



Þeistareykjavirkjun

Vinnslueiginleikar gufu og vatns úr borholum

– Uppfærð skýrsla með nýjum gögnum –

Lykilsíða



Skýrsla LV nr: LV-2015-083

Dags: September 2015

Fjöldi síðna: 25

Upplag: 5

Dreifing:

- ☐ Birt á vef LV
☒ Opin
☐ Takmörkuð til

Titill: Þeistareykjavirkjun. Vinnslueiginleikar gufu og vatns úr borholum. Uppfærð skýrsla með nýjum gögnum.

Höfundar/fyrirtæki: Trausti Hauksson/Kemía

Verkefnisstjóri: Egill Júlíusson

Unnið fyrir: Landsvirkjun

Samvinnuaðilar: Kemía

Útdráttur: Uppfærð úttekt frá 2011 á vinnslueiginleikum jarðhitavökvans á leið hans í gegnum vinnslurás Þeistareykjavirkjunar. Vinnslueiginleikar vatns og gufu úr borholum á Þeistareykjum eru metnir og inn í það mat teknar mismunandi vinnslurásir og einnig möguleg fullnýting varmans úr skiljuvatninu.

Lykilorð: Þeistareykir, Þeistareykjavirkjun, vinnslueiginleikar, efnasamsetning, skiljuvatn, gufa, gas, kælivatn, eimpétting, gasútblastur, eimsvali, kæliturn

ISBN nr:

**Samþykki verkefnisstjóra
Landsvirkjunar**

A large, stylized handwritten signature in blue ink, written over a horizontal line.

Þeistareykjavirkjun

Vinnslueiginleikar gufu og vatns úr borðholum

Uppfærð skýrsla með nýjum gögnum

Trausti Hauksson

EFNISYFIRLIT

1 Inngangur	3
2 Afköst borhola.....	4
3 Efnasamsetning jarðhitavökva	6
4 Vinnslurás 45 MW	7
5 Kælivatnshringrás.....	14
6 Nýting skiljuvatnsvarma	18
7 Helstu niðurstöður	20
8 Heimildir	21

Töflur

Tafla 1 Rekstrarafköst borholna á Þeistareykjum	5
Tafla 2 Efnasamsetning gufu úr holum	6
Tafla 3 Efnasamsetning skiljuvatns úr holum	6
Tafla 4 Vinnsla úr borholum	7
Tafla 5 Áætluð efnasamsetning vinnslugufu	8
Tafla 6 Áætluð efnasamsetning gass	8
Tafla 7 Áætluð efnasamsetning þéttivatns	9
Tafla 8 Efnasamsetning skiljuvatns	11
Tafla 9 Efnasamsetning niðurdælingarblöndu	13
Tafla 10 Efnasamsetning grunnvatns	17

Myndir

Mynd 1 Aflferlar borholna á Þeistareykjum.....	4
Mynd 2 Flæði í fyrirhuguð vinnslurás í Þeistareykjastöð (45 MW vél).	7
Mynd 3 Kísilmettun í skiljuvatni.....	10
Mynd 4 Kísilmettun niðurdælingarblöndu	12
Mynd 5 Kælihringrás með þéttivatnsáfyllingu	14
Mynd 6 Kælihringrás með ferskvatnsáfyllingu	14
Mynd 7 Nýting skiljuvatnsvarma.....	19

Viðauki 1 Flæði í Þeistareykjastöð, 45 MW Fuji vél

Viðauki 2 Vermis og efnabreytingar í holum

1 Inngangur

Áætlað er að virkja jarðhitasvæðið á Þeistareykjum í fjórum 45 MW áföngum (Þeistareykjavirkjun. Verkhönnun. LV-2011-065). Gengið hefur verið frá samningi við Fuji Electric Ltd um kaup á tveimur 45 MW vélum sem hafa mun meiri nýtni en gert var ráð fyrir í verkhönnun. Hver vél mun þurfa 76,8 kg/s af háþrýstigufu í stað áætlaðra 85 kg/s. Flæðirit fyrir vélina er sýnt í Viðauka 1 við þessa skýrslu.

Árið 2011 var tekin saman skýrsla um áætlaða vinnslueiginleika vatns og gufu úr holunum, miðað við mælingar sem þá lágu fyrir (Trausti Hauksson 2011, LV-2011/123). Síðan þá hafa verið boraðar og rannsakaðar 3 nýjar holur og jarðhitakerfið álagsprófað með samtíma blæstri allra hola.

Eftir álagsprófun var tekið saman skjal sem sýndi aflferla vinnsluborhola og var heppilegur toppþrýstingur og gufuafköst hvernar holu ákvörðuð (Egill Júlíusson 2015).

Þörf var því talin á að uppfæra samantektina um vinnslueiginleika svæðisins með þeim viðbótar-gögnum sem nú liggja fyrir.

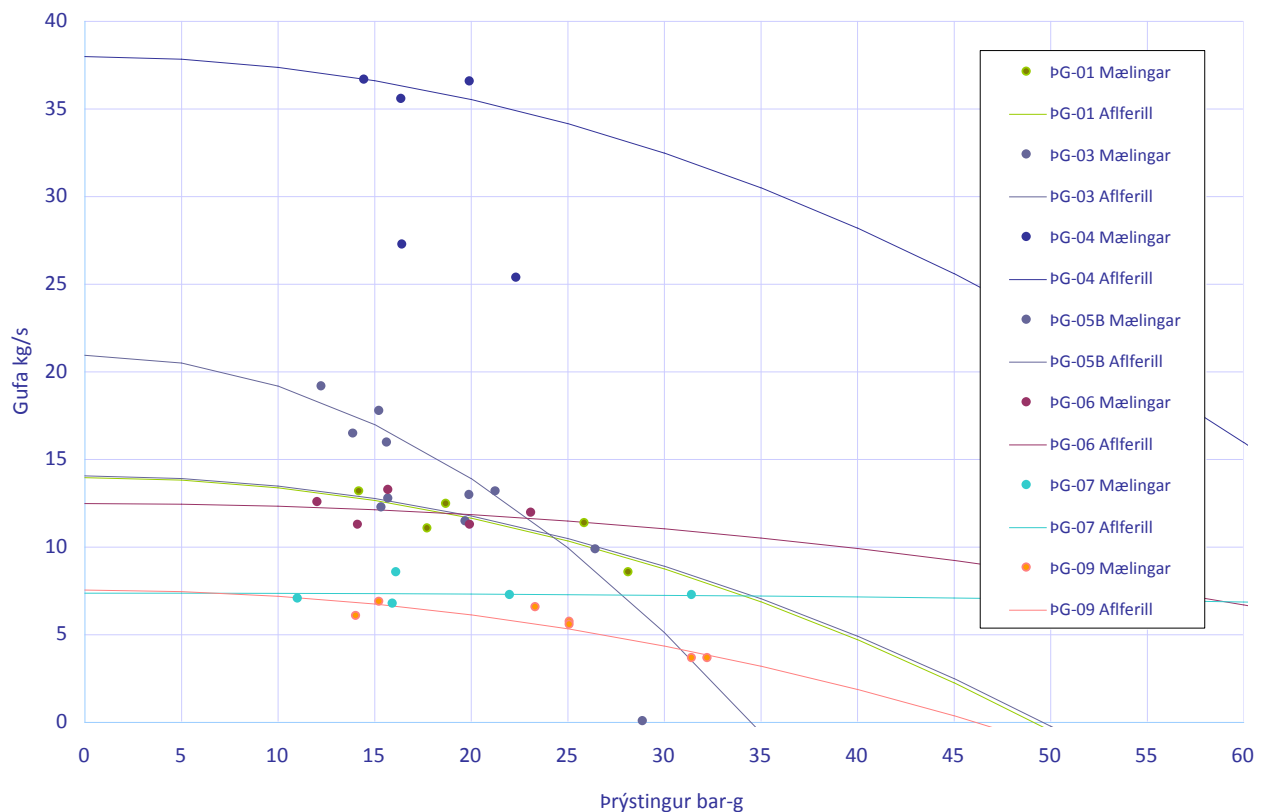
Efnasamsetning vatns og gufu úr eldri holunum var rannsökuð af Íslenskum Orkurannsóknnum (ÍSOR) og niðurstöður birtar í skýrslum (Halldór Ármannsson og Magnús Ólafsson 2011 og Finnþogi Óskarsson 2011). Landsvirkjun rannsakaði efnasamsetningu vatns og gufu úr nýju holunum (Ásgerður K. Sigurðardóttir, Helgi Arnar Alfreðsson og Júlía Björke 2012 til 2015).

Í þessari skýrslu er á ný gerð grein fyrir vinnslueiginlegum jarðhitavökvans á leið hans í gegnum vinnslurás stöðvarinnar, og áhrifum einstakra borhola á vinnslueiginleikana.

Metið er hvernig best má nýta skiljuvatnið sem og hvernig því verður með öruggustum hætti veitt niður í holur eftir nýtingu.

2 Afköst borhola

Níu holur hafa verið boraðar á svæðinu og eru sjö nýtanlegar. Hola ÞG-02 var aðeins 220 °C heit og er ekki reiknað með að hún verði nýtt fyrir stöðina en í stað þess notuð sem eftirlitshola. Hola ÞG-05 var endurboruð og dýpkuð nefnist nýja hola ÞG-05B. Hola ÞG-08 er boruð á vestursvæði Þeistareykja og reyndist var köld og verður notuð sem eftirlitshola. Mynd 1 sýnir afkastaferla borhola eftir álagsprófun síðustu mánuði. Þessir ferlar voru notaðir m.a. til þess að ákvarða hæfilegan rekstrarþrýsting og gufuafköstin við þann þrýsting (Egill Júlíusson 2015).



Mynd 1 Afiferlar borholna á Þeistareykjum.

Samtals gefa holurnar um 107 kg/s af gufu og anna ríflega gufupörf fyrsta 45 MW áfanga stöðvarinnar en ekki liggur fyrir hvaða holur verða tengdar og nýttar fyrir stöðina. Tafla 1 sýnir afköst borhola miðað við það vermi sem ákvarðað var samhliða sýnatöku og áætlaðan rekstrarþrýsting.

Tafla 1 Rekstrarafköst borholna á Þeistareykjum

Hola	Borteigur	Toppþrýstingur (g)	Vermi	Holurennslí	Gufa	Skiljuvatn	Rafmagn
		bar	kJ/kg	kg/s	kg/s	kg/s	MW
ÞG-01	A	12	1941	22,5	13,1	9,4	7,7
ÞG-03	C	18	2508	14,1	12,2	1,9	7,2
ÞG-04	A	12	2549	41,9	37,1	4,8	21,7
ÞG-05B	A	12	1287	71,7	18,4	53,3	10,8
ÞG-06	C	18	2556	13,5	12,0	1,5	7,0
ÞG-07	C	18	2543	8,3	7,3	1,0	4,3
ÞG-09	B	18	2676	6,7	6,4	0,3	3,8
Allar holur			1968	178,8	106,6	72,2	62,4

3 Efnasamsetning jarðhitavökva

Breytingar á vermi og styrk nokkurra efna í vatni og gufu eru sýndar í Viðauka 2. Úr nýlegum sýnum voru valin einkennandi sýni fyrir holurnar og búin til meðalefnasamsetning fyrir gufu og vatn í Þeistareykjastöð og byggt á fyrirliggjandi afkastaferli. Samsetning gufu og vatns í sýnunum er sýnd í töflum 2 og 3.

Tafla 2 Efnasamsetning gufu úr holum

Hola	Sýni	Gufa	CO ₂	H ₂ S	H ₂	N ₂	CH ₄
		kg/s	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
ÞG-01	2015-05-20	13,1	1341	202	12,8	4,8	0,31
ÞG-03	2015-06-15	12,2	1101	611	29,3	26,9	0,12
ÞG-04	2015-06-16	37,1	274	883	51,2	15,7	0,63
ÞG-05B	2015-06-16	18,4	2377	425	4,9	59,3	1,23
ÞG-06	2015-06-16	12,0	1086	1066	45,6	14,5	0,15
ÞG-07	2015-06-15	7,3	5865	1179	34,4	143,9	3,29
ÞG-09	2014-10-30	6,4	929	665	22,9	46,7	1,79
Allar holur		106,6	1379	717	32,5	33,7	0,8

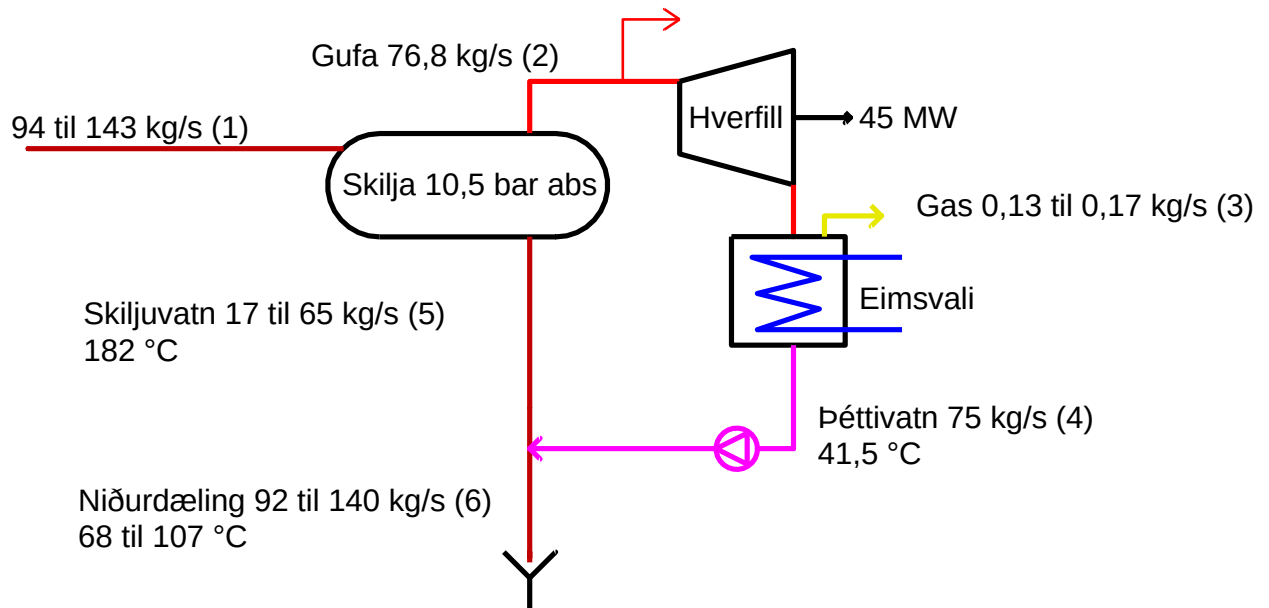
Tafla 3 Efnasamsetning skiljuvatns úr holum

Hola	Sýni	Vatn	pH/25°C	CO ₂	H ₂ S	SiO ₂	Na	K	Ca	Al	As
		kg/s		mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	µg/kg
ÞG-01	2015-05-20	9,4	8,71	9,3	5,7	815	111	23,8	0,23	1,38	0,9
ÞG-03	2015-06-15	1,9	8,83	10,6	24,2	1124	138	29,4	0,12	1,79	22,3
ÞG-04	2015-06-16	4,8	8,42	1,5	18,7	681	69	16,1	0,31	1,88	15,9
ÞG-05B	2015-06-16	53,3	9,04	32,2	23,9	690	131	23,4	0,40	1,93	0,5
ÞG-06	2015-06-16	1,5	8,58	7,2	28,4	982	143	30,0	0,53	0,29	70,9
ÞG-07	2015-06-15	1,0	8,72	52,9	43,6	1138	127	27,3	0,25	1,55	74,6
ÞG-09	2014-10-30	0,3	8,83	9,9	29,3	662	172	36,4	0,22	1,68	207,1
Allar holur		72,2		26,3	21,6	729	125	23,4	0,36	1,81	5,5

Vegna þess að aðeins hluti svæðisins hefur verið kannaður og að reynslusaga vinnslunnar er stutt þá er þessi meðalsamsetning háð nokkurri óvissu. Einnig er efnasamsetning gufu og vatns mjög breytileg milli borhola sem eykur óvissuna. Því eru reiknuð þrjú ólík tilfelli sem gætu komið upp þegar stöðinn fer í gang. Í fyrsta lagi er samsetningin reiknuð miðað við að allar holur verði tengdar, í öðru lagi er miðað við að vatnsmesta hola (ÞG-5B á borteigi A) verði ekki notuð sem og hola ÞG-09 (Tilfelli 1) og í þriðja lagi það tilfelli, þar sem kísilríkar holur (ÞG-03 og ÞG-07 á borteigi C) ásamt holu ÞG-09 verða ekki notaðar (Tilfelli 2).

4 Vinnsalurás 45 MW

Eftirfarandi mynd sýnir flæði í fyrirhugaðri 45 MW vinnsalurás í Þeistareykjastöð.



Mynd 2 Flæði í fyrirhuguð vinnsalurás í Þeistareykjastöð (45 MW vél).

Holur (1)

Frá holum streyma 100 til 178 kg/s af jarðhitavökva með 1853 til 2407 kJ/kg vermi, eftir því hvaða holur verða tengdar (sjá töflu 4). Þar af er skiljurennisli vegna gufunotkunar 45 MW vélar 94 til 143 kg/s.

Tafla 4 Vinnsla úr borholum

Tilfelli	Vermi	Holurennisli	Gufa	Skiljuvatn	Rafmagn
	kJ/kg	kg/s	kg/s	kg/s	MW
Allar holur	1968	178,8	106,6	72,2	62,4
1 - án ÞG-05B og ÞG-09	2407	100,3	81,8	18,5	47,9
2 - án ÞG-03, ÞG-07 og ÞG-09	1853	149,6	80,6	69,0	47,2

*) Stöðin mun aðeins nota 76,8 kg/s.

Gufa (2)

Stöðin mun nota 76,8 kg/s af gufu til framleiðslu á 45 MW af rafmagn. Þar af munu 1,8 kg/s notast í gufuþeysum. Eftirfarandi tafla sýnir áætlaða efnasamsetningu vinnslugufunnar sem streyma mun inn í stöð.

Tafla 5 Áætluð efnasamsetning vinnslugufu

		Allar holur	Tilfelli 1	Tilfelli 2
Gufa	kg/s	76,8	76,8	76,8
Gas	w%	0,22	0,20	0,18
CO ₂	mg/kg	1379	1189	1049
H ₂ S	mg/kg	717	786	695
H ₂	mg/kg	32,5	39,4	33,5
N ₂	mg/kg	33,7	26,9	23,7
CH ₄	mg/kg	0,8	0,7	0,6

Gas í gufu reiknast 0,18 til 0,22 % af massa. Ef þG-03, þG-07 og þG-09 verða ekki notaðar mun CO₂ styrkur minnka úr 1379 í 1049 mg/kg og H₂S styrkur úr 717 í 695 mg/kg.

Gas (3)

Frá gasdælum 45 MW vélar munu streyma 0,13 til 0,17 kg/s af gasi með samsetningu eins og sýnd er í Töflu 6.

Tafla 6 Áætluð efnasamsetning gass

		Allar holur	Tilfelli 1	Tilfelli 2		Allar holur	Tilfelli 1	Tilfelli 2
Gasflæði *)	kg/s	0,17	0,16	0,13	l/s	131	133	116
CO ₂	w%	63,8	58,2	58,2	vol%	45,2	38,3	39,0
H ₂ S	w%	33,1	38,5	38,6	vol%	29,9	32,6	32,5
H ₂	w%	1,5	1,9	1,9	vol%	23,1	27,7	26,9
N ₂	w%	1,6	1,3	1,3	vol%	1,7	1,4	1,4
CH ₄	w%	0,04	0,03	0,04	vol%	0,1	0,1	0,1

*) miðað við 76,8 kg/s gufu

Algengt er að andrúmsloft leki inn í eimsvala og mun gasið þá mengast súrefni. Það skiptir litlu máli nema til standi að blanda gasinu í niðurdælingarvatn til losunar í jarðhitageyminn.

Miðað við þessa samsetningu verður árleg (365 daga) gaslosun frá 45 MW stöð 2.540 til 3.340 tonn af CO₂, 1.682 til 1.904 tonn af H₂S og 79 til 96 tonn af H₂.

Losunin á hverja kílóvattstund verður á bilinu 6,4 til 8,5 g/kWh af CO₂ og 4,3 til 4,8 g/kWh af H₂S.

Þéttivatn (4)

Gufan þéttist í eimsvalanum við 41,5 °C hita og 100 mbar þrýsting (abs). Gasið verður dregið út í sambyggðu kerfi gasdæla og gufuþessa. Aðeins lítill hluti gassins leysist í þéttivatninu. Frá eimsvala munu streyma 75 kg/s af þéttivatni.

Reikningslega mun þéttivatnið innihalda um 10 til 12 mg/kg af CO₂, 16 til 19 mg/kg af H₂S og 0,2 mg/kg af NH₃ og sýrustig verður um pH 4,9. Miðað er við að eimsvalaþrýstingur sé 100 mbar og að hlutþrýstingur gassins þar af sé 20 mbar.

Tafla 7 Áætluð efnasamsetning þéttivatns

pH/25°C		4,9
CO ₂	mg/kg	10 - 12
H ₂ S	mg/kg	16 - 19
NH ₃	mg/kg	0,2

Þéttivatnið verður að öðru leiti efnasnautt og má losa á yfirborð eða í holur eða nota sem fæðivatn (áfyllingarvatn) í kælivatnshringrás stöðvar.

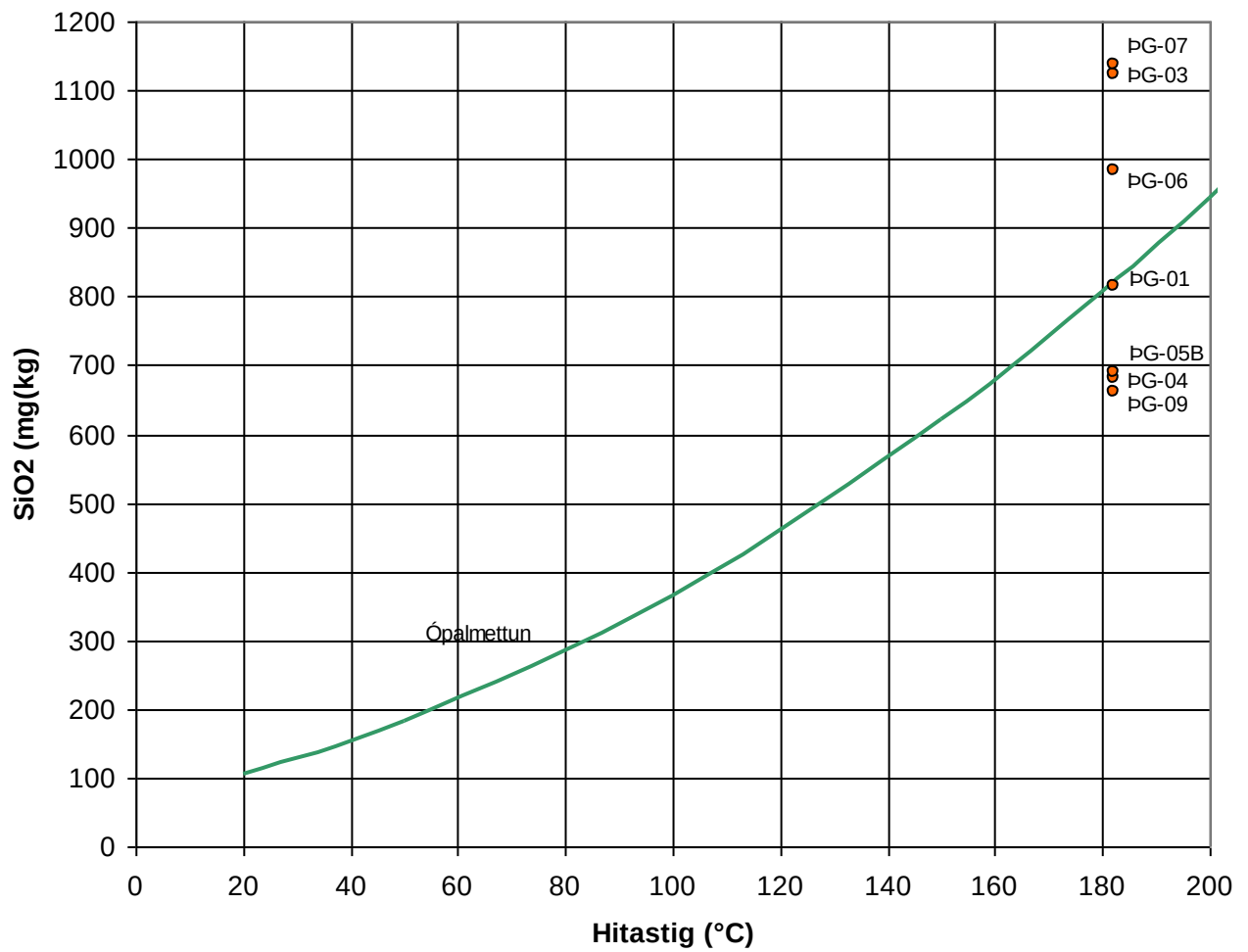
Skiljuvatn (5)

Skiljuvatnsrennsli miðað við 76,8 kg/s gufunotkun 45 MW vélar verður á bilinu 17,4 til 65,7 kg/s við 10,5 bar_{abs} þrýsting og 182 °C hita, háð hvaða holur verða tengdar gufuveitu. Áætluð samsetning er sýnd í í Töflu 8.

Efnasamsetning skiljuvatnsins er mjög hagstæð hvað varðar útfellingahættu annarra steinda en kísils s.s. anhydríts (CaSO₄) og kalks (CaCO₃).

Kísilstyrkur (SiO₂) er mjög mismunandi í skiljuvatni frá borholum. Langmestur styrkur er í skiljuvatni úr holum á borteigi C (þG-03, þG-06 og þG-07). Mun minni kísilstyrkur er í skiljuvatni úr holum þG-05B og þG-09. Kísilstyrkur í holu þG-09 hefur minnkað frá því henni var hleypt upp fyrst, en þá var hann áþekkur styrknum í holum á C-teigi. Styrkur kísils í skiljuvatni úr holu þG-01 er þar á milli. Kísilstyrkur er það mikill í holum á C-teigi að útfellingar munu verða í aðveituæðinni frá teignum. Þessi mikli styrkur getur einnig valdið vandræðum með niðurdælingarvökva, ef skiljuvatni frá þessum holum er veitt niður með öðru skiljuvatni.

Styrkur kísils í skiljuvatni frá holunum er sýndur á mynd 3. Þar sést að skiljuvatnið er yfirmettað kísli frá holum á C-teigi og skiljuvatn úr holu þG-01 er nánast á mettunarferlinum.



Mynd 3 Kísilmettun í skiljuvatni

Tafla 8 Efnasamsetning skiljuvatns

		Allar	T1	T2
Rennsli*)	kg/s	52,0	17,4	65,7
Hiti	°C	182,0	182,0	182,0
pH/25°C		8,92	8,62	9,00
Basi (total-NaOH)	mg/kg	116,4	79,7	124,3
CO ₂	mg/kg	26,3	9,5	26,4
H ₂ S	mg/kg	21,6	14,8	21,2
SiO ₂	mg/kg	729	842	713
Li	mg/kg	0,19	0,29	0,20
Na	mg/kg	124,7	106,2	124,0
K	mg/kg	23,4	23,1	23,1
Ca	mg/kg	0,36	0,26	0,37
Mg	mg/kg	0,001	0,002	0,001
Fe	mg/kg	0,005	0,009	0,005
Mn	mg/kg	0,000	0,001	0,000
Ba	mg/kg	0,000	0,000	0,000
Sr	mg/kg	0,002	0,000	0,002
Al	mg/kg	1,81	1,47	1,81
F	mg/kg	1,40	1,31	1,40
Cl	mg/kg	74,5	112,6	72,9
Br	mg/kg	0,21	0,30	0,21
SO ₄	mg/kg	19,2	4,9	19,7
B	mg/kg	1,39	3,16	1,25
PO ₄	mg/kg	0,001	0,002	0,000
Hg	µg/kg	0,000	0,000	0,000
Zn	µg/kg	0,48	0,52	0,50
Cu	µg/kg	0,10	<0,09	0,10
Cr	µg/kg	0,05	0,06	0,04
Ni	µg/kg	<0,042	<0,034	<0,048
Mo	µg/kg	1,99	5,67	1,96
Pb	µg/kg	<0,010	<0,010	<0,010
As	µg/kg	5,55	16,45	3,11

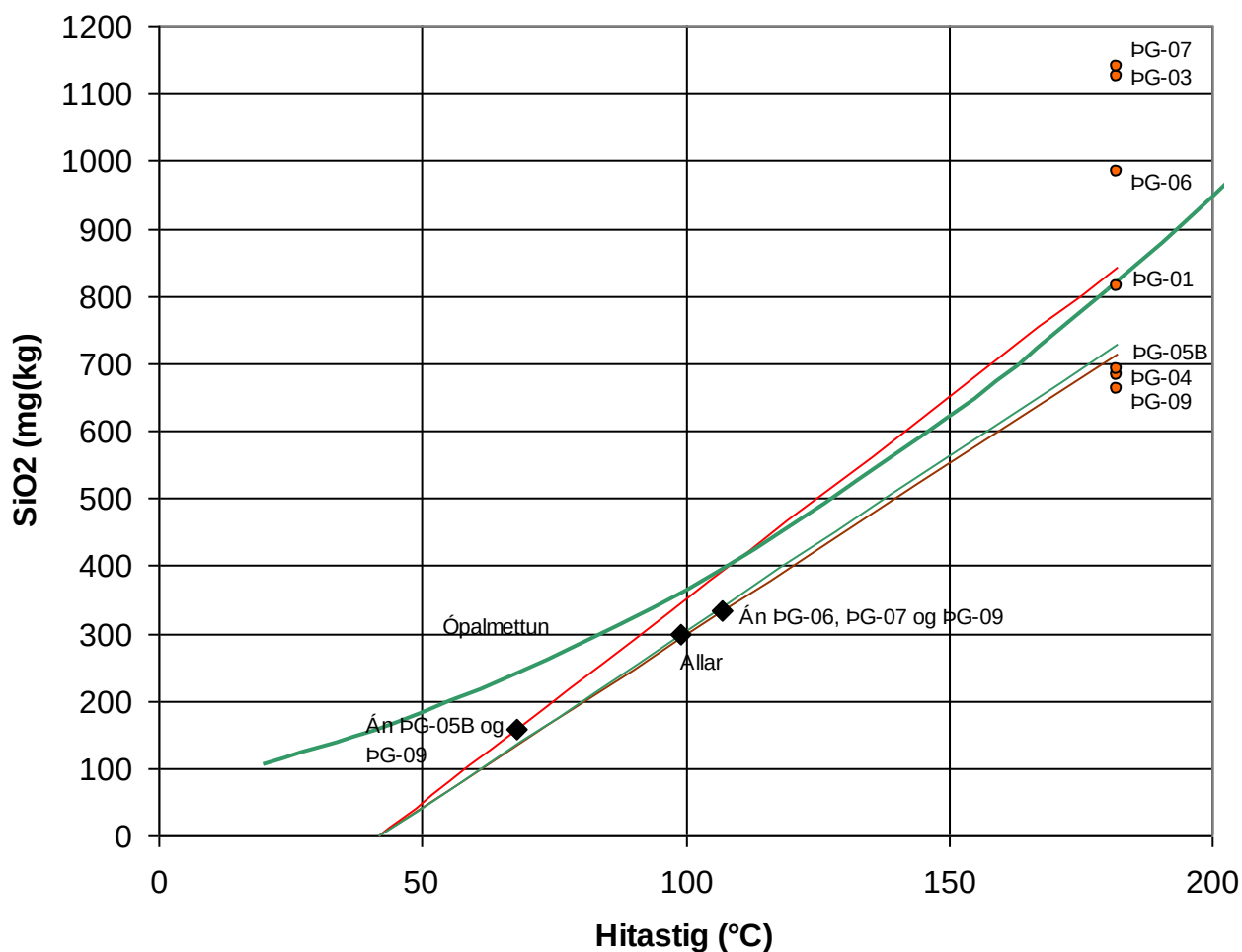
*) miðað við 76,8 kg/s gufu

Niðurdælingarblanda (6)

Ef öllu þéttivatni (41,5 °C) og skiljuvatni (182 °C) verður blandað saman fæst 68 til 107 °C heit blanda eftir því hvaða holur eru nýttar. Styrkur efna minnkar hlutfallslega og verður eins og sýnt er í töflu 9.

Mynd 4 sýnir styrk kísils í blöndu þéttivatns og skiljuvatns úr holunum. Niðurdælingarblandan verður útfellingafrí ef holum ÞG-03, ÞG-07 og ÞG-09 er sleppt (Tilfelli 2) en hún verður yfirmettuð kísli ef holu ÞG-05B og ÞG-09 er sleppt (Tilfelli 1).

Til útskýringar er þetta sýnt á mynd 2. Þar sýnir græni ferillinn jafnvægisstyrk ópals á móti hita. Beinu línurnar sýna blöndunarferil þéttivatns (41,5°C) og skiljuvatns (182°C). Blöndunarferillinn liggur ætíð undir mettunarferlinum í tilfelli 2 (án ÞG-03, ÞG-07 og ÞG-09) þannig að engin hætta á að vera á útfellingu kísils þó þessum vökvum sé losað saman í niðurrennslisholur. Í tilfelli 1 verður blandan yfirmettuð, ef blöndunarhiti er hærri en 100 °C.



Mynd 4 Kísilmettun niðurdælingarblöndu

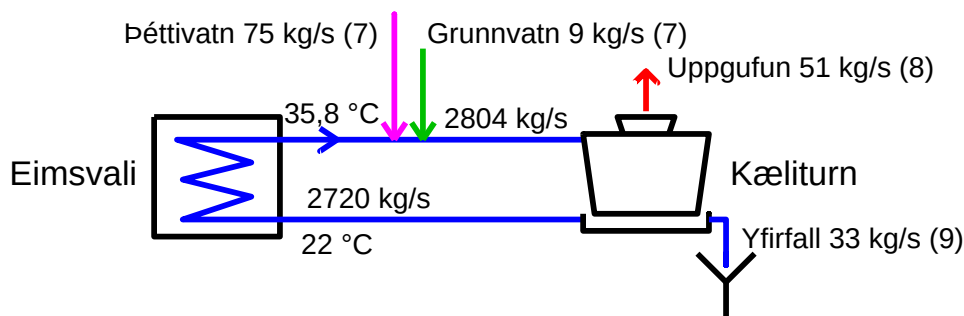
Tafla 9 Efnasamsetning niðurdælingarblöndu

		Allar	T1	T2
Rennsli *)	kg/s	127,0	92,4	140,7
Hiti	°C	99,0	68,0	107,1
pH/25°C				
Basi (total<NaOH)	mg/kg	47,7	15,0	58,1
CO ₂	mg/kg	18,0	9,6	17,8
H ₂ S	mg/kg	18,6	18,0	19,6
SiO ₂	mg/kg	299	159	333
Li	mg/kg	0,08	0,05	0,09
Na	mg/kg	51,1	20,0	57,9
K	mg/kg	9,6	4,3	10,8
Ca	mg/kg	0,15	0,05	0,17
Mg	mg/kg	0,000	0,000	0,001
Fe	mg/kg	0,002	0,002	0,002
Mn	mg/kg	0,000	0,000	0,000
Ba	mg/kg	0,000	0,000	0,000
Sr	mg/kg	0,001	0,000	0,001
Al	mg/kg	0,74	0,28	0,85
F	mg/kg	0,57	0,25	0,65
Cl	mg/kg	30,5	21,2	34,1
Br	mg/kg	0,09	0,06	0,10
SO ₄	mg/kg	7,9	0,9	9,2
B	mg/kg	0,57	0,60	0,58
PO ₄	mg/kg	0,000	0,000	0,000
Hg	µg/kg	0,000	0,000	0,000
Zn	µg/kg	0,20	0,10	0,23
Cu	µg/kg	0,04	<0,02	0,05
Cr	µg/kg	0,02	0,01	0,02
Ni	µg/kg	<0,017	<0,006	<0,022
Mo	µg/kg	0,81	1,07	0,91
Pb	µg/kg	<0,004	<0,002	<0,005
As	µg/kg	2,27	3,10	1,45

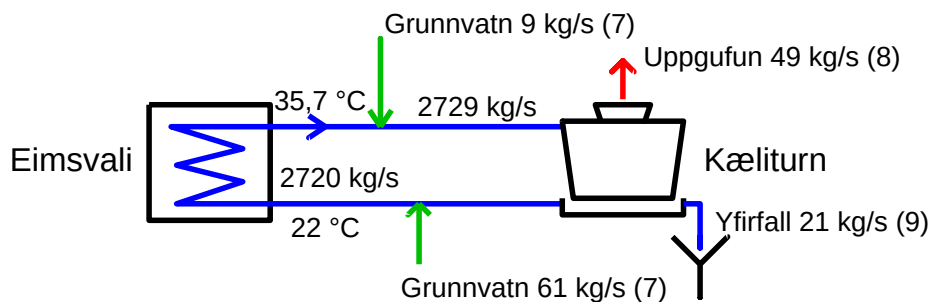
*) miðað við 76,8 kg/s gufu

5 Kælivatnshringrás

Tveir höfuðkostir eru við val á fyrirkomulagi kælingar og þéttingar gufunnar í eimsvala. Í fyrsta lagi er um svokallaða óbeina eimþéttingu að ræða, en þá kemst gufan ekki í snertingu við kælivatnið. Í öðru lagi er um að ræða beina eimþéttingu eins og í Kröflustöð, en þá er kælivatninu úðað inn í gufun. Í Þeistareykjastöð verður notuð óbein eimþétting. Áfylling getur verið þéttivatn úr eimsvala eða grunnvatn úr vatnsveitu virkjunar. Í Þeistareykjastöð er gert ráð fyrir að hægt verði að nota hvort heldur sem er grunnvatn eða þéttivatn svo og blöndu af hvoru tveggja. Flæði í kælírásinni fyrir báða möguleikana er sýnt á myndum 5 og 6.



Mynd 5 Kælihringrás með þéttivatnsáfyllingu



Mynd 6 Kælihringrás með ferskvatnsáfyllingu

Áfylling (7)

Annars vegar verður grunnvatn (9 l/s) fyrst notað til gaskælingar en því síðan veitt inn í kælivatnshringrásina ásamt öllu þéttivatni frá eimsvala (75 l/s). Þéttivatnið frá eimsvala getur innihaldið allt að 19 mg/kg H₂S, þar sem það verður ekki afgasað.

Hins vegar verður öllu þéttivatni dælt inn í niðurrennslisveitu til uppblöndunar í skiljuvatn. Ferskvatn úr vatnsveitu verður notað til gaskælingar og áfyllingar í kælihringrásina (70 l/s). Ef eingöngu ferskvatn er notað til áfyllingar þá verður rásin brennisteinsfrí. Þess verður þó að gæta að gasútblastur frá stöðinni komist ekki nálægt vatnshringrásinni í kæliturninum.

Uppgufun um kæliturn (8)

Uppgufun er breytileg og fer eftir lofthita og rakastigi. Hönnun Fuji gerir ráð fyrir að uppgufun verði 50,8 kg/s að jafnaði ef þéttivatn verður notað til áfyllingar en 49 l/s ef notað verður grunnvatn eingöngu. Hluti gassins, sem uppleyst er í þéttivatninu, mun fara með gufunni út í andrúmsloft. Erfitt er að meta hvernig hlutfallið verður en það ræðst meðal annars af því hvernig efnameðhöndluninni verður háttað á vatni í kælivatnshringrás. Ef sýrustigið (pH) er hátt þá helst gasið frekar í lausn, hvarfast við súrefni og fer út með yfirfallinu en losnar úr lausn ef það er lágt og fer út með uppgufuninni.

Ef öllu þéttivatninu, sem inniheldur allt að 19 mg/kg H₂S, verður veitt í kælivatnshringrásina munu um 45 tonn af H₂S á ári losna þessa leið sem er um 1,3% af heildarlosuninni. Engin losun brennisteins verður um kæliturn ef eingöngu ferskvatn er notað til áfyllingar.

Yfirfall kæliturns (9)

Yfirfallsrennsli ræðst af áfyllingarrennsli og uppgufun en hún fer eftir lofthita og rakastigi loftsins. Í hönnun Fuji er gert ráð fyrir að yfirfall verði 33 kg/s ef þéttivatn verður notað til áfyllingar en 21 kg/s ef ferskvatn verður notað.

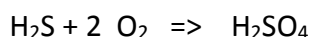
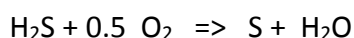
Ef þéttivatn er notað til áfyllingar á kælikerfi með óbeinni eimþéttingu myndast brennisteinn á föstu formi. Vegna lítils styrks H₂S í þéttivatninu er þó ekki ástæða til að ætla að það verði í miklu magni, en þó getur það gert vatnið óhæft til blöndunar í skiljuvatn og losunar í holur því brennisteinsagnir geta stíflað æðar.

Ef ferskvatn er notað til áfyllingar þá verður brennisteinsmyndun ekki vandamál. Aftur á móti þá mun styrkur steinefna í vatninu aukast vegna uppgufunar og ef áfyllingarrennsli er lítið þá getur styrkur steinefna orðið það mikill að útfellingar myndast. Efnasamsetning áfyllingarvatnsins ræður því hversu hátt styrkingarhlutfall er mögulegt.

Þetta var rannsakað í sérstakri tilraun með grunnvatn úr ÞR-9 á Þeistareykjum (Trausti Hauksson 2013, LV-2013/051). Áætlað er að holur ÞV-1 og ÞV-2 verða notaðar í vatnsveitu stöðvarinnar, en samsetning vatnsins úr þeim er nánast eins (sjá töflu 10).

Samkvæmt tilrauninni má styrkur steinefna í kælikerfinu ekki aukast meira en 2,9-falt svo að tryggt sé að ekki verði kyrning og engar kalkútfellingar myndist í kælivatnshringrásinni. Miðað við áætlaða 49 kg/s uppgufun frá 45 MW vél þarf rennsli áfyllingarvatns í kælivatnshringrásina að vera lágmark 75 kg/s. Áfylling samkvæmt áætlun vélaframleiðanda, sjá viðauka 1, er áætluð 70 kg/s. Mælt er með að auka hana í 75 kg/s.

Kælivatnið er mettað súrefni andrúmslofts þegar það streymir úr kælivatnsþró. Ef kælivatnið inniheldur að auki H₂S hvarfast það við súrefnið og myndar brennistein og brennisteinssýru.



Þetta gerist bæði kemískt en einnig fyrir tilstuðlan brennisteinsörvera sem lifa í kælikerfinu. Þannig virkar brennisteinninn sem fóður fyrir örverugróður, sem getur sest á yfirborð varmaskiptaflata í eimsvölum og minnkað afl orkuversins.

Til þess að halda sýrustiginu innan marka er bætt lúti (NaOH) í vatnið. Ekki er reiknað með að þurfi verulegt magn af lút fyrir kælikerfi með óbeinni eimþéttingu og þéttivatnsáfyllingu, því lítið H_2S mun leysast í vatninu og mynda sýru og þá sérstaklega ef þéttivatnið er afgasað. Ef ferskvatn er notað til áfyllingar mun NaOH íblöndun verða óþörf.

Til þess að hamla örveruvexti er bætt klór í kælivatnið. Það er gert einu sinni á dag ("shock treatment") þannig að örverur nái ekki að festa rætur. Miðað er við að klórstyrkur (Cl_2) nái a.m.k. 2 ppm styrk í hvert sinn og það ástand vari í um 1 klst.

Til þess að meðhöndla kælikerfið einu sinni á dag er áætlað að þurfi um 25 kg af 15 % klórlausn eða 9 tonn á ári.

Tafla 10 Efnasamsetning grunnvatns

Hola		ÞR-09	ÞV-01
Tími		2013-09-11	2015-06-01
Númer		13085	15041
Hiti	°C	7,2	8,5
pH		8,22	7,27
T-pH	°C	21,2	8,7
Rafleiðni	µS/cm	119,6	129,8
T-Cond	°C	7,2	
CO ₂	mg/kg	31	31,9
SO ₄	mg/kg	8,97	13,92
SiO ₂	mg/kg	25	24,8
NO ₃	mg/kg	0,089	0,129
F	mg/kg	0,091	0,136
Na	mg/kg	10,6	11,0
Mg	mg/kg	3,6	3,43
Al	mg/kg	0,002	0,011
P	mg/kg		0,069
Cl	mg/kg	5,74	5,17
K	mg/kg	1,06	1,276
Ca	mg/kg	7,04	7,99
V	µg/kg		32,5
Cr	µg/kg	0,937	1,16
Mn	mg/kg	0	0,001
Fe	mg/kg	0,003	0,014
Co	µg/kg		0,048
Ni	µg/kg	0,185	0,554
Cu	µg/kg	1,05	0,68
Zn	µg/kg	0,299	0,405
As	µg/kg		<0,2
Br	mg/kg		0
Sr	mg/kg	0,007	0,008
Mo	µg/kg	0,168	0,218
Cd	µg/kg		<0,002
Ba	µg/kg		0,12
Hg	µg/kg		0,004
Pb	µg/kg		0,069

6 Nýting skiljuvatnsvarma

Skiljuvatnið er 182 °C heitt og því gæti verið álitlegt að nýta varman úr því. Jarðhitasvæðið er ekki langt frá Húsavík og því ekki ólíklegt að áhugi verði á nýtingu varmans til iðnaðaruppbyggingar þar. Einnig kemur til greina að sjóða skiljuvatnið aftur í lágþrýstiskilju og nýta gufuna í lágþrýstri gufuvél til aukinnar rafmagnsframleiðslu eða nýta það til rafmagnsframleiðslu í lokaðri ORC orkuveri.

Vegna mikis kísilstyrks í skiljuvatni frá holum á C-teigi gæti reynst torvelt að nýta það í þessum tilgangi. Álitlega er að nýta skiljuvatn frá holum á A-teigi. Þá gæti þurft allt þéttivatnið frá stöðinni til þess að þynna kælt skiljuvatnið og gera það niðurrennslishæft.

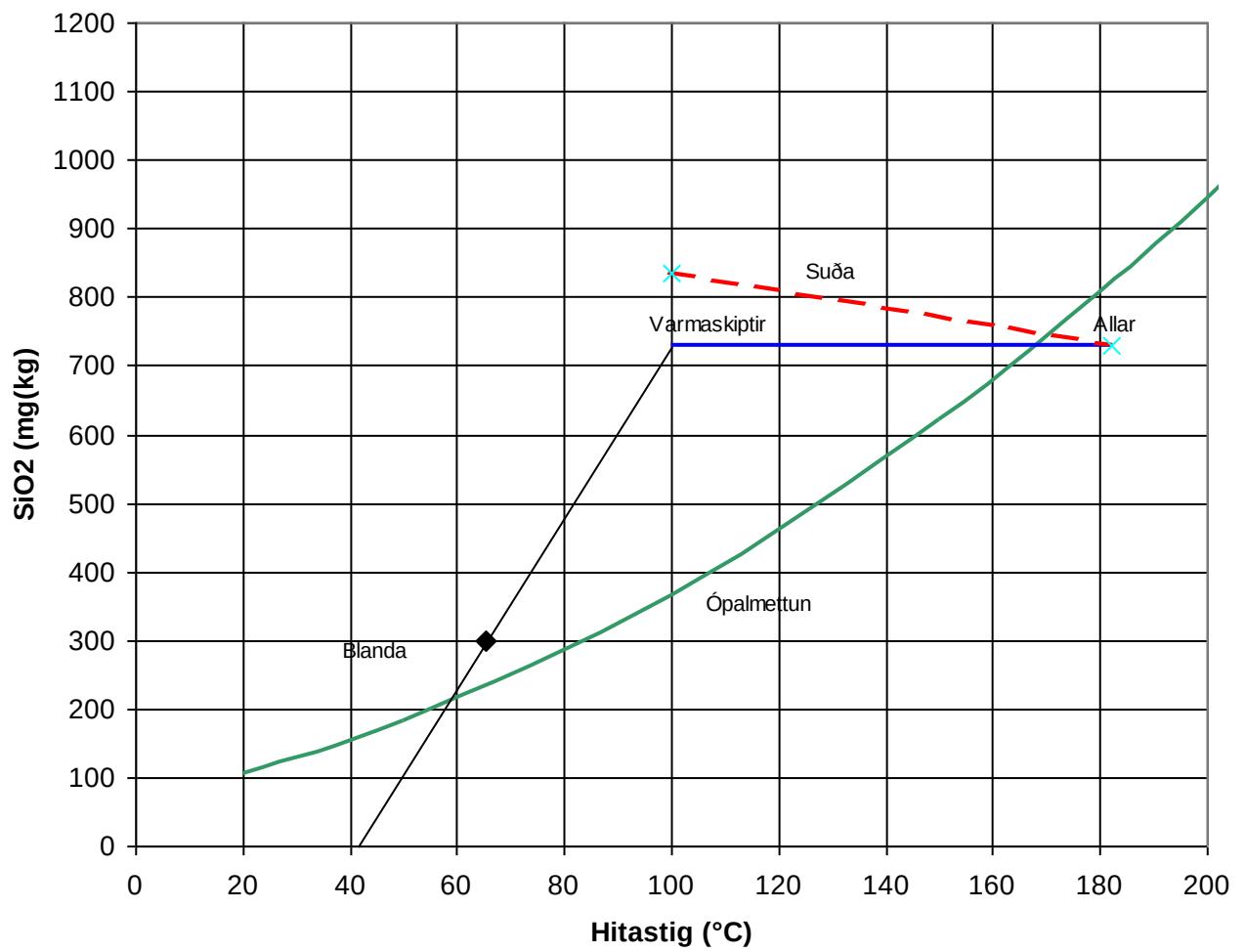
Eftirfarandi mynd sýnir yfirmettun kísils sem verður í skiljuvatninu (allar holur) við suðuna (rauður brotaferill). Við 100 °C verður SI skiljuvatnsins ("saturation index" þar sem $SI = 1.00$ við mettnarástand) jafnt og 2,29. Það er nokkuð hátt gildi og mikil hætta á kísilútfellingum úr slíkum vökva.

Ef skiljuvatnið er kælt niður í varmaskipti (blá brotalína) niður í 100 °C þá verður minni kísilyfirmettun ($SI = 2,00$).

Reynsla er fyrir því að nýta skiljuvatn sem inniheldur 800 mg/kg kísil í Nesjavallavirkjun til upphitunar. Það hefur gengið án verulegra kísilútfellinga. Það er því vel mögulegt að slíkt verði einnig raunin á Þeistareykjum en þó vissara að sannreyna það með tilraunum.

Ef vatnið, eftir kælingu í 100 °C, er blandað saman við allt það þéttivatn sem til fellur verður hiti blöndunnar 65 °C og $SI = 1,27$ sem er enn nokkur yfirmettun. Það er óvarlegt að láta slíka blöndu renna í borholur án sérstakra ráðstafana, eins og t.d.á Nesjavöllum, en þar er kísillinn í skiljuvatninu látinn fjölfiðast áður en þéttivatninu er blandað í það. Þannig er komið í veg fyrir útfellingar í niðurdælingarholum (Ingvi Gunnarsson o.fl. 2002).

Stefna ætti að því að rannsaka þetta betur strax eftir að stöðin verður gangsett og skiljuvatn verður fánlegt frá stöðinni til prófana á útfellingum kísils í tilraunabúnaði þeim sem Landsvirkjun hefur yfir að ráða.



Mynd 7 Nýting skiljuvatnsvarma.

7 Helstu niðurstöður

Meðalsamsetning gufu og skiljuvatns var reiknuð fyrir áætlaða 45 MW vél. Í fyrsta lagi var samsetningin reiknuð miðað við að allar holur verði tengdar, í öðru lagi er miðað við að vatnsmesta holan (ÞG-5B á borteigi A) verði ekki notuð sem og hola ÞG-09 og í þriðja lagi það tilfelli, þar sem kísilríkar holur (ÞG-03 og ÞG-07 á borteigi C) verða ekki notaðar sem og ÞG-09.

Gas í gufu reiknast 0,18 til 0,22 % af massa. Frá gasdælum 45 MW vélar munu streyma 0,13 til 0,17 kg/s af gasi með samsetningu í kringum CO₂ 58 %, H₂S 39 % og H₂ 2 w%.

Árleg gaslosun frá 45 MW vél verður 2.540 til 3.340 tonn af CO₂, 1.682 til 1.904 tonn af H₂S og 79 til 96 tonn af H₂. Losunin á hverja kílóvattstund verður á bilinu 6,4 til 8,5 g/kWh af CO₂ og 4,3 til 4,8 g/kWh af H₂S.

Skiljuvatnsrennsli miðað við 76,8 kg/s gufunotkun 45 MW vélar verður á bilinu 17,4 til 65,7 kg/s við 10,5 bar_{abs} þrýsting og 182 °C hita.

Kísilstyrkur er mjög mismunandi í skiljuvatni frá borholum. Lang mestur styrkur er í skiljuvatni úr holum á borteigi C (ÞG-03, ÞG-06 og ÞG-07). Mun minni styrkur er í skiljuvatni úr holum ÞG-05B og ÞG-09. Skiljuvatn úr holu ÞG-01 er þar á milli. Kísilstyrkur er það mikill í holum á C-teigi að útfellingar munu verða í aðveituæð frá teignum. Þessi mikli styrkur getur einnig valdið vandræðum með niðurdælingarvökva ef skiljuvatni frá þessum holum er veitt niður með öðru skiljuvatni.

Ef öllu þéttivatni og skiljuvatni verður blandað saman fæst 68 til 107 °C heit blanda eftir því hvaða holur eru nýttar. Niðurdælingarblandan verður yfirmettuð kísli ef holu ÞG-05B er sleppt.

Efnasamsetning skiljuvatnsins er hagstæð hvað varðar útfellingahættu annarra steinda s.s. anhydrits (CaSO₄) og kalks (CaCO₃).

Ef skiljuvatnið, eftir kælingu í 100 °C, er blandað við allt það þéttivatn sem til fellur verður hiti blöndunnar 65 °C og nokkuð mikil kísilyfirmettun. Nauðsynlegt gæti því reynst að losa skiljuvatn frá holum á C-teigi sérstaklega ef nýta á skiljuvatnsvarmann.

Stefna ætti að því að rannsaka þetta betur strax eftir að stöðin verður gangsett og skiljuvatn verður fánlegt til prófana á útfellingum kísils í tilraunstöð þeirri sem Landsvirkjun hefur yfir að ráða.

Ef skiljuvatnið verður nýtt til rafmagnsframleiðslu verður óhjákvæmilegt, til þess að koma í veg fyrir útfellingar, að nýta allt þéttivatn frá stöðinni til íblöndunar í niðurdælingarvatn. Þéttivatn til þessara nota verður að vera súrefnisfrítt og má því ekki nota fyrst í kælihringrás.

Styrkur steinefna í grunnvatni í kælivatnshringrás má ekki aukast meira en 2,9-falt svo að tryggt sé að engar kalkútfellingar myndist. Miðað við áætlaða 49 kg/s uppgufun í kæliturni frá 45 MW vél þarf rennsli áfyllingarvatns í kælivatnshringrásina að vera lágmark 75 kg/s en er áætlað 70 kg/s. Mælt er með að auka hana í 75 kg/s.

8 Heimildir

Ingvi Gunnarsson, Trausti Hauksson og Stefán Arnórsson 2002. NESJAVALLAVIRKJUN Tilraunir til að hindra útfellingu kísils úr affallsvatninu. Raunvísindastofnun Háskólans: RH-02-2002. Janúar 2002 104 s.

Mannvit 2011. Þeistareykjavirkjun verkhönnun 2011. Útgáfa 1. LV-2011-065 Þeistareykir ehf - Landsvirkjun Júní 2011, 110 s.

Halldór Ármannsson og Magnús Ólafsson 2010: *Háhitaholur á Þeistareykjum. Efnasamsetning vökva og gufu í blástursprófunum 2002-2008*. Unnið fyrir Þeistareyki ehf. ÍSOR-2010/082. Verknr.: 522020. Desember 2010, 25s.

Trausti Hauksson 2011. *Bjarnarflagsvirkjun. Vinnslueiginleikar gufu og vatns úr borholum*. Landsvirkjun skýrsla LV-2011/063. Apríl 2011 25s.

Trausti Hauksson 2011. *Þeistareykjavirkjun. Vinnslueiginleikar gufu og vatns úr borholum*. Landsvirkjun skýrsla LV-2011/123. September 2011 20s.

Finnbogi Óskarsson 2011. Háhitaholur á Þeistareykjum Efnasamsetning vökva og gufu 2011. Unnið fyrir Þeistareyki ehf. ÍSOR-2011/068. Desember 2011 20s.

Trausti Hauksson 2013. *Þeistareykjavirkjun. Prófun ferskvatns fyrir kælivatnshringrás virkjunar*. Landsvirkjun skýrsla LV-2013/051. Apríl 2013 15s.

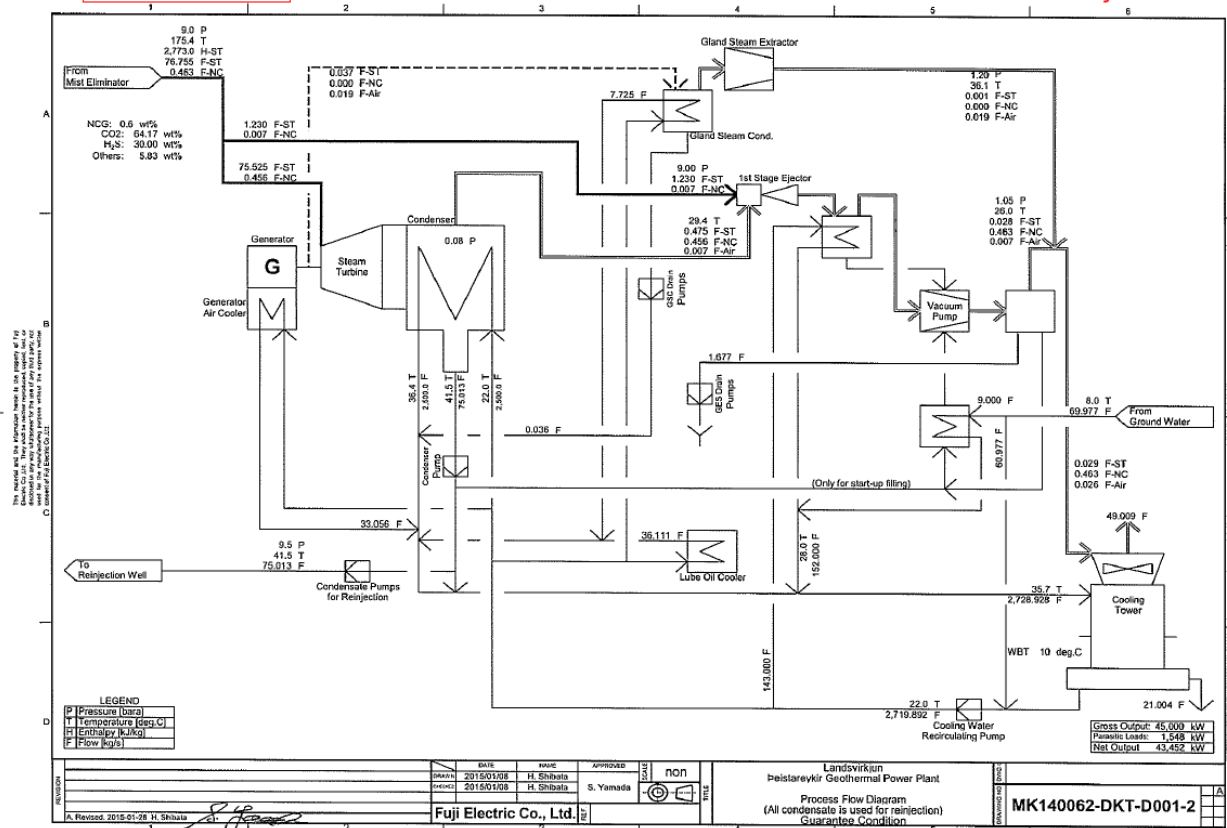
Egill Júlíusson 2015. Aflferlar THR. Excel skjal með samantekt á afköstum borhola á Þeistareykjum. 10 vinnuskjöl. 15. júlí 2015.

Ásgerður K. Sigurðardóttir, Helgi Arnar Alfreðsson og Júlía Björke 2012 til 2015. Niðurstöður efnagreininga og afkastamælinga borholna á Þeistareykjum í ViewData 24. ágúst 2015..

Viðauki 1 Flæði í Þeistareykjastöð, 45 MW Fuji vél

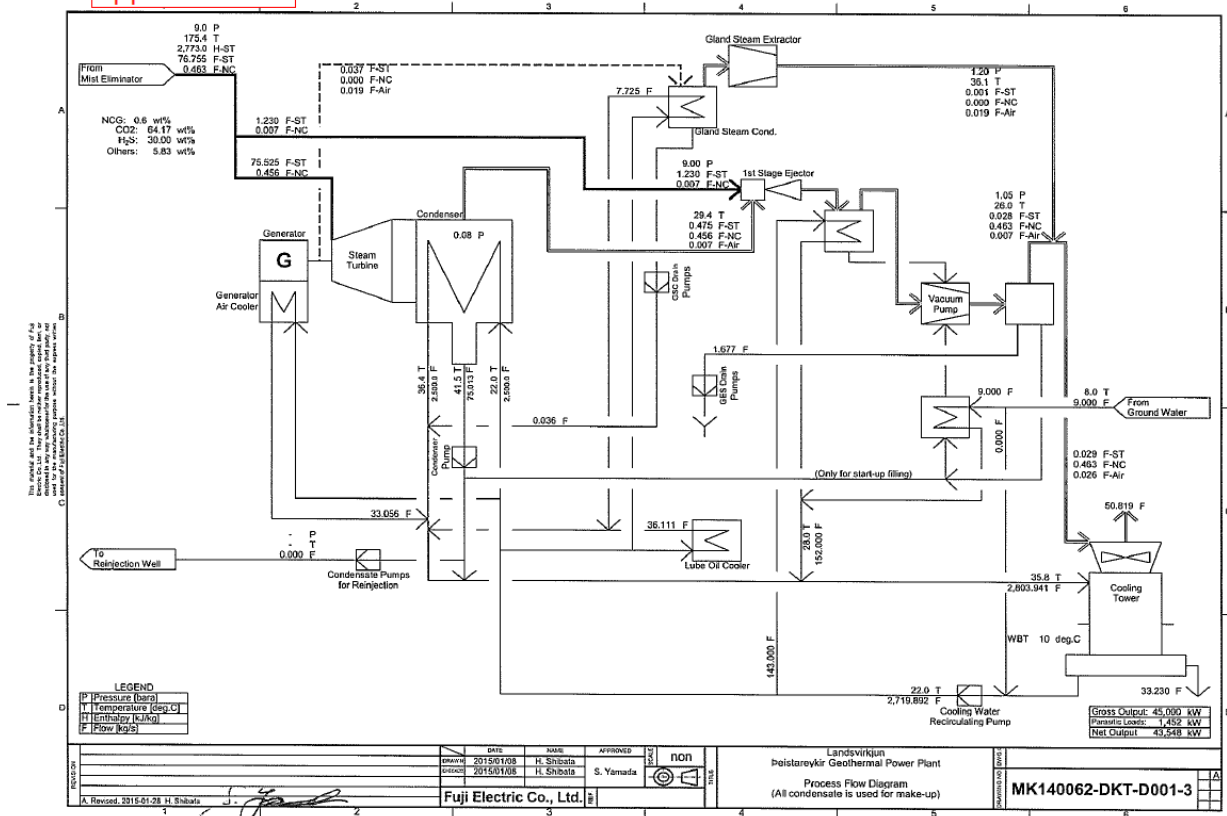
Appendix PP

All Condensate to Reinjection

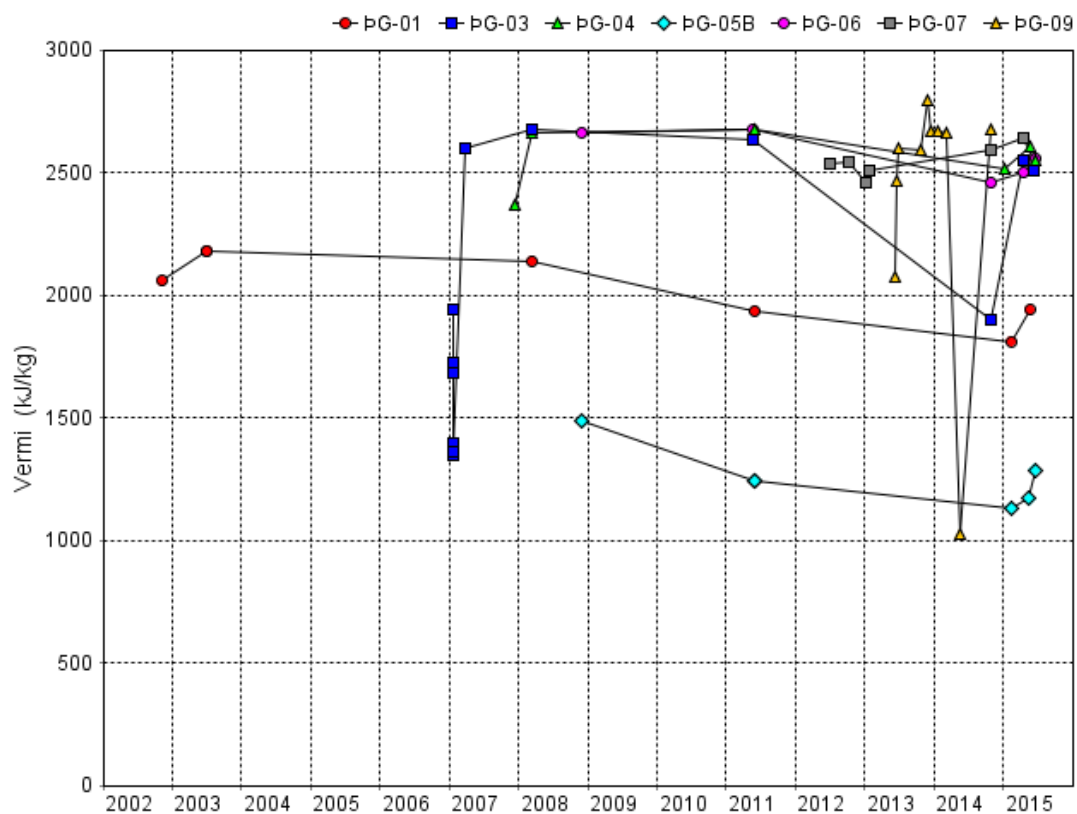


Appendix PP

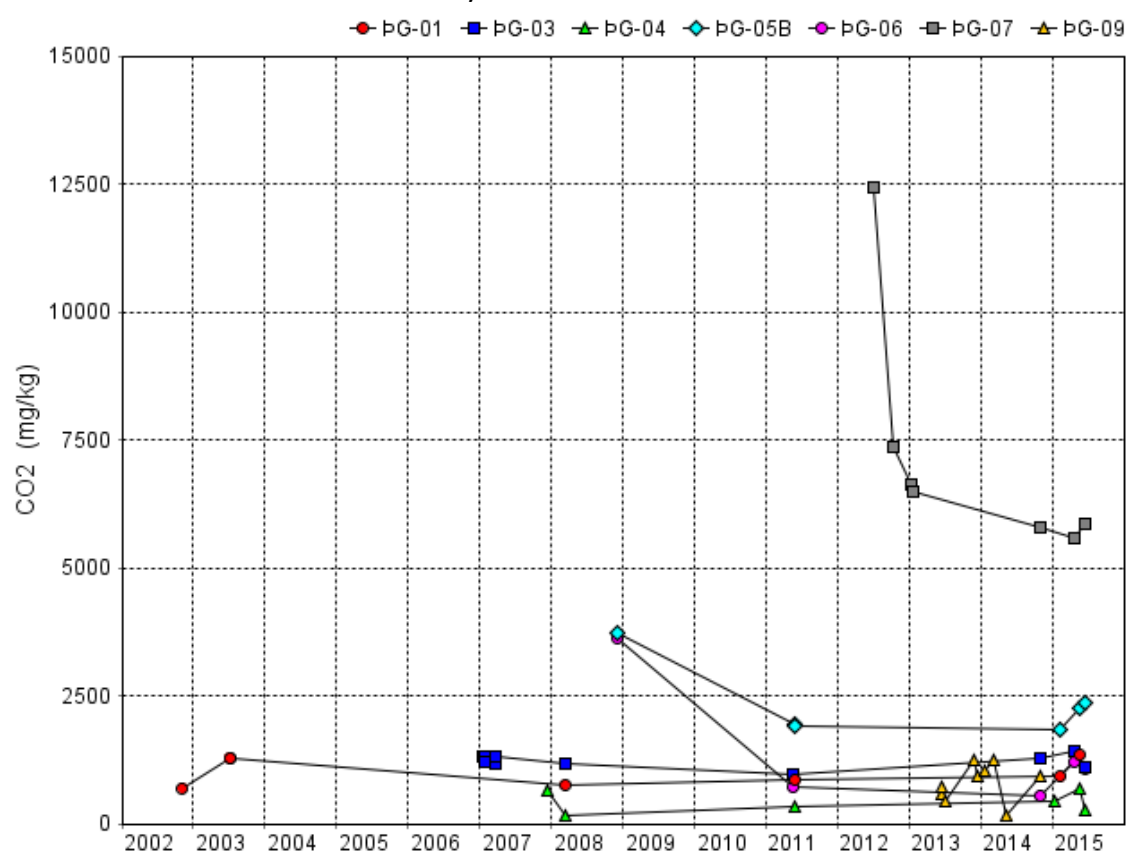
All Condensate to Make-up



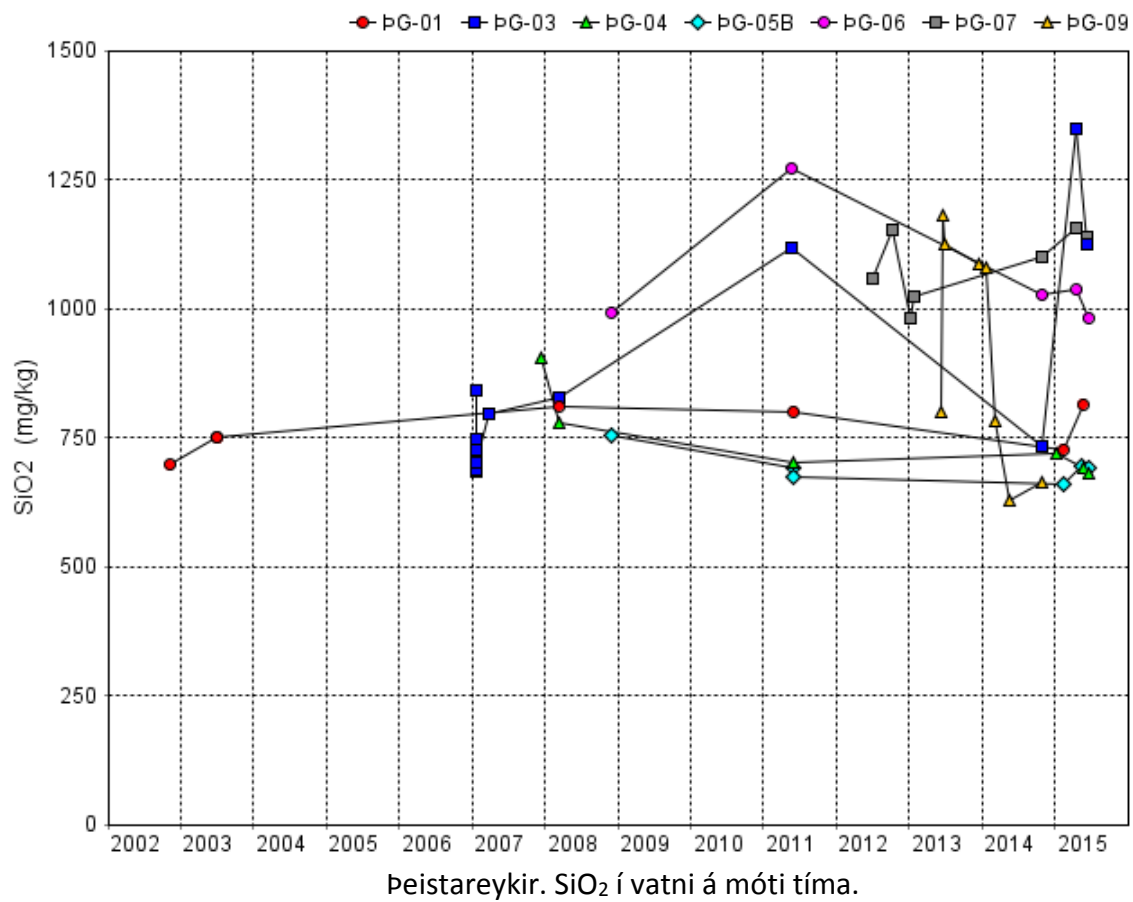
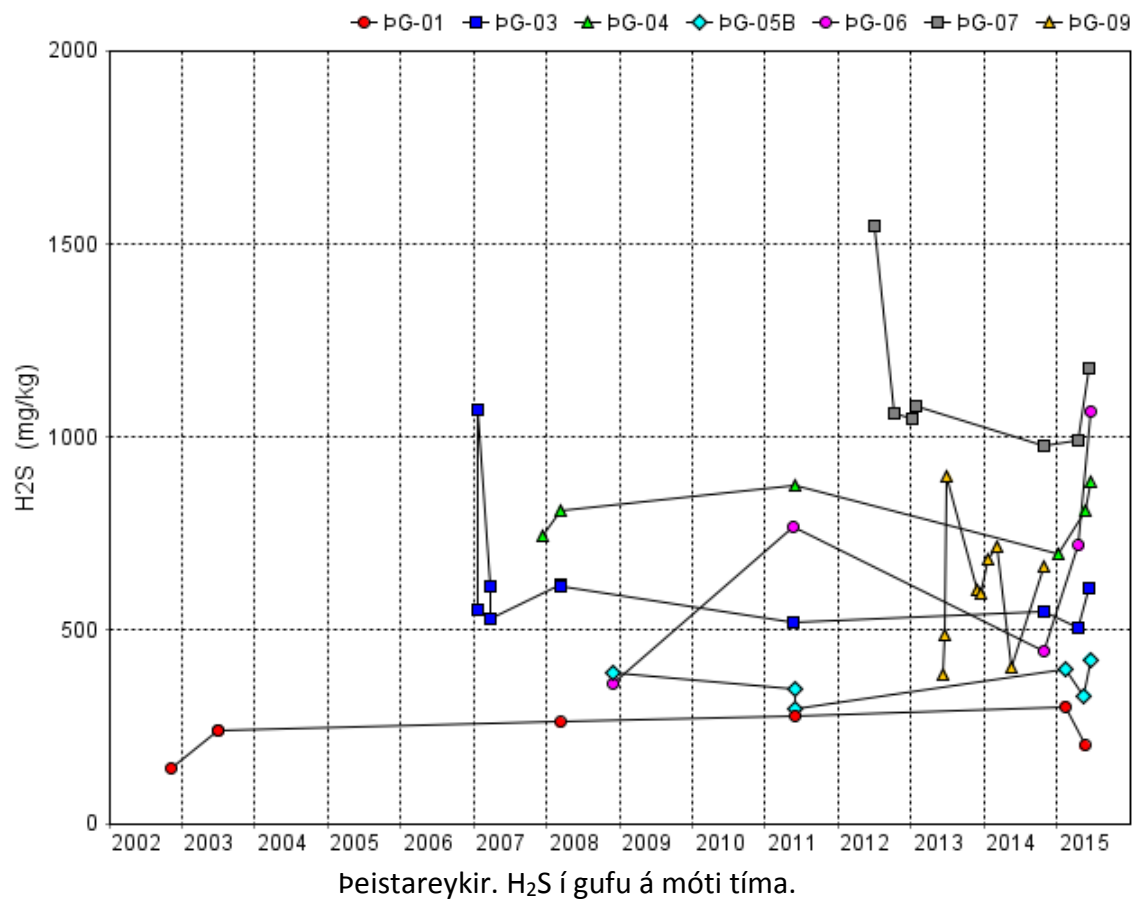
Viðauki 2 Vermis og efnabreytingar í holum



Þeistareykir. Vermis á móti tíma.



Þeistareykir. CO₂ í gufu á móti tíma.





Landsvirkjun

Háaleitisbraut 68
103 Reykjavík
landsvirkjun.is

landsvirkjun@lv.is
Sími: 515 90 00

