

Bjarnarflagsvirkjun

Vinnslueiginleikar gufu og vatns úr borholum



Landsvirkjun
BÓKASAFN



Landsvirkjun



Upplýsingablað

Skýrsla nr: LV-2011/063

Dags: 29. apríl 2011

Fjöldi síðna: 25 Upplag: 10 Dreifing: Opin Lokuð til

Titill: Bjarnarflagsvirkjun Vinnslueiginleikar gufu og vatns úr borholum.

Höfundar: Trausti Hauksson

Verkefnisstjóri: Kristján Einarsson

Unnið fyrir: Landsvirkjun skv. samningi 1154-01

Samvinnuaðilar: Kemfa

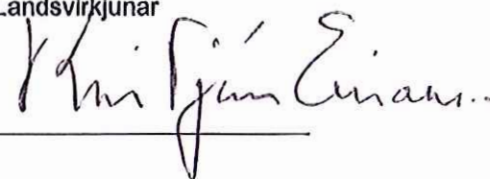
Útdráttur: Vinnslueiginleikar vatns og gufu úr borholum í Bjarnarflagi eru metnir og inn í það mat teknar mismunandi vinnslurásir og einnig möguleg fullnýting varmans úr skiljuvatninu.

Lykilorð: Bjarnarflag, Bjarnarflagsstöð, vinnslueiginleikar, efnasamsetning, skiljuvatn, gufa, gas, kælivatn, eimþétting, gasútblastur, eimsvali, kæliturn.

ISBN nr: _____

ISSN nr: _____

Undirskrift verkefnisstjóra
Landsvirkjunar





Skýrsla nr. LV-2011/063

Bjarnarflagsvirkjun

Vinnslueiginleikar gufu og vatns úr borholum.

Trausti Hauksson

Apríl 2011

EFNISYFIRLIT

1 Inngangur	3
2 Efnasamsetning jarðhitavökva	4
3 Gufurás.....	8
4 Kælivatnshringrás	13
4.1 Óbein eimþétting	13
4.2 Bein eimþétting	18
5 Nýting skiljuvatnsvarma	21
5.1 Hitaveita og baðlón	22
6 Helstu niðurstöður	23
7 Tillögur	24
8 Heimildir	25

Töflur

Tafla 1: Efnasamsetning gufu í Bjarnarflagi	5
Tafla 2: Efnasamsetning skiljuvatns í Bjarnarflagi	5
Tafla 3: Efnasamsetning gufu	8
Tafla 4: Efnasamsetning gass	9
Tafla 5: Áætluð efnasamsetning þéttivatns (óbein eimþétting)	10
Tafla 6: Efnasamsetning skiljuvatns	12
Tafla 7: Efnasamsetning ferskvatns	14
Tafla 8: Efnastyrkur í ferskvatnsholum	15
Tafla 9: Efnasamsetning gass (bein eimþétting)	18
Tafla 10: Áætluð efnasamsetning þéttivatns (bein eimþétting)	19

Myndir

Mynd 1 Borholur í Bjarnarflagi (Magnús Ólafsson 2009)	4
Mynd 2 Vermi borholuvökva	6
Mynd 3 CO ₂ í gufu	6
Mynd 4 H ₂ S í gufu	7
Mynd 5 SiO ₂ í skiljuvatni	7
Mynd 6 Hefðbundin gufurás	8
Mynd 7 Kísilmettun skiljuvatns	11
Mynd 8 Kælihringrás með óbeinni eimþéttingu	13
Mynd 9 Sýnatökustaðir og helstu drættir í grunnvatnsrennsli um svæðið	16
Mynd 10 Kælihringrás með beinni eimþéttingu	18
Mynd 11 Fullnýting skiljuvatnsvarma	21
Mynd 12 Varmaskiptastöð og jarðböð. Kísilstyrkur í skiljuvatni.	22

1 Inngangur

Áætlað er að virkja jarðhitasvæðið í Bjarnarflagi í tveimur 45 MW áföngum (BJA Verkhönnun 2011, drög að skýrslu). Fyrirhuguð 90 MW virkjun mun þurfa 169 kg/s af háþrýstigufu sem skilin verður frá holuvökvanum við 10,0 bar þrýsting (abs).

Nú hafa verið boraðar 15 holur í Bjarnarflagi. Af þeim eru 6 holur nýtanlegar í væntanlegri virkjun. Fyrri áætlanir byggðu á efnagreiningum gufu og vatns í eldri holum. Nú hafa 3 nýjar holur verið rannsakaðar og því talið rétt að endurmeta vinnslueiginleika vökvans og taka inn í það mat mismunandi vinnslurásir og einnig möguleg fullnýting varmans úr skiljuvatninu

Í fyrstu áætlunum var gert ráð fyrir að gufan væri þétt í óbeinum eimsvala og þéttivatn sem til fellur notað til þess að fæða kælihringrás.

Nú er verið að kanna aðra kosti til samanburðar s.s. beina eimþéttingu og einnig að nota ferskvatn til þess að fæða kælihringrásina.

Efnasamsetning gufunnar getur haft áhrif á slíkt val. Til dæmis mun andrúmsloft blandast við gasið frá virkjuninni ef bein eimþétting verður valin. Það getur takmarkað möguleika á hreinsun gassins. Einnig munu brennisteinsútfellingar myndast í kælikerfinu sem getur valdið rekstrarvandæðum og einnig gert vatnið óhæft til niðurdælingar.

Ef ferskvatn verður notað til þess að fæða kælikerfið þá fellur til meira af hreinu þéttivatni sem getur auðveldað niðurdælingu skiljuvökva.

2 Efnasamsetning jarðhitavökva

Sex holur eru virkar á svæðinu. Holur BN-9, BJ-11 og BJ-12 eru eldri, en holur BJ-13, BJ-14 og BJ-15 voru boraðar til þess að afla gufu fyrir stækkaða virkjun.

Eftirfarandi mynd sýnir staðsetningu borholana í Bjarnarflagi.

Hola BN-9 er 1300 m djúp og vinnur um 230 °C heitan vökva.

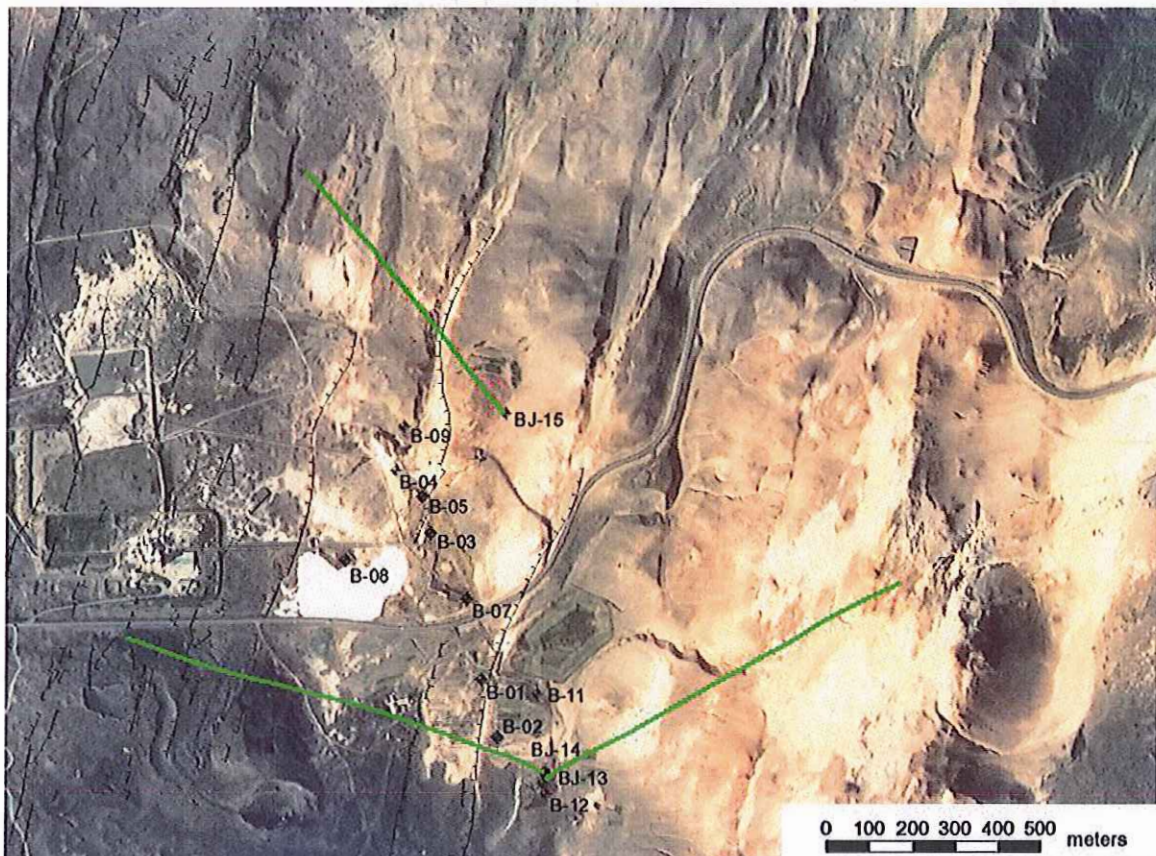
Holur BJ-11 og BJ-12 eru tæplega 2000 m djúpar og eru taldar nálægt miðju sjarðhitakerfisins. Þær eru fódraðar grunnt og draga því að sér kaldari vökva úr grunnum jarðjögum.

Nýju holurnar eru stefnuboraðar og kanna því aðra hluta kerfisins.

Hola BJ-13 var stefnuboruð undir Námafjall í átt að Hverarönd.

Hola BJ-14 var stefnuboruð í vestur. Hún er öflug og er ásamt BJ-13 talin gefa bestu upplýsingarnar um væntanlega vinnslueiginleika jarðhitavökvans.

Hola BJ-15 nær út úr jarðhitakerfinu og er því ekki talin gefa rétta mynd af áætluðum vinnslueiginleikum þar sem ekki stendur til að bora fleiri slíkar vinnsluholur.



Mynd 1 Borholur í Bjarnarflagi (Magnús Ólafsson 2009)

Fylgst hefur verið með efnasamsetningu gufu og vatns úr holunum og eru niðurstöður mælinga sýndar í árlegum eftirlitsskýrslum (Trausti Hauksson og Jón Benjamínsson 2010). Einnig hafa verið gerðar mælingar á nýju holunum (Magnús Ólafsson 2008 og 2009).

Vermi í holum BJ-11 og BJ-12 var hátt í byrjun en minnkaði vegna vinnslunnar (Mynd 2). Nýju holurnar reyndust hafa svipað vermi og BJ-11 og BJ-12 voru komnar í.

Einnig urðu breytingar í gassamsetningu gufunnar (Myndir 3 og 4). Styrkur CO₂ í gufu jókst í holum BJ-11 og BJ-12 samhliða vinnslu úr þeim en CO₂ styrkurinn í nýju holunum var áþekkur upphafsstyrk í BJ-11 og BJ-12.

Kísilstyrkur í holum BJ-11 og BJ-12 minnkaði strax eftir upphleypingu og hélst þannig allan blásturstímamann (Mynd 5). Kísilstyrkur í holum BJ-13 og BJ-14 reyndist verulega meiri en í gömlu holunum.

Valin voru einkennandi sýni fyrir holurnar og er styrkur helstu efna í gufu við skiljuþrýsting (10 bar abs) sýndur í töflu 1 og í skiljuvatni í töflu 2.

Einkennandi sýni fyrir Bjarnarflagsvirkjun er samsett úr öllum sýnunum með eftirfarandi vægi: BN-9: 5%, BJ-11: 5%, BJ-12: 10%, BJ-13: 40%, BJ-14: 35% og BJ-15: 5%.

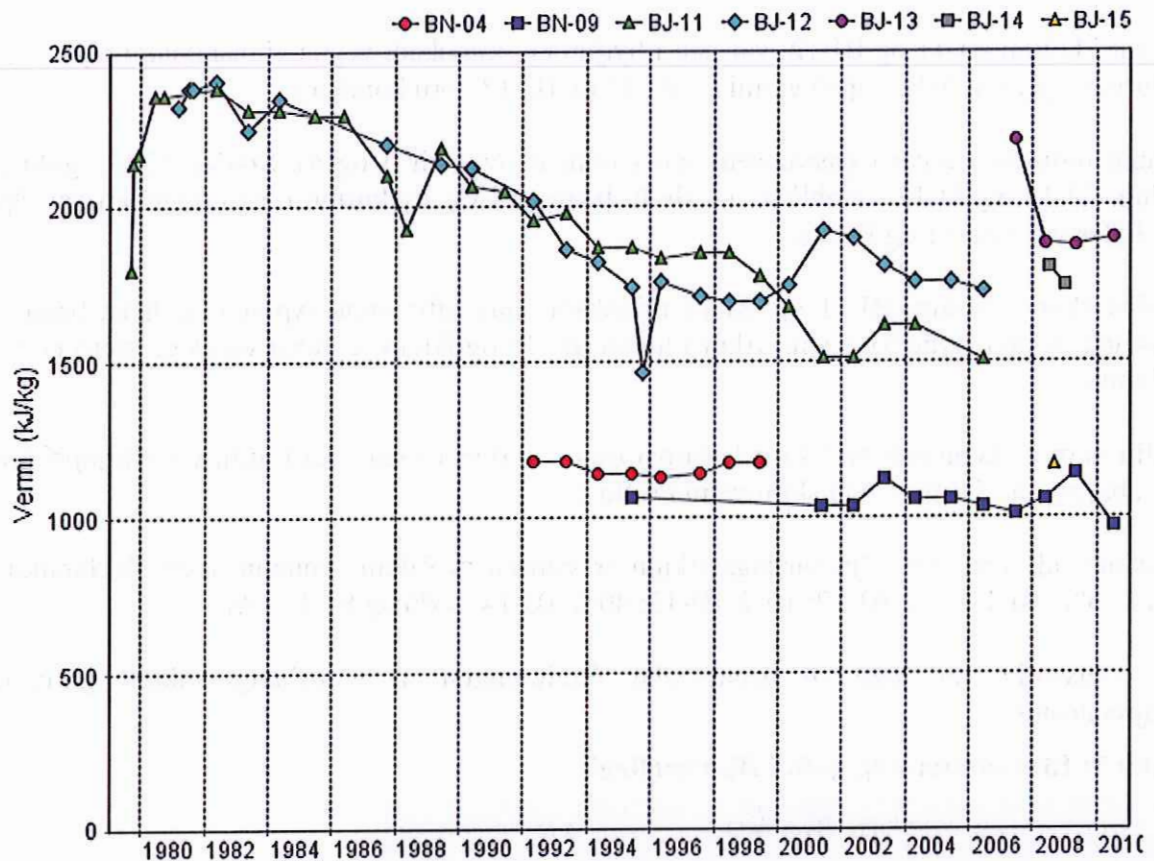
Sú samsetning var lögð til grundvallar útreikningum á vinnslueiginleikum gufunnar og skiljuvatnsins.

Tafla 1: Efnasamsetning gufu í Bjarnarflagi

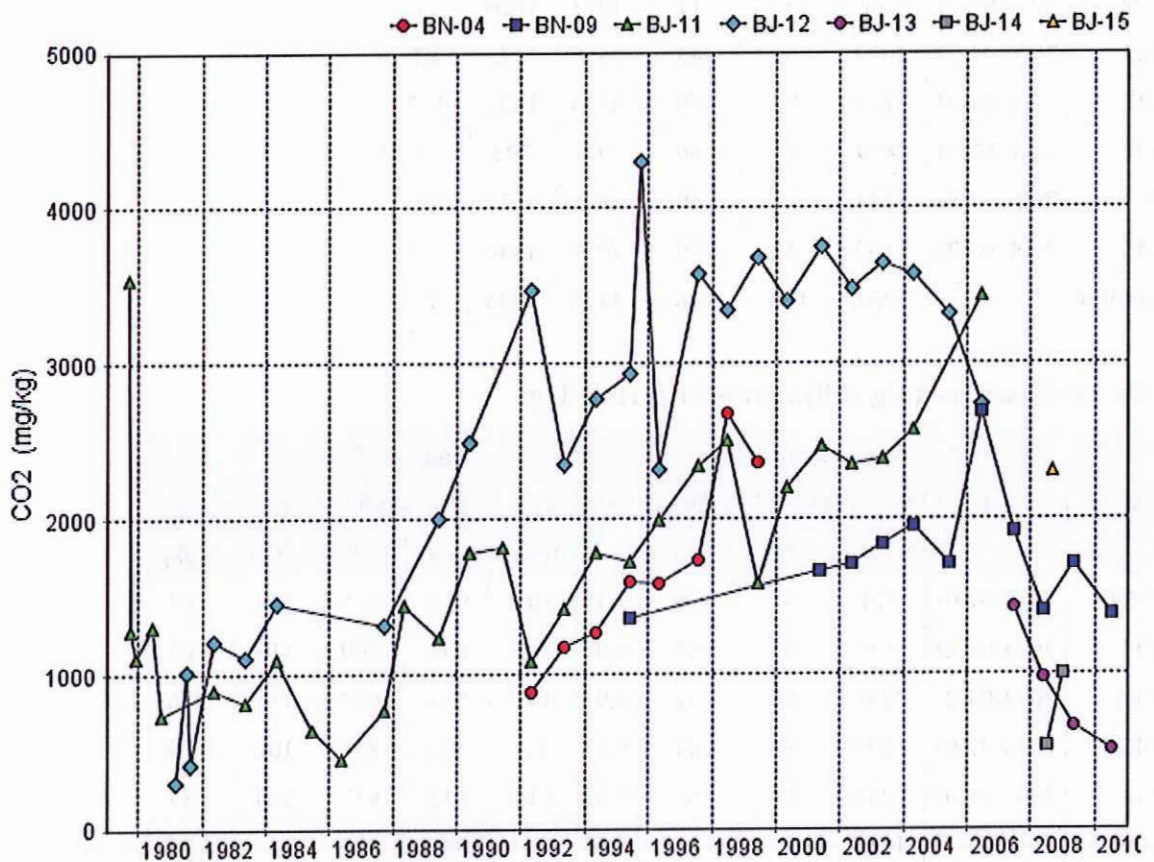
Hóla	Tími	Skilja	Rennsli	Gufa			
		Vermi	Hlutfall	Hlutfall	CO ₂	H ₂ S	H ₂
		kJ/kg	%	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg
BN-09	2010-07-01	974	5	11	1277	1026	77
BJ-11	2004-04-21	1619	5	43	2536	1173	87
BJ-12	2004-04-21	1759	10	49	3533	1533	157
BJ-13	2010-07-01	1899	40	56	506	795	53
BJ-14	2009-01-06	1744	35	49	992	1147	84
BJ-15	2008-08-25	1169	5	20	2222	1844	179
Samtölur		1734	100	48	1122	1036	79

Tafla 2: Efnasamsetning skiljuvatns í Bjarnarflagi

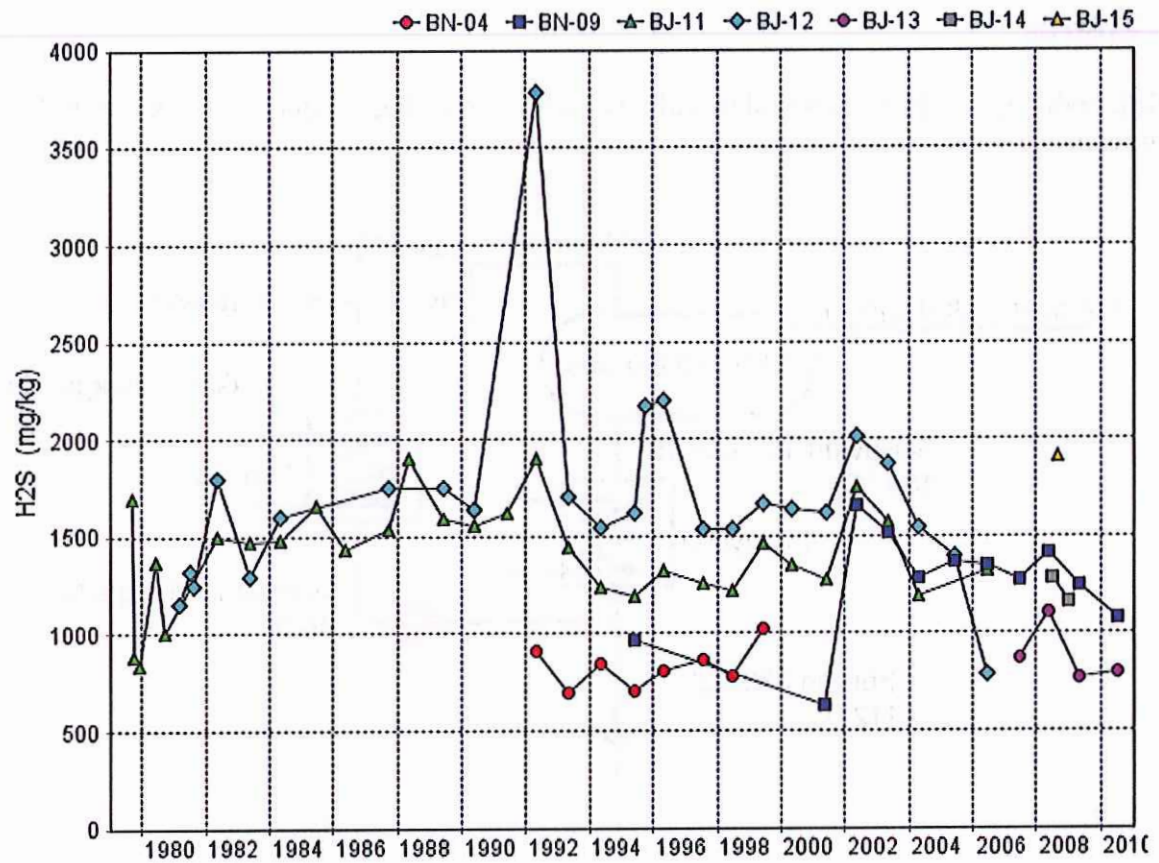
Hóla	Tími	Skilja	Rennsli	Vatn						
		Vermi	Hlutfall	Hlutfall	pH	CO ₂	H ₂ S	SiO ₂	Na	Ca
		kJ/kg	%	%		mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
BN-09	2010-07-01	974	5	89	9,35	30,6	99,6	495	138	3,01
BJ-11	2004-04-21	1619	5	57	9,01	34,8	65,9	700	113	0,64
BJ-12	2004-04-21	1759	10	51	8,97	48,2	85,8	657	134	0,46
BJ-13	2010-07-01	1899	40	44	9,15	8,5	55,1	857	102	0,29
BJ-14	2009-01-06	1744	35	51	9,02	13,8	64,9	927	254	1,32
BJ-15	2008-08-25	1169	5	80	8,98	29,1	98,3	430	162	1,30
Samtölur		1734	100	52	9,10	19,2	69,3	789	166	1,00



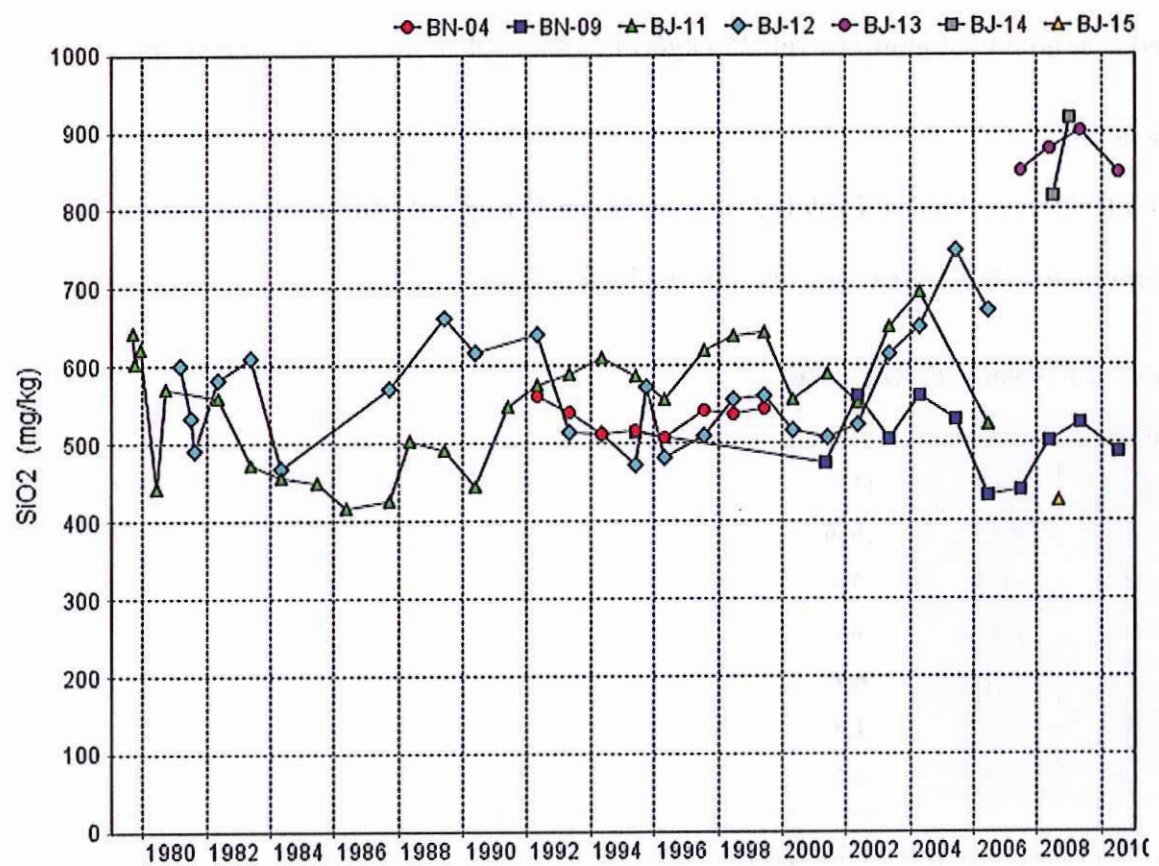
Mynd 2 Vermí borholuvökva



Mynd 3 CO₂ í gufu



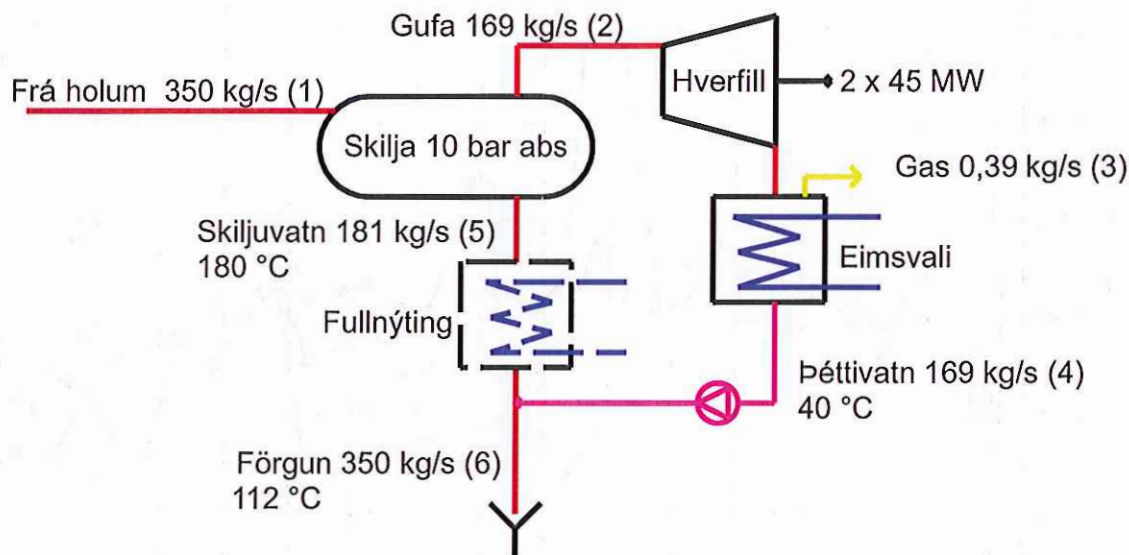
Mynd 4 H₂S í gufu



Mynd 5 SiO₂ í skiljuvatni

3 Gufurás

Eftirfarandi mynd sýnir hefðbundna gufurás fyrir Bjarnarflagsvirkjun með eða án fullnýtingar skiljuvatnsvarmans.



Mynd 6 Hefðbundin gufurás

Holur (1)

Áætlað er að frá holunum streymi 350 kg/s af jarðhitavökva með 1734 kJ/kg vermi.

Gufa (2)

Jarðhitavökvinn skilst að í 169 kg/s af gufu (2) og 181 kg/s af skiljuvatni.

Eftirfarandi tafla sýnir áætlaða efnasamsetningu gufunnar.

Tafla 3: Efnasamsetning gufu

Rennsli	kg/s	169
CO ₂	mg/kg	1122
H ₂ S	mg/kg	1036
H ₂	mg/kg	79
N ₂	mg/kg	62
CH ₄	mg/kg	6,7
NH ₃	mg/kg	1,9
Ar	mg/kg	2,2

Gas í gufu reiknast 0,23 % af massa.

Gas (3)

Frá gasdælum munu streyma 0,39 kg/s af gasi með samsetningu eins og sýnd er í Töflu 4.

Tafla 4: Efnasamsetning gass

	Rennsli	Hlutfall	Hlutfall
	kg/s	w%	vol%
Gas	0,388	100,0	100,0
CO ₂	0,189	48,7	26,0
H ₂ S	0,174	44,8	30,9
H ₂	0,013	3,4	40,4
N ₂	0,010	2,7	2,3
CH ₄	0,001	0,3	0,4
Ar	0,000	0,1	0,1

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 förgunar.

Miðað við þessa samsetningu verður árleg (365 daga) gaslosun frá stöðinni um:

5.960 tonn af CO₂ og

5.490 tonn af H₂S.

Losunin verður um 7,6 g/kWh af CO₂ og 7,0 g/kWh af H₂S.

Ef brennisteinsvetnið verður hreinsað úr gasinu munu falla til allt að 5.170 tonn af brennisteini (S) á ári.

Ef brennisteinsvetnið verður brennt í lofti verður losunin 10.330 tonn af breinsteinsdíoxíði (SO₂) á ári.

Hægt væri að framleiða um 15.800 tonn af brennisteinssýru (H₂SO₄) úr gasinu.

Hægt væri að vinna 410 tonn af vetni (H₂) úr gasinu á ári.

Þéttivatn (4)

Gufan þéttist í eimsvalanum við 0,1 bar þrýsting (abs). Gasið er dregið út með gasdælum eða gufuþeysum. Aðeins hverfandi hluti gassins leysist í þéttivatninu.

Frá eimsvala munu streyma 169 kg/s af þéttivatni.

Nær allt gas losnar úr þéttivatninu nema NH₃.

Reikningslega mun gasið innihalda um 8 mg/kg af CO₂, 16 mg/kg af H₂S og 1,9 mg/kg af NH₃ og sýrustig verður um pH 5,9. Miðað er við að eimsvalaþrýstingur sé 0,100 bar og að hlutþrýstingur gassins þar af sé 21 mbar.

Tafla 5: Áætluð efnasamsetning þéttvatns (óbein eimpétting)

pH/25°C		5,9
CO ₂	mg/kg	8
H ₂ S	mg/kg	16
NH ₃	mg/kg	1,9

Þessi gildi eru ekki langt frá raungildum sem mæld hafa verið í þéttivatni t.d. á Nesjavöllum.

Þéttivatninu má farga beint í holur eða nota sem fæðivatn í kælihringrás.

Skiljuvatn (5)

Frá skiljum munu streyma 181 kg/s af 180 °C heitu skiljuvatni með samsetningu eins og sýnd er í Töflu 6.

Efnasamsetning skiljuvatnsins er mjög hagstæð hvað varðar útfellingahættu. Engin yfirmettun reiknast með tilliti til myndlauss kísils (ópal) eða annarra steinda s.s. anhydríts (CaSO₄) og kalks (CaCO₃).

Förgun (6)

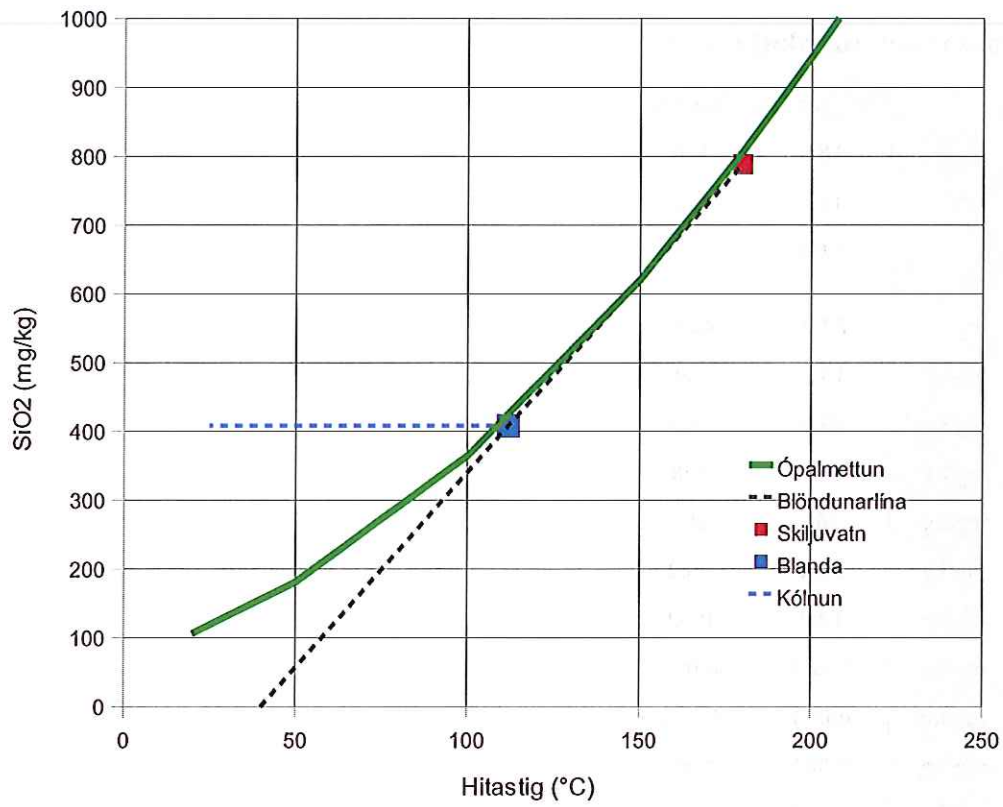
Skiljuvatninu má farga ómeðhöndluðu og óþynntu niður í borholur.

Ef þéttivatni og skiljuvatni verður blandað saman fæst 112 °C heit blanda. Styrkur efna minnkar hlutfallslega og verður eins og sýnt er dálki 4 í töflu 6.

Þessi blanda verður einnig útfellingafrí og hæf til niðurdælingar í holur.

Til útskýringar er þetta sýnt á mynd 7. Þar sýnir græni ferillinn jafnvægisstyrk ópals á móti hitastigi. Svarta brotalínan er blöndunarferill þéttvatns (40 °C) og skiljuvatns (180 °C). Blöndunarferillinn liggur ætíð undir eða á mettunarferlinum þannig að engin hætta á að vera á útfellingu kísils þó þessum vökvum sé fargað saman í borholur.

Ef blöndunni verður fargað á yfirborði mun hún kólna og yfirmettast kísli (blá brotalína). Útfelling kísils verður þó hæg vegna þess hve vatnið er steinefnasnautt.



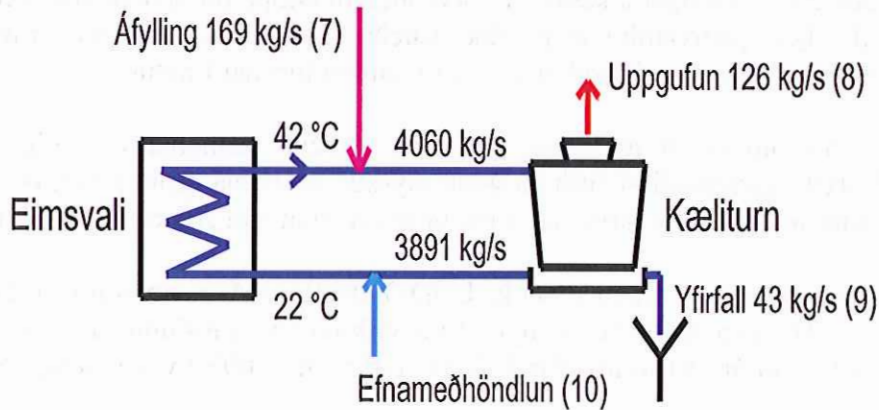
Mynd 7 Kísilmettun skiljuvatns

Tafla 6: Efnasamsetning skiljuvatns

		Skiljuvatn	Blanda
Rennsli	kg/s	181	350
Hitastig	°C	180	112
pH/25°C		9,08	
Basi (total-OH)	mg/kg	82,3	42,6
CO ₂	mg/kg	19,2	9,9
H ₂ S	mg/kg	69,3	35,8
SiO ₂	mg/kg	789	408
Na	mg/kg	166	86
K	mg/kg	31,4	16,2
Ca	mg/kg	1,00	0,52
Mg	mg/kg	0,003	0,002
Fe	mg/kg	0,004	0,002
Mn	mg/kg	0,001	0,001
Ba	mg/kg	0,003	0,001
Sr	mg/kg	0,007	0,003
Al	mg/kg	1,86	0,96
F	mg/kg	1,05	0,54
Cl	mg/kg	142	73
SO ₄	mg/kg	19,8	10,2
B	mg/kg	1,7	0,9
P O ₄	mg/kg	0,001	0,001
NH ₃	mg/kg	0,207	0,107
Hg	µg/kg	0,001	0,001
Zn	µg/kg	0,544	0,282
Cu	µg/kg	0,144	0,074
Cr	µg/kg	0,062	0,032
Ni	µg/kg	0,180	0,093
Mo	µg/kg	0,073	0,038
Cd	µg/kg	0,001	0,001
Pb	µg/kg	0,008	0,004
As	µg/kg	13	7

4 Kælivatnshringrás

Nokkrir valkostir eru um fyrirkomulag kælingar og þéttingar gufunnar í eimsvala. Í fyrsta lagi er um svokallaða óbeina eimpéttingu að ræða eins og sýnd er á mynd 8.



Mynd 8 Kælihringrás með óbeinni eimpéttingu

4.1 Óbein eimpétting

Áfylling (7)

Áfylling getur bæði verið þéttivatn úr eimsvala og eða ferskvatn. Þéttivatnið frá eimsvala getur innihaldið allt að 25 mg/kg H_2S . Mögulegt er að afgasa þéttivatnið áður en því er blandað við kælihringrásin og ná þannig H_2S styrknum niður í allt að 5 mg/kg. Ekki ætti þó að vera þörf á slíku.

Ef ferskvatn er notað til áfyllingar þá verður rásin brennisteinsfrí. Þess verður þó að gæta að gasútblástur frá virkjuninni komist ekki nálægt kæliturninum.

Uppgufun kæliturns (8)

Uppgufun er breytileg og fer eftir lofthita og rakastigi. Hluti gassins sem uppleyst er í fæðivatninu mun fara með gufunni út í andrúmsloft. Erfitt er að meta hvernig hlutfallið verður en það ræðst meðal annars af því hvernig efnameðhöndluninni verður háttáð. Ef sýrustigið (pH) er hátt þá helst gasið frekar í lausn, hvarfast við súrefni og fer út með með yfirfallinu en losnar úr lausn ef það er lágt og fer út með uppgufuninni.

Miðað við 5 mg/kg í fæðivatninu munu mest um 27 tonn af H_2S á ári losna þessa leið sem er um 0,5% af heildarlosuninni.

Ef þéttivatnið er ekki afgasað þá getur H_2S gaslosun um kæliturn orðið allt að 135 tonn á ári eða um 2,5% af heildarlosun H_2S .

Engin losun brennisteins verður þessa leið ef ferskvatn er notað til áfyllingar.

Yfirfall kæliturns (9)

Yfirfallsrennsli ræðst af áfyllingarrennsli og uppgufun en hún fer eftir lofthita og rakastgi loftins. Við vothitastig (vet bulb) 12 °C áætlast uppgufun 126 kg/s og yfirfallsrennsli verður 43 kg/s en yfirfallsrennslið getur breyst frá 40 til 70 kg/s eftir vothitastigi loftins.

Ef þéttivatn er notað til áfyllingar á kælikerfi með óbeinni eimpéttingu myndast brennistein á föstu form. Vegna lítils 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.

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

Tafla 7 sýnir styrk steinefna í vatni úr holu LUD-3 (Halldór Ármannsson o.fl 2011) en hún er staðsett við hlið LUD-9 sem áætlað er að nýta fyrir virkjunina. Í töflunni er einnig sýndur styrkur steinefna í yfirfallsvatni úr kæliturni eftir 2 falda styrkingu (100%) vegna uppgufunar.

Tafla 7: Efnasamsetning ferskvatns

		Ferskvatn	Kæliiturn
Uppgufunarhlutfall		1	2
Hitastig	°C	4,7	22
pH/25°C		8,27	
TDS	mg/kg	113	226
Basi (total-OH)	mg/kg	25,2	50,4
CO ₂	mg/kg	64,4	
SiO ₂	mg/kg	21,4	42,8
Na	mg/kg	16,3	32,6
K	mg/kg	1,88	3,76
Ca	mg/kg	11,2	22,4
Mg	mg/kg	7,3	14,6
Fe	mg/kg	0,002	0,004
Al	mg/kg	0,006	0,012
F	mg/kg	0,16	0,32
Cl	mg/kg	5,28	10,56
SO ₄	mg/kg	12,6	25,2
PO ₄	mg/kg	0,150	0,300
Ba	mg/kg	0,246	0,492
Hg	µg/kg	0,163	0,326
As	µg/kg	<0,05	<0.10

Kælivatnið er kalkríkt og basískt og getur því yfirmettast kalki vegna styrkingar steinefna og afgösunar. Kalkstyrkur (Ca) í vatninu úr LUD-3 er meiri en t.d. í kælivatni sem notað er Svartsengi en þar er styrking steinefna um 50%. Styrkurinn er einnig meiri en í kælivatni á Nesjavöllum, sjá töflu 8.

Erfitt er að segja fyrir um hvert sýrustigið verður og þar með kalkyfirmettunin því það mun m.a. ráðast af jafnvægi CO₂ í vatninu við CO₂ í andrúmslofti.

Ef vatnið verður kalkyfirmettað þá er hægt að bregðast við því með íblöndun sýru eða með auknu kælivatnsflæði. Ekki er hætta á útfellingu annarra efna.

Sýruþörf vegna þessa gæti verið nokkur hundruð kg af 33% HCl á dag.

Miðað við tvöfalda styrkingu vegna uppgufunar (100% styrking) þarf að útvega allt að 252 l/s af ferskvatni fyrir 90 MW virkjun. Ekki er ráðlegt að nota minni kælivatnsfæðingu vegna óhagstæðrar efnasamsetningar vatnsins úr LUD-3 og gæti jafnvel þurft að auka hana.

Hugsanlega er mögulegt að finna betra vatn nálægt virkjuninni. Þá væri fyrst og fremst litið til þess að finna vatn með minni kalsíumstyrk (Ca) og minni bikarbonatstyrk (HCO₃).

Styrkur helstu efna í ferskvatnsholum á svæðinu er sýndur í Töflu 8. Til samanburðar er sýndur styrkur efna í ferskvatni sem notað er á kæliturnu í Nesjavallavirkjun og Svartsengisvirkjun.

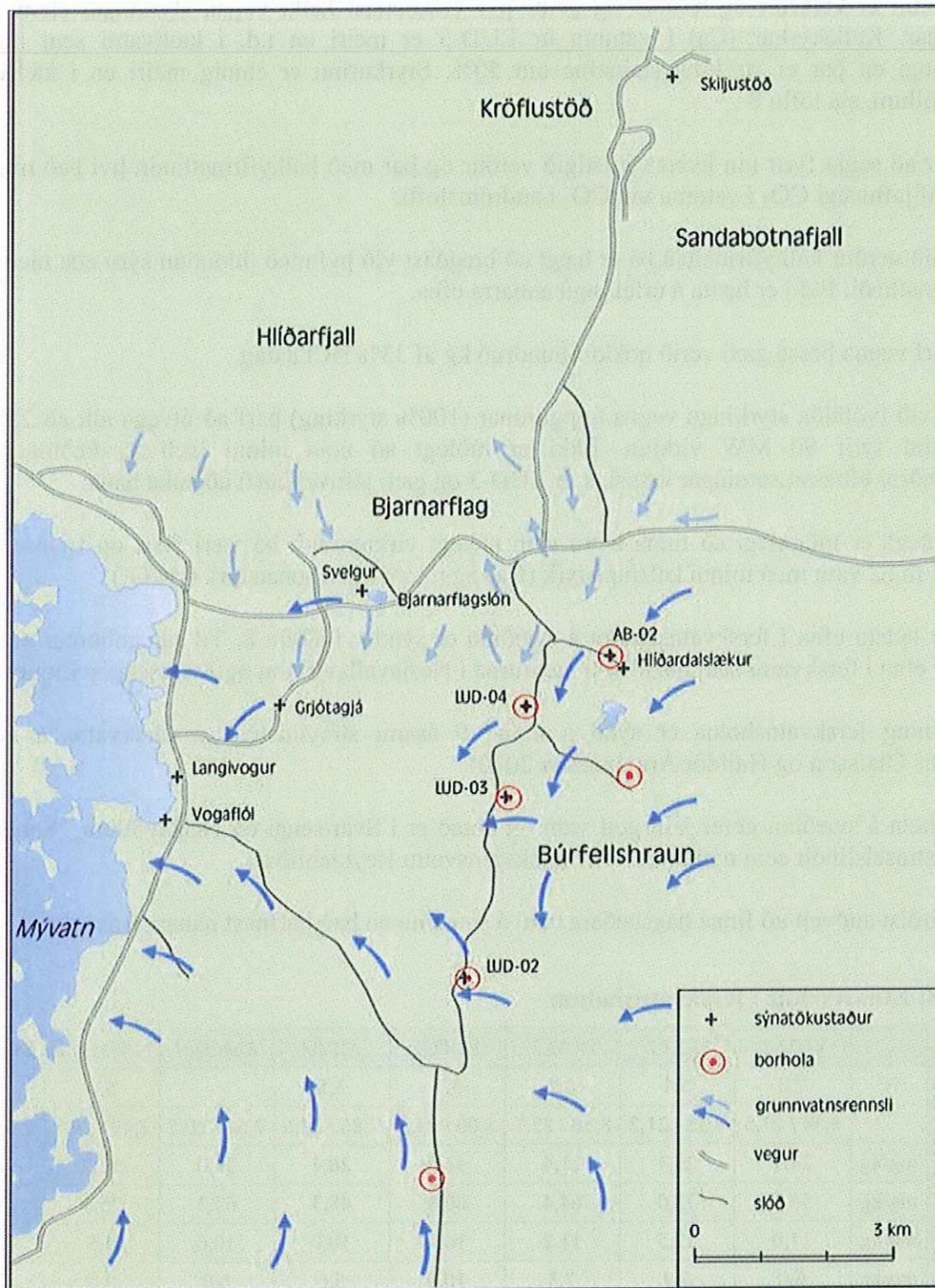
Staðsetning ferskvatnsholna er sýnd á mynd 9 ásamt streymisleiðum ferskvatns á svæðinu (Magnús Ólafsson og Halldór Ármannsson 2010).

Engin hola á svæðinu gefur jafn gott vatn og notað er í Svartsengi og Nesjavöllum. Sama gildir um Austraselslindir sem nýttar eru fyrir ferskvatnsveitu Reykjavíðar.

Ekki virðist auðvelt að finna hagstæðara vatn á svæðinu en það þarfnast nánari rannsóknar.

Tafla 8: Efnastyrkur í ferskvatnsholum

		LUD-1	LUD-2	LUD-3	LUD-4	AB-02	Austrasel	Nesjavellir	Svartsengi
Hitastig	°C	7,0	5,4	4,7	5,7	3,5		5,0	5,0
pH / °C		8,34 / 21,5	8,32 / 21,2	8,30 / 22,7	8,00 / 21,5	7,86 / 19,6	7,61 / 20,5	7,49 / 22,8	7,55 / 25,0
SiO ₂	mg/kg	24,1	23,4	21,4	42,0	26,4	29,0	17,2	14,7
CO ₂	mg/kg	56,5	73,0	64,4	60,8	48,3	67,3	25,1	18,0
Ca	mg/kg	11,0	12,5	11,2	16,2	10,0	10,6	4,5	7,9
Mg	mg/kg	6,0	7,9	7,3	10,6	5,6	6,0	2,8	7,4

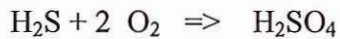
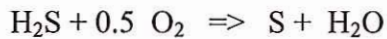


Mynd 9 Sýnatökustaðir og helstu drættir í grunnvatnsrennsli um svæðið (byggt á mynd frá Verkfræðistofunni Vatnaskilum (1999)).

Efnameðhöndlun (10)

Kælivatnið er mettað súrefni andrúmslofts þegar það streymir úr kælivatnspró og inn í eimsvallann.

Ef kælivatnið innheldur H_2S 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 varmaskipta og minnkað afl orkuversins.

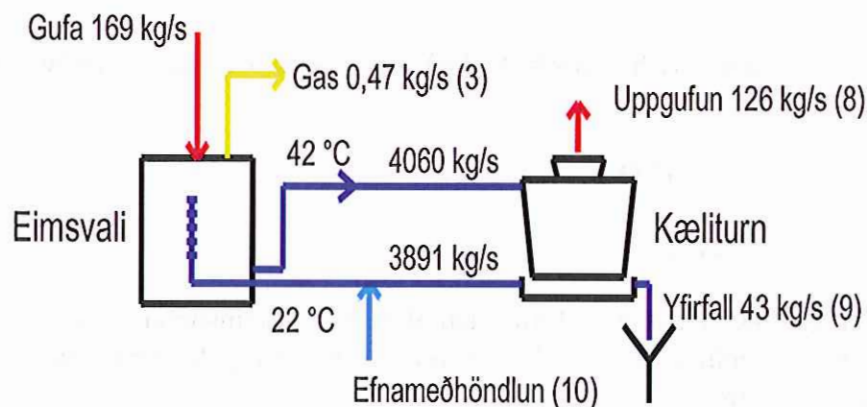
Til þess að halda sýrustiginu innan marka er bætt lút í vatnið.

Ekki er reiknað með að þurfi verulegt magn af lút fyrir kælikerfi með óbeinni eimþéttingu, sérstaklega ef þéttivatnið er afgasað.

Til þess að hamla örveruvexti er bætt klór í vatnið. 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 50 kg af 15 % klórlausn eða 18 tonn á ári.

4.2 Bein eimpétting



Mynd 10 Kælihringrás með beinni eimpéttingu

Gas (3)

Ef eimpétting er bein blandast allt þéttivatnið við kælivatnið í eimsvalanum. Gasið í gufunni kemst í snertingu við kælivatnið og leysist að hluta upp í því. Samtímis losnar uppleyst súrefni og köfnunarefni úr kælivatninu og blandast við útblástursgasið.

Gasflæði sem þarf að soga úr eimsvalanum eykst úr 0,39 kg/s í 0,41 kg/s og súrefnistyrkur verður 5,4 vol% í gasinu. Samsetning gassins er sýnd í eftirfarandi töflu.

Tafla 9: Efnasamsetning gass (bein eimpétting)

	Rennsli	Hlutfall	Hlutfall
	kg/s	w%	vol%
Gas	0,413	100,0	100,0
CO ₂	0,150	36,4	19,1
H ₂ S	0,155	37,5	25,4
H ₂	0,013	3,2	37,3
O ₂	0,031	7,5	5,4
N ₂	0,062	15,0	12,3
CH ₄	0,001	0,3	0,4
Ar	0,000	0,1	0,1

Uppgufun kæliturns (8)

Við beina eimpétting kemst gasið úr holunum í beina snertingu við kælivatnið. H₂S og CO₂ leysist í vatninu og losnar út í andrúmsloftið í kæliturninum. Reynslutölur frá Kröflu sýna að styrkur H₂S er að jafnaði um 5 mg/kg og CO₂ um 25mg/kg í vatninu út úr eimsvala. Ekkert H₂S mælist og

CO₂ mælist um 12 mg/kg þegar vatnið hefur streymt niður um kæliturinn. Styrkurinn er háður sýrustigi en þessi gildi mælast yfirleitt þegar sýrustigið er á milli pH 5 og 6.

Kælivatnsrennslið verður 4060 kg/s þannig að mikið gas getur borist út með því.

Losun brennisteinsvetnis um kæliturna fyrir beina eimþéttingu áætlast um 640 tonn á ári eða um 11,6 % af heildarlosun H₂S frá virkjuninni.

Yfirfall kæliturns (9)

Í Kröflustöð myndast brennisteinsútfellingar (S) í kælivatninu. Styrkurinn hefur að jafnaði mælist um 8 mg/kg í vatninu sem streymir frá eimsvala. Hluti sest á kæliþróarbotninn en einnig skolest nokkuð af brennisteininum jafnóðum út með yfirfalli kæliturnsins (2 til 4 mg/kg).

Tafla 10: Áætluð efnasamsetning þéttivatns (bein eimþétting)

		Eimsvali	Kæliturinn
pH/25°C		5,5	6,5
CO ₂	mg/kg	18	12
H ₂ S	mg/kg	5	0
S	mg/kg	8	3
O ₂	mg/kg	0	8

Einnig myndast brennisteinssýra (H₂SO₄). Sýrumyndun er mest á sumrin þegar heitt er í veðri og kælvatnshitinn hár. Þá getur sýrumyndunin í Kröflu verið um 240 kg af H₂SO₄ á sólarhring fyrir 60 MW framleiðslu sem samsvarar um 335 kg á sólarhring í Bjarnarflagsvirkjun (90 MW).

Brennisteinslosun með yfirfallsvatninu áætlast um 109 tonn á ári eða um 2 % af heildarlosuninni.

Efnameðhöndlun (10)

Ekki er mögulegt að hamla örveruvexti með klóríblöndun í kælivatnið í kælikerfi með beinni eimþéttingu því brennisteinsvetnið hvarfast við klórinn og eyðir honum jafnharðan.

Brennisteinssýra (H₂SO₄) mun myndast í vatninu. Sýrumyndun er mest á sumrin þegar heitt er í veðri og kælvatnshitinn hár.

Bæta þarf því lút í vatnið til þess að koma í veg fyrir að sýrustigið fari niður fyrir pH 4, sem er tærandi fyrir ryðfrítt stál.

Mest sýrumyndum verður þegar heitt er í veðri og miðað við reynslu frá Kröflustöð þá gæti þurft að bæta allt að 150 kg af NaOH í vatnið á sólarhring.

Til greina kemur að nota ferskvatn og/eða skiljuvatn til þess að hlutleysa sýruna.

Ef ferskvatn er notað þarf írennsli þess að vera um 68 l/s til þess að hlutleysa sýruna.

Skiljuvatnið er basískara en ferskvatnið og þarf rennsli þess að vera um 21 kg/s til þess að hlutleysa sýruna.

Ef skiljuvatni er bætt í kælivatnið þá getur kísilstyrkur orðið meiri en kísilmettunarstyrkur. Við slíkar aðstæður fellur kísill út með brennisteini, en kísillinn hindrar einnig örveruvöxt. Útfeldur brennisteinn verður því harðari en ef ferskvatn er notað til hlutleysingar.

Vatn frá kælikerfi með óbeinni eimþéttingu verður óhæft til blöndunar við skiljuvatn fyrir niðurdælingu og verður að farga sér í lón eða sérstakar förgunarholur.

5 Nýting skiljuvatnsvarma

Skiljuvatnið er 180 °C heitt og því gæti verið álitlegt að nýta það t.d. fyrir raforkuframleiðslu með tvívökvavél (ORC) eða til upphitunar í hitaveitu eða annarrar notkunar. Einnig kemur til greina að sjóða það aftur í lágþrýstiskilju og nýta gufuna í lágþrýstri gufuvél.

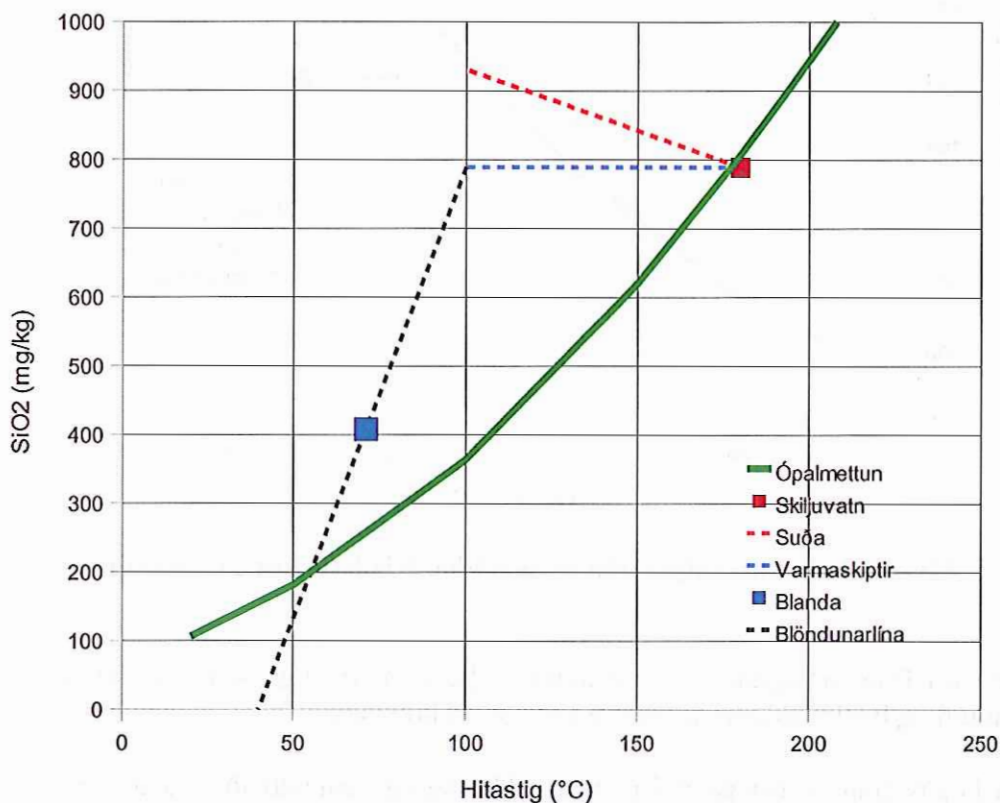
Eftirfarandi mynd sýnir yfirmettun kísils sem verður í skiljuvatninu við suðuna (rauður brotaferill). Við 100 °C verður SI skiljuvatnsins ("saturation index" þar sem $SI = 1.00$ við mettunarástand) jafnt og 2,56. Það er nokkuð hátt gildi og nokkuð mikil hætta á kísilútfellingum úr slíkum vökva.

Ef skiljuvatnið er kælt niður í varmaskipti (blá brotalína) niður í 100 °C þá verður minni kísilyfirmettun ($SI = 2,17$).

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 í Bjarnarflagi en þó vissara að sannreyna það með tilraunum.

Ef vatnið er blandað við allt það þéttivatn sem til fellur verður hitastig blöndunnar 71 °C og $SI = 1,64$ sem fer að verða viðráðanleg yfirmettun. Þó er óvarlegt að láta slíka blöndu renna í dýrar borholur án sérstakra ráðstafana.

Á Nesjavöllum er kísillinn í skiljuvatninu látinn fjöllidast áður en þéttivatninu er blandað í skiljuvatnið. Þannig er komið í veg fyrir útfellingar í niðurdælingarholum (Stefán Arnórsson o.fl. 2001).



Mynd 11 Fullnýting skiljuvatnsvarma

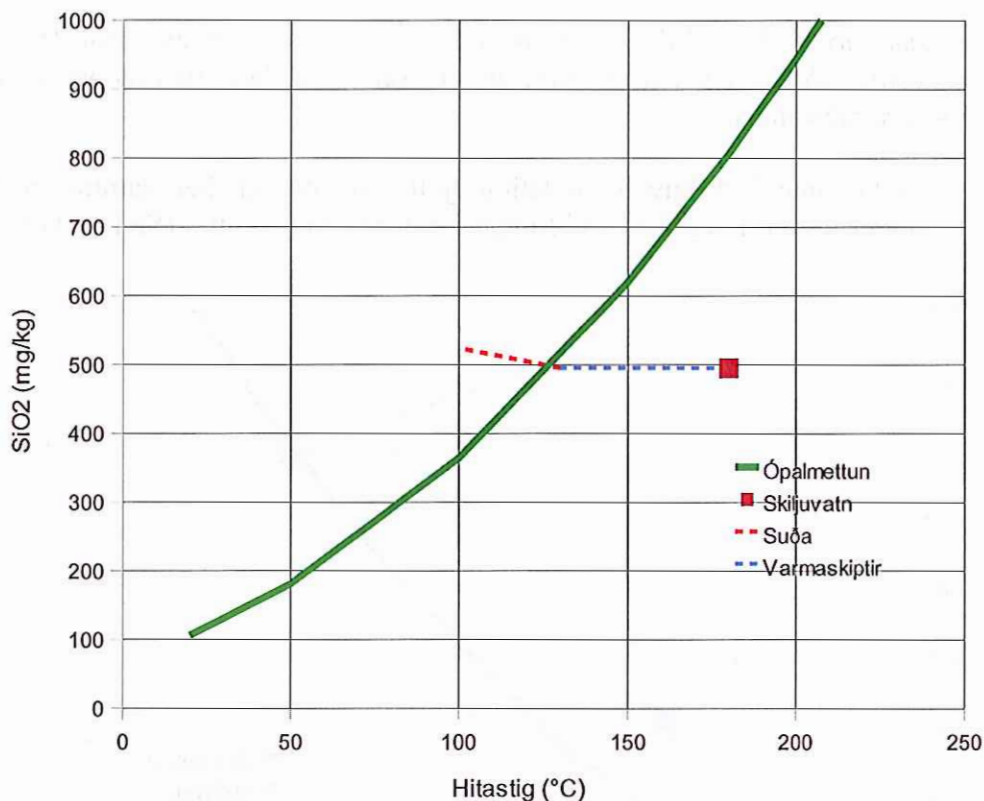
5.1 Hitaveita og baðlón

Nú er skiljuvatn frá holu BN-9 notað til upphitunar hitaveituvatns og einnig fyrir baðlónið. Áður en farið var út í það var útfellingahætta úr vatninu könnuð (Trausti Hauksson 2002) og mesta hitastigslækkun vatnsins reiknuð.

Kísilstyrkurur í skiljuvatni úr holu BN-9 er verulega minni en áætlaður styrkurur í skiljuvatni Bjarnarflagsstöðvar eða 495 mg/kg. Þetta er sýnt á mynd 12.

Skiljuvatnið er kælt í varmaskipti niður í 130 °C og er þá enn lítilsháttar undirmettað þannig að útfellingar í varmaskiptinum verða litlar.

Þannig streymir undirmettað vatnið að Jarðböðunum þar sem vatnið sýður við eina loftþyngd (100 °C). Við það hækkar styrkurur kísils úr 495 mg/kg í 524 mg/kg og yfirmettast kísli. Yfirmettunin er þó ekki mikil.



Mynd 12 Varmaskiptastöð og jarðböð. Kísilstyrkurur í skiljuvatni.

Ef skiljuvatn frá Bjarnarflagsstöð verður notað í þessum tilgangi þá munu útfellingar aukast í varmaskiptinum og baðlónslögninni sem kallar á tíðari hreinsanir.

Kísilstyrkurur í baðvatninu verulega meiri eða um 835 mg/kg, sem ætti að vera kostur.

6 Helstu niðurstöður

Efnasamsetning vökva úr borholum BN-9 (5%), BJ-11 (5%), BJ-12 (10%), BJ-13 (40%), BJ-14 (35%) og BJ-15 (5%) var veginn saman og búin til ein einkennandi samsetning og hún notuð til þess að meta vinnslueiginleikana í orkurásinni.

Gasstreymi úr eimsvala verður 0,39 kg/s og þyngdarhlutfall CO₂ 49 %, H₂S 44 % og H₂ 3,4 %.

Áætluð árleg (365 dagar) gaslosun frá 90 MW Bjarnarflagsvirkjun verður 5.960 tonn af CO₂ og 5.490 tonn af H₂S.

Skiljuvatnsrennsli verður um 181 kg/s við 180 °C og má farga því heitu, ómeðhöndluðu og óþynntu niður í borholur.

Kísilstyrkur í skiljuvatninu við 180 °C er rétt undir útfellingarmökum ópals. Ef skiljuvatnið verður kælt frekar t.d. fyrir frekari nýtingu í tvívökva kerfi (ORC) eða fyrir hitaveitu þá verður vatnið yfirmettað. Búast má við kísilútfellingum í slíkum varmavinnslubúnaði.

Núverandi hitaveita notar skiljuvatn úr holu BN-9, sem er með hagstæðari efnasamsetningu að þessu leiti.

Vatn úr LUD-3 er kalkríkt og inniheldur mikið karbonat sem gerir vatnið frekar óhagstætt fyrir kælivatnsrás. Ekki virðist auðsótt að afla betra vatns á svæðinu.

Tveir möguleikar voru skoðaðir fyrir kælirásina.

Óbein eimpétting (varmaskiptir):

Kostir

- Allt að 99,5 % af gasinu streymir frá gasdælum en það auðveldar hreinsun eða aðra meðferð gassins.
- Hreint þéttvatn kemur úr eimsvalanum sem auðvelt er að farga í borholur eða nýta til íblöndunar í skiljuvatn.
- Yfirfall frá kæliturni má farga í holur.

Gallar

- Örverur setjast á varmayfirborð. Þarf að sótthreinsa reglulega.
- Útfelling kalks ef ferskvatn er notað sem kælimiðill. Eykur kælivatnsþörf eða kallar á sýrustigsstýringu.

Bein eimpétting (opinn):

Kostir

- Engar útfellingar á varmafleti.
- Betri nýtni.

Gallar

- Gas frá eimsvala mengast súrefni úr kælivatninu.
- Allt að 14% af jarðhitagasinu sleppur út um kæliturninn og því ekki hægt að hreinsa það.
- Brennisteinsútfellingar setjast til og þarf að hreinsa reglulega.
- Yfirfall inniheldur brennisteinsagnir sem gerir förgun í holur erfiða.

7 Tillögur

1. Lagt er til að óbein eimpétting verði viðhöfð í Bjarnarflagsvirkjun.
2. Til að byrja með verði þéttivatn frá eimsvala notað sem fæðivatn inn á kælivatnshringrás.
3. Ekki ætti að vera nauðsynlegt að afgasa þéttivatnið sérstaklega í þessum tilgangi.
4. Gera ætti ráð fyrir þeim möguleika að ferskvatn verði seinna, að hluta með þéttivatni eða eingöngu, notað sem fæðivatn.
5. Gera þarf ráð fyrir efnameðhöndlun kælivatnsins (pH- og örverustýring).
6. Kanna ætti hvort aflu megi betra ferskvatns á svæðinu fyrir virkjunina.
7. Skaðlaust er að losa yfirfall frá kæliturni á yfirborð.
8. Skiljuvatni frá virkjuninni ætti að farga heitu (180 °C) í borholur..
9. Lagt er til að gerðar verði útfellingarprófanir á skiljuvatninu, strax þegar virkjunin fer í gang, til þess að kanna mögulega útfellingu vegna frekari nýtingar þess til raforkuvinnslu eða annarra nota.
10. Prófa ætti jafnframt niðurdælingarhæfni skiljuvatns frá slíkri nýtingu blandað þéttivatni.
11. Lagt er til að hola BN-9 verði áfram notuð fyrir hitaveitu Reykjahlíðar.

8 Heimildir

Bjarnarflag, verkhönnun. Landsvirkjun. Drög að skýrslu (óútgefin).

Magnús Ólafsson 2008: *Hola BJ-14 í Bjarnarflagi Sýnataka 3. júlí 2008, niðurstöður efnagreininga og fyrsta túlkun þeirra*. Unnið fyrir Landsvirkjun. Greinargerð ÍSOR-08087. Verknr.: 520003. 15.09.2008, 7s.

Magnús Ólafsson 2009: *Hola BJ-15 í Bjarnarflagi Efnasamsetning vökva og gufu í blásturprófun 2008*. Unnið fyrir Landsvirkjun. Greinargerð ÍSOR-09072. Verknr.: 520003 07.09.2009, 9 s.

Trausti Hauksson 2002: *Bætt orkunýting í Bjarnarflagi. Athugun á útfellingahættu kísils*. Greinargerð unnin fyrir Landsvirkjun. 30. nóvember, 2002, 3 s.

Trausti Hauksson og Jón Benjamínsson 2010. *Krafla og Bjarnarflag. Afköst borhola og efnainnihald vatns og gufu í borholum og vinnslurás árið 2009*. Landsvirkjun, ágúst 2010, Skýrsla nr: LV-2010/117, 75 s.

Halldór Ármannsson, Magnús Ólafsson og Hörður Tryggvason 2011. *Eftirlit með áhrifum af losun affallsvatns frá Kröflustöð og Bjarnarflagsstöð. Vöktun og niðurstöður 2010*. Landsvirkjun, janúar 2011, Skýrsla nr: LV-2011/007, 15 s.

20
20110522



Landsvirkjun

Landsvirkjun • Háaleitisbraut 68 • 103 Reykjavík
Sími: 515 9000 • Bréfasími: 515 9007 • Netfang: landsvirkjun@lv.is
Heimasíða: www.lv.is

