

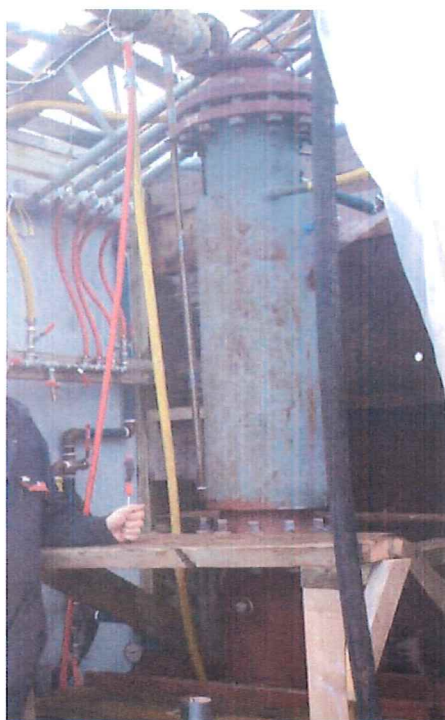


HITAVEITA SUÐURNESJA

REYKJANES

Varmskiptatilraunir

**Áhrif meðhöndlunar með SR-tæki Agna ehf á
útfellingu kísils úr jarðsjó.
(Tilraun REY-VS-06 við pH 4,8)**



Trausti Hauksson

Reykjavík

September 2008

Efnisyfirlit

1	Inngangur	3
2	Tilraunabúnaður.....	4
3	Framvinda tilraunar.....	6
4	Niðurstöður mælinga.....	11
4.1	Útfellingasýni.....	11
4.2	Varmaflutningsstuðull.....	13
5	Niðurstöður.....	14
5.1	Niðurstöður tilrauna.....	14
6	Heimildir.....	16

Töfluskrá

Tafla 1	Framvinda varmaskiptatilraunar REY-VS-06.....	7
Tafla 2	Tilraunaaðstæður í tilraun REY-VS-06 að jafnaði.	10
Tafla 3	Þyngdaraukning útfellingaplatna REY-VS-06.	12
Tafla 4	Samanburður á útfellingarhraða í tilraunum 1 til 6	14

Myndaskrá

Mynd 1	Tengimynd af tilraunasjóðara (Tilraun REY-VS-06).....	5
Mynd 2	Hitastig í sjóðara. Tilraun REY-VS-06.....	8
Mynd 3	Rennsli jarðsjávar. Tilraun REY-VS-06.	8
Mynd 4	Sýrustig jarðsjávar. Tilraun REY-VS-06.....	9
Mynd 5	Varmaafl tilraunasjóðara. Tilraun REY-VS-06.	9
Mynd 6	Spenna og straumnotkun Agnatækis. Tilraun REY-VS-06.....	10
Mynd 7	Útfellingaplötur eftir 10 daga keyrslu (REY-VS-06).....	12
Mynd 8	Varmaflutningsstuðull í varmaskiptarörum, REY-VS-06.....	13
Mynd 9	Varmaflutningsstuðull í tilraunum 1, 2, 5 og 6.	15

1 Inngangur

Í orkuveri Hitaveitu Suðurnesja á Reykjanesi er jarðsjórinn skilinn frá gufunni við 210 °C skiljuhita. Áformað er að nýta varmann úr jarðsjónum Vegna kísilútfellinga er það útilokað, nema að til komi sérstök meðhöndlun.

Tilraunir hafa verið gerðar með nokkrar aðferðir til þess að hemja þessar útfellingar bæði í háþrýstihylki (Trausti Hauksson og Sverrir Þórhallsson 2003 a og b) og tilrauna-varmaskipti.

Áhrif sýruþblöndunar og þéttivatnspynningar á skeljunarhraðann voru prófuð með jarðsjó úr holu RN-12 á Reykjanesi og að auki var gerð prófun með CO₂ sýringu við skiljustöð virkjunarinnar og á meðhöndlun jarðsjávarins með rafsegultækni. Niðurstöður voru birtar í eftirfarandi skýrslum:

Trausti Hauksson, Anette Kærgaard Mortensen and Sverrir Þórhallsson 2006. *REYKJANES HOLA RN-12. Varmaskiptatilraun. Sýruþblöndun og þynning með þéttivatni..* Íslenskar Orkurannsóknir. Reykjavík April 2006. 56 s. (tilraunir 1, 2 og 3)

Trausti Hauksson. *Varmskiptatilraunir. Áhrif þéttivatnspynningar og CO₂ íblöndunar á útfellingu kísils úr jarðsjó. (Tilraun REY-VS-04).* Hitaveita Suðurnesja. Reykjavík Maí 2008. 18 s.

Trausti Hauksson. *Varmskiptatilraunir. Áhrif meðhöndlunar með SR-tæki Agna ehf á útfellingu kísils úr jarðsjó. (Tilraun REY-VS-06 pH 5)* Hitaveita Suðurnesja. Reykjavík Maí 2008. 18 s.

Í þessari skýrslu er fjallað um seinni prófun á tæki því sem Agnir hf hafa smíðað til þess að stöðva kísilútfellingar úr jarðsjó. Tækið var nú prófað við hærra sýrustig en í fyrri tilraun, þ.e. minna afl á tæki.

Yfirumsjón með tilraununum var í höndum Alberts Albertssonar hjá Hitaveitu Suðurnesja.

Trausti Hauksson, Kemíu, sá um framkvæmd tilrauna og úrvinnslu mælinga en Egill Einarsson, Björn Eiríksson og Hannes L. Jóhannsson hjá Ögnum ehf sáu um rekstur tækisins.

2 Tilraunabúnaður

Búnaðinum er lýst ítarlega í fyrri skýrslu (Trausti Hauksson o.fl. 2006).

Búnaðnum var komið fyrir við hlið skiljustöðvar Reykjanesvirkjunar.

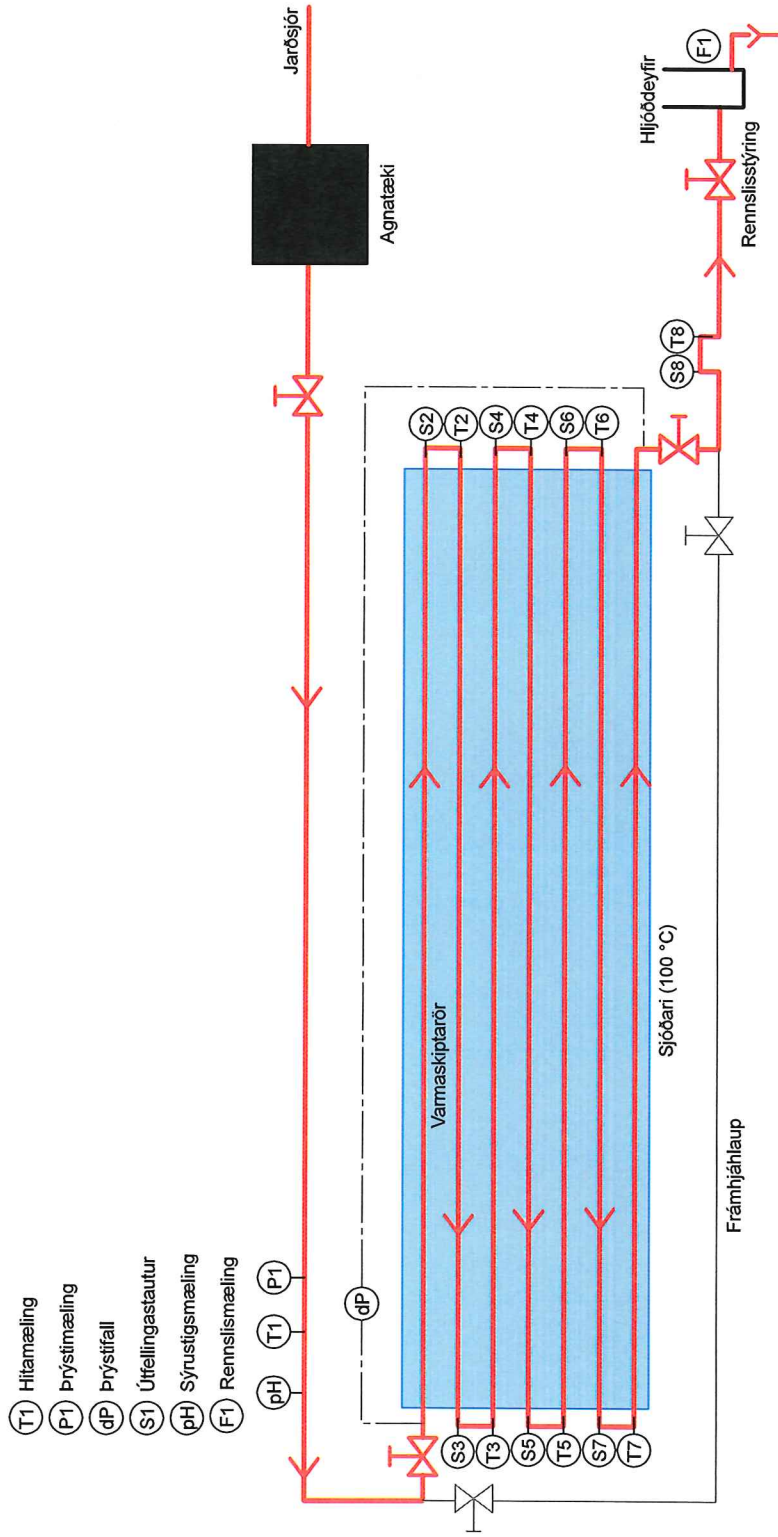
Í þessari tilraun var jarðsjór frá skiljustöðinni meðhöndlaður með SR-tæki Agna ehf.

Fyrirkomulagið er sýnt á mynd 1.

Mælingar á hitastigi, þrýstingi, sýrustigi og rennsli voru skráðar í tölvu á mínútufresti.

Hitastig jarðsjávarins inn á sjóðarann var um 210 °C og eftir meðhöndlun var jarðsjórinn um 205 °C. Jarðsjórinn kólnaði í varmaskiptinum niður í 110 til 120 °C. Hitastig var mælt í hverri slaufu. Með því móti var hægt að fylgjast með varmanýtninni í hverju röri og skoða breytingu á varmaflutningsstuðli við mismikla yfirmettun kísils.

Eftir hvert varmaskiptarör voru settar ryðfríar útfellingaplötur til þess að mæla magn útfellinga sem kynnu að falla út og ná sýnishornum af þeim til greiningar.



Mynd 1 Tengimynd af tilraunasjóðara (Tilraun REY-VS-06).

3 Framvinda tilraunar

Tilraunin var þrískipt. Fyrsta tilraun stóð í 2 daga. Þá var skipt um útfellingaplötur í varmaskiptinum og sett í gang aftur. Plöturnar voru teknar út og hreinsaðar eftir 3 daga og sett í gang á ný. Lokatilraun stóð í 10 daga og byggja niðurstöðurnar hér á eftir á þeirri tilraun.

Framvindu tilraunanna er lýst í töflu 1.

Mynd 2 sýnir hitastig í sjóðara. Línur T1 til T8 sýna mældan hita í varmaskiptarörunum. Hitastig í sjóðaranum utan við rörin var reiknað út frá loftþrýstingi og var að meðaltali 100,0 °C.

Mynd 3 sýnir mælt rennsli, mynd 4 mælt sýrustig (pH) og mynd 5 varmaafli sjóðarans í tilrauninni.

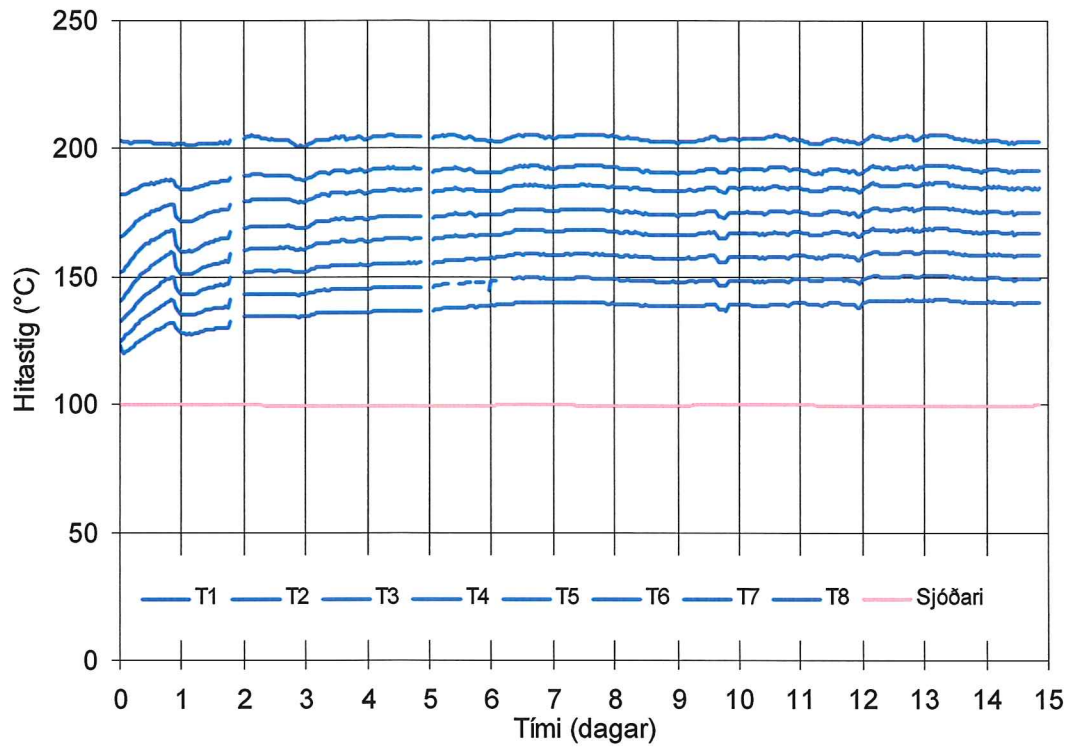
Mynd 6 sýnir rafmagnsnotkun Agnatækisins.

Straumnotkun Agnatækisins var að jafnaði 15,4 A og spennan 7,4 V.

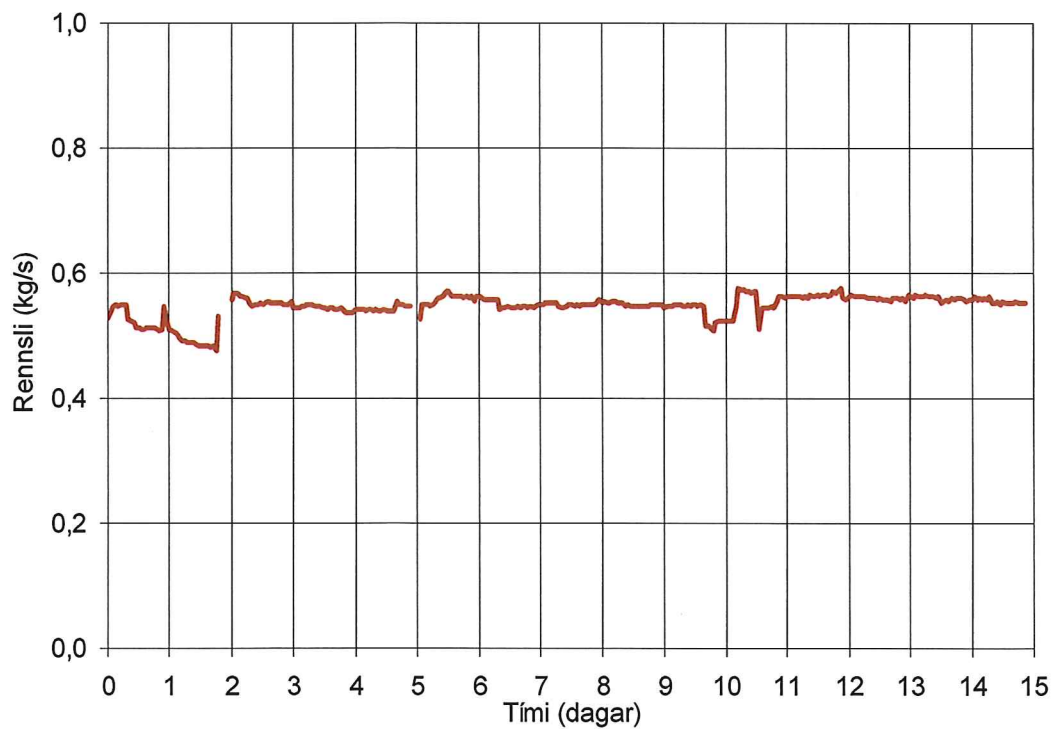
Sýrustig í sýnum sem tekin voru við Agnatækið mældist alltaf 0,2 pH stigum lægra en sýrustigið í sýnum sem tekin vorur við sjóðarann.

Tafla 1 Framvinda varmaskiptatilraunar REY-VS-06

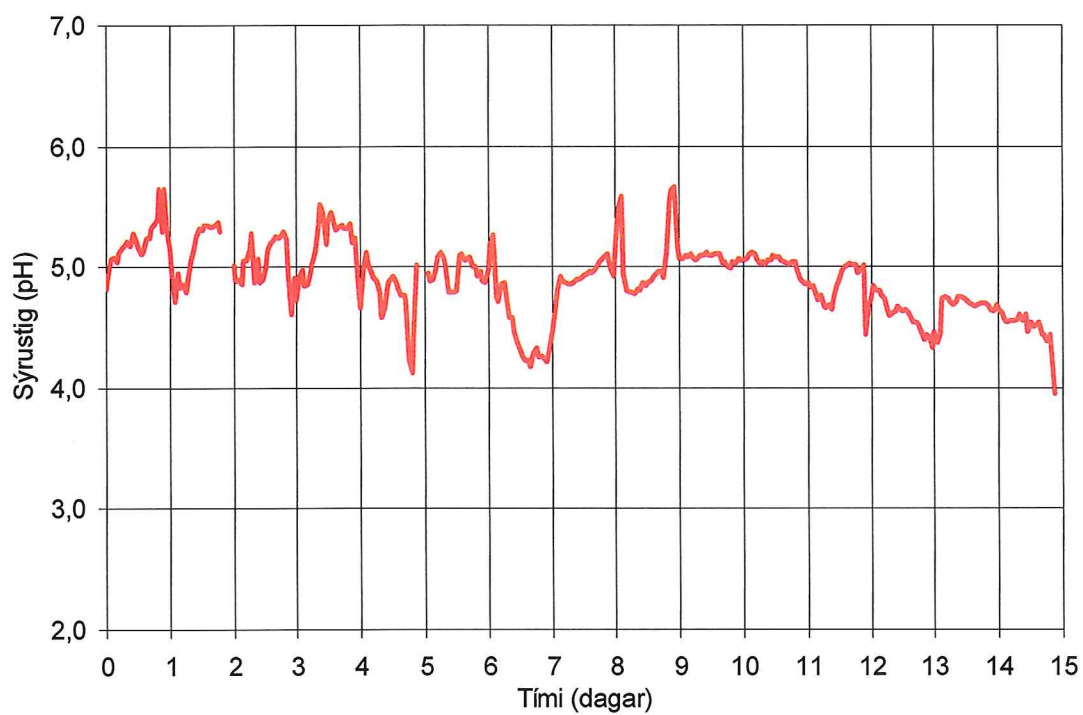
8.7.2008		Útfellingaplötur vigtaðar og settar í.
9.7.2008	14:50	Jarðsjó frá Agnatæki hleypt á sjóðara. pH 5,0 Rennsli 0,54 l/s
9.7.2008	15:30	pH 4,8 Rennsli 0,51 l/s
9.7.2008	16:00	pH 4,9 Rennsli 0,52 l/s
9.7.2008	22:48	pH 5,3 Rennsli 0,48 l/s
10.7.2008	10:48	pH 5,5 Rennsli 0,48 l/s
10.7.2008	11:04	pH 5,5 Rennsli 0,48 l/s
10.7.2008	13:02	pH 5,3 Rennsli 0,52 l/s
10.7.2008	17:38	pH 4,7 Rennsli 0,48 l/s
11.7.2008	09:30	pH 5,4 Rennsli 0,45 l/s. Plötur teknar úr.
11.7.2008	14:45	Nýjar plötur settar í. pH 5,2 Rennsli 0,53 l/s
11.7.2008	15:05	pH 4,9 Rennsli 0,52 l/s
12.7.2008	01:37	pH 5,0 Rennsli 0,52 l/s
12.7.2008	14:05	pH 4,9 Rennsli 0,52 l/s
12.7.2008	17:50	pH 4,7 Rennsli 0,51 l/s
13.7.2008	17:50	pH 5,0 Rennsli 0,50 l/s
14.7.2008	11:07	pH 4,4 Rennsli 0,51 l/s Plötur teknar úr og hreinsaðar
14.7.2008	15:23	Plöturnar setta aftur í. pH 5,0 Rennsli 0,49 l/s
14.7.2008	15:50	pH 5,0 Rennsli 0,51 l/s
14.7.2008	23:34	pH 4,8 Rennsli 0,52 l/s
15.7.2008	07:05	pH 5,2 Rennsli 0,52 l/s
15.7.2008	17:28	pH 4,9 Rennsli 0,52 l/s
16.7.2008	08:00	pH 4,2 Rennsli 0,51 l/s
16.7.2008	18:50	pH 4,9 Rennsli 0,51 l/s
16.7.2008	23:04	pH 4,9 Rennsli 0,51 l/s
17.7.2008	07:50	pH 5,0 Rennsli 0,51 l/s
17.7.2008	17:17	pH 5,6 Rennsli 0,51 l/s
17.7.2008	22:43	pH 4,8 Rennsli 0,51 l/s
18.7.2008	07:44	pH 5,0 Rennsli 0,51 l/s
18.7.2008	20:16	pH 5,1 Rennsli 0,51 l/s
19.7.2008	10:18	pH 5,0 Rennsli 0,47 l/s, skakað í útstreymisloka.
19.7.2008	19:17	pH 5,1 Rennsli 0,51 l/s
20.7.2008	10:26	pH 5,1 Rennsli 0,50 l/s, þrumað úr útstreymisloka.
20.7.2008	16:26	pH 4,8 Rennsli 0,52 l/s
21.7.2008	07:43	pH 5,0 Rennsli 0,52 l/s, þrumað úr útstreymisloka.
21.7.2008	22:07	pH 4,6 Rennsli 0,52 l/s
22.7.2008	13:15	pH 4,4 Rennsli 0,51 l/s
22.7.2008	22:56	pH 4,7 Rennsli 0,52 l/s
23.7.2008	11:30	pH 4,6 Rennsli 0,52 l/s
23.7.2008	22:11	pH 4,5 Rennsli 0,52 l/s
24.7.2008	11:04	pH 4,5 Rennsli 0,52 l/s
24.7.2008	12:31	pH 4,6 Rennsli 0,52 l/s, Tilraun hætt, Plötur teknar úr.



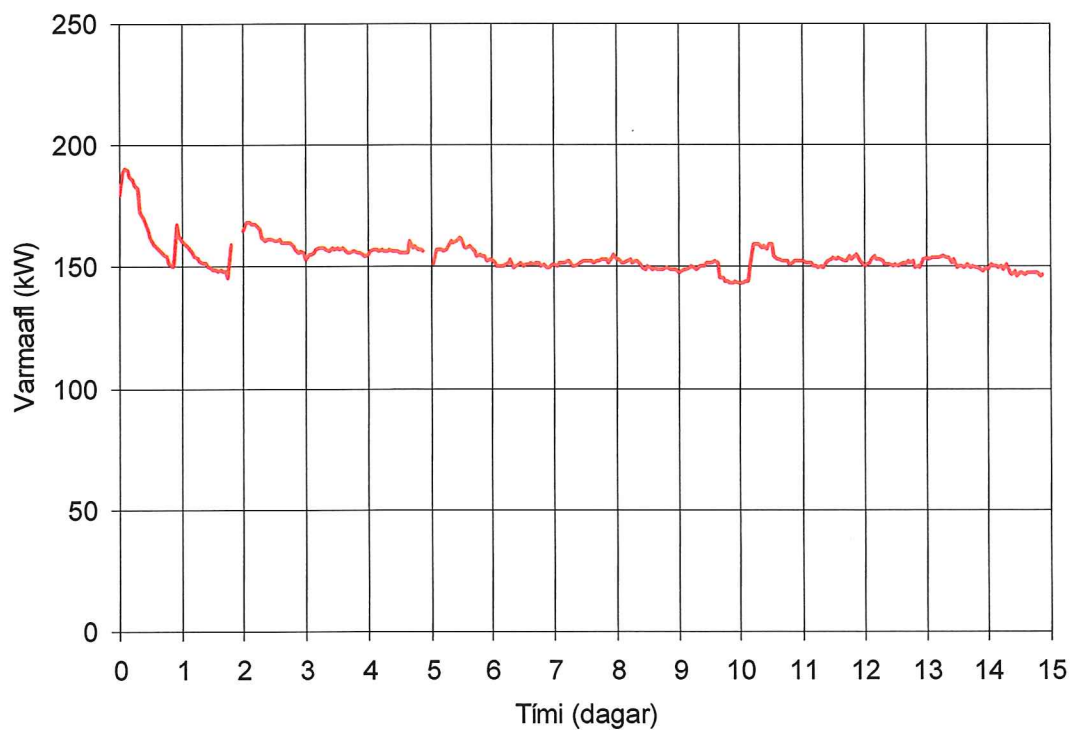
Mynd 2 Hitastig í sjóðara. Tilraun REY-VS-06.



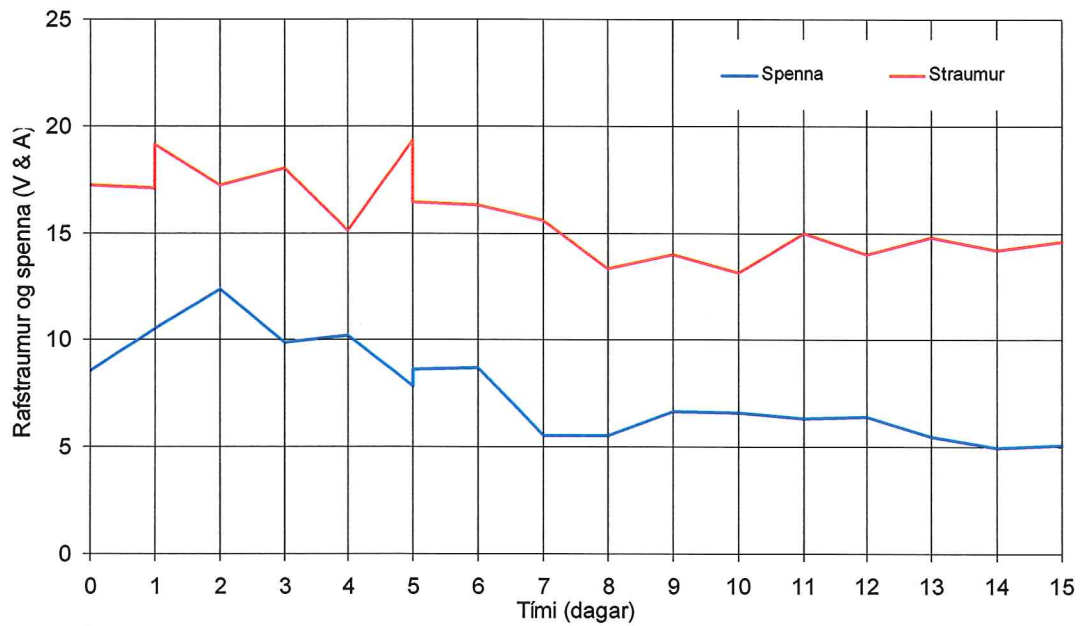
Mynd 3 Rennsli jarðsjávar. Tilraun REY-VS-06.



Mynd 4 Sýrustig jarðsjávar. Tilraun REY-VS-06.



Mynd 5 Varmaafi tilraunasjóðara. Tilraun REY-VS-06.



Mynd 6 Spenna og straumnotkun Agnartækis. Tilraun REY-VS-06.

Eftirfarandi tafla sýnir tilraunaaðstæður að jafnaði í tilraun REY-VS-06.

Tafla 2 Tilraunaaðstæður í tilraun REY-VS-06 að jafnaði.

Tilraun REY-VS-06.

Rennsli	0,55 l/s
T1	204,1 °C
T2	192,2 °C
T3	185,0 °C
T4	175,4 °C
T5	167,4 °C
T6	158,2 °C
T7	149,0 °C
Jarðsjór út T8	139,5 °C
Afköst	151 kW
Sýrustig pH	4,82

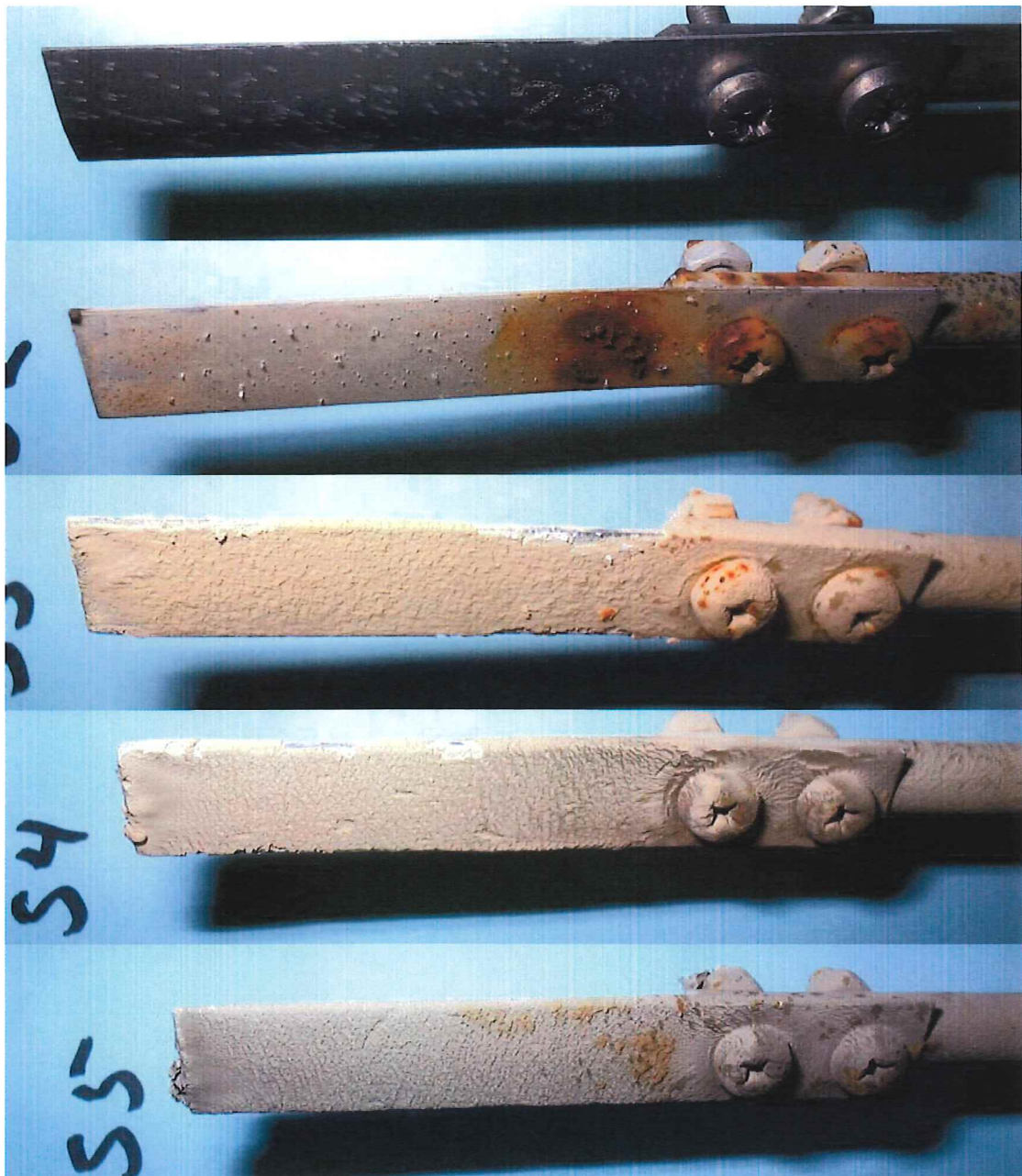
Agnartæki	
Sýrustig pH	3,82
Rafspenna	7,3 V
Rafstraumur	17,0 A

4 Niðurstöður mælinga

4.1 Útfellingasýni

Settir voru ryðfríar stálplötur inn í varmaskiptarörin til þess að safna sýnum af útfellingu sem kynni að falla út. Plöturnar voru vigtaðar á undan og eftir tilraunina og myndaðar.

Eftirfarandi myndir sýna plöturnar þegar þær voru teknar út eftir 10 daga (mynd 7).





Mynd 7 Útfellingaplötur eftir 10 daga keyrslu (REY-VS-06).

Eftirfarandi tafla sýnir þyngdaraukningu platananna. Plat S1 var næstum hrein. Hún var í inntakinu og sjórinn því ekki yfirmettaður. Plata S2 eftir fyrsta rör léttist lítilsháttar. Einhver útfelling sést á myndinni en léttingin stafar væntanlega af tæringu plötunnar. Greinilegur tæringarblettur sést einnig á myndinni. Mest útfelling hafði safnast á plötur eftir þriðja og annað rör (S4 og S5) en hún fer minnkandi eftir það. Á 10 dögum höfðu 118 mg safnast á plötu eftir fjórða rör, sem miðað við eðlisþyngd kísils, samsvarar um 2,0 mm útfellingu á ári.

Á plötu eftir síðasta rör safnaðist 19 mg af útfellingu, sem samsvarar um 0,7 mm útfellingu á ári.

Tafla 3 Þyngdaraukning útfellingaplatna REY-VS-06.

Staður	Plata	Tími	m_1	m_2	$m_2 - m_1$	Flötur				
nr	nr	dagar	g	g	g	cm ²	g/m ²	g/m ² /y	µm *)	mm/y *)
S1	23	10,00	2,283	2,282	0,000	12,0	0	0	0	0,0
S2	24	10,00	2,295	2,292	-0,002	12,0	-2	-61	-1	0,0
S3	25	10,00	2,318	2,374	0,057	12,0	48	1734	23	0,8
S4	27	10,00	2,327	2,454	0,128	12,0	107	3893	51	1,9
S5	28	10,00	2,362	2,502	0,141	12,0	118	4289	56	2,0
S6	29	10,00	2,333	2,441	0,109	12,0	91	3315	43	1,6
S7	30	10,00	2,335	2,433	0,099	12,0	82	3011	39	1,4
S8	31	10,00	2,319	2,365	0,047	12,0	39	1430	19	0,7

*) Miðað við eðlisþyngd 2100 kg/m³

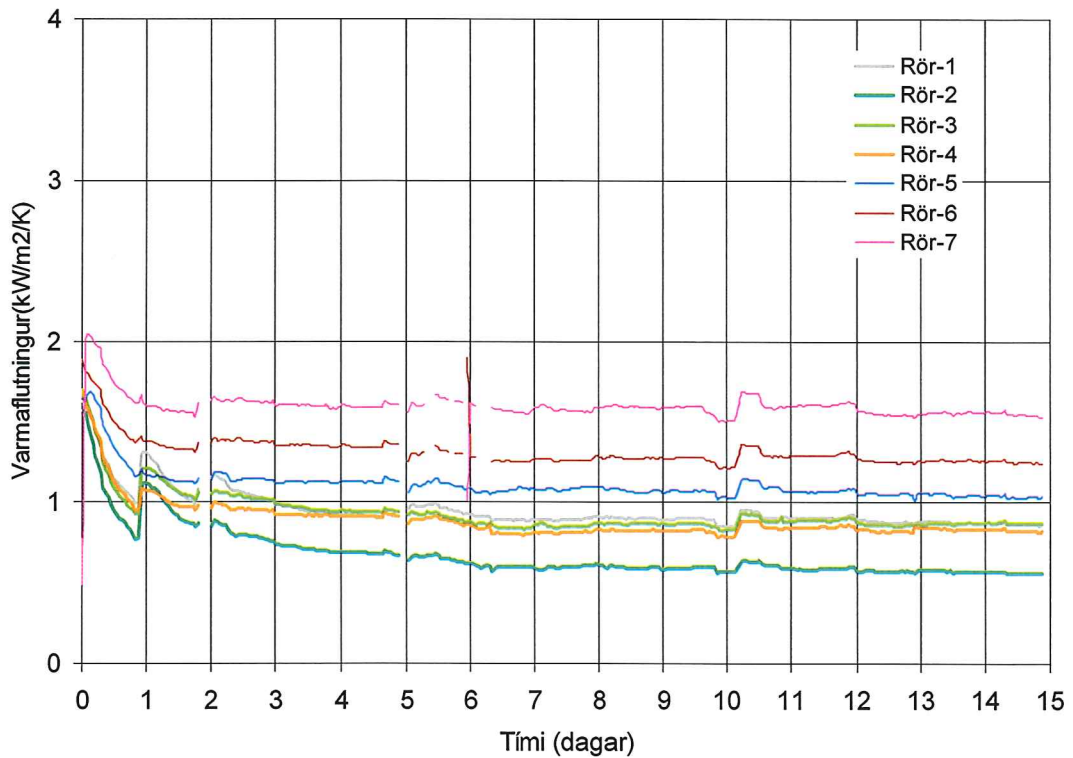
4.2 Varmaflutningsstuðull

Hitastig jarðsjávarins var mælt eftir hvert rör í sjóðaranum. Einnig var rennsli jarðsjávarins mælt. Þetta gerir mögulegt að reikna varmaflutningsstuðulinn fyrir hvert rör.

Útreikningum er lýst nánar í fyrri skýrslu (Trausti Hauksson o.fl. 2006):

Varmaflutningsstuðullinn var reiknaður fyrir rörin sjö og er sýndur á mynd 10.

Varmaflutningsstuðullinn minnkaði hratt fyrstu dagana og töldu Agnarmenn það stafa af bilun í tækinu þeirra. Útfellingaplöturarnar voru því endurnýjaðar eftir 2 daga og tilraunin sett aftur í gang. Aftur minnkaði stuðullinn nokkuð hratt og voru plöturarnar hreinsaðar eftir 3 daga og settar aftur í. Eftir það hélst stuðullinn nokkuð stöðugur í öllum rörum (frá degi 5).



Mynd 8 Varmaflutningsstuðull í varmaskiptarörum, REY-VS-06.

5 Niðurstöður

5.1 Niðurstöður tilrauna

Gerðar hafa verið 6 tilraunir með mismunandi meðhöndlun jarðsjávarins á Reykjanesi.

Við holu RN-12:

Tilraun 1. Sýring með 17 mg/kg af HCl, sýrustig að jafnaði pH 4,0.

Tilraun 2. Sýring með 63 mg/kg af HCl, sýrustig að jafnaði pH 2,9.

Tilraun 3. Þéttivatn 20%, Sýring með 16 mg/kg af HCl, sýrustig að jafnaði pH 4,1.

Við skiljustöð Reykjanesvirkjunar:

Tilraun 4. Þéttivatn 20%, Sýring með 1060 mg/kg af CO₂, sýrustig að jafnaði pH 4,7.

Tilraun 5. SR-tæki Agna ehf, sýrustig að jafnaði pH 3,8.

Tilraun 6. SR-tæki Agna ehf, sýrustig að jafnaði pH 4,8.

Útfelling sem safnaðist á plötunum að meðaltali í tilraunum er sýnd í töflu 5.

Tafla 4 Samanburður á útfellingarhraða í tilraunum 1 til 6

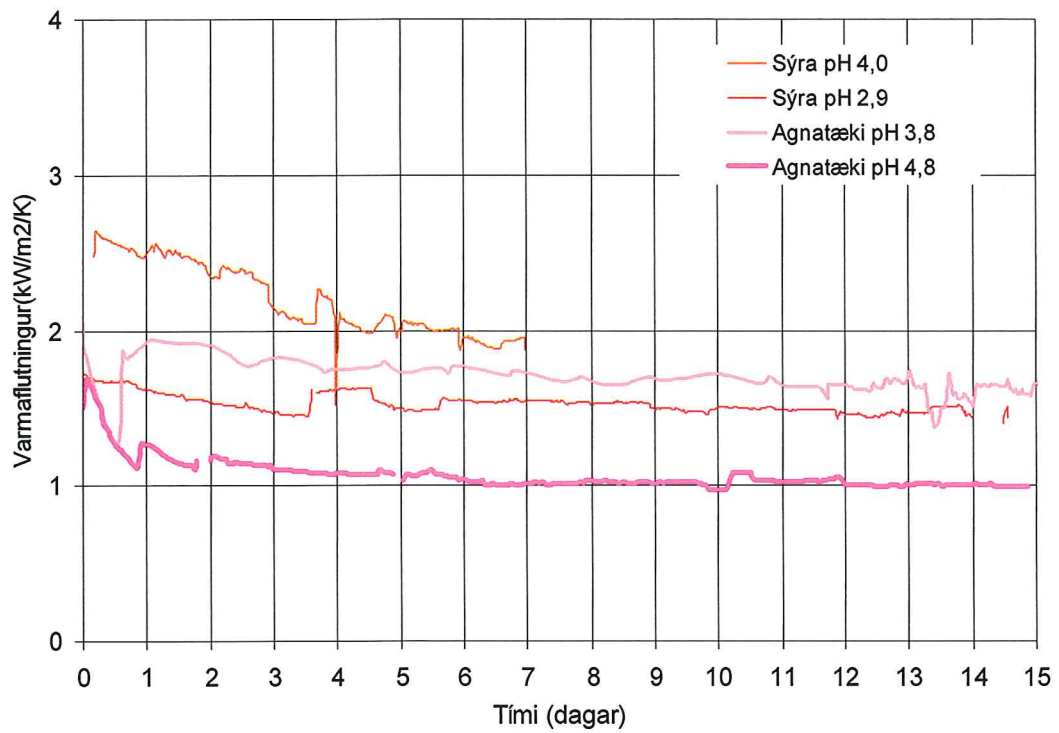
Tilraun	Þynning	Aðferð	pH	Sýra	Styrkur	Útfelling	Útfelling
	%				mg/kg	g/m ² /y	mm/y *)
VS-01	0	Sýra	4	HCl	17	4913	2,3
VS-02	0	Sýra	2,9	HCl	63	255	0,1
VS-03	20	Þynning+Sýra	4,1	HCl	16	891	0,4
VS-04	20	Þynning+Sýra	4,7	CO ₂	1060	550	0,3
VS-05	0	Agnir	3,8	-	-	911	0,4
VS-06	0	Agnir	4,8	-	-	2312	1,1

*) Eðlisþ. 2100

Ekki náðist náðist eins góður árangur með Agnatækinu við pH 4,8 og fékkst í tilraun með sýrustig við pH 3,8. Útfellingarhraðinn var 1,1 mm á ári í tilraun VS-6 í samanburði við 0,4 mm á ári í tilraun VS-05.

Breyting varmaflutningsstuðuls yfir öll 7 rörin er sýnd á mynd 11. Einnig er sýnd til samanburðar breytingin í tilraunum með Agnartæki við sýrustig pH 3,8 og með sýringu í 2,9 og pH 4,0.

Seinnihluta tilraunarinnar (dagar 5 til 15) varð lítil breyting á varmaflutningsstuðlinum, sem er ekki í samræmi við útfellingamagn á plötunum. Hugsanleg skýring er að afl varmaskiptisins var orðið minna, en var í fyrri tilraunum, vegna mikillar útfellingar á varmaskiptarörin fyrstu daganna með biluðu Agna tæi..



Mynd 9 Varmaflutningsstuðull í tilraunum 1, 2, 5 og 6.

6 Heimildir

Trausti Hauksson og Sverrir Þórhallsson 2003. *Reykjanes hola RN-11. Efnahvörf kísils og málm-silikata í jarðsjó á hitabilinu 50 til 240 °C. Tilraunir í háþrýstihylki.* Orkustofnun OS-2003/012. Reykjavík, mars 2003. 34 s.

Trausti Hauksson og Sverrir Þórhallsson 2003. *Reykjanes hola RN-10. Áhrif þéttivatns, sýru, kísileffu og rafsegulmeðhöndlunar á efnahvörf kísils í jarðsjó á hitabilinu 50 til 150 °C. Tilraunir í háþrýstihylki.* Íslenskar orkurannsóknir. Reykjavík, nóvember 2003. 65 s.

Trausti Hauksson og Sverrir Þórhallsson 2004. *Reykjanes hola RN-12. Álagsprófun SR-tækis.* Íslenskar orkurannsóknir og Hitaveita Suðurnesja. Reykjavík, desember 2004. 11 s.

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

Trausti Hauksson. *Varmskiptatilraunir. Áhrif þéttivatnsþynningar og CO₂ íblöndunar á útfellingu kísils úr jarðsjó. (Tilraun REY-VS-04).* Hitaveita Suðurnesja. Reykjavík Maí 2008. 18 s.

Trausti Hauksson. *Varmskiptatilraunir. Áhrif meðhöndlunar með SR-tæki Agna ehf á útfellingu kísils úr jarðsjó. (Tilraun REY-VS-06 pH 5)* Hitaveita Suðurnesja. Reykjavík Maí 2008. 18 s.