



Hola þG-9 á Þeistareykjum

Niðurstöður efnagreininga sumarið 2013

Hola þG-9 á Þeistareykjum

Niðurstöður efnagreininga sumarið 2013



ÍSOR-2013/040

Verknr.: 13-0331

September 2013

Lykilsíða**Skýrsla LV nr:** LV-2013-108**Dags:** September 2013**Fjöldi síðna:** 25**Upplag:** 8**Dreifing:**☒ Birt á vef LV☒ Opin☐ Takmörkuð til**Titill:** Hola ÞG-9 á Þeistareykjum. Niðurstöður efnagreininga sumarið 2013.**Höfundar/fyrirtæki:** Finnbogi Óskarsson**Verkefnisstjóri:** Sigurður H. Markússon f.h. LV Anette K. Mortensen f.h. ÍSOR**Unnið fyrir:** Unnið af Íslenskum orkurannsóknnum fyrir Landsvirkjun**Samvinnuaðilar:**

Útdráttur: Hola ÞG-9 hefur hátt vermi líkt og flestar aðrar holur á Þeistareykjum, um 2600 kJ/kg. Hátt vermi virðist stafa af fasaaðskilnaði við suðu í berginu, líkt og í hinum hávermisholunum.

Sýnin þrjú sem tekin hafa verið úr holunni eru mjög ólík innbyrðis og samsetning rennisins virðist ekki orðin stöðug, enda blés holan aðeins í tæpan mánuð. Vökvinn er umtalsvert saltari en gengur og gerist á Þeistareykjum en virðist þynnast eftir því sem á blásturstímann líður. Þar eð efnasamsetning rennisins er breytileg og hitamælingar í holunni gefa litlar vísbendingar er erfitt að ákvarða djúphitastig af nokkurri vissu. Na/K hlutfall í seinni sýnunum tveimur bendir þó til djúphitastigs nærri 260°C og var það notað við reikningana sem hér greinir frá. Kvarshiti reiknast miklu hærri (> 350°C).

Djúpvökvi við 260°C reiknast talsvert yfirmettaður með tilliti til kalsíts en mettunarstigið hækkar ekki við suðu að 10 bar-g. Myndlaus kísill reiknast rétt við mettunarmörk eftir suðu frá 260°C að 10 bar-g. Heildarstyrkur óþéttanlegs gass í gufu eftir suðu frá 260°C að 10 bar-g er > 0,1%. Allt ofanskráð er ritað með þeim fyrirvara að líklega eru efnasýnin ekki dæmigerð fyrir renni úr holunni í nýtingu. Leyfa þarf holunni að blása nægilega lengi til að efnasamsetning rennisins nái jafnvægi áður en vert er að leggja meira út af henni.

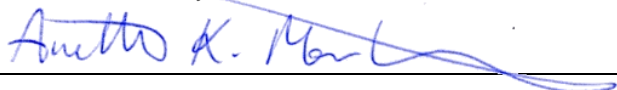
Lykilorð:

Þeistareykir, jarðhitasvæði, efnafræði, vatn, gas, gufa, borholur, umframvermi, fasaaðskilnaður, efnahitamælar, kalsítmettun, kísilmettun.

Staðarnúmer: B60409

ISBN nr:**Samþykki verkefnisstjóra
Landsvirkjunar**

Undirskrift verkefnisstjóra



Yfirfarið af

ÞF, AKM

Efnisyfirlit

1 Inngangur	7
2 Efnasamsetning djúpvökva.....	11
3 Efnasamsetning vatns og gufu við 10 bar-g	21
4 Samantekt	24
5 Heimildir	25

Töflur

Tafla 1. Efnasamsetning vatns, gufu, gass og þéttivatns úr holu ÞG-9.	11
Tafla 2. Niðurstöður efnahitamæla fyrir háhitaholur á Þeistareykjum.	12
Tafla 3. Djúpvökvi sýna úr holu ÞG-9 reiknaður miðað við djúphitastig 260°C og fasaaðskilnað við 230°C.....	14
Tafla 4. Efnasamsetning vökva úr holu ÞG-9 eftir suðu frá 260°C í 184,1°C.....	22

Myndir

Mynd 1. Háhitaholur og yfirborðsvirkni á Þeistareykjum.....	8
Mynd 2. Hitamælingar úr ÞG-9	9
Mynd 3. Metinn berghitaferill fyrir holu ÞG-9	10
Mynd 4. Kísilstyrkur í vökvaþfasa og heildarrenni sem fall af mældu vermi.	15
Mynd 5. Reiknaður styrkur H_2S í djúpvökva ÞG-9 og annarra holna á Þeistareykjum (valin sýni) borinn saman við jafnvægi við fjögur steindafylki.....	15
Mynd 6. Reiknaður styrkur H_2 í djúpvökva ÞG-9 og annarra holna á Þeistareykjum (valin sýni) borinn saman við jafnvægi við fjögur steindafylki.....	16
Mynd 7. Sýrustig reiknaðs djúpvökva í háhitaholum á Þeistareykjum.	16
Mynd 8. Reiknaður kísilstyrkur í djúpvökva háhitaholna á Þeistareykjum.....	17
Mynd 9. Reiknaður natríumstyrkur í djúpvökva háhitaholna á Þeistareykjum.	17
Mynd 10. Reiknaður kalíumstyrkur í djúpvökva háhitaholna á Þeistareykjum.	18
Mynd 11. Reiknaður kalsíumstyrkur í djúpvökva háhitaholna á Þeistareykjum.....	18
Mynd 12. Reiknaður klóríðstyrkur í djúpvökva háhitaholna á Þeistareykjum.	19
Mynd 13. Reiknaður súlfatstyrkur í djúpvökva háhitaholna á Þeistareykjum.	19
Mynd 14. Reiknaður koldíoxíðstyrkur í djúpvökva háhitaholna á Þeistareykjum.	20
Mynd 15. Reiknaður styrkur brennisteinsvetnis í djúpvökva háhitaholna á Þeistareykjum.....	20
Mynd 16. Reiknað mettnarstig (SI) kalsíts í vökvanum úr holu ÞG-9 við djúphitastig og suðu að 10 bar-g.....	23
Mynd 17. Reiknað mettnarstig (SI) myndlauss kísils í vökvanum úr holu ÞG-9 við djúphitastig og suðu að 10 bar-g.	23

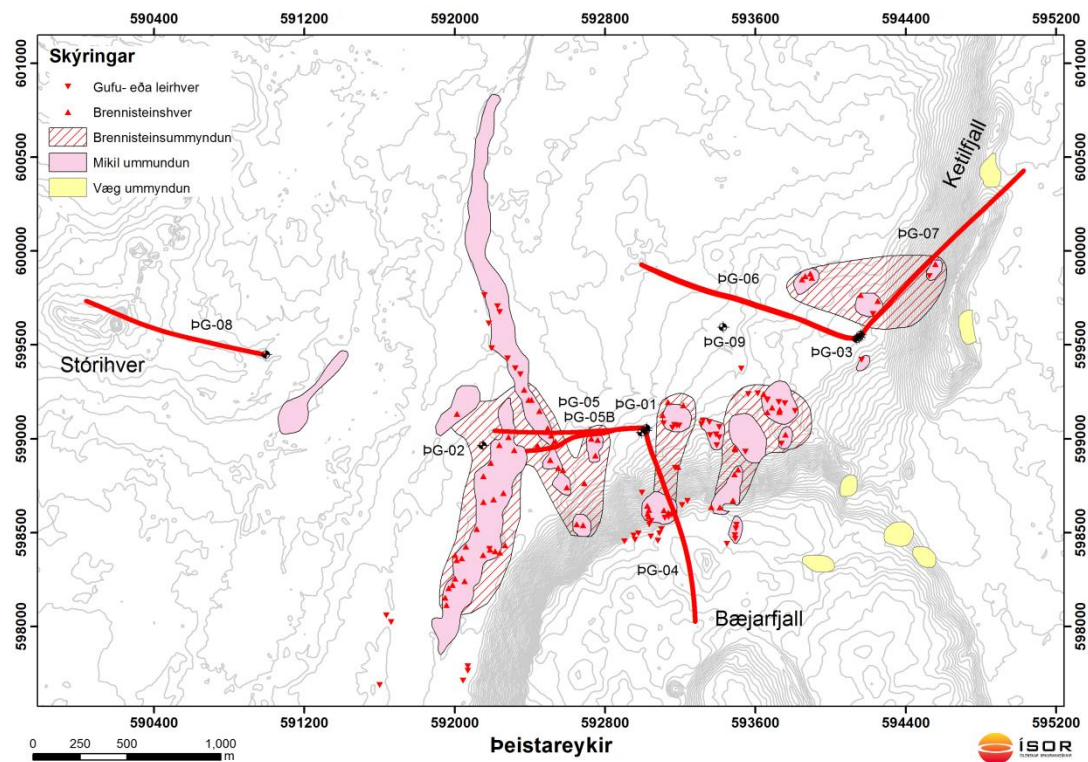
1 Innangangur

Hola ÞG-9 á Þeistareykjum er fyrsta holan á borteig B á Þeistareykjagrundum (sjá mynd 1). Holan, sem er bein og af grennri gerðinni, var boruð niður á 2194 m dýpi með jarðbornum Geysi en borverki lauk 15. desember 2012. Í skýrslu um 3. áfanga borunar (Anette K. Mortensen o.fl., 2013) kemur fram að helstu æðar í holunni eru taldar vera í 1730 m og á um 1300 m dýpi en litlar æðar finnast niður allan vinnsluhluta holunnar, þ.e. frá 828 m dýpi.

Þorsteinn Egilson (2013) gerði grein fyrir upphitunarmælingum í holunni frá borlokum fram í júní 2013 og mat berghita út frá þeim (myndir 2 og 3). Gert er ráð fyrir að berghiti fylgi suðumarksferli niður allan vinnsluhlutann. Hæsti hiti í holunni mældist rétt tæpar 340°C við botn hennar þann 11. júní. Áður nefndra æða á 1300 og 1730 m dýpi varð ekki vart í hitamælingunni, en vendipunktur þrýstimælinga benti til að lekt væri meira ofar í holunni en áður var talið og æð á 1190 m dýpi jafnvel helsta æð holunnar. Hitastig á þeim slóðum mældist um 285°C. Ekki eru til hitamælingar úr holunni í blæstri.

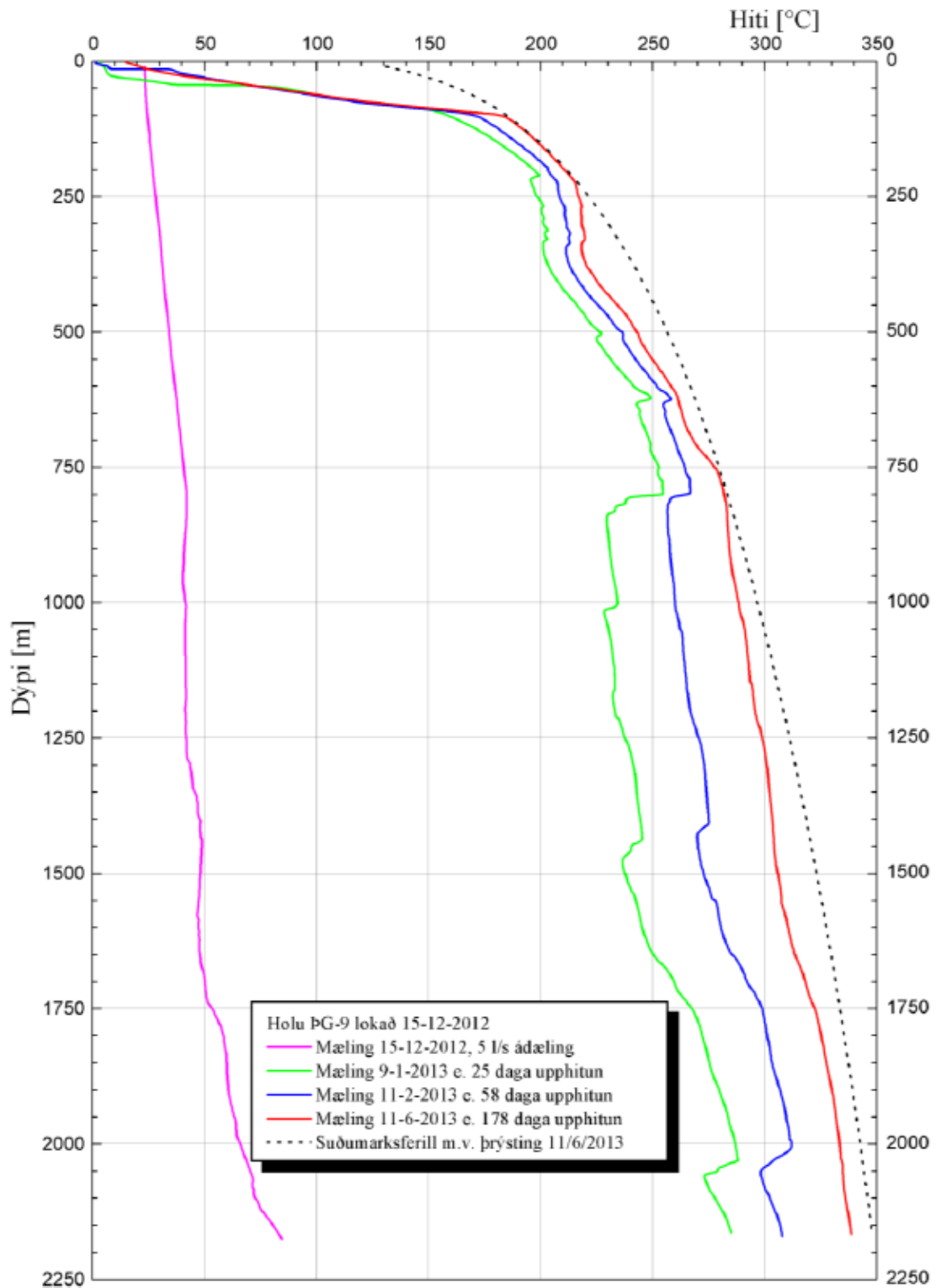
Holunni var hleypt upp 12. júní og hún látin blása samfelld til 4. júlí. Á meðan blásturstímanum stóð söfnuðu starfsmenn Landsvirkjunar þremur sýnum af vökva og gufu til efnagreininga sem fóru fram á rannsóknarstofu Landsvirkjunar í Kröflu. Niðurstöður efnagreininganna eru birtar í töflu 1 ásamt vermismælingum sem gerðar voru samhliða sýnatökunni. Verm holunnar hækkaði smám saman eftir því sem á blásturstímann leið en hafði náð 2600 kJ/kg þegar henni var lokað.

Hér verður fjallað um niðurstöður efnagreininganna, efnasamsetning djúpvökva og skiljuvökva reiknuð og niðurstöðurnar bornar saman við niðurstöður úr öðrum holum á Þeistareykjum en um þær hefur verið fjallað í skýrslum Halldórs Ármannssonar og Magnúsar Ólafssonar (2010), og Finnboga Óskarssonar (2011, 2012).



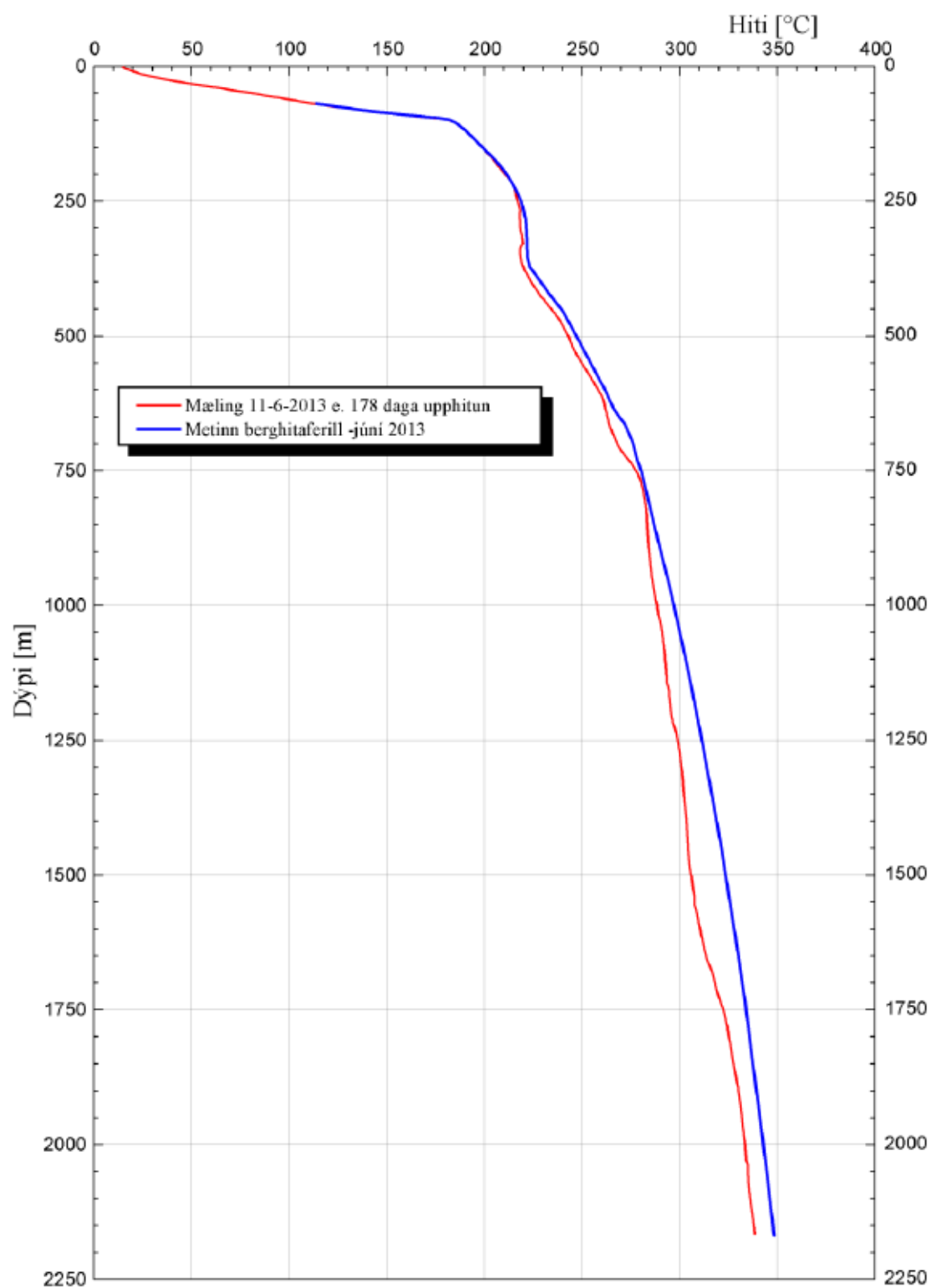
Mynd 1. Háhitaholur og yfirborðsvirkni á Beistareykjum.

Þeistareykir
Höla ÞG-9



Mynd 2. Hitamælingar úr ÞG-9 (Þorsteinn Egilson, 2013). Hæsti hiti mældist 338,5°C í botni holunnar í júní 2013.

Þeistareykir
Hóla ÞG-9



Mynd 3. Metinn berghitaferill fyrir hóla ÞG-9 (Þorsteinn Egilson, 2013).

Tafla 1. Efnasamsetning vatns, gufu, gass og þéttivatns úr holu ÞG-9.

Sýnanúmer	LV-13-015	LV-13-016	LV-13-028
Dagsetning	13.6.2013	20.6.2013	2.7.2013
Toppþrýstingur (bar-g)	21,2	16,7	15,1
Vermi (kJ/kg)	2074	2464	2596
Rennsli (kg/s)	14,3	9,8	8,7
Sýnatökuþrýstingur (bar-g)	21,0	16,4	14,8
Hitastig (°C)	216	205	200
Vatn (mg/kg)			
pH (/°C)	8,37 / 20,9	8,76 / 24,8	8,00 / 21,9
Karbonsat (CO ₂)	30	51	67
Brennisteinsvetni (H ₂ S)	24,5	38,3	54,5
Kísill (SiO ₂)	723	1072	1012
Líþíum (Li)	0,740	0,407	0,254
Natríum (Na)	344	283	235
Kalíum (K)	75,0	47,8	39,2
Kalsíum (Ca)	2,66	1,31	1,00
Flúoríð (F)	0,69	0,98	1,09
Klóríð (Cl)	578	396	261
Brómíð (Br)	2,23	1,52	0,865
Súlfat (SO ₄)	9,23	9,40	9,93
Grugg (SS)	9,3	6,6	4,7
Jónavægi (%)	-7,20	-11,23	4,26
Gufa (mg/kg)			
Koldíoxíð (CO ₂)	88	153	441
Brennisteinsvetni (H ₂ S)	404	496	931
Gas (mól-%)			
Vetni (H ₂)	70,70	90,60	95,50
Súrefni (O ₂)	0,08	0,04	0,36
Köfnunarefni (N ₂)	27,77	9,00	3,91
Argon (Ar)	0,55	0,24	0,09
Metan (CH ₄)	0,92	0,15	0,11
Gashlutfall (L gas/kg þéttivatn)	1,285	1,343	0,275
Þéttivatn (mg/kg)			
Natríum (Na)	0,11	-	-

2 Efnasamsetning djúpvökva

Sé rýnt í niðurstöður efnagreininganna kemur í ljós að með tímanum verður vökvinn þynnri, þ.e. styrkur helstu uppleystra efna lækkar verulega þrátt fyrir að sýnatökuþrýstingur fari lækkandi, til dæmis helmingast styrkur klóríðs, brómíðs, kalíums og kalsíums. Styrkur flúoríðs, kísils og súlfats fer aftur á móti heldur vaxandi. Heppilegt hefði verið að greina heildarmagn uppleystra efna með þurreimingu til að sjá þessa þróun betur.

Styrkur karbónats og brennisteinsvetnis í vökvasafasanum eykst með tíma og sýrustig lækkar. Hlutfall köfnunarefnis í gasfasanum fer verulega lækkandi með tíma eins og við mátti búast, en hlutur vetnis eykst. Síðasta sýnið hefur mun hærri styrk koldíoxíðs og brennisteinsvetnis en fyrri sýnin tvö og jafnframt hlutfallslega minna þurrt gas (læggra gas/þéttivatns-hlutfall) þótt það sé lítillega mengað andrúmslofti.

Djúphiti, reiknaður með nokkrum efnahitamælum (Fournier og Potter, 1982; Stefán Arnórsson o.fl., 1983; Stefán Arnórsson o.fl., 1998), er sýndur í töflu 2 og þar má sjá til samanburðar niðurstöður fyrir aðrar holur á Þeistareykjum (Finnbogi Óskarsson, 2011, 2012). Kvars- og alkalíhitamælar eru reiknaðir með forritinu WATCH (Jón Örn Bjarnason, 1994) út frá niðurstöðum efnagreininganna en ekki var tekið tillit til hás vermis holunnar við útreikningana. Áhrif vermis á Na/K hita eru hverfandi og áhrif á kvarshita eru mjög lítil.

Tafla 2. Niðurstöður efnahitamæla fyrir háhitaholur á Þeistareykjum.

Hola	Sýnanúmer	T_{Qtz}	$T_{Na/K}$	T_{CO2}	T_{H2S}	T_{H2}	$T_{CO2/N2}$	$T_{H2S/Ar}$	$T_{H2/Ar}$
ÞG-1	20020341	261	276	197	216	247	183	208	225
	20030253	270	281	215	234	295	265	277	297
	20080096	286	288	200	236	273	253	277	282
	20110230	281	280	202	235	278	239	265	277
ÞG-2	20040276	218	205	216	204	185	227	214	188
ÞG-3	20070020	273	287	212	257	302	248	277	286
	20070023	287	301	212	282	316	269	307	299
	20070075	277	280	218	261	304	243	276	284
	20080093	-	-	214	267	309	266	300	301
	20110221	302	281	209	261	303	250	280	287
ÞG-4	20070518	298	310	196	272	300	210	275	275
	20080095	270	291	157	276	320	200	303	302
	20110231	253	293	177	278	337	200	289	298
ÞG-5	20070519	224	233	208	192	181	191	187	171
	20080094	220	226	209	207	212	235	224	216
ÞG-5b	20080503	274	300	244	241	230	247	246	226
	20110229	269	268	218	224	223	128	230	219
	20110232	266	266	218	222	220	213	226	214
ÞG-6	20080502	301	278	251	249	282	303	288	288
	20110222	311	284	199	274	311	228	292	291
ÞG-7	20120023	305	289	281	277	297	279	269	266
	20120063	310	288	276	264	281	291	272	267
	LV-12-021	311	291	299	273	305	414	295	291
	LV-12-073	316	293	280	272	309	393	-	-
ÞG-9	LV-13-015	277	288	143	254	355	136	216	264
	LV-13-016	379	259	158	261	372	166	241	286
	LV-13-028	363	258	188	283	298	258	331	307

T_{Qtz} : Fournier og Potter (1982),

$T_{Na/K}$: Stefán Arnórsson o.fl. (1983),

T_{CO2} ; T_{H2S} ; T_{H2} ; $T_{CO2/N2}$; $T_{H2S/Ar}$; $T_{H2/Ar}$: Stefán Arnórsson o.fl. (1998).

Fyrsta sýnið er greinilega nokkuð frábrugðið hinum síðari tveimur, sem ber betur saman. Reiknaður Na/K hiti síðari sýnanna tveggja er um 260°C en reiknaður kvarshiti er miklu hærri eða 360–380°C, sem getur augljóslega ekki staðist. Flestir gashitamælarnir gefa gildi á bilinu 258–307°C fyrir síðasta sýnið en CO₂ hiti reiknast mun lægri, líkt og verið hefur í hávermisholunum á Þeistareykjum. Hitamælingar í holunni hjálpa ekki mikið við val á djúphitastigi og verður því miðað við 260°C að svo stöddu. Þess ber þó að geta að holan hafði ekki blásið lengi þegar síðasta sýnið var tekið og að því virðist fara fjarri að efnasamsetning rennisins sé orðin nægilega stöðug til að vert sé að leggja mikið út af henni.

Vermi holunnar fór, eins og áður segir, hækkandi eftir því sem leið á blásturstímann og var komið yfir 2600 kJ/kg í byrjun júlí 2013. Því er ljóst að holan hefur verulegt umframvermi, þ.e. vermi umfram það sem svarar til vermis vökva við áætlað djúphitastig, líkt og gildir um aðrar holur á Þeistareykjum að holu ÞG-5b undanskilinni. Umframvermið svo og vensl kísilstyrks og vermis (mynd 4) benda til þess að umtalsverð suða eigi sér stað úti í berginu og er því renni holunnar blanda af tvífasa vökva úr æðum holunnar og gufu sem hefur skilist frá vökva úti í berginu. Því er hér farin sama leið og áður hefur verið farin, að gera ráð fyrir fasaaðskilnaði í berginu og að umframgufa bætist við renni holunnar á leið til yfirborðs.

Tafla 3 sýnir efnasamsetningu djúpvökvans reiknaða við 260°C með forritinu WATCH (Jón Örn Bjarnason, 1994), svo og reiknaða kalsítmættun djúpvökvans auk kvars- og alkálíhita. Reikningarnir eru miðaðir við mælt vermi og að viðbótargufan sé til orðin vegna fasaaðskilnaðar við 230°C en við þann hita (u.þ.b. 30°C neðan við áætlaðan djúphita) er hreyfanleiki vökvafasans orðinn hverfandi (Pruess, 2002).

Reiknaður styrkur H₂S og H₂ í djúpvökvanum fellur ekki fjarri jafnvægislínum fyrir steindafylkin pýrít-pýrrhótít-prehnít-epidót og pýrít-pýrrhótít-magnetít, eins og sjá má á myndum 5 og 6, þótt reyndar sé það elsta sýnið sem fellur best að línunum. Þar eru einnig sýnd nýjustu gildin fyrir hinar Þeistareykjaholunnar sem falla ágætlega að jafnvægislínum. Gert er ráð fyrir að virkni prehníts og epidóts sé 0,8 en virkni annarra steinda sé 1.

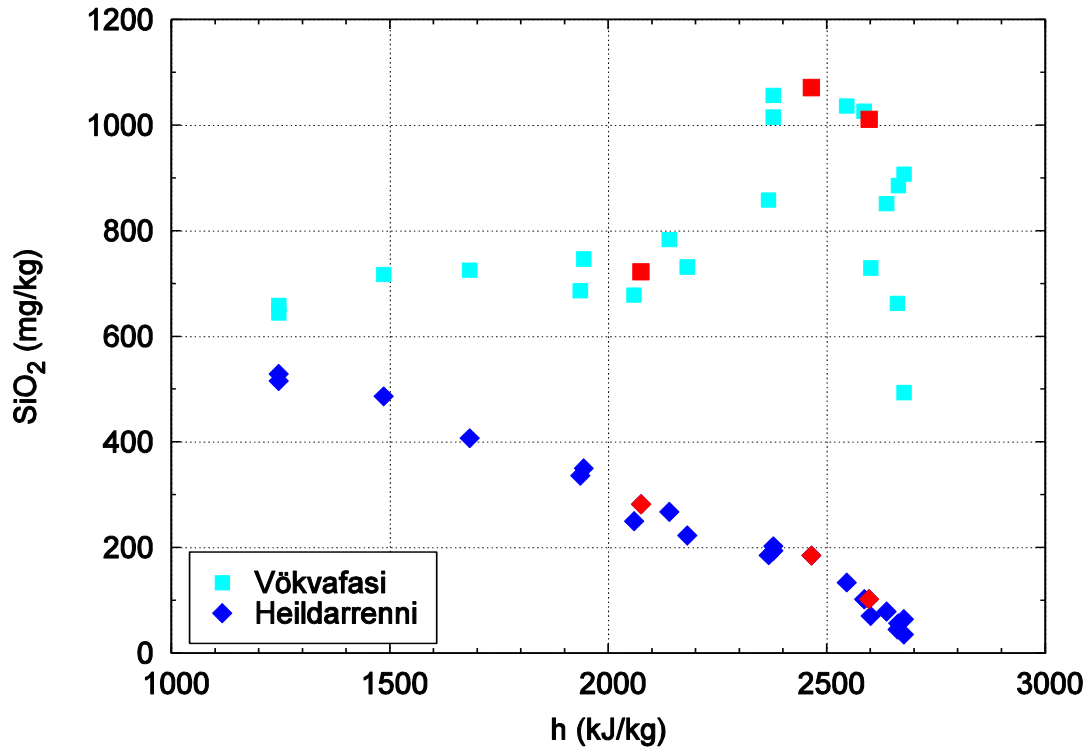
Myndir 7–15 sýna styrk nokkurra efna í djúpvökvanum í holunum á Þeistareykjum. Þar sést að styrkur flestra steinefna er umtalsvert hærri en í hinum holunum, þó að súlfati undanskildu. Styrkur klóríðs í fyrsta sýninu úr ÞG-9 er til dæmis um fimmfalt hærri en gengur og gerist í hinum holunum og þrátt fyrir að styrkurinn lækki með tíma er klóríðstyrkur í síðasta sýninu enn rúmlega tvöfalt hærri en dæmigerð klóríðgildi fyrir hinar holunnar. Reyndar fer styrkur uppleystra steinefna verulega lækkandi frá einu sýni til annars en ekkert bendir til þess að vökvinn hafi náð stöðugu ástandi þegar síðasta sýnið var tekið, enda blásturstíminn stuttur. Það er þó athyglisvert að þessi þróun vökvans er öfug við það sem yfirleitt sést í borholum í fyrsta blæstri eftir borun, þ.e.a.s. efnastyrkur í vökvanum er venjulega óeðlilega lágur meðan áhrifa borvökvans gætir í holunni en hækkar smám saman eftir því sem holan losar sig við hann. Styrkur gass í djúpvökvanum er lágur, einkum styrkur koldíoxíðs sem er meira að segja lágur á mælikvarða Þeistareykja. Öfugt við steinefnastyrk fer gasstyrkur vaxandi með tíma en virðist enn ekki hafa náð stöðugu gildi.

Djúpvökvinn reiknast talsvert yfirmettaður með tilliti til kalsíts, með mettnarstig um 0,4 í fyrsta og síðasta sýninu en 0,75 í miðsýninu. Ólíklegt er að þetta lýsi raunverulegum aðstæðum í kerfinu þar sem jafnvægi við kalsít næst á augabragði. Ýmislegt getur spilað hér inn í, m.a. val á djúphitastigi, en þar sem leysni kalsíts lækkar með hitastigi bendir það til ofmats en ekki vanmats á djúphitastiginu. Þá eru reikningar af þessu tagi viðkvæmir fyrir

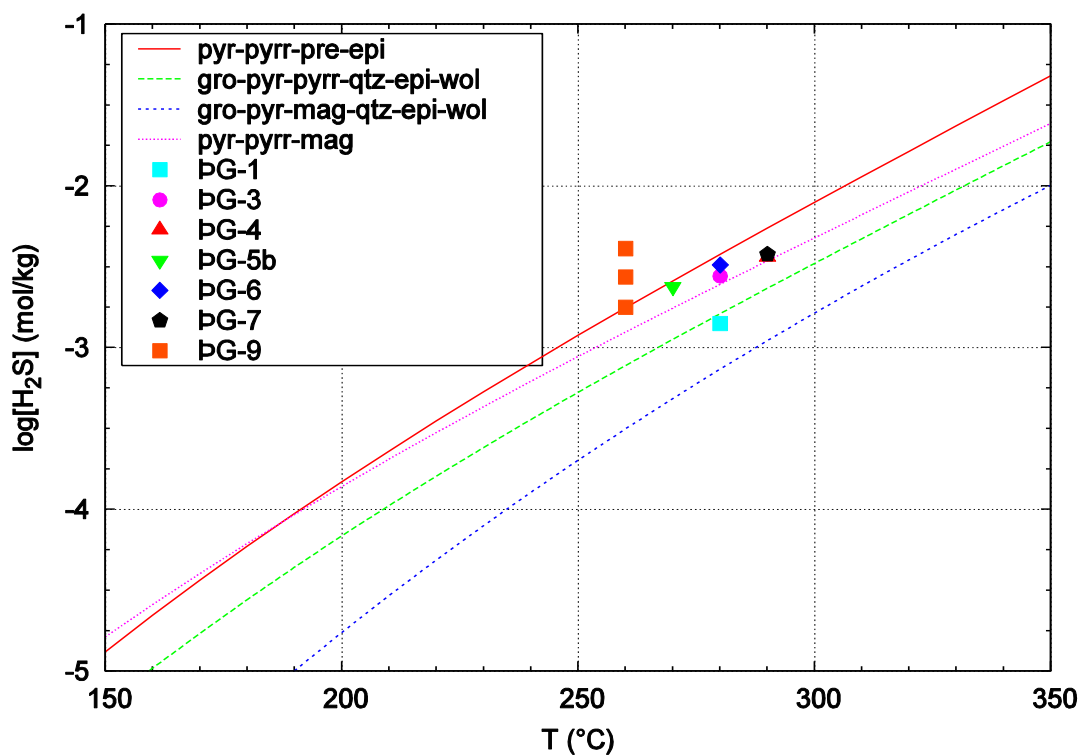
skekkjum í efnasamsetningu, einkum í sýrustigi sem getur breyst á leiðinni af sýnatökustað á rannsóknarstofuna, ekki síst í svo kísilríkum sýnum sem hér um ræðir.

Tafla 3. *Djúpvökvi sýna úr holu ÞG-9 reiknaður miðað við djúphitastig 260°C og fasaðskilnað við 230°C. Styrkur uppleystra steinefna og gastegunda er gefinn í mg/kg.*

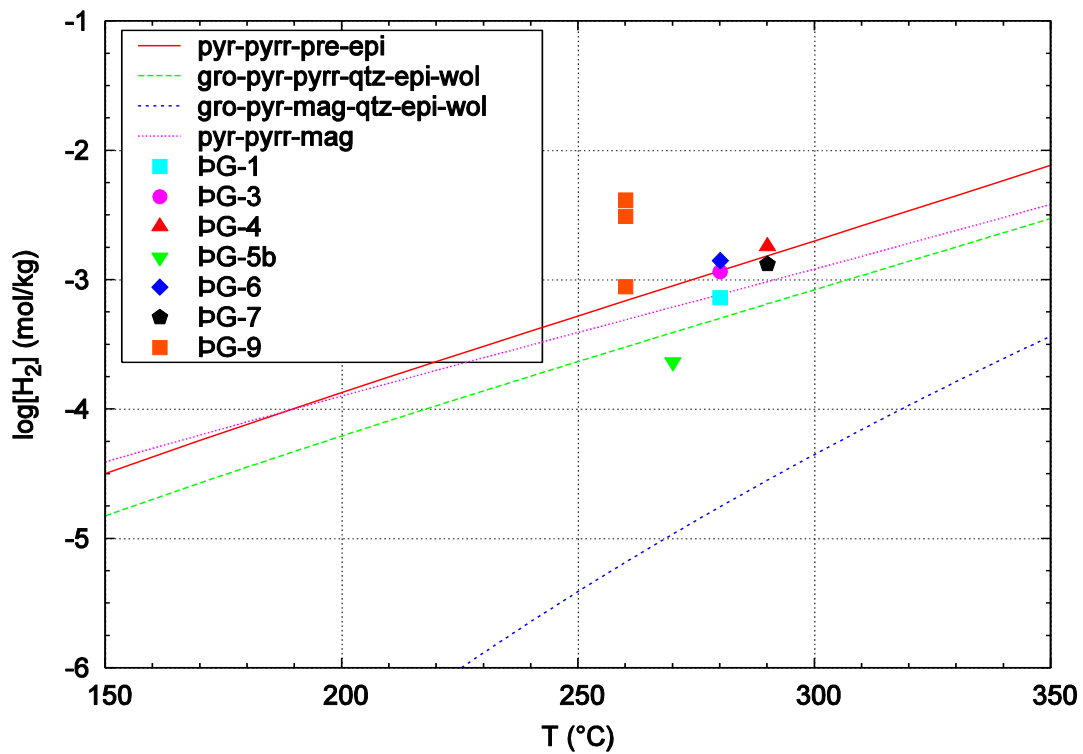
Sýnanúmer	LV-13-015	LV-13-016	LV-13-028
Dagsetning	13.6.2013	20.6.2013	2.7.2013
Hitastig (°C)	260	260	260
pH	7,32	7,62	7,21
Kísill (SiO ₂)	643	911	827
Líþíum (Li)	0,658	0,345	0,207
Natríum (Na)	306	240	192
Kalíum (K)	66,7	40,6	32,0
Kalsíum (Ca)	2,37	1,11	0,82
Flúoríð (F)	0,61	0,83	0,89
Klóríð (Cl)	514	336	213
Brómíð (Br)	1,98	1,29	0,71
Súlfat (SO ₄)	8,21	7,98	8,12
Koldíoxíð (CO ₂)	9,9	15,8	41,3
Brennisteinsvetni (H ₂ S)	60,7	93,6	140
Vetni (H ₂)	6,26	8,34	1,79
Súrefni (O ₂)	0,11	0,06	0,11
Köfnunarefni (N ₂)	33,9	11,4	1,01
Argon (Ar)	0,96	0,43	0,03
Metan (CH ₄)	0,65	0,11	0,02
Kalsítmettun (SI)	0,408	0,754	0,385
Kvarshiti (°C)	288	368	345
Na/K hiti (°C)	289	259	258



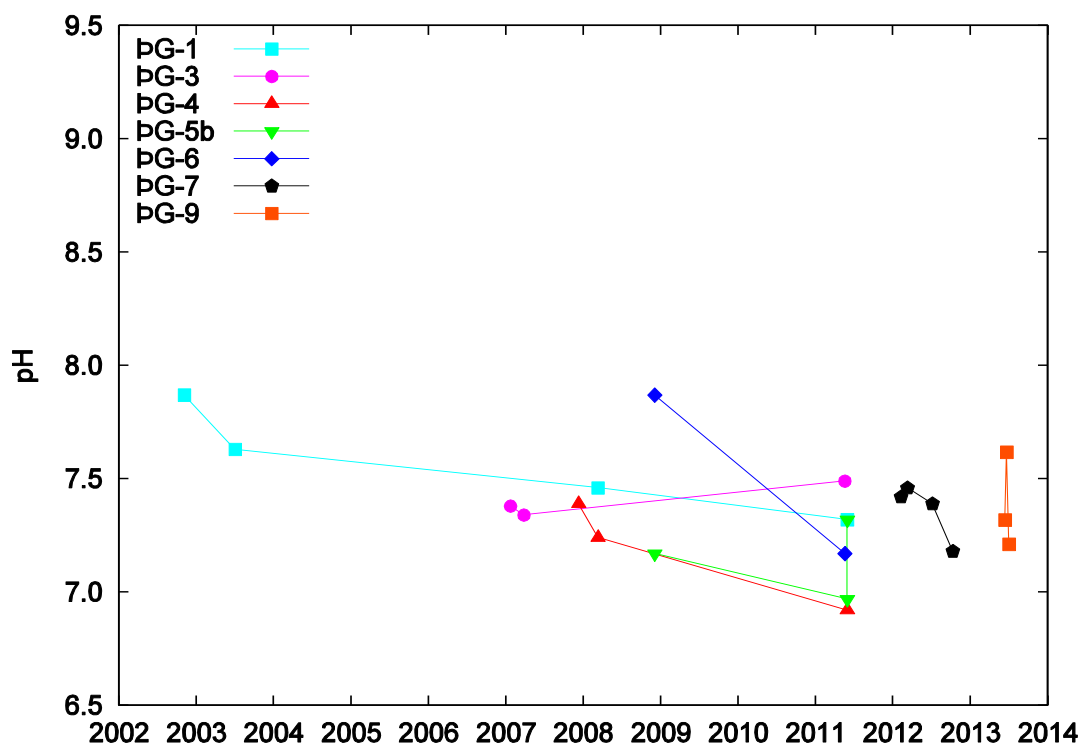
Mynd 4. Kísilstyrkur í vökvafasa og heildarrenni sem fall af mældu vermi. Gildi úr ÞG-9 eru sýnd með rauðu. Línulegt samband milli kísilstyrks í heildarrenni og vermis bendir til fasa-aðskilnaðar.



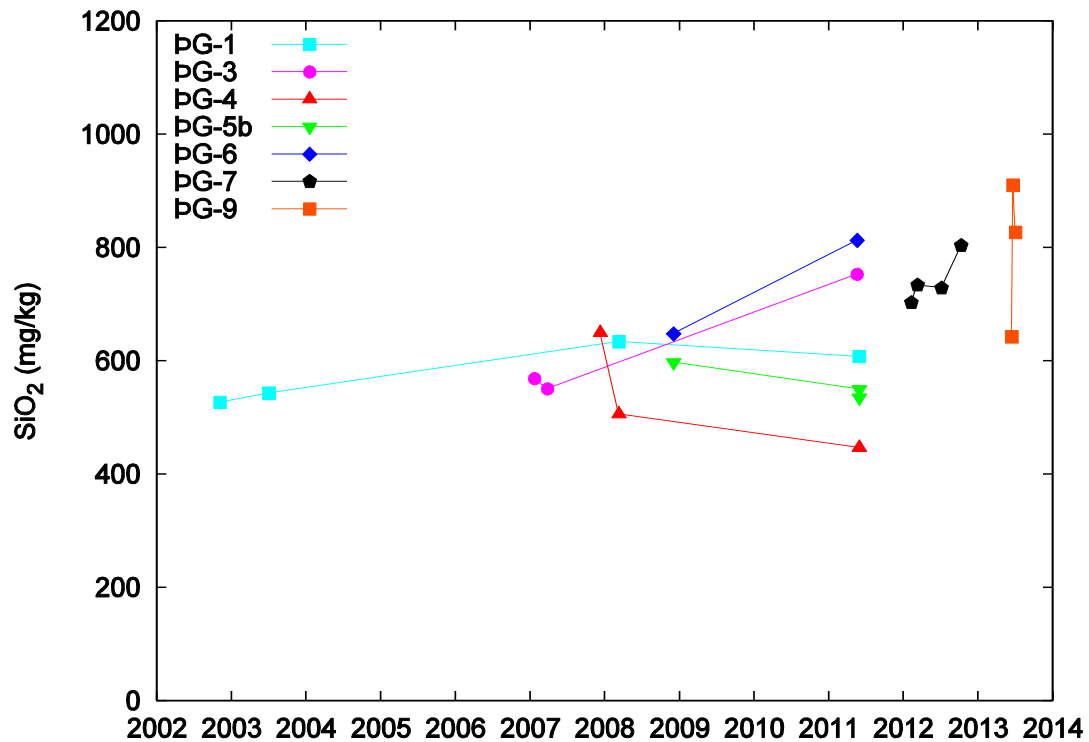
Mynd 5. Reiknaður styrkur H_2S í djúpvökva ÞG-9 og annarra holna á Þeistareykjum (valin sýni) borinn saman við jafnvægi við fjögur steindafylki.



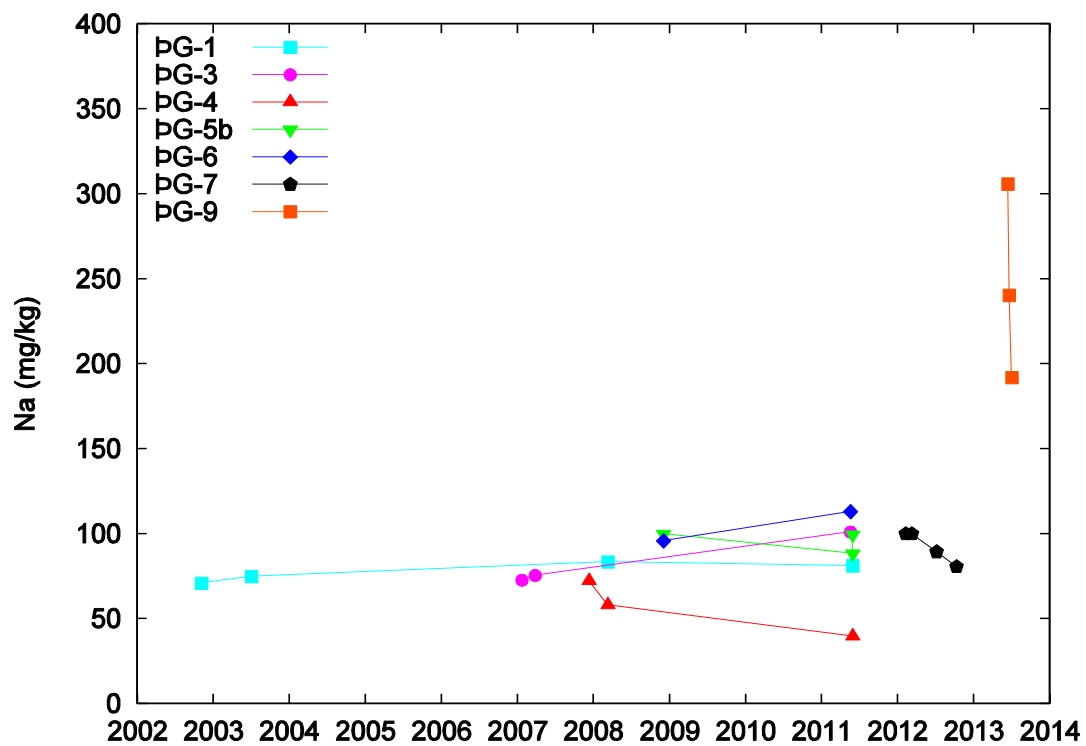
Mynd 6. Reiknaður styrkur H_2 í djúpvökva PG-9 og annarra holna á Þeistareykjum (valin sýni) borinn saman við jafnvægi við fjögur steindafylki.



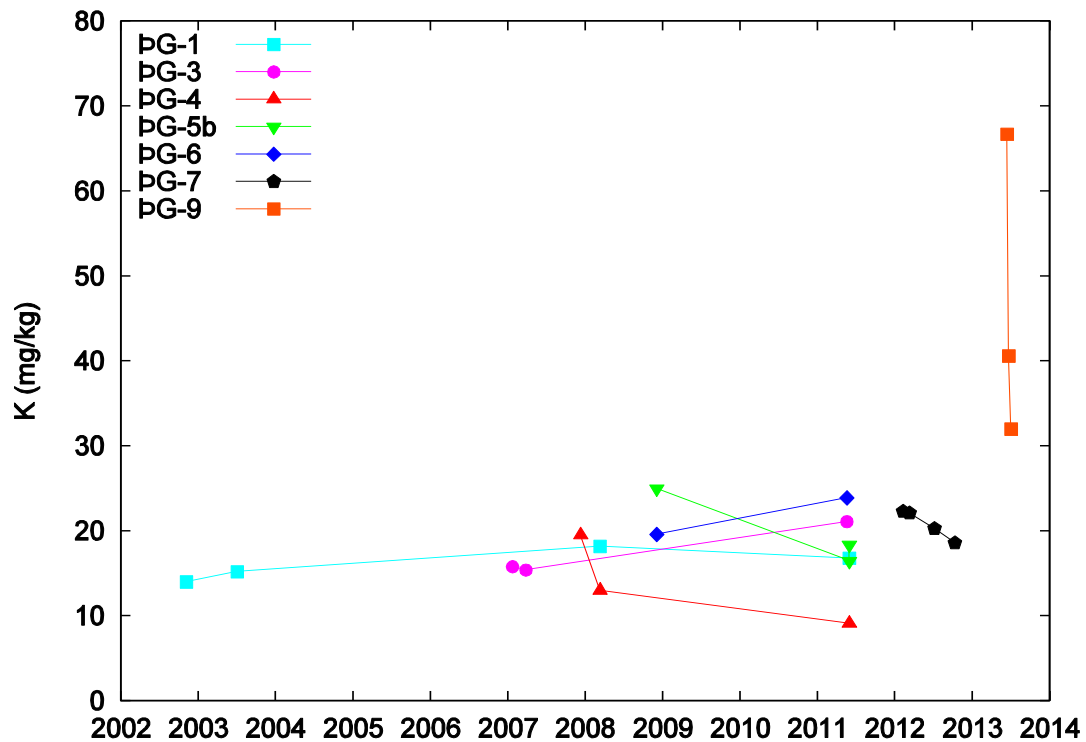
Mynd 7. Sýrustig reiknaðs djúpvökva í háhitaholum á Þeistareykjum.



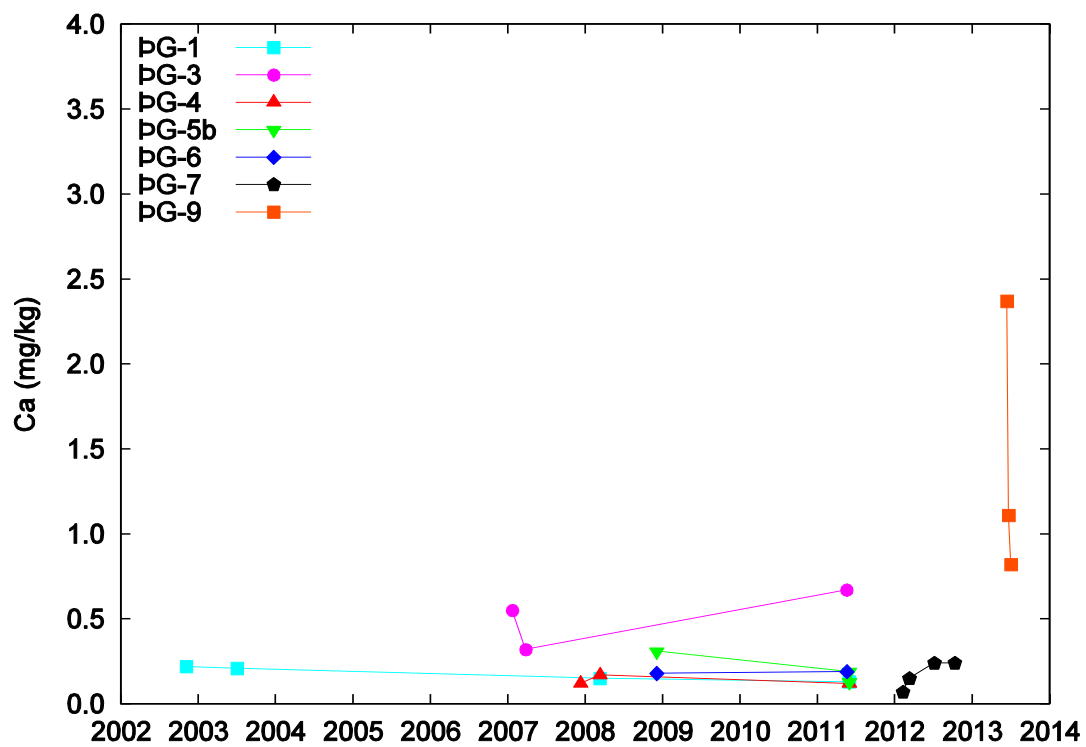
Mynd 8. Reiknaður kísilstyrkurur í djúpvökva háhitaholna á Þeistareykjum.



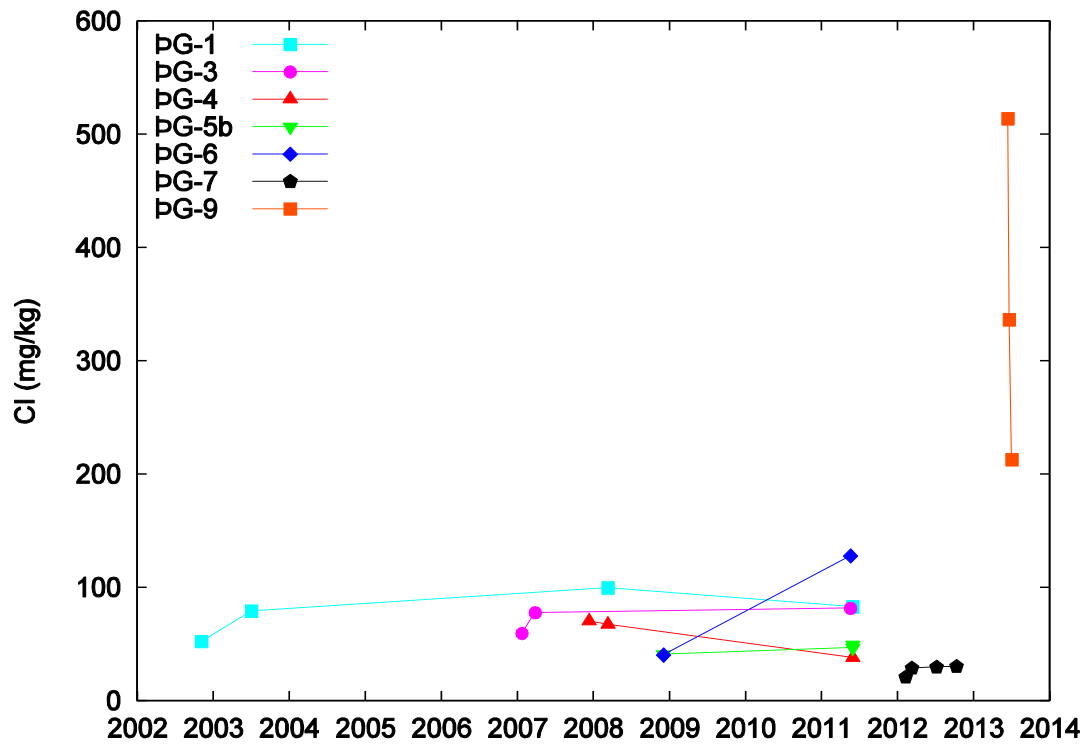
Mynd 9. Reiknaður natríumstyrkurur í djúpvökva háhitaholna á Þeistareykjum.



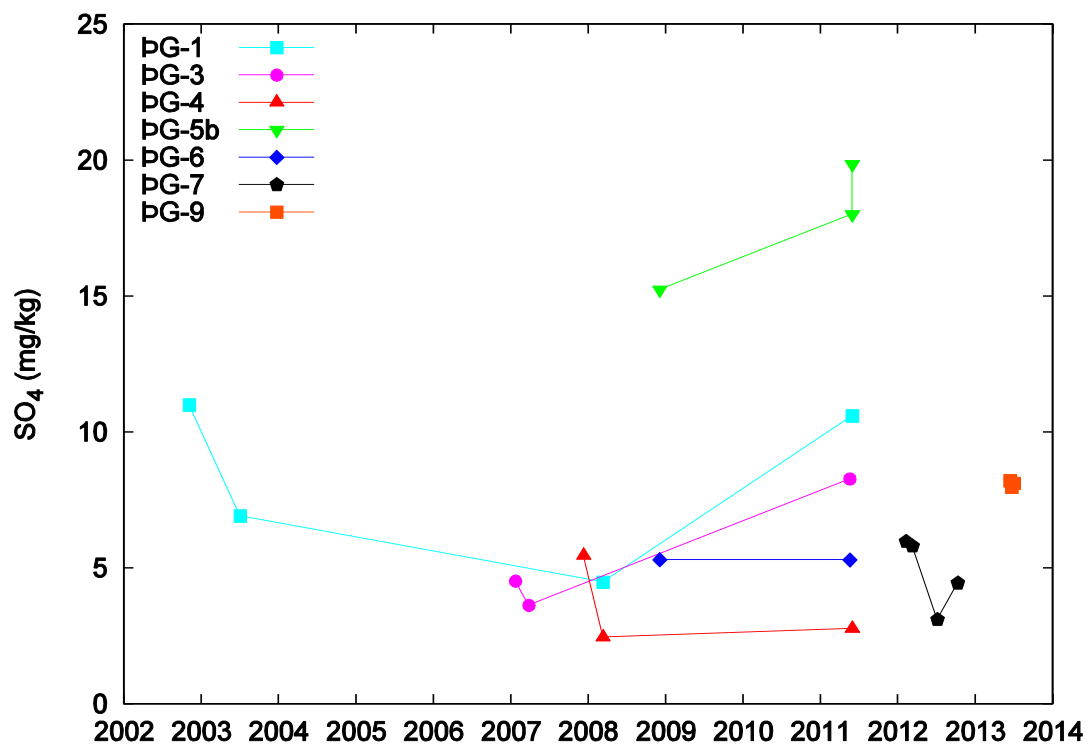
Mynd 10. Reiknaður kalíumstyrkur í djúpvökva háhitaholna á Þeistareykjum.



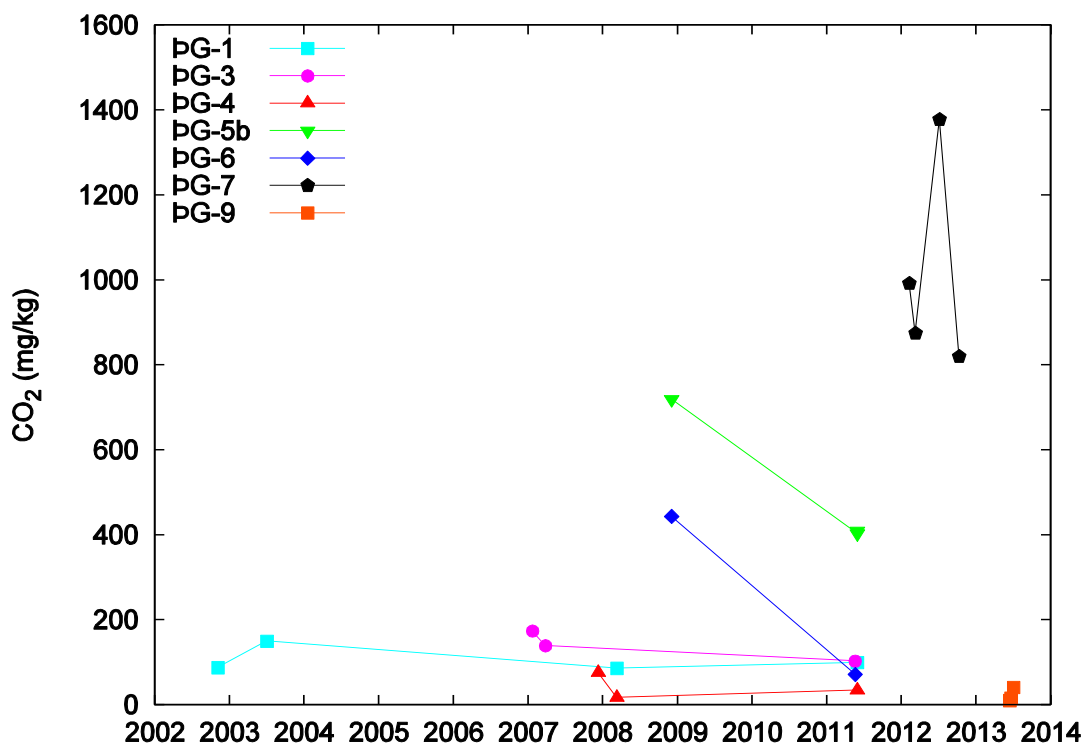
Mynd 11. Reiknaður kalsíumstyrkur í djúpvökva háhitaholna á Þeistareykjum.



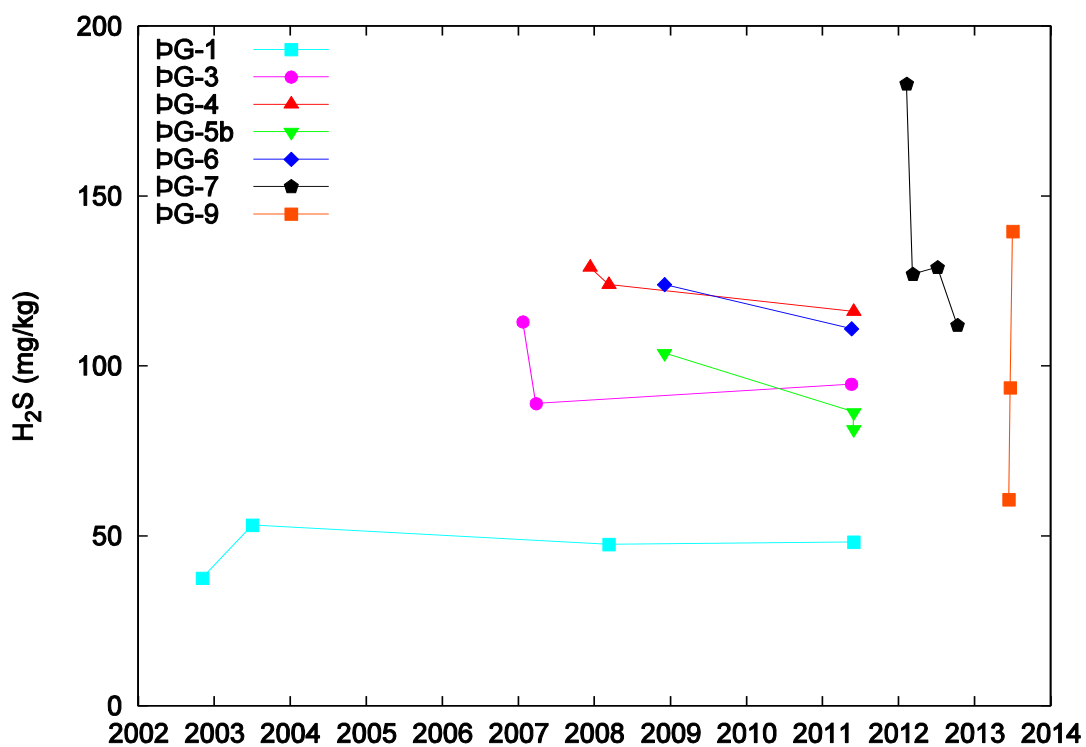
Mynd 12. Reiknaður klóríðstyrkur í djúpvökva háhitaholna á Þeistareykjum.



Mynd 13. Reiknaður súlfatstyrkur í djúpvökva háhitaholna á Þeistareykjum.



Mynd 14. Reiknaður koldíoxíðstyrkur í djúpvökva háhitaholna á Þeistareykjum.



Mynd 15. Reiknaður styrkur brennisteinsvetnis í djúpvökva háhitaholna á Þeistareykjum.

3 Efnasamsetning vatns og gufu við 10 bar-g

Áætlaður vinnsluþrýstingur jarðvarmaorkuvers á Þeistareykjum er 10 bar-g og var forritið WATCH (Jón Örn Bjarnason, 1994) notað til herma suðu á djúpvökvanum frá djúphitastigi og niður í 184,1°C sem svarar til þessa þrýstings. Eins og fram hefur komið er ekki fullkomlega ljóst hvernig ber að velja djúphitann, þar eð holan hefur ekki blásið lengi og aðeins þrjú sýni eru til úr henni. Efnasamsetning vökva og gufu eftir suðu í 184,1°C er sýnd í töflu 4 ásamt kalsít- og kísilmettun við sama hitastig.

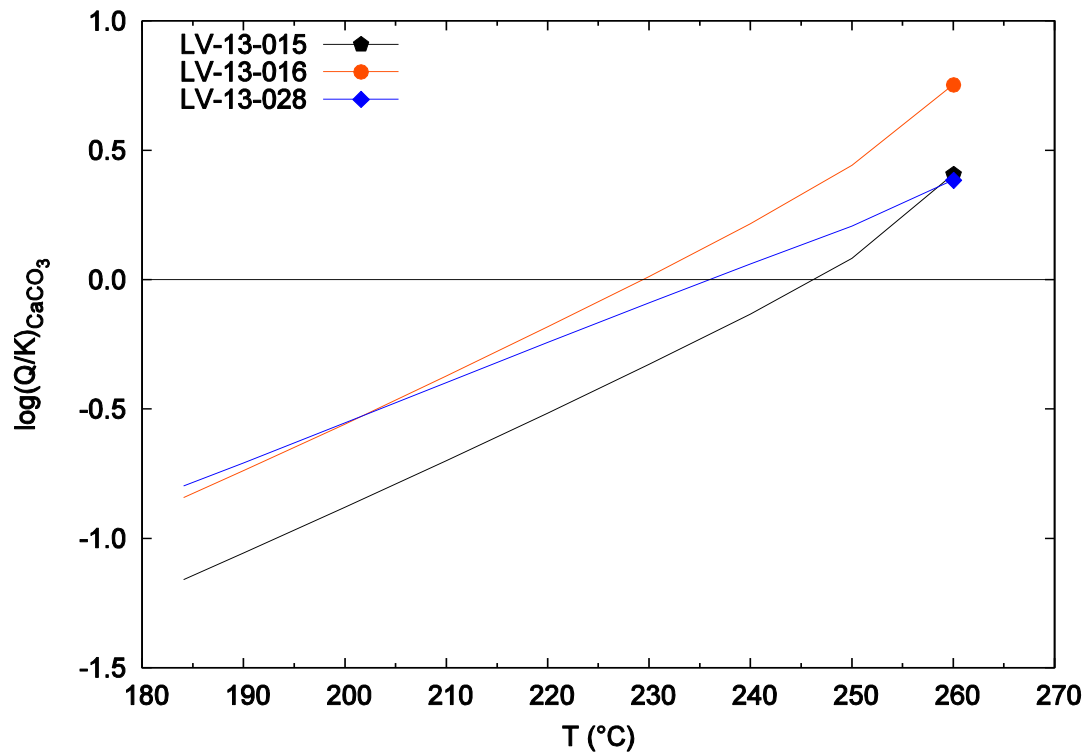
Gasstyrkur eftir suðu í 10 bar-g er mjög lágur, eða innan við 0,1%, sem er jafnvel enn lægra en í hinum holunum á svæðinu. Gasstyrkur er á bilinu 0,12–0,16% í holum ÞG-1, ÞG-3, ÞG-4 og ÞG-6, um 0,25% fyrir ÞG-5b og á bilinu 0,56–0,96% í ÞG-7.

Djúpvökvinn reiknast eins og áður segir talsvert yfirmettaður með tilliti til kalsíts en kalsítmettunarstigið hækkar ekki við suðu í 10 bar-g (sjá mynd 16) heldur fellur jafnt og þétt. Þetta kann því að benda til þess að kalsítútfellingar geti myndast úti í bergi en ósennilegt er að þær muni valda vandræðum við suðuborð. Enn og aftur skal þó ítrekað að efnasamsetning djúpvökvans er langt frá því stöðug og því hafa þessar athuganir afar takmarkað forspárgildi.

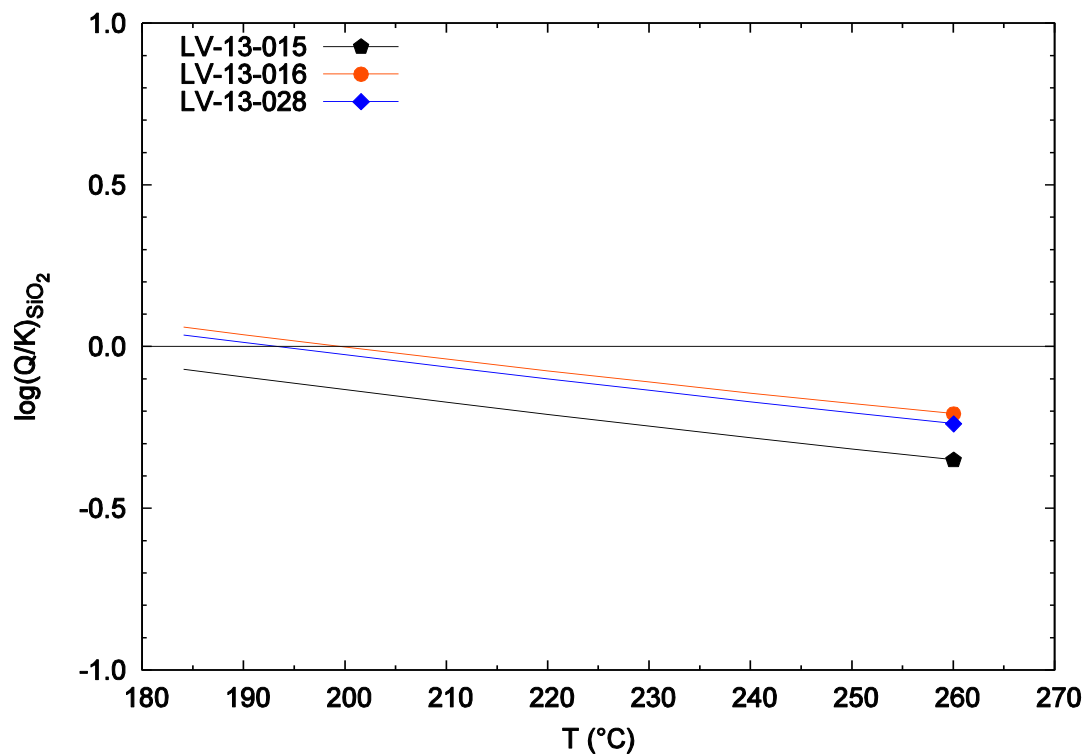
Við suðureikningana var mettnarstig myndlauss kísils einnig reiknað og reyndist það í öllum tilfellum undir mettnarmörkum við djúphitastig og mjög nærri þeim eftir suðu í 184,1°C ($SI > 0,1$; sjá mynd 17). Sama er uppi á teningnum í öðrum Þeistareykjaholum en mettnarstig myndlauss kísils í vökvanum reiknast á bilinu -0,2 til 0,2 eftir suðu í 184,1°C (Finnbogi Óskarsson, 2011, 2012). Ekki þarf því að óttast bráðar kísilútfellingar við áætlaðan skiljuþrýsting en æskilegt er að fylgjast vel með útfellingum í skilju og niðurdælingarlögn í framtíðinni.

Tafla 4. Efnasamsetning vökva úr holu ÞG-9 eftir suðu frá 260°C í 184,1°C.

Sýnanúmer	LV-13-015	LV-13-016	LV-13-028
Vatn (mg/kg)			
pH (/ °C)	7,63	7,84	7,71
Karbónat (CO ₂)	0,59	1,37	2,70
Brennisteinsvetni (H ₂ S)	17,8	37,6	44,8
Kísill (SiO ₂)	781	1106	1005
Líþíum (Li)	0,80	0,42	0,25
Natríum (Na)	372	292	233
Kalíum (K)	81,0	49,3	38,9
Kalsíum (Ca)	2,87	1,35	1,00
Flúoríð (F)	0,746	1,01	1,08
Klóríð (Cl)	624	409	259
Brómíð (Br)	2,41	1,57	0,86
Súlfat (SO ₄)	9,97	9,69	9,86
Gufa (mg/kg)			
Koldíoxíð (CO ₂)	53,1	82,9	221
Brennisteinsvetni (H ₂ S)	260	354	581
Vetni (H ₂)	35,3	47,1	10,1
Súrefni (O ₂)	0,63	0,32	0,60
Köfnunarefni (N ₂)	191	64,6	5,73
Argon (Ar)	5,4	2,5	0,19
Metan (CH ₄)	3,65	0,61	0,09
gasstyrkur (%)	0,055	0,055	0,082
kalsítmettun (SI)	0,41	0,75	0,39
kísilmettun (SI)	-0,35	-0,21	-0,24



Mynd 16. Reiknað mettunarstig (SI) kalsíts í vökvanum úr holu ÞG-9 við djúphitastig og suðu að 10 bar-g.



Mynd 17. Reiknað mettunarstig (SI) myndlauss kísils í vökvanum úr holu ÞG-9 við djúphitastig og suðu að 10 bar-g.

4 Samantekt

- Hóla ÞG-9 hefur hátt vermi líkt og flestar aðrar holur á Þeistareykjum, um 2600 kJ/kg. Hátt vermi virðist stafa af fasaaðskilnaði við suðu í berginu, líkt og í hinum hávermis-holunum.
- Sýnin þrjú sem tekin hafa verið úr holunni eru mjög ólík innbyrðis og samsetning rennisins virðist ekki orðin stöðug, enda blés holan aðeins í tæpan mánuð. Vökvinn er umtalsvert saltari en gengur og gerist á Þeistareykjum en virðist þynnast eftir því sem á blásturstímann líður.
- Þar eð efnasamsetning rennisins er breytileg og hitamælingar í holunni gefa litlar vísbendingar, er erfitt að ákvarða djúphitastig af nokkurri vissu. Na/K hlutfall í seinni sýnunum tveimur bendir þó til djúphitastigs nærri 260°C og var það notað við reikningana sem hér greinir frá. Kvarshiti reiknast miklu hærri í tveimur síðustu sýnunum (> 350°C).
- Djúpvökvi við 260°C reiknast talsvert yfirmettaður með tilliti til kalsíts en mettunarstigið lækkar jafnt og þétt við suðu að 10 bar-g.
- Myndlaus kísill reiknast rétt við mettunarmörk eftir suðu frá 260°C að 10 bar-g.
- Heildarstyrkur óþéttanlegs gass í gufu eftir suðu frá 260°C að 10 bar-g er > 0,1%.
- Leyfa þarf holunni að blása nægilega lengi til að efnasamsetning rennisins nái jafnvægi áður en vert er að leggja meira út af henni.

5 Heimildir

- Anette K. Mortensen, Þorsteinn Egilson, Hörður H. Tryggvason, Bjarni Kristinsson og Sigurjón Vilhjálmsson (2013). *Þeistareykir – Hóla ÞG-9. 3. áfangi – Jarðlög og mælingar. Borun vinnsluhluta fyrir 7" götuðum leiðara frá 828 m í 2194 m dýpi*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2011/063.
- Finnbogi Óskarsson (2012). *Hóla ÞG-7 á Þeistareykjum. Niðurstöður efnagreininga árið 2012*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/066.
- Finnbogi Óskarsson (2011). *Háhitaholur á Þeistareykjum. Efnasamsetning vökva og gufu 2011*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2011/068.
- Fournier, R. O. og Potter, R. W. II (1982). A revised and expanded silica (quartz) geothermometer. *Geothermal Resources Council Bulletin* 11, 3–9.
- Halldór Ármannsson og Magnús Ólafsson (2010). *Háhitaholur á Þeistareykjum. Efnasamsetning vökva og gufu í blástursprófunum 2002–2008*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2010/082.
- Jón Örn Bjarnason (1994). *The speciation program WATCH, version 2.1*. Orkustofnun.
- Pruess, K. (2002). *Mathematical modelling of fluid flow and heat transfer in geothermal systems*. United Nations University Geothermal Programme, Reykjavík, Iceland. Report to the Earth Science Division, Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California.
- Stefán Arnórsson, Einar Gunnlaugsson og Hörður Svavarsson (1983). The chemistry of geothermal waters in Iceland – III. Chemical geochemistry in geothermal investigations. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 47, 567–577.
- Stefán Arnórsson, Þráinn Friðriksson og Ingvi Gunnarsson (1998). Gas chemistry of the Krafla geothermal field. Í G.B. Arehart og J.R. Hulston (ritstj.) *Water-Rock Interaction*. Balkema, Rotterdam, 613–616.
- Stefán Arnórsson, Andri Stefánsson og Jón Örn Bjarnason (2007). Fluid-Fluid Interactions in Geothermal Systems. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 65, 259–312.
- Þorsteinn Egilson (2013). *Upphitun holu ÞG-9 á Þeistareykjum. Berghiti og upphafsþrýstingur*. Íslenskar orkurannsóknir, greinargerð ÍSOR-13050.



Landsvirkjun

Háaleitisbraut 68
103 Reykjavík
landsvirkjun.is

landsvirkjun@lv.is
Sími: 515 90 00

