



Landsvirkjun

LV-2020-010

Peistareykir, Krafla og Bjarnarflag

Afköst borhola og efnainnihald vatns og
gufu í borholum og vinnslurás árið 2019.

Lykilsíða



Skýrsla LV nr: LV-2020-010

Dags: 24. febrúar 2020

Fjöldi síðna: 72

Upplag: 5

Dreifing:

- Birt á vef LV
 Opin
 Takmörkuð til

Titill: Þeistareykir, Krafla og Bjarnarflag. Afköst borhola og efnainnihald vatns og gufu í borholum og vinnslurás árið 2019.

Höfundar/fyrirtæki: Trausti Hauksson

Verkefnisstjóri: Steinn Ágúst Steinsson

Unnið fyrir: Landsvirkjun

Samvinnuaðilar: Kemía, samningur 2396

Útdráttur: Skýrslan fjallar um árlegt eftirlit með borholum og vinnslurás orkuveranna á Þeistareykjum, við Kröflu og í Bjarnarflagi. Mæliniðurstöður eru birtar fyrir allar borholur sem voru blásandi þegar sýnin voru tekin. Fjallað er um breytingar á afköstum borhola og á styrk efna í borholuvatni og gufu á milli ára. Mat er lagt á útfellingahættu í gufuveitu og niðurdælingarholum. Birtar eru mælingar á efnastyrk frárennslisvatns og útblástursgass frá stöðvunum.

Lykilorð: Þeistareykir, Krafla og Bjarnarflag 2019. Efnasamsetning strauma í vinnslurás. Afköst borhola. Efnainnihald vatns og gufu. Efnasamsetning og flæði frárennslis og útblástursgass.

ISBN nr:

Samþykki verkefnisstjóra
Landsvirkjunar

Peistareykir, Krafla og Bjarnarflag

Afköst borhola og efnainnihald vatns og
gufu í borholum og vinnslurás árið 2019.

EFNISYFIRLIT

1	INNGANGUR	6
2	ÞEISTAREYKIR	7
2.1	AFKASTAMÆLINGAR	8
2.1.1	<i>Afköst borhola</i>	8
2.2	EFNAMÆLINGAR	12
2.2.1	<i>Vatn og gufa úr borholum</i>	12
2.2.2	<i>Vinnslurás</i>	23
2.2.3	<i>Frárennsli</i>	26
3	KRAFLA	29
3.1	AFKASTAMÆLINGAR	31
3.1.1	<i>Afköst borhola</i>	31
3.2	EFNAMÆLINGAR	38
3.2.1	<i>Vatn og gufa úr borholum</i>	38
3.2.2	<i>Vinnslurás</i>	46
3.2.3	<i>Frárennsli</i>	50
4	BJARNARFLAG	53
4.1	AFKASTAMÆLINGAR	54
4.1.1	<i>Afköst borhola</i>	54
4.2	EFNAMÆLINGAR	57
4.2.1	<i>Vatn og gufa úr borholum</i>	57
4.2.2	<i>Vinnslurás</i>	62
4.2.3	<i>Frárennsli</i>	62
5	NIÐURSTÖÐUR	65
5.1	ÞEISTAREYKIR	65
5.2	KRAFLA	66
5.3	BJARNARFLAG	67
6	HEIMILDASKRÁ	68
VIÐAUKI 1	Meðhöndlun sýna og efnagreiningaaðferðir	69

TÖFLUSKRÁ

		bls
Tafla 1	Þeistareykjastöð, afköst tengdra borhola sumarið 2019.	8
Tafla 2	Þeistareykjastöð, borholur. Styrkur aðalefna í vatni og gufu árið 2019	13
Tafla 3	Þeistareykjastöð, borholur. Þungmálmur í skiljuvatni árið 2019.....	14
Tafla 4	Þeistareykjastöð, borholur. Gas í gufu og gashlutföll árið 2019.....	14
Tafla 5	Þeistareykjastöð, borholur. Reiknaður berghiti árið 2019	15
Tafla 6	Kísilstyrkur og mettunarhlutfall kísils í borholuvatni.	15
Tafla 7	Þeistareykjastöð, efnagreining gufu, sýnataka 2019-07-18	24
Tafla 8	Þeistareykjastöð, efnagreining gass, sýnataka 2019-07-19.....	24
Tafla 9	Efnasamsetning vatns í Þeistareykjastöð 2019	27
Tafla 10	Þeistareykjastöð. Hitaveituhola ÞR-14.	27
Tafla 11	Næringarefni og þungmálmur í vatni frá Þeistareykjastöð 2019	28
Tafla 12	Umhverfismörk fyrir málma í yfirborðsvatni til verndar lífríki.....	28
Tafla 13	Kröflustöð, afköst tengdra borhola sumarið 2019	32
Tafla 14	Kröflustöð. Styrkur efna í vatni og gufu borhola árið 2019	39
Tafla 15	Styrkur þungmálma í borholusýnum í Kröflu 2019.....	40
Tafla 16	Kröflustöð, borholur. Gas í gufu og gashlutföll árið 2019.	40
Tafla 17	Kröflustöð, borholur. Reiknaður berghiti árið 2019.	41
Tafla 18	Kröflustöð, efnagreining gufu inn í stöð, sýnataka 2019-05-27	47
Tafla 19	Kröflustöð, efnagreining gass, sýnataka 2019-05-27	47
Tafla 20	Kröflustöð. Kælivatnssýni árið 2019.	48
Tafla 21	Kröflustöð. Frárennslissýni árið 2019.....	51
Tafla 22	Næringarefni og þungmálmur í vatni frá Kröflustöð 2019.	51
Tafla 23	Bjarnarflag. Afköst borhola 2019.	54
Tafla 24	Bjarnarflag, borholur. Gas í gufu 2019.....	57
Tafla 25	Bjarnarflag, borholur . Berghiti 2019.	57
Tafla 26	Bjarnarflag. Styrkur efna í vatni og gufu úr borholum árið 2019.....	58
Tafla 27	Bjarnarflag, borholur. Þungmálmur í skiljuvatni árið 2019.....	58
Tafla 28	Bjarnarflag. Frárennslissýni 2019.....	63
Tafla 29	Næringarefni og þungmálmur í vatni frá Bjarnarflagi 2019.....	63

MYNDASKRÁ

		bls
Mynd 1	Þeistareykjastöð. Gufuborholur 2019 (Orkustofnun-borholuskrá).	7
Mynd 2	Þeistareykir. Gufurennslí úr holum á A-teigi.....	9
Mynd 3	Þeistareykir. Vatnsrennslí úr borholum á A-teigi.	9
Mynd 4	Þeistareykir. Gufurennslí úr holum á B og C-teigi	10
Mynd 5	Þeistareykir. Vatnsrennslí úr holum á B og C-teigi.	10
Mynd 6	Þeistareykir. Samtals gufurennslí úr blásandi holum	11
Mynd 7	Þeistareykir. Samtals vatnsrennslí úr blásandi holum	11
Mynd 8	Borholur á A-teigi. CO ₂ í gufu á móti tíma.	16
Mynd 9	Borholur á A-teigi. H ₂ S í gufu á móti tíma.....	16
Mynd 10	Borholur á A-teigi. SiO ₂ í vatni á móti tíma.	17
Mynd 11	Borholur á A-teigi. Al í vatni á móti tíma.....	17
Mynd 12	Borholur á A-teigi. Cl í vatni á móti tíma.....	18
Mynd 13	Borholur á A-teigi. SO ₄ í vatni á móti tíma.	18
Mynd 14	Borholur á B og C-teigi. CO ₂ í gufu á móti tíma.	19

Mynd 15	Borholur á B og C-teigi. H ₂ S í gufu á móti tíma.	19
Mynd 16	Borholur á B og C-teigi. SiO ₂ í vatni á móti tíma.....	20
Mynd 17	Borholur á B og C-teigi. Al í vatni á móti tíma.	20
Mynd 18	Borholur á B og C-teigi. Cl í vatni á móti tíma.	21
Mynd 19	Borholur á B og C-teigi. SO ₄ í vatni á móti tíma.....	21
Mynd 20	CO ₂ í gufu. Vegið meðaltal gassýna úr blásandi borholum.....	22
Mynd 21	H ₂ S í gufu. Vegið meðaltal gassýna úr blásandi borholum.....	22
Mynd 22	Þeistareykjastöð, flæði í júlí 2019.....	23
Mynd 23	Meðburður (Na) í gufu inná vélar.....	25
Mynd 24	Rafleiðni í vatni í kæliturnum.	25
Mynd 25	Tengdar borholur í Kröflu árið 2019 (Orkustofnun-borholuskrá).	30
Mynd 26	Leirbotnar, gufurennslí úr grunnum holum.	33
Mynd 27	Leirbotnar, vatnsrennslí úr grunnum holum.	33
Mynd 28	Suðurhlíðar, gufurennslí úr holum.....	34
Mynd 29	Suðurhlíðar, vatnsrennslí úr holum.....	34
Mynd 30	Hvíthólaklif, gufurennslí úr holu KJ-21.....	35
Mynd 31	Hvíthólaklif, vatnsrennslí úr holu KJ-21.	35
Mynd 32	Vesturhlíðar, gufurennslí úr holum.....	36
Mynd 33	Vesturhlíðar, vatnsrennslí úr holum.....	36
Mynd 34	Samtals gufurennslí úr blásandi borholum í Kröflu.....	37
Mynd 35	Samtals vatnsrennslí úr blásandi borholum í Kröflu.....	37
Mynd 36	Leirbotnar, grunnar holur, SiO ₂ í vatni á móti tíma.....	42
Mynd 37	Suðurhlíðar, CO ₂ í gufu á móti tíma.	42
Mynd 38	Suðurhlíðar, SO ₄ í vatni á móti tíma.....	43
Mynd 39	Vesturhlíðar Kröflu, CO ₂ í gufu á móti tíma.....	43
Mynd 40	Vesturhlíðar Kröflu, H ₂ S í gufu á móti tíma.....	44
Mynd 41	Vesturhlíðar Kröflu, SO ₄ í vatni á móti tíma.....	44
Mynd 42	CO ₂ í gufu. Vegið meðaltal gassýna úr blásandi borholum.....	45
Mynd 43	H ₂ S í gufu. Vegið meðaltal gassýna úr blásandi borholum.	45
Mynd 44	Flæðirit fyrir Kröflustöð í maí 2019.	46
Mynd 45	Kröflustöð. Gas í HP-gufu árið 2019.....	49
Mynd 46	Kröflustöð. Sýrustig kælivatns árið 2019.	49
Mynd 47	Kröflustöð. Kísilmettun í niðurdælingarvatni.....	52
Mynd 48	Tengdar holur í Bjarnarflagi 2019 (Orkustofnun-borholuskrá).	53
Mynd 49	Bjarnarflag, gufurennslí úr holum.....	55
Mynd 50	Bjarnarflag, vatnsrennslí úr holum.	55
Mynd 51	Samtals gufurennslí úr blásandi borholum í Barnarflagi.	56
Mynd 51	Samtals vatnsrennslí úr blásandi borholum í Barnarflagi.....	56
Mynd 53	Bjarnarflag, vermi á móti tíma.....	59
Mynd 54	Bjarnarflag, CO ₂ í gufu á móti tíma.....	59
Mynd 55	Bjarnarflag, H ₂ S í gufu á móti tíma.	60
Mynd 56	Bjarnarflag, Cl í vatni á móti tíma.	60
Mynd 57	CO ₂ í gufu. Vegið meðaltal gassýna úr blásandi borholum.....	61
Mynd 58	H ₂ S í gufu. Vegið meðaltal gassýna úr blásandi borholum.	61
Mynd 49	Bjarnarflagsstöð, flæði í júlí 2019.	62
Mynd 51	Kísilmettun jarðbaðsvatni.	64

1 INNGANGUR

Í maí og júlí 2019 voru tekin vatns- og gufusýni úr samtals 11 gufuholum á Þeistareykjum, 15 holum í Kröflu og 2 holum í Bjarnarflagi til árlegs eftirlits. Að auki voru tekin sýni úr vinnslurásum Þeistareykjastöðvar, Kröflustöðvar og Bjarnarflagsstöðvar þ.e. af gufu inn á vélar, gasútblæstri, kælivatni og einnig úr skiljuvatni, frárennsli og niðurrennsliavatni. Í Bjarnarflagi voru tekin sýni úr Bjarnarflagslóni og skiljuvatni sem fer í Jarðböðin. Borholurnar voru afkastamældar samhliða sýnatöku með þynningaraðferð og mælingu á þrýstifalli yfir blendu.

Trausti Hauksson hjá Kemíu sá um sýnatökur og efnagreiningar á staðnum. Jakob Stefánsson og Ágúst Hermannsson, starfsmenn Landsvirkjunar og sumarstarfsmenn, þeir Hjalti Ágúst Steinsson og Kim Linnerud, aðstoðuðu við sýnatökur. Helgi A. Alfreðsson og Júlía Björke hjá Geochemý sá um afkastamælingar borhola og efnagreiningar á anjónum og katjónum með jónaskilju og á kísli með litrófmæli á rannsóknastofu Kröflustöðvar. Þungmálmar vor greindir hjá ALS Global í Svíþjóð. Lýsing á meðhöfnun sýna og efnagreiningaaðferðum er birt í viðauka 1.

Afköstin voru ákvörðuð með mælingu á mismunaprýstingi yfir tvífasa blendu, samhliða vatnsákvörðun með þynningaraðferð. Vatnsákvörðun með þynningaraðferð byggist á því að litarefni er dælt inn í rennslispípuna með jöfnu rennsli og styrkur þess í sýni af vatninu ákvarðaður. Vermir og rennsli er síðan reiknað út frá þessum tveimur mælingum. Aðferðinni er lýst í skýrslu um innleiðingu hennar (Trausti Hauksson 2011). Þar sem ekki var blenda í lögninni var eingöngu vatnsrennsli mælt með þynningaraðferð og vermið reiknað út frá kísilhita.

Niðurstöður mælinga voru skráðar á tölvutækt form, og var forritið ViewData (útgáfa V1.65) notuð til úrvinnslu gagna við gerð skýrslunnar (Kemía 2010). Allar mæliniðurstöður eru aðgengilegar í ViewData.

Verkið var unnið samkvæmt samningi 2396 um ráðgjafarþjónustu. Verkefnisstjóri var Steinn Ágúst Steinsson.

2 ÞEISTAREYKIR

Boraðar hafa verið 17 gufuborholur á þeistareykjum og hafa prófanir á þeim staðið yfir síðan 2002. 12 holur eru nú tengdar Þeistareykjastöð. Orkuframleiðslan hófst með ræsingu vélarsamstæðu eitt í október 2017 og vélarsamstæðu tvö í mars 2018.

11 tengdar holur voru blásandi þegar holurnar voru aflmældar og sýni tekin til árlegs eftirlits í júlí 2019. Staðsetning borholanna er sýnd á eftirfarandi loftmynd. Tvær safnæðar liggja að skiljustöðinni. Önnur frá A-teigi þar sem holur ÞG-01, ÞG-04, ÞG-05, ÞG-13 og ÞG-17 voru tengdar og blásandi. Hin frá C-teigi þar sem holur ÞG-03, ÞG-06, ÞG-07, ÞG-12 og ÞG-16 voru tengdar og blásandi og B-teigi þar sem hola ÞG-09 var tengd og blásandi.



Mynd 1 Þeistareykjastöð. Gufuborholur 2019 (Orkustofnun-borholuskrá).

2.1 AFKASTAMÆLINGAR

2.1.1 Afköst borhola

Afkastamælingarnar voru skráðar í gagnagrunn ViewData sem reiknar vermi og heildarrennsli sem og háþrýstigufu og skiljuvatn við veituprýsting 8,5 barg. Forritið reiknar einnig rafafli, sem framleiða má úr gufunni, miðað við uppgefna nýtni hverflanna í Þeistareykjastöð (81 %). Í töflu 1 eru birtar reiknaðar stærðir fyrir mælingar úr hverri holu.

Í júlí árið 2019 voru 11 holur tengdar Þeistareykjastöð og framleiddu þær 153,2 kg/s af háþrýstigufu þegar þær voru mældar. Reikningslega dugar gufan til framleiðslu á 88 MW af rafmagni sem er sama og vélarnar framleiddu þann 19. júlí.

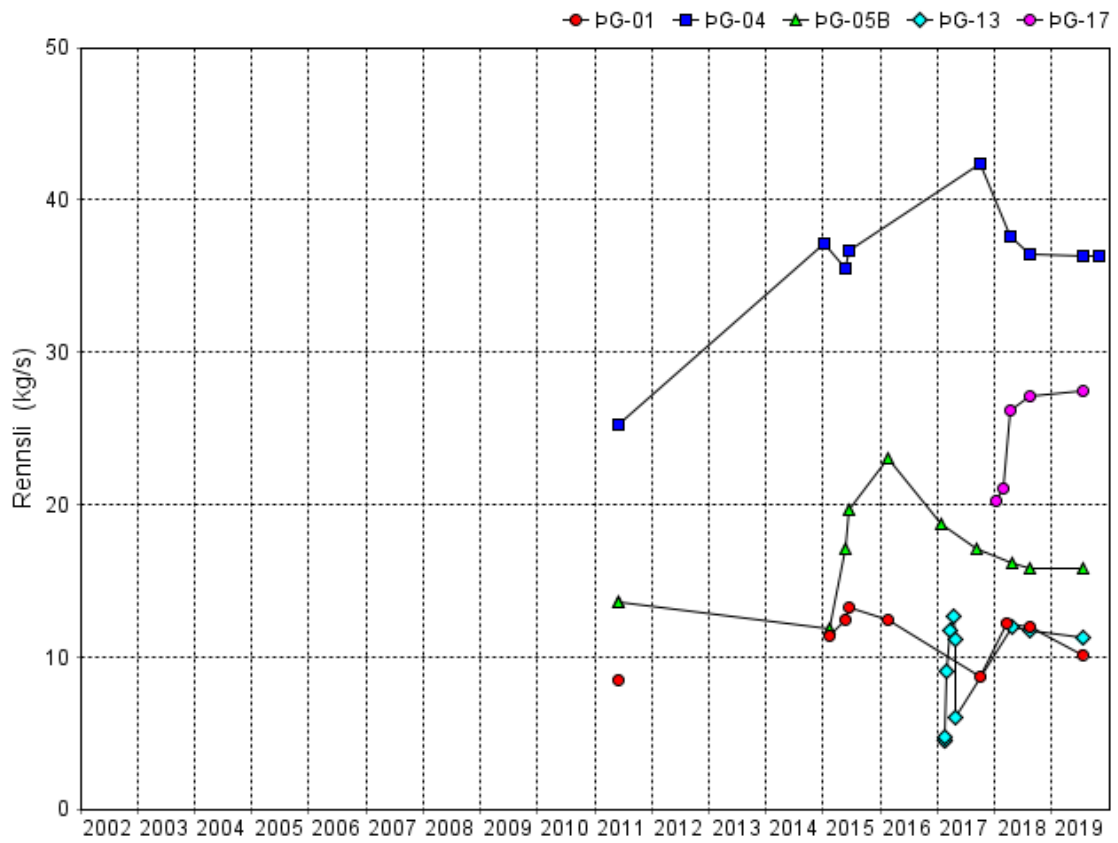
Tafla 1 Þeistareykjastöð, afköst tengdra borhola sumarið 2019.

			Heildar			HP-Skilja	Frárennsli	Hverfill
Nafn		Tími	Vermi	Rennsli	Varmaafli	Gufa	Vatn	Rafafli
			kJ/kg	kg/s	MW	kg/s	kg/s	MW
ÞG-01	A	2019-07-19	1753	20,5	32,4	10,1	10,3	5,8
ÞG-03	C	2019-07-17	2511	11,7	27,3	10,2	1,5	5,8
ÞG-04	A	2019-07-19	2708	37,5	95,1	36,3	1,2	20,9
ÞG-05B	A	2019-07-19	1216	68,9	71,8	15,8	53,1	9,1
ÞG-06	C	2019-07-17	2643	15,3	37,9	14,3	1,0	8,2
ÞG-07	C	2019-07-17	2582	8,7	21,0	7,9	0,8	4,5
ÞG-09	B	2019-07-18	2657	5,6	13,9	5,3	0,3	3,0
ÞG-12	C	2019-07-18	2739	9,2	23,7	9,1	0,2	5,2
ÞG-13	A	2019-07-18	1949	20,0	35,5	11,8	8,2	6,8
ÞG-16	C	2019-07-18	1971	8,2	14,7	4,9	3,3	2,8
ÞG-17	A	2019-07-19	2235	37,4	77,1	27,4	10,0	15,8
Allar			2026	243,0	450,4	153,2	89,9	88,1
A-teigur			1866	184,3	311,9	101,4	82,8	58,4
B-teigur			2656	5,6	13,9	5,3	0,3	3,0
C-teigur			2520	53,1	124,6	46,4	6,8	26,5

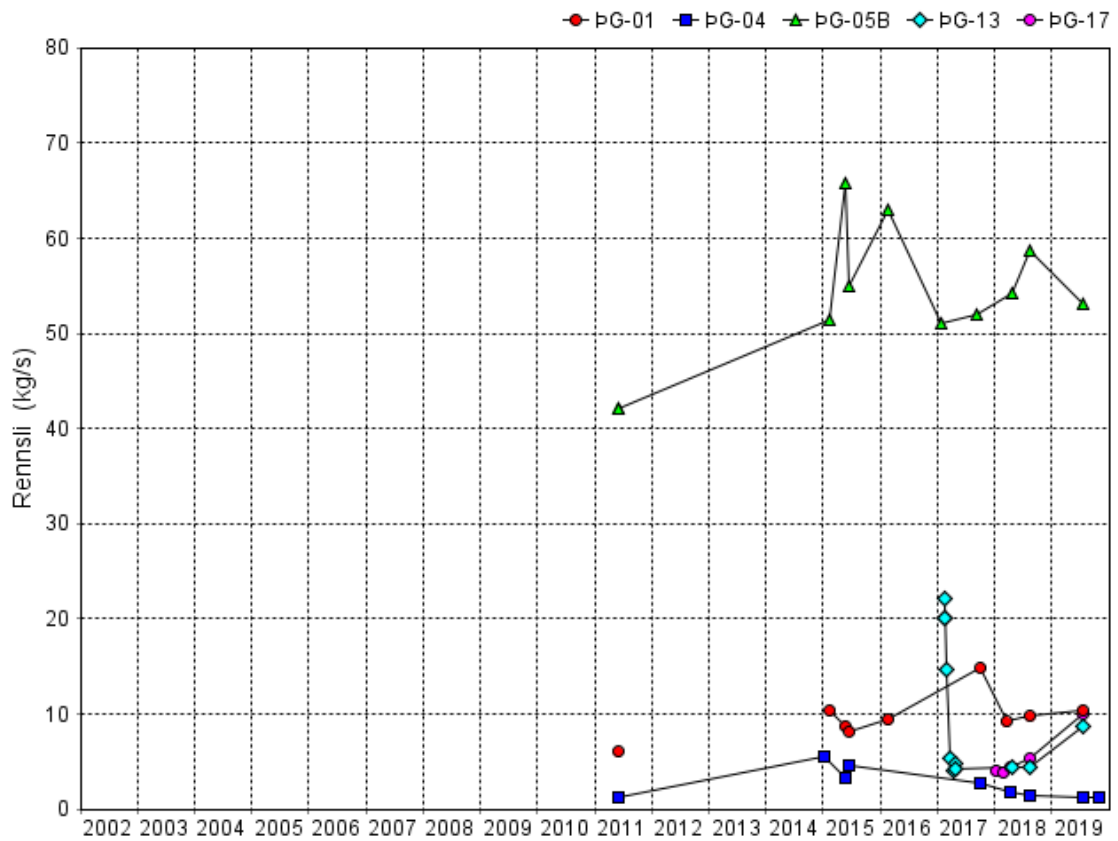
¹⁾Við skiljuþrýsting 8,5 barg.

Holurnar eru á borteigum A, B og C. Holurnar á A-teigi eru afkastamestar og framleiddu 101,4 kg/s af gufu á meðan holurnar á C-teigi framleiddu 46,4 kg/s. Vatnsrennsli frá A-teigi er einnig meira eða 82,8 kg/s á móti 6,8 kg/s frá C-teigi. Hóla ÞG-9 á B teigi er hávermihóla með litlu vatnsrennsli. Þróun afkasta borhola á A-teigi er sýnd á myndum 2 og 3. Hóla ÞG-04 er afkastamest og bætti við sig frá upphleypingu en hefur aðeins gefið eftir síðan virkjunin var gangsett haustið 2017 en breyttist nú lítið milli ára. Hóla ÞG-5B hefur einnig gefið nokkuð eftir síðan 2016 en þá var hún tengd og notuð til útskolunar gufuveitunnar, en hún var nú óbreytt milli ára. Hóla ÞG-17 bætti lítillga við sig milli ára. Holur ÞG-03 og ÞG-06 eru afkastamestar á C-teigi en nýju holurnar ÞG-12 og ÞG-16 eru afkastaminni. Afköstin eru nokkuð sveiflukennd milli ára (Myndir 4 og 5).

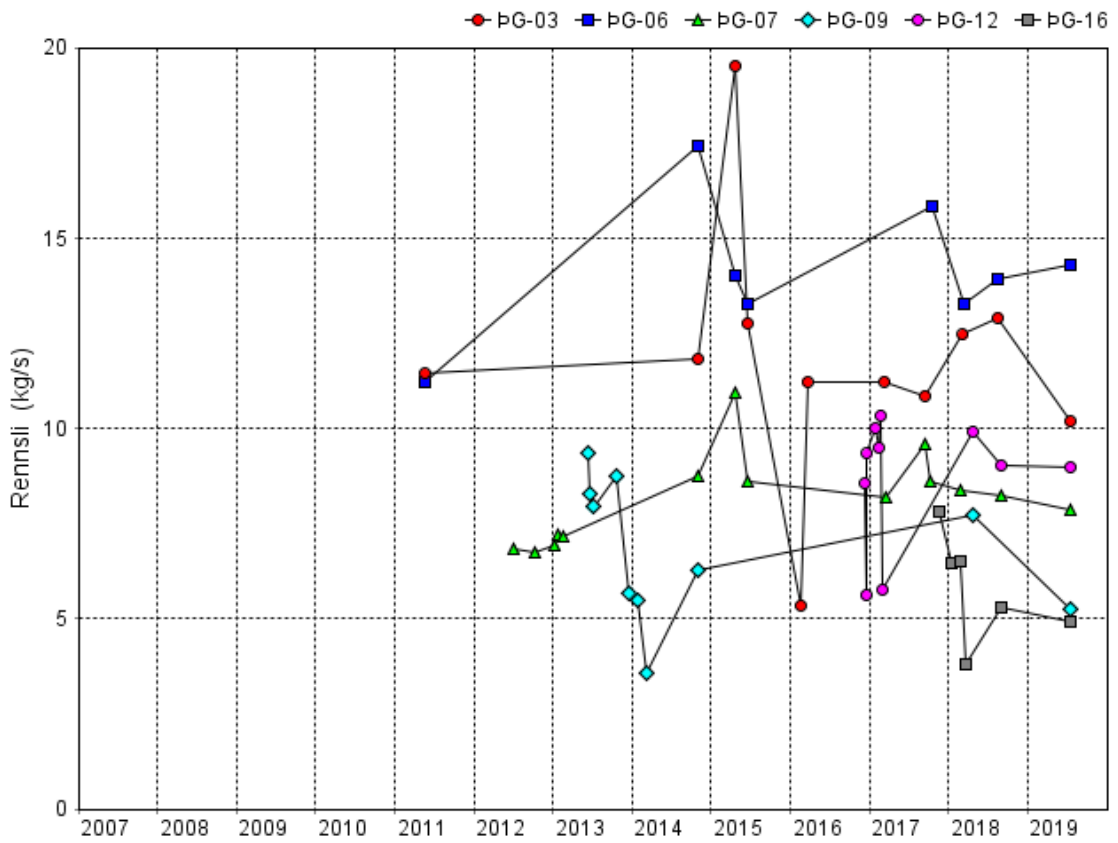
Myndir 6 og 7 sýna rennsli gufu og vatns samtals úr blásandi holum á Þeistareykjum.



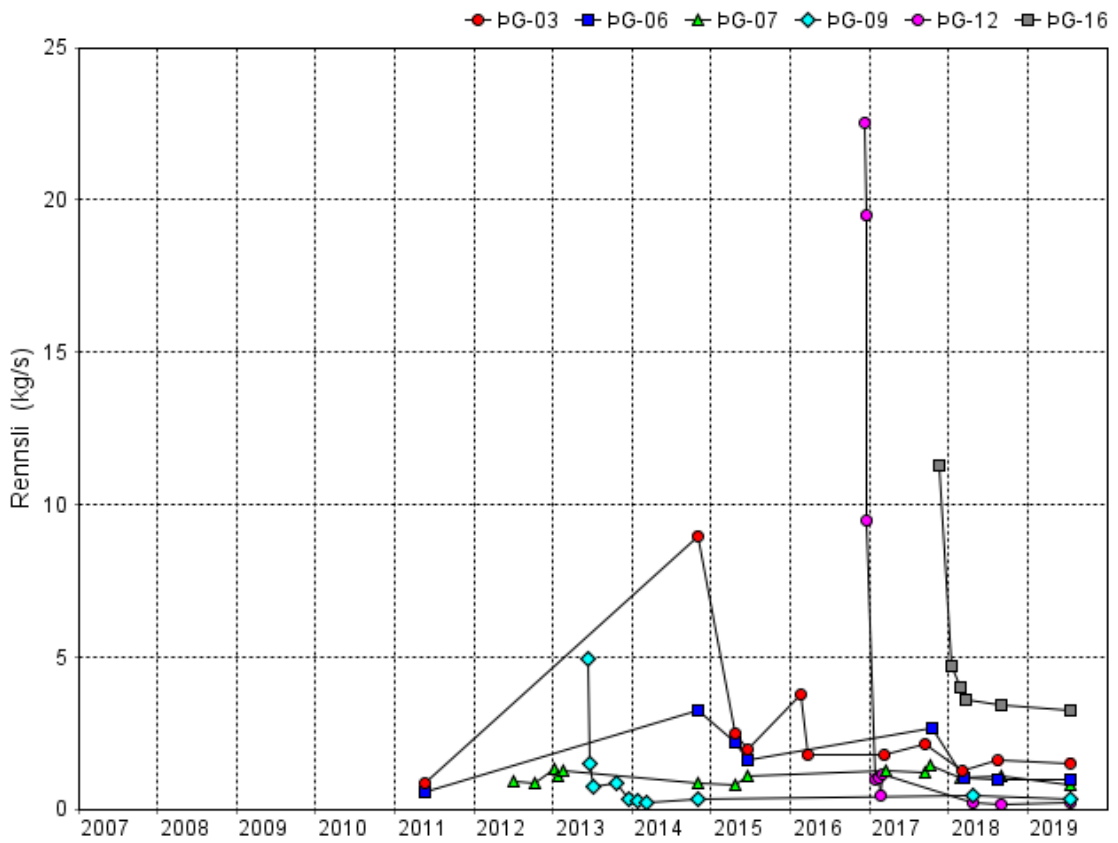
Mynd 2 Þeistareykir. Gufurennslí úr holum á A-teigi



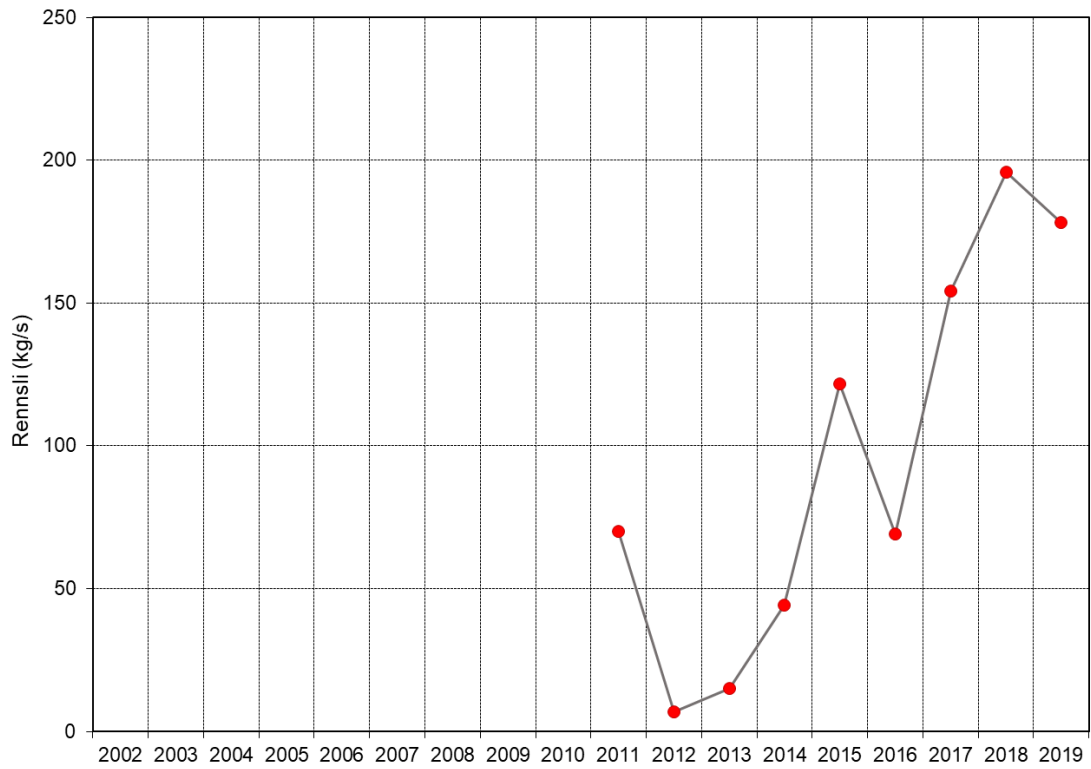
Mynd 3 Þeistareykir. Vatnsrennslí úr borholum á A-teigi.



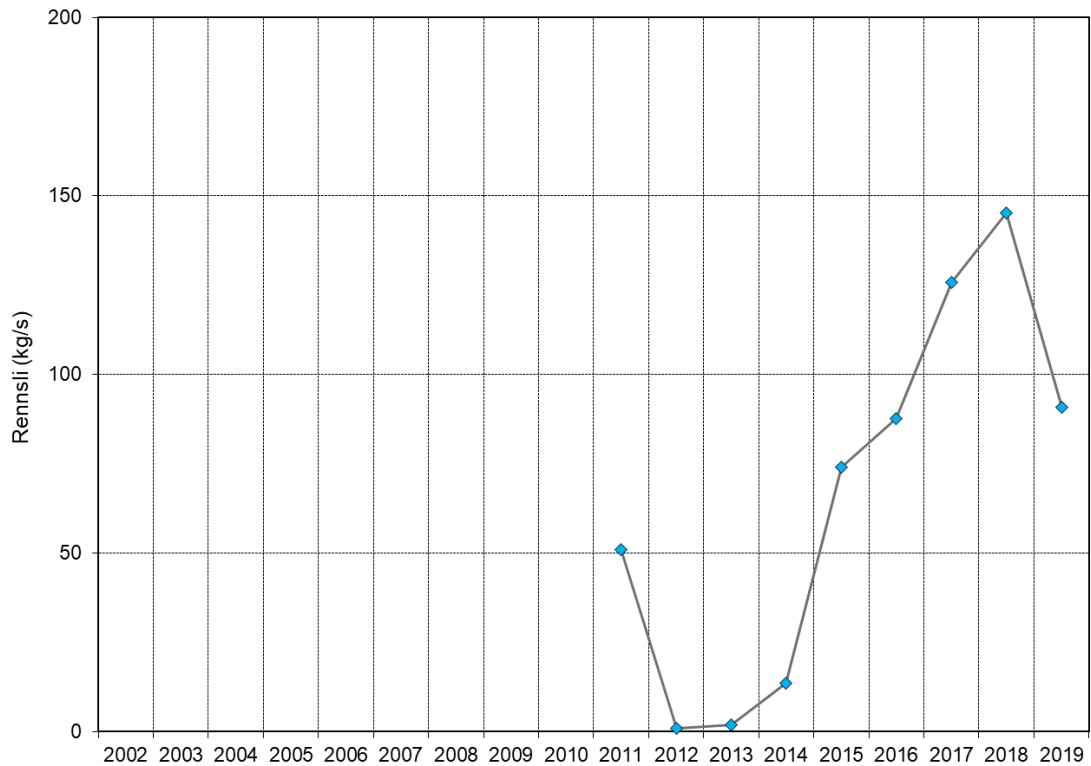
Mynd 4 Þeistareykir. Gufurennslí úr holum á B og C-teigi



Mynd 5 Þeistareykir. Vatnsrennslí úr holum á B og C-teigi.



Mynd 6 Þeistareykir. Samtals gufurennslí úr blásandi holum .



Mynd 7 Þeistareykir. Samtals vatnsrennsli úr blásandi holum .

2.2 EFNAMÆLINGAR

2.2.1 Vatn og gufa úr borholum

Niðurstöður efnagreininga á vatni og gufu úr borholum á Þeistareykjum, sem safnað var í eftirliti 2019, eru varðveittar í gagnagrunni ViewData.

Reiknaður efnastyrkur í gufu og vatni við skiljuþrýsting 8,5 barg er sýndur í töflu 2. Í töflunni kemur fram styrkur allra helstu efna sem og rennsli gufu og vatns í hverri holu. Styrkur þungmálma í skiljuvatni frá holunum er sýndur í töflu 3.

Í töflu 4 er tekið saman yfirlit um gasstyrk í gufu úr holunum ásamt gassamsetningu og hversu mikið gas streymir úr hverri holu. Meðaltal gass í gufu inn á hverfil reiknast um 0,21 % sem er lítilsháttar minnkun en gashlutfallið var 0,23 % árið 2018. Gasstreymi inn í stöðina reiknast 0,34 kg/s samanborið við 0,35 kg/s árið 2018.

Í töflu 5 er sýndur reiknaður hiti í holunum miðað við efnajafnvægi í berginu. Hæstur kísilhitur reiknast í holu ÞG-16 en í öðrum hávermisholum á C-teigi er ekki hægt að reikna hitann því kísilstyrkurinn er meiri en svo að hann geti verið efnajafnvægi við kvars. Möguleg skýring er að jarðhitavatn sjóði á leiðinni upp holuna vegna t.d. innstreymis yfirhitaðrar gufu eða upphitunar í æðum á leið að holunni.

Á myndum 8 til 19 eru dregnir upp ferlar fyrir gas í gufu og styrk uppleystra efna í skiljuvatni fyrir holur á A-teigi annars vegar og C-teigi hins vegar.

Vegið meðaltal CO₂ og H₂S styrks í gufu úr blásandi holum er sýnt á myndum 20 og 21. Styrkurinn hefur verið nokkuð stöðugur frá því virkjunin var gangsett eða um 1400 - 1500 mg/kg CO₂ og 600 - 650 mg/kg H₂S.

Kísilútfellingar safnast fyrir í lögnum á C-teigi og náðu þær inn í stofn. Útfellingarnar voru fjarlægðar síðasta haust með háþrýstipvotti sem gekk vel. Kísilstyrkur í borholuvatninu við söfnunarþrýsting og skiljuþrýsting er sýndur í töflu 6 fyrir allar holurnar. Mjög hár styrkur mælist í vatni úr holum á C-teigi og en minni í vatni úr holum á A-teigi. Mestur er styrkur kísils í vatni úr holum ÞG-06, ÞG-12 og ÞG-16. Styrkurinn eykst verulega þegar uppsuða er reiknuð frá holutoppsþrýstingi niður í þrýsting í gufuveitu. Mettunarhlutfall kísils í skiljuvatni frá holunum er sýnt í töflunni (SSI „Silica Saturation Index“) og reiknast skiljuvatn frá öllum holum á C-teigi vera yfirmettað. Styrkurinn reiknast meiri en 1500 mg/kg í skiljuvatni frá ÞG-06 og ÞG-12 og mettunarhlutfall kísils (SSI) fer upp í 2. Þessi gildi eru hærri en mældist í holunum áður en virkjunin var gangsett sem bendir til þess að uppsuðan sé að aukast vegna vinnslunnar t.d. vegna suðu út í berg (sjá mynd 15). Það má því áfram búast við útfellingum kísils í stofni frá C-teigi og jafnvel auknum. Það er áréttað að mjög mikilvægt er að reka holurnar á C-teigi á sem hæstum þrýstingi þannig að kísilútfellingar myndist síður í holunum eða í æðum þeirra.

Ýmsir möguleikar eru að bæta úr þessu. Samkvæmt tilraunum á C-teigi má þrýstingurinn ekki fara niður fyrir 16 barg til þess að ekki myndist álrikar kísilútfellingar. Stofninn þolir þó ekki meira en 13 barg þrýsting. Þrýstihækkun í 13 barg mun þó slá verulega á útfellinguna. Einnig mætti skoða hvort ekki sé mögulegt að skilja vatnið frá gufunni á C-teigi við háan þrýsting og leggja háþrýsta skiljuvatnslögn að skiljustöð og blanda vatninu beint í þéttivatn til niðurdælingar. Skiljuvatnið er aðeins nokkrir sekúndulítrar og því þarf ekki stóra lögn. Til greina kemur að dæla skiljuvatni eða þéttivatni inn í lögnina við holutoppinn og þynna skiljuvatnið. Ídæling sýru getur einnig dugað en erfitt getur reynst að blanda sýrunni við vatnsfasann í tvífasa flæði. Lagt er til að allir þessir valkostir og e.t.v. fleiri verði skoðaðir á skipulegan hátt skipulegan hátt fyrst fræðilega og síðan með prófun á álitlegasta kostinum.

Tafla 2 Þeistareykjastöð, borholur. Styrkur aðalefna í vatni og gufu árið 2019

Staður	Tími	Skilja	Gufa							Vatn															
			Vermi	Rennsli	CO ₂	H ₂ S	H ₂	N ₂	CH ₄	Ar	Rennsli	pH	CO ₂	H ₂ S	SiO ₂	Na	K	Ca	Mg	Fe	Al	F	Cl	SO ₄	B
			kJ/kg	kg/s	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	kg/s		mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
ÞG-01	A	2019-07-15	1753	10,1	963	311	12,4	16,6	0,16		10,4	9,21	17,2	22,6	747	107,6	21,9	0,23		0,003	1,79	1,02	96,7	12,2	1,15
ÞG-03	C	2019-07-16	2511	10,2	1090	550	26,2	15,6	0,11		1,5	9,14	18,5	37,9	1054	130,8	29,0	0,32		0,004	2,98	2,05	74,4	12,3	3,51
ÞG-04	A	2019-07-15	2708	36,3	706 *)	874	51,8	16,1	0,13	0,42	1,2	8,73	0,3	27,1	677	54,6	12,0	0,26	0,006	0,021	2,39	2,34	44,6	1,9	9,46
ÞG-05	A	2019-07-16	1216	15,8	1412	273	1,4	29,3	0,45	0,23	53,1	9,28	28,9	22,7	628	129,3	23,2	0,43	0,002	0,006	1,94	1,68	61,2	32,4	0,73
ÞG-06	C	2019-07-17	2643	14,3	1149	826	32,6	16,7	0,27		1,0	8,63	7,6	21,8	1551	153,8	38,3	0,39		0,003	1,69	2,31	222,4	4,3	5,38
ÞG-07	C	2019-07-17	2582	7,9	5347	1146	29,0	42,7	2,72	0,70	0,8	8,99	74,3	64,5	951	107,0	23,2	0,38		0,006	1,54	1,40	20,5	14,5	4,22
ÞG-09	B	2019-07-18	2657	5,3	1356	698	28,6	11,7	0,19		0,3	9,07	21,5	44,8	943	161,6	35,4	0,57		0,009	1,84	1,30	168,8	2,7	9,07
ÞG-12	C	2019-07-17	2739	9,0	229	287	28,3	10,2	0,12		0,2	9,48	8,7	44,6	1587	253,5	37,0	0,24		0,017	1,53	3,54	143,9	6,7	17,32
ÞG-13	A	2019-07-16	1949	11,8	3119	683	26,9	32,4	0,88	0,09	8,2	9,03	42,7	37,8	840	119,2	25,2	0,36		0,003	1,93	1,25	78,0	4,5	1,66
ÞG-16	C	2019-07-17	1971	4,9	1999	653	18,1	61,2	1,43	1,40	3,3	8,87	20,0	26,2	1074	81,7	21,6	0,34	0,001	0,002	3,02	2,78	55,3	44,6	0,40
ÞG-17	A	2019-07-16	2235	27,4	2000	622	15,5	16,8	0,51	0,13	10,0	8,85	19,0	23,8	924	91,0	21,8	0,21		0,003	2,22	1,11	83,0	2,5	1,96
		Samtals	2026	153,1	1556	655	27,6	21,2	0,48	0,23	89,9	9,03	26,9	25,1	734	119,3	23,2	0,37	0,001	0,005	2,01	1,56	70,9	23,3	1,30
		A-teigur	1866	101,5	1473	634	27,3	20,3	0,37	0,23	82,9	9,02	27,2	24,4	700	119,9	22,9	0,37	0,001	0,005	1,96	1,50	69,7	23,1	1,15
		B-teigur	2657	5,3	1356	698	28,6	11,7	0,19	0,00	0,3	9,07	21,5	44,8	943	161,6	35,4	0,57	0,000	0,009	1,84	1,30	168,8	2,7	9,07
		C-teigur	2517	46,3	1761	696	28,2	24,3	0,74	0,97	6,8	9,02	24,2	33,3	1137	110,5	26,3	0,34	0,001	0,004	2,60	2,40	82,0	26,8	2,70

Reiknað við skiljuþrýsting 8,5 barg +) Sýnið sýndi 40 mg/kg en endurtekið sýni 706 mg/kg.

Tafla 3 Þeistareykjastöð, borholur. Þungmálmur í skiljuvatni árið 2019

Staður	Teigur	Tími	P	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Hg	Pb
			mg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg
ÞG-01	A	2019-07-15	<0,001	0,169	<0,1	<0,2	2,65	<0,002	<0,002	<0,01
ÞG-03	C	2019-07-16	<0,001	0,145	<0,1	0,359	6,94	<0,002	<0,002	0,014
ÞG-04	A	2019-07-15	0,001	0,191	0,281	0,211	128	<0,002	<0,002	0,028
ÞG-05B	A	2019-07-16	<0,001	0,193	0,291	0,216	1,5	<0,002	<0,002	0,013
ÞG-06	C	2019-07-17	0,001	0,107	<0,1	0,69	2,68	<0,002	<0,002	<0,01
ÞG-07	C	2019-07-17	0,002	0,19	<0,1	3,93	11	<0,002	<0,002	0,016
ÞG-09	B	2019-07-18	<0,001	0,129	<0,1	0,985	3,75	<0,002	<0,002	<0,01
ÞG-12	C	2019-07-17	0,015	0,115	0,283	0,601	117	<0,002	<0,002	0,015
ÞG-13	A	2019-07-16	0,001	0,123	<0,1	0,291	1,17	<0,002	<0,002	<0,01
ÞG-16	C	2019-07-17	0,002	0,112	0,114	0,938	1,51	0,007	<0,002	<0,01
ÞG-17	A	2019-07-16	0,003	0,118	<0,1	<0,2	1,85	<0,002	<0,002	<0,01

Tafla 4 Þeistareykjastöð, borholur. Gas í gufu og gashlutföll árið 2019

Staður	Teigur	Tími	Gufa		Gas							
			Rennsli	í gufu	rennsli	hlutfall	CO ₂	H ₂ S	H ₂	N ₂	CH ₄	Ar
			kg/s	w%	kg/s	l/kg	vol%	vol%	vol%	vol%	vol%	vol%
ÞG-01	A	2019-07-15	10,1	0,13	0,010	0,92	57,97	24,19	16,24	1,57	0,03	
ÞG-03	C	2019-07-16	10,2	0,17	0,020	1,33	45,47	29,62	23,87	1,02	0,01	
ÞG-04	A	2019-07-15	36,3	0,16	0,060	1,54	25,51	37,90	35,37	1,19	0,03	
ÞG-05B	A	2019-07-16	15,8	0,17	0,030	1,02	76,63	19,13	1,66	2,50	0,07	0,01
ÞG-06	C	2019-07-17	14,3	0,20	0,030	1,64	38,90	36,12	24,07	0,89	0,02	
ÞG-07	C	2019-07-17	7,9	0,66	0,050	4,19	70,95	19,64	8,40	0,89	0,10	0,01
ÞG-09	B	2019-07-18	5,3	0,21	0,010	1,61	46,72	31,07	21,55	0,64	0,02	
ÞG-12	C	2019-07-17	9,0	0,06	0,010	0,69	18,58	30,07	50,02	1,30	0,03	
ÞG-13	A	2019-07-16	11,8	0,39	0,050	2,58	67,20	19,00	12,65	1,10	0,05	0,00
ÞG-16	C	2019-07-17	4,9	0,27	0,010	1,86	59,86	25,25	11,85	2,88	0,12	0,05
ÞG-17	A	2019-07-16	27,4	0,27	0,070	1,76	63,11	25,35	10,65	0,83	0,04	0,00
		Samtölur	153,1	0,22	0,340	2,09	55,17	26,59	16,99	1,19	0,05	0,01

Reiknað við skiljuþrýsting 8,5 barg

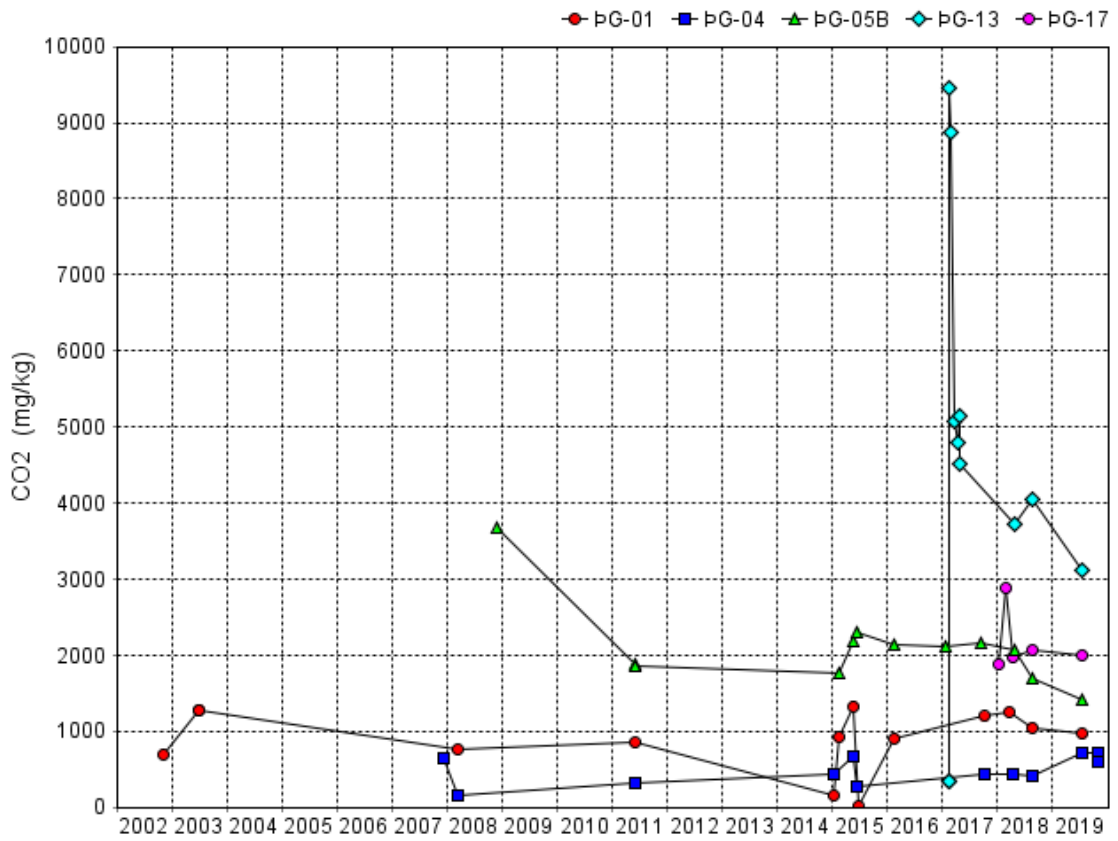
Tafla 5 Þeistareykjastöð, borholur. Reiknaður berghiti árið 2019

Staður	Teigur	Tími	Vermi	tSiO ₂ q	tNa/K	tCO ₂	tH ₂ /H ₂ S
			kJ/kg	°C	°C	°C	°C
ÞG-01	A	2019-07-15	1753	276	287	198	297
ÞG-03	C	2019-07-16	2511		296	215	298
ÞG-04	A	2019-07-15	2708	244	295		300
ÞG-05B	A	2019-07-16	1216	261	273	208	262
ÞG-06	C	2019-07-17	2643		304	219	297
ÞG-07	C	2019-07-17	2582		294	267	289
ÞG-09	B	2019-07-18	2657		295	227	298
ÞG-12	C	2019-07-17	2739		251	109	309
ÞG-13	A	2019-07-16	1949	288	291	250	297
ÞG-16	C	2019-07-17	1971	318	309	239	291
ÞG-17	A	2019-07-16	2235	302	300	240	289

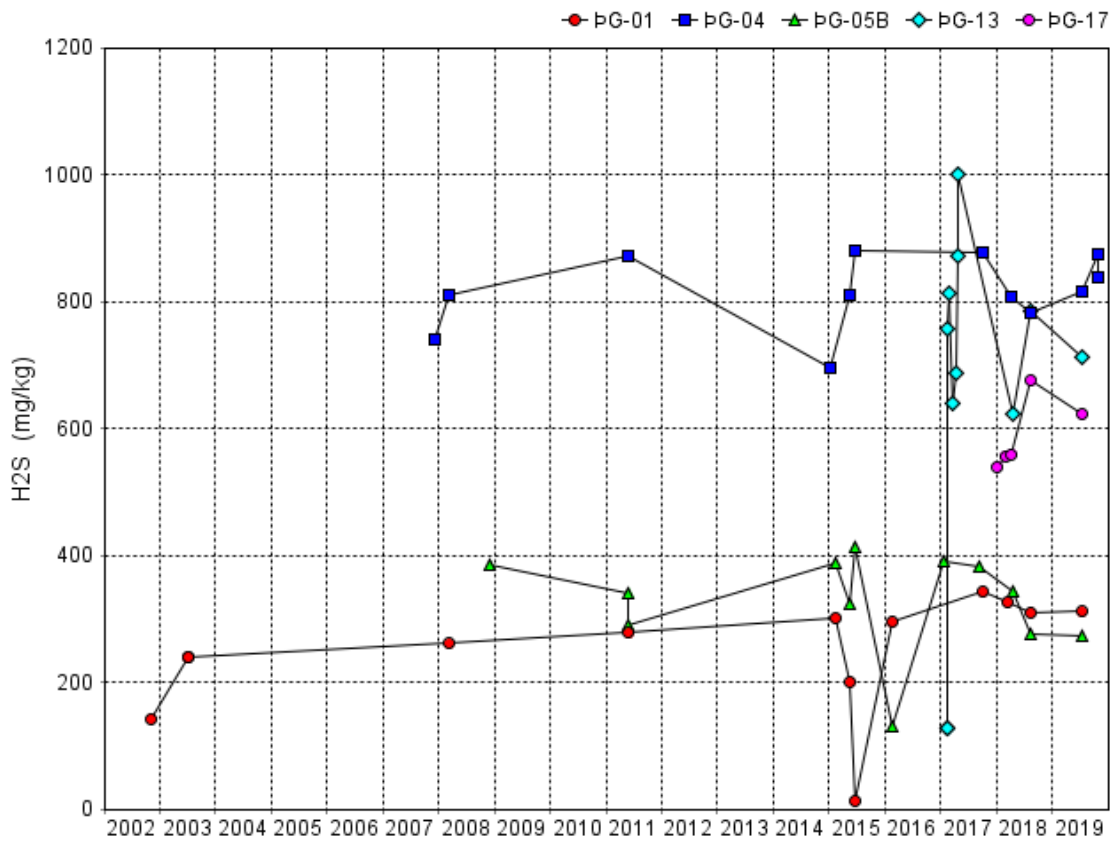
Tafla 6 Kísilstyrkur og mettunarhlutfall kísils í borholuvatni.

Staður	Teigur	Tími	Vermi	Skiljuv.	Holut. ¹⁾	Stofn ²⁾		
			kJ/kg	Rennsli	SiO ₂	SiO ₂	Al	SSI
				kg/s	mg/kg	mg/kg	mg/kg	
ÞG-01	A	2019-07-15	1753	10,4	744	747	1,79	0,94
ÞG-04	A	2019-07-15	2708	1,2	663	677	2,39	0,85
ÞG-05B	A	2019-07-16	1216	53,1	617	628	1,94	0,79
ÞG-13	A	2019-07-16	1949	8,2	835	840	1,93	1,06
ÞG-17	A	2019-07-16	2235	10,0	925	924	2,22	1,16
ÞG-09	B	2019-07-18	2657	0,3	667	943	1,84	1,19
ÞG-03	C	2019-07-16	2511	1,5	941	1054	2,98	1,33
ÞG-06	C	2019-07-17	2643	1,0	1130	1551	1,69	1,95
ÞG-07	C	2019-07-17	2582	0,8	805	951	1,54	1,20
ÞG-12	C	2019-07-17	2739	0,2	1082	1587	1,53	2,00
ÞG-16	C	2019-07-17	1971	3,3	1055	1074	3,02	1,35

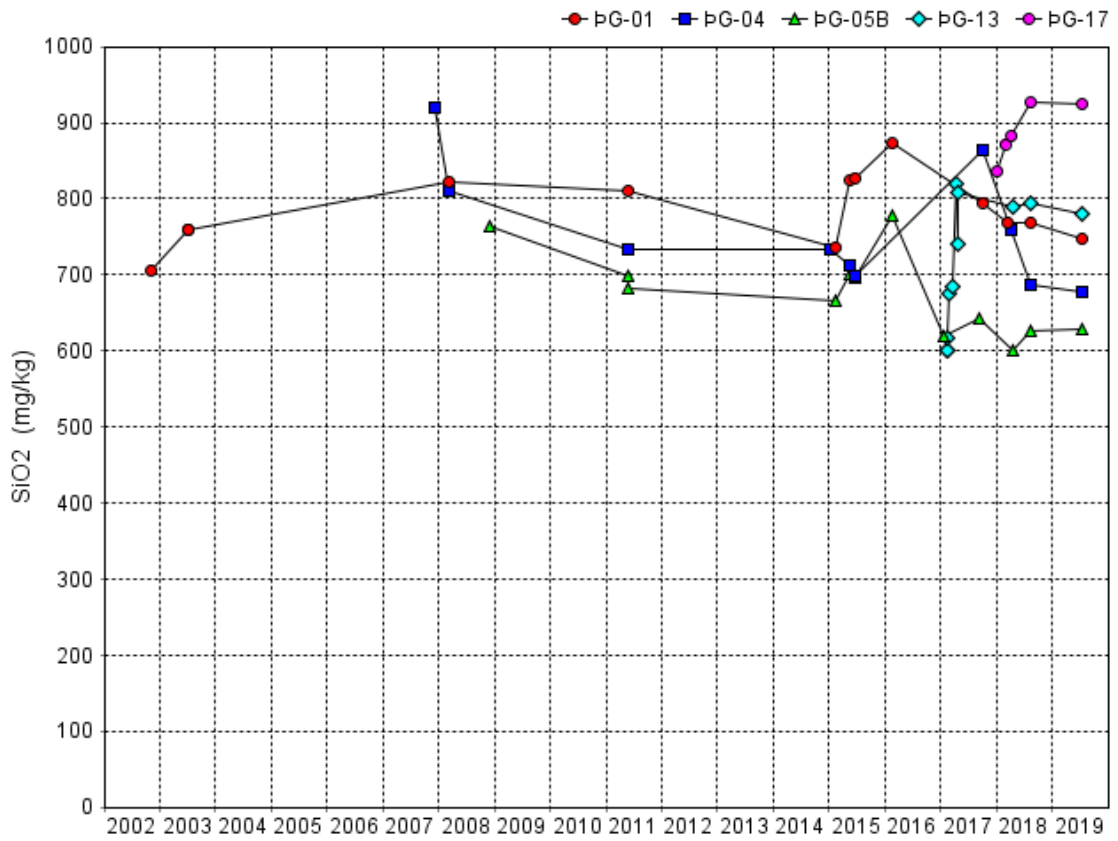
¹⁾ Mæling við holutopp. ²⁾ Reiknað við skiljuþrýsting 8,5 barg.



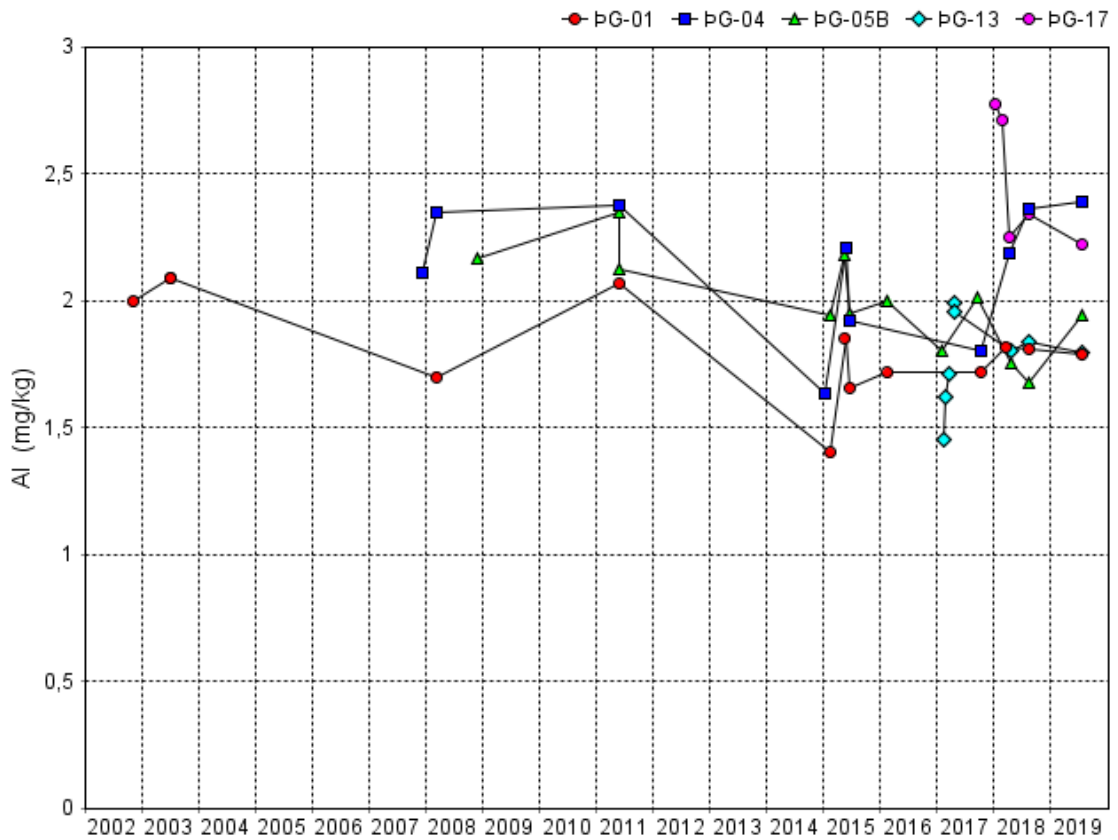
Mynd 8 Borholur á A-teigi. CO₂ í gufu á mótí tíma.



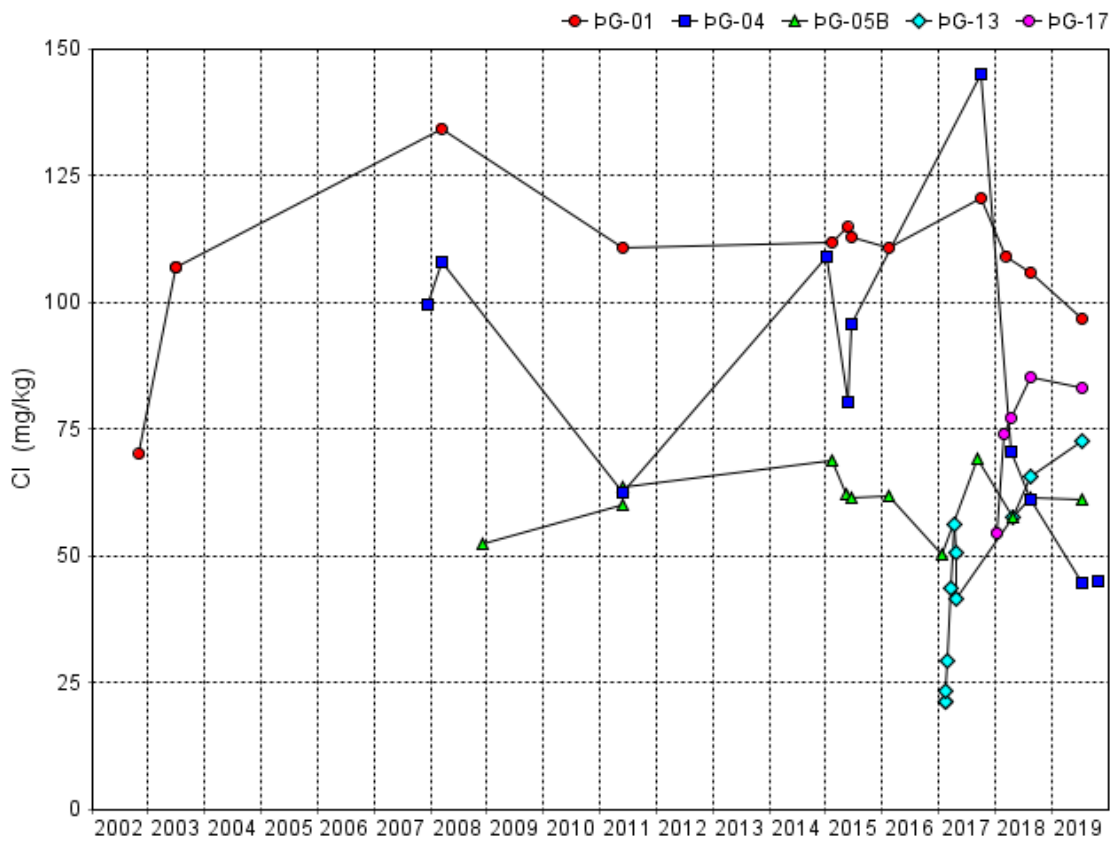
Mynd 9 Borholur á A-teigi. H₂S í gufu á mótí tíma.



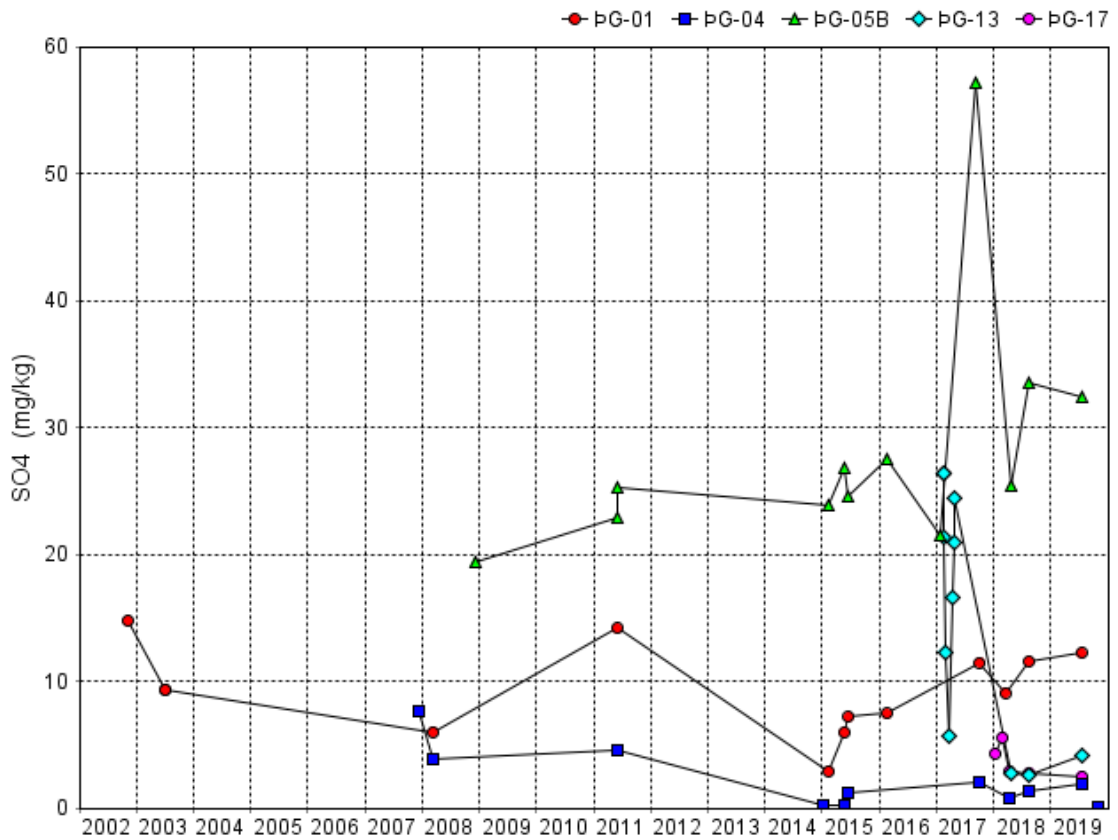
Mynd 10 Borholur á A-teigi. SiO₂ í vatni á móti tíma.



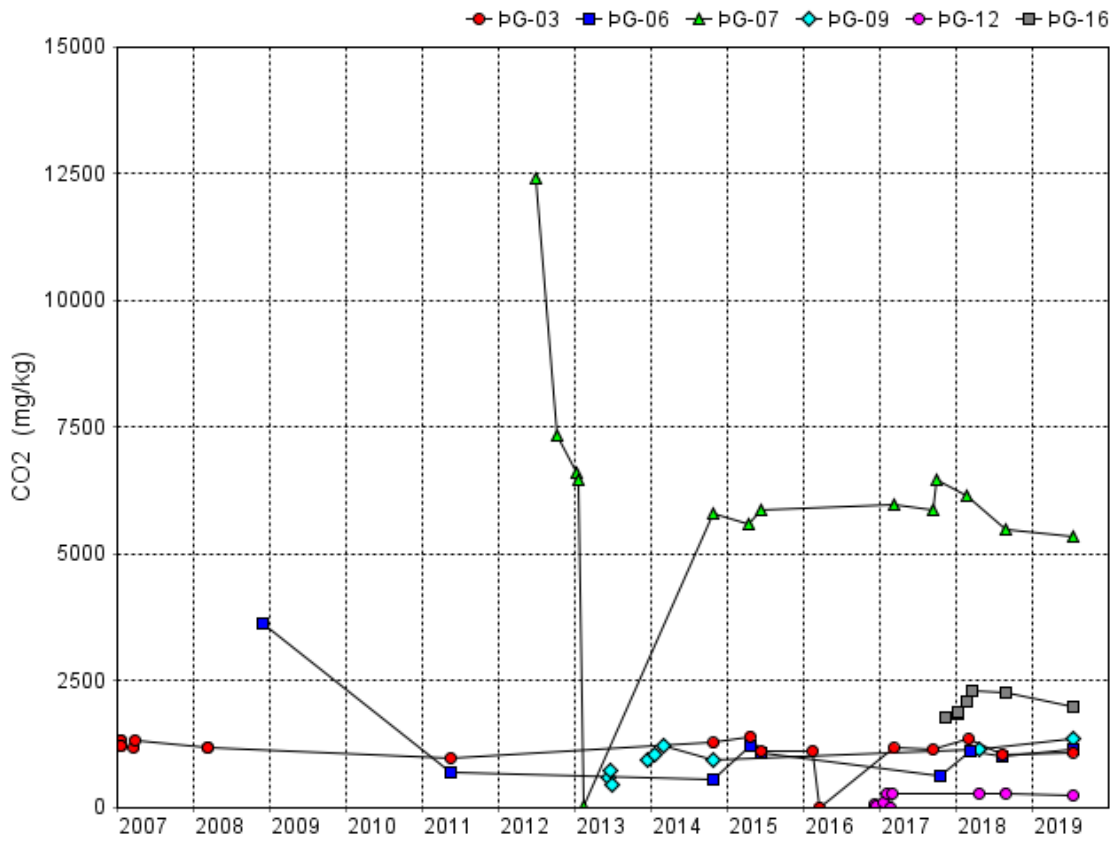
Mynd 11 Borholur á A-teigi. Al í vatni á móti tíma.



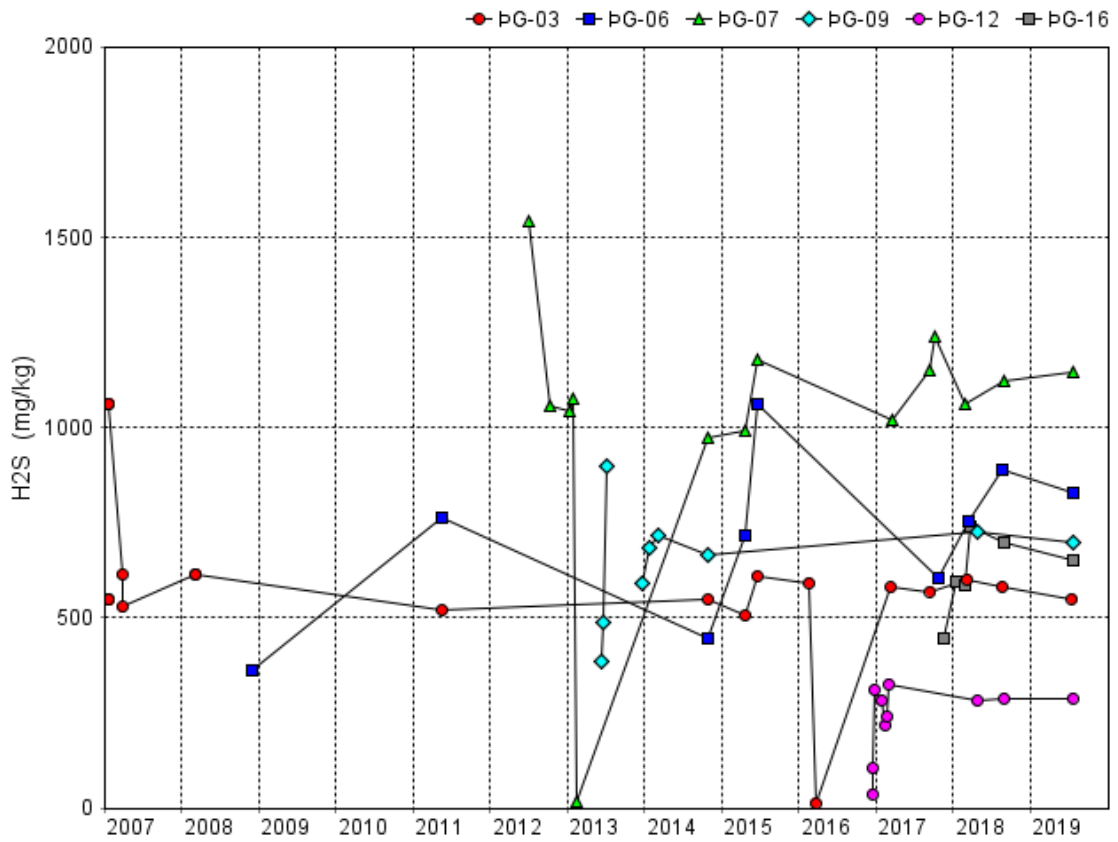
Mynd 12 Borholur á A-teigi. Cl í vatni á móti tíma.



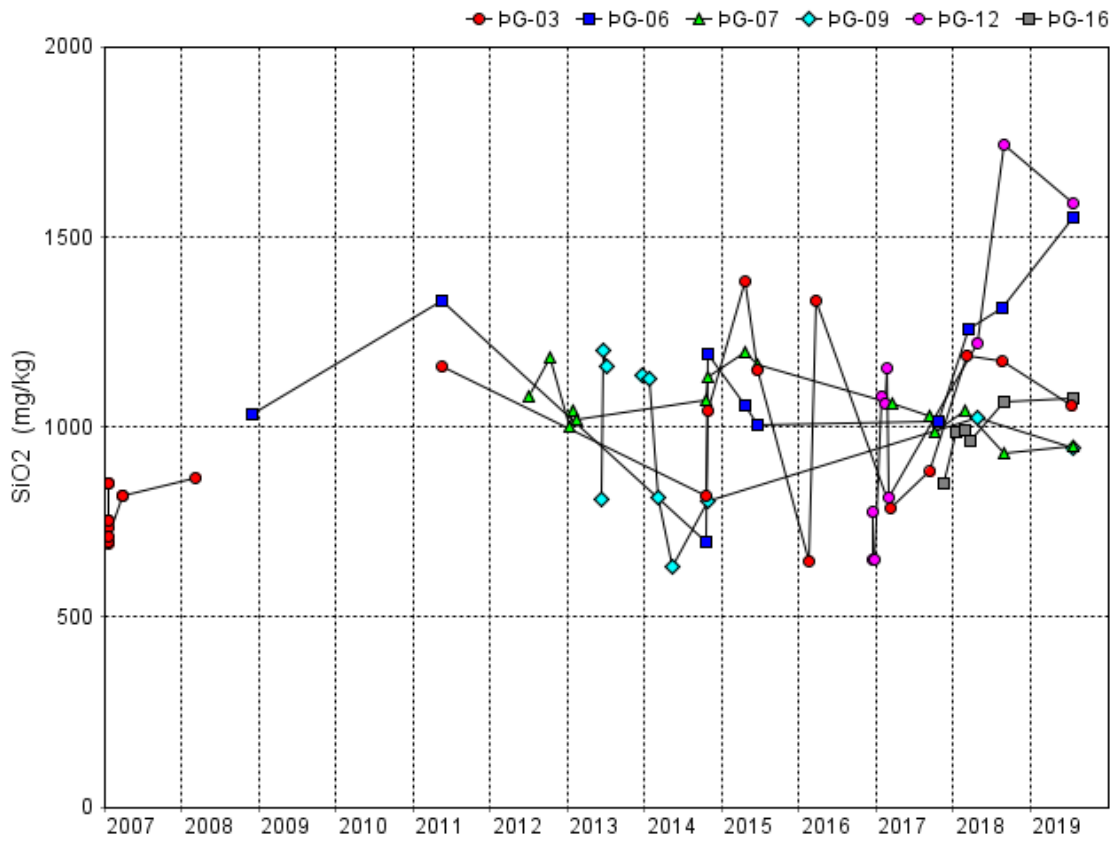
Mynd 13 Borholur á A-teigi. SO₄ í vatni á móti tíma.



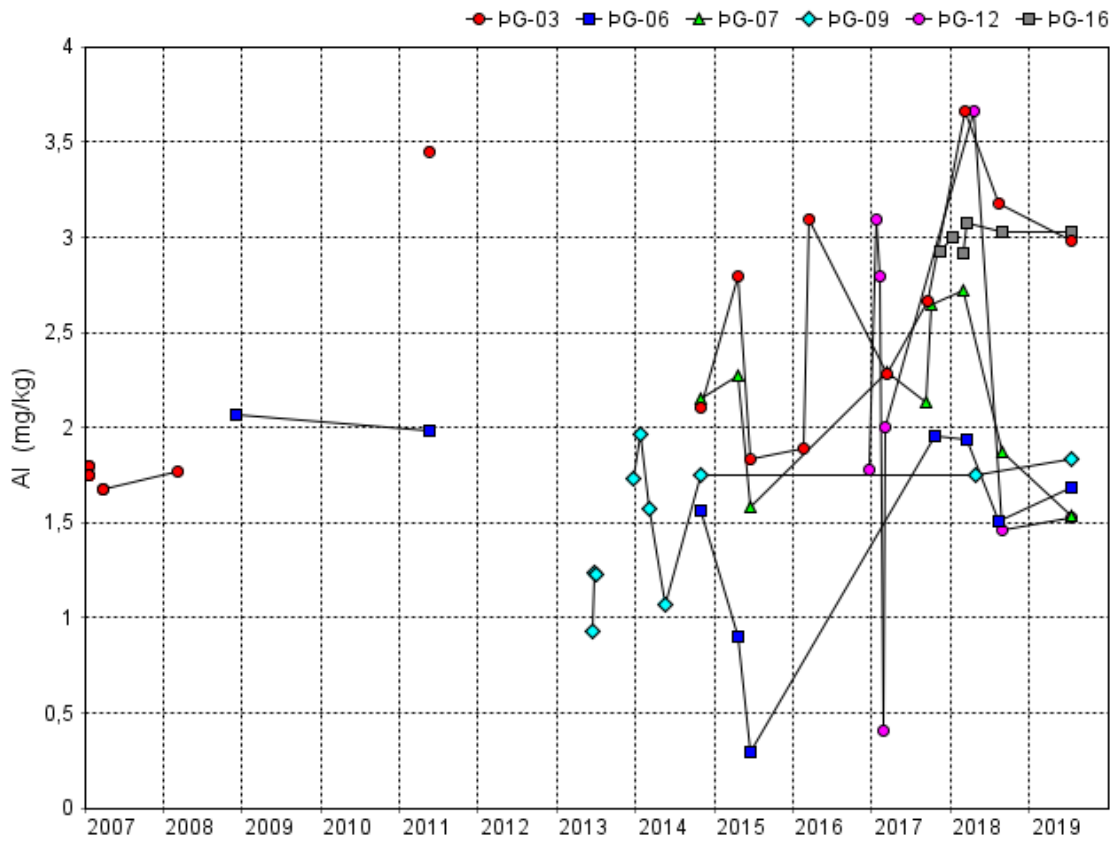
Mynd 14 Borholur á B og C-teigi. CO₂ í gufu á móti tíma.



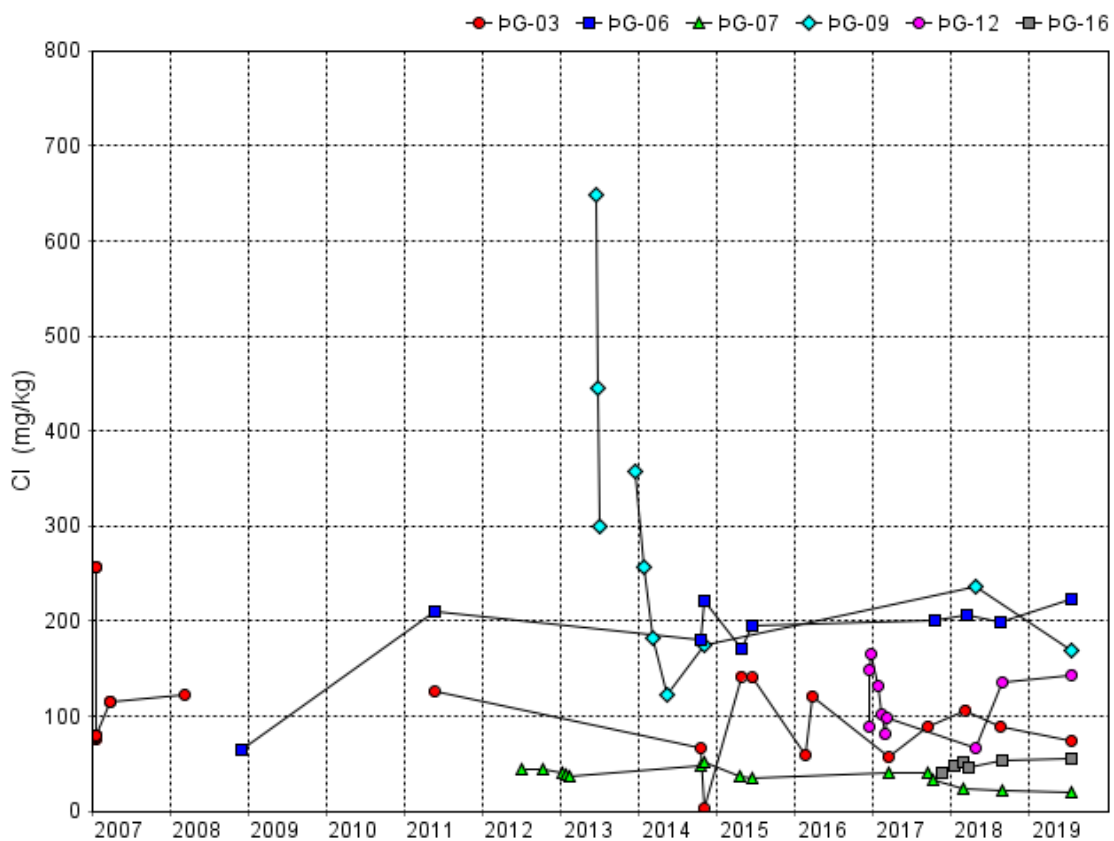
Mynd 15 Borholur á B og C-teigi. H₂S í gufu á móti tíma.



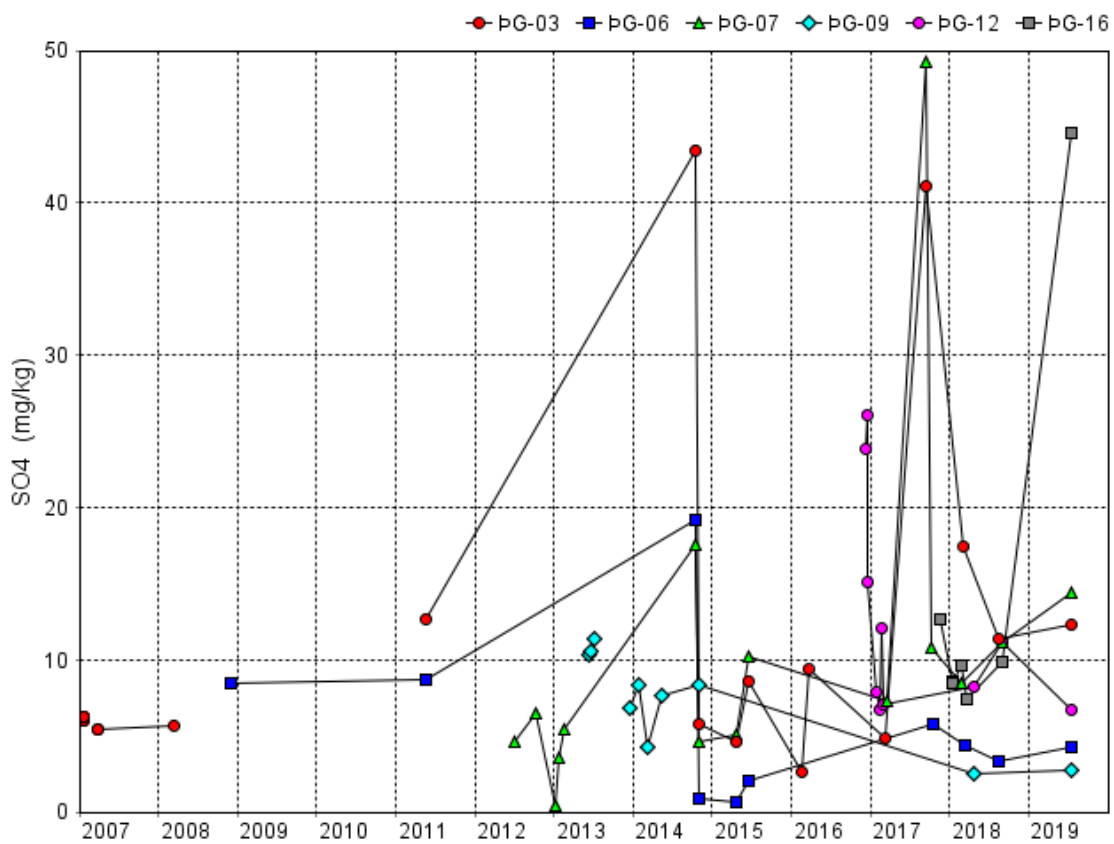
Mynd 16 Borholur á B og C-teigi. SiO₂ í vatni á móti tíma.



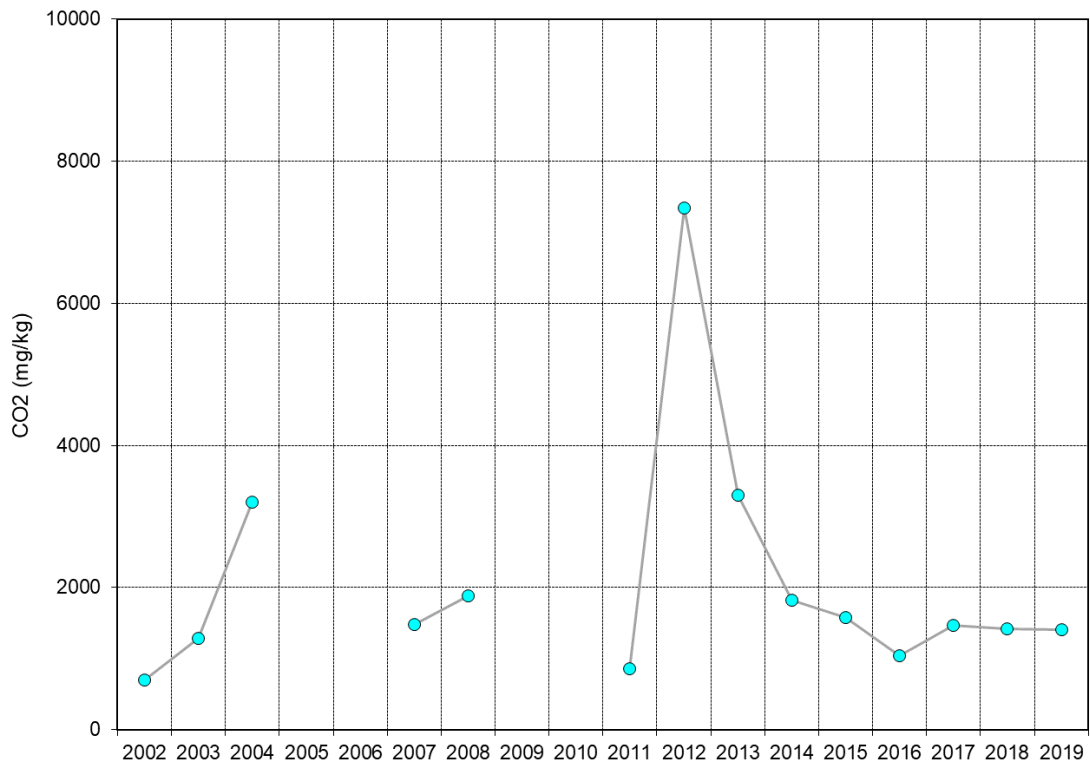
Mynd 17 Borholur á B og C-teigi. Al í vatni á móti tíma.



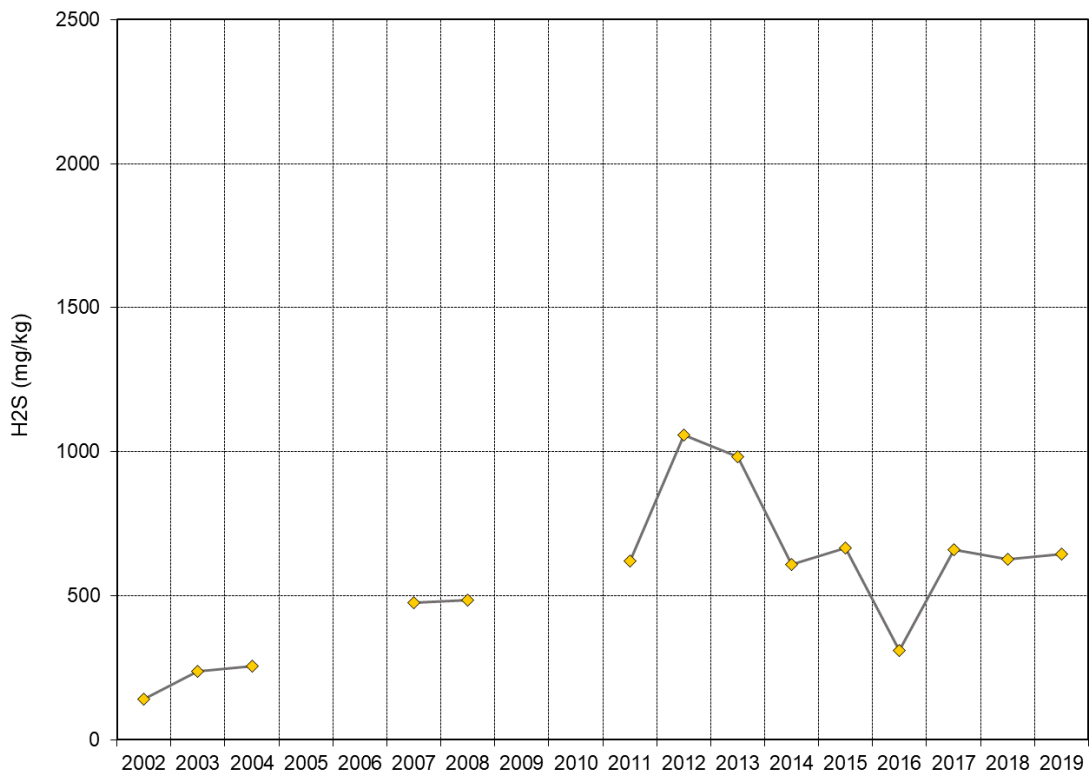
Mynd 18 Borholur á B og C-teigi. Cl í vatni á móti tíma.



Mynd 19 Borholur á B og C-teigi. SO₄ í vatni á móti tíma.



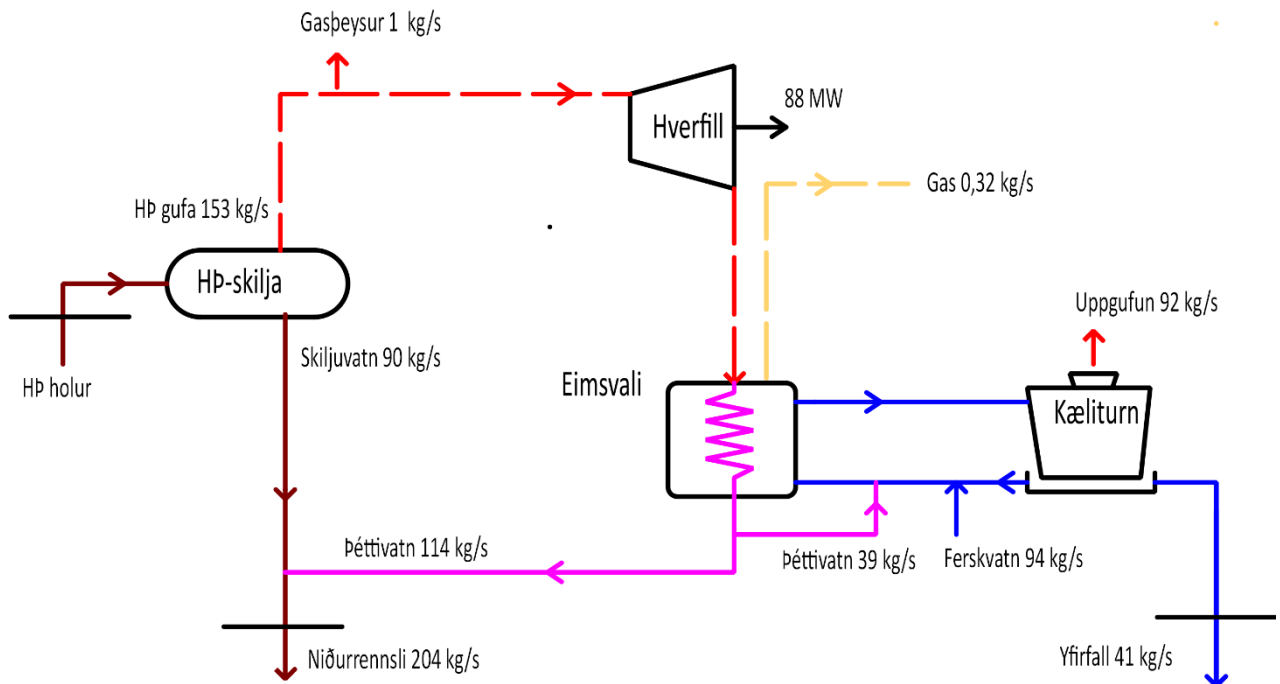
Mynd 20 CO₂ í gufu. Vegið meðaltal gassýna úr blásandi borholum.



Mynd 21 H₂S í gufu. Vegið meðaltal gassýna úr blásandi borholum.

2.2.2 Vinnslurás

Eftirfarandi flæðirit fyrir Þeistareykjastöð sýnir stöðuna þegar sýnum var safnað til efnagreininga.



Mynd 22 Þeistareykjastöð, flæði í júlí 2019

Holur á C-teigi eru tengdar skilju 1 og holur á A-teigi eru tengdar skilju 2. Holurnar á A-teigi eru mun afkastameiri og streymir því skiljuvatn og gufa um jöfnunarlegg úr skilju 2 í skilju 1. Gufa úr skilju 1 er tengd inná vél 1 og úr skilju 2 inná vél 2. Skiljuvatn frá báðum skiljum er sameinað og blandast við þéttivatn frá stöðinni og rennur niður í holur á niðurrennsli svæði.

Gassamsetning gufu inn á vélar var efnagreind og er samsetning gassins sýnd í töflu 7. Samsetning útblásurgass er sýnd í töflu 8. Hlutfall súrefnis í útblásturgasinu er mælikvarði á loftleka í eimsvala en það mældist 0,12% í gasi frá vél 1 og 0,13% frá vél 2 sem er mun minna en árið 2018.

Reglulega er fylgst með styrk natríums í gufu sem streymir inná vélar. Sýnin eru tekin neðan úr gufustofni og ættu því að sýna hámarksstyrk steinefna í gufunni. Til þess að uppfylla kröfur vélarframleiðanda þarf styrkur kísils (SiO_2) að vera minni en 0,1 mg/kg. Styrkur kísils í vatninu er um sexfalt meiri en natríums og má natríumstyrkurinn því ekki mælast meiri en 0,02 mg/kg. Mælingar árið 2019 eru sýndar á mynd 23. Styrkur natríums fór alloft yfir mörkin bæði í gufu inná vél 1 og 2. Mikilvægt er að finna út hvað veldur þessu og gera nauðsynlegar endurbætur á skiljum og gufustofni. Hugsanleg skýring er ójöfn blöndun skiljuvatns frá A-teigi við gufu frá C-teigi, einnig að útskolun úr gufustofni frá skiljum að vélum sé ekki nægileg.

Sýni voru tekin af kælivatni bæði úr eimsvala og kæliturnum og eru niðurstöður sýndar í töflu 8. Ferskvatni er dælt á kæliturnana og hækkar styrkur steinefna í kælivatninu vegna uppgufunar. Leiðni ferskvatnsins mældist 105 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en hún mældist 158 $\mu\text{S}/\text{cm}$ í kæliturni 1 og 162 $\mu\text{S}/\text{cm}$ í kæliturni 2. Miðað er við að leiðnin fari ekki yfir 348 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Leiðnin er mæld reglulega af vaktmönnum og er mælingarnar sýndar á mynd 24 og var ávallt undir mörkum á árinu.

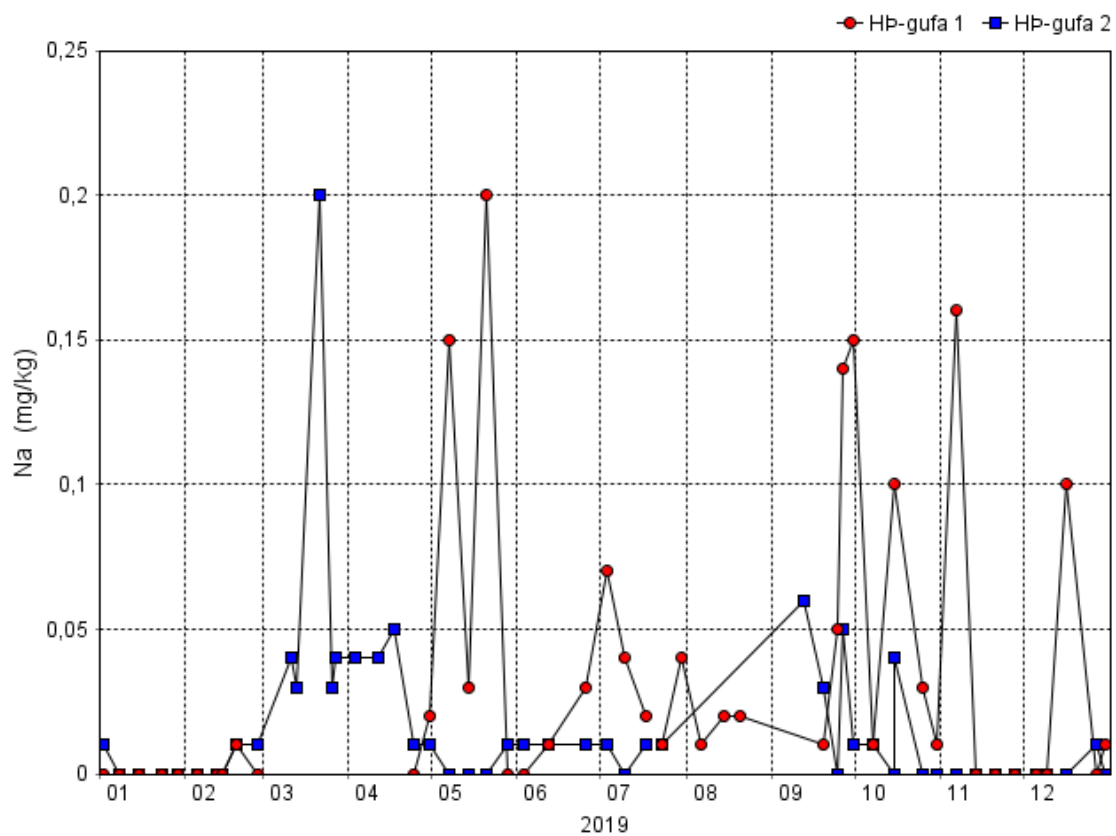
Tafla 7 Þeistareykjastöð, efnagreining gufu, sýnataka 2019-07-18

	Gufa							Gas
Staður	Rennsli ¹⁾	CO ₂	H ₂ S	H ₂	N ₂	CH ₄	Ar	hlutfall
	kg/s	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	w%
HP-gufa 1	72,1	1235	501	20,8	19	0,67	0,62	0,18
HP-gufa 2	75,1	1231	513	21,8	17,9	0,53	0,32	0,18
Samtölur	147,2	1233	507	21,3	18,4	0,6	0,47	0,18

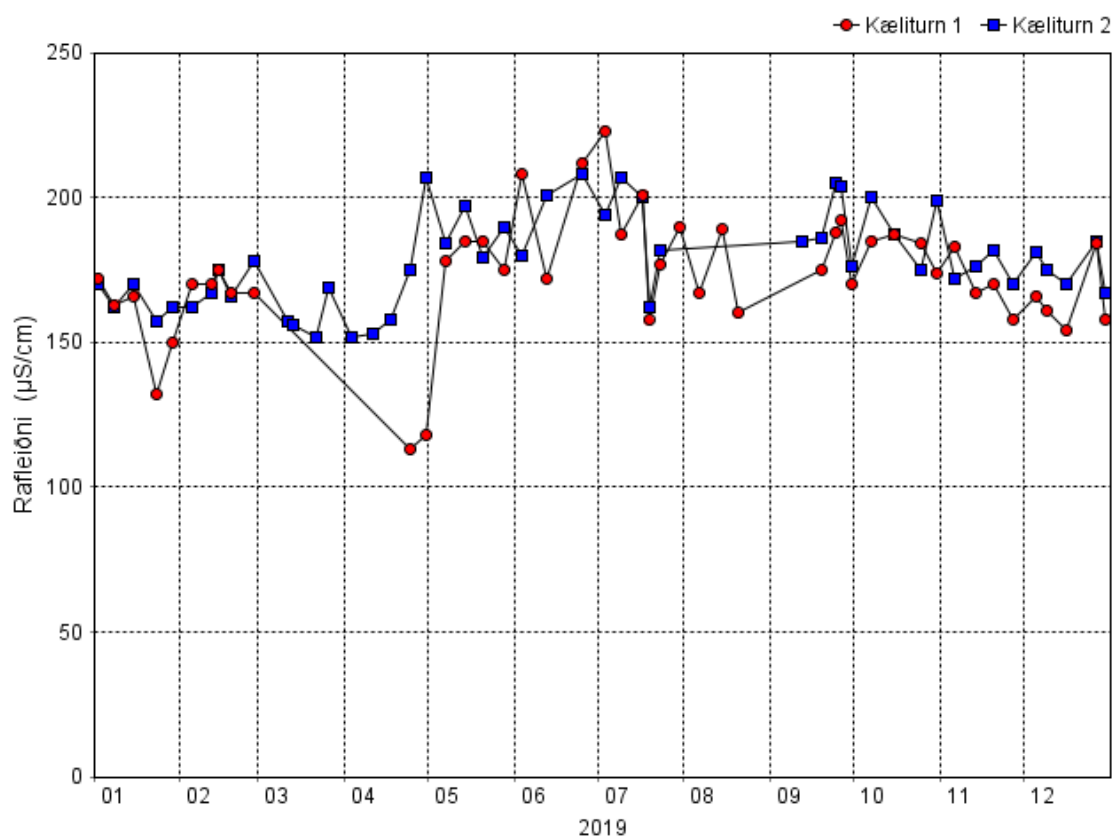
¹⁾Mælt inná vélar

Tafla 8 Þeistareykjastöð, efnagreining gass, sýnataka 2019-07-19

	NCG	CO ₂	H ₂ S	H ₂	O ₂	N ₂	CH ₄	Ar
Staður	l/kg	vol%	vol%	vol%	vol%	vol%	vol%	vol%
HP-gufa 1	1,32	52,16	27,33	19,14		1,26	0,08	0,03
HP-gufa 2	1,33	51,32	27,62	19,82		1,17	0,06	0,01
Gas 1		49,38	25,9	20,09	0,12	4,38	0,07	0,06
Gas 2		49,54	26,68	19,95	0,13	3,62	0,05	0,04



Mynd 23 Meðburður (Na) í gufu inná vélar



Mynd 24 Rafleiðni í vatni í kæliturnum.

2.2.3 Frárennsli

Stöðin framleiddi 88 MW þegar sýnin voru tekin. Gufustreymi inn á vélar var 153 kg/s og styrkur CO₂ 1556 mg/kg og H₂S 655 mg/kg. Losun CO₂ frá stöðinni reiknast 9,7 g/kWh og losun H₂S 4,1 g/kWh.

Frárennsli skiljuvatns í skiljustöðinni mældist um 90 kg/s í afkastamælingum borhola. Þéttivatni er blandað í skiljuvatnið og lækkar hitastigið við það úr 176 °C í 97 °C. Vatnið rennur síðan niður í niðurrennslisholur og mælist rennslið vera 204 l/s. Tekin voru efnasýni af skiljuvatni úr báðum skiljum og einnig úr blöndunni sem rennur í holur og eru niðurstöður sýndar í töflu 9. Styrkur kísils er rétt yfir mettunarmörkum í skiljuvatni úr skilju 1 en undir mörkum í skilju 2 og í niðurdælingarblöndunni.

Sýni voru tekin úr hitaveituholu, ÞR-14 og eru niðurstöður sýndar í töflu 10.

Þungmálmar voru greindir í kælivatns og frárenslissýnum og eru niðurstöður í töflu 11. Til samanburðar er birt tafla 12, sem notuð er til að flokka yfirborðsvatn m.t.t. mengandi efna. Þau gildi sem eru hærri en mörk fyrir fyrsta flokk eru feitiletruð og rauðlituð í töflunni. Styrkur arsens (As) í niðurrennsliðsvatninu fer yfir mörk. Styrkur fosfórs (P) í ferskvatni sem og í kælivatni mælist langt yfir mörkum og einnig mælist styrkur króms (Cr) og kopars (Cu) yfir mörkum í kælivatninu. Vatni frá kæliturnum er fargað í grunna borholu við stöðina og hefur því ekki áhrif á lífríki á yfirborði.

Tafla 9 Efnasamsetning vatns í Þeistareykjastöð 2019

Staður	Tími	Rennsli	Hitastig	pH	CO ₂	H ₂ S	SiO ₂	Na	K	Ca	Mg	Al	Fe	F	Cl	SO ₄	B	Rafleiðni	SS
		kg/s	°C		mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	µS/cm	mg/kg
Ferskvatn	2019-07-19		7,9	8,21	32,9	nd	24,8	9,9	1,042	7,358	3,63	0,004	0,001	0,111	4,79	9,24	<0,01	105,2	
Kæliturn 1	2019-07-19		21,2	8,27	51,8	nd	40,4	16,3	1,645	12,183	5,97	0,006	0,002	0,16	8,31	20,82	0,019	157,6	
Kæliturn 2	2019-07-19		21,4	8,19	49,4	nd	44,9	16,7	1,737	12,363	6,65	0,003	0	0,188	8,46	23,14	0,019	162,1	
Eimsvali 1	2019-07-19		33,7	5,86	3,1	0,66	<0,06	0,07	0,044	0,078	<0,09	nd	0,01	nd	nd	0,26	0,025	2,63	
Eimsvali 2	2019-07-19		34,3	5,71	1,6	0,92	<0,06	0,05	<0,4	<0,1	<0,09	nd	0,007	nd	nd	0,33	0,015	1,55	
Skiljustöð 1	2019-07-18	33,0	176,1	8,80	30,2	71,61	790	115,6	23,149	0,274	0,001	1,78	0,005	1,648	71,64	17,05	1,77	482	0,00
Skiljustöð 2	2019-07-18	61,0	176,1	8,95	29,0	72,65	709	119,5	22,588	0,336	0,001	1,9	0,006	1,432	68,82	23,78	1,16	509	0,00
Niðurrennsli	2019-07-18	204,0	97	8,59	38,1	39,30	300	49,5	9,364	0,166	0,001	0,79	0,004	0,632	26,9	8,43	0,563	247	0,06

Tafla 10 Þeistareykjastöð. Hitaveituhola PR-14.

Tími	Skilja	Gufa							Vatn															
	Vermi	Rennsli	CO ₂	H ₂ S	H ₂	N ₂	CH ₄	NH ₃	Rennsli	pH	CO ₂	H ₂ S	SiO ₂	Na	K	Ca	Mg	Fe	Al	F	Cl	SO ₄	B	
	kJ/kg	kg/s	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	kg/s		mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
2019-07-18	967		944	197	0,3	10,8	0,18	0,37		9,72	39,8	27,3	359	110	10,5	0,68	<0,0005	0,002	1,17	0,84	34,0	20	0,56	

Tafla 11 Næringarefni og þungmálmar í vatni frá Þeistareykjastöð 2019

Nafn	Tími	PO ₄	NH ₃	NO ₃	P	Cr	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Hg	Pb
		mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg
Ferskvatn *)	2019-07-19	0,18	0,006	nd	0,089	0,765	0,169	0,964	2,59	0,127	<0,002	<0,002	0,028
Kæliturn 1	2019-07-19	0,316	nd	0,081	0,14	1,2	0,211	<0,1	0,861	0,19	<0,002	<0,002	0,017
Kæliturn 2	2019-07-19	0,343	nd	nd	0,168	1,51	<0,05	<0,1	<0,2	0,235	0,008	<0,002	0,023
Eimsvali 1	2019-07-19	0,001	0,073	0,001	<0,001	<0,01	0,148	<0,1	0,74	<0,05	<0,002	<0,002	0,018
Eimsvali 2	2019-07-19	0,001	0,031	nd	<0,001	<0,01	0,119	<0,1	0,739	<0,05	<0,002	<0,002	0,016
Skiljustöð 1	2019-07-18	0,001	0,004	nd	0,001	0,03	0,141	<0,1	0,893	3,81	<0,002	<0,002	0,012
Skiljustöð 2	2019-07-18	0,001	0,007	nd	0,001	0,688	0,135	<0,1	0,682	1,95	<0,002	<0,002	<0,01
Niðurrennsli	2019-07-18	nd	0,026	nd	<0,001	0,018	0,126	<0,1	0,9	1,12	<0,002	<0,002	<0,01
Hitaveita ÞR-14	2019-07-18	0,001	0,011	nd	<0,001	0,012	0,122	<0,1	0,823	1,57	<0,002	<0,002	0,011

*) Sýnatökugrind 1.

Tafla 12 Umhverfismörk fyrir málma í yfirborðsvatni til verndar lífríki.

	Hg	Zn	Cu	Cr	Ni	Cd	Pb	As	P
	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	mg/kg
Flokkur I <		5	0,5	0,3	0,7	0,01	0,2	0,4	0,02
Flokkur II <		20	3	5	1,5	0,1	1	5	0,04
Flokkur III <		60	9	15	4,5	0,3	3	15	0,09
Flokkur IV <		300	45	75	22,5	1,5	15	75	0,15
Flokkur V >	1	300	45	75	22,5	1,5	15	75	0,15

Umhverfismörk I: Mjög lítil eða engin hættu á áhrifum.

Umhverfismörk II: Lítil hættu á áhrifum.

Umhverfismörk III: Áhrifa að vænta á viðkvæmt lífríki.

Umhverfismörk IV: Áhrifa að vænta.

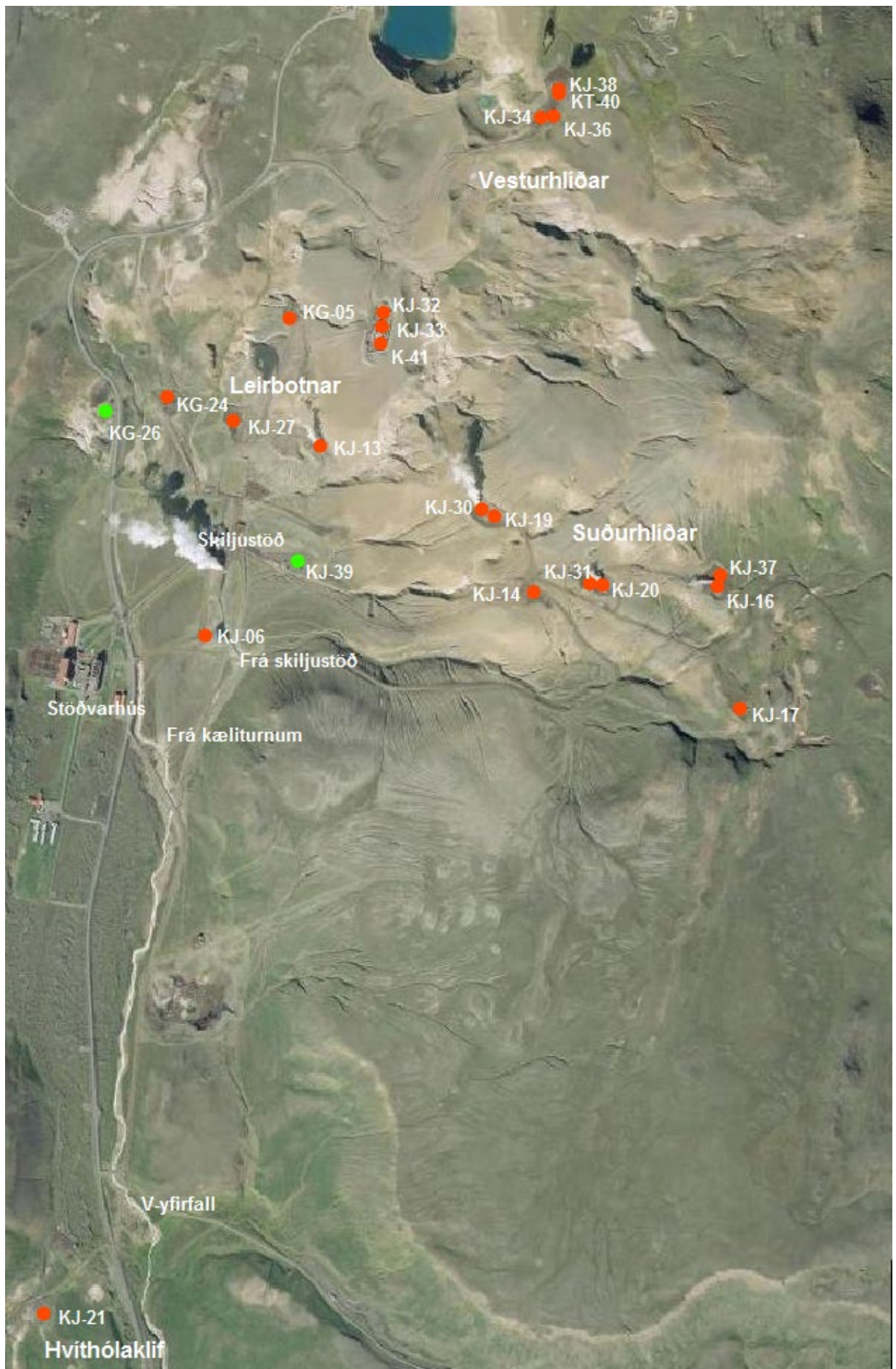
Umhverfismörk V: Ávallt ófullnægjandi ástand vatns fyrir lífríki/þynningarsvæði.

(Reglugerðir 796/1999 og 800/1999)

3 KRAFLA

Síðan virkjun Kröflu hófst árið 1974 hefur verið boruð 41 hola til gufuöflunar á svæðinu. Nú er 21 gufuborhola tengd Kröflustöð og tvær gufuborholur eru nýttar sem niðurdælingarholur. Orkuframleiðslan hófst með ræsingu vélarsamstæðu eitt árið 1977 og vélarsamstæðu tvö árið 1997. Þegar holurnar voru aflmældar og sýni tekin til árlegs eftirlits í maí 2019 voru 15 holur blásandi. Staðsetning borholanna er sýnd á eftirfarandi loftmynd. Fimm safnæðar liggja að skiljustöðinni. Lágprýstar holur, KG-05, KG-24 og KJ-06 í Leirbotnum er tengdar inná lágprýstiskiljur. Háprýstar holur í Leirbotnum, KJ-13 og, KJ-27 eru tengdar inná safnkistu fyrir háprýstiskiljur. Safnæð liggur frá Suðurhlíðum og tengir holur KJ-14, KJ-16, KJ-17, KJ-19, KJ-20, KJ-30, KJ-31 og KJ-37 við háprýstiskiljur. Frá Vesturhlíðum liggur önnur lögn sem tengir holur KJ-32, KJ-33, KJ-34, KJ-36, KJ-38, KT-40 og K-41. Fimmta lögnin liggur frá Hvíthólsvæðinu og tengir holu KJ-21 við háprýstiskiljur. Þegar sýnum var safnað úr holunum voru holur KG-05, KJ-13, KG-24, KJ-27, KJ-33 og KJ-37 lokaðar. Tvær holur voru notaðar til niðurdælingar, KG-26 og KJ-39.

Á mynd 25 eru einnig sýndir sýnatökustaðir fyrir frárennsli frá stöðinni. Þ.e. úr læk frá skiljustöð, úr læk frá kæliturnum og úr V-yfirfalli þar sem sameinað vatn frá svæðinu rennur niður Dallæk.



Mynd 25 Tengdar borholur í Kröflu árið 2019 (Orkustofnun-borholuskrá).

3.1 AFKASTAMÆLINGAR

3.1.1 Afköst borhola

Mælingarnar voru skráðar í gagnagrunn ViewData sem reiknar vermi og heildarrensli sem og háþrýsti- og lágþrýstigufu og frárennslisvatn og gufu úr holunum eftir aðskilnað vatns og gufu í skiljustöð við 7,0 barg og 1,2 barg. Forritið reiknar einnig rafafli, sem framleiða má úr gufunni, miðað við uppgefna nýtni hverflanna í Kröflu (62,5%). Í töflu 13 eru birtar reiknaðar stærðir fyrir valdar mælingar úr hverri holu.

Í maí árið 2019 voru 15 holur tengdar Kröflustöð og framleiddu þær 105,1 kg/s af háþrýstigufu og 19,8 kg/s lágþrýstigufu, sem reikningslega nægir til framleiðslu á 52 MW af rafmagni. Nokkrar holur voru lokaðar og gufuframleiðsla minni en árið 2018. Afl virkjunarinnar var nokkuð minna en afkastamælingar sýndu eða 49 MW sem skýrist af því að hluti gufunnar er notaður í gasþeysur.

Á myndum 26 til 33 eru sýndar breytingar sem orðið hafa á gufu og vatnsrennsli úr vinnsluholunum frá því að þær voru teknar í notkun. Rennslið er reiknað við 7 barg þrýsting fyrir hávermisholur og 1,2 barg þrýsting fyrir lágvermisholur.

Ein grunn lágvermishola var blásand, hola KJ-06. Holu KJ-06 var hleypt upp 2013 og gefur hún um 12 kg/s af lágþrýstigufu og hefur ekki breyst. Vatnsrennsli frá holunni var 25 kg/s.

Tvær holur sem vinna úr dýpri hluta Leirbotnasvæðisins, þ.e. holur KJ-13 og KJ-27 voru lokaðar.

Afköst KJ-14 í Suðurhlíðum breyttist lítið milli ára en lítilsháttar minnkun varð í vatnsrennsli. Hola KJ-30 minnkaði verulega í afli frá síðasta ári eins og undanfarin ár og hefur aflið minnkað um meira en helming frá því henni var hleypt upp. Stjórnblendan var minnkuð úr 120 mm í 105 mm í maí 2018 en stækkuð aftur síðasta haust. Þetta hefur ekki haft góð áhrif á afköstin. Vinnsluhluti holunnar er leiðaralaus og því mögulegt að hrun hafi orðið í holunni. Rétt er að lóða holuna til þess að kanna með fyrirstöður. Vatnsrennsli úr KJ-19 minnkaði og gufurensli jókst og er möguleg skýring að niðurdælingin var minnkuð í KJ-39.

Hola KJ-21 á Hvíthólasvæði var lokuð tímabundið í fyrra en mældist nú svipuð í afli og áður.

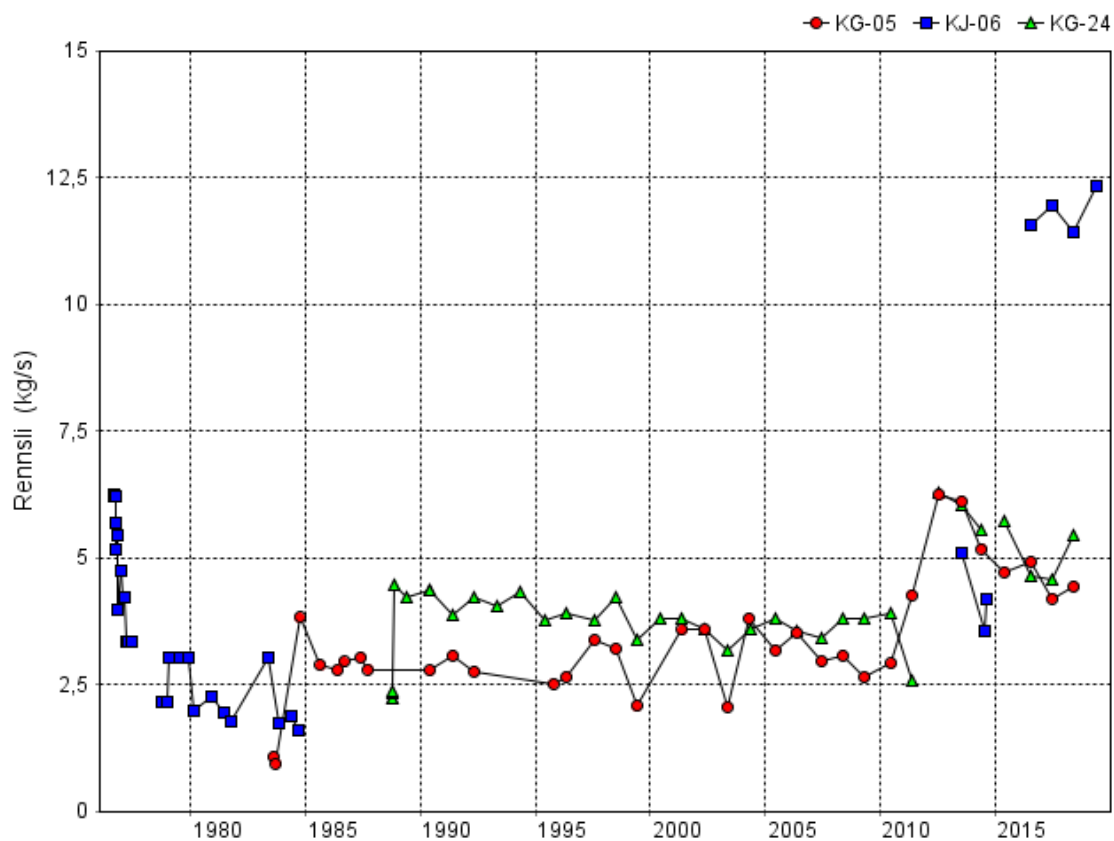
Sjö holur eru virkjaðar á Vesturhlíðasvæðinu, þ.e. KJ-32, KJ-33, KJ-34, KJ-36, KJ-38 og KT-40 og K-41. Hola KJ-33 var lokuð þegar sýni voru tekin. Hola KJ-38 hefur aukið við sig síðustu ár en aðrar holur breyttust lítið.

Myndir 34 og 35 sýna rennsli gufu og vatns samtals úr blásandi holum í Kröflu. Rennsli gufu tvöfaldaðist þegar stöðin var stækkuð árið 2000 úr 30 MW í 60MW. Síðan þá hefur rennslið rétt dugað fyrir fullum afköstum þrátt fyrir að 6 nýjar holur hafi bæst við. Rennsli vatns úr holunum hefur verið að aukast t.d. vegna niðurdælingar en var mun minna árið 2019 vegna lokunnar vatnsríkra borhola.

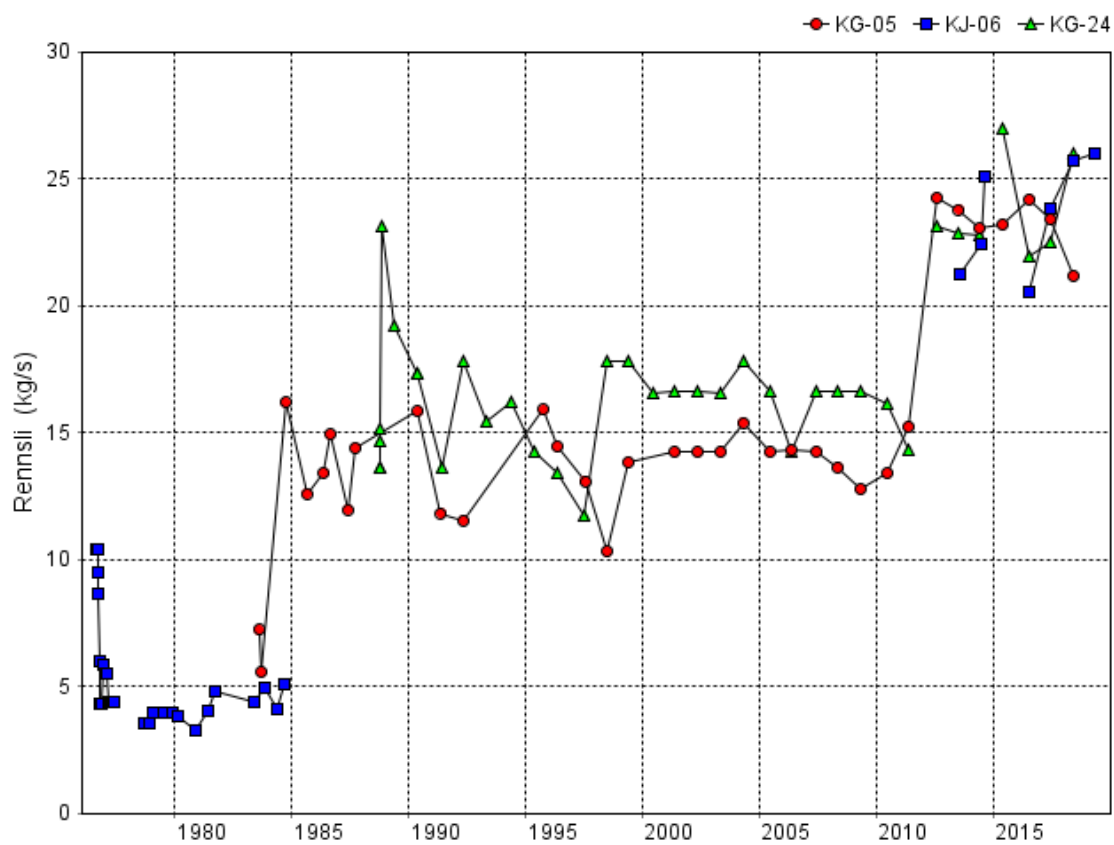
Tafla 13 Kröflustöð, afköst tengdra borhola sumarið 2019

Nafn	Tími	Heildar			HÞ-Skilja	LÞ-Skilja	Frárennsli ³⁾		Hverfill
		Vermi	Rennsli	Varmaafll	Gufa ¹⁾	Gufa ²⁾	Gufa	Vatn	Rafafll
		kJ/kg	kg/s	MW	kg/s	kg/s	kg/s	kg/s	MW
KJ-06	2019-05-22	1224	38,3	40,5		12,3	1,1	24,8	3,9
KJ-14	2019-05-28	2572	4,5	10,8	4,1	0,0	0,0	0,4	1,8
KJ-16	2019-05-02	2767	1,8	4,7	1,8	0,0	0,0	0,0	0,8
KJ-17	2019-05-02	1876	8,5	14,6	4,8	0,3	0,1	3,2	2,2
KJ-19	2019-05-28	2048	4,5	8,5	2,9	0,1	0,1	1,4	1,3
KJ-20	2019-05-28	2722	4,7	12,0	4,6	0,0	0,0	0,1	2,0
KJ-21	2019-05-22	1129	45,5	43,7	9,1	3,4	1,5	31,6	5,0
KJ-30	2019-05-28	2768	11,3	29,5	11,3	0,0	0,0	0,0	4,9
KJ-31	2019-05-28	2789	0,5	1,2	0,5	0,0	0,0	0,0	0,2
KJ-32	2019-05-23	1134	41,8	40,4	8,4	3,1	1,3	29,0	4,6
KJ-34	2019-05-31	2516	19,1	44,9	16,8	0,2	0,1	2,0	7,3
KJ-36	2019-05-31	2683	10,4	26,1	9,9	0,0	0,0	0,4	4,3
KJ-38	2019-05-31	1842	9,2	15,4	5,0	0,4	0,2	3,6	2,3
KT-40	2019-05-29	2755	19,2	49,6	19,1	0,0	0,0	0,1	8,3
K-41	2019-05-29	2773	6,8	17,7	6,8	0,0	0,0	0,0	2,9
	Samtölur	1758	226,1	359,6	105,1	19,8	4,4	96,6	51,8

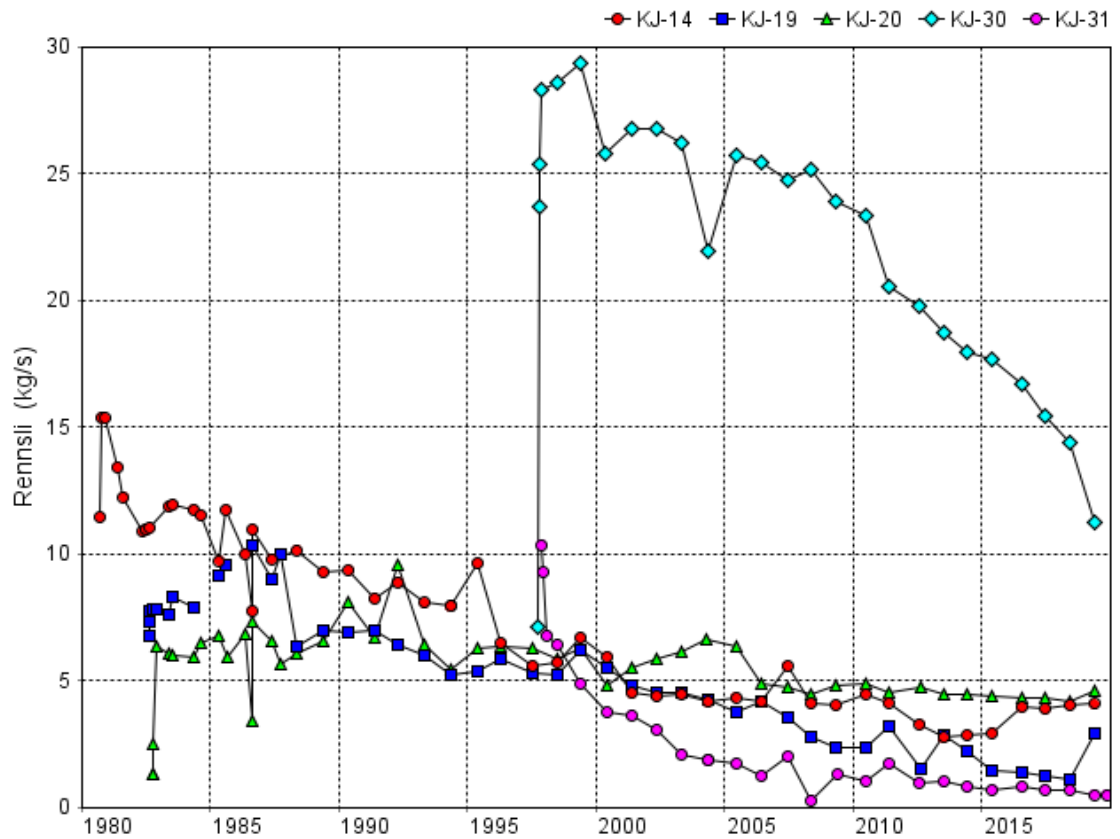
¹⁾ Við Skiljubrýsting 7,0 barg, ²⁾ 1,2 barg, ³⁾ 0,0 barg



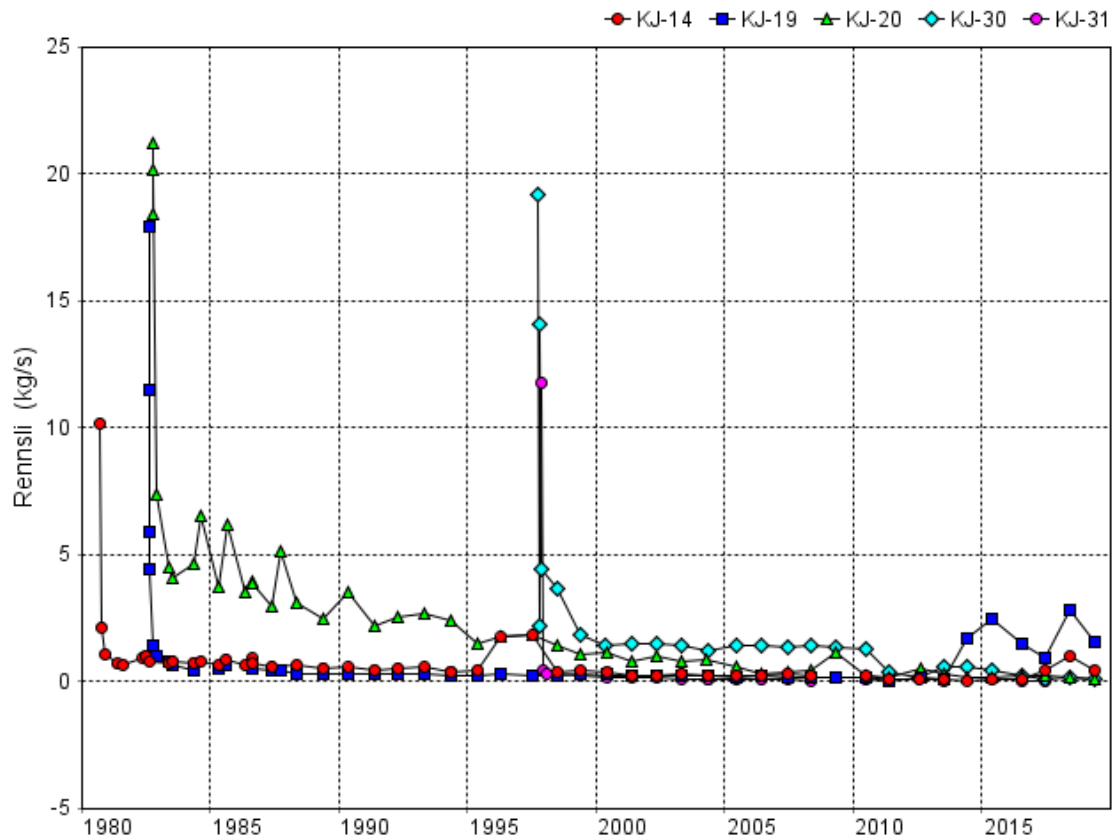
Mynd 26 Leirbotnar, gufurennslí úr grunnum holum.



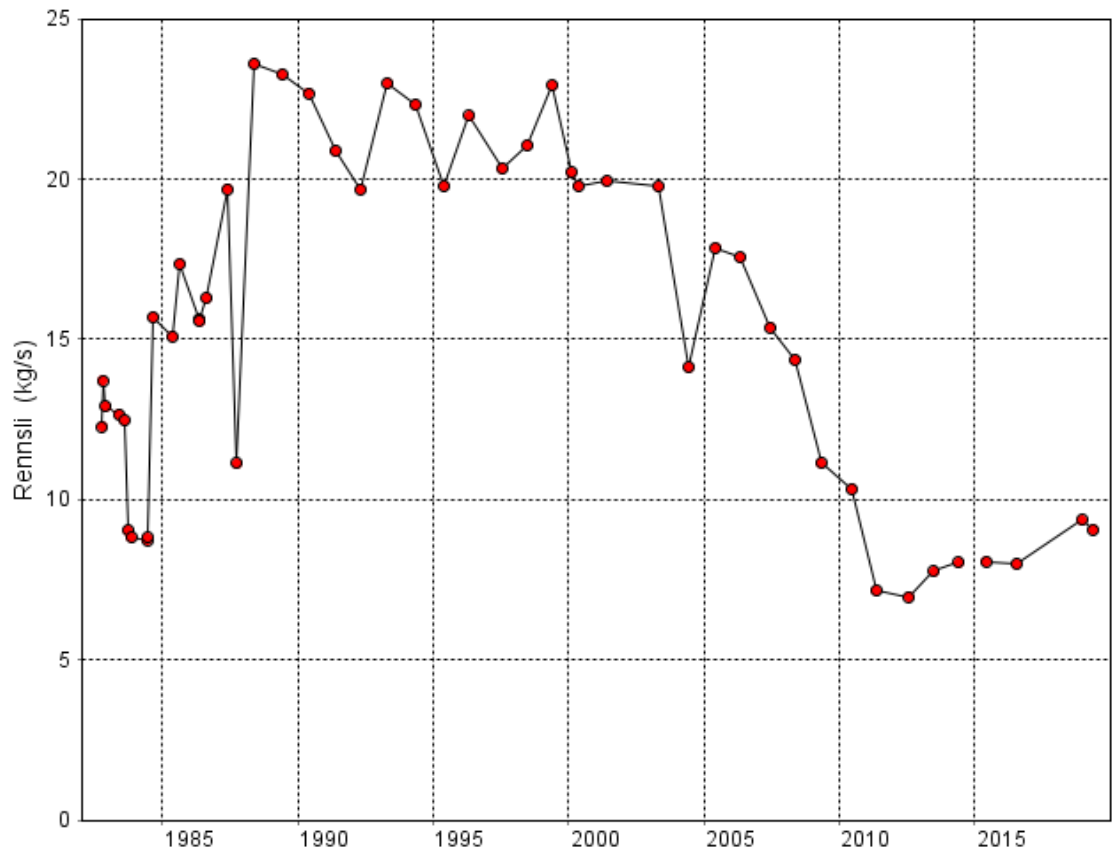
Mynd 27 Leirbotnar, vatnsrennslí úr grunnum holum.



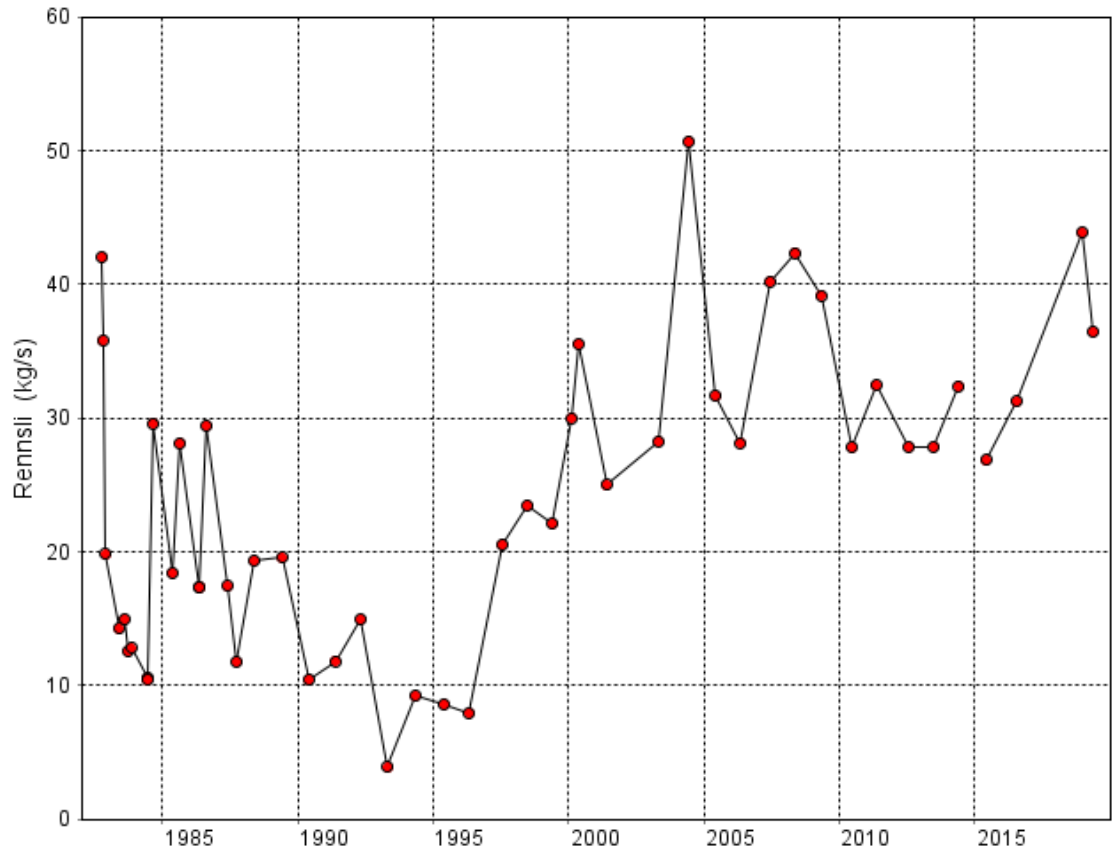
Mynd 28 Suðurhlíðar, gufurennslí úr holum



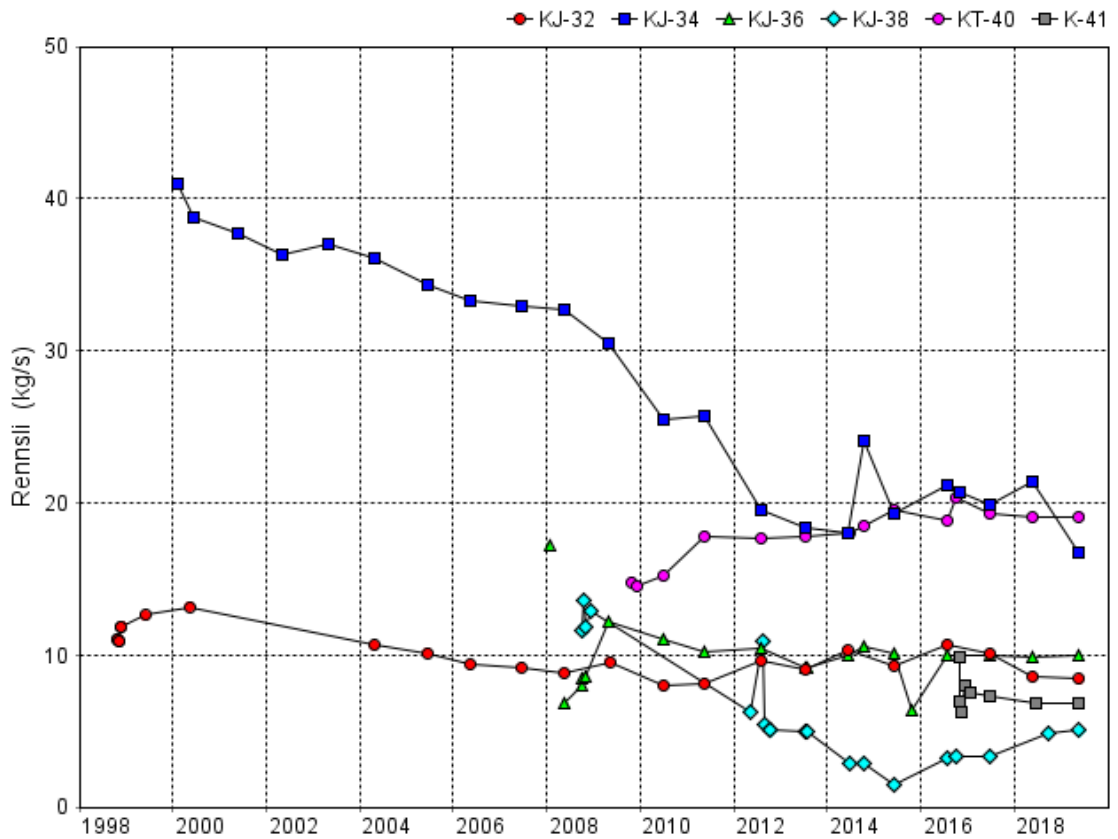
Mynd 29 Suðurhlíðar, vatnsrennslí úr holum.



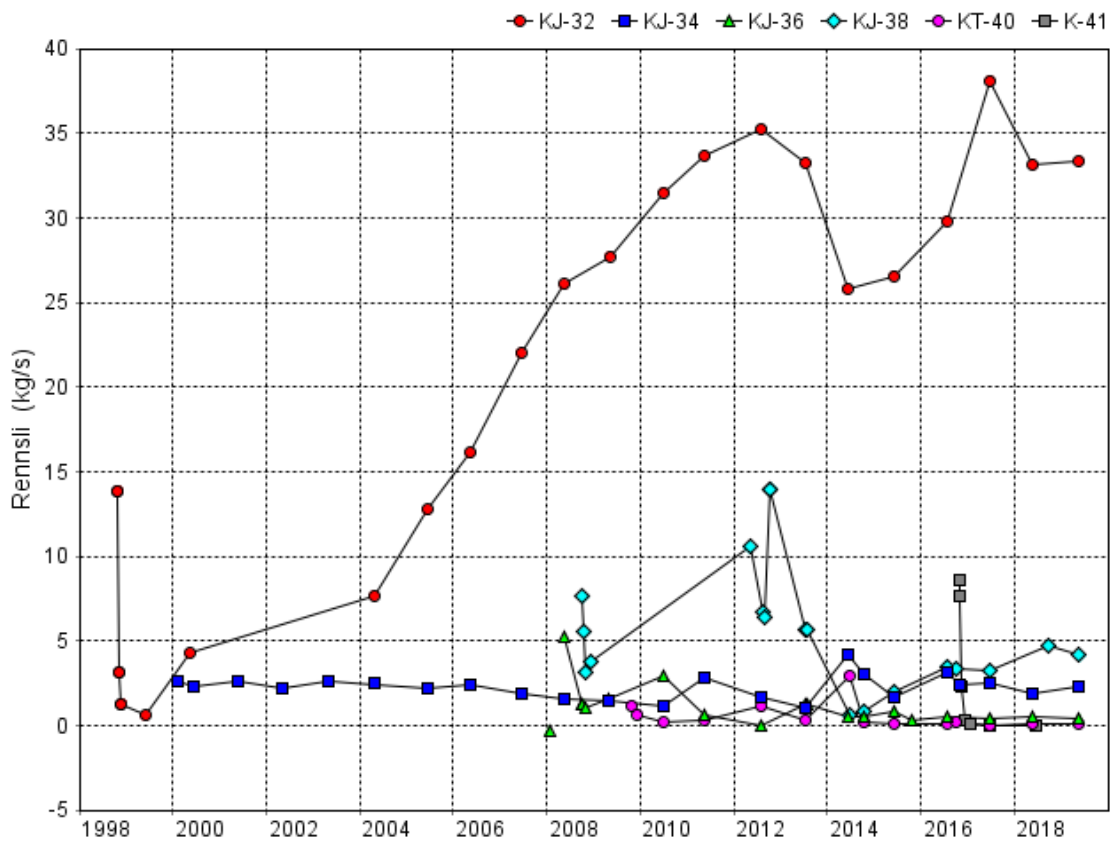
Mynd 30 Hvíthólaklif, gufurennslí úr holu KJ-21.



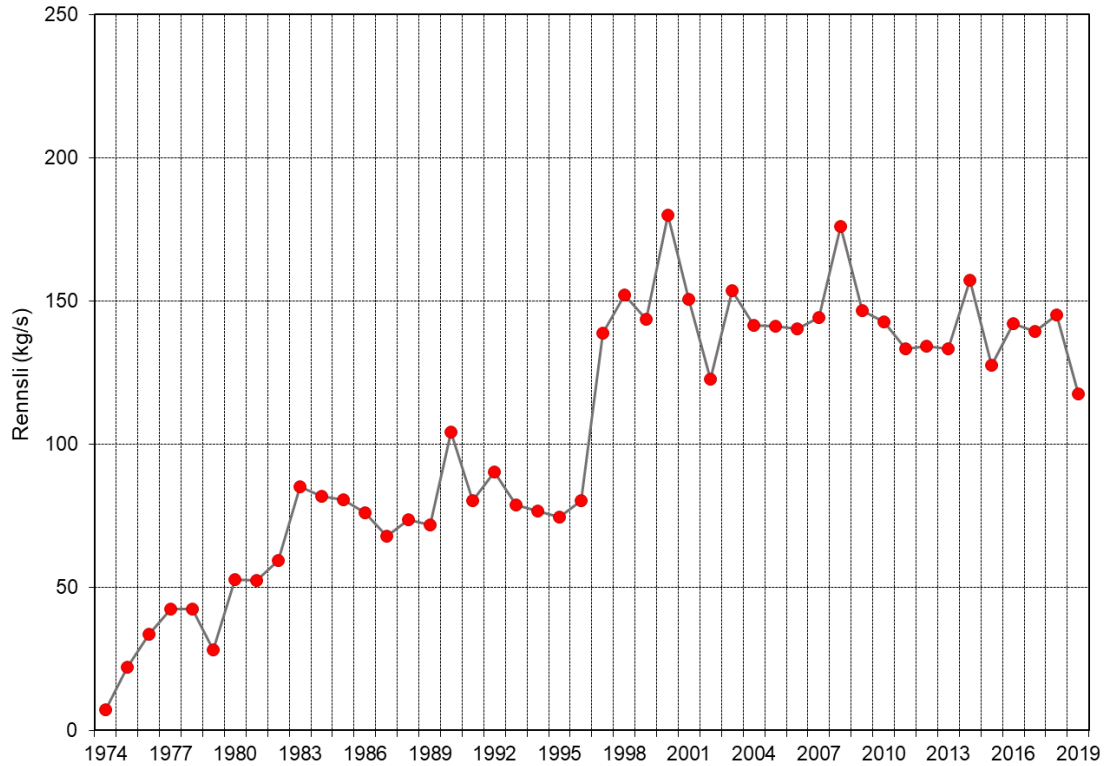
Mynd 31 Hvíthólaklif, vatnsrennslí úr holu KJ-21.



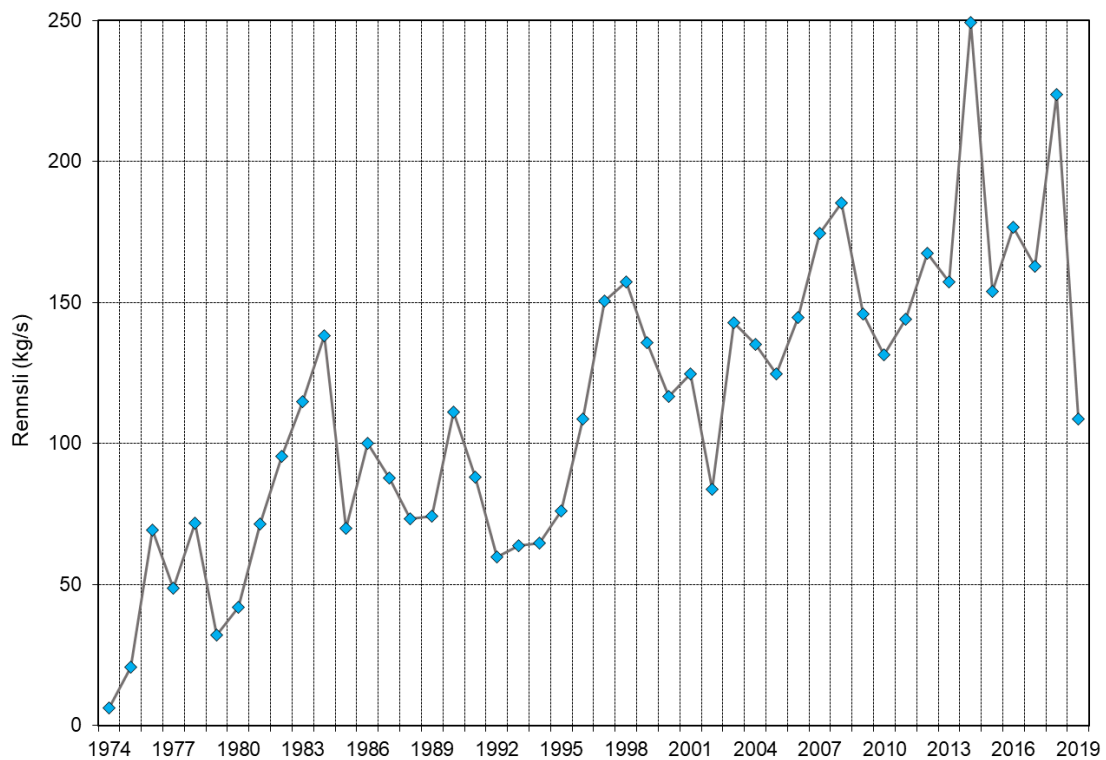
Mynd 32 Vesturhlíðar, gufurennslí úr holum.



Mynd 33 Vesturhlíðar, vatnsrennslí úr holum.



Mynd 34 Samtals gufurennslí úr blásandi borholum í Kröflu.



Mynd 35 Samtals vatnsrennslí úr blásandi borholum í Kröflu.

3.2 EFNAMÆLINGAR

3.2.1 Vatn og gufa úr borholum

Niðurstöður efnagreininga á vatni og gufu úr borholum í Kröflu, sem safnað var í eftirliti 2019, eru varðveittar í gagnagrunni ViewData.

Reiknaður efnastyrkur í gufu og vatni við skiljuþrýsting er sýndur í töflu 14. Fyrir lágvermisholunarnar er miðað við 1,2 barg skiljuþrýsting og 7,0 barg þrýsting fyrir hávermisholu. Í töflunni kemur fram styrkur allra helstu efna sem og rennsli gufu og vatns í hverri holu. Styrkur þungmálma í skiljuvatni frá holunum er sýndur í töflu 15.

Í töflu 16 er tekið saman yfirlit um gasstyrk í gufu ásamt gassamsetningu og hversu mikið gas streymir úr hverri holu. Meðaltal gass í gufu inn á hverfil, þ.e. bæði háþrýsti og lágþrýstigufu, reiknast um 0,69%, sem er mun minna en árið 2018 en þá var styrkurinn 0,84%. Samanlagt gasstreymi inn í stöðina minnkaði og reiknast 0,87 kg/s samanborið við 1,22 kg/s í fyrra.

Reiknaður berghiti árið 2019 er sýndur í töflu 17.

Safnað var sýnum til efnagreininga úr einni grunnri holu í Leirbotnum þ.e. KJ-06. Styrkur kísils (SiO_2) hefur minnkað lítilsháttar sem bendir til kólnunar (sjá mynd 34).

Holu, KJ-13 og KJ-27, sem vinna úr dýpri hluta kerfisins í Leirbotnum, voru lokaðar. Holur KJ-11, KG-12 og KJ-29 voru einnig lokaðar og dælt var í holu KJ-26.

Sýnum var safnað úr samtals sjö holum í Suðurhlíðum Kröflu, KJ-14, KJ-16, KJ-17, KJ-19, KJ-20, KJ-30, KJ-31 en hola KJ-37 var lokað. Á mynd 35 er styrkur koldíoxíð (CO_2) í gufu reiknaður við skiljuþrýsting, sýndur á móti tíma fyrir holunarnar. Styrkurinn minnkar verulega í KJ-19 og KJ-30 en hann hafði aukist aðeins í holu KJ-19 á meðan dælt var í holu KJ-39. Styrkur súlfats (SO_4) er lítill í holunum en tók stökk í holu KJ-19 eftir að niðurdæling hófst í nálægri holu KJ-39 (sjá mynd 36). Hann hefur nokkuð gengið til baka í holunni á meðan hann eykst í öðrum holum.

Á mynd 37 er styrkur koldíoxíðs (CO_2) í gufu úr holum í Vesturhlíðum Kröflu sýndur. Koldíoxíðstyrkur í gufu úr holunum hefur minnkað frá upphleypingu nema í holu KJ-38. Í ár mældist veruleg minnkun í öllum holunum nema KJ-32. Styrkur brennisteinsvetnis (H_2S) í gufu er mikill í holunum og mestur í gufu úr holu KJ-36. Styrkurinn minnkaði einnig nokkuð milli ára í holunum, sjá mynd 38. Á mynd 39 er styrkur súlfats í borholuvatninu sýndur. Þar kemur fram að styrkur súlfats í holu KJ-32 jókst skyndilega eftir 2004 en hefur náð jafnvægi.

Vegið meðaltal CO_2 og H_2S styrks í gufu úr blásandi holum er sýnt á myndum 42 og 43. Styrkur CO_2 hefur minnkað stöðugt frá upphafi Kröfluelda árið 1976. Undantekningar eru þegar nýjar borholur hafa verið teknar í notkun þá hefur hægt tímabundið á styrkminnkuninni.

Styrkur H_2S var um 700 til 800 mg/kg þar til borholur í Vesturhlíðum Kröflu voru virkjaðar vegna stækkunar Kröflu um aldamótin. Þá jókst H_2S styrkurinn í 1100 til 1200 mg/kg. Þetta hefur aukið vandamál vegna brennisteinsútfellinga í kælikerfi stöðvarinnar.

Tafla 14 Kröflustöð. Styrkur efna í vatni og gufu borhola árið 2019

Staður	Tími	Skilja Vermi	Gufa							Vatn														
			Rennsli	CO2	H2S	H2	N2	CH4	Ar	Rennsli	pH	CO2	H2S	SiO2	Na	K	Ca	Mg	Fe	Al	F	Cl	SO4	B
		KJ/kg	kg/s	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	kg/s		mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
KJ-06	2019-05-20	1224	12,3	856	192	0,7	23,4	1,65		26,0	9,65	36,0	19,7	513	229,6	30,1	1,62		0,007	1,38	1,24	28,9	252,3	0,46
KJ-14	2019-05-21	2572	4,1	6264	772	40,9	5,2	0,82		0,4	8,79	58,2	27,4	947	164,6	37,8	1,15			1,10	1,95	148,0	107,3	5,02
KJ-16	2019-05-22	2767	1,8	12617	1013	50,6	15,9	5,13		0,0	9,33	468,4	143,9	6833	2040,8	350,3	12,24	0,027	0,074	11,25	16,55	1389,7	176,6	49,57
KJ-17	2019-05-24	1876	4,8	3367	765	33,0	15,9	3,05		3,7	9,30	77,4	68,2	693	128,7	22,0	0,22	0,001	0,002	1,52	2,40	14,7	6,8	1,62
KJ-19	2019-05-22	2048	2,9	4190	588	33,5	6,1	0,68		1,6	9,13	70,8	38,3	740	194,9	35,8	1,49		0,001	1,61	2,22	67,9	138,0	1,85
KJ-20	2019-05-21	2722	4,6	9064	997	34,3	7,0	0,97		0,1	9,04	144,7	61,4	1032	296,5	52,3	1,19	0,001	0,005	0,24	2,29	227,1	24,3	5,18
KJ-21	2019-05-20	1129	9,1	1068	297	1,0	25,0	6,32		36,4	9,21	18,6	19,9	619	206,9	31,5	1,17	0,001	0,008	1,40	1,09	219,4	54,2	0,85
KJ-30	2019-05-22	2768	11,2	5990	1072	31,9	9,0	0,75		0,1	8,93	98,9	74,7	810	204,1	29,3	0,44	0,001	0,006	0,26	6,04	55,2	16,1	23,79
KJ-31	2019-05-22	2789	0,5	8049	1675	84,0	15,7	0,61																
KJ-32	2019-05-21	1134	8,4	1243	613	7,1	7,7	0,84		33,4	9,34	29,7	56,0	656	251,4	40,2	4,20	0,001	0,001	1,47	1,23	39,6	337,2	0,68
KJ-34	2019-05-23	2516	16,8	6233	1574	40,8	9,9	0,43		2,4	8,73	55,5	53,1	924	208,8	37,9	3,08	0,005	0,005	1,03	1,92	181,5	80,6	6,43
KJ-36	2019-05-23	2683	10,0	7656	1863	40,2	13,9	0,23		0,4	8,76	77,6	72,2	621	139,4	22,6	1,29	0,001	0,001	1,47	1,08	60,8	31,7	5,04
KJ-38	2019-05-23	1842	5,0	8472	1464	45,4	54,4	3,10		4,2	8,89	103,2	68,2	551	174,5	23,6	2,49	0,001	0,001	1,56	1,32	64,6	90,3	0,62
KT-40	2019-05-23	2755	19,1	12009	935	14,9	13,0	1,26		0,1	8,75	120,4	35,7	964	119,9	22,6	2,08	0,005	0,016	3,47	4,16	10,3	20,9	8,99
K-41	2019-05-21	2773	6,8	10826	1039	41,9	9,4	1,05																
	Samtölur	1758	117,9	6356	983	26,0	14,9	1,56		108,3	9,09	43,1	40,0	614	228,3	33,6	2,14	0,002	0,004	1,46	1,37	103,8	194,1	0,97

Tafla 15 Styrkur þungmálma í borholusýnum í Kröflu 2019.

Staður	Tími	P	Cr	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Hg	Pb
		mg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg
KJ-06	2019-05-20	<0,001	0,015	<0,05	<0,1	1,05	1,67	<0,002	<0,002	0,011
KJ-14	2019-05-21	<0,1	<1	<5	<10		30	<0,2	<0,002	<1
KJ-16	2019-05-22	<0,001	0,106	0,057	<0,1	0,765	33,5	<0,002	<0,002	<0,01
KJ-17	2019-05-24	<0,001	0,015	<0,05	<0,1	1,22	10,1	<0,002	<0,002	<0,01
KJ-19	2019-05-22	<0,001	0,01	<0,05	<0,1	0,656	11,2	<0,002	<0,002	<0,01
KJ-20	2019-05-21	0,002	0,063	<0,05	<0,1	0,591	11,2	<0,002	<0,002	0,015
KJ-21	2019-05-20	<0,001	0,019	0,145	<0,1	0,99	7,49	<0,002	<0,002	0,01
KJ-30	2019-05-22	0,002	0,148	<0,05	<0,1	0,787	24,1	<0,002	<0,002	<0,01
KJ-31	2019-05-22	<0,001	0,121	0,994	<0,1	2,37	2,64	<0,002	0,043	<0,01
KJ-32	2019-05-21	<0,001	0,011	0,12	<0,1	0,657	10,4	<0,002	<0,002	<0,01
KJ-34	2019-05-23	0,002	0,011	<0,05	<0,1	0,259	23,6	<0,002	<0,002	0,012
KJ-36	2019-05-23	<0,001	0,05	<0,05	<0,1	0,35	17,4	<0,002	<0,002	<0,01
KJ-38	2019-05-23	<0,001	0,041	<0,05	<0,1	0,8	2,51	<0,002	<0,002	<0,01
KT-40	2019-05-23	<0,001	0,323	0,08	<0,1	1,5	34,5	<0,002	0,003	<0,01
K-41	2019-05-21	0,008	0,264	0,941	0,426	2,56	17,8	0,003	0,006	0,018

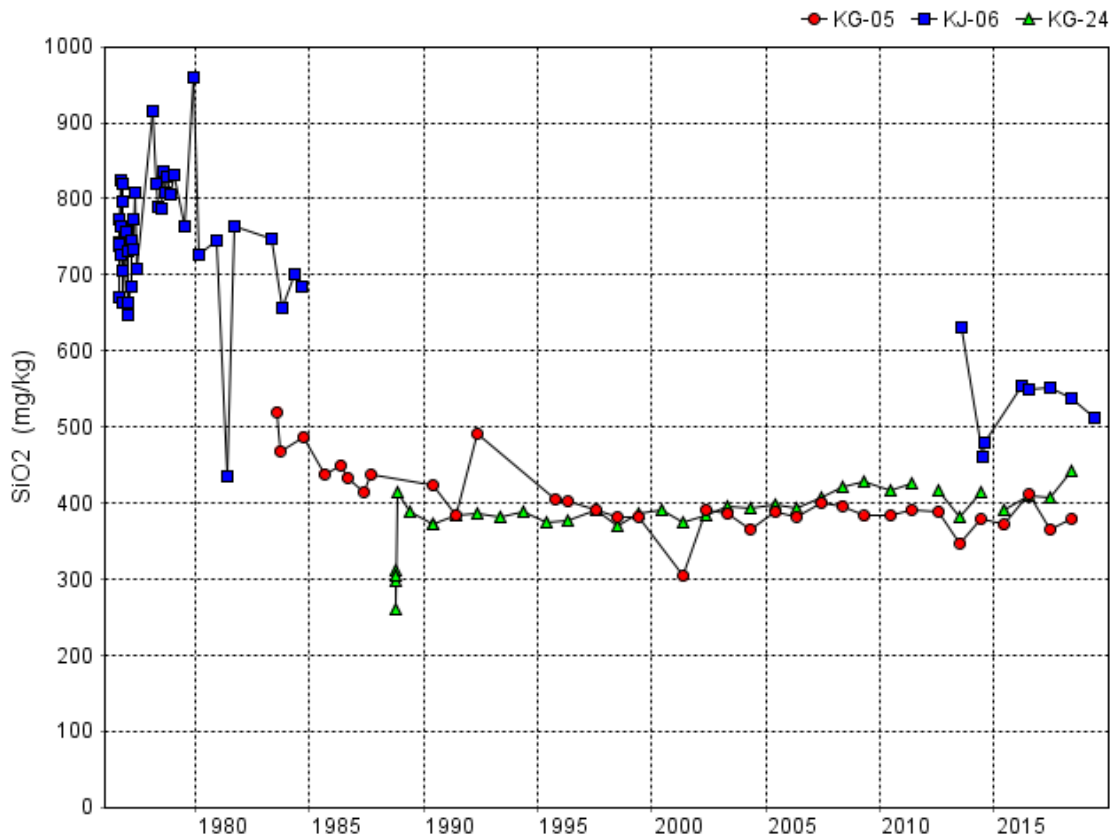
Tafla 16 Kröflustöð, borholur. Gas í gufu og gashlutföll árið 2019.

Staður	Tími	Gufa	Gas								
		Rennsli	í gufu	rennsli	hlutfall	CO ₂	H ₂ S	H ₂	N ₂	CH ₄	Ar
		kg/s	w%	kg/s	l/kg	vol%	vol%	vol%	vol%	vol%	vol%
KJ-06	2019-05-20	12,3	0,11	0,01	0,65	73,70	21,36	1,38	3,16	0,39	
KJ-14	2019-05-21	4,1	0,71	0,03	4,54	76,73	12,21	10,94	0,10	0,03	
KJ-16	2019-05-22	1,8	1,37	0,02	8,38	83,74	8,68	7,33	0,17	0,09	
KJ-17	2019-05-24	4,8	0,42	0,02	2,84	65,91	19,33	14,11	0,49	0,16	
KJ-19	2019-05-22	2,9	0,48	0,01	3,16	73,60	13,34	12,86	0,17	0,03	
KJ-20	2019-05-21	4,6	1,01	0,05	6,18	81,56	11,58	6,73	0,10	0,02	
KJ-21	2019-05-20	9,1	0,14	0,01	0,85	69,79	25,04	1,46	2,57	1,13	
KJ-30	2019-05-22	11,2	0,71	0,08	4,50	74,07	17,11	8,61	0,17	0,03	
KJ-31	2019-05-22	0,5	0,98	0,00	6,71	66,68	17,91	15,19	0,20	0,01	
KJ-32	2019-05-21	8,4	0,19	0,02	1,22	56,44	35,91	6,99	0,55	0,10	
KJ-34	2019-05-23	16,8	0,79	0,13	5,10	67,95	22,16	9,70	0,17	0,01	
KJ-36	2019-05-23	10,0	0,96	0,10	6,09	69,84	21,95	8,00	0,20	0,01	
KJ-38	2019-05-23	5,0	1,00	0,05	6,36	74,01	16,51	8,65	0,75	0,07	
KT-40	2019-05-23	19,1	1,30	0,25	7,54	88,52	8,90	2,40	0,15	0,03	
K-41	2019-05-21	6,8	1,19	0,08	7,28	82,64	10,24	6,98	0,11	0,02	
	HÞ>LP	7,5									
	Samtölur	124,9	0,69	0,86	4,29	77,74	15,21	6,72	0,29	0,05	

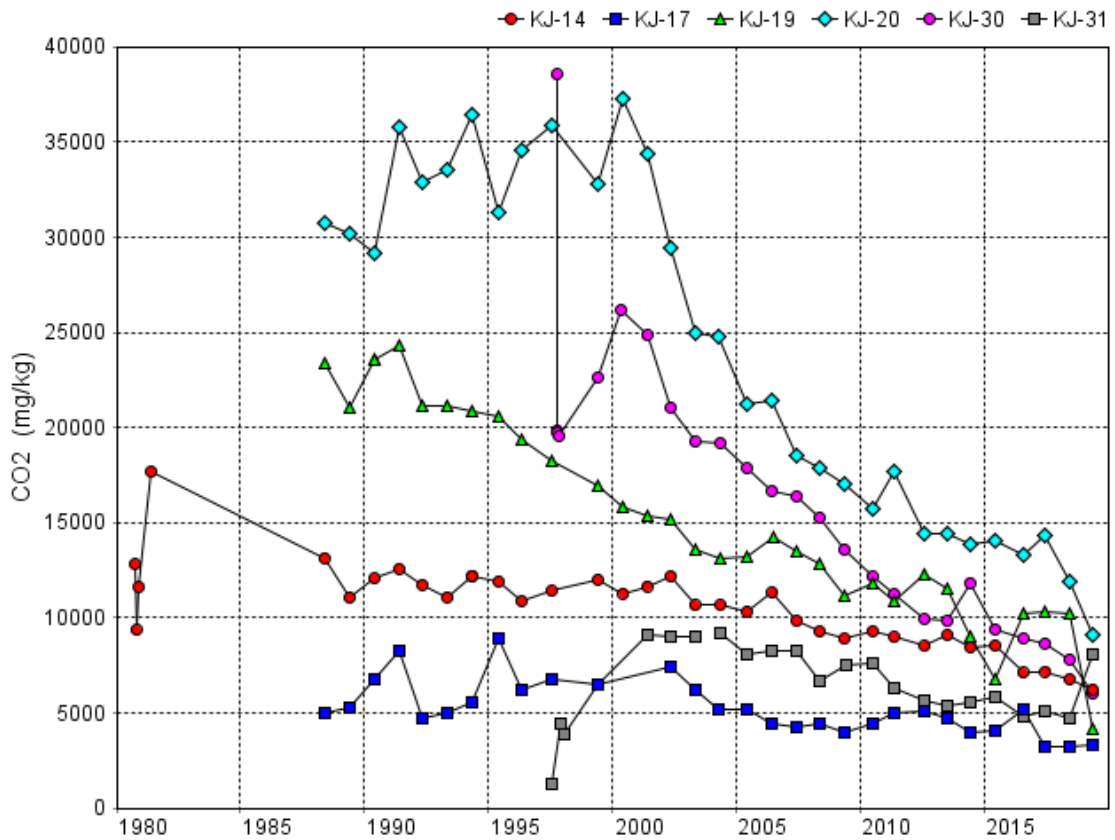
HÞ>LP: afsuða skiljuvatns úr háþrýstiholum.

Tafla 17 Kröflustöð, borholur. Reiknaður berghiti árið 2019.

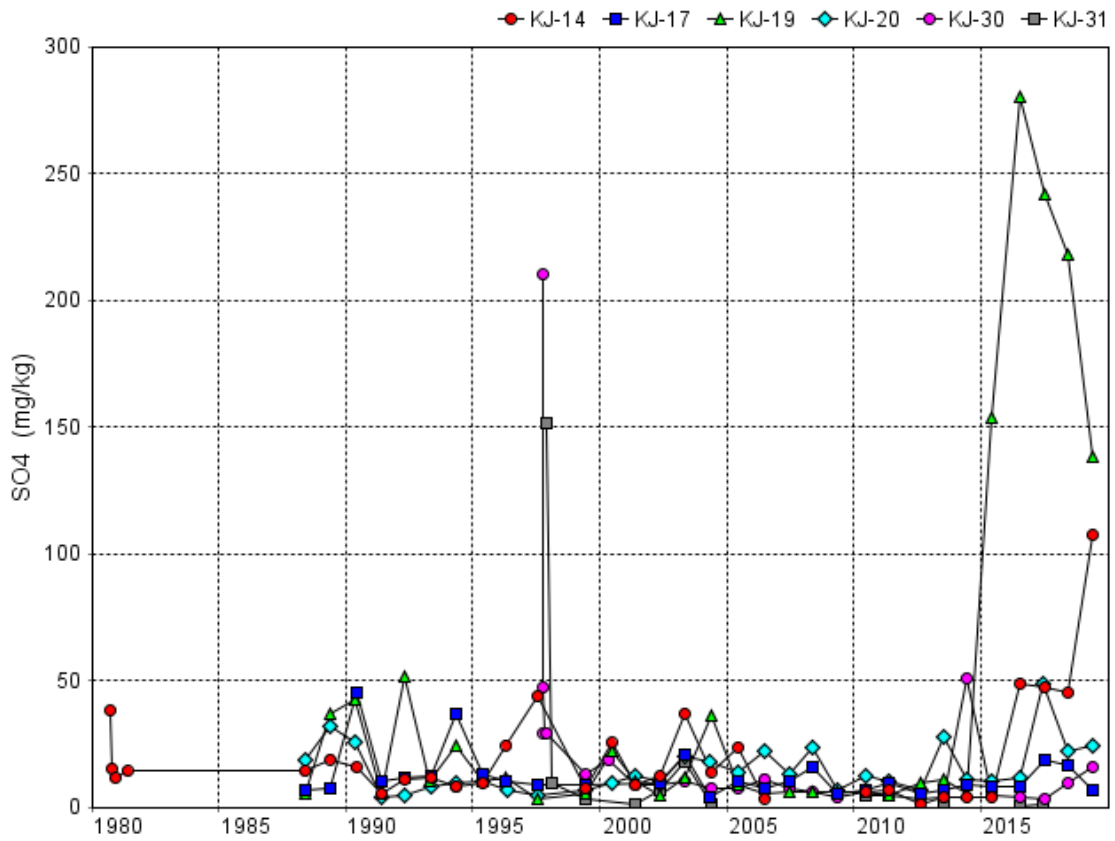
Nafn	Tími	Vermi	tSiO ₂ q	tNa/K	tCO ₂	tH ₂ /H ₂ S
		kJ/kg	°C	°C	°C	°C
KJ-06	2019-05-20	1224	236	239	194	257
KJ-14	2019-05-21	2572		297	271	300
KJ-16	2019-05-22	2767		269	286	299
KJ-17	2019-05-24	1876	267	268	252	299
KJ-19	2019-05-22	2048	273	276	259	301
KJ-20	2019-05-21	2722		272	280	295
KJ-21	2019-05-20	1129	258	256	181	255
KJ-30	2019-05-22	2768	222	249	270	292
KJ-31	2019-05-22	2789				299
KJ-32	2019-05-21	1134	263	261	197	276
KJ-34	2019-05-23	2516		275	271	290
KJ-36	2019-05-23	2683	237	263	276	287
KJ-38	2019-05-23	1842	247	243	276	293
KT-40	2019-05-23	2755	220	279	285	282
K-41	2019-05-21	2773		250		297



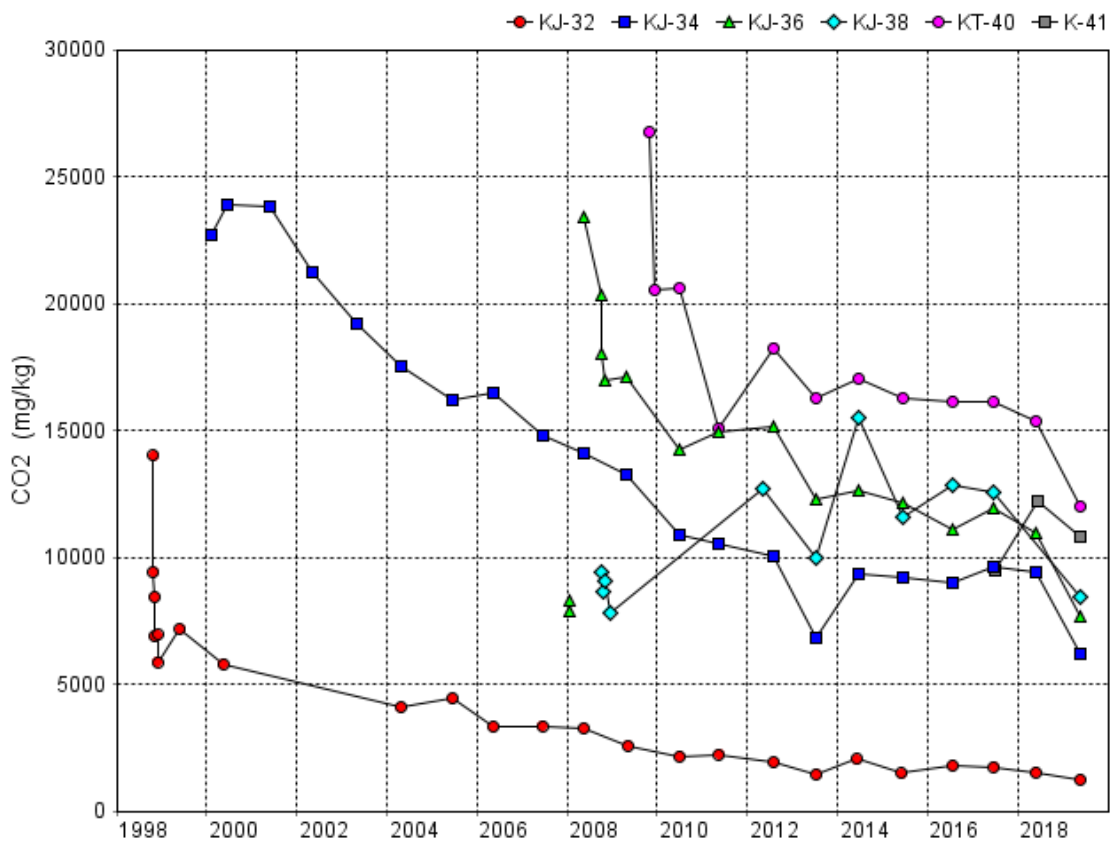
Mynd 36 Leirbotnar, grunnar holur, SiO₂ í vatni á móti tíma.



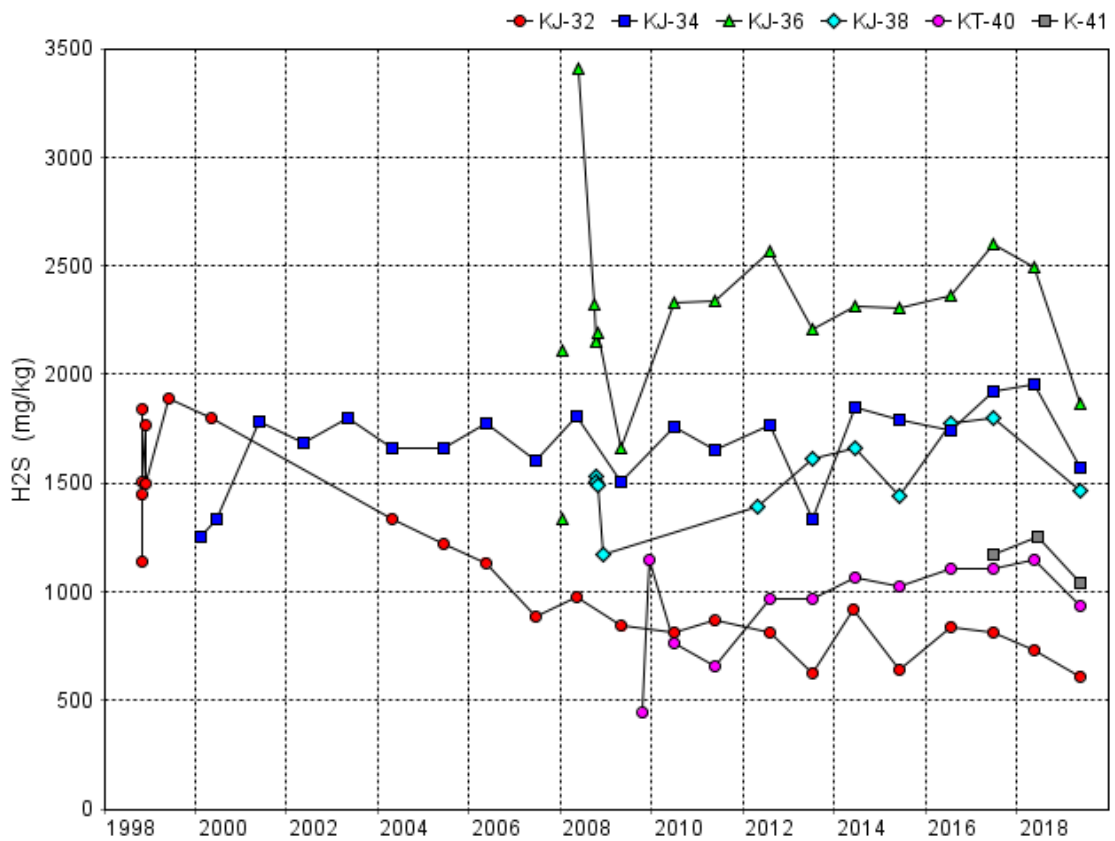
Mynd 37 Suðurhlíðar, CO₂ í gufu á móti tíma.



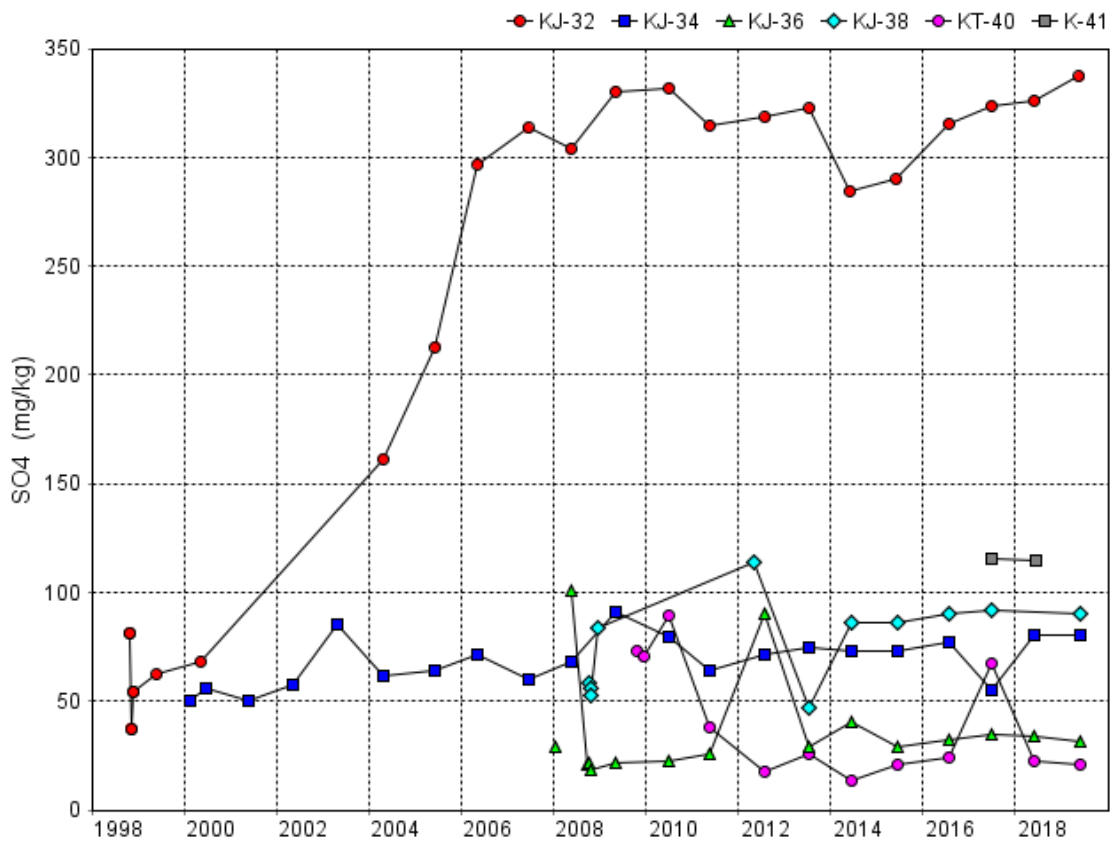
Mynd 38 Suðurhlíðar, SO₄ í vatni á mótí tíma.



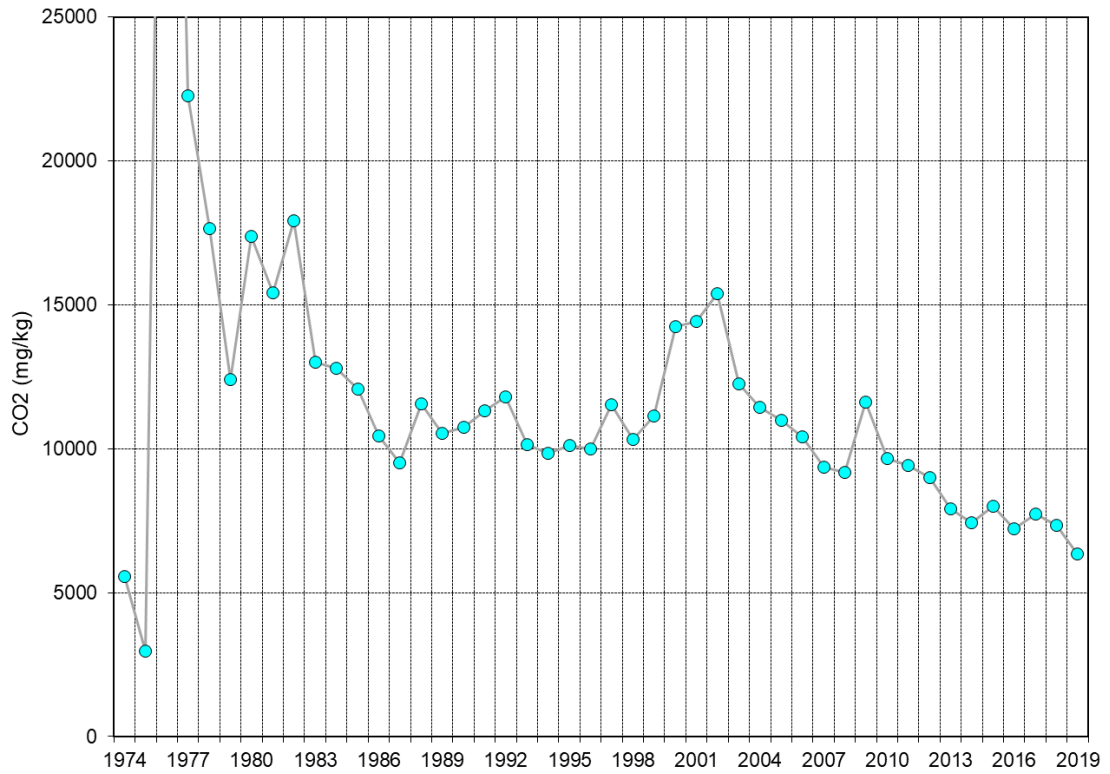
Mynd 39 Vesturhlíðar Kröflu, CO₂ í guflu á mótí tíma



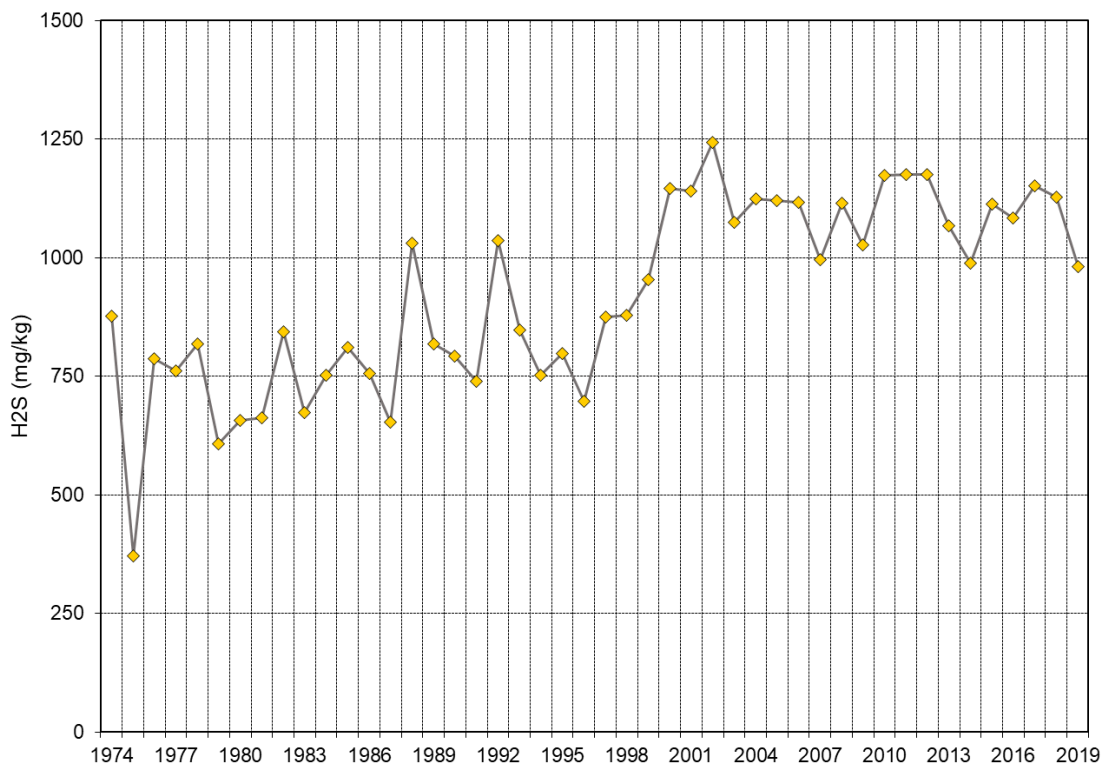
Mynd 40 Vesturhlíðar Kröflu, H₂S í guflu á mótí tíma



Mynd 41 Vesturhlíðar Kröflu, SO₄ í vatni á mótí tíma.



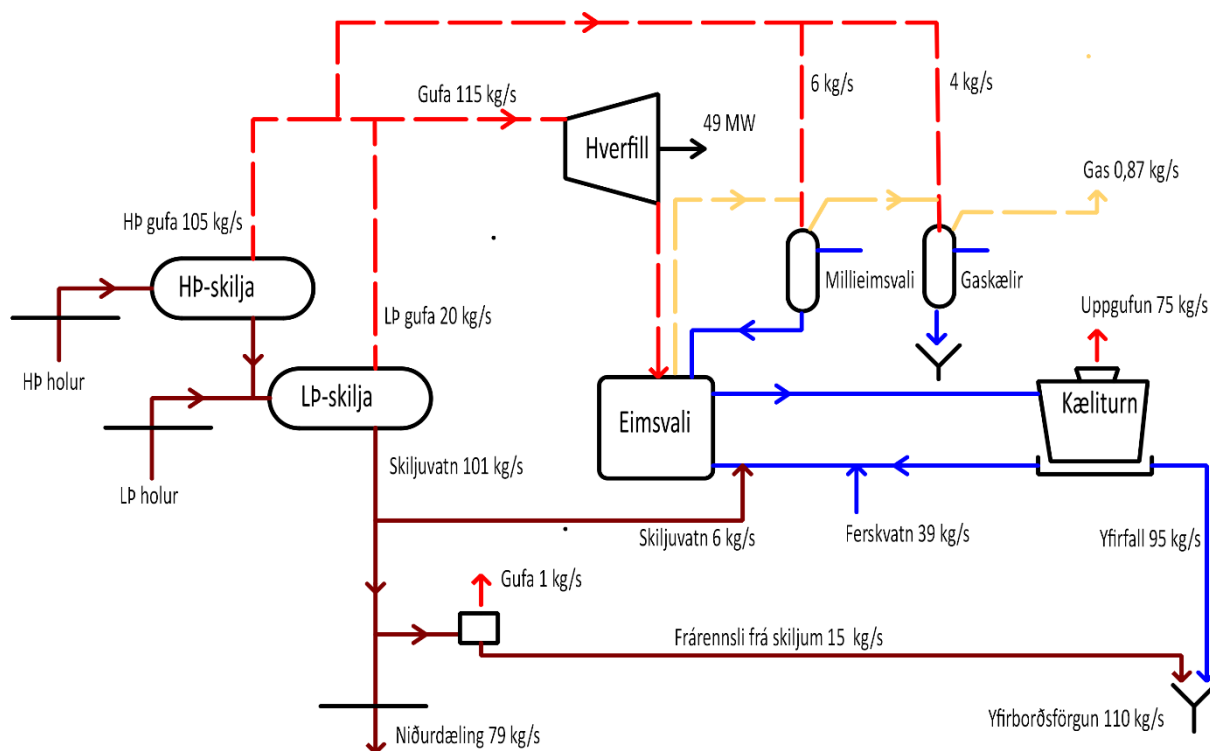
Mynd 42 CO₂ í gufu. Vegið meðaltal gassýna úr blásandi borholum.



Mynd 43 H₂S í gufu. Vegið meðaltal gassýna úr blásandi borholum.

3.2.2 Vinnslurás

Á mynd 44 er sýnt flæðirit fyrir Kröflustöð þegar sýnum af frárennsli var safnað til efnagreininga.



Mynd 44 Flæðirit fyrir Kröflustöð í maí 2019.

Frárennsli skiljuvatns frá borholum í skiljustöðinni í Leirbotnum við 126 °C mældist um 101 kg/s í afkastamælingum borhola. Um 6 kg/s var blandað í kæliturna. Mestum hluta eða 71 kg/s var dælt í holu KJ-26 og 8 kg/s í KJ-39. Það sem umfram var rann niður Hlíðardalinn. Við skiljuvatnið sem rennur út í læk bættist vatn úr kæliturnum. Samtals rennsli frá kæliturnum var áætlað um 95 kg/s. Samtals runnu því um 110 l/s af vatni frá stöðinni og niður Hlíðardalslæk þegar sýnum af frárennsli var safnað.

Gas í háþrýsti- og lágþrýstigufu við stöðvarvegg var efnagreint og er samsetning gassins sýnd í töflu 18. Gasið er losað til andrúmslofts um gaspípu fyrir ofan kæliturnana.

Gassýnum var safnað úr millieimsvala og eftirkæli og er efnasamsetningin sýnd í töflu 19. Ástand gaslosunarbúnaðar virðist í góðu horfi.

Gasstyrkur og meðburður borholuvatns í háþrýsti- og lágþrýstilögnum mældur vikulega með rúmmálmælingu og eru niðurstöður skráðar í gagnagrunn. Gasstyrkurinn er sýndur á mynd 45. Enginn meðburður borholuvatns mældist í gufu inná vél.

Niðurstöður efnagreininga á vatnssýnum úr eimsvala og kæliturni vélasamstæðu 1 og 2 eru sýndar í töflu 20. Ferskvatnshlutfall í kælivatni mælist 47% af útrennsli úr kæliturni 1 og 43% úr kæliturni 2. Skiljuvatnshlutfallið mældist 7% í útrennsli úr kæliturni 1 og 6% úr kæliturni 2. Sýrustig kælivatnsins er mælt reglulega og eru mælingarnar sýndar á mynd 46. Miðað er við að sýrustigið fari ekki undir pH 5,00 og hefur það yfirleitt verið í lagi.

Tafla 18 Kröflustöð, efnagreining gufu inn í stöð, sýnataka 2019-05-27

							Gas
Staður	CO ₂	H ₂ S	H ₂	N ₂	CH ₄	Ar	hlutfall
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	w%
HP-Gufa	8118	1249	35,4	14,0	1,25		0,94
LP-Gufa	604	230	0,6	20,3	1,31		0,09

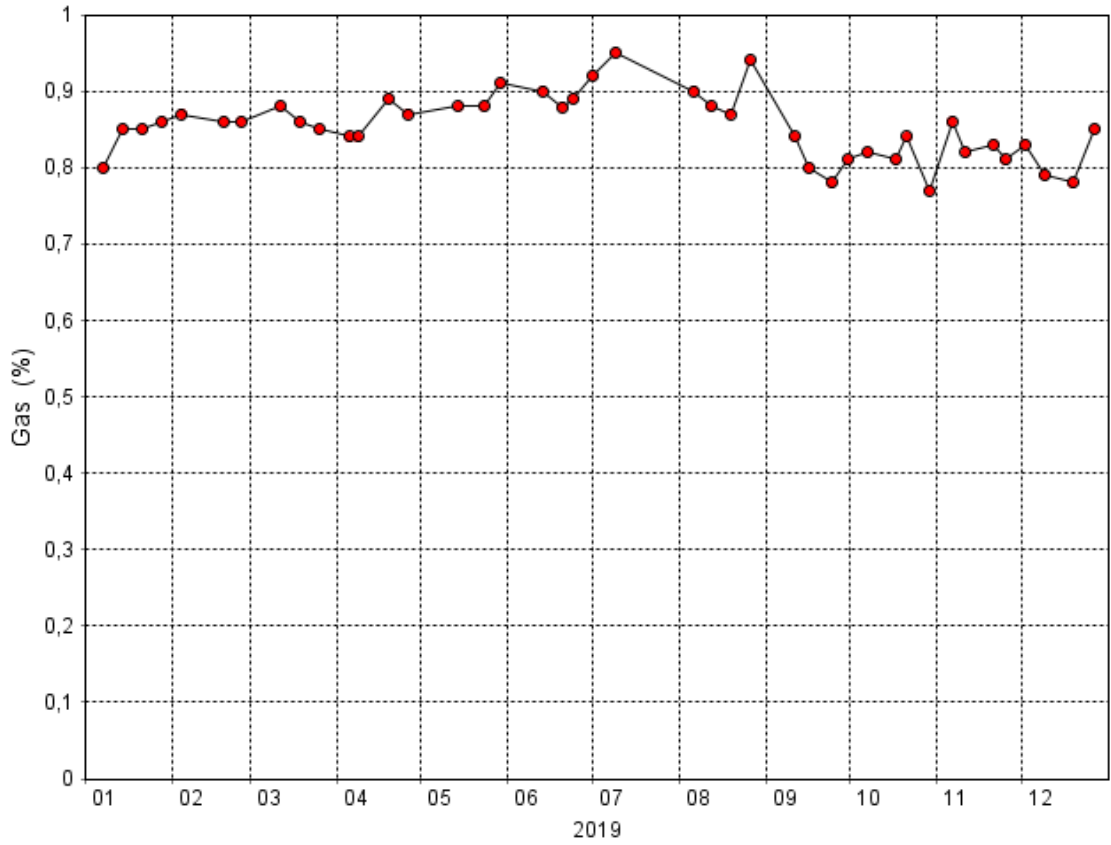
Tafla 19 Kröflustöð, efnagreining gass, sýnataka 2019-05-27

	CO ₂	H ₂ S	H ₂	O ₂	N ₂	CH ₄	Ar
Nafn	vol%	vol%	vol%	vol%	vol%	vol%	vol%
HP-Gufa	77,10	15,32	7,34		0,21	0,03	
LP-Gufa	63,61	31,28	1,38		3,35	0,38	
Gufa saman	76,90	15,56	7,25	0,00	0,26		
Millieimsvali 1	67,23	9,85	6,81	4,44	11,23	0,07	0,37
Gas 1	50,68	2,83	4,95	6,96	34,14	0,03	0,41
Millieimsvali 2	61,07	9,79	5,86	5,68	17,28	0,04	0,28
Gas 2	63,21	9,71	5,74	5,33	15,76	0,02	0,23

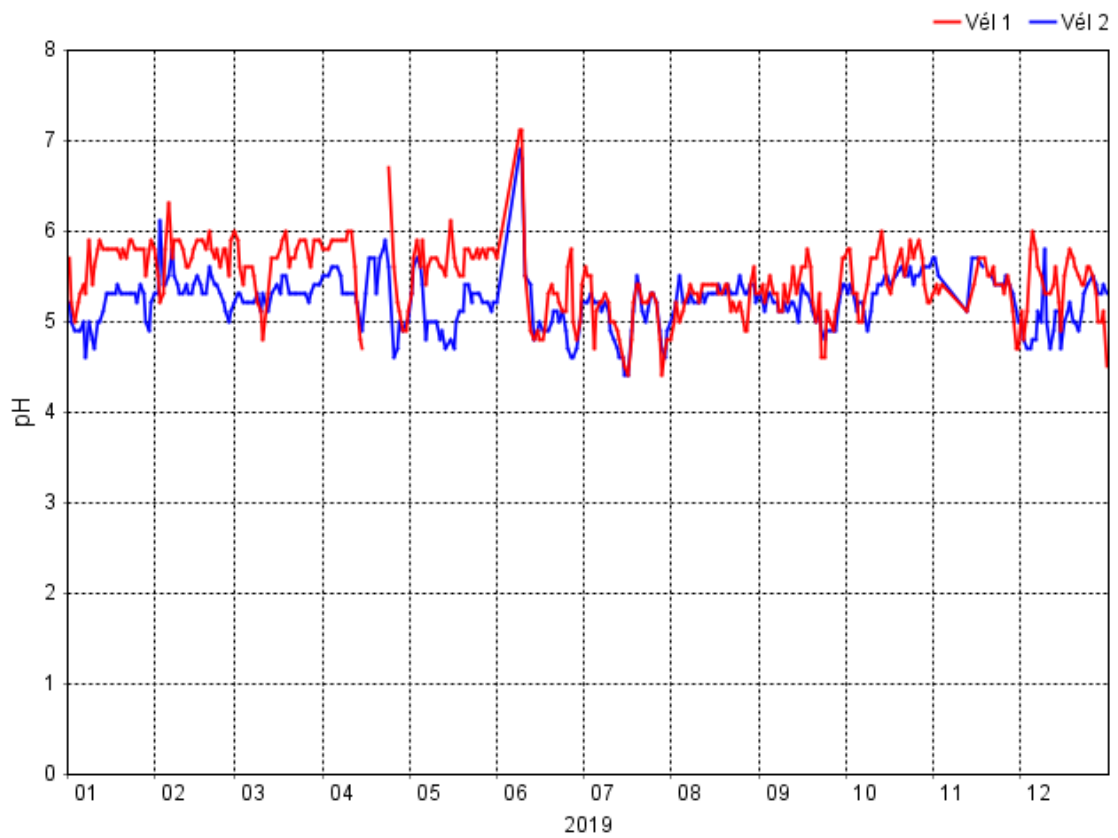
Tafla 20 Kröflustöð. Kælivatnssýni árið 2019.

Staður	Tími	Hitastig	pH	CO ₂	H ₂ S	SiO ₂	Na	K	Ca	Mg	Fe	Al	F	Cl	SO ₄	B	Rafleiðni	SS
		°C		mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	μS/cm	mg/kg
Eimsvali 1	2019-05-28	35,3	5,87	30,8	9,3	52,8	19,5	2,7	4,46	2,00	0,014	0,048	0,14	7,2	54,4	0,08	122	7,4
Eimsvali 2	2019-05-28	36,2	5,32	30,5	10,8	46,9	17,4	2,4	3,85	1,81	0,011	0,032	0,15	6,4	50,9	0,08	115	12,1
Kæliturn 1	2019-05-28	16,4	7,08	10,3			19,7	2,8	4,30	2,04			0,15	7,3	49,6		122	5,4
Kæliturn 2	2019-05-28	15,6	6,65	5,2			18,0	2,4	3,95	1,84			0,13	6,6	47,8		115	7,5
Borvatnsveita	2019-05-29	15,0	7,80	93,4		52,6	19,2	2,7	23,57	9,25	0,005	0,004	0,12	3,5	25,9	0,03	193	
Ferskvatnsveita	2019-05-29	6,8	7,22	45,0		27,6	8,7	0,9	9,01	4,23	0,001	0,001	0,13	2,6	4,7		106	

SS=brennisteinn



Mynd 45 Kröflustöð. Gas í HP-gufu árið 2019.



Mynd 46 Kröflustöð. Sýrustig kælivatns árið 2019.

3.2.3 Frárennsli

Stöðin framleiddi 49 MW þegar sýnin voru tekin. Gufustreymi inn á vélar var 118 kg/s og styrkur CO₂ 6356 mg/kg og H₂S 983 mg/kg. Losun CO₂ frá stöðinni reiknast 55 g/kWh og losun H₂S 8,5 g/kWh.

Sýnum var safnað úr frárennislæk skiljustöðvar í Leirbotnum sem og frárennislæk kæliturna. Einnig var safnað tveimur sýnum úr Hlíðardalslæk eftir að rennsli úr kæliturnum og skiljustöð hefur blandast þ.e. úr V-yfirfalli og einnig þar sem lækurinn rennur undir Austurlandsveg. Niðurstöður efnagreininga eru í töflu 21.

Styrkur heildarkísils í niðurdælingarvatni mældist 649 mg/kg sem er veruleg aukning en hann mældist 550 mg/kg í fyrra. Styrkurinn er nú nokkuð yfir metunarmörkum sem og styrkur óklofins kísils ((Si(OH)₄) sem hefur verið undir mörkunum (sjá mynd 45). Búast má við auknum kísilútfellingum í niðurdælingarholum vegna þessa.

Við skoðun árið 2018 kom í ljós að álríkar kísilútfellingar höfðu sest innan í holutopp niðurdælingarholu. Áhrif kísilstyrks, álstyrks og sýrustigs á myndun álríka kísilútfellinga eru ekki þekkt. Hugsanlega má leiða út slíkt samband með því að skoða útfellingagögn en einnig kemur til greina að framkvæma útfellingatilaunir. Slíkar tilraunir voru gerðar hjá Hitaveitu Reykjavíkur þegar vatn frá Nesjavallavirkjun blandaðist vatni frá Reykjum í Mosfellsbæ og olli útfelling magnesíumríks kísils í kerfinu (Hauksson et 1995).

Mældur var styrkur næringarefna og þungmálma í yfirborðssýnum og eru niðurstöður birtar í töflu 22. Þau gildi sem eru hærri en mörk fyrir fyrsta flokk skv. reglugerð nr. 796/1999 eru feitletruð í töflunni (Sjá töflu 12). Styrkur arsens (As) í frárennislisvatninu fer yfir mörk eins og áður. Við V-yfirfall þar sem vatnið rennur frá virkjunarsvæðinu flokkast vatnið í III flokk og er áhrifa að vænta á viðkvæmt lífríki. Vatnið hefur þynnst og styrkurinn minnkað þegar lækurinn rennur undir Austurlandsveg og en vatnið flokkast enn í III flokk. Þungmálmar þ.e. króm og zink mældust yfir mörkum í vatni frá kæliturnum.

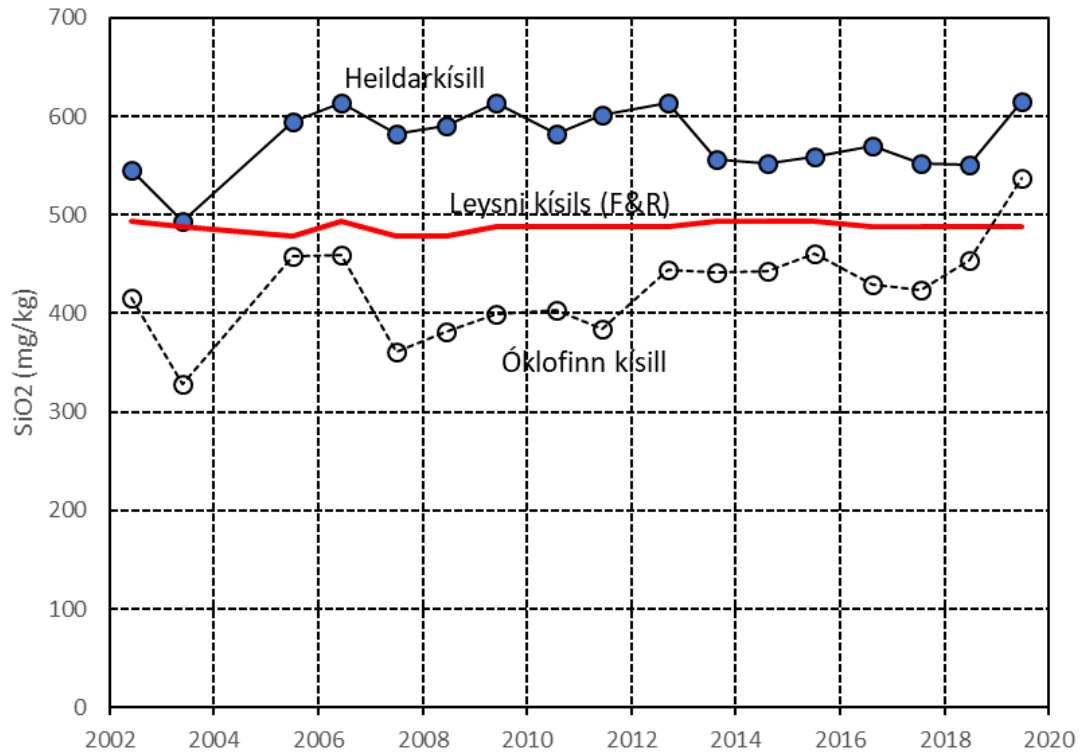
Tafla 21 Kröflustöð. Frárennslissýni árið 2019.

Staður	Tími	Hitastig	pH	CO ₂	H ₂ S	SiO ₂	Na	K	Ca	Mg	Fe	Al	F	Cl	SO ₄	B	Rafleiðni	SS
		°C		mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	μS/cm	mg/kg
Niðurdæling																		
LP vatn	2019-05-27		9,55	3,2	4,4	649	249,3	37	2,63	0,003	0,002	1,47	1,38	116,9	240	1,08	829	0,3
Frárennsli																		
Skiljustöð	2019-05-27	32,8	9,42	66,0	5,5	644	269,6	41,1	2,46	0,023	0,025	1,56	1,58	139,9	235	1,35	881	
Kæliturnar	2019-05-27	29,3	6,14	60,2	12,3	65	23,9	3,3	22,13	8,77	0,021	0,06	0,18	9,0	133	0,10	254	6,1
V-yfirfall	2019-05-27	21,5	7,96	46,2	0,1	99	45,6	6,3	28,58	8,81	0,004	0,03	0,32	19,2	167	0,21	335	15,1
Austurlandsvegur	2019-05-27	14,8	7,89	69,1	nd	117	46,9	6,1	33,74	9,50	0,058	0,20	0,32	19,7	148	0,21	351	4,7

Tafla 22 Næringarefni og þungmálmur í vatni frá Kröflustöð 2019.

Staður	Tími	PO ₄	NH ₃	NO ₃	P	Cr	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Hg	Pb
		mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	μg/kg	μg/kg	μg/kg	μg/kg	μg/kg	μg/kg	μg/kg	μg/kg
Niðurdæling													
LP vatn	2019-05-27	0,001	0,011	nd	<0,001	0,02	<0,05	<0,1	1,8	7,65	<0,002	<0,002	<0,01
Frárennsli													
Skiljustöð	2019-05-27	0,028	0,007	0,001	<0,001	0,05	0,079	0,318	1,99	55,5	<0,002	<0,002	0,038
Kæliturnar	2019-05-27	0,004	nd	nd	0,005	0,554	0,438	0,115	6,6	4,14	0,009	0,004	0,02
V-yfirfall	2019-05-27	0,004	nd	nd	0,004	0,248	0,584	0,191	1,82	10,2	0,007	0,007	0,012
Austurlandsvegur	2019-05-27	0,002	nd	nd	0,009	0,385	0,902	0,335	2,39	9,04	0,005	<0,002	0,011

Feitletruð gildi eru yfir viðmiðunarmörkum (sjá töflu 11)



Mynd 47 Kröflustöð. Kísilmettun í niðurdælingarvatni.

4 BJARNARFLAG

Gufa frá svæðinu er nýtt til rafmagnsframleiðslu í Gufuafllstöðinni í Bjarnarflagi sem rekin er af Landsvirkjun. Einnig er skiljuvatn úr holu BN-9 notað til upphitunar hitaveituvatns í varmaskiptastöð fyrir Hitaveitu Skútustaðahrepps og er skiljuvatninu síðan veitt í Jarðböðin.

Holur BN-09, BJ-11, BJ-12, BJ-13 og BJ-14 eru tengdar stöðinni. Búið var að ræsa stöðina aftur eftir endurnýjun en hún var ekki komin í full afköst og voru sýni tekin úr holum BN-09 og BJ-12. Staðsetning borholanna er sýnd á eftirfarandi mynd.



Mynd 48 Tengdar holur í Bjarnarflagi 2019 (Orkustofnun-borholuskrá).

4.1 AFKASTAMÆLINGAR

4.1.1 Afköst borhola

Í júlímánuði árið 2019 vor tvær holur tengdar Bjarnarflagsstöð. Nýlega var lokið við endurnýjun hennar en stöðin framleiddi 2,3 MW af rafmagni þegar sýnin voru tekin en getur framleitt 5 MW. Háþrýstigufa frá holum BJ-12 og BN-09 mældist í mars og apríl vera 18,6 kg/s. Um 25 kg/s af 135 °C heitu skiljuvatni renna úr holu BN-09 í Jarðböðin. Frárennsli frá skiljustöð í Bjarnarflagslónið var 24 kg/s.

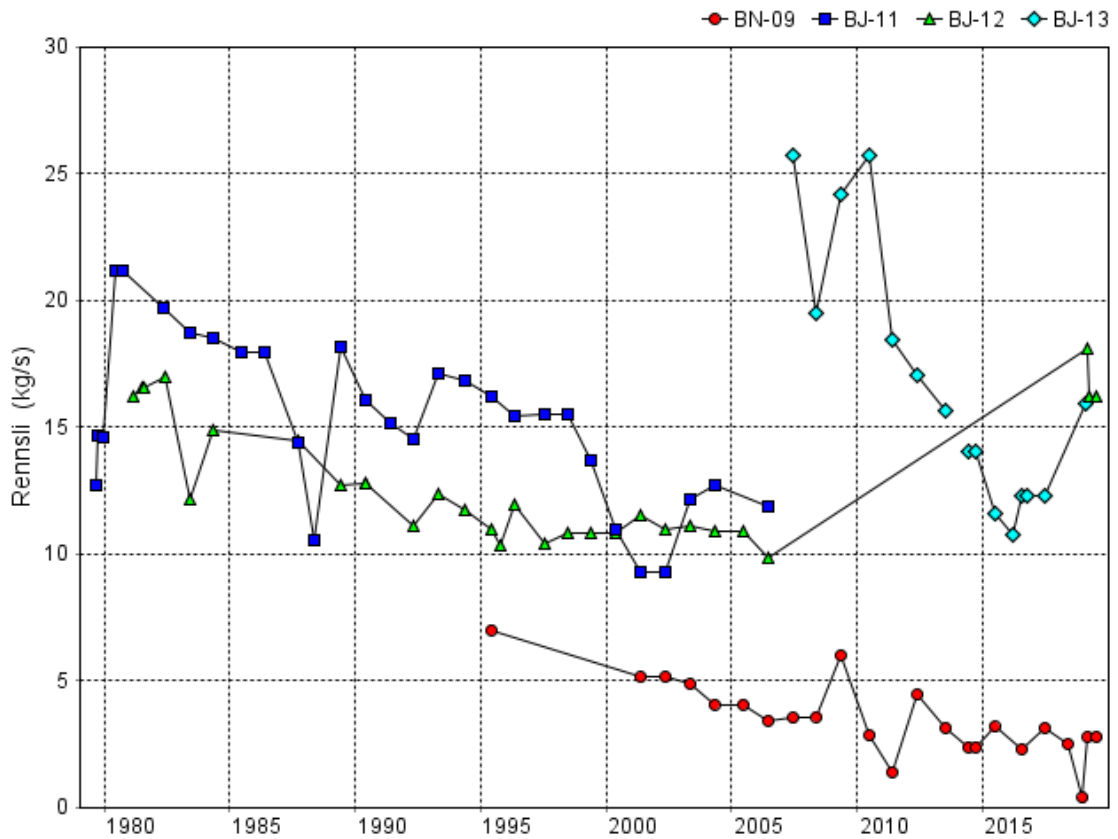
Niðurstöður afkastamælinga eru birtar í töflu 23. Breytingar á afköstum borhola í Bjarnarflagi eru sýndar á myndum 49 og 50.

Myndir 51 og 52 sýna rennsli gufu og vatns samtals úr blásandi holum í Bjarnarflagi.

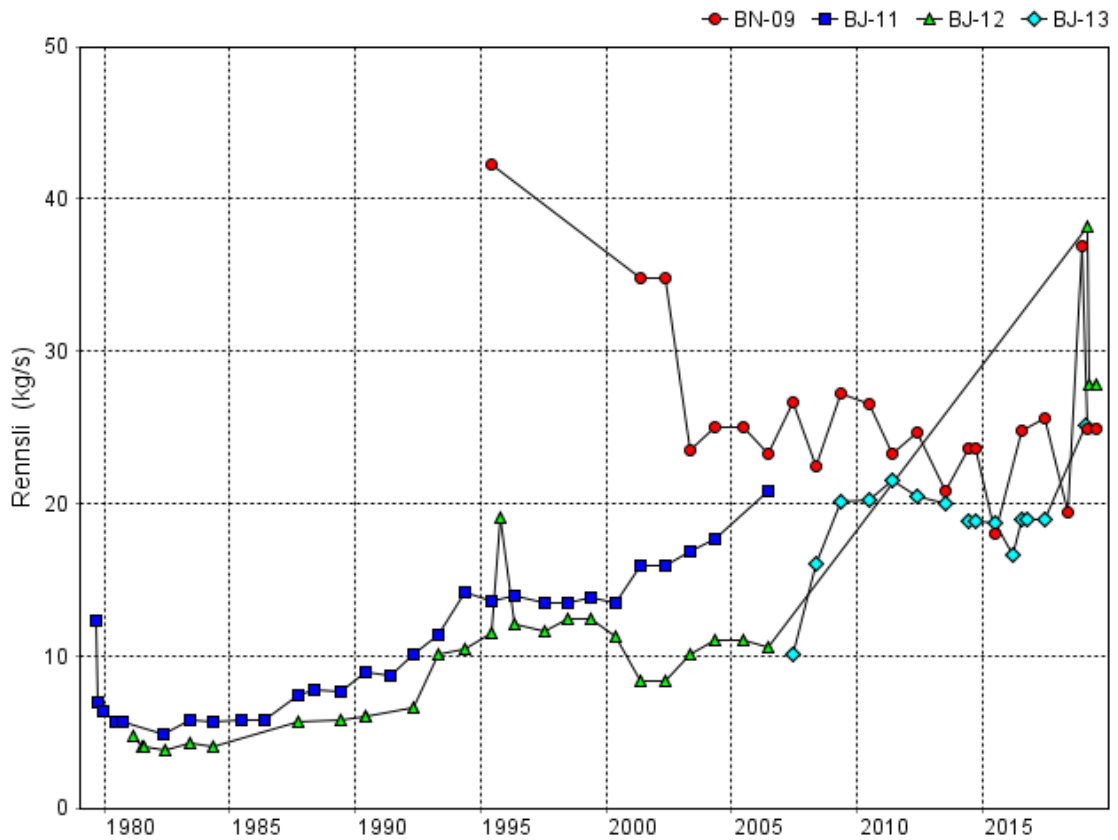
Tafla 23 Bjarnarflag. Afköst borhola 2019.

Staður	Tími	Heildar			HP-Skilja	Frárennsli		Hverfill
		Vermi	Rennsli	Varmaafll	Gufa ¹⁾	Gufa ²⁾	Vatn ²⁾	Rafafl
		kJ/kg	kg/s	MW	kg/s	kg/s	kg/s	MW
BN-09	2019-03-29	981	27,7	15,6	2,8	4	21	1,1
BJ-12	2019-04-09	1498	44	47,5	15,8	4,5	23,7	4,5
	Samtölur	1298	71,7	63,1	18,6	8,5	44,7	5,6

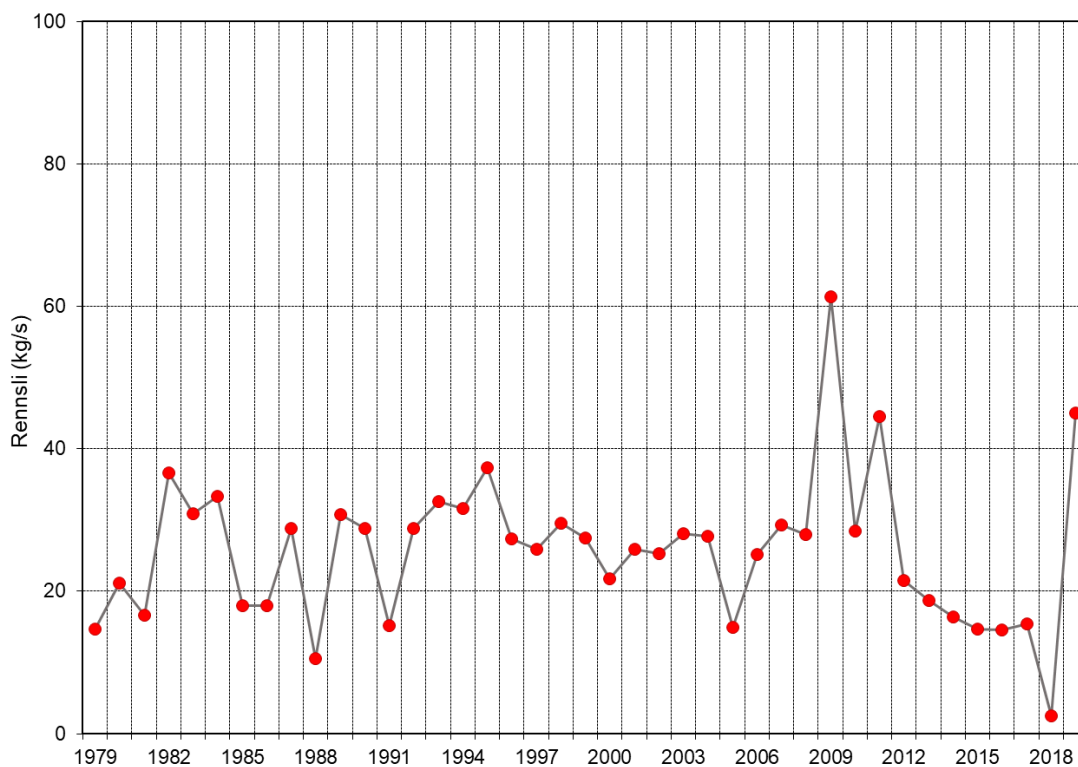
¹⁾ Við Skiljubrýsting 10,0 barg, ²⁾ 0,0 barg



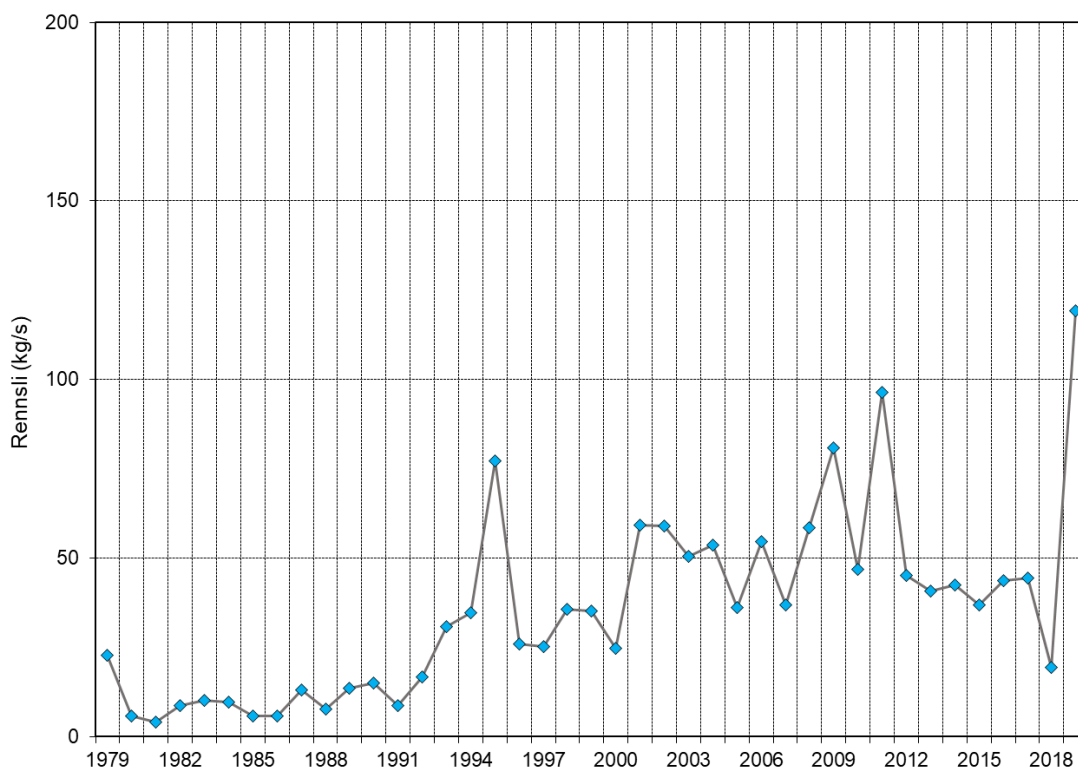
Mynd 49 Bjarnarflag, gufurennslí úr holum



Mynd 50 Bjarnarflag, vatnsrennslí úr holum.



Mynd 51 Samtals gufurennslí úr blásandi borholum í Barnarflagi.



Mynd 52 Samtals vatnsrennslí úr blásandi borholum í Barnarflagi.

4.2 EFNAMÆLINGAR

4.2.1 Vatn og gufa úr borholum

Safnað var sýnum til efnagreininga úr borholu BN-09 í Bjarnarflagi og eru niðurstöður greininga á vatni og gufu úr borholunum vistaðar í gagnagrunni fyrir jarðhitagögn (ViewData).

Gasstyrkur í gufu og efnahiti eru sýnd í töflum 24 og 25. Gas er lítið í gufu frá holu BN-09 en nokkuð meira í holu BJ-12 og reiknast meðal gasstyrkur 0,40% og er gaslosun frá stöðinn um 0,07 kg/s.

Í töflu 26 er sýndur reiknaður efnastykurur í gufu og vatni úr borholunum í Bjarnaflagi við skiljuþrýsting og styrkur þungmálma í skiljuvatni í töflu 27.

Breytingar á vermi er sýnt á mynd 50 en það hefur lækkað jafnt og þétt í holu BJ-13 síðustu ár en holunni var lokað 2018. Holum BJ-11 og BJ-12 var hleypt upp eftir að hafa staðið lokaðar síðan 2006. Vermi mælist nú lægra en áður en þeim var lokað. Á mynd 51 er sýndur koldíoxíðstyrkur (CO_2) í gufu, reiknaður við skiljuþrýsting. CO_2 styrkur mælist mestur í holu BJ 12 en mun minni í BJ-13. Einnig var CO_2 styrkur vaxandi í holu BJ-11 þar til henni var lokað. Því má búast við því að losun CO_2 aukist nú þegar holur BJ-11 og BJ-12 verða teknar í rekstur á ný. Styrkur H_2S í gufu úr holunum er sýndur á mynd 52. Á mynd 53 er sýndur styrkur Cl í vatni borholanna, reiknaður við skiljuþrýsting.

Vegið meðaltal CO_2 og H_2S styrks í gufu úr blásandi holum er sýnt á myndum 57 og 58. Veruleg aukning er í CO_2 styrk eftir að holur BJ-11 og BJ-12 voru teknar á ný í rekstur og holu BJ-13 lokað.

Tafla 24 Bjarnarflag, borholur. Gas í gufu 2019.

Staður	Tími	Gufa		Gas							
		rennsli	Hlutf.	rennsli	hlutf.	CO_2	H_2S	H_2	N_2	CH_4	Ar
		kg/s	w%	kg/s	l/kg	vol%	vol%	vol%	vol%	vol%	vol%
BJ-12	2019-07-23	16,2	0,41	0,07	4,0	37,46	22,20	38,70	1,25	0,36	0,02
BN-09	2019-07-23	2,8	0,26	0,01	2,7	25,26	32,41	37,97	2,85	1,46	0,04
	Samtölur	19,0	0,40	0,07	3,9	36,28	23,19	38,63	1,41	0,47	0,02

Tafla 25 Bjarnarflag, borholur . Berghiti 2019.

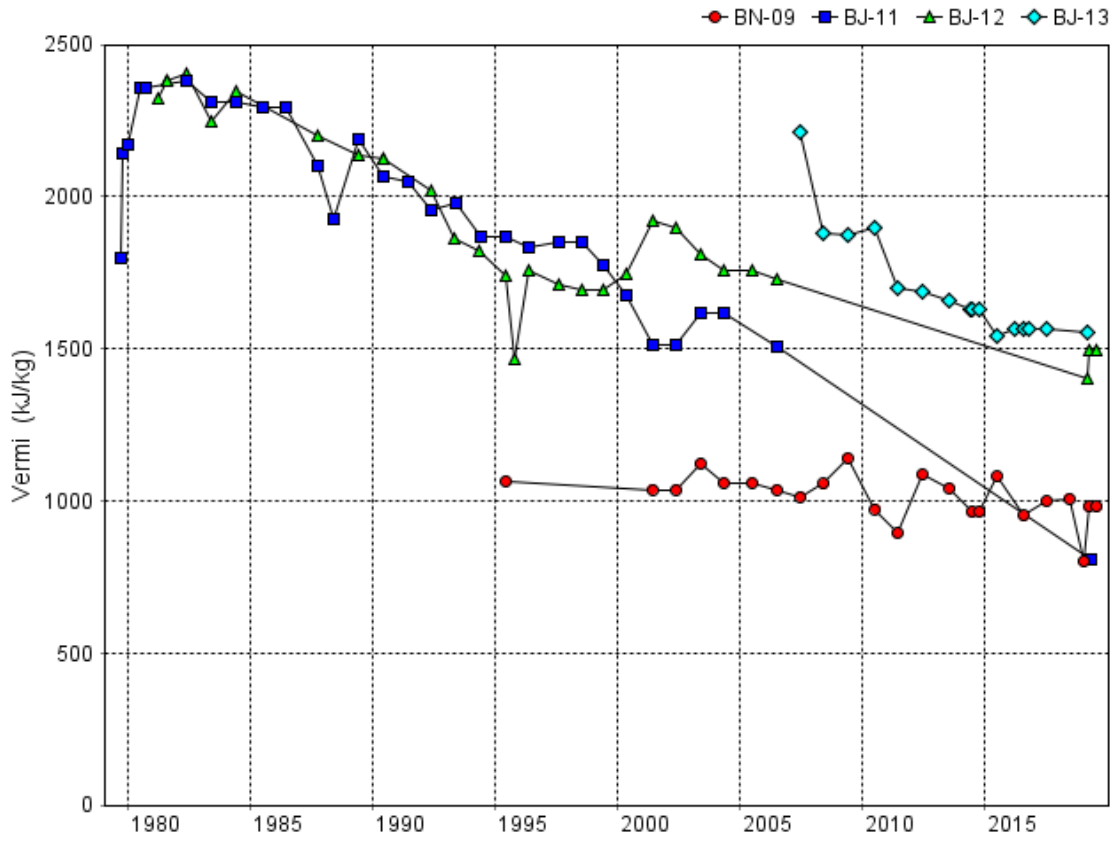
Nafn	Tími	Skilja	Efnahitar			
		Vermi	tSiO ₂ q	tNa/K	tCO ₂	tH ₂ /H ₂ S
		kJ/kg	°C	°C	°C	°C
BJ-12	2019-07-23	1498	289	291	244	310
BN-09	2019-07-23	981	234	233	150	304
	Samtölur	1298	262	262	197	307

Tafla 26 Bjarnarflag. Styrkur efna í vatni og gufu úr borholum árið 2019.

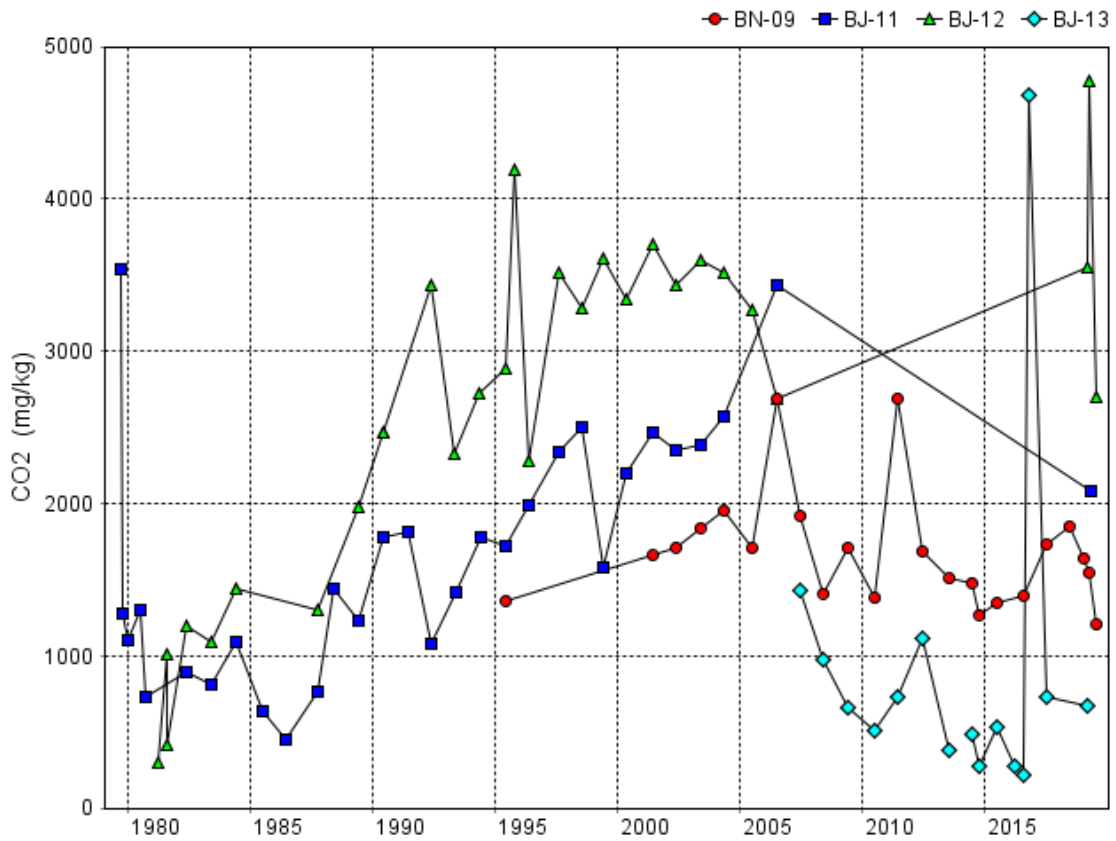
Staður	Tími	Skilja	Gufa							Vatn														
		Vermi	Rennsli	CO2	H2S	H2	N2	CH4	Ar	Rennsli	pH	CO2	H2S	SiO2	Na	K	Ca	Mg	Fe	Al	F	Cl	SO4	B
		kJ/kg	kg/s	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	kg/s		mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
BJ-12	2019-07-23	1498	16,2	2698	1238	127,7	57,5	9,53	1,05	27,8	8,93	32,0	59,3	848	150,6	31,7	0,43	0,001	0,003	1,45	0,69	124,0	7,5	2,88
BN-09	2019-07-23	981	2,8	1206	1198	83,0	86,7	25,42	1,83	24,9	9,32	27,2	112,1	444	143,6	17,8	3,08	0,002	0,80	0,64	29,3	45,4	0,62	
	Samtölur	1298	19,0	2480	1232	121,1	61,8	11,85	1,17	52,7	9,12	29,7	84,2	657	147,3	25,1	1,69	0,001	0,002	1,14	0,66	79,2	25,4	1,81

Tafla 27 Bjarnarflag, borholur. Þungmálmur í skiljuvatni árið 2019.

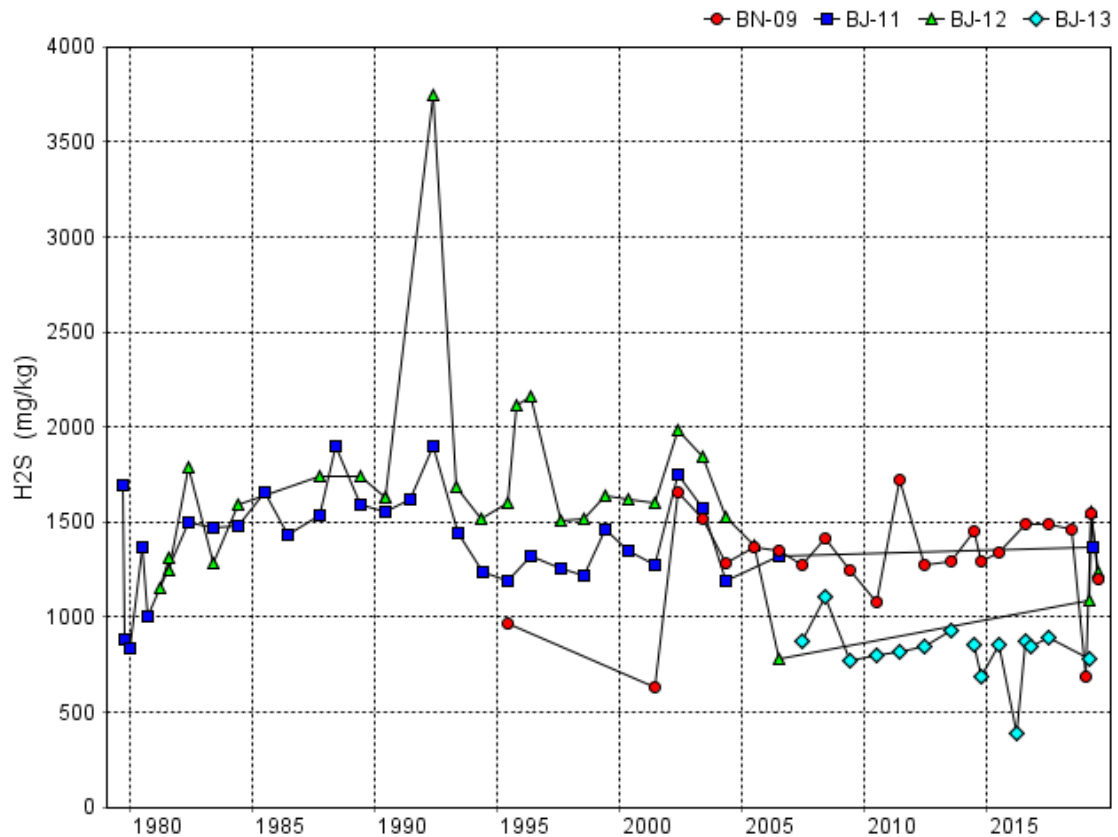
Staður	Tími	P	Cr	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Hg	Pb
		mg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg
BJ-12	2019-07-23	<0,001	0,04	0,165	0,577	1,08	19	<0,002	<0,002	0,066
BN-09	2019-07-23	<0,001	0,019	0,124	1,99	1,52	3,32	<0,002	<0,002	0,012



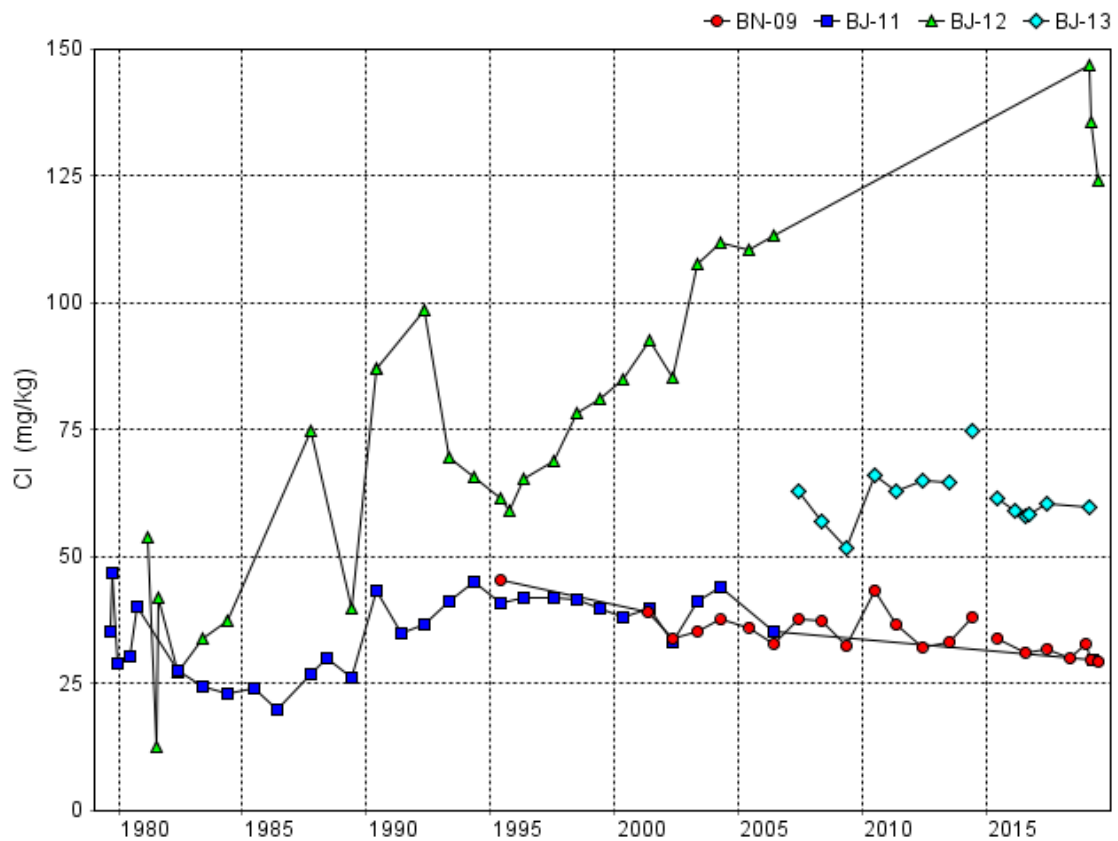
Mynd 53 Bjarnarflag, vermi á móti tíma.



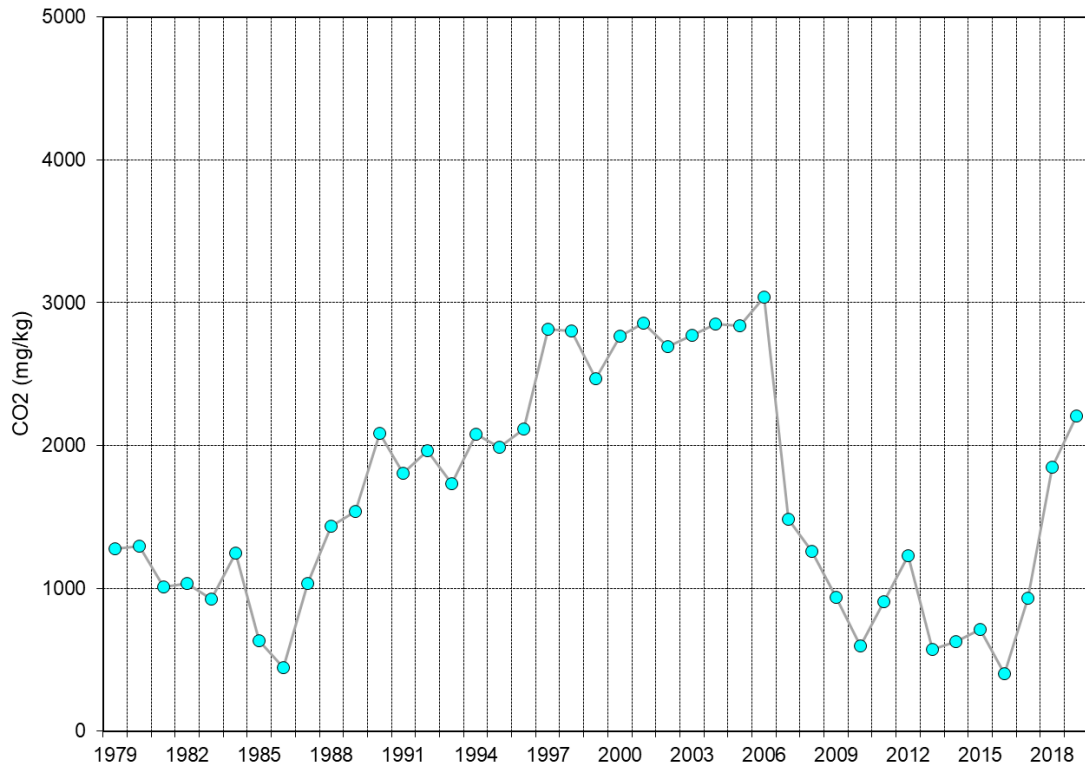
Mynd 54 Bjarnarflag, CO₂ í gufu á móti tíma.



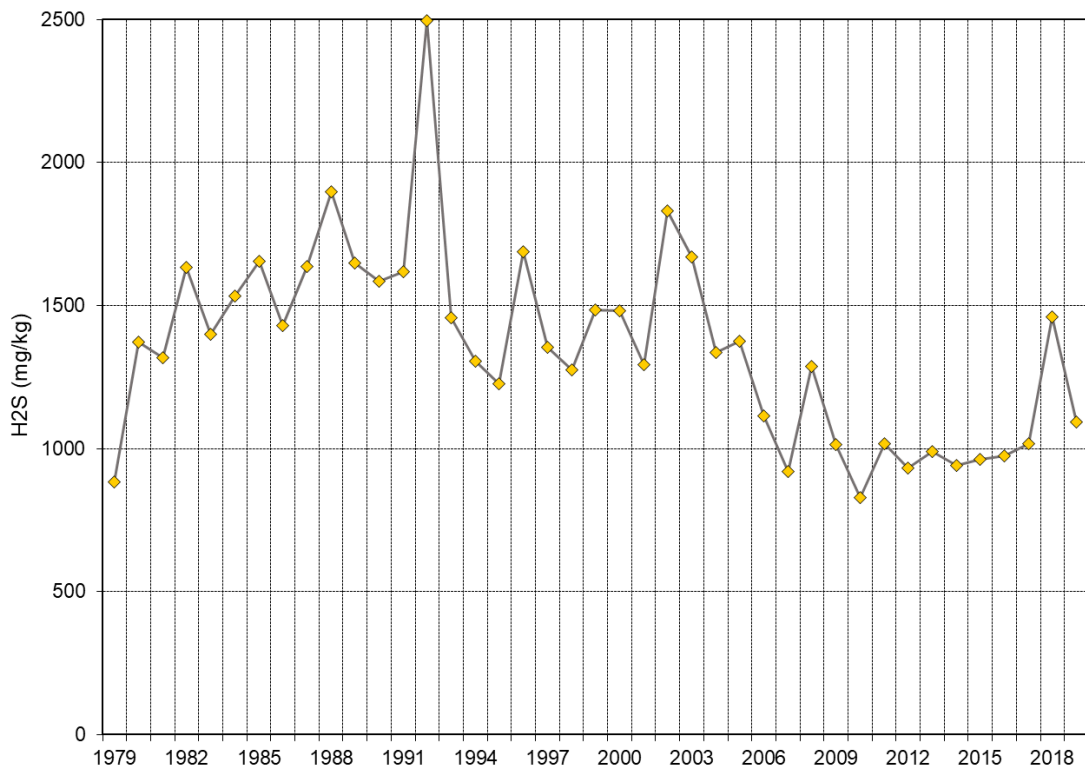
Mynd 55 Bjarnarflag, H₂S í gufu á móti tíma.



Mynd 56 Bjarnarflag, Cl í vatni á móti tíma.



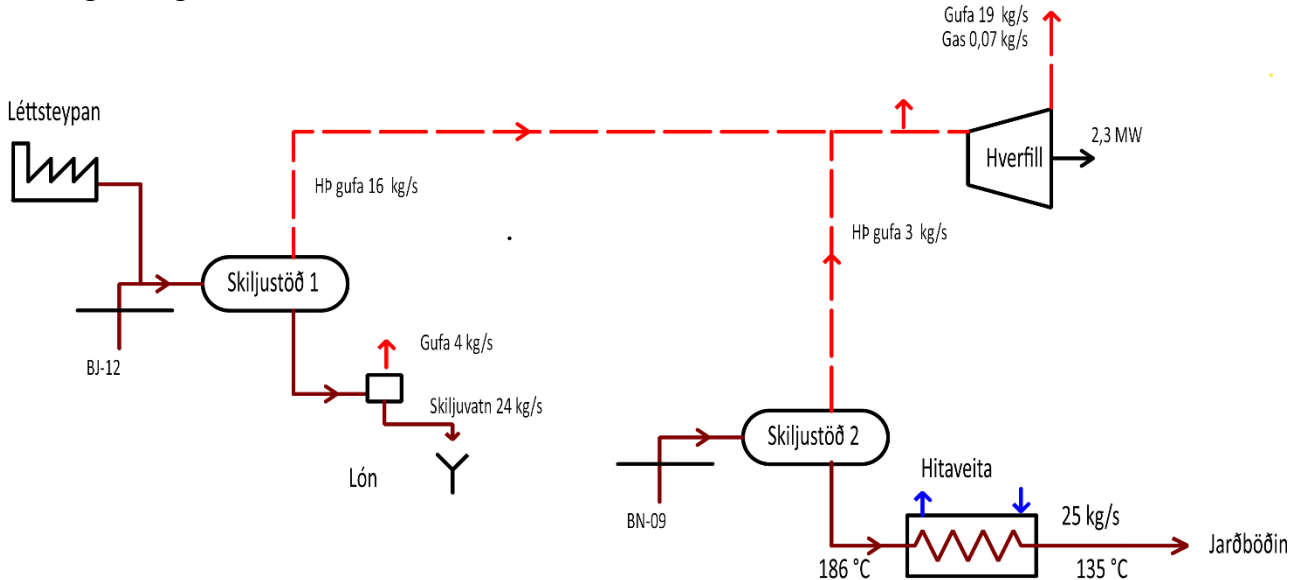
Mynd 57 CO₂ í gufu. Vegið meðaltal gassýna úr blásandi borholum.



Mynd 58 H₂S í gufu. Vegið meðaltal gassýna úr blásandi borholum.

4.2.2 Vinnslurás

Á mynd 54 er sýnt flæðirit fyrir Bjarnarflagsstöð þegar sýnum af frárennsli var safnað til efnagreininga.



Mynd 59 Bjarnarflagsstöð, flæði í júlí 2019.

4.2.3 Frárennsli

Miðað við gassamsetningu gufunnar úr BJ-12 og rafmagnsframleiðslu uppá 2,3 MW þá losar virkjunin 68 g/kWh af CO₂ og 31 g/kWh af H₂S til andrúmslofts.

Frárennissýni til efnagreininga var safnað úr útrennsli Bjarnarflagslónsins, þar sem það rennur ofan í sprungu vestanvert við lónið en 24 kg/s af skiljuvatni runna í það frá skiljustöð. Jafnframt voru tekin sýni í skiljustöð 2 af skiljuvatni sem rennur í Jarðböðin og af hitaveituvatni í varmaskiptastöðinni. Niðurstöður eru sýndar í töflu 28.

Skiljuvatn frá holu BN-9 er notað til upphitunar á hitaveituvatni og kólnar við það úr 186°C í um 135°C. Gufa frá gufuveitunni er einnig notuð til upphitunar. Styrkur heildarkísils og styrkur óklofins kísils var undir mettnarmörkum sjá mynd 57.

Næringarefni og þungmálmur í vatninu voru efnagreindir og eru niðurstöður birtar í töflu 29. Styrkur arsens (As) fer yfir mengunarmörk eins og áður. Í Bjarnarflagslóninu er styrkurinn 230 µg/l og er vatnið í flokki V og er ávallt ófullnægjandi ástand fyrir lífríki/þynningarsvæði.

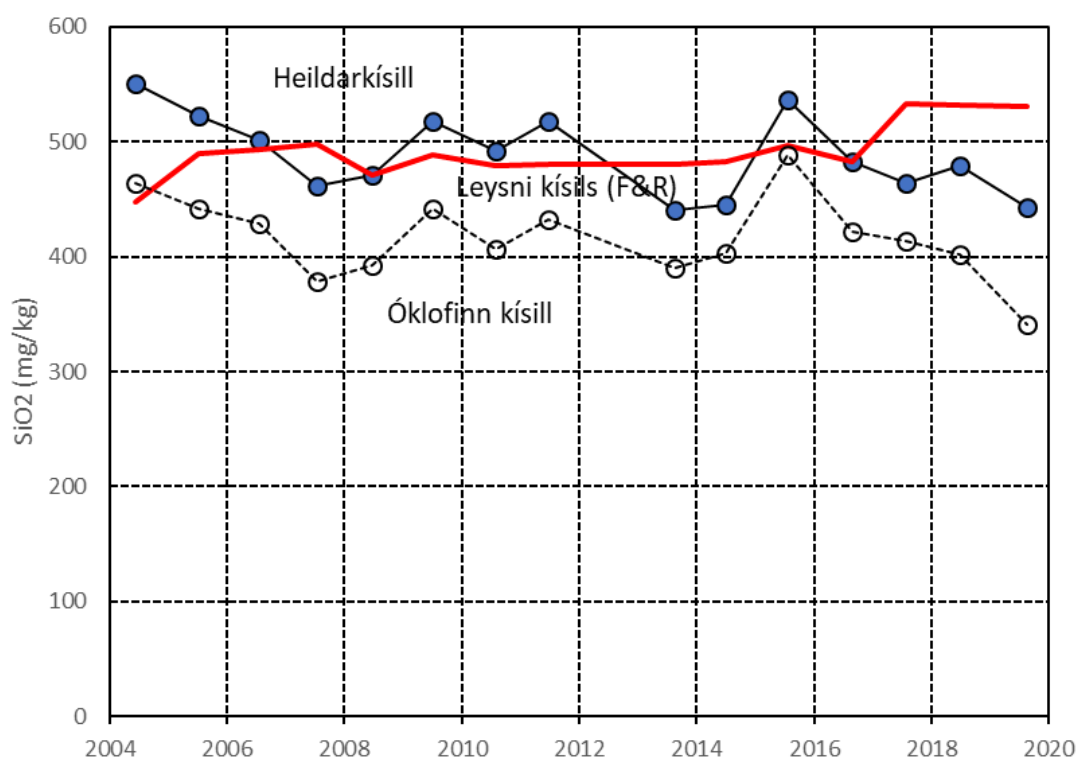
Tafla 28 Bjarnarflag. Frárennslissýni 2019.

Staður	Tími	Hitastig	pH	CO ₂	H ₂ S	SiO ₂	Na	K	Ca	Mg	Fe	Al	F	Cl	SO ₄	B
		°C	/25°C	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Í jarðböð	2019-07-23	100,0	9,71	19,2	81,3	473	155,7	19,4	3,49	0,001	0,001	0,739	0,6	31,8	49,5	0,67
Bjarnarflagslón	2019-07-22	26,2	6,56	8,0	0,3	633	134,3	26,4	3,20	1,440	0,520	1,170	0,81	95,7	248,7	2,21
Hitaveituvatn	2019-07-22	99,0	8,13	47,6	2,4	28,0	8,1	1,1	9,50	5,520	0,004	0,004	0,11	2,8	7,8	
Ferskvatn	2019-07-22	7,6	7,08	50,5	nd	27,8	8,1	1,1	9,80	5,620	0,009	0,001	0,11	2,8	4,5	

Tafla 29 Næringarefni og þungmálmar í vatni frá Bjarnarflagi 2019

Staður	Tími	PO ₄	NH ₃	NO ₃	P	Cr	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Hg	Pb
		mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg
Jarðböð	2019-07-23	nd	0,027	0,003	<0,001	0,011	0,122	1,72	1,2	3,24	<0,002	<0,002	0,016
Bjarnarflagslón	2019-07-22	0,004	0,004	0,002	0,005	0,093	0,266	0,363	4,31	230	<0,002	0,002	0,022
Hitaveituvatn	2019-07-22	0,09	0,021	0,135	0,057	0,289	0,15	<0,1	1,09	<0,05	<0,002	<0,002	0,021
Ferskvatn	2019-07-22	0,1	nd	0,1	0,1	0,4	0,2	0,217	2,22	<0,05	<0,002	<0,002	0,028

Feitletruð gildi eru yfir viðmiðunarmörkum (sjá töflu 11).



Mynd 60 Kísilmettun jarðbaðsvatni.

5 NIÐURSTÖÐUR

5.1 ÞEISTAREYKIR

-
- Í júlí árið 2019 voru 11 holur tengdar þeistareykjastöð og framleiddu þær 153,2 kg/s af háþrýstigufu þegar þær voru mældar. Reikningslega dugar gufan til framleiðslu á 88 MW af rafmagni sem er sama og vélarnar framleiddu þann 19. júlí.
- Holurnar á A-teigi eru afkastamestar og framleiddu 101,4 kg/s af gufu á meðan holurnar á C-teigi framleiddu 46,4 kg/s. Vatnsrennsli frá A-teigi er einnig meira eða 82,8 kg/s á móti 6,8 kg/s frá C-teigi.
- Hola ÞG-9 á B teigi er hávermihola með litlu vatnsrennsli.
- Hola ÞG-04 er afkastamest og bætti við sig frá upphleypingu en breytist nú lítið milli ára. Hola ÞG-5B var óbreytt milli ára. Hola ÞG-17 bætti við sig milli ára.
- Holur ÞG-03 og ÞG-06 eru afkastamestar á C-teigi en nýju holurnar ÞG-12 og ÞG-16 eru afkastaminni.
- Meðaltal gass í gufu inn á hverfil reiknast um 0,21 % sem er lítilsháttar minnkun en gashlutfallið var 0,23 % árið 2018. Gasstreymi inn í stöðina reiknast 0,34 kg/s samanborið við 0,35 kg/s árið 2018.
- Mjög hár styrkur kísils mælist í vatni úr holum á C-teigi og en minni í vatni úr holum á A-teigi. Mestur er styrkur kísils í vatni úr holum ÞG-06, ÞG-12 og ÞG-16.
- Styrkurinn kísils í vatni frá C-teigi eykst verulega þegar uppsuða er reiknuð frá holutoppsprýstingi niður í þrýsting í gufuveitu og reiknast skiljuvatn frá öllum holum á C-teigi vera yfirmettað. Yfirmettunin er hærri en mældist í holunum áður en virkjunin var gangsett sem bendir til þess að uppsuðan sé að aukast vegna vinnslunnar t.d. vegna suðu út í berg. Það má því áfram búast við útfellingum kísils í stofni frá C-teigi og jafnvel auknum. Það er áréttað að mjög mikilvægt er að reka holurnar á C-teigi á sem hæstum þrýstingi þannig að kísilútfellingar myndist síður í holunum eða í æðum þeirra.
- Ýmsir möguleikar eru að bæta úr þessu. Samkvæmt tilraunum á C-teigi má þrýstingurinn ekki fara niður fyrir 16 barg til þess að ekki myndist álríkar kísilútfellingar. Stofninn þolir þó ekki meira en 13 barg þrýsting. Þrýstihækkun í 13 barg mun þó væntanlega slá verulega á útfellinguna. Einnig mætti skoða hvort ekki sé mögulegt að skilja vatnið frá gufunni á C-teigi við háan þrýsting og leggja háþrýsta skiljuvatnslögn að skiljustöð og blanda vatninu beint í þéttivatn til niðurdælingar. Skiljuvatnið er aðeins nokkrir sekúndulítrar og því þarf ekki stóra lögn. Til greina kemur að dæla skiljuvatni eða þéttivatni inn í lögnina við holutoppinn og þynna skiljuvatnið. Ídæling sýru getur einnig dugað en erfitt getur reynst að blanda sýrunni við vatnsfasann í tvífasa flæði. Lagt er til að allir þessir valkostir og e.t.v. fleiri verði skoðaðir á skipulegan hátt fyrst fræðilega og síðan með prófun á álitlegasta kostinum.
- Hlutfall súrefnis í útblástursgasinu er mælikvarði á loftleka í eimsvala en það mældist 0,12% í gasi frá vél 1 og 0,13% frá vél 2 sem er mun minna en árið 2018.
- Meðburður þ.e. styrkur natríums í gufusýnum við vél er mældur reglulega af vaktmönnum en hann fór alloft yfir ráðleg mörk vélarframleiðanda á árinu bæði í gufu inná vél 1 og 2. Mikilvægt er að finna út hvað veldur þessu og gera nauðsynlegar endurbætur á skiljum og gufustofni. Hugsanleg skýring er ójöfn blöndun skiljuvatns frá

A-teigi við gufu frá C-teigi, einnig er hugsanlegt að útskolun úr gufustofni frá skiljum að vélum sé ekki nægileg.

- Leiðni kælivatnsins mældist 158 $\mu\text{S}/\text{cm}$ í kæliturni 1 og 162 $\mu\text{S}/\text{cm}$ í kæliturni 2. Miðað er við að leiðnin fari ekki yfir 348 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Leiðnin er mæld reglulega af vaktmönnum og var ávallt undir mörkum á árinu.
- Stöðin framleiddi 88 MW þegar sýnin voru tekin og reiknast losun CO_2 frá stöðinni 9,7 g/kWh og losun H_2S 4,1 g/kWh.
- Frárennsli skiljuvatns í skiljustöðinni mældist um 90 kg/s í afkastamælingum borhola. Þéttivatni er blandað í skiljuvatnið og lækkar hitastigið við það úr 176 °C í 97 °C. Vatnið rennur síðan niður í niðurrennslisholur og mælist rennslið vera 204 l/s. Styrkur kísils er rétt yfir metunarmörkum í skiljuvatni úr skilju 1 en undir mörkum í skilju 2 og í niðurdælingarblöndunni.
- Styrkur arsens (As) í niðurrennsli vatninu fer yfir mörk. Styrkur fosfórs (P) í ferskvatni sem og í kælivatni mælist langt yfir mörkum og einnig mælist styrkur króms (Cr) og kopars (Cu) yfir mörkum í kælivatninu.

5.2 KRAFLA

- Í maí árið 2019 voru 15 holur tengdar Kröflustöð og framleiddu þær 105,1 kg/s af háþrýstigufu og 19,8 kg/s lágþrýstigufu, sem reikningslega nægir til framleiðslu á 52 MW af rafmagni. Nokkrar holur voru lokaðar og gufuframleiðsla minni en árið 2018. Afl virkjunarinnar var nokkuð minna en afkastamælingar sýndu eða 49 MW sem skýrist af því að hluti gufunnar er notaður í gasþeysur.
- Afköst KJ-14 í Suðurhlíðum breyttist lítið milli ára en lítilsháttar minnkun varð í vatnsrennsli. Hóla KJ-30 minnkaði verulega í afli frá síðasta ári eins og undanfarin ár og hefur aflið minnkað um meira en helming frá því henni var hleypt upp. Vatnsrennsli úr KJ-19 minnkaði og gufurennsli jókst og er möguleg skýring að niðurdælingin var minnkuð í KJ-39.
- Hóla KJ-21 á Hvíthólasvæði var lokað tímabundið í fyrra en mældist nú svipuð í afli og áður.
- Holur á Vesturhlíðasvæðinu breyttust lítið í afli milli ára.
- Meðaltal gass í gufu úr holunum reiknast um 0,69%, sem er mun minna en árið 2018 en þá var styrkurinn 0,84%. Samanlagt gasstreymi inn í stöðina minnkaði og reiknast 0,87 kg/s samanborið við 1,22 kg/s í fyrra.
- Styrkur kísils (SiO_2) hefur minnkað lítilsháttar í holu KJ-06 sem bendir til kólnunar.
- Styrkur CO_2 minnkaði verulega í KJ-19 og KJ-30 en hann hafði aukist aðeins í holu KJ-19 eftir að byrjað var að dæla í holu KJ-39. Styrkur súlfats (SO_4) er lítill í holunum en tók stökk í holu KJ-19 eftir að niðurdæling hófst í KJ-39. Hann hefur nokkuð gengið til baka í holunni á meðan hann eykst í öðrum holum.
- CO_2 styrkur í gufu úr holunum á Vesturhlíðasvæðinu hefur minnkað frá upphleypingu nema í holu KJ-38. Í ár mældist veruleg minnkun í öllum holunum nema KJ-32. Styrkur H_2S minnkaði einnig nokkuð milli ára í holunum.
- Frárennsli skiljuvatns frá borholum í skiljustöðinni í Leirbotnum við 126 °C mældist um 101 kg/s í afkastamælingum borhola. Um 6 kg/s var blandað í kæliturnum. Mestum hluta eða 71 kg/s var dælt í holu KJ-26 og 8 kg/s í KJ-39. Við skiljuvatnið sem rennur út í læk bættist vatn úr kæliturnum. Samtals runnu um 115 l/s af vatni frá stöðinni og niður Hlíðardalslæk þegar sýnum af frárennsli var safnað.

- Ástand gaslosunarbúnaðar virðist í góðu horfi og enginn meðburður borholuvatns mældist í gufu inná vél.
- Ferskvatnshlutfall í kælivatni mælist 47% af útrennsli úr kæliturni 1 og 43% úr kæliturni 2. Skiljuvatnshlutfallið mældist 7% í útrennsli úr kæliturni 1 og 6% úr kæliturni 2. Miðað er við að sýrustigið fari ekki undir pH 5,00 og hefur það yfirleitt verið í lagi.
- Stöðin framleiddi 49 MW og reiknast losunin á orkueiningu vera 55 g/kWh af CO₂ og 8,5 g/kWh af H₂S.
- Styrkur heildarkísils í niðurdælingarvatni mældist 649 mg/kg sem er veruleg aukning en hann mældist 550 mg/kg í fyrra. Styrkurinn er nú nokkuð yfir mettunarmörkum og má búast við auknum kísilútfellingum í niðurdælingarholum vegna þessa.
- Styrkur arsens (As) í frárennslisvatninu fer yfir mörk eins og áður. Við V-yfirfall þar sem vatnið rennur frá virkjunarsvæðinu flokkast vatnið í III flokk og er áhrifa að vænta á viðkvæmt lífríki. Vatnið hefur þynnst og styrkurinn minnkað þegar lækurinn rennur undir Austurlandsveg og en vatnið flokkast enn í III flokk.
- Þungmálmur þ.e. króm og zink mældust yfir mörkum í vatni frá kæliturnum.

5.3 BJARNARFLAG

- Í júlímánuði árið 2019 vor tvær holur tengdar Bjarnarflagsstöð. Nýlega var lokið við endurnýjun hennar en stöðin framleiddi 2,3 MW af rafmagni þegar sýnin voru tekin en getur framleitt 5 MW. Háþrýstigufa frá holum BJ-12 og BN-09 mældist í mars og apríl vera 18,6 kg/s. Um 25 kg/s af 135 °C heitu skiljuvatni renna úr holu BN-09 í Jarðböðin. Frárennsli frá skiljustöð í Bjarnarflagslónið var 24 kg/s.
- Gas er lítið í gufu frá holu BN-09 en nokkuð meira í holu BJ-12 og reiknast meðal gasstyrkur 0,40% og er gaslosun frá stöðinn um 0,07 kg/s.
- Miðað við gassamsetningu gufunnar úr BJ-12 og rafmagnsframleiðslu uppá 2,3 MW þá losar virkjunin 68 g/kWh af CO₂ og 31 g/kWh af H₂S til andrúmslofts.
- Skiljuvatn frá holu BN-9 er notað til upphitunar á hitaveituvatni og kólnar við það úr 184°C í um 134°C. Styrkur kísils var undir mettunarmörkum.
- Styrkur arsens (As) fer yfir mengunarmörk eins og áður. Í Bjarnarflagslóninu er styrkurinn 230 µg/l og er vatnið í flokki V og er ávallt ófullnægjandi ástand fyrir lífríki/þynningarsvæði.

6 HEIMILDASKRÁ

- Trausti Hauksson, Sverrir Thorhalhson, Einar Gunnlaugsson, Albert Albertsson. Control of magnesium silicate scaling in district heating systems. May 1995. Conference: World Geothermal Congress. Florence. Italy. Volume: 4.
- Trausti Hauksson 2010. *ViewData. Gagnabirtingarkerfi fyrir jarðvatnsvinnslu. Notkunarleiðbeiningar*. Kemía janúar 2010, útgáfa 1.6, 14 s.
- Trausti Hauksson 2011. *Afkastamælingar borhola með þynningaraðferð og tvífasa mæliblendu. Innleiðing aðferðar*. Landsvirkjun, janúar 2011, Skýrsla nr: LV-2011/018 20 s.
- Trausti Hauksson 2019. *Krafla og Bjarnarflag. Afköst borhola og efnainnihald vatns og gufu í borholum og vinnslurás árið 2018*. Landsvirkjun, mars 2019, Skýrsla nr: LV-2019-026 81 s.
- Umhverfisráðuneytið 1999: *Reglugerð um varnir gegn mengun vatns nr. 796/1999 með síðari breytingum nr. 533/2001 og nr. 913/2003*. Stjórnartíðindi, B 106, Nr. 785-810, s. 2231-2253.
- Umhverfisráðuneytið 1999: *Reglugerð um varnir gegn mengun grunnvatns nr. 797/1999*. Stjórnartíðindi, B 106, Nr. 785-810, s. 2253-2258.
- Umhverfisráðuneytið 1999: *Reglugerð um losunarmörk, umhverfismörk og gæðamarkmið fyrir losun á kvikasilfri í yfirborðsvatn nr. 800/1999*. Stjórnartíðindi, B 106, Nr. 785-810, s. 2283-2287.
- Umhverfisráðuneytið 1999: *Reglugerð um losunarmörk, umhverfismörk og gæðamarkmið fyrir losun á kadmíum í yfirborðsvatn nr. 802/1999*. Stjórnartíðindi, B 106, Nr. 785-810, s. 2293-2299.

VIÐAUKI 1
MEÐHÖNDLUN SÝNA OG
EFNAGREININGAÆFERÐIR

MEÐHÖNDLUN SÝNA OG EFNAGREININGAÆÐFERÐIR

Meðhöndlun vatnssýna í felti:

Ru: Ómeðhöndlað sýni

Fu: Sýni síað með 0,45 µm síuþynnu.

Fa: Sýni síað með 0,45 µm síuþynnu og sýrt með fullsterkri salpétursýru.

Magn sýru í sýni 0,5 %.

Fp: Sýni síað með 0,45 µm síuþynnu og H₂S felld með zinkacetati (2 M ZnAc₂)

Magn ZnAc₂ í sýni 0,01 M (0,5% af lausn).

CAT: Sýni síað með 0,45 µm síuþynnu og sýrt með 1 N salpétursýru (HNO₃).

Magn sýru í sýni 0,5 %. Fyrir jónaskilju.

Sýrustig (pH)

Meðhöndlun sýnis: Mælt á staðnum (borholusýni) eða safnað á loftþétta flösku, (Ru) og mælt samdægurs.

Aðferð: Glerrafskaut með sambyggðu AgCl viðmiðunarskauti með tvöfaldri saltbrú.

Mælir stilltur með búffer 7 og 4.

Brennisteinsvetni og Koldíoxíð (H₂S, CO₂)

Meðhöndlun sýnis: Vatni (Ru) safnað í glerflösku lút bætt í til þess að binda gösin.

Þéttri gufu safnað í lofttæmda flösku með 40% lút.

Aðferð: Sjálfvirk títrun.

H₂S títrað með 0,01 N AgNO₃ lausn við hátt pH gildi (pH > 10). Síðan er CO₂ títrað í sömu lausn með 0,1 N HCl lausn frá pH 8,2 til 4,3. Sýru bætt í, blásið með argoni (Ar) og baktítrað með 0,1 N NaOH lausn milli pH 4,3 og 8,2.

Fyrir lútarsýni var CO₂ í blindum (40% NaOH) ákvarðaðað á sama hátt og leiðrétt fyrir áhrifum CO₂ í lútarlausn á títrunina.

Brennisteinsvetni (H₂S) í frárennsli og hitaveituvatni (H₂S < 2 mg/kg)

Meðhöndlun sýnis: Vatni (Ru) safnað í loftþétta flösku.

Aðferð: Títrun með 0,001 N Hg(CH₃COO)₂-lausn í basískri aceton-lausn með dithizone indikator.

Gas (O₂, H₂, CH₄, N₂, Ar)

Meðhöndlun sýnis: Safnað yfir 40% lút. Rúmmál gass yfir lút var mælt með vigtnun á kolbu fullri af eimuðu vatni og síðan eftir söfnun. Þrýstingur og hitastig gassins var mælt.

Aðferð: Gasgreinir TCD.

Kísill (SiO₂)

Meðhöndlun sýnis: Vatnsýni var þynnt á staðnum með eimuðu vatni (Rd).

H₂S var eytt með joðlausn og ofgnótt joðs með thiosúlfatlausn.

Aðferð: Litmæling með gulum molybdat komplex í súrri lausn.

Silicon (Si)

Meðhöndlun sýnis: Fa, óþynnt sýni.

Aðferð: Rafgas-massagreining (ICP-AES / ICP-SFMS).

Natríum (Na)

Meðhöndlun sýnis : CAT, óþynnt sýni.

Aðferð: Jónaskilja (IC).

Kalíum (K)

Meðhöndlun sýnis : CAT, óþynnt sýni.

Aðferð: Jónaskilja (IC).

Magnesíum (Mg)

Frárennslissýni og grunnvatn:

Meðhöndlun sýnis : CAT, óþynnt sýni.

Aðferð: Jónaskilja (IC).

Borholusýni:

Meðhöndlun sýnis: Fa, óþynnt sýni.

Aðferð: Rafgas-massagreining (ICP-AES / ICP-SFMS).

Kalsíum (Ca)

Meðhöndlun sýnis : CAT, óþynnt sýni.

Aðferð: Jónaskilja (IC).

Klóríð (Cl)

Meðhöndlun sýnis: Fu.

Aðferð: Jónaskilja (IC).

Súlfat (SO₄)

Meðhöndlun sýnis: Fp.

Aðferð: Jónaskilja (IC).

Flúor (F)

Meðhöndlun sýnis: Fu.

Aðferð: Jónaskilja (IC).

Járn (Fe)

Meðhöndlun sýnis: Fa

Aðferð: Rafgas- massagreining (ICP-AES / ICP-SFMS).

Bór (B)

Meðhöndlun sýnis: Fa

Aðferð: Rafgas- massagreining (ICP-AES / ICP-SFMS)

Ál (Al)

Meðhöndlun sýnis: Fa

Aðferð: Rafgas- massagreining (ICP-AES / ICP-SFMS)

Leiðni (μS)

Mælt á staðnum eða samdægurs. Meðhöndlun sýnis: Fu.

Aðferð: Platínuskaut, viðmiðunarhiti 25°C.

Mælir stilltur með KCl lausn.

Föst svifefni (SS)

Meðhöndlun sýnis: Sýni síað á staðnum með 0,45 μm síuþynnu.

Aðferð: Þurrkun og vigtun síuþynnu fyrir og eftir söfnun.

Þungmálmari Cd, Zn, As, Hg, Pb, Ni, Cr, P

Meðhöndlun sýnis: Fa

Aðferð: Rafgas-massagreining (ICP-AES / ICP-SFMS)

Nítrat (NO_3)

Meðhöndlun sýnis: Fu.

Aðferð: Jónaskilja (IC).

Fosfat (PO_4)

Meðhöndlun sýnis: Fu.

Aðferð: Jónaskilja (IC).

Ammoníak (NH_3)

Meðhöndlun sýnis: Fu.

Aðferð: Jónaskilja (IC).