



HITAVEITA SUÐURNESJA

REYKJANES

Varmskiptatilraunir

**Áhrif meðhöndlunar með SR-tæki Agna ehf á
útfellingu kísils úr jarðsjó.**

(Tilraun REY-VS-05)



Trausti Hauksson

Reykjavík

Maí 2008

Efnisyfirlit

1	Inngangur	3
2	Tilraunabúnaður.....	4
3	Framvinda tilraunar.....	6
4	Niðurstöður mælinga	11
4.1	Útfellingasýni.....	11
4.2	Sköðun útfellingasýna í rafeindasmásjá	13
4.3	Varmaflutningsstuðull.....	15
5	Niðurstöður.....	16
5.1	Niðurstöður tilrauna	16
6	Heimildir.....	18

Töfluskrá

Tafla 1	Framvinda varmaskiptatilraunar REY-VS-05.....	7
Tafla 2	Tilraunaaðstæður í tilraun REY-VS-05 að jafnaði.	10
Tafla 3	Þyngdaraukning útfellingaplatna REY-VS-05.	12
Tafla 4	EDS efnagreining útfellinga REY-VS-05.....	13
Tafla 5	Samanburður á útfellingarhraða í tilraunum 1 til 5	16

Myndaskrá

Mynd 1	Tengimynd af tilraunasjóðara (Tilraun REY-VS-05).	5
Mynd 2	Hitastig í sjóðara. Tilraun REY-VS-05.....	8
Mynd 3	Rennsli jarðsjávar. Tilraun REY-VS-05.	8
Mynd 4	Sýrustig jarðsjávar. Tilraun REY-VS-05.....	9
Mynd 5	Varmaafli tilraunasjóðara. Tilraun REY-VS-05.	9
Mynd 6	Spenna og straumnotkun Agnatækis. Tilraun REY-VS-05.....	10
Mynd 7	Útfellingaplötur eftir 20 daga keyrslu (REY-VS-05).....	12
Mynd 8	Efnasamsetning útfellinga (REY-VS-05).....	13
Mynd 9	Efnasamsetning útfellinga (REY-VS-05).....	14
Mynd 10	Varmaflutningsstuðull í varmaskiptarörum, REY-VS-05.....	15
Mynd 11	Varmaflutningsstuðull í tilraunum 1, 2 og 5.	17

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 tilraunavarmaskipti.

Áhrif sýruíblöndunar og þéttivatnsþynningar á skeljunarhraðann voru prófuð með jarðsjó úr holu RN-12 á Reykjanesi og að auki var gerð prófun með CO₂ sýringu við skiljustöð virkjunarinnar Niðurstöður voru birtar í eftirfarandi skýrslum:

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

Trausti Hauksson. *Áhrif þéttivatnsþynningar og CO₂ íblöndunar á útfellingu kísils úr jarðsjó (Tilraun 4).* Hitaveita Suðurnesja. Reykjavík Maí 2008. 18 s.

Í þessarri skýrslu er fjallað um þessa prófun á tæki sem Agnir hf hafa smíðað til þess að stöðva kísilútfellingar úr jarðsjó.

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 sá 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.

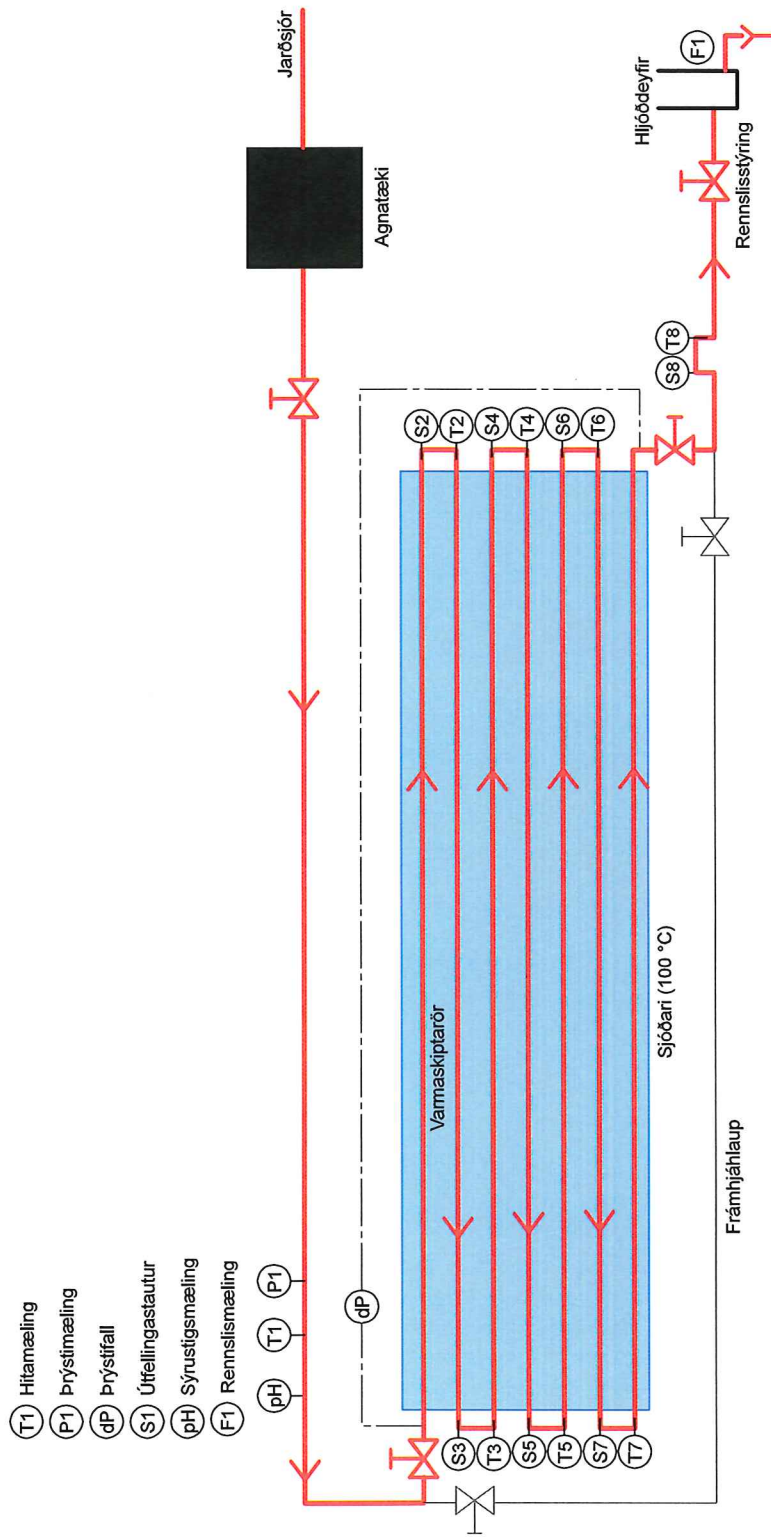
Í þessari tilraun var jarðsjór frá skiljustöðinni meðhöndlaður með SR-tæki Agna ehf.

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 tilraunasiððara (Tilraun REY-VS-05).

3 Framvinda tilraunar

Tilraunin var þrískipt. Fyrsta tiraun stóð með einu stoppi í 6 daga. Vegna rafmagnsbilanna varð að hætta tilrauninni. Eftir mánaðar stopp hófst tilraunin aftur og gekk hún í tæpa 20 daga. Sú tilraun var notuð til þess að meta virkni tækisins. Að lokum voru gerðar tvær viðbótartilraunir þar sem tækið var prófað við minna afl.

Framvindu tilraunanna er lýst í töflu 1.

Mælingarnar voru skráðar handvirkt til að byrja með því gagnsöfnunartölvan skemmdist vegna rafmagnsbilunar og gufuleka. Eftir að gagnasöfnunartölvan kom úr viðgerð var sískráning sett í gang.

Mynd 2 sýnir hitastig í sjóðara. Línur T1 til T8 sýna mældan hita í varmaskiptarörum. 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.

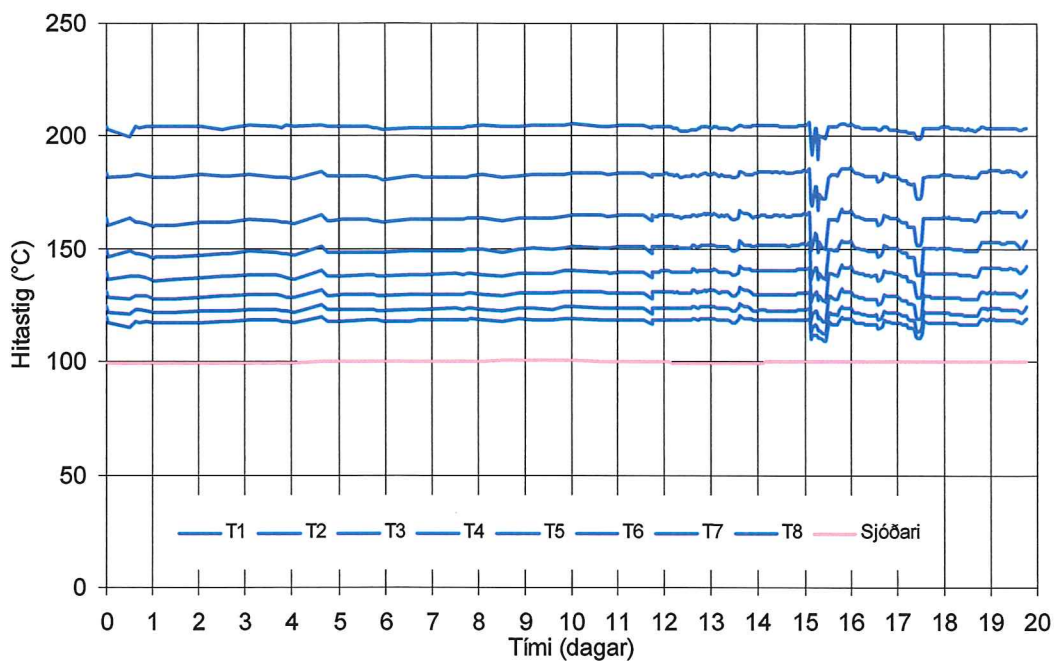
Mynd 6 sýnir rafmagnsnotkun Afgnataækisins.

Straumnotkun Agnataækisins var að jafnaði 17,0 A og spennan hækkaði úr um 5 í 10 V á tilraunartímabilinu. Að meðaltali var spennan 7,3 V.

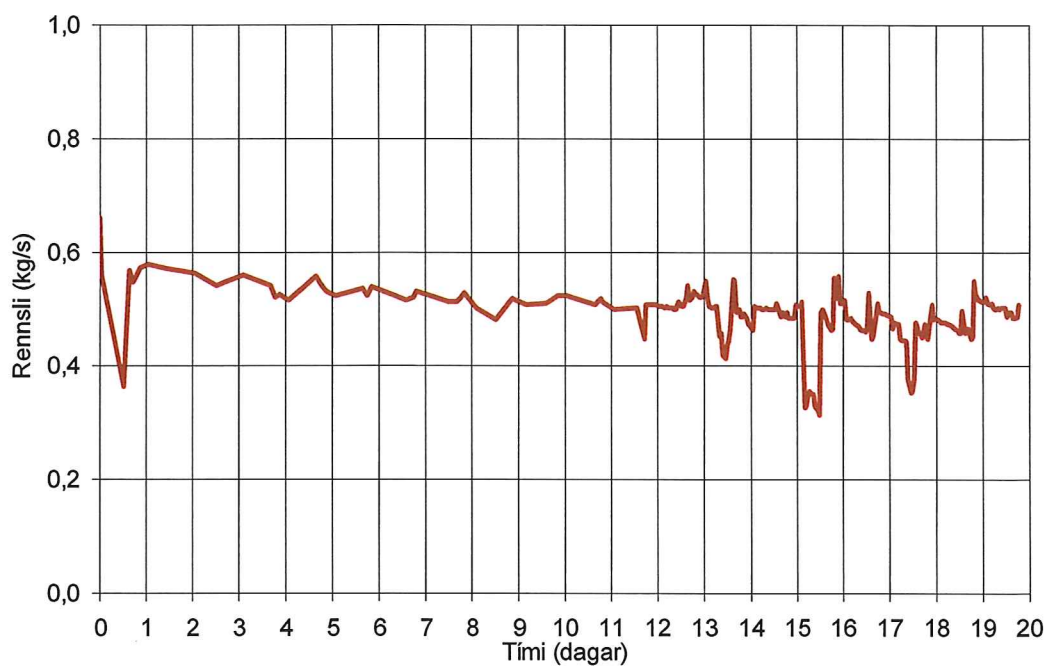
Sýrustig í sýni sem tekið var við Agnataekið mældist alltaf 0,2 pH stigum lægra en sýrustigið í sýni sem tekið var við sjóðarann.

Tafla 1 Framvinda varmaskiptatilaunar REY-VS-05

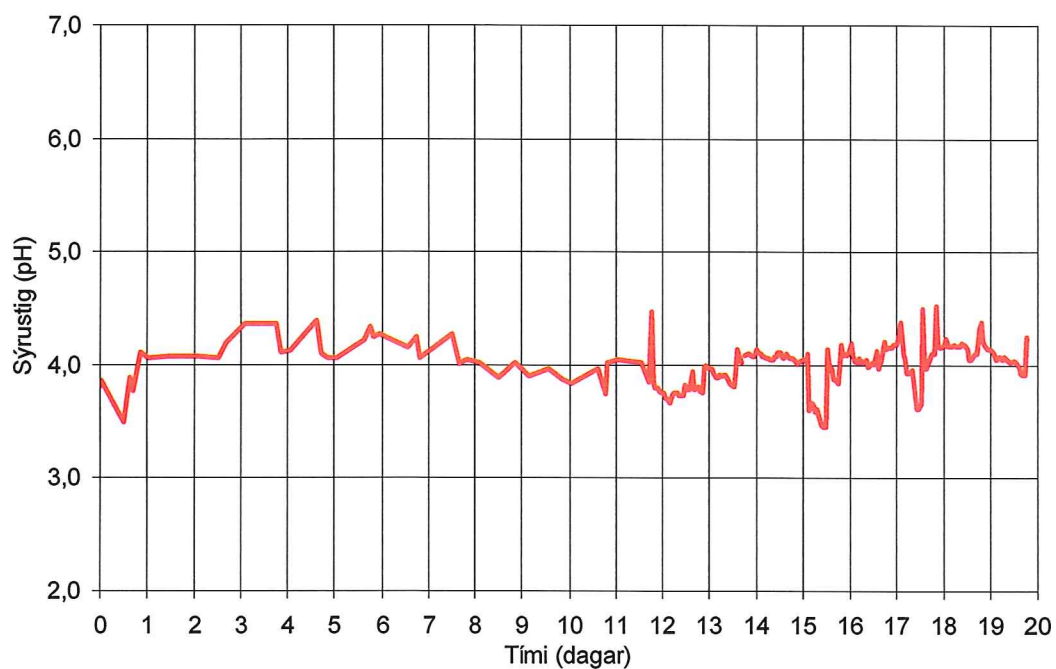
21.2.2008		Útfellingaplötur vigtaðar og settar í.
21.2.2008	20:35	Jarðsjó frá Agnatæki hleypt á sjóðara.
	20:10	pH 3,6 Rennsli 0,51 l/s
22.2.2008	11:42	pH 3,6 Rennsli 0,50 l/s
23.2.2008	11:52	pH 3,5 Rennsli 0,49 l/s
24.2.2008	11:47	pH 3,6 Rennsli 0,45 l/s
25.2.2008	11:42	pH 3,6 Rennsli 0,50 l/s
25.2.2008	15:59	Bilun í SR-tæki. Stoppað í tvo sólarhringa.
27.2.2008	20:23	Tilraun hefst aftur, pH 3,7 Rennsli 0,50 l/s
28.2.2008		Rafmagnsbilun. Gagnatölva skemmist. Tilraun hætt í bili.
27.3.2008	21:20	Tilraun hefst aftur, mælingar handvirkar til að byrja með
	22:05	pH 3,9 Rennsli 0,54 l/s
28.3.2008	09:45	pH 3,5 Rennsli 0,35 l/s
29.3.2008	08:50	pH 4,1 Rennsli 0,55 l/s
30.3.2008	09:45	pH 4,1 Rennsli 0,53 l/s
31.3.2008	18:35	pH 4,1 Rennsli 0,51 l/s
1.4.2008	15:20	pH 4,1 Rennsli 0,53 l/s
2.4.2008	12:30	pH 4,2 Rennsli 0,47 l/s
3.4.2008	16:40	pH 4,1 Rennsli 0,51 l/s
4.4.2008	16:00	pH 4,0 Rennsli 0,51 l/s
5.4.2008	09:30	pH 3,9 Rennsli 0,47 l/s
6.4.2008	01:00	pH 3,9 Rennsli 0,49 l/s
7.4.2008	12:40	pH 4,0 Rennsli 0,49 l/s
8.4.2008	10:45	pH 3,9 Rennsli 0,47 l/s
	16:40	Gagnatölva úr viðgerð. Sett í gang.
9.4.2008	11:37	pH 3,8 Rennsli 0,50 l/s
10.4.2008	12:10	pH 4,1 Rennsli 0,53 l/s
11.4.2008	10:30	pH 4,1 Rennsli 0,49 l/s
12.4.2008	08:49	pH 3,5 Rennsli 0,31 l/s
13.4.2008	10:00	pH 4,0 Rennsli 0,45 l/s
14.4.2008	17:25	pH 4,0 Rennsli 0,46 l/s
15.4.2008	09:30	pH 4,1 Rennsli 0,44 l/s
16.4.2008	10:53	pH 3,9 Rennsli 0,47 l/s
	16:00	Tilraun stoppuð. Plötur teknar úr og vigtaðar.
17.4.2008	13:37	Afl tækis minnkað. pH 4,7 Rennsli 0,55 l/s
18.4.2008	14:16	pH 4,6 Rennsli 0,57 l/s
19.4.2008	18:27	pH 4,5 Rennsli 0,55 l/s
20.4.2008	11:37	pH 4,7 Rennsli 0,54 l/s
21.4.2008	10:00	pH 4,5 Rennsli 0,45 l/s
22.4.2008	12:08	pH 4,5 Rennsli 0,49 l/s
23.4.2008	10:00	pH 4,4 Rennsli 0,52 l/s
23.4.2008	18:07	Afl tækis minnkað meira, pH 5,0 Rennsli 0,51 l/s
24.4.2008	10:40	pH 5,3 Rennsli 0,51 l/s
25.4.2008	14:10	pH 3,9 Rennsli 0,55 l/s
	15:00	Tilraun stoppuð.



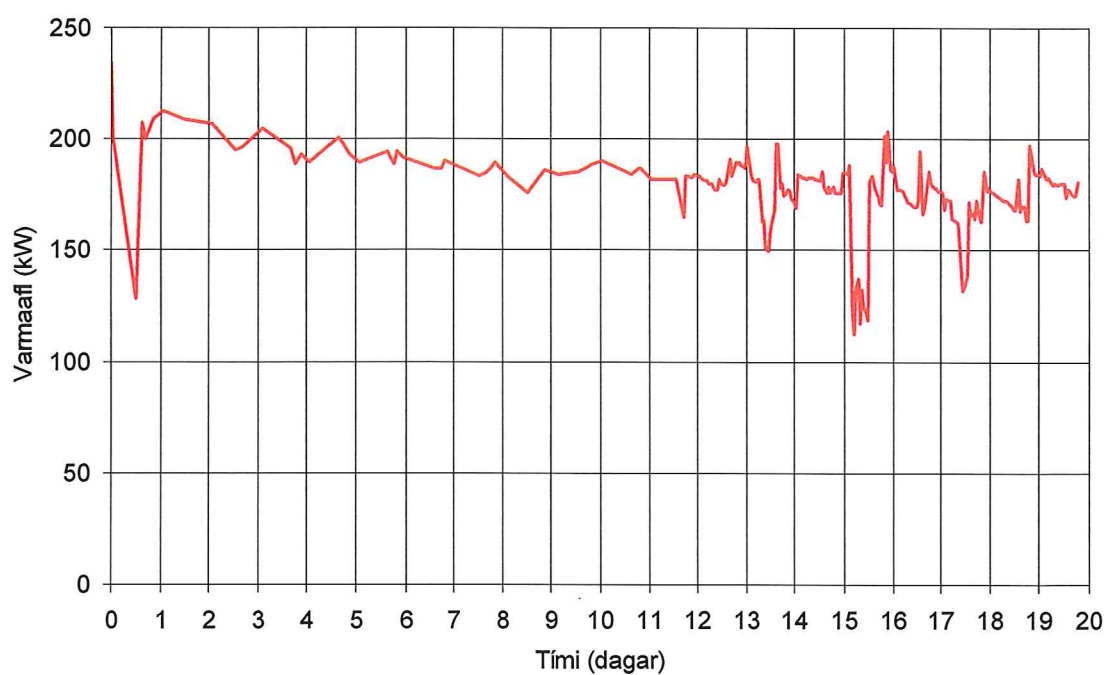
Mynd 2 Hitastig í sjóðara. Tilraun REY-VS-05.



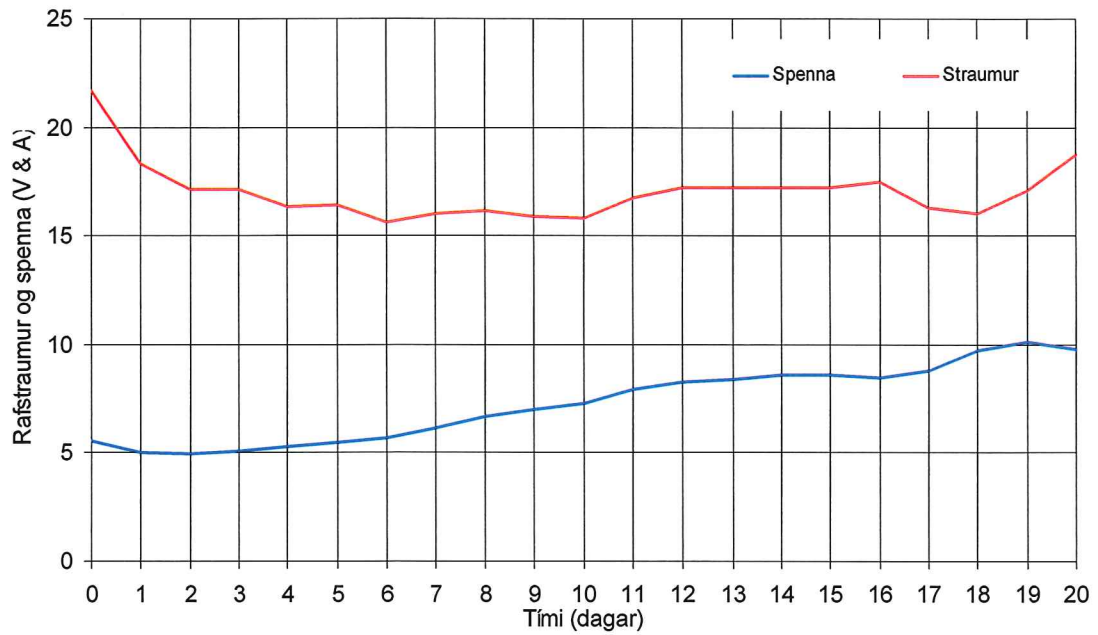
Mynd 3 Rennsli jarðsjávar. Tilraun REY-VS-05.



Mynd 4 Sýrustig jarðsjávar. Tilraun REY-VS-05.



Mynd 5 Varmaafi tilraunasjóðara. Tilraun REY-VS-05.



Mynd 6 Spenna og straumnotkun Agnartækis. Tilraun REY-VS-05.

Eftirfarandi tafla sýnir tilraunaaðstæður að jafnaði í tilraun REY-VS-05.

Tafla 2 Tilraunaaðstæður í tilraun REY-VS-05 að jafnaði.

Tilraun REY-VS-05.

Rennsli	0,49 l/s
T1	203,6 °C
T2	182,4 °C
T3	163,5 °C
T4	149,9 °C
T5	139,1 °C
T6	129,3 °C
T7	122,4°C
Jarðsjór út T8	117,8 °C
Afköst	178 kW
Sýrustig pH	4,02

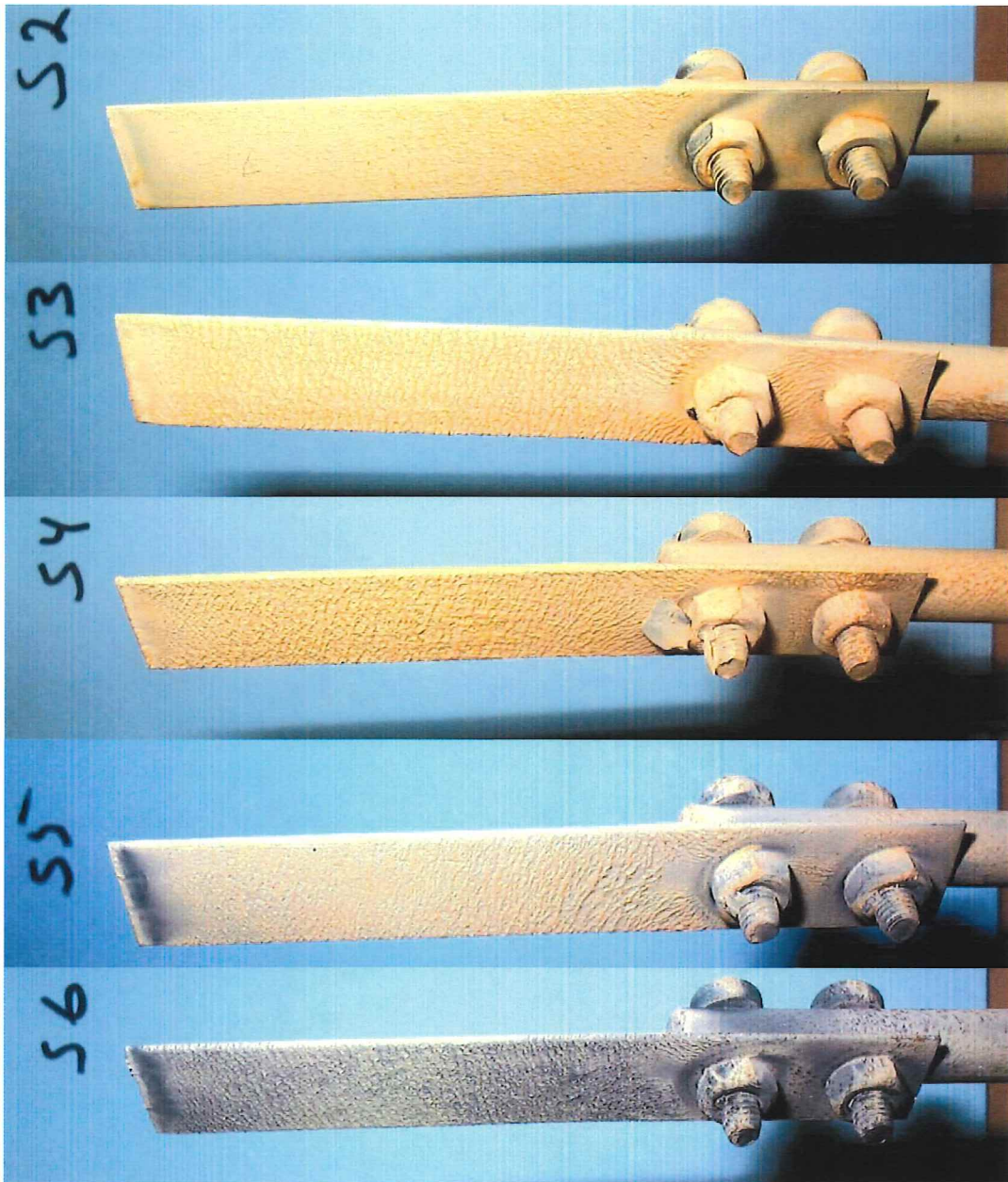
Agnartæki	
Sýrustig pH	3,82
Rafspenna	7,3 V
Rafstraumur	17,0 A

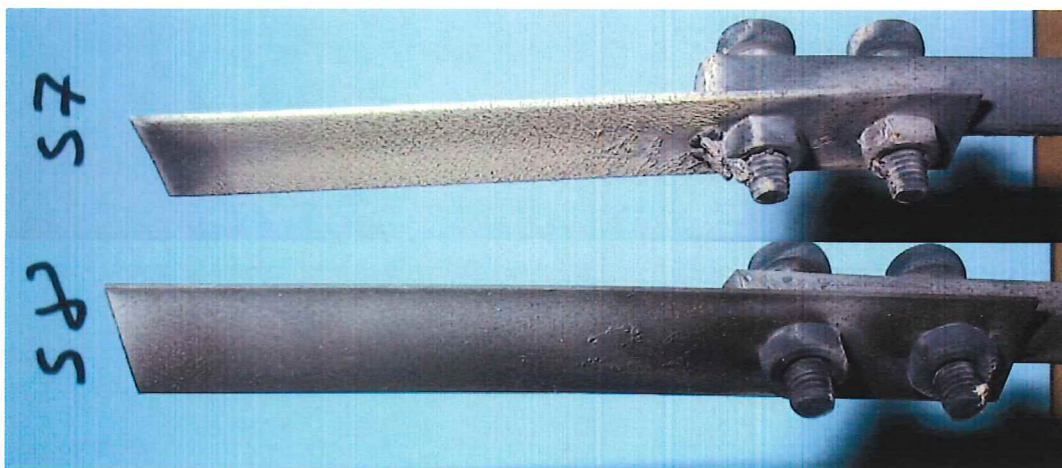
4 Niðurstöður mælinga

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. Einnig voru þær rannsakaðar nánar í rafeindasmásjá.

Eftirfarandi myndir sýna plöturnar þegar þær voru teknar út (mynd 6).





Mynd 7 Útfellingaplötur eftir 20 daga keyrslu (REY-VS-05).

Eftirfarandi tafla sýnir þyngdaraukningu platananna. Mest útfelling hafði safnast á plötur eftir annað og þriðja rör en minnst útfelling á plötur eftir fyrsta og síðasta rör. Á tæplega 20 dögum höfðu 48 mg safnast á plötu eftir annað rör, sem miðað við eðlisþyngd kísils, samsvarar um 0,9 mm útfellingu á ári.

Á plötu eftir síðasta rör safnaðist 12 mg af útfellingu, sem samsvarar aðeins 0,2 mm útfellingu á ári.

Tafla 3 Þyngdaraukning útfellingaplatna REY-VS-05.

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 *)
S2	16	20,00	2,305	2,328	0,023	12,0	19	350	9	0,2
S3	17	20,00	2,301	2,422	0,121	12,0	101	1840	48	0,9
S4	18	20,00	2,303	2,422	0,119	12,0	99	1810	47	0,9
S5	19	20,00	2,306	2,385	0,079	12,0	66	1201	31	0,6
S6	20	20,00	2,254	2,316	0,062	12,0	52	943	25	0,4
S7	21	20,00	2,312	2,357	0,045	12,0	38	684	18	0,3
S8	22	20,00	2,306	2,336	0,030	12,0	25	456	12	0,2

*) Miðað við eðlisþyngd 2100 kg/m³

4.2 Skoðun útfellingasýna í rafeindasmásjá

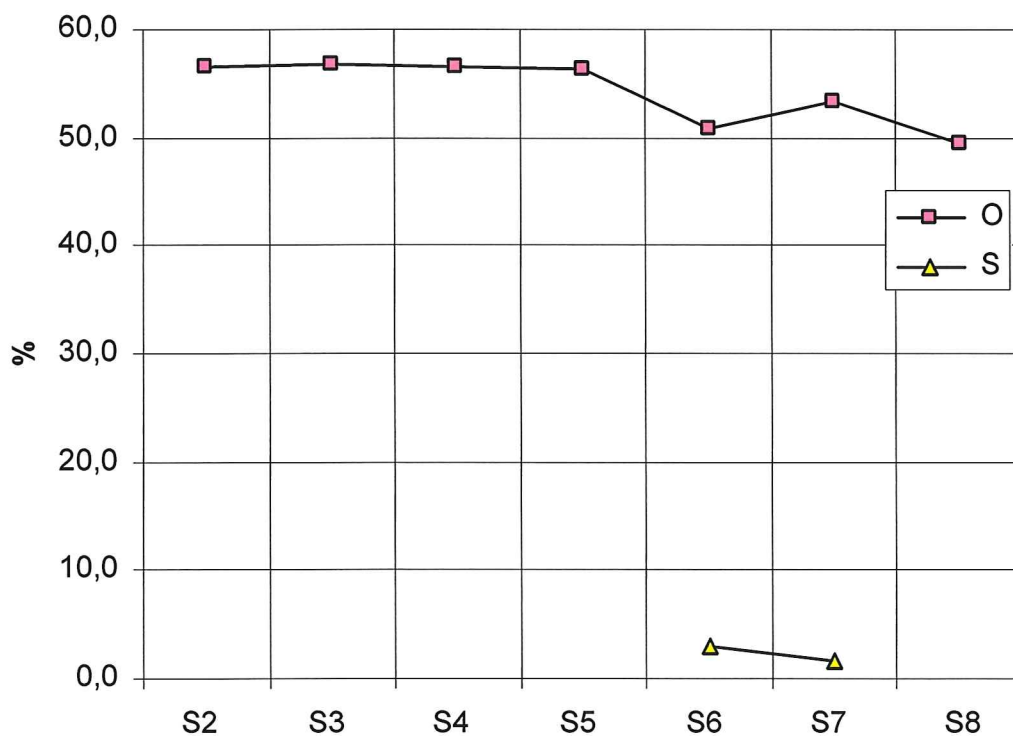
Plöturnar voru skoðaðar í rafeindasmásjá og útfellingarnar efnagreindar. Samsetningin er sýnd í eftirfarandi töflu.

Tafla 4 EDS efnagreining útfellinga REY-VS-05.

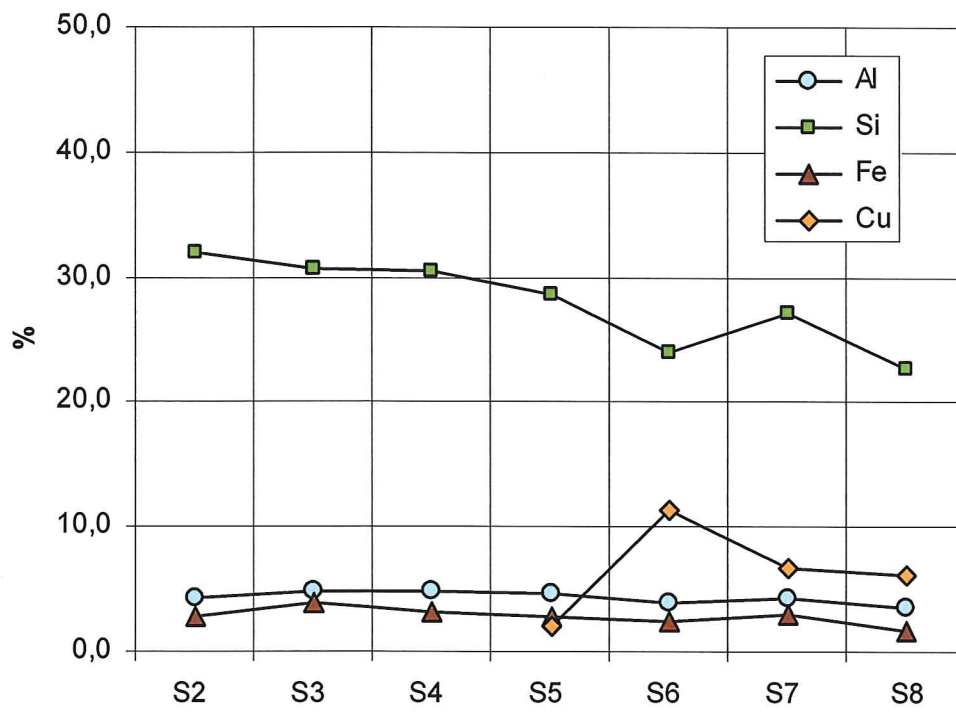
	O	Na	Al	Si	S	K	Ca	Cr	Fe	Cu	Mo	Ag
Sýni	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
S2	56,6	1,5	4,3	32,0		1,2	1,6		2,8			
S3	56,8	0,8	4,8	30,6		1,8	1,3		3,8			
S4	56,6	1,2	4,8	30,6		2,0	1,6		3,1			
S5	56,4	1,5	4,6	28,7		2,0	1,4		2,8	2,1	0,7	
S6	50,8	1,4	4,0	24,1	3,0	1,5	1,5		2,3	11,4		
S7	53,4	0,2	4,3	27,2	1,7	1,7	1,7	0,2	2,9	6,7		
S8	49,6	0,5	3,6	22,7		1,7	1,8	0,3	1,6	6,1	10,6	1,6

Samsetningin útfellingarinnar breyttist á leið blöndunnar í gegnum varmaskiptinn. Þetta er sýnt á myndum 7 og 8.

Útfellingin virðst vera kísill (SiO₂) ásamt ál og járnsilikötum. Eftir síðustu 3 rörin mælist nokkuð hátt koparinnihald. Ekki er auðvelt að skýra það.



Mynd 8 Efnasamsetning útfellinga (REY-VS-05).



Mynd 9 Efnasamsetning útfellinga (REY-VS-05).

4.3 Varmaflutningsstuðull

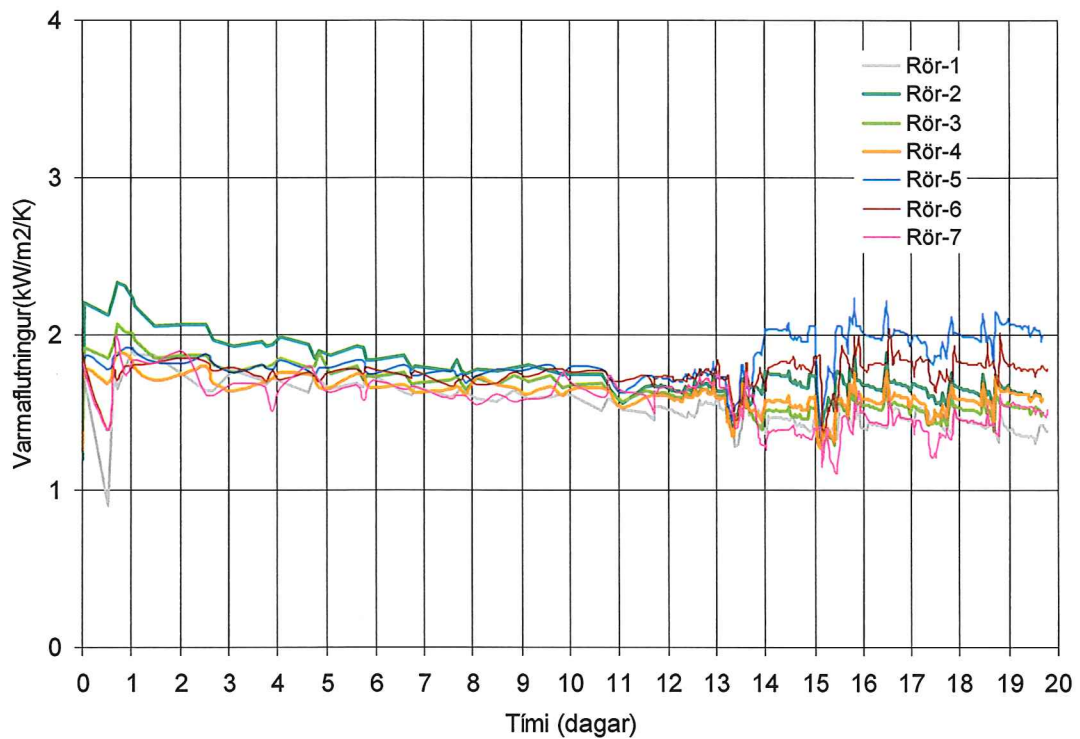
Hitastig jarðsjávarins var mælt eftir hvert rör í sjóðaranum. Einnig var rennsli jarðsjávarins mælt. Þetta gerir mögulegt að reikna varmaflutningsstuðulinn fyrir hvert rör.

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

Varmaflutningsstuðullinn var reiknaður fyrir rörin sjö og er sýndur á mynd 9.

Varmaflutningsstuðullinn minnkaði greinilega á meðan á fyrrihluta tilraunarinnar sérstaklega í öðru röri en mest útfelling safnaðist þar.

Eftir 13 daga verður meiri óreiða í mælingunum hugsanlega vegna bilunar í mælíbúnaði.



Mynd 10 Varmaflutningsstuðull í varmaskiptarörum, REY-VS-05.

5 Niðurstöður

5.1 Niðurstöður tilrauna

Gerðar hafa verið 5 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 4,0.

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

Tafla 5 Samanburður á útfellingarhraða í tilraunum 1 til 5

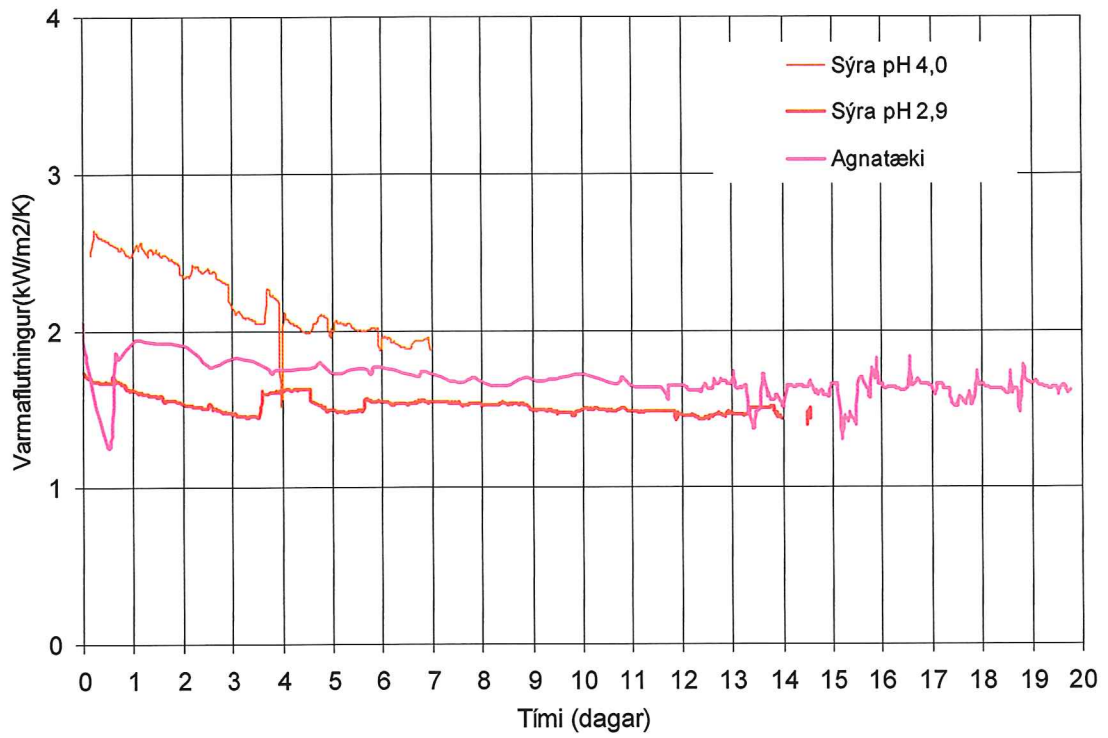
Tilraun	Þynning	Aðferð	pH	Sýra	Styrkur	Útfelling	Útfelling
	%				mg/kg	g/m ² /y	mm/y *)
VS-01	0	Sýra	4	HCl	17	4913	2,3
VS-02	0	Sýra	2,9	HCl	63	255	0,1
VS-03	20	Þynning+Sýra	4,1	HCl	16	891	0,4
VS-04	20	Þynning+Sýra	4,7	CO ₂	1060	550	0,3
VS-05	0	Agnir	4,1	-	-	911	0,4

*) Eðlisþ. 2100

Nokkuð góður árangur náðist mneð Agnatækinu þó að sýring niður fyrir pH 3 hafi gefið betri raun. Árangurinn er mun betri en sýring niður í pH 4 og svipaður og þynning + sýring.

Breyting varmaflutningsstuðuls yfir öll 7 rörin er sýnd á mynd 10. Einnig er sýnd til samanburðar breytingin í tilraunum með sýringu í 2,9 og pH 4,0.

Seinnihluta tilraunarinnar virðist hægja á breytingunni í tilraun 5 og hún verður svipuð og í tilraun 2 (pH 2,9). Athuga verður þó að mælióreiða var meiri seinnipart tilraunarinnar (sjá mynd 9) og því hugsanlega um mæliskekkju að ræða.



Mynd 11 Varmaflutningsstuðull í tilraunum 1, 2 og 5.

6 Heimildir

Trausti Hauksson og Sverrir Þórhallsson 2003. *Reykjanes hola RN-11. Efnahvörf kísils og málmsilikata 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, kísilefju 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 Kærgeard Mortensen and Sverrir Þórhallsson 2006. *REYKJANES HOLA RN-12. Varmaskiptatilraun. Sýruíblöndun og þynning með þéttivatni.* Íslenskar Orkurannsóknir. Reykjavík April 2006. 56 s.

Trausti Hauksson. *Áhrif þéttivatnsþynningar og CO₂ íblöndunar á útfellingu kísils úr jarðsjó (Tilraun 4).* Hitaveita Suðurnesja. Reykjavík Maí 2008. 18 s.