200 m dýpi hefur verið um 2°C/ár síðan niðurdæling hófst í holu KG-26 (Þorsteinn Egilson o.fl., 2012; Arnar Hjartarson, 2006). Mynd 2 sýnir mælt hitastig í holu KJ-6 á 1000 og 1200 m dýpi fram til ársins 2012 ásamt tilsvarende berghitamati og hún sýnir einnig út frá því áætlaða hitabreytingu fram til ársins 2013.

Mynd 3 sýnir mældan þrýsting á 1000 og 1200 m dýpi frá 1986–2012 ásamt mældu vatnsborði í holunni fram á mitt ár 2013 en hola KJ-6 er vatnsborðsmæld reglulega af starfsmönnum Kröfluvirkjunar. Áætlaður upphafsþrýstingur er sýndur með strikálínum. Á árunum 2005–2008 varð vart þrýstilækkunar sem byrjaði að ganga til baka 2008 (Þorsteinn Egilson, 2010) en mælingin frá í sumar sýnir að vatnsborðið liggur heldur hærra en í fyrra.



Mynd 2. Saga hita á 1000 og 1200 m dýpi yfir þann tíma sem KJ-6 hefur verið nýtt sem eftirlitshola.

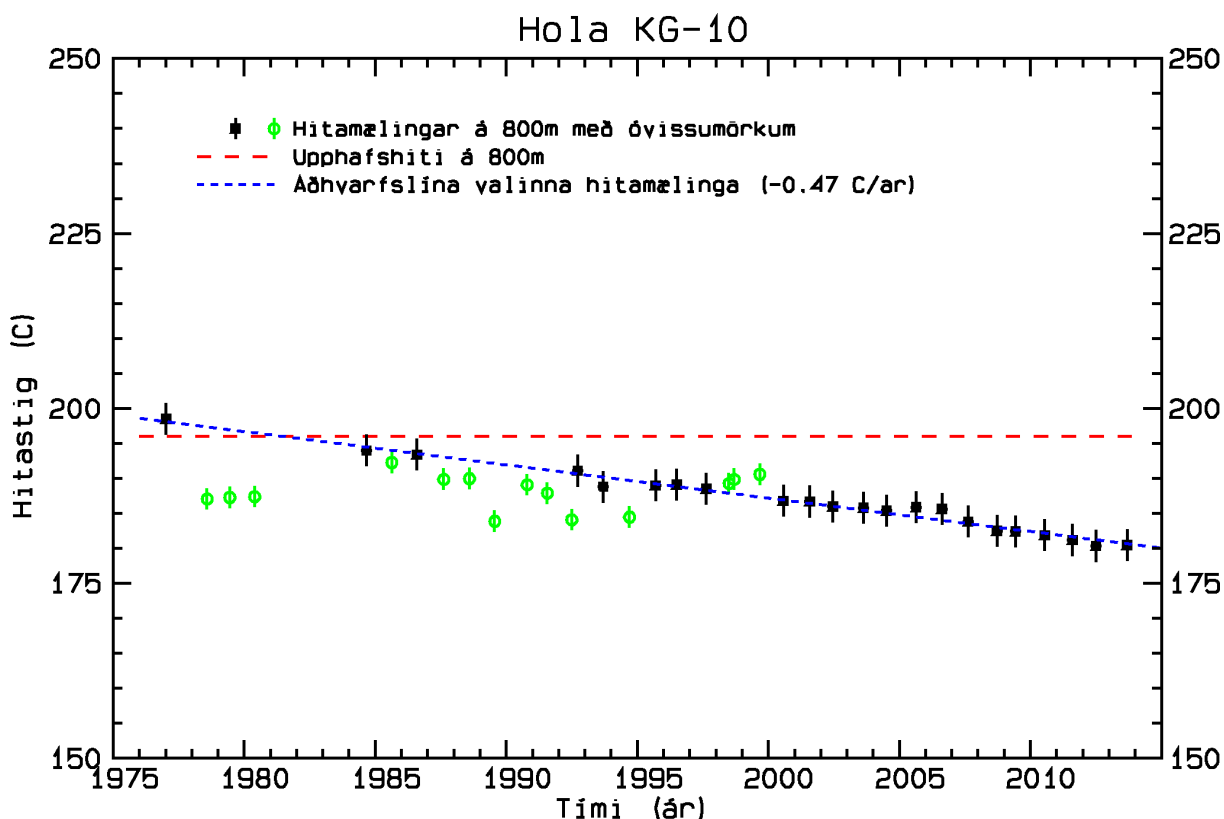


Mynd 3. Árlega mældur prýstingur á 1200 m dýpi til 2012, mælt vatnsborð fram til september 2013 ásamt árlegri meðalvinnslu út árið 2012 úr Leirbotnakerfinu í Kröflu.

3.2 Hola KG-10

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

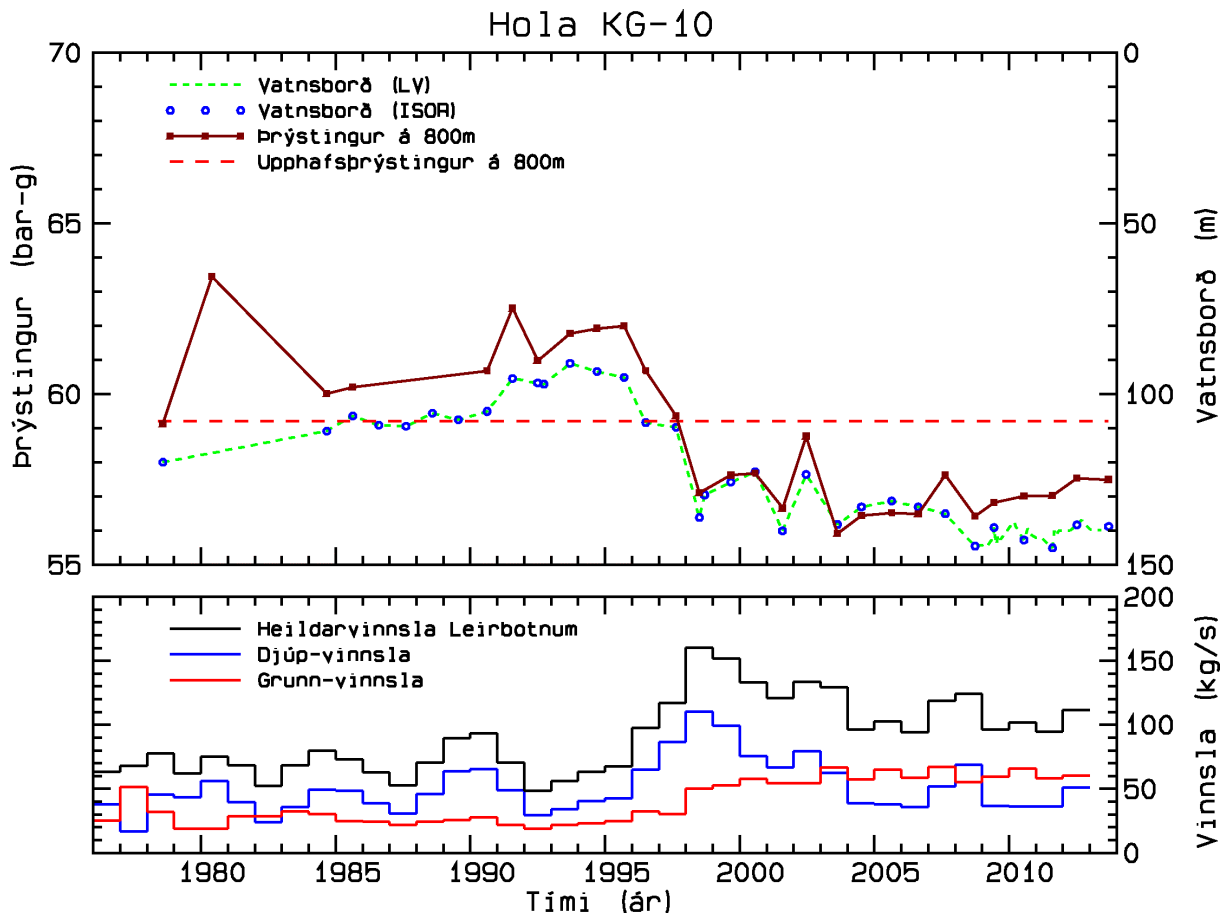
Mynd 4 sýnir mældan hita á 800 m dýpi í holu KG-10 frá 1976–2013. Nokkurt flökt hefur verið á mældum hita á þessu dýpi og er vinnsla úr holu KG-24 að hluta til talin ábyrg fyrir því (Benedikt Steingrímsson og Grímur Björnsson, 1995) en hún vinnur úr efra Leirbotnakerfi nálægt holu KG-10. Þegar horft er framhjá þeim hitamælingum þar sem áhrifa er talið gæta (Arnar Hjartarson, 2006) frá vinnslu úr KG-24 (grænir hringir á myndinni) má sjá kerfisbundna kólnun á 800 m dýpi (Þorsteinn Egilson o.fl., 2012) sem, að því er virðist, heldur áfram á þessu ári. Meðalkólnunin, sem er mæld með hjálp aðhvarfslínu í gegnum valið safn mælinga frá 1977 (svartir kassar á myndinni), er $0,47^{\circ}\text{C}/\text{ár}$ þar sem val punkta inn á línuna miðast við $\pm 2^{\circ}\text{C}$ óvissu í hitamælingum. Hitinn á 800 m dýpi í holu KG-10 er um sumarmál 2013 $15,6^{\circ}\text{C}$ lægri en metinn berghiti á þessu sama dýpi.



Mynd 4. Saga hita á 800 m dýpi í holu KG-10 þar sem kerfisbundinnar kælingar gætir. Grænmerktu mælingarnar eru undandregnar mati á þessari kólnun vegna áhrifa frá vinnslu úr KG-24.

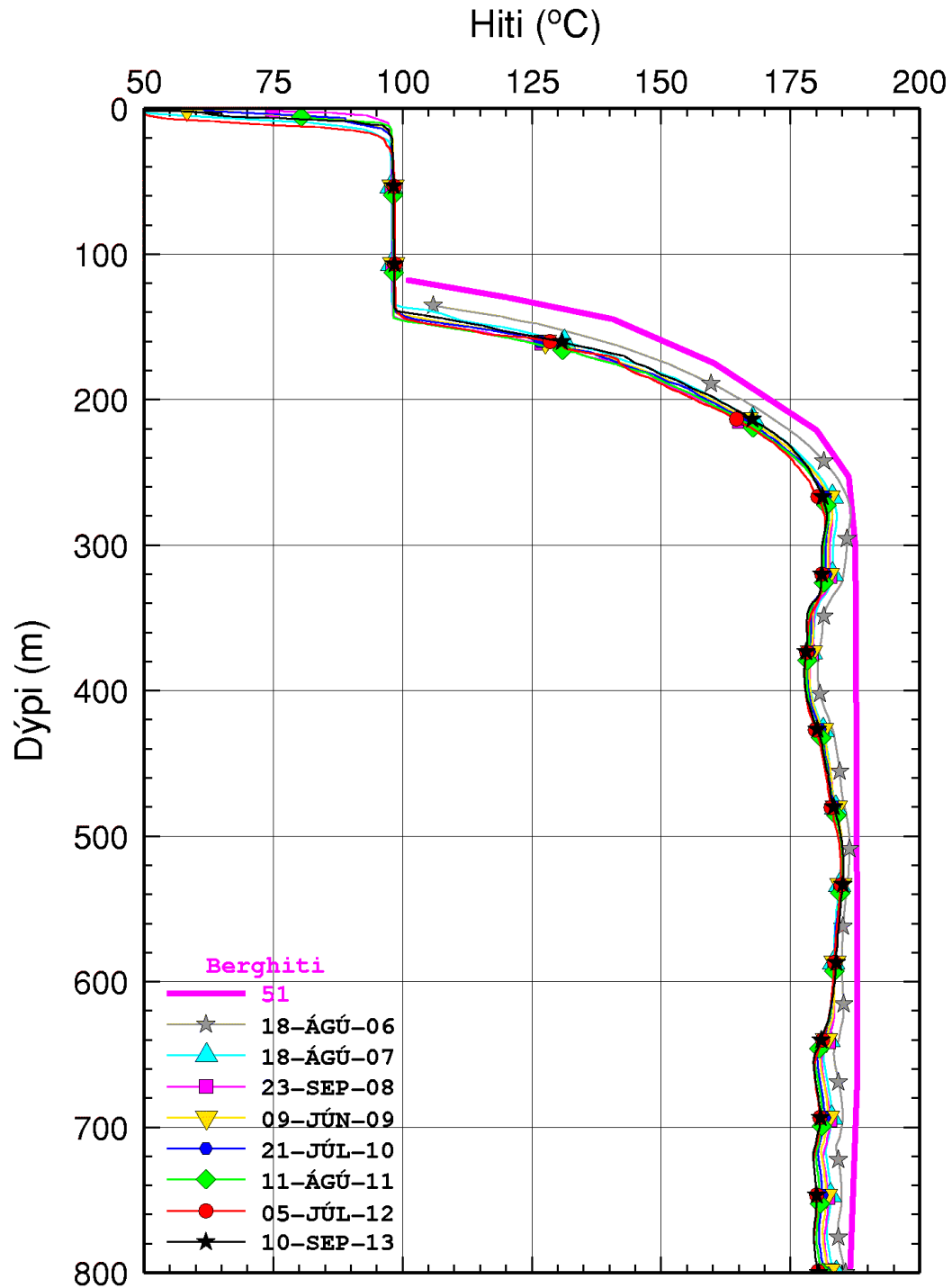
Mynd 5 sýnir mældan þrýsting á 800 m dýpi í holu KG-10 frá 1978–2013 ásamt áætluðum upphafsþrýstingi og mældu vatnsborði frá sama tíma. Í eftirlitsmælingaferðum ÍSOR er vatnsborð holunnar mælt (bláir hringir á myndinni) en auk þess mælir Landsvirkjun vatnsborð holunnar reglulega (heildregin, græn lína á myndinni). Myndin sýnir einnig árlega meðalvinnslu úr Leirbotnakerfinu til ársins 2013. Þrýstingur í 800 m er nú um 1,7 bar undir áætluðum upphafsþrýstingi og hefur staðið í stað milli áranna 2012 og 2013.

Myndir 6 og 7 sýna hita- og þrýstiferla síðustu átta ára í holu KG-10 ásamt metnum berghita og upphafsþrýstingi.



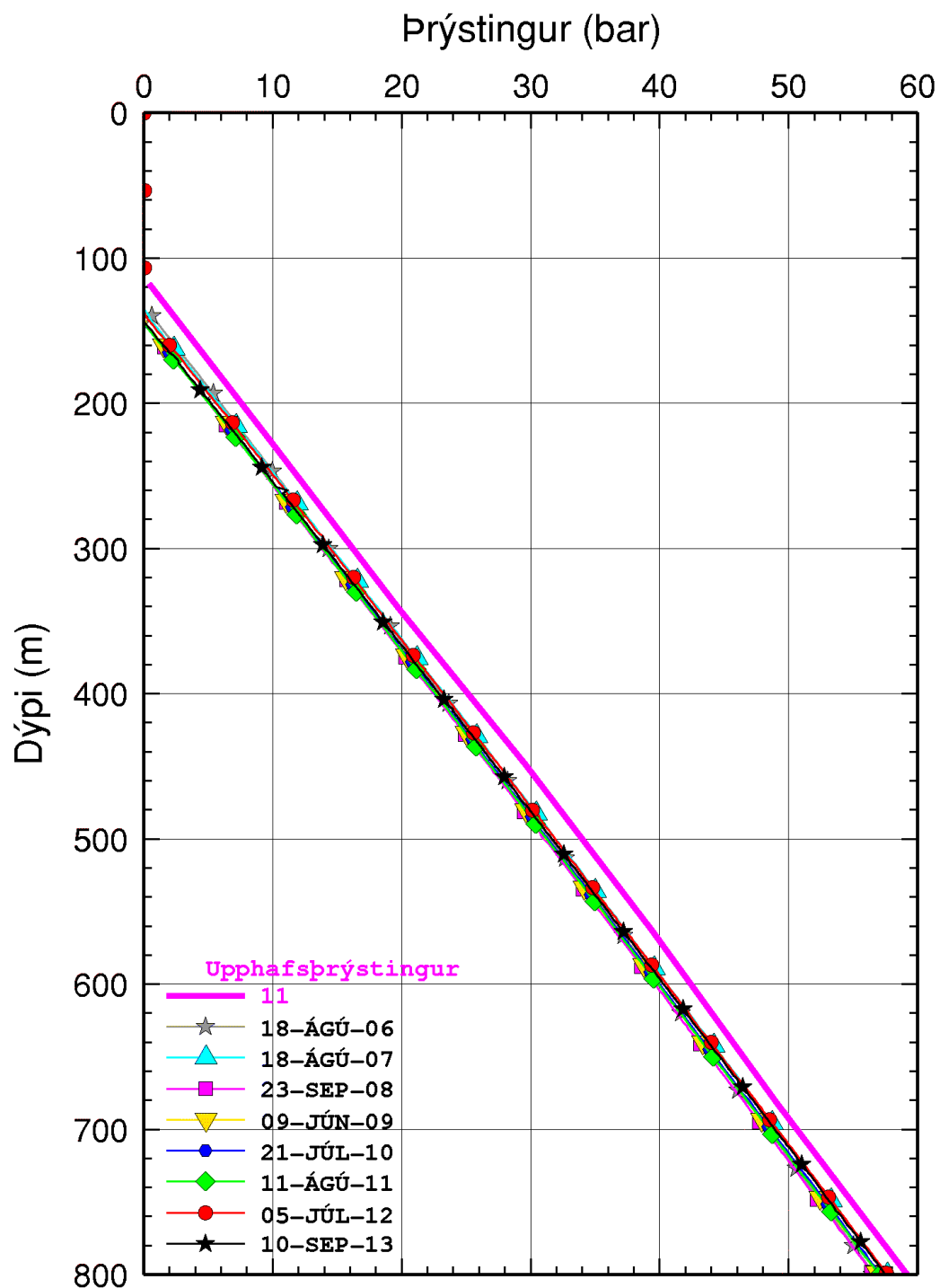
Mynd 5. Þrýstingur á 800 m dýpi og vatnsborð í holu KG-10 ásamt vinnslusögu Leirbotna fram til ársins 2013.

Vítismór K-10 Vítismór Suður-Píngeyjarsýsla



Mynd 6. Hitamælingar síðustu átta ára í holu KG-10 ásamt berghitaferlinum.

Vítismór K-10 Vítismór Suður-Píngeyjarsýsla



Mynd 7. Þrýstimælingar síðustu átta ára í holu KG-10 ásamt metnum upphafsprýstingi.

3.3 Hola KJ-11

Hola KJ-11 var boruð til aust-suðausturs haustið 1976 með vinnslufóðringu í 700 m og holu-dýpi 2217 m. Skoltöp í vinnsluhluta voru nokkur en flest lítil og var 7⁵/₈" raufaður leiðari settur í vinnsluhluta holunnar (Hrefna Kristmannsdóttir o.fl., 1977). Sem fyrr segir hefur þessi hola ekki tilheyrt hefðbundnu árlegu eftirliti. Hún var mæld í 2200 m í upphitun í nóvember 1978 eftir endurfóðringu, hitamæld í 1454 m og þrýstimæld í 1726 m 1990 og þá var hola hita- og þrýstimæld í júní 2002, sama ár og niðurdæling hófst í holu KG-26. Mælingin nú, 2013, var gerð niður í 1400 m en við lóðun holunnar haustið 2012 reyndist fyrirstaða á 1428 m dýpi (Hörður Tryggvason og Halldór Ingólfsson, 2012).

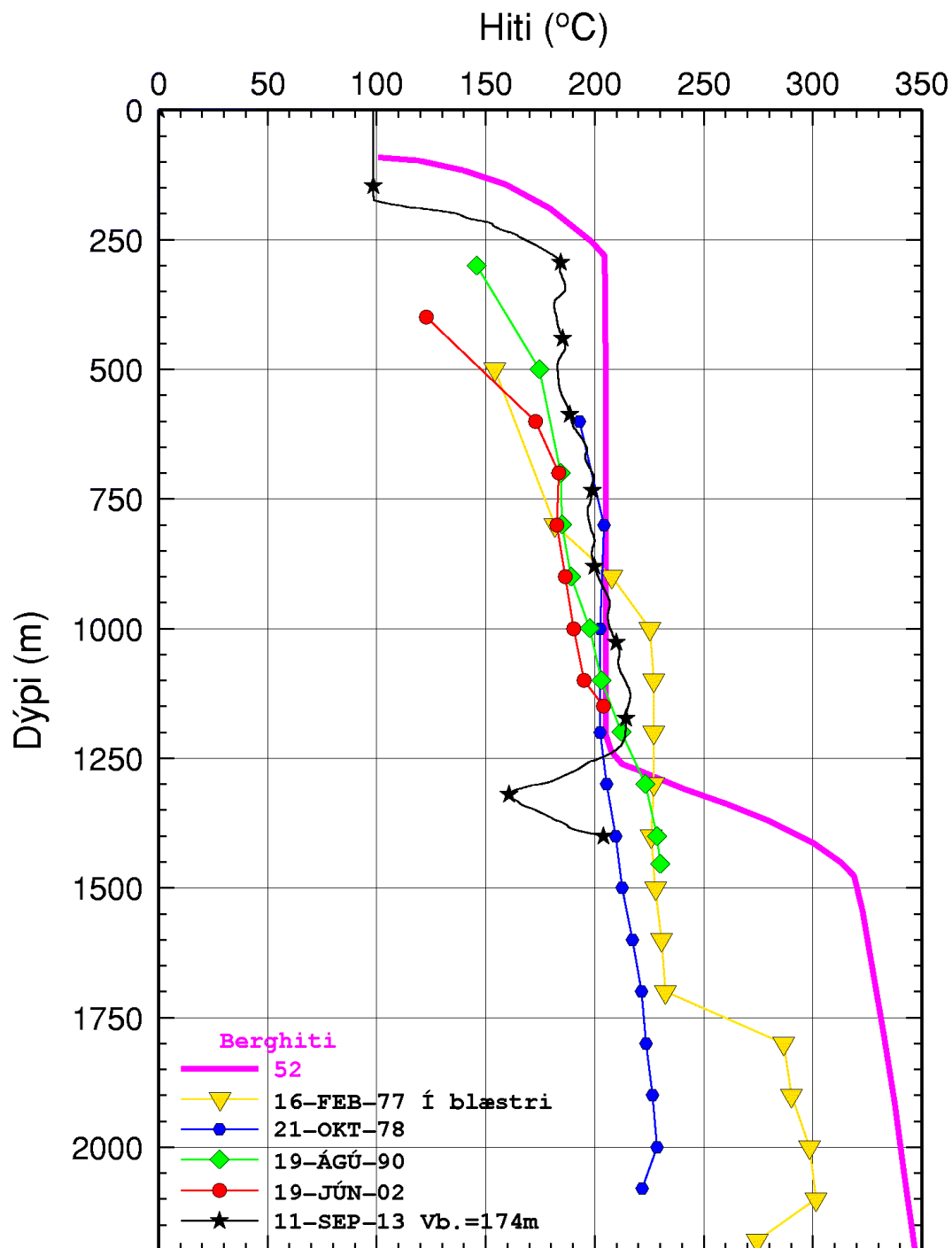
Hola KJ-11 var vinnsluholu frá 1977 fram að sumri 2002 og gaf lengst af um 1,2–1,5 MW. Holan var síðan notuð til niðurdælingar, fyrst frá lokum mars 2003 til ágústloka 2005 en síðan frá október 2009 til apríl 2010.

Mynd 8 sýnir valdar hitamælingar úr holu KJ-11 sem og berghitaferil holunnar en hann var gefinn út árið 1990 og byggist á hugmyndum manna um skiptingu jarðhitakerfisins í Leirbotnum í efra og neðra kerfi (Valgarður Stefánsson o.fl., 1977). Þar kemur fram kæling á um 1320 m dýpi en við borun holunnar var lek æð á 1326 m dýpi (Hrefna Kristmannsdóttir o.fl., 1977). Með tilliti til niðurdælingar í holuna 2008–2009 og síðan 2009–2010 er að svo stöddu ekki unnt að segja til um hversu mikil, ef nokkur, áhrif niðurdælingin í KG-26 hefur. Því miður nær mælingin sem var gerð 2002 ekki niður að þessu dýpi þannig að ekki fæst beinn samanburður fyrir áhrif niðurdælingarinnar á KJ-11. Í september 2013 var hitinn á 1320 m dýpi 160°C sem er 90°C kaldara en berghitinn þar.

Mynd 9 sýnir valdar þrýstimælingar ásamt mælingunni í september 2013 og metnum upphafsþrýstingi sem fylgir eiginleikum berghitaferilsins fyrir holuna með vatnsborð á 92 m dýpi, en í september 2013 stóð vatnsborð holunnar á 174 m dýpi. Þrýstingur í 1320 m mældist 98,2 bar sem er 4,1 bar neðan við metinn kerfisþrýsting.

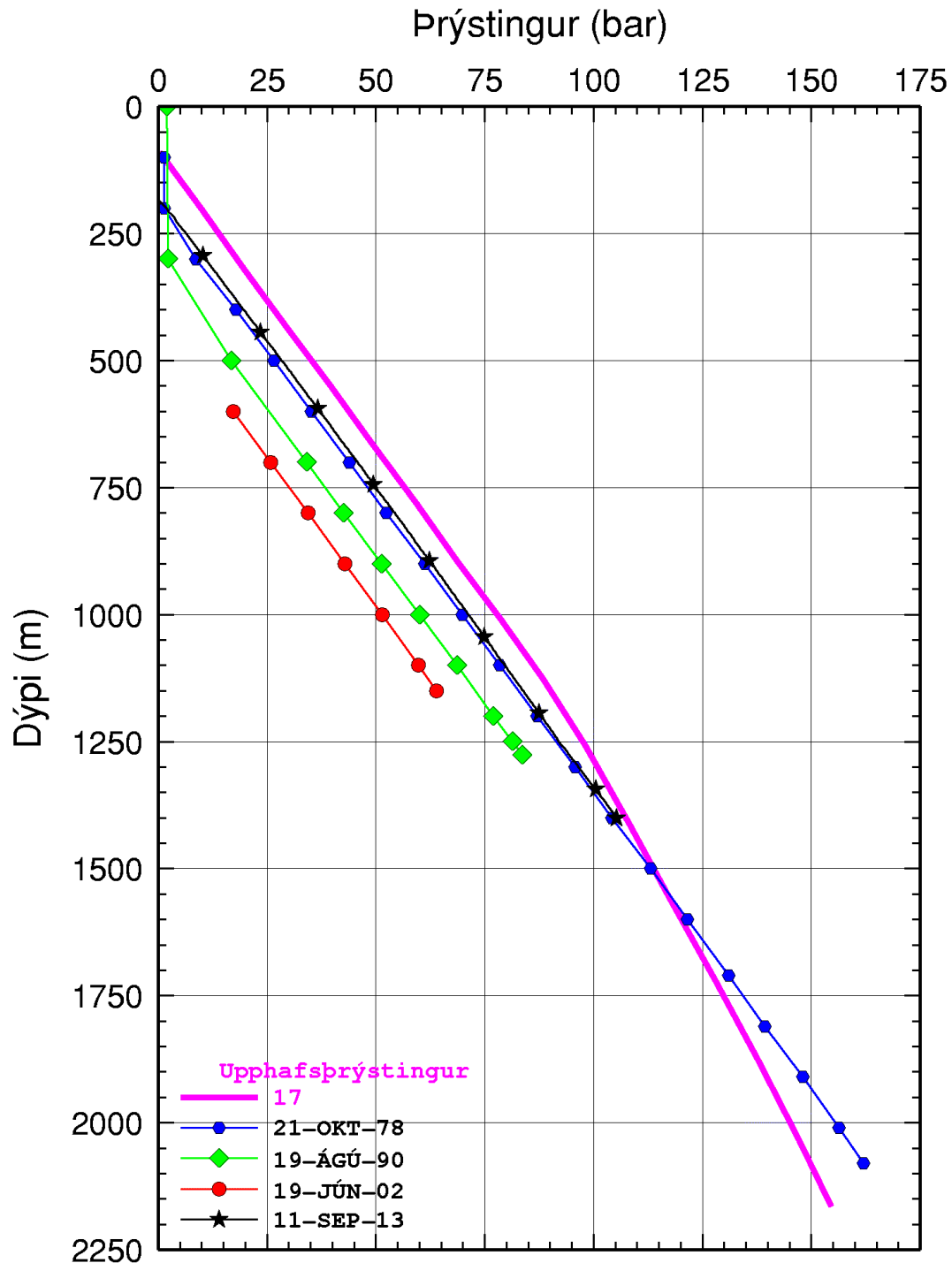
Að mörgu leyti er ástæða til að fylgjast í framtíðinni með þróun hita og þrýstings í holu KJ-11 vegna nálægðar hennar við niðurdælingarholuna KG-26.

Krafla K-11 Leirbotn Suður-Þingeyjarsýsla



Mynd 8. Nokkrar hitamælingar úr holu KJ-11 í Kröflu sem var boruð 1976 en hefur ekki nýst sem vinnsluhola. 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 í 1326 m.

Krafla K-11
Leirbotn
Suður-Píngeyjarsýsla



Mynd 9. Nokkrar þrýstimælingar úr holu KJ-11 í Kröflu sem var boruð 1976 en hefur ekki nýst sem vinnsluhola.

3.4 Hola KJ-18

Hola KJ-18 er austan við vinnslusvæði Suðurhlíða í Kröflu og var boruð haustið 1981 í 2215 m dýpi. Vinnslufóðring nær niður á 663 m dýpi en enginn leiðari er í holunni sem aldrei hefur blásið. Ekki hefur orðið vart neinnar fyrirstöðu í holunni og hafa mælingar ávallt gengið vel (Þorsteinn Egilson, 2012).

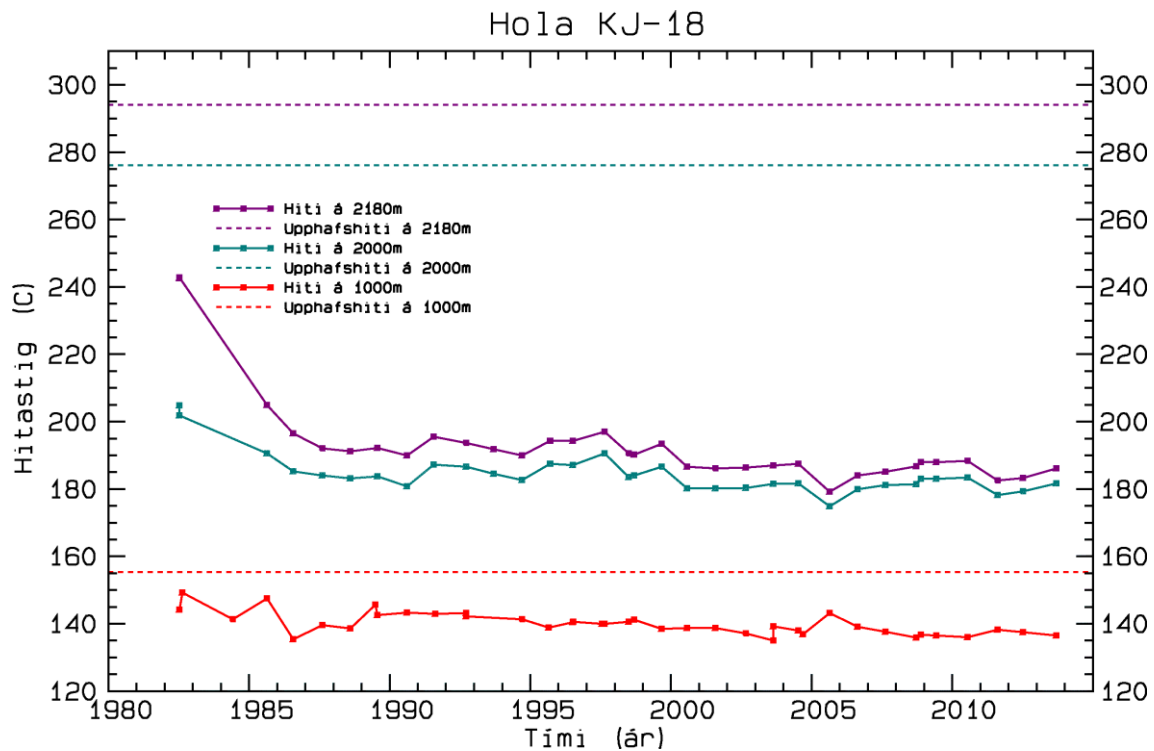
Mynd 10 sýnir mældan hita á 1000, 2000 og 2180 m dýpi í holu KJ-18 frá 1981–2013. Miðað við fyrri útgáfur af þessari mynd (Þorsteinn Egilson, 2010) inniheldur hún upplýsingar um endurmetið berghitamat (155°C) og þar sést að hitinn á 1000 m dýpi mældist í september 2013 tæpum 18°C lægri en upphafshitinn. Frá 2011 er um að ræða jafna kólnun, 0,86°C/ár, á 1000 m dýpi í holu KJ-18.

Töluverðrar kólnunar gætir á 2000 m dýpi, sem og á 2180 m dýpi. Kólnunin er hvað mest á árunum 1981–1988 en í júlí 2010 mældist 92,7°C kólnun á 2000 m dýpi og um 106°C kólnun við botn nærri 2180 m dýpi (Þorsteinn Egilson, 2010). Frá 2011 hefur orðið nokkuð jöfn hitahækkun á bæði 2000 og 2180 m dýpi, ~1,7°C/ár í báðum tilfellum. Athygli vekur að hitabreytingar á 1000 og 2000 m dýpi verða með gagnstæðum formerkjum en hitabreytingar á 2000 og 2180 m dýpi (nærri botni) fylgjast vel að án þess að einhlít skýring á því liggi fyrir. Líklegast er þó að þetta tengist rennsli og rennslisbreytingum í holunni. Við næstu eftirlitsmælingar, væntanlega 2014, er ástæða til að gera rennslismælingu (spinner-log) í holu KJ-18, samhliða hita- og þrýstimælingum.

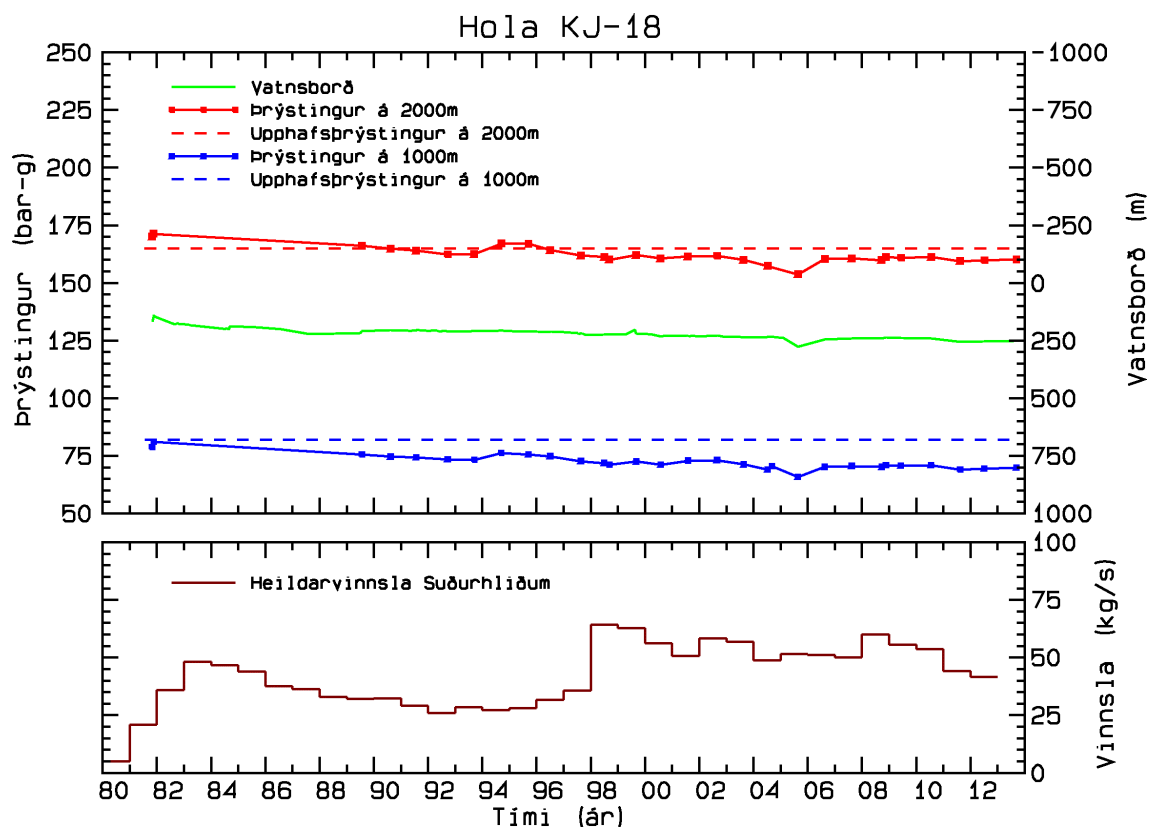
Mynd 11 sýnir mældan þrýsting á 1000 og 2000 m dýpi í holu KJ-18 frá 1981–2013, tilsvareandi áætlaðan upphafsþrýsting, mælt vatnsborð og vinnslusögu Suðurhlíða fram til ársins 2013. Af þrýstimælingunum að dæma hefur þrýstingur í holu KJ-18 farið lækkanði með tíma en síðustu átta árin hefur þrýstingurinn haldist nokkuð óbreyttur á ofangreindum stöðum í holunni. Þrýstingur í holu KJ-18 árið 2013 er 12,1 bar lægri en upphafsþrýstingur í 1000 m og 4,7 bar lægri en upphafsþrýstingur í 2000 m. Mynd 12 sýnir þrýsting á 1000 m dýpi og vatnsborð með hærri upplausn en gert er með mynd 11 til að draga betur fram breytingar sem hafa orðið.

Eins og sést á myndum 10 og 11 sker mælingin frá 2005 sig nokkuð frá öðrum mælingum án þess að tilhlýðileg skýring hafi fundist á því og ekki vitað um neinar beinar breytingar á umhverfisþáttum, s.s. vinnslu (Þorsteinn Egilson, 2010).

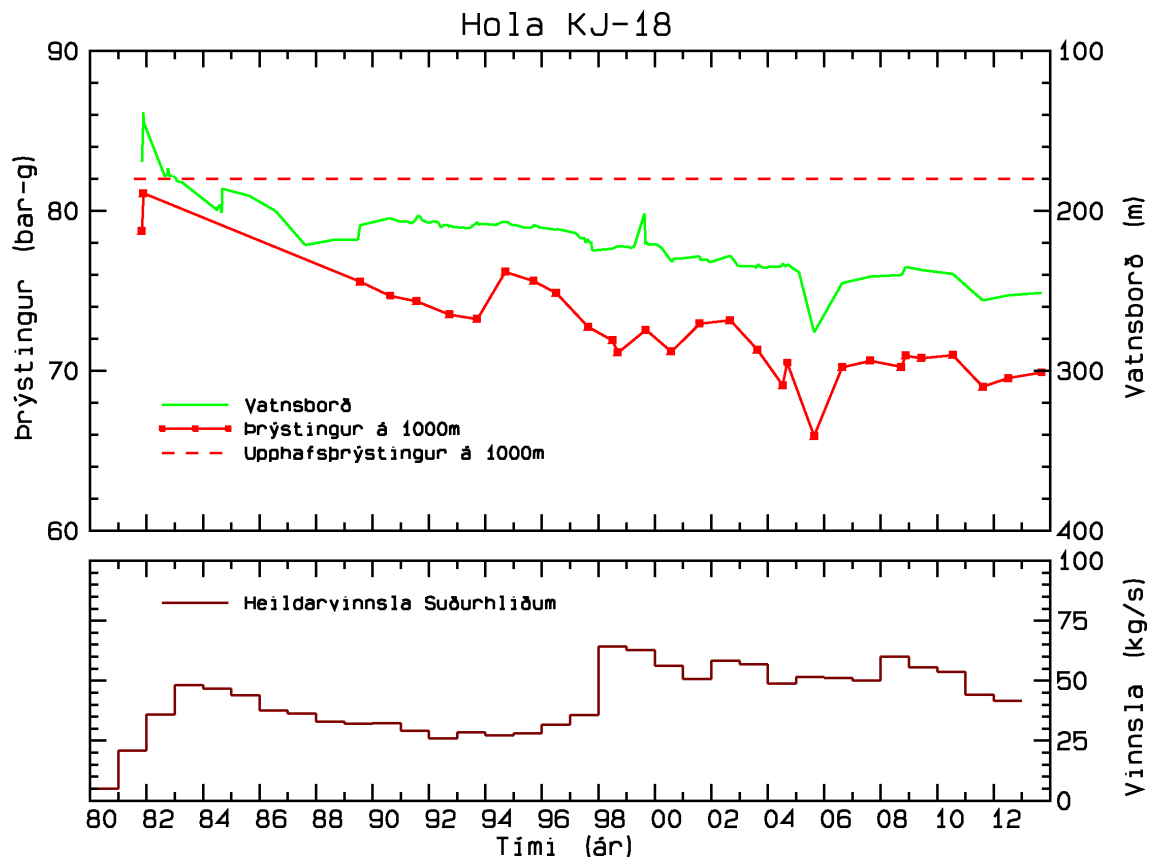
Myndir 13 og 14 sýna hita- og þrýstimælingar síðustu sjö ára í holu KJ-18 ásamt metnum berghita og upphafsþrýstingi.



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

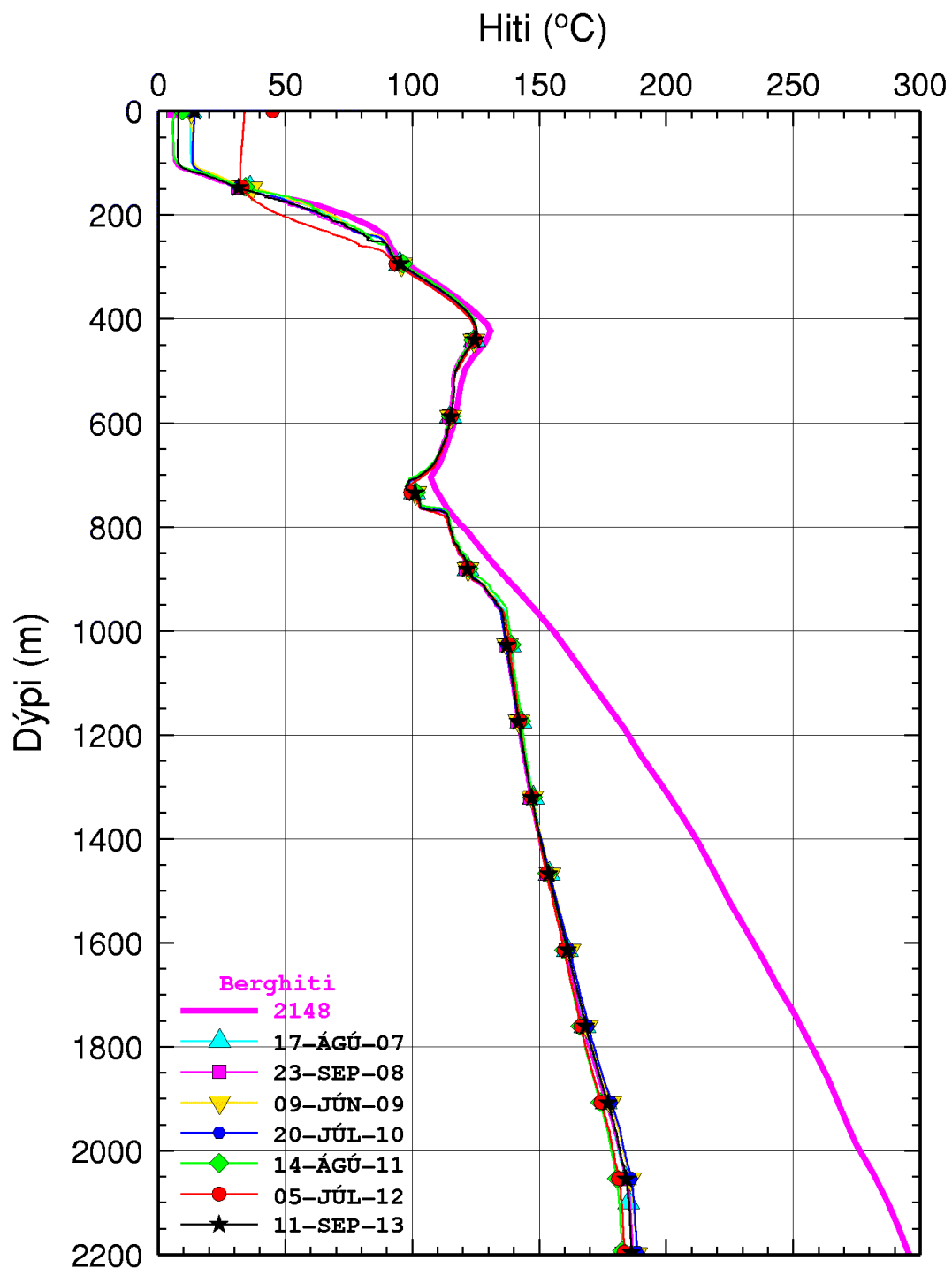


Mynd 11. Saga vatnsborðs og þrýstings á 1000 og 2000 m dýpi í holu KJ-18 ásamt vinnslusögu Suðurhlíða fram til ársins 2013.



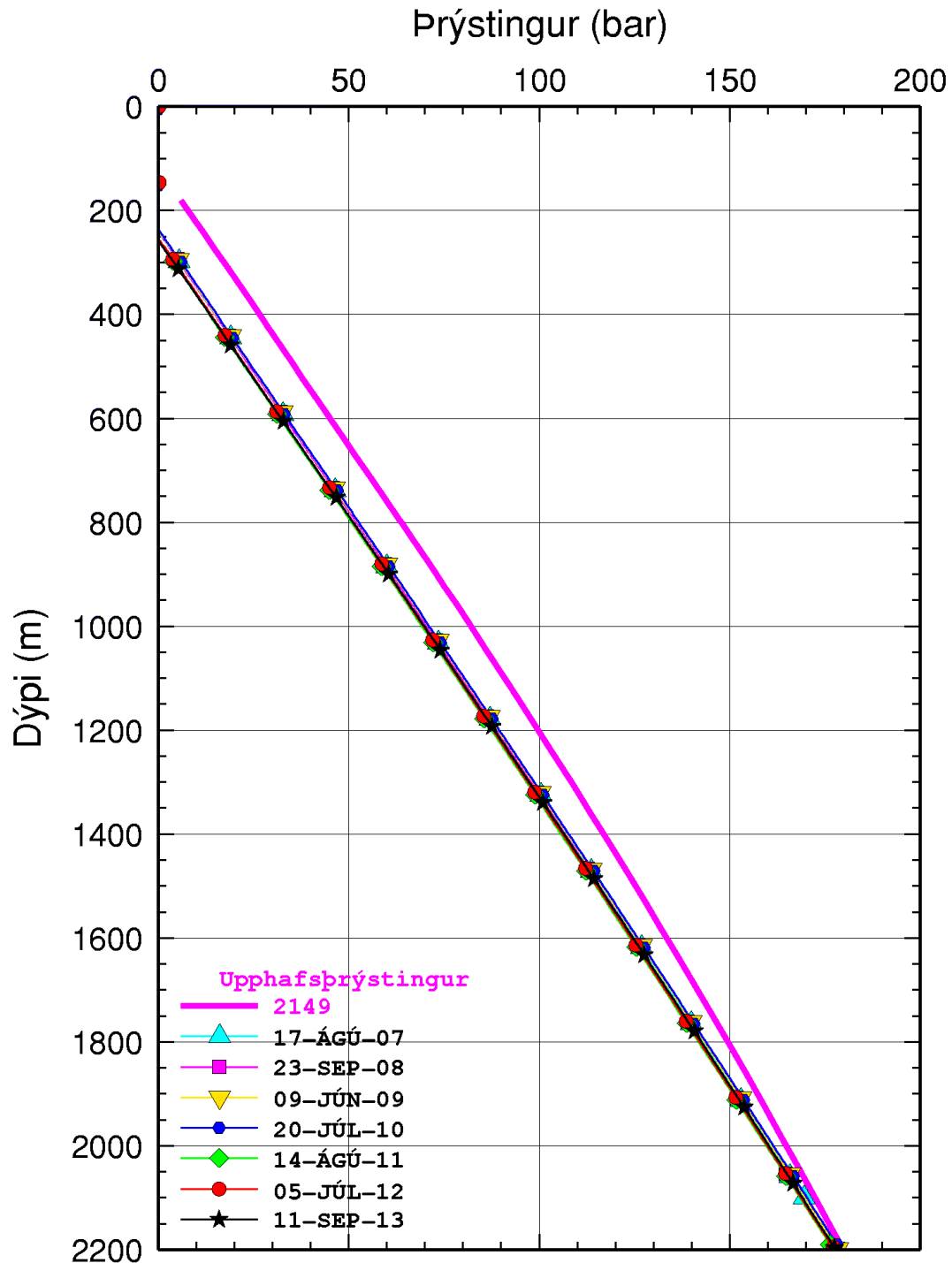
Mynd 12. Saga vatnsborðs og þrýstings á 1000 m dýpi í holu KJ-18 ásamt vinnslusögu Suðurlíða fram til ársins 2013 þar sem breytingar eru sýndar með hærri upplausn en gert er á mynd 11.

Suðurhlíðar K-18
Suðurhlíðar
Suður-Píngeyjarsýsla



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

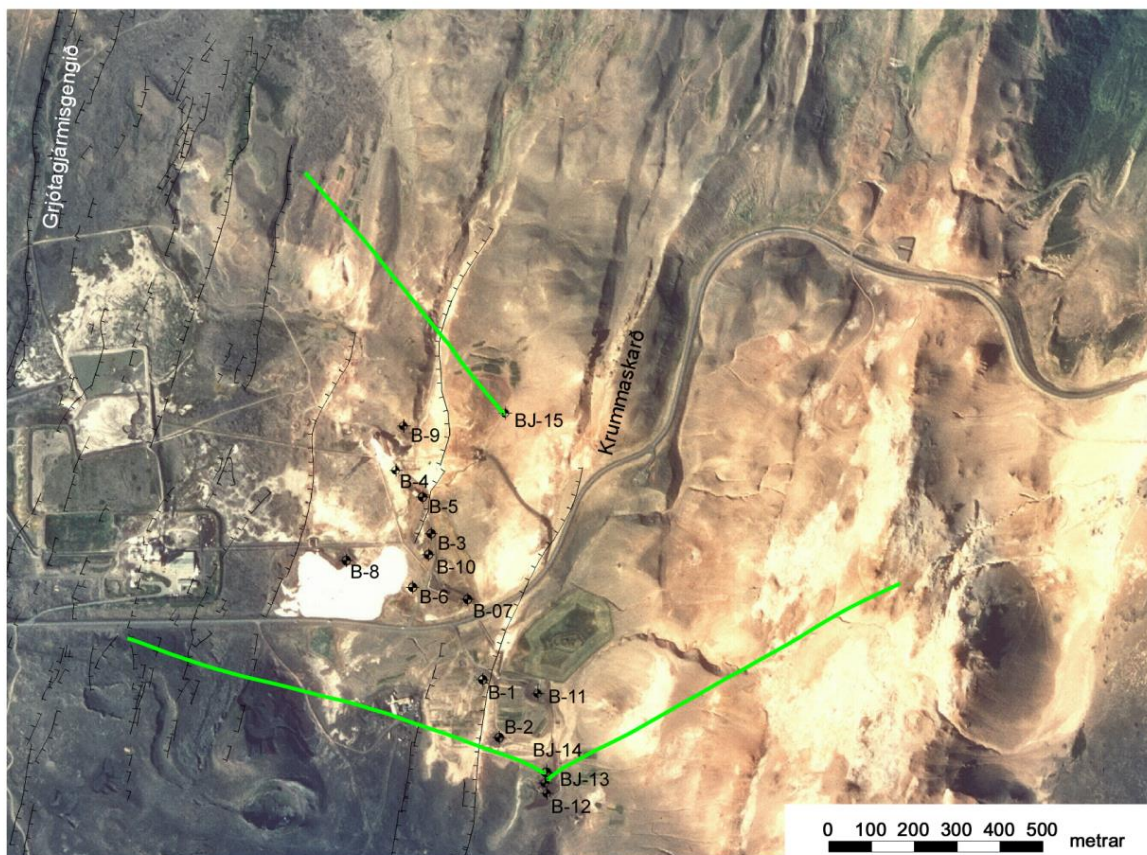
Suðurhlíðar K-18
Suðurhlíðar
Suður-Píngeyjarsýsla



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

4 Eftirlitsmælingar í Bjarnarflagi

Vinnsla úr svæðinu hófst árið 1963 með holu B-1 en alls hafa verið boraðar 15 holur í Bjarnarflagi. Aðalvinnsluholurnar á svæðinu eftir 1979 hafa verið holur B-11 og B-12 auk þess sem hola B-9 hafði bæst í hóp vinnsluholna árið 2001. Eftir að borun holu BJ-13 lauk árið 2006 hefur hún verið notuð sem vinnsluhola (Þorsteinn Egilson, 2010). Mynd 15 sýnir holustaðsetningar og stefnur holna í Bjarnarflagi. Holur B-2 og B-5 eru aðaleftirlitsholur en 2013 var BJ-14 einnig mæld sem hluti af eftirlitsferlinu og verður í kaflanum fjallað um mælingarnar 2013 í þessum holum.



Mynd 15. Yfirlitsmynd um holustaðsetningar og stefnur holna í Bjarnarflagi.

4.1 Hola B-2

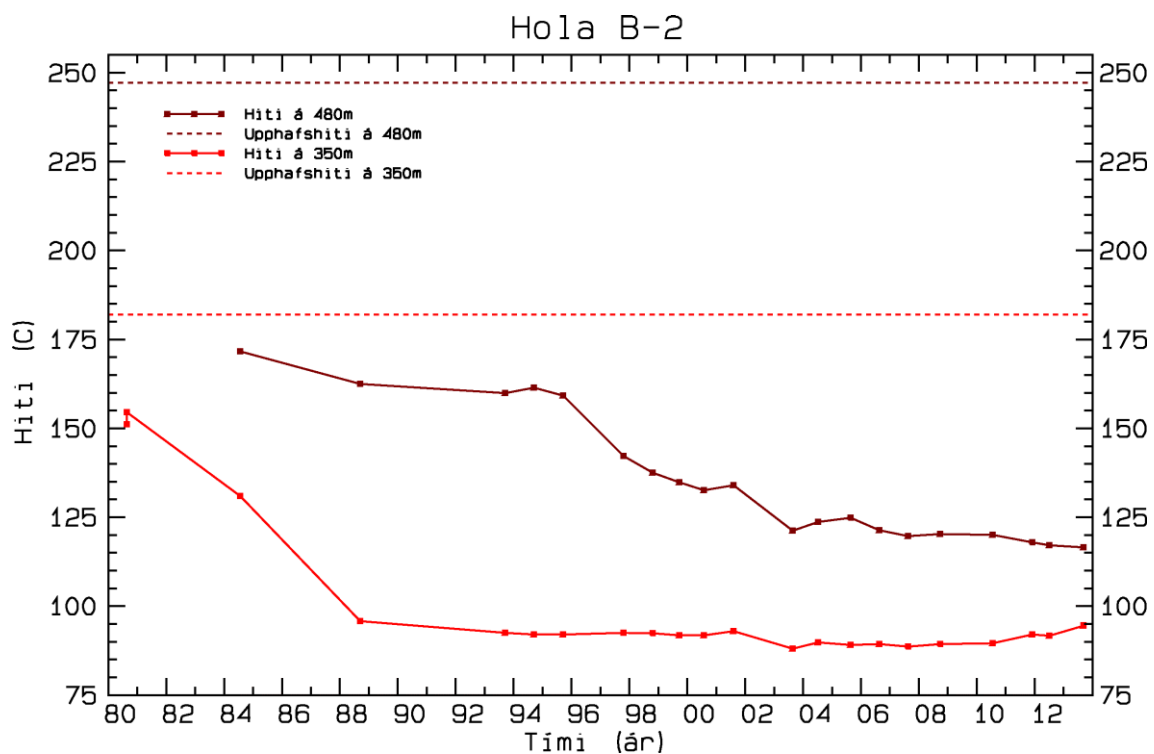
Hola B-2 í Bjarnarflagi var boruð árið 1963. Hún er um 500 m djúp með steyptri fóðringu niður á tæplega 210 m dýpi og er 10–20 m austan megin við Krummaskarðsmisgengið. Holan var afllítill og var vinnsla úr henni hætt árið 1969. Í dag stendur hún þrýstingslaus með vatnsborð á um 64 m dýpi.

Mynd 16 sýnir mældan hita í holu B-2 á 350 og 480 m dýpi frá 1979–2013 þar sem fram kemur greinileg kæling miðað við áætlaðan berghitaferil holunnar. Á 350 m dýpi verður ríflega 92°C kæling frá 1979–1988 en eftir 1989 hefur hitinn í 350 m haldist nokkuð stöðugur. Frá 2010 gætir hækkunar á hita og mælingin í september 2013 sýnir 5,0°C hærri hita en mældist á 350 m dýpi um mitt ár 2010 og er þó 87,4°C undir metnum berghita á þessu dýpi.

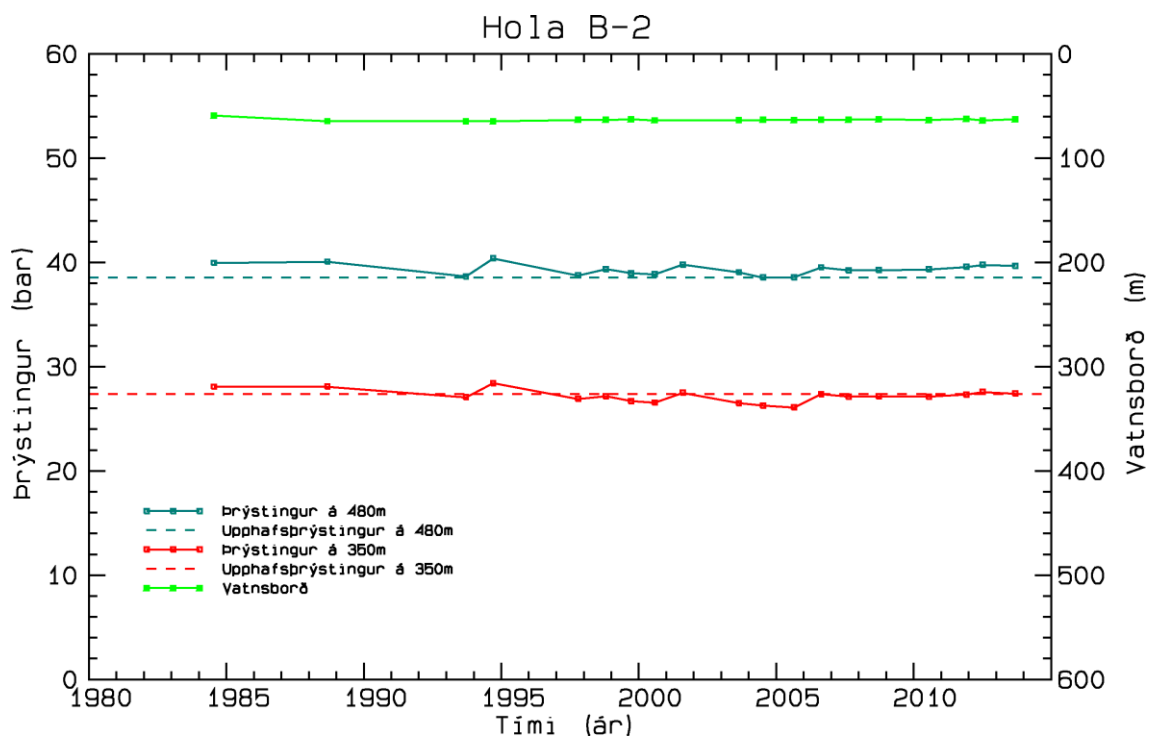
Kælingin í 480 m tók mun lengri tíma en nær ákveðnu lágmarki árið 2003. Frá 2005 hefur hiti á 480 m dýpi lækkað nokkuð jafnt um 1,1°C/ár (Þorsteinn Egilson o.fl., 2012) og helst sú þróun áfram. Hitinn á 480 m dýpi er nú um 130°C undir berghita.

Mynd 17 sýnir mældan þrýsting í holu B-2 á 350 og 480 m dýpi frá 1980–2012 þar sem fram kemur að þrýstiástandið hefur lítið breyst með tíma, eða í mesta lagi um $\pm 0,9$ bar. Myndin sýnir einnig mælt vatnsborð í holunni. Volga (100°C) grunnvatnskerfið á 200–400 m dýpi stjórnar þrýstingi í holunni og ljóst að þrýstingurinn í því kerfi haggast lítið við vinnslu úr djúpu holunum (BJ-11, BJ-12 og BJ-13) (Þorsteinn Egilson o.fl., 2010). Mynd 18 sýnir svipaða hluti og mynd 17, þ.e. mælt vatnsborð í holu B-2 og þrýsting á 480 m dýpi en auk þess vinnslusögu Bjarnarflags frá 1980 fram til ársins 2013. Hin mikla vinnsluaukning árið 2011 vegna prófana á holu BJ-14 (Trausti Hauksson, 2013) hefur ekki náð að hafa sýnileg áhrif, hvorki á þrýsting né hita.

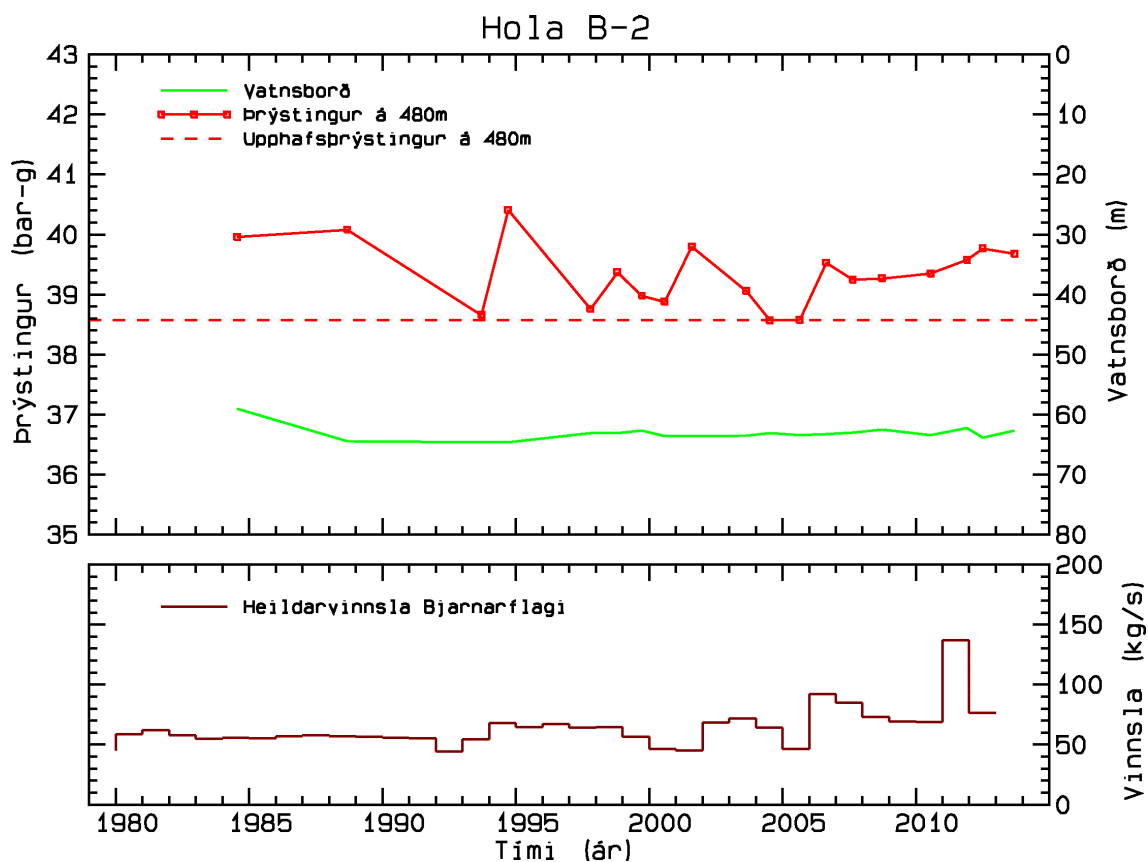
Myndir 19 og 20 sýna hita- og þrýstimælingar síðustu sjö ára í holu B-2 ásamt metnum berg-hita og upphafsþrýstingi.



Mynd 16. Mældur hiti á 350 og 480 m dýpi í holu B-2 ásamt tilsvorandi upphafshita í jarðhita-kerfinu þar sem holan stendur.

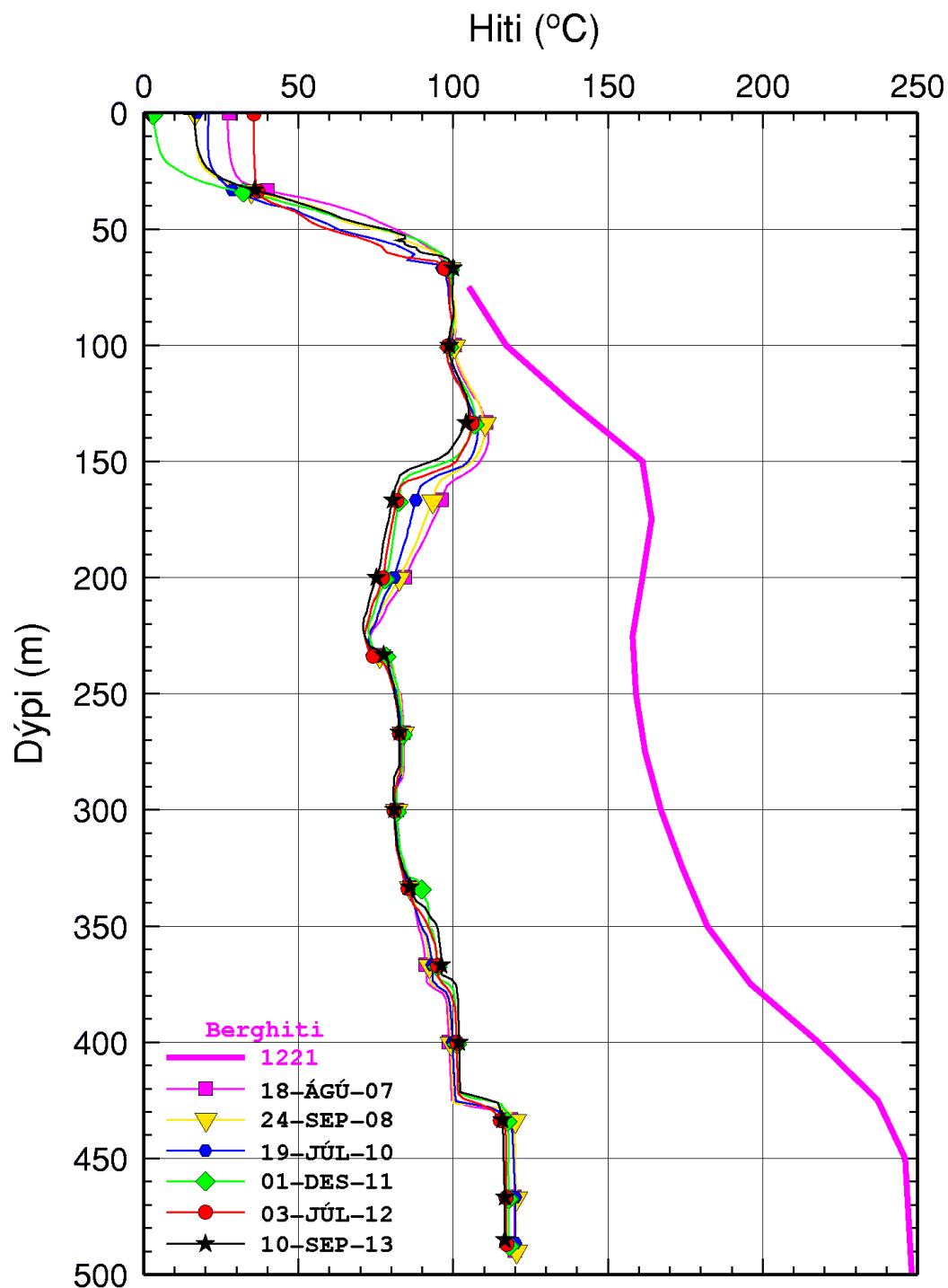


Mynd 17. Mældur prýstingur á 350 og 480 m dýpi í holu B-2 ásamt tilsvareandi upphafsprýstingi og mældu vatnsborði.



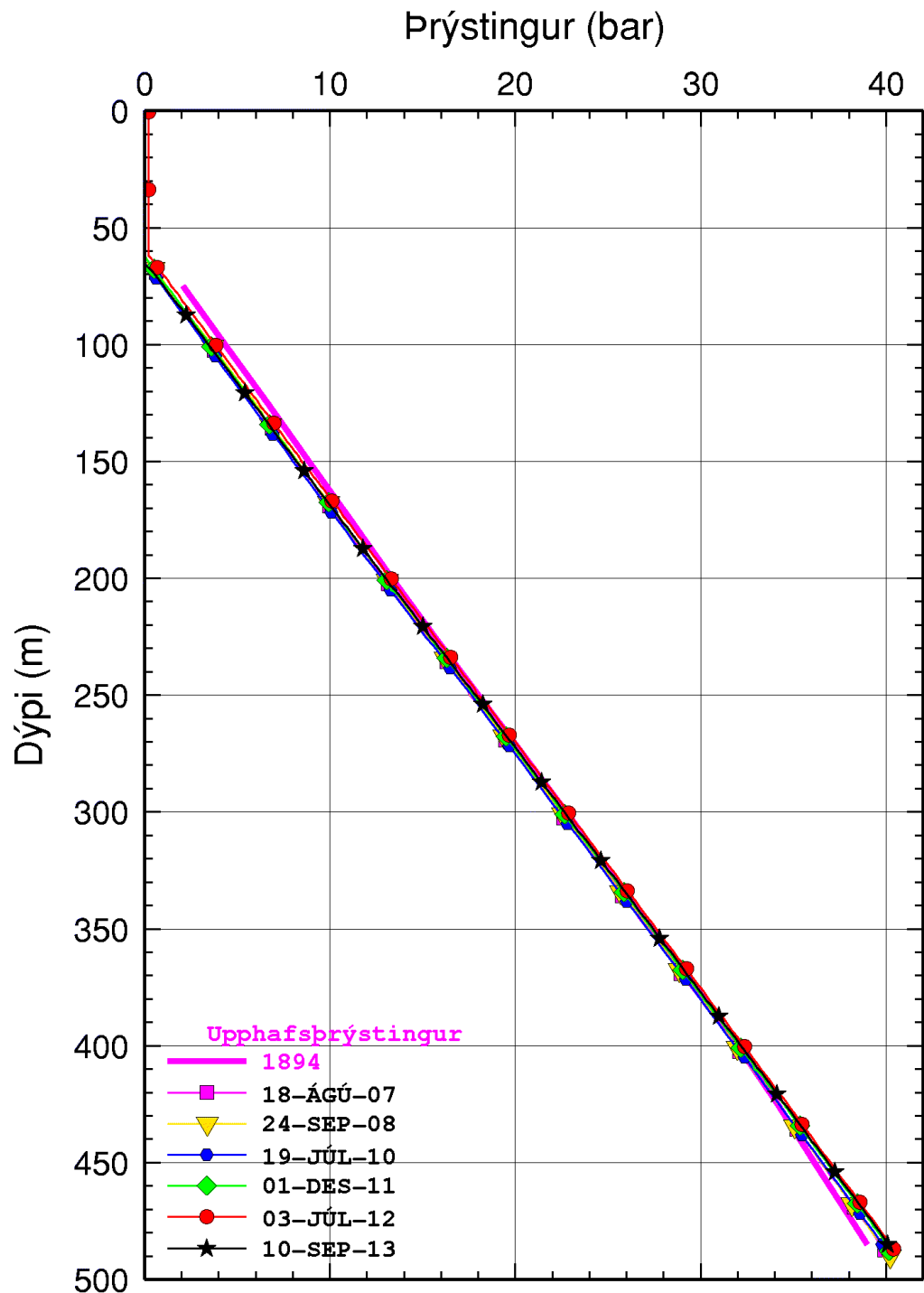
Mynd 18. Mældur prýstingur á 480 m dýpi í holu B-2 ásamt tilsvareandi upphafsprýstingi og mældu vatnsborði. Þá sýnir myndin einnig vinnslusöguna í Bjarnarflagi fram til ársins 2013.

Námafjall B-02
Bjarnarflag
Suður-Píngeyjarsýsla



Mynd 19. Hitamælingar síðustu sjö ára í holu B-2 ásamt metnum berghitaferli (engin mæling gerð 2009).

Námafjall B-02
Bjarnarflag
Suður-Píngeyjarsýsla



Mynd 20. Þrýstimælingar síðustu sex ára í holu B-2 ásamt metnum upphafsprýstingi (engin mæling gerð 2009).

4.2 Hola B-5

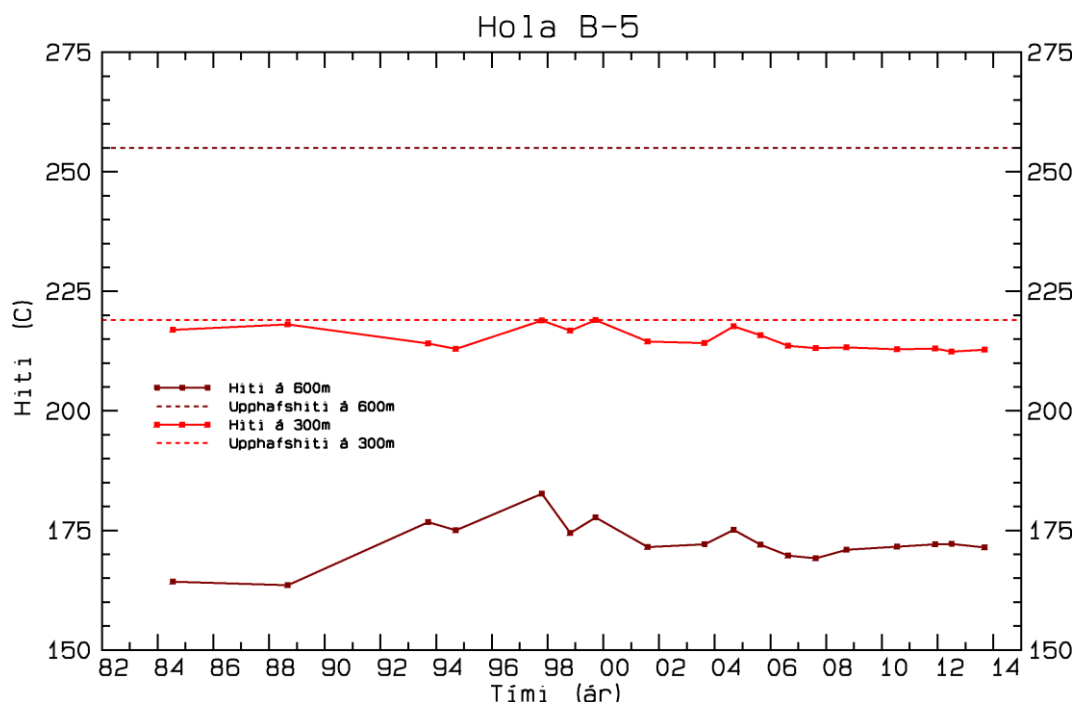
Hola B-5 í Bjarnarflagi var boruð veturinn 1968–1969 niður á 638 m dýpi. 7" fóðring nær niður á 478 m dýpi en henni var komið fyrir eftir að holan hafði verið kæfð vegna þess að hún hljóp í gos (Ásgrímur Guðmundsson o.fl., 1989). Holan fór fljótlega í notkun en hún var afllítill og notkun hennar var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

Mynd 21 sýnir mældan hita á 300 og 600 m dýpi í holu B-5 frá 1984–2013, ásamt áætluðum berghita á sama dýpi. Á 300 m dýpi hefur hitinn lítið breyst í holunni en þó mælst með lítilsháttar sveiflum í gegnum tíðina en síðan 2006 hefur hitinn í 300 m haldist um 7°C undir metnum berghita á þessu dýpi.

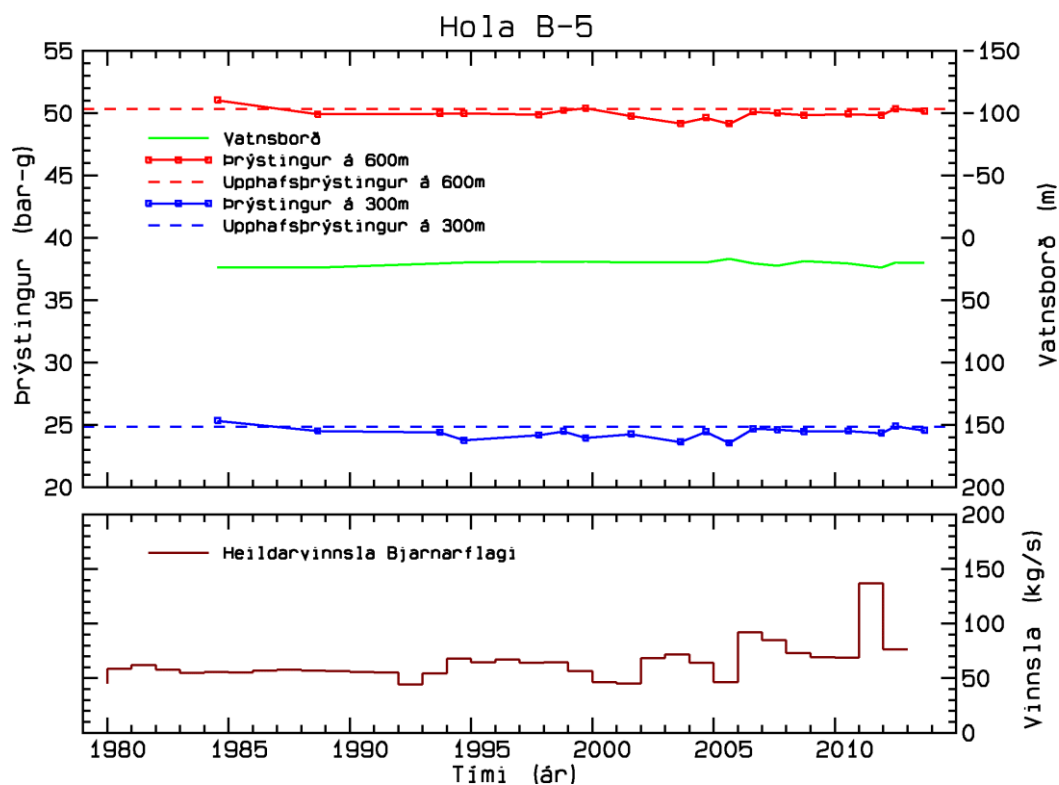
Hitinn á 600 m dýpi er um 83°C lægri en metinn berghiti við holuna en eins og sjá má á mynd 21 og hefur svo verið frá 1984. Nokkrar sveiflur hafa þó verið á mældum hita á umræddu dýpi í gegnum tíðina. Mælingin nú sýnir 0,7°C kælingu frá fyrra ári en frá 2007 hefur hitinn á 600 m dýpi hækkað nokkuð milli ára þar til nú.

Mynd 22 sýnir mælt vatnsborð í holu B-5 og mældan þrýsting á 300 og 600 m dýpi frá 1984, áætlaðan upphafsþrýsting á sama dýpi og vinnslusögu Bjarnarflags fram til ársins 2013. Í september 2013 mældist vatnsborð á 19,8 m dýpi en var á 19,5 m í júlí 2012. Þrýstingurinn nú er um 0,2 bar lægri en árið áður er hann mældist jafn metnum upphafsþrýstingi. Mynd 22 sýnir hugsanleg áhrif aukinnar vinnslu árið 2011, þegar hola BJ-14 var afkastaprófuð (Trausti Hauksson, 2013), á þrýsting og vatnsborð. Mynd 23 sýnir þrýsting í 600 m, ásamt mældu vatnsborði, í hærri upplausn en mynd 22 til að draga betur fram breytingar sem orðið hafa frá einum tíma til annars.

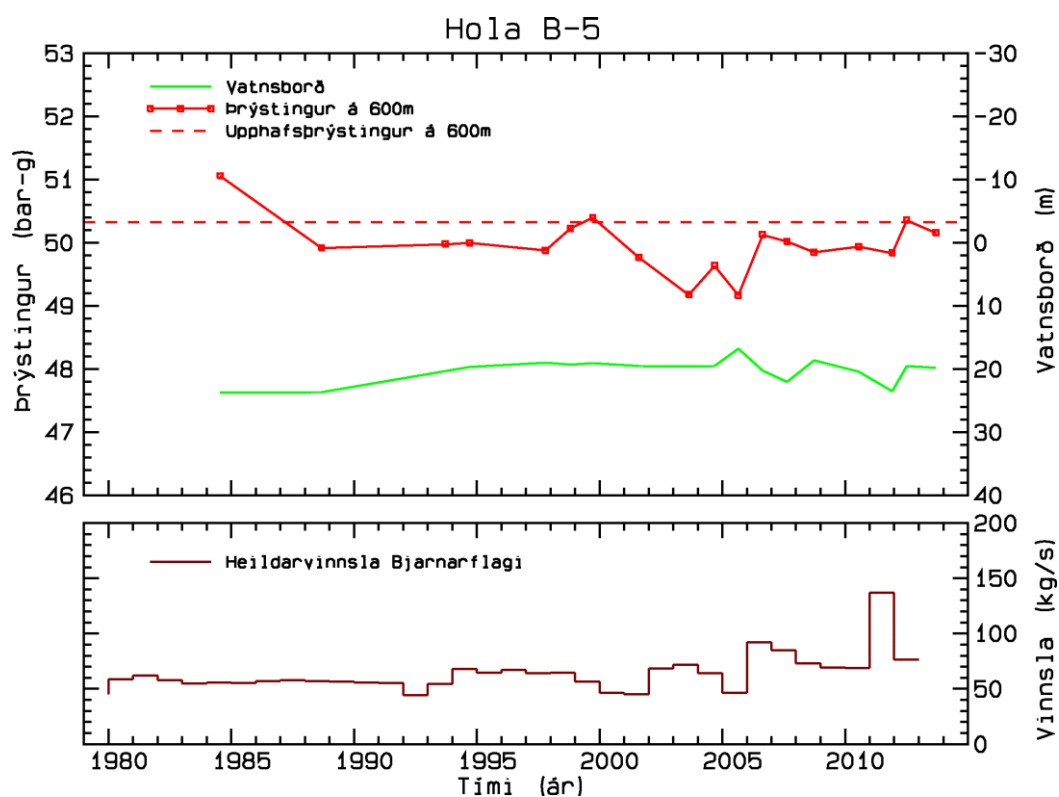
Myndir 24 og 25 sýna hita- og þrýstimælingar síðustu sjö ára í holu B-5 ásamt metnum berg-hita og upphafsþrýstingi.



Mynd 21. Mældur hiti á 300 og 600 m dýpi í holu B-5 ásamt tilsvareandi berghita.

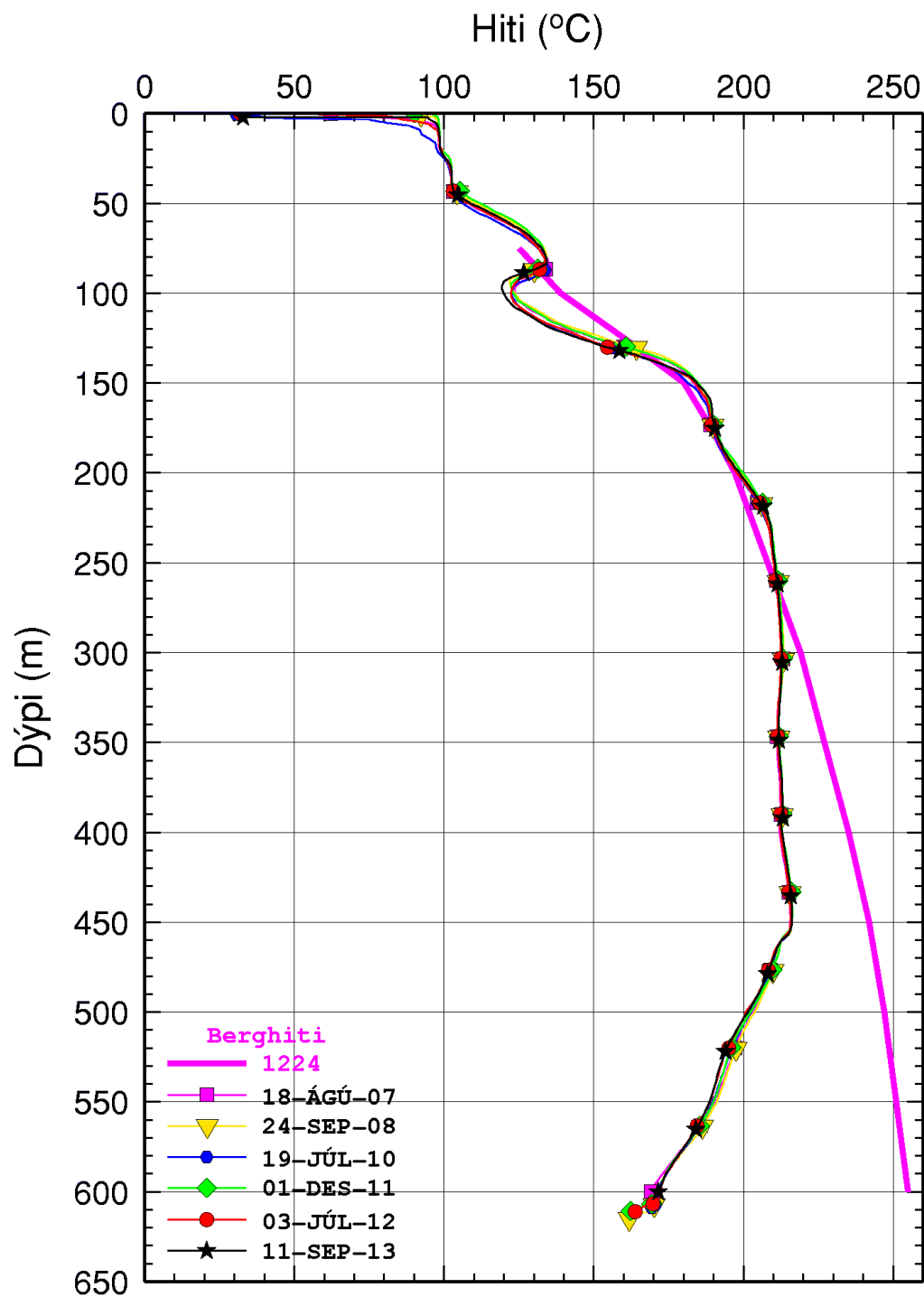


Mynd 22. Mældur prýstingur á 300 og 600 m dýpi í holu B-5 ásamt tilsvareandi upphafsprýstingi, mældu vatnsborði og vinnslusögunni í Bjarnarflagi fram til ársins 2012.



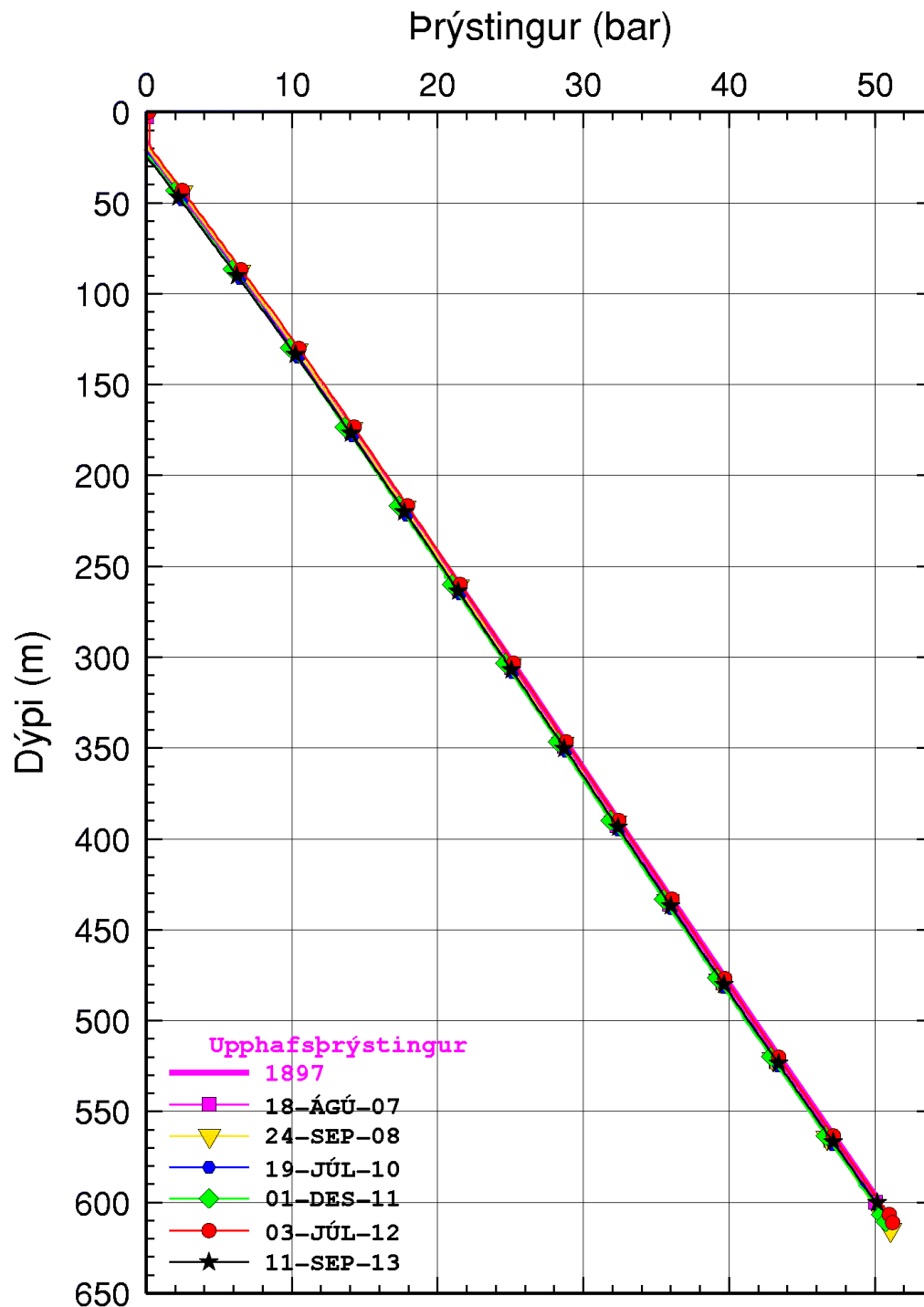
Mynd 23. Mældur prýstingur á 600 m dýpi í holu B-5 ásamt tilsvareandi upphafsprýstingi, mældu vatnsborði og vinnslusögunni í Bjarnarflagi fram til ársins 2012. Myndin er gerð fyrir meiri upplausn en mynd 21 til að draga betur fram breytingar frá einum tíma til annars.

Námafjall B-05 Bjarnarflag Suður-Píngeyjarsýsla



Mynd 24. Hitamælingar síðustu sjö ára í holu B-5 ásamt metnum berghita (ekki mæld árið 2009).

Námafjall B-05
Bjarnarflag
Suður-Píngeyjarsýsla



Mynd 25. Þrýstimælingar síðustu sjö ára í holu B-5 ásamt metnum upphafsprýstingi (ekki mæld árið 2009).

4.3 Hola BJ-14

Hola BJ-14 var boruð í mars og apríl 2008. Hún er boruð frá sama borteigi og holur BJ-13 og BJ-12 en hún er stefnuboruð með 30° halla til vest-norðvesturs í gegnum sprungusveiminn vestan við Krummaskarðsmisgengið og rétt norðan Jarðbaðshóla. Holulengdin er 2506 m, 9½" vinnslufóðringin nær niður í 840 m, efri hluti 7" gataðs leiðara er á 802 m dýpi og botn leiðara er í 2479 m (Anette K. Mortensen o.fl., 2008). Holan hefur ekki verið hluti af árlegu eftirliti en var síðast mæld í júlí 2012 eftir að hafa staðið lokuð í 4 mánuði. Holan var þá þrýstingslaus með vatnsborð í 65 m en vatnsborðið mældist í september 2013 á 60 m dýpi.

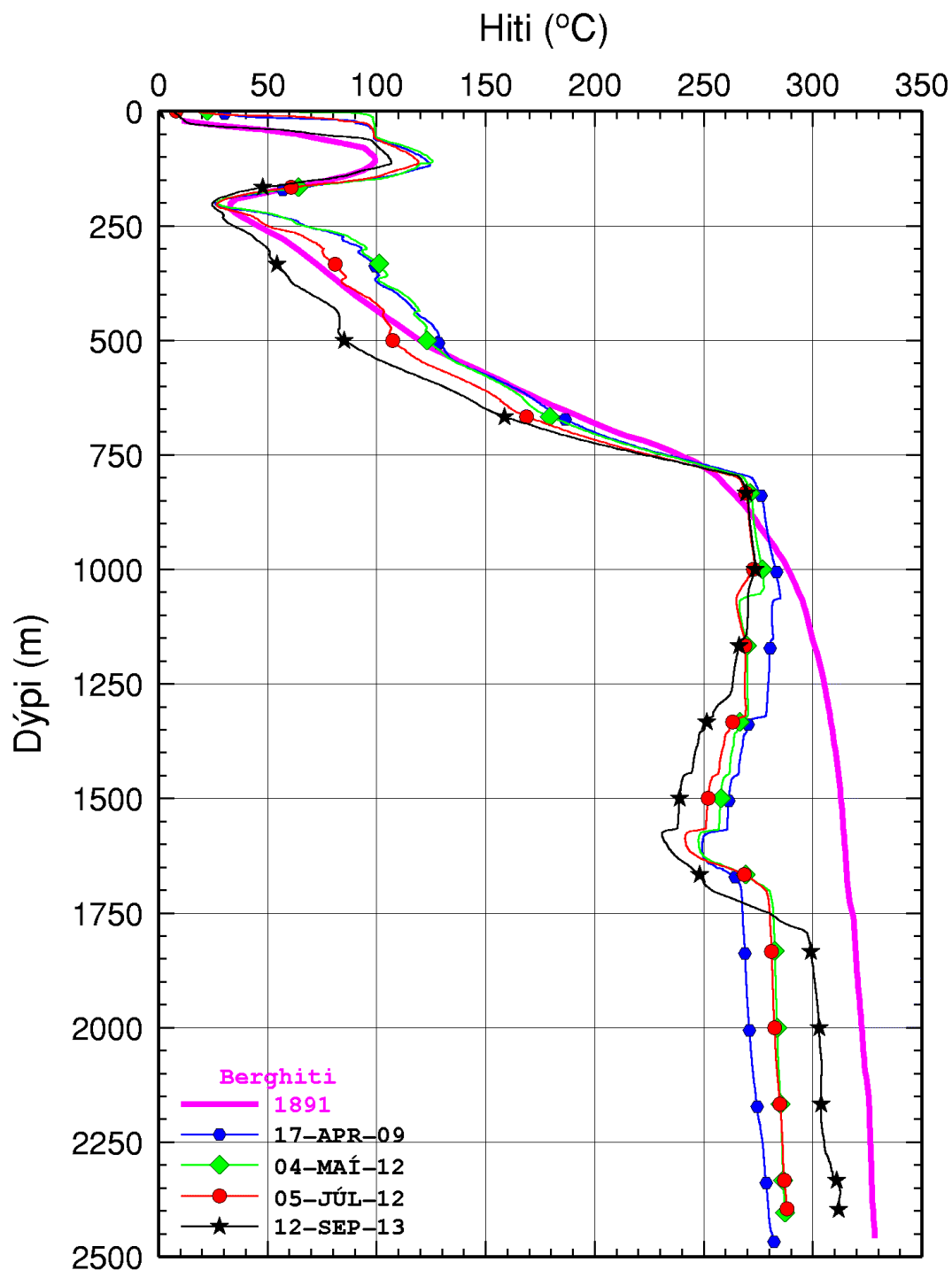
Í og eftir borun holunnar voru staðsettar allt að 16 vatnsæðar í holunni og tengdust þær misgengjum og innskotum. Lektarprófanir gáfu áðælingarstuðul á bilinu 6,5–7,3 (l/s)/bar og metin lekt holunnar er um 11 mDarcy (Anette K. Mortensen o.fl., 2008).

Pegar holan hafði hitnað upp eftir að borun lauk var henni hleypt upp um miðjan desember 2008 og látin blása fram í miðjan mars 2009 (Sigríður Sif Gylfadóttir, 2012b). Hún var síðan látin blása aftur frá því um miðjan febrúar 2011 þar til henni var lokað 8. mars 2012 en það var gert í tengslum við álagspróf á jarðhitasvæðið í Bjarnarflagi (Sigríður Sif Gylfadóttir, 2012a).

Myndir 26 og 27 sýna valdar hita- og þrýstimælingar í holu BJ-14 ásamt metnum berghita og upphafsþrýstingi.

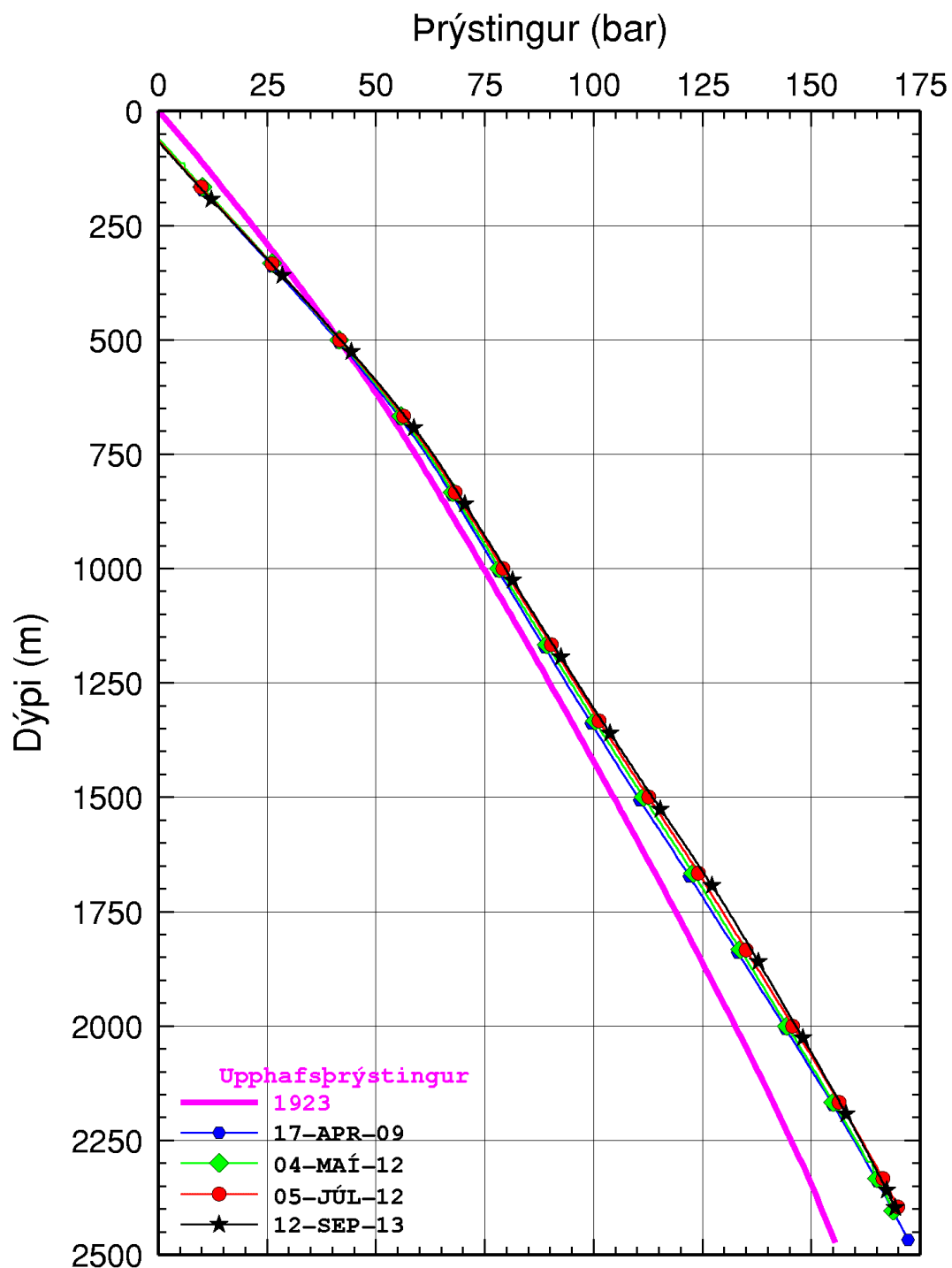
Yngstu hitamælingarnar sýna snögga breytingu á um 800 m dýpi en þaðan og niður undir 1100 m breytist hitinn ekki mikið. Vinnslufóðringin er í 840 m en toppurinn á leiðaranum er rétt neðan við 800 m þannig að innstreymi neðan við fóðringuna getur haft áhrif á hitann þar fyrir ofan með hitaleiðni. Fyrir neðan 1100 m sjást merki um innrennsli sem valda kælingu í holunni og er það neðsta og virkasta á 1565 m dýpi en þar fyrir neðan hitnar holan aftur. Á mynd 26 sést að hitinn á 1565 m dýpi hefur lækkað um 10°C síðan í júlí 2012 og í september 2013 var hitinn á því dýpi 75°C lægri en tilsvareandi metinn berghiti. Frá um 1800 m hækkar mældur hiti um 15°C og er það að jafnaði 19°C undir metnum berghita. Í ljósi eftirlitsmælingar í holu BJ-14 2013 ásamt mælingum í henni árið 2012 þarf hugsanlega að yfirfara hvort eigi að endurskoða metinn berghitaferil holunnar frá 1100–1750 m m.t.t. viðsnúnings í hita.

Námafjall BJ-14
Bjarnarflag
Suður-Píngeyjarsýsla



Mynd 26. Hitamælingar í holu BJ-14 frá 2009. Holan stóð í blæstri árið 2011.

Námafjall BJ-14
Bjarnarflag
Suður-Píngeyjarsýsla



Mynd 27. Þrýstimælingar í holu BJ-14 frá 2009–2013. Holan stóð í blæstri 2011.

5 Helstu niðurstöður

- Eftirlitsmælingar voru gerðar í Kröflu og Bjarnarflagi 10. og 11. september 2013.
- Leirbotnaholan KJ-6 var ekki mæld vegna ferilefnaprófana.
- Hitinn á 800 m dýpi í holu KG-10 heldur áfram að lækka í samræmi við þróun síðustu ára og mælist í september 2013 um 16°C lægri en metinn upphafshiti.
- Frá 2003 hefur þrýstingur á 800 m dýpi í KG-10 heldur verið að bifast upp á við en óx þó ekki milli 2012 og 2013 og er nú 1,7 bar lægri en metinn upphafsþrýstingur á umræddu dýpi.
- Vegna niðurdælingar í holu KJ-11 á árunum 2008–2009 og síðan 2009–2010 er að svo stöddu ekki unnt að segja til um hversu mikil áhrif niðurdælingin í KG-26 hefur.
- Smávægilegar breytingar hafa átt sér stað á hitastigi og þrýstingi í Suðurhlíðaholunni KJ-18 frá 2006. Í september 2013 er hitastig í 1000 m um 18°C lægra en tilsvareandi berghiti, á 2000 m dýpi er hitinn 94,4°C lægri en berghitinn þar og nærri botni (2180 m) er þessi munur um 106°C en hitinn neðan til í holunni hefur hækkað milli ára á meðan hitinn í 1000 m hefur lækkað.
- Þrýstingurinn í KJ-18 mældist í september 2013 12,1 bar lægri en metinn upphafsþrýstingur á 1000 m dýpi og á 2000 m dýpi mældist tilsvareandi þrýstimunur 4,7 bar og hefur þrýstingur hækkað 0,3 bar milli ára.
- Eftirlitsholan B-2 í Bjarnarflagi sýnir litlar hitabreytingar á síðustu árum á því dýpi, 350 og 480 m, sem skoðað hefur verið. Hitinn 2013 er 87,4°C lægri en metinn berghiti á 350 m dýpi og á 480 m dýpi er þessi munur um 130,6°C. Á 480 m dýpi lítur út fyrir að glitti í rúmlega 1,1°C/ár jafnaðarkólnun frá árinu 2005.
- Mælingarnar í september 2013 sýna að þrýstingurinn í B-2 er nánast jafn upphafsþrýstingnum á 350 m dýpi en á 480 m dýpi er þrýstingurinn 1,1 bar hærri en metinn upphafsþrýstingur, sama og árið áður.
- Eftirlitsholan B-5 í Bjarnarflagi sýnir litlar hitabreytingar milli ára á 300 m dýpi og liggur hitinn þar um 7°C lægra en áætlaður berghiti. Á 600 m dýpi er hitinn hins vegar um 83°C lægri en metinn berghiti.
- Mælingarnar 2012 sýna að þrýstingurinn í holu B-5 er nánast jafn metnum upphafsþrýstingi í bæði 300 og 600 m en um er að ræða 0,2 bar þrýstilækkun frá fyrra ári.
- Í ljósi nýjustu mælinga í BJ-14 er ástæða til að yfirfara berghitaferil holunnar m.t.t. hitaviðsnúnings á 1100–1750 m dýpi.
- Lagt er til að valdar holur í Kröflu og Bjarnarflagi verði rennslismældar (spinner-log) samhliða hita- og þrýstimælingum.
- Skipta þarf um loka á úrhleypingarstútum á mælirörum, þ.e.a.s. bæði rörinu sem er í Kröflu og einnig rörinu sem er á Þeistareykjum.
- Mikilvægt er að búið sé að yfirfara loka á holutoppum áður en mælingar fara fram til að tryggja að hægt sé að mæla holurnar og einnig til að flýta fyrir mælingum. Vel gekk þó að opna flesta loka í þessari mælitörn nema á holu KJ-35 þar sem það tókst ekki.
- Gott væri ef ÍSOR hefði lykil að hengilásum til að komast inn í kúluhús og opna fyrir vegi sem læstir eru með keðjum. Lykillinn yrði geymdur í mælingabíl líkt og lyklar að holum á Hellisheiði og Reykjanesi.

6 Heimildir

- Anette K. Mortensen, Þorsteinn Egilson, Bjarni Gautason, Hjalti Steinn Gunnarsson og Þorsteinn Karl Ingólfsson (2008). *Bjarnarflag - Hóla BJ-14. 3. áfangi: Borun vinnsluhluta frá 847 m í 2506 m dýpi*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2008/039, 133 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, Benedikt Steingrímsson, Sæþór L. Jónsson og Sverrir Þórhallsson (1989). *Borholur í Bjarnarflagi*. Orkustofnun, OS-89046/JHD-21B, 93 bls.
- Benedikt Steingrímsson og Grímur Björnsson (1995). *Borholumælingar í Kröflu og Bjarnarflagi árið 1994*. Orkustofnun, OS-95024/JHD-17, 62 bls.
- 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, ÍSOR-12069, 11 bls.
- Sigríður Sif Gylfadóttir (2012a). *Hita- og þrýstimælingar í Bjarnarflagi í mars 2012*. Íslenskar orkurannsóknir, ISOR-12023, 15 bls.
- Sigríður Sif Gylfadóttir (2012b). *Hita- og þrýstimælingar í Bjarnarflagi í júlí 2012*. Íslenskar orkurannsóknir, ISOR-12066, 15 bls.
- Trausti Hauksson (2013). *Krafla og Bjarnarflag. Afkost borhola og efnainnihald vatns og gufu í borholum og vinnslurás árið 2012*. Landsvirkjun, LV-2013-073, 75 bls.
- Valgarður Stefánsson, Karl Ragnars og Kristján Sæmundsson (1977). *Gufuöflun fyrir Kröfluvirkjun 1977*. Orkustofnun, OS-JHD-7707, 17 bls.
- Þorsteinn Egilson (2010). *Eftirlitsmælingar í Kröflu og Bjarnarflagi árin 2006–2009*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2010/029, Landsvirkjun, LV-2010/078, 51 bls.
- Þorsteinn Egilson, Halldór Ingólfsson og Sveinbjörn Sveinbjörnsson (2010). *Eftirlitsmælingar í Kröflu og Bjarnarflagi 2010*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2010/039, Landsvirkjun, LV-2010/104, 37 bls.
- Þorsteinn Egilson (2012). *Eftirlitsmælingar í Kröflu og Bjarnarflagi 2011*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/026, Landsvirkjun, LV-2012/073, 52 bls.
- Þorsteinn Egilson, Halldór Ingólfsson og Bjarni Kristinsson (2012). *Eftirlitsmælingar í Kröflu og Bjarnarflagi 2012*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/044, Landsvirkjun, LV-2012/097, 32 bls.



Landsvirkjun

Háaleitisbraut 68
103 Reykjavík
landsvirkjun.is

landsvirkjun@lv.is
Sími: 515 90 00

