

LV-2012-107



Landsvirkjun



Bjarnarflagsvirkjun

Prófun á nýtingu skiljuvatns

Lykilsíða



Skýrsla LV nr: LV-2012-107

Dags: 13.12.2012

Fjöldi síðna: 15

Upplag: 3

Dreifing:

- Birt á vef LV
 Opin
 Takmörkuð til

Titill: Bjarnarflagsvirkjun - Prófun á nýtingu skiljuvatns

Höfundar/fyrirtæki: Trausti Hauksson/Kemía

Verkefnisstjóri: Sigurður H. Markússon

Unnið fyrir: Landsvirkjun

Samvinnuaðilar: Kemía

Útdráttur: Skýrslan fjallar um tilraunir með skiljuvatn frá borholu B-13 í Bjarnarflagi og vinnslueiginleika þess fyrir fyrirhugaða virkjun í Bjarnarflagi

Skiljuvatn verður yfirmettað eftir kælingu og því gæti reynst erfitt að losa það frá virkjun í niðurrennslisveitu virkjunar. Þynning með þéttivatni getur bætt úr. Gerðar voru tilraunir þar sem fjölliðunarhraði kísils var mældur. Einnig var stöðugleiki kísils í mismunandi blöndum skiljuvatns og þéttivatns prófaður.

Með því að láta kísilinn í skiljuvatninu fjölliðast fyrir þynningu með þéttivatni má stöðva útfellinguna.

Lykilorð: Bjarnarflagsvirkjun, skiljuvatn, niðurdæling, B-13, kísilútfellingar

ISBN nr:

Samþykki verkefnisstjóra
Landsvirkjunar

Sigurður Markússon

LV-2012-107



Bjarnarflagsvirkjun

Prófun á nýtingu skiljuvatns

Desember 2012

EFNISYFIRLIT

1 Inngangur	3
2 Kísilútfellingar úr jarðhitavatni	4
3 Framkvæmd tilrauna.....	5
3.1 Tilraunabúnaður	5
3.1.1 Útfellingartilraun	5
3.1.2 Fjölliðunartilraun.....	6
4 Niðurstöður tilrauna	8
4.1 Varmaskiptartilraun	8
4.2 Fjölliðunartilraunir	10
5 Helstu niðurstöður	14
5.1 Varmaskiptartilraun	14
5.2 Fjölliðunartilraun	14
5.3 Áframhald tilrauna.....	14
6 Heimildir.....	15

Töflur

Tafla 1 Helstu efni í skiljuvatni.....	6
Tafla 2 Vigtun útfellingaplatna.....	10

Myndir

<i>Mynd 1 Tilraunavarmaskiptir.....</i>	<i>5</i>
<i>Mynd 2 Tilraunavarmaskiptir uppsettur</i>	<i>6</i>
<i>Mynd 3 Hitabað með 6 segulhrærum.</i>	<i>7</i>
<i>Mynd 4 Varmaskiptartilraun. Rennsli skiljuvatns á móti tíma.</i>	<i>8</i>
<i>Mynd 5 Varmaskiptartilraun. Hitastig á móti tíma.....</i>	<i>8</i>
<i>Mynd 6 Varmaskiptartilraun. Varmaflutningsstuðull á móti tíma.....</i>	<i>9</i>
<i>Mynd 7 Útfellingaplötur fyrir og eftir tilraun.</i>	<i>10</i>
<i>Mynd 8 Fjölliðun kísils í óþynntu skiljuvatni við 80 °C.</i>	<i>11</i>
<i>Mynd 9 Fjölliðun kísils í óþynntu skiljuvatni við 80 °C með kísil dufti.</i>	<i>11</i>
<i>Mynd 10 Fjölliðun kísils í þynntu skiljuvatni við 80 °C með kísil dufti.</i>	<i>12</i>
<i>Mynd 11 Fjölliðun kísils í skiljuvatni við 80 °C, þynnt og kísildufti bætt í eftir 1 klst.</i>	<i>12</i>
<i>Mynd 12 Fyrirkomulag fullnýtingar varmans í skiljuvatni.</i>	<i>13</i>

1 Inngangur

Í fyrirhugaðri Bjarnarflagsvirkjun verður gufan, sem streymir úr borholum og knýja mun aflvélnar, skilin frá jarðhitavatni við 184 °C hita. Áætlað er að vinnsluvermi jarðhitasvæðisins verði á bilinu 1400 til 2400 kJ/kg sem þýðir að rennsli skiljuvatnsins frá 90 MW virkjun verður á bilinu 200 til 40 kg/s. Skiljuvatn virkjunar mun því innihalda mikinn varma, sérstaklega ef vinnsluvermið verður lágt, sem álitlegt gæti orðið að nýta t.d. fyrir raforkuframleiðslu með tvívökvavél (ORC) eða til upphitunar í hitaveitu eða annarrar notkunar.

Samkvæmt efnagreiningu jarðhitavatns úr borholum á Bjarnarflagsvæðinu verður vatnið yfirmettað kísli þegar það er kælt niður fyrir 180 °C (Trausti Hauksson 2011). Þetta mun valda útfellingum í varmaskiptabúnaði og enn fremur verður mun torveldara að veita kældu skiljuvatni niður um borholur heldur en ókældu 184 °C heitu.

Útfellingar kísils í varmaskiptum og fjölliðun í jarðhitavatni hefur mikið verið rannsökuð á öðrum jarðhitasvæðum á Íslandi s.s. á Nesjavöllum (Trausti Hauksson 1996 og Ingvi Gunnarsson o.fl. 2002), Svartsengi (Trausti Hauksson og Sverrir Þórhallsson 1995) og Reykjanesi (Trausti Hauksson o.fl. 2006). Í Bjarnarflagi 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). Reksturinn hefur gengið vel í 8 ár, en kísilstyrkur í skiljuvatni úr holu BN-9 er verulega minni en áætlaður styrkur í skiljuvatni fyrir væntanlega Bjarnarflagsvirkjun og kísilyfirmettun lítil.

Reynsla er fyrir því að nýta með kælingu skiljuvatn sem inniheldur allt að 800 mg/kg til upphitunar á ferskvatni. Það hefur gengið án verulegra kísilútfellinga í Nesjavallavirkjun, en styrkur steinefna í jarðhitavatninu á Nesjavöllum er ekki mikið frábrugðinn styrknum í Bjarnarflagi. Því er vel mögulegt að slíkt verði einnig raunin í Bjarnarflagi. Þessi skýrsla greinir frá niðurstöðu tilraunar að til þess að sannreyna það í Bjarnarflagi. Í þeim tilgangi var smíðaður tilraunavarmaskiptir, sem settur var upp í skiljustöð I, þegar hún var eingöngu tengd borholu BJ-13. Efnasamsetning skiljuvatns frá holu BJ-13 er frábrugðin þeirri blöndu frá öllum vinnsluholum svæðisins sem lögð var til grundvallar í útreikningum á útfellingarhættu (Trausti Hauksson 2011). Áætlaður styrkur kísils í blöndunni var 789 mg/kg en mælist um 850 mg/kg í skiljuvatni úr holu BJ-13. Skiljuvatn úr holu BJ-13 ætti því að vera aðeins erfiðara hvað varðar kísilútfellingar en blandan.

Skiljuvatn verður yfirmettað eftir kælingu og því gæti reynst erfitt að losa það frá virkjun í niðurrennslisveitu virkjunar. Þynning með þéttivatni getur bætt úr. Gerðar voru tilraunir þar sem fjölliðunarhraði kísils var mældur. Einnig var stöðugleiki kísils í mismunandi blöndum skiljuvatns og þéttivatns prófaður.

Yfirumsjón þessarar tilrauna var í höndum Árna Gunnarssonar og Sigurðar H. Markússonar hjá LV. Hönnun og umsjón með smíði tilraunabúnaðar var í höndum Trausta Haukssonar hjá Kemíu. Trausti Hauksson sá um framkvæmd tilrauna og Ásgerður K. Sigurðardóttir og Svanfríður H. Magnúsdóttir, starfsmenn LV, aðstoðuðu og efnagreindu sýnin. Eftirlit með rekstri búnaðar var í höndum Karls E. Sveinssonar og Kristjáns Stefánssonar, starfsmanna Kröflustöðvar.

2 Kísilútfellingar úr jarðhitavatni

Í jarðhitavatni í háhitakerfum ræðst styrkur kísils í vatninu af leysni kvars sem vex með hækkandi hita. Við snögga kælingu háhitavatsins eins og verður við suðu á leið vatnsins upp borholur verður vatnið yfirmettað af kvasi en útfelling þess er svo treg að hún er hverfandi vandamál. Meiri suða og kæling vatnsins í varmaskiptum getur gert það yfirmettað af ókristölluðum kísli en sú steind fellur tiltölulega auðveldlega út.

Ef háhitavatn er kælt nægilega til að gera það yfirmettað af ókristölluðum kísli fara tvö ferli í gang. Annars vegar bein útfelling kísilsameinda (einliða kísill) á fast yfirborð (“molecular deposition”) og hins vegar sameining sameindinna í fjölliður (“polymerization”) sem haldast í lausninni vegna fráhrindandi rafhleðslu fjölliðanna en einnig vegna smæðar og áhrifa Brownian-hreyfingar.

Útfelling einliða kísils felur í sér að sameindir rekast á fast yfirborð sem vatnið er í snertingu við og loða við þetta yfirborð og mynda kísilskel (“molecular deposition”). Slík útfelling er jafnan hæg og er oftast viðráðanlegt vandamál.

Fjölliður haldast betur í lausn ef yfirmettun er lítil eða ef styrkur steinefna í vatninu er lítill. Við mikla yfirmettun verður einsleit kyrning (“homogeneous nucleation”) og kísilfjölliður mynda fastar kísilagnir í vatninu. Við þessar aðstæður verður kísilútfellingin hraðari og getur verið til vandræða t.d. í varmaskiptum og í niðurdælingarholum.

Í söltu vatni eins og t.d. á Reykjanesi bindast fjölliðurnar hvorri annarri vegna þess að katjónir í vatninu upphefja fráhrindandi krafta á milli þeirra. Í því tilfelli fellur ókristallaður kísill hratt úr lausn og myndar fasta útfellingu en ekki fjölliður. Kísilútfellingar eru þar verulegt vandamál og útilokað að dæla slíkum vökva yfirmettuðum í borholur.

Tilraunir og athuganir hafa sýnt að fjölliðaður kísill í ósöltu vatni loðir mun verr við yfirborð heldur en einliðaður. Þetta er ástæða þess að draga má úr útfellingum kísils úr jarðhitavatni yfirmettuðu af ókristölluðum kísli með því að láta þann kísil sem er umfram mettunarmörk fjölliðast og þynna síðan vatnið niður fyrir mettunarmök kísils með þéttivatni.

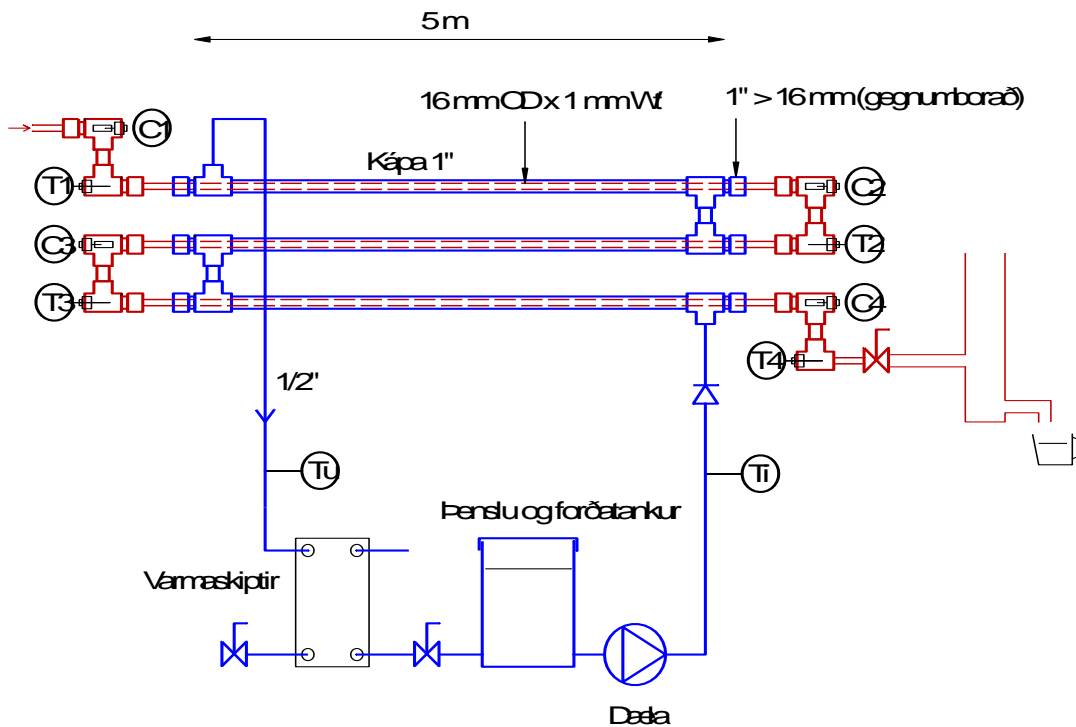
Jarðhitavatn í Bjarnarflagi er steinefnasnautt og því líklegt að kísilútfellingar verði viðráðanlegar og mögulegt ætti að vera að losa kísilyfirmettað affallsvatn í niðurrennslisveitu með því að láta kísilinn fjölliðast og þynna síðan með þéttivatni. Fjölliðunartímann sem og hæfilgt þéttivatnshlutfall er þó ekki hægt að ákvarða nema með tilraunum.

3 Framkvæmd tilrauna

3.1 Tilraunabúnaður

3.1.1 Útfellingartilraun

Eftirfarandi mynd sýnir teikningu af tilraunavarmaskipti sem notaður var til þess að prófa skiljuvatnið.



Mynd 1 Tilraunavarmaskiptir

Tilraunavarmaskiptirinn var smíðaður hjá Íslenskri jarðhitatækni ehf í Mosfellsbæ. Hann var gerður úr ryðfríu stáli, sjá mynd 2. Þrjú 5 metra löng ryðfrítt rör, 16 mm að utanmáli og 14 mm að innanmáli voru innan í kápu úr 25 mm ryðfríu röri. Kælivatni var hringdælt í gegnum kápuna og það kælt með fersku vatni í plötuvarmaskipti.

Tilraunavarmaskiptirinn var settur upp í skiljustöð I í Bjarnarflagi þar sem skiljuvatn úr holu BJ-13 var skilið frá gufunni við um 187 °C. Efnasamsetning skiljuvatnsins úr BJ-13 er sýnd í töflu 1 og til samanburðar efnasamsetning blöndu frá öllum vinnsluholum svæðisins sem lögð var til grundvallar í útreikningum á útfellingarhættu í Bjarnarflagsvirkjun (Trausti Hauksson 2011). Blandan er lítilsháttar frábrugðin. Kísilstyrkur í blöndunni er minni og þar með útfellingarhætta en styrkur annarra uppleystra efna er lítilsháttar meiri í blöndunni sem getur haft hvetjandi áhrif á útfellinguna. Munurinn er þó það lítill að tilraun með vatn úr BJ-13 ætti að gefa góða vísbendingu um kísilútfellingar í væntanlegri skiljuvatnsveitu.

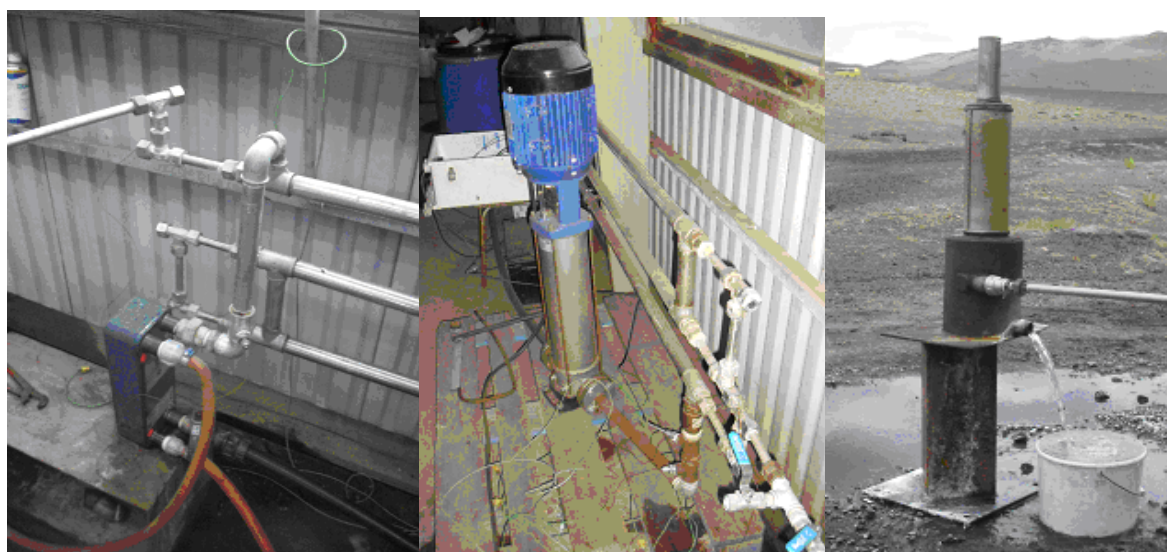
Tafla 1 Helstu efni í skiljuvatni.

		BJ-13	Blanda
pH		9,15	9,10
CO ₂	mg/kg	8,5	19,2
H ₂ S	mg/kg	55,1	69,3
SiO ₂	mg/kg	857	789
Na	mg/kg	102	166
Ca	mg/kg	0,29	1,00

Útfellingaplötur (C1, C2, C3 og C4 á mynd 1) voru hafðar í rennslinu til þess að mæla útfellingarhraðann. Vatnshiti var símældur og rennsli mælt handvirkt einu sinni á dag.

Skiljuvatn úr holu BJ-13 var látið streyma í gegnum tilraunavarmaskiptinn þar sem það var kælt úr 187 °C í um 70 °C. Vegna óhreininda í safntanki skiljustöðvarinnar reyndist í fyrstu mjög torvelt að halda rennslinu stöðugu. Steinvölur, sem bárust úr safntankinum, settust í inntak varmaskiptisins og einnig í útstreymislokann. Reynt var að keyra tilraunina í 20 daga með ítrekuðum hreinsunum á lokanum en rennslið og þar með hitastig var mjög óstöðugt og því engin leið að átta sig á breytingum í varmaflutningsstuðli.

Tenging inn á safntankinn var færð og tilraunin endurtekin. Eftir það tókst að framkvæma tilraunina við mjög stöðugt rennsli utan stutta stund þegar rafstöðin í Bjarnarflagi leysti út.



Mynd 2 Tilraunavarmaskiptir uppsettur

3.1.2 Fjölliðunartilraun

Sýni til fjölliðunartilrauna voru tekin af útstreyminu úr varmaskiptinum. Fjölliðun kísils var mæld í 100% skiljuvatni og í skiljuvatni þynntu 33 % með afjónuðu vatni. Blöndurnar voru settar í hitabað við 80 °C og hrært í þeim með segulhræru (sjá mynd 5) .

Prófað var að þynna strax og einnig eftir að sýnið hafði staðið vatnsbaðinu í 1 klst. Stöðugleiki kísilsins var prófaður með því að bæta 1000 mg/kg kísildufti í vatnið. Fylgst var með styrkbreytingum kísils í blöndunum bæði kísileinliðum og heildarkísli í lausn. Sýnishorn var tekið

úr sýnaflöskunum með reglulegu millibili. Sýnið var síað með 0,45 μm síu og þynnt 1:9 til þess að stöðva útfellinguna. Sett var upp rannsóknaraðstaða til þess að efnagreina kísileinliður strax á staðnum en heildarkísill var efnagreindur á rannsóknastofu Kröflustöðvar að tilraun lokinni.

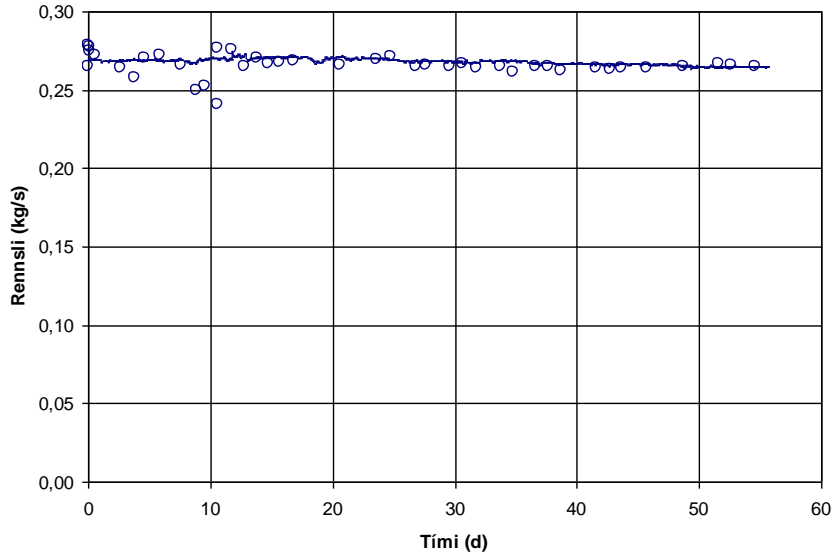


Mynd 3 Hitabað með 6 segulhrærum.

4 Niðurstöður tilrauna

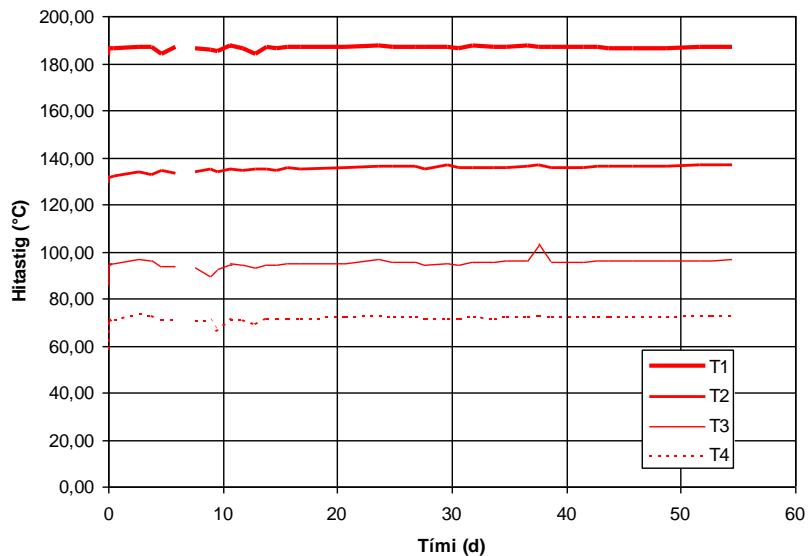
4.1 Varmaskiptatilraun

Fyrsta tilraun mistókst vegna þess að óhreinindi stífluðu inntak varmaskiptisins. Þegar það hafði verið lagað var gerð tilraun sem stóð í 54 daga. Rennslið var stöðugt um 0,27 kg/s, sjá mynd 3. Hringirnir sýna mælt rennsli en punktalínan sýnir reiknað skiljuvatnsrennsli miðað við stöðugt kælivatnsrennsli.



Mynd 4 Varmaskiptatilraun. Rennsli skiljuvatns á móti tíma.

Varmaskiptirinn var þrískiptur og hitastig var mælt á klukkustundar fresti fyrir og eftir hvert rör. Eftirfandi mynd sýnir mælt hitastig á tilraunatímanum. T1 er inntakshiti og T4 úttakshiti.



Mynd 5 Varmaskiptatilraun. Hitastig á móti tíma.

Ef kísill sest á varmaflöt þá lækkar varmaflutningsstuðullinn og varminn sem flyst milli skiljuvatnsins og kælivatnsins minnkar.

$$Q = U * A * \Theta$$

Q: Varmaafli (kW)

U: Varmaflutningsstuðull (kW/m²/K)

A: Varmaflötur (m²) (A = 0,75 m² fyrir 3 rör)

Θ : Meðalhitamunur

Meðalhitamunur á skiljuvatni og sjóðandi vatni utan við rörið:

$$\Theta = (T_1 - T_2) / \ln((T_1 - T_{k2}) / (T_2 - T_{k1}))$$

T_{k1}: Hitastig kælivatns inn (°C)

T_{k2}: Hitastig kælivatns út (°C)

ln: náttúrulegur lógaritmi

Varmaaflið reiknast út frá rennsli og hitamun inn og út úr rörinu:

$$Q = m * C_p (T_2 - T_1)$$

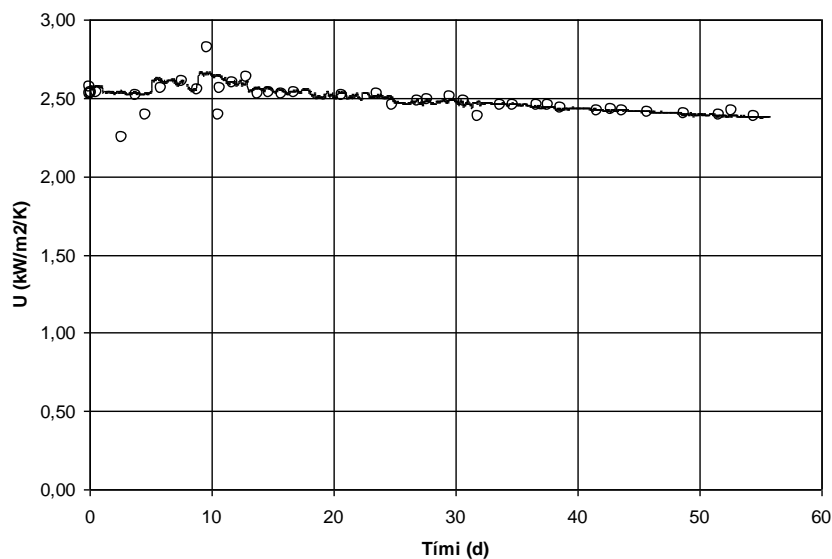
m: Rennsli (kg/s)

C_p: Varmarýmd (4,19 kJ/kg/K)

T₁: Hitastig inn (°C)

T₂: Hitastig út (°C)

Varmaflutningsstuðullinn reiknaður fyrir varmaskiptatilraunina er sýndur á mynd 6.



Mynd 6 Varmaskiptatilraun. Varmaflutningsstuðull á móti tíma.

Varmaflutningsstuðullinn lækkaði í tilrauninni úr um 2,57 kW/m²/K í 2,38 kW/m²/K á 54 dögum

eða um 0,14 % á dag. Það þýðir að ef varmaskiptirinn er hreinsaður árlega þarf hann að vera í 50% yfirstærð til þess að halda fullu afli.

Settar voru ryðfríar stálplötur inn í varmaskiptarörin til þess að safna sýnum af útfellingum sem kynnu að falla út. Plöturnar voru vigtaðir á undan og eftir og myndaðar. Ljósmyndir af plötunum áður en þær voru settar inn og eftir tilraun eru sýndar á mynd 7. Plöturnar eru sýndar hlið við hlið fyrir og eftir tilraun, plata 5 var í inntaki (C1), plata 6 eftir fyrsta rör (C2), plata 7 eftir annað rör (C3) og plata 8 í úttaki (C4). Vigtun og reiknaður útfellingarhraði er sýndur í töflu 2.



Mynd 7 Útfellingaplötur fyrir og eftir tilraun.

Tafla 2 Vigtun útfellingaplatna

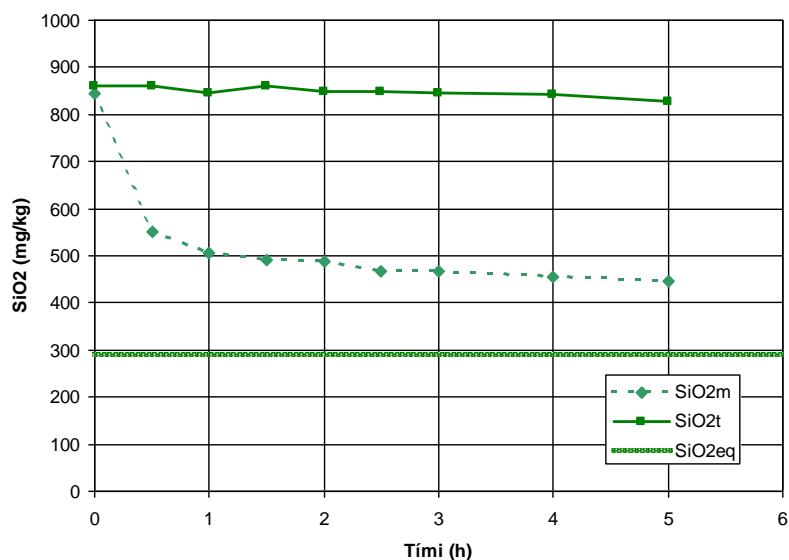
Nr	C	m1	m2	dm	A	Tímabil	Hiti	Skeljun	Skeljun
	nr	g	g	g	cm ²	d	°C	kg/m ² /y	mm/y
C1	5	3,0866	3,0954	0,0088	10	54,51	187	0,06	0,0
C2	6	3,0263	3,0620	0,0357	10	54,51	135	0,24	0,1
C3	7	3,1139	3,1386	0,0247	10	54,51	95	0,17	0,1
C4	8	3,2119	3,2637	0,0518	10	54,51	70	0,35	0,2

Útfellingaplata C1 var í inntakinu við 187 °C hita þar sem yfirmettun er hverfandi og á hana safnaðist nánast engin útfelling. Útfelling mældist 0,1 mm á ári á plötu C2 sem var í 135 °C hita. Sami hraði mældist á plötu sem var í 95 °C hita en 0,2 mm á ári á plötu 4 sem var í úttaki við um 70 °C hita.

Þessi tilraun sýnir að það er mögulegt að nýta varman úr skiljuvatninu frá BJ-13 með kælingu niður í 70 °C í varmaskipti án efnameðhöndlunar. Útfellingarhraðinn er það lítill að árleg hreinsun kísilútfellinga af varmafleti með háþrýstipvotti ætti að vera nægileg.

4.2 Fjölliðunartilraunir

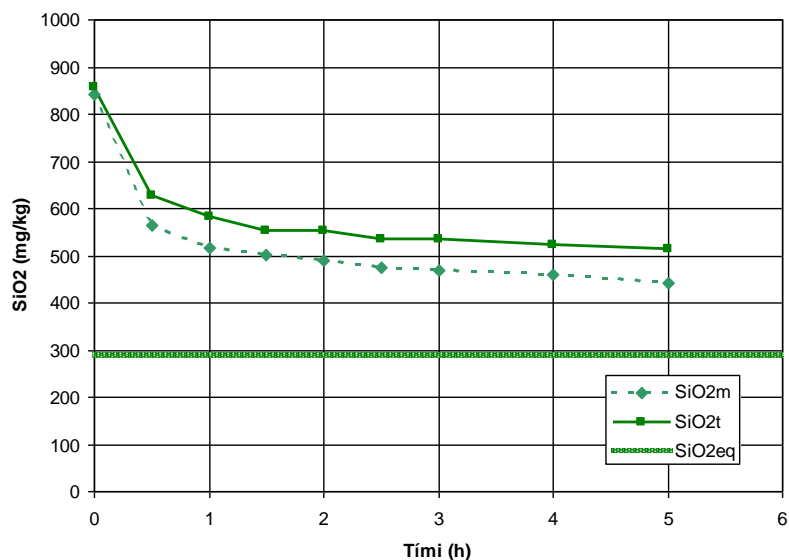
Skiljuvatn óþynnt var látið vera í flösku með hægri hræringu í vatnsbaði við 80 °C. Mælingar á einliðuðum (SiO₂m) og heildarkísli (SiO₂t) eru sýndar á mynd 8.



Mynd 8 Fjölliðun kísils í óþynntu skiljuvatni við 80 °C.

Heildarstyrkur kísils breytist lítið með tíma en styrkur einliða kísils minnkaði hratt vegna myndunar fjölliða og var kominn niður í um 500 mg/kg eftir eina klukkustund.

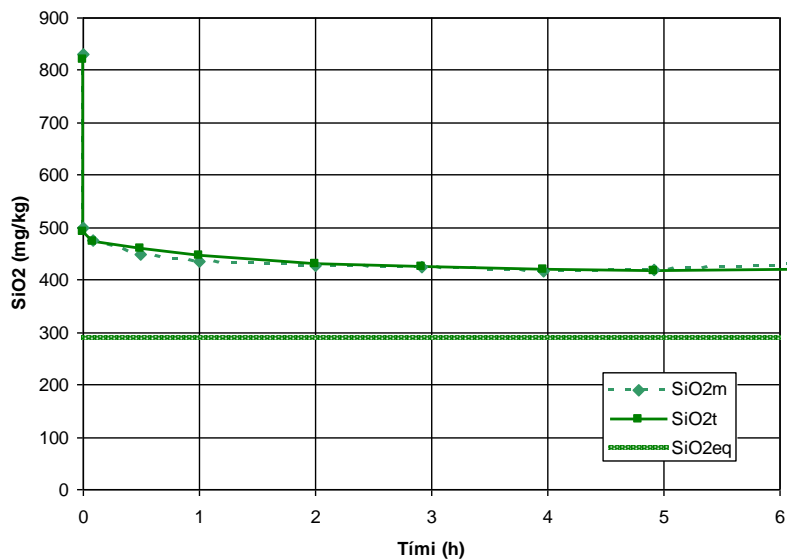
Samliða var keyrð tilraun þar sem kísildufti hafði verið bætt strax í flösku með skiljuvatni og hún látin standa í vatnsbaðinu, sjá mynd 9.



Mynd 9 Fjölliðun kísils í óþynntu skiljuvatni við 80 °C með kísil dufti.

Í flösku með kísildufti minnkaði styrkur heildarkísils hratt því kísillinn féll út á yfirborð kísilduftsins. Kísilduftið hefur mikið yfirborð og líkir eftir aðstæðum í bergi þegar yfirmettuðu skiljuvatni verður dælt niður. Þessi tilraun sýnir að kísilútfellingar munu geta stíflað niðurdælingarholur ef skiljuvatni er dælt óþynntu niður.

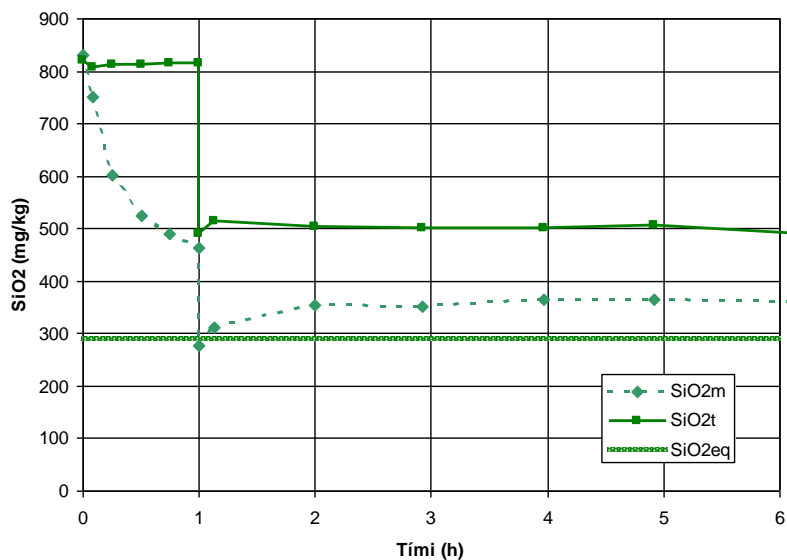
Gerð var tilraun þar sem skiljuvatnið var þynnt 33% með afjónuðu vatni og kísildufti (1000 mg/kg SiO₂) bætt í flöskuna. Þetta er sýnt á mynd 10.



Mynd 10 Fjölliðun kísils í þynntu skiljuvatni við 80 °C með kísil dufti.

Styrkur heildarkísils og einliðaðs kísils minnkar samt sem áður þó að minnkunin sé hægari en í óþynntu skiljuvatni. Þetta bendir til þess að kísilútfelling gæti orðið í berginu þrátt fyrir að skiljuvatnið hafi verið þynnt og yfirmettunin minnkuð verulega.

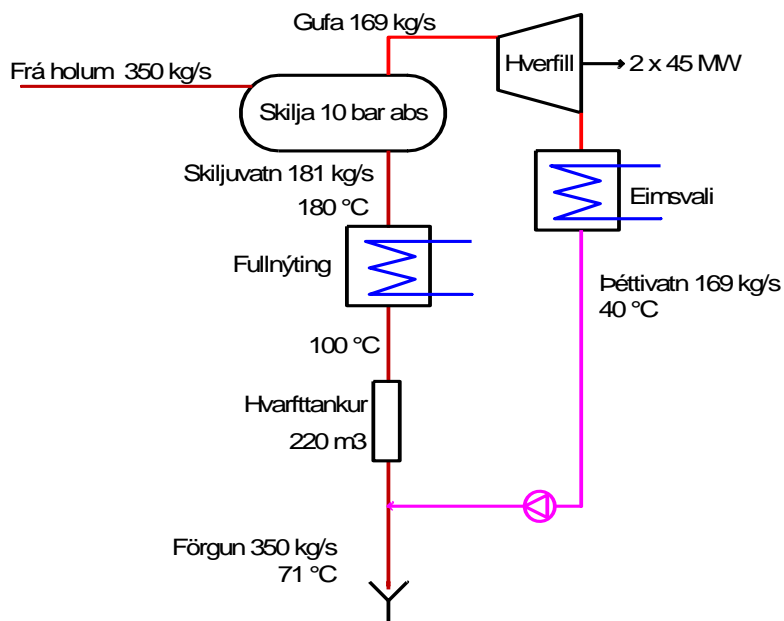
Gerð var tilraun þar sem skiljuvatnið var óþynnt í vatnsbaði í 1 klukkustund. Á þeim tíma fjölliðaðist kísillinn og styrkur einliða kísils var kominn niður fyrir 500 mg/kg. Þá var lausnin þynnt með 1 af þéttivatni á móti 2 af skiljuvatni og kísildufti (1000 mg/kg) bætt í flöskuna. Mælingarnar eru sýndar á mynd 11.



Mynd 11 Fjölliðun kísils í skiljuvatni við 80 °C, þynnt og kísildufti bætt í eftir 1 klst.

Eftir þynninguna byrjar styrkur einliða kísils að aukast en heidarstyrkur kísils helst óbreyttur. Þetta sýnir að kísilfjölliður eru að leysast upp en falla ekki út á fast yfirborð. Samkvæmt þessu ætti að vera hægt að útfæra niðurdælingarkerfi fyrir Bjarnarflagsvirkjun þar sem yfirmettuðu vatni frá varmaskiptum er dælt í borholur án kísilútfellinga. Á mynd 12 er sýnd flæðirás slíks kerfis fyrir Bjarnarflagsvirkjun. Skiljuvatn frá varmaskipti er látið hvarfast í tanki þar til styrkur einliðaðs kísils hefur minnkað það mikið að tiltækt þéttivatn nægir til þess að minnka styrkinn með [Trausti Hauksson 2012, Bjarnarflagsvirkjun, Prófun skiljuvatns.](#)

þynningu niður í 300 mg/kg. Miðað við áætlað magn þettivatns frá Bjarnarflagvirkjun þá þarf fjölliðunin að minnka styrk einliðaðs kísils í 600 mg/kg. Til þess þarf hvarftíminn að vera 20 mínútur og hvarftankurinn um 220 m³ fyrir 181 kg/s af skiljuvatni.



Mynd 12 Fyrirkomulag fullnýtingar varmans í skiljuvatni.

5 Helstu niðurstöður

Tilraun var gerð með skiljuvatn úr holu BJ-13 sem ekki er verulega frábrugðið að samsetningu og blanda frá öllum vinnsluholum svæðisins sem lögð var til grundvallar í útreikningum á útfellingarhættu (Trausti Hauksson 2011). Munurinn er það lítil að tilraun með vatn úr BJ-13 ætti að gefa góða vísbendingu um kísilútfellingar í væntanlegri skiljuvatnsveitu.

5.1 Varmaskiptatilraun

Í inntaki varmaskiptis þar sem skiljuvatn streymdivið 187 °C er nánast engin útfelling. Útfelling mældist 0,1 mm til 0,2 mm á ári eftir kælingu skiljuvatns frá BJ-13 í 70 °C. Það er því mögulegt að nýta varman úr skiljuvatninu í varmaskipti án efnameðhöndlunar. Útfellingarhraðinn er það lítil að árleg hreinsun kísilútfellinga af varmafli með háþrýstipvotti ætti að vera nægileg.

Varmaflutningsstuðullinn lækkar 0,14 % á dag. Ef varmaskiptirinn er hreinsaður árlega þarf hann að vera í 50% yfirstærð til þess að halda fullu afli.

5.2 Fjölliðunartilraun

Ekki er ráðlegt að dæla óþynntu yfirmettuðu skiljuvatni í borholur. Ef það er þynnt strax eftir að það kemur úr varmaskipti þá minnkar yfirmettunin og við það hægist á kísilútfellingum en þær stöðvast ekki.

Með því að láta kísilinn í skiljuvatninu fjölliðast fyrir þynningu með þéttivatni má stöðva útfellinguna. Það er því mögulegt að útfæra niðurrennsisveitu Bjarnarflagsvirkjunar, þar sem yfirmettuðu affallsvatni frá varmaskiptum er veitt í borholur, án kísilútfellinga.

5.3 Áframhald tilrauna

Sannreyna ætti hvort fjölliðun og þynning sé trygg aðferð til þess að koma í veg fyrir kísilútfellingar í niðurrennsisveitu. Það er hægt að gera með tilraun, þar sem skiljuvatn frá tilraunavarmaskiptinum verður látið fjölliðast í tanki í 20 til 30 mínútur, áður en það verður þynnt með þéttivatni og útfellingarhraðinn síðan mældur í blöndunni.

6 Heimildir

Trausti Hauksson 2011. Bjarnarflagsvirkjun. Vinnslueiginleikar gufu og vatns úr borholum. Skýrsla nr. LV-2011/063. April 2011, 27 s.

Trausti Hauksson, Anette Kærsgaard Mortensen and Sverrir Þórhallsson 2006. *REYKJANES HOLA RN-12. Varmaskiptatilraun. Sýruíblöndun og þynning með þéttivatni.* Íslenskar Orkurannsóknir. Reykjavík April 2006. 56 s.

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

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

Trausti Hauksson (1996). NESJAVELLIR. *Kísilútfellingar úr háhitavatni. Rannsóknir á hraða kísilútfellinga í iðustreymi.* Hitaveita Reykjavíkur, Reykjavík 1996, 47 bls.

Trausti Hauksson og Sverrir Þórhallsson 1995. SVARTSENGI. *Kísilútfellingar úr jarðsjó. Áhrif þéttivatnsíblöndunar á magn og hraða kísilútfellinga í iðustreymi.* Orkustofnun, Jarðhitadeild. OS-95011/JHD-01. Reykjavík febrúar 1995. 44 bls.



Landsvirkjun

Háaleitisbraut 68
103 Reykjavík
landsvirkjun.is

landsvirkjun@lv.is
Sími: 515 90 00

