



ORKUSTOFNUN  
Jarðhitadeild

**Trausti Hauksson, Kemíu sf.  
Sverrir Þórhallsson, Orkustofnun**

## **ÚTFELLINGAR MAGNESÍUM-SILÍKATA**

**Áhrif sýrustigs og hitastigs á útfellingu  
magnesíum-silíkata úr hitaveituvatni**

**Skýrsla um niðurstöður tilrauna í Svartsengi og á Grafarholti**

**OS-93014/JHD-04**  
Reykjavík, maí 1993

**Unnið fyrir  
Hitaveitu Suðurnesja  
og Hitaveitu Reykjavíkur**



**ORKUSTOFNUN**  
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Verknr. 630 221

**Trausti Hauksson, Kemía sf**  
**Sverrir Þórhallsson, Orkustofnun**

## **ÚTFELLINGAR MAGNESÍUM-SILÍKATA**

**Áhrif sýrustigs og hitastigs á útfellingu  
magnesíum-silíkata úr hitaveituvatni**

**Skýrsla um niðurstöður tilrauna í Svartsengi og á Grafarholti**

**Unnið fyrir Hitaveitu Suðurnesja og Hitaveitu Reykjavíkur**

**OS-93014/JHD-04**

**Reykjavík, maí 1993**

**ISBN 9979-827-18-1**



## ÁGRIP

Áhrif hitastigs og sýrustigs á útfellingu magnesíum-silífkata úr hitaveituvatni voru könnuð með tilraunum í Svartsengi og á Grafarholti. Tilraunirnar voru samstarfsverkefni Hitaveitu Reykjavíkur, Hitaveitu Suðurnesja og Orkustofnunar.

Tilraunir með blöndur jarðhitavatns og afloftaðs ferskvatns frá Nesjavallavirkjun voru gerðar á Grafarholti. Í Svartsengi voru tilraunir gerðar með afloftað ferskvatn. Hitaveituvatnið var geymt í loftþéttu stálhlyki við ákveðið hitastig og breytingar í efnastyrk mældar reglulega.

Tilraunirnar spönnuðu hitabilið 60 til 120 °C. Sýrustigið var á bilinu pH 8,5 til 9,6. Magnesíumstyrkur var 0,5 til 6,7 mg/kg og kísilstyrkur 13 til 75 mg/kg.

Helstu niðurstöður voru eftirfarandi:

Magnesíum-silíkat fellur úr hitaveituvatni við ákveðin skilyrði. Útfelling þess ræðst af samverkandi áhrifum sýrustigs, kísilstyrks og magnesíumstyrks, sem lýst er með margfeldi af virkni þeirra jóna sem mynda útfellinguna.

$$Q = (\text{Mg}^{+2}) * (\text{H}_3\text{SiO}_4^-) * (\text{OH}^-)$$

Ef jónamargfeldið verður of hátt þá fellur magnesíum-silíkat úr lausn þangað til jafnvægi næst, þ.e. styrkbreytingar verða það litlar að þær skipta ekki máli tæknilega séð og jónamargfeldið verður jafnt leysnifasta efnisins ( $K_{sp}$ ).

Leysnifasti magnesíum-silíkats á hitastigsbilinu 60 til 120 °C, sem fall af hitastigi (°C) var ákvarðaður.

$$\log(K_{sp}) = -12.90 + 0.00262 * T - 6.212E-05 * T^2$$

Leysni magnesíum-silíkats minnkar með hækkandi hitastigi og meira magn fellur úr lausn. Þegar sýrustig var lækkað nægilega þá var hægt að koma í veg fyrir útfellingar.

Áhrif yfirmettunar og hitastigs á myndunarhraða útfellingarinnar voru ákvörðuð. Hraðinn eykst línulega með vaxandi yfirmettun og stig vex með hækkandi hitastigi.

Gott samræmi var milli tilraunanna í Svartsengi og á Grafarholti.

Yfirmettun í rásum orkuversins í Svartsengi var mæld og einnig styrkbreytingar og þrýstifall í Njarðvíkur og Grindavíkuræð.

Niðurstöður tilraunanna voru notaðar til þess að gera tillögur um heppilegt rekstrarsýrustig í hitaveituvatni frá orkuverunum í Svartsengi og á Nesjavöllum við breytilegt útrásarhitastig og breytilegan styrk steinefna í vatninu.



## EFNISYFIRLIT

	bls
ÁGRIP .....	3
EFNISYFIRLIT.....	5
TÖFLUSKRÁ.....	6
MYNDASKRÁ.....	6
1 INNGANGUR.....	7
2 FRAMKVÆMD TILRAUNA.....	9
3 NIÐURSTÖÐUR.....	11
3.1 Magn útfellinga .....	11
3.2 Leysnijafnvægi.....	14
3.3 Útfellingarhraði.....	16
3.4 Sýni úr vinnslurás.....	18
3.5 Þrýstifall í stofnæðum.....	20
3.5.1 Njarðvíkuræð.....	20
3.5.2 Grindavíkuræð.....	21
4 TILLÖGUR.....	22
4.1 Sýrustig hitaveituvatns.....	22
4.1.1 Svartsengi.....	22
4.1.2 Nesjavellir.....	26
4.2 Framhald rannsókna.....	29
HEIMILDASKRÁ.....	30
VIÐAUKAR.....	31
TÖFLUSKRÁ VIÐAUKA.....	32
MYNDASKRÁ VIÐAUKA.....	32
VIÐAUKI 1 TILRAUNIR Á GRAFARHOLTI.....	33
Tilraunir á Grafarholti við 60 °C.....	35
VIÐAUKI 2 TILRAUNIR Í SVARTSENGI.....	39
Tilraunir í Svartsengi við 80 °C.....	42
Tilraunir í Svartsengi við 100 °C.....	45
Tilraunir í Svartsengi við 120 °C.....	49

## TÖFLUSKRÁ

Tafla	bls
2.1 Útfellingartilraunir í Svartsengi.....	10
3.1 Styrkbreytingar á 4 sólarhringum.....	13
3.2 Efni í vatni, sýni úr vinnslurás, 3/11 92.....	18
3.3 Efni í vatni, sýni úr stofnæðum, 18/11/92.....	19
3.4 Mælingar í Njarðvíkuræð.....	20
3.5 Flutningsgeta Njarðvíkuræðar.....	20
3.6 Mælingar í Grindavíkuræð.....	21
3.7 Flutningsgeta Grindavíkuræðar.....	21
4.1 Svartsengi, pH-MgSi*.....	25
4.2 Nesjavellir, pH-MgSi*.....	28

## MYNDASKRÁ

Mynd	bls
2.1 Stálhylki með hringdælingu, hitað með olíu.....	9
3.1 Styrkur magnesíums (Mg) á móti tíma, engin pH stýring.....	11
3.2 Styrkur kísils (SiO <sub>2</sub> ) á móti tíma, engin pH stýring.....	11
3.3 Styrkur magnesíums (Mg) á móti tíma, við 100 °C.....	12
3.4 Styrkur kísils (SiO <sub>2</sub> ) á móti tíma, við 100 °C.....	12
3.5 Jónamargfeldi sem fall af hitastigi.....	14
3.6 Útfellingarhraði sem fall af yfirmettun.....	16
4.1 Jónamargfeldi sem fall af sýrustigi og hitastigi, Svartsengi.....	22
4.2 Útfellingarhraði sem fall af sýrustigi og hitastigi, Svartsengi...	23
4.3 Hámarkssýrustig sem fall af magnesíumstyrk og hita, Svartsengi....	24
4.4 Jónamargfeldi sem fall af sýrustigi og hitastigi, Nesjavellir.....	26
4.5 Útfellingarhraði sem fall af sýrustigi og hitastigi, Nesjavellir..	27
4.6 Hámarkssýrustig sem fall af magnesíumstyrk og hita, Nesjavellir...	28

## 1 INNGANGUR

Útfellingar magnesíum-silfíkata er algengt vandamál í íslenskum hitaveitum, sem nýta upphitað ferskvatn til þess að flytja varma. Mikið hefur verið fjallað um vandamálið og margvíslegar tilraunir hafa verið gerðar til þess að kanna eiginleika útfellinganna og finna lausn á vandanum (Sverrir Þórhallsson o.fl. 1975, Hrefna Kristmannsdóttir o.fl. 1983).

Árið 1991 gerði Hitaveita Reykjavíkur tilraunir, með blöndur vatns frá Nesjavallavirkjun og vatns frá Reykjum í Mosfellsbæ. Þessar tilraunir voru gerðar við hitastigin 83 °C og 93 °C og gáfu þær gagnlegar upplýsingar um leysni og útfellingarhraða myndlauss magnesíum-silfíkats í hitaveituvatni (Trausti Hauksson o.fl., 1992). Í framhaldi af þessum tilraunum var ákveðið að gera tilraunir við fleiri hitastig og í annarskonar vatni.

Þar sem útfellingar magnesíum-silfíkata hafa einnig verið vandamál hjá Hitaveitu Suðurnesja var stofnað til samstarfs Hitaveitu Suðurnesja, Hitaveitu Reykjavíkur og Orkustofnunar, í þessum tilgangi. Orkustofnun var falin umsjón tilraunanna og framkvæmd var falin Trausta Haukssyni hjá Kemíu. Tilgangur tilraunanna var eftirfarandi:

- 1 Ákvarða leysni magnesíum-silfíkats á hitastigsbilinu 60 °C til 120 °C.
- 2 Ákvarða áhrif hitastigs á útfellingarhraða.
- 3 Kanna hvort samskonar niðurstöður fást með vatn í Svartsengi og fengust í tilraununum á Grafarholti með vatn frá Nesjavallavirkjun og Reykjum.
- 4 Ákvarða heppilegt rekstrarsýrustig fyrir rásir orkuversins í Svartsengi og á Nesjavöllum.

Tvær tilraunir voru fyrst gerðar á Grafarholti við 60 °C, þar sem blandað var vatni frá Reykjum og Nesjavöllum í hlutföllunum 40 og 60%, og þær geymdar í lokuðum stálhylkjum með hringdælingu.

Tilraunabúnaðurinn var síðan fluttur í Svartsengi og honum breytt, þannig, að hægt væri að gera tilraunir við hærra hitastig. Búnaðurinn var tengdur við rás 6 í Orkuveri 2. Tilraunirnar í Svartsengi voru gerðar á sýrustigsbilinu pH 8,5 til 10 og við hitastigin 80, 100 og 120 °C.

Efnagreiningar sýna voru gerðar á staðnum og á efnarannsóknastofu Orkustofnunar.

Niðurstöður efnagreininganna voru meðhöndlaðar í gagnavinnsluforritinu VDATA (Trausti Hauksson, Kemía sf) en það forrit er sérstaklega skrifað til þess að meðhöndla jarðhitagögn. Forritið reiknar virkni jóna og jónamargfeldi og setur gögnin fram í myndum og töflum.

Til samanburðar við niðurstöður tilraunanna voru tekin efnasýni úr vinnslurás orku-

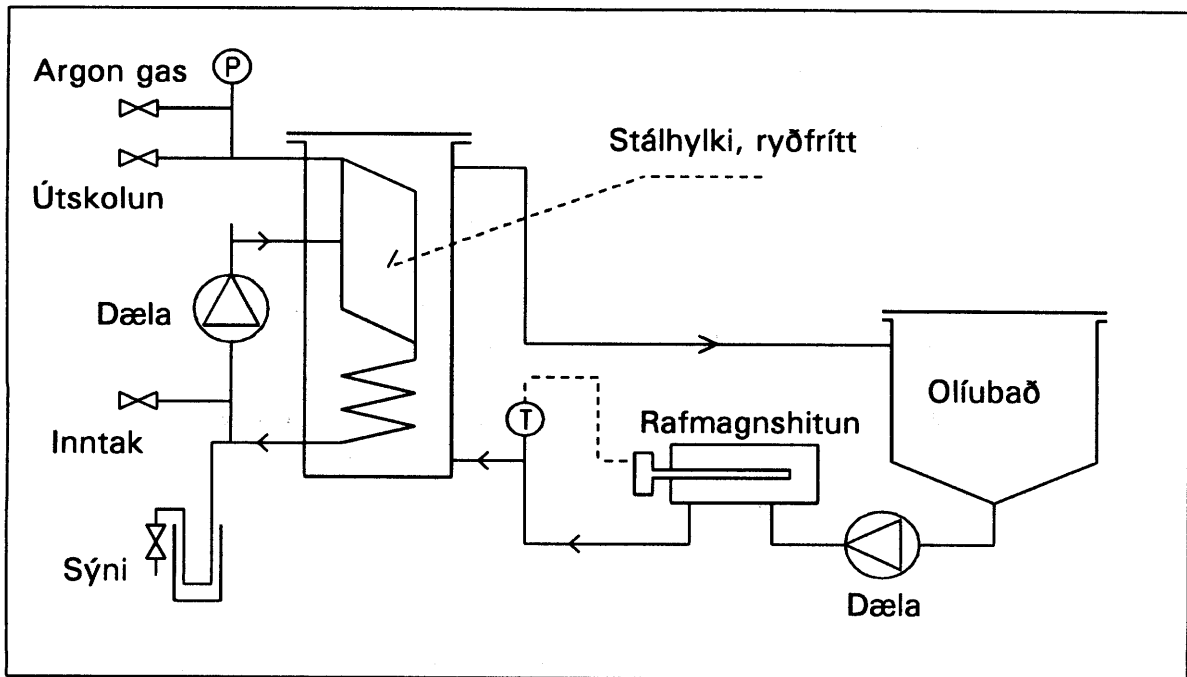


versins í Svartsengi og einnig úr Njarðvíkur- og Grindavíkuræð. Einnig var þrýstifall í Njarðvíkuræð mælt til samanburðar við þrýstifallsmælingu sem gerð var 1983 í þeim tilgangi að kanna hvort flutningsgeta æðarinnar hafi breytst.

Í þessari skýrslu er framvinda tilraunanna ásamt mæliniðurstöðum úr einstökum tilraunum raktar og helstu niðurstöður rannsóknarinnar tíundaðar ásamt tillögum til úrbóta í rekstri orkuveranna í Svartsengi og á Nesjavöllum.

## 2 FRAMKVÆMD TILRAUNA

Á Grafarholti voru gerðar tilraunir í sérsmíðuðum stálhlykjum með hringdælingu, þar sem blöndur vatns frá Reykjum og Nesjavallavirkjun voru geymdar við fast hitastig. Þessum tilraunabúnaði er lýst í skýrslu um tilraunirnar á Grafarholti 1991 (Trausti Hauksson o.fl. 1992). Tilraunabúnaðurinn var fluttur í Svartsengi og honum breytt, þannig, að hægt væri að gera tilraunir við hærri hitastig (sjá mynd 2.1).



Mynd 2.1 Stálhlyki með hringdælingu, hitað með olíu.

Tvö hylki, smíðuð úr ryðfrú stáli, voru notuð. Annað 6,1 lítrar að rúmmáli merkt A og hitt 5,5 lítrar merkt B. Hylkin voru umlukin olíu, sem hituð var með rafmagni. Hitastiginu var stýrt með PID regli með  $\pm 0,1$  °C nákvæmni.

Tilraunirnar voru gerðar á tímabilinu 31. maí til 16. september, 1992.

Vatn úr rás 6 í orkuveri 2 var leitt í stálhlykið. Þrjár lagnir voru lagðar. Þ.e. strax eftir afloftun, eftir millihitara og eftir eftirhitara. Þannig var hægt að leiða vatn með heppilegu hitastigi inn í tækin.

Fyrst voru stálhlykin skoluð vel með því að láta vatn streyma í gegnum þau í nokkra sólarhringa. Upphafssýni var tekið úr útrennsli frá hlykjunum og þeim lokað. Argon gasi var hleypt á og þrýstingur stilltur á 3 bör. Sýni voru síðan tekin með reglulegu millibili. 100 ml voru síaðir í gegnum 0,2  $\mu\text{m}$  síu og sýrðir með  $\text{HNO}_3$  til greiningar á natríum,

kalíum, magnesíum, kalsíum og kísli. Einnig var tekið sýni til ákvörðunar á sýrustigi. Það var kælt í ryðfríu röri og plastflaska með sýninu sett í vatnsbað og sýrustigið mælt við 25°C. Koldíoxíð (CO<sub>2</sub>) og brennisteinsvetni (H<sub>2</sub>S) var mælt í upphafssýni og í lokin. Tímalengd hverrar tilraunar var fjórir sólarhringar.

Eftirfarandi tafla sýnir yfirlit yfir tilraunir þær sem framkvæmdar voru í Svartsengi.

**Tafla 2.1** Útfellingatilraunir í Svartsengi.

Tilraun nr:	Hitastig (°C)	Upphafs pH	Ath
A51	80	9,28	
B51	80	8,97	Gufuíblöndun
B52	100	10,25	NaOH bætt í hylkið
A52	100	9,34	
A53	100	8,92	Gufuíblöndun
B53	100	8,58	Gufuíblöndun
B54	120	9,95	NaOH bætt í hylkið
A54	120	9,17	
A55	120	8,90	Gufuíblöndun
B55	120	8,56	Gufuíblöndun

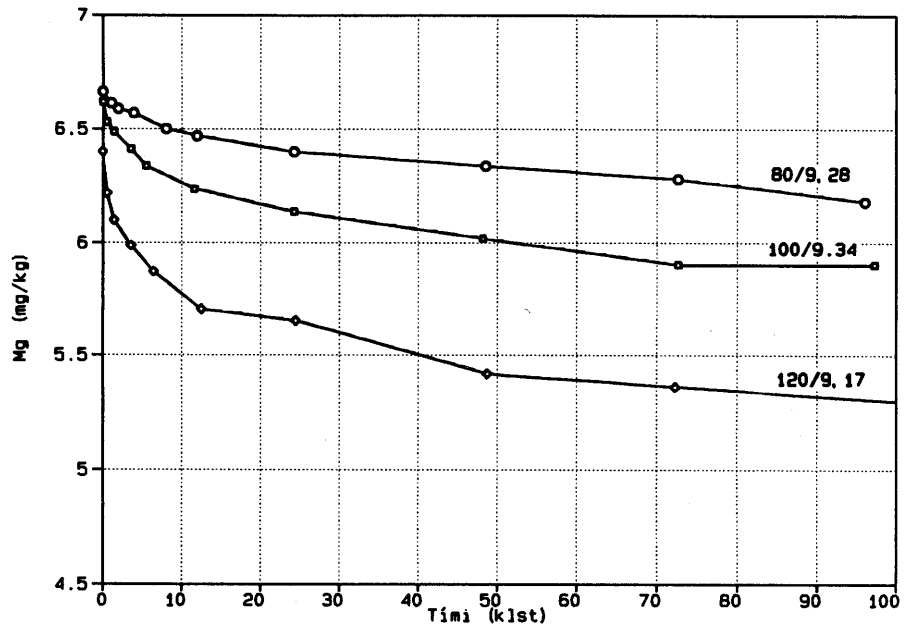
Sýrustigið var lækkað með því að blæða gufu inn í afloftunarsúlu og það hækkað með því að bæta nokkrum milligrömmum af NaOH í hylkið.

### 3 NIÐURSTÖÐUR

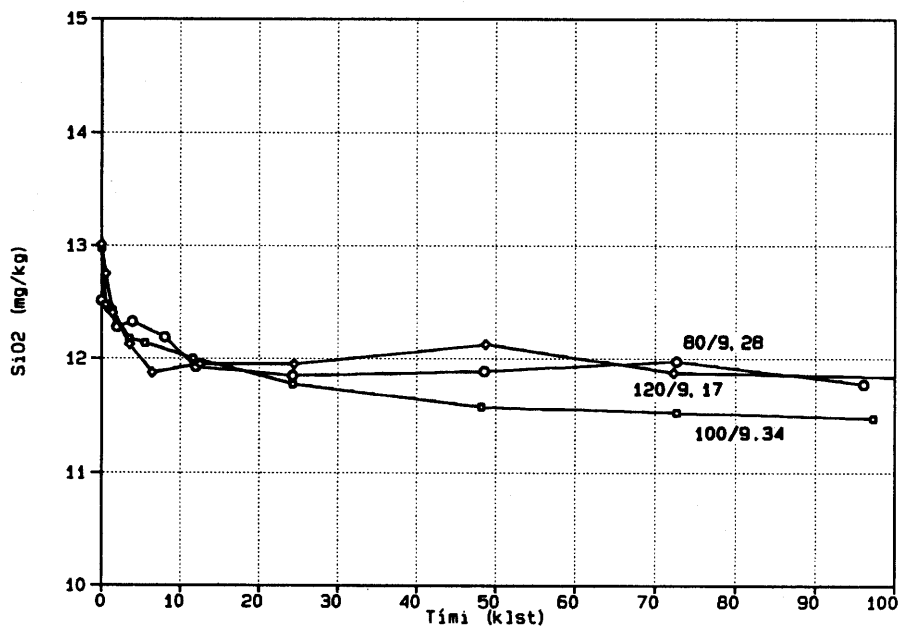
Niðurstöður tilraunanna á Grafarholti við 60 °C eru birtar í viðauka 1 og tilraunanna í Svartsengi í viðauka 2. Hér á eftir verður stiklað á helstu niðurstöðum tilraunanna.

#### 3.1 Magn útfellinga

Myndir 3.1 og 3.2 sýna breytingar í styrk magnesíums og kísils á þeim fjórum sólarhringum sem tilraunirnar stóðu, við breytilegt hitastig en án sýrustigsstýringar.



**Mynd 3.1**  
Styrkur magnesíums (Mg) á móti tíma, engin pH stýring.



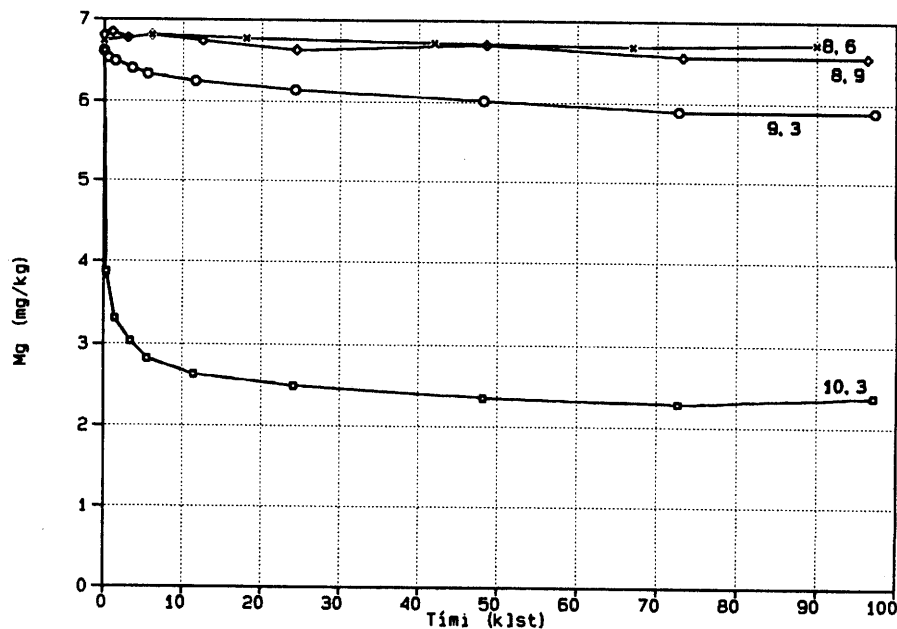
**Mynd 3.2**  
Styrkur kísils (SiO<sub>2</sub>) á móti tíma, engin pH stýring.

Styrkbreytingarnar voru mestar fyrsta sólarhringinn en hægðu verulega á sér eftir það,

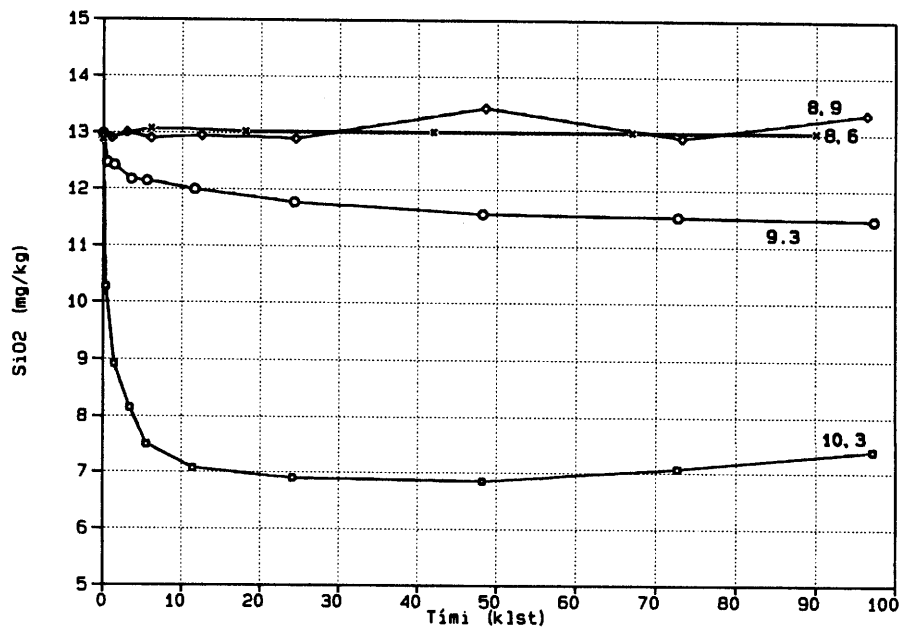
þannig að sýndarjafnvægi náðist. Hraði breytinganna var meiri við hærra hitastig og meira magnesíum féll út við hærri hita. Við 80 °C samsvarar styrkminnkun því að 1,8 mg af  $MgOSiO_2 \cdot H_2O$  hafi fallið úr hverjum lítra vatns, við 100 °C 3,1 mg og við 120 °C 4,4 mg á fjórum sólarhringum. Áhrif hitastigshækkunar á magn útfellinga kísils voru ekki eins mikil. Við 120 °C hætti styrkur kísils að minnka eftir um 6 tíma en magnesíum féll áfram út. Styrkminnkun kísils við 120 °C varð svipuð og við 80 °C en mesta minnkun kísilstyrks varð við 100 °C.

Myndir 3.3 og 3.4 sýna styrkbreytingar í tilraunum gerðum við 100 °C með breytilegu upphafssýrustigi.

**Mynd 3.3**  
Styrkur magnesíums (Mg) á móti tíma, við 100 °C.



**Mynd 3.4**  
Styrkur kísils ( $SiO_2$ ) á móti tíma, við 100 °C.



Áhrif sýrustigs eru greinileg. Í afloftuðu vatni en án íblöndunar gufu eða lúts (pH 9,34) þá samsvarar styrkminnkun magnesíums (Mg) og kísils (SiO<sub>2</sub>) að um 3,1 milligrömm af magnesíum-silfíki hafi fallið úr hverjum lítra vatns á þeim fjórum sólarhringum sem tilraunin stóð yfir. Þegar sýrustig var lækkað niður fyrir pH 8,9 þá urðu engar breytingar í styrk kísils og magnesíums og ekkert magnesíum-silikat féll því út. Þegar sýrustigið var hækkað í pH 10, féllu 14-15 mg af magnesíum-silfíki úr hverjum lítra vatns.

Eftirfarandi tafla sýnir þær styrkbreytingar sem urðu á fjórum dögum í vatninu í tilrauninum í Svartsengi.

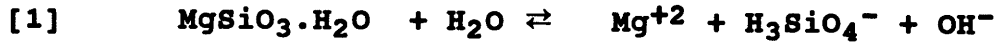
**Tafla 3.1** Styrkbreytingar á 4 sólarhringum.

Tilr. nr:	Hitastig (°C)	Upphafs pH	Breyting eftir 4 sólarhringa					
			pH	Mg (mg/kg)	Ca (mg/kg)	SiO <sub>2</sub> (mg/kg)	Mg:Si	MgSiO <sub>3</sub> (mg/kg)
A51	80	9,28	-0,26	-0,48	+0,3	-0,8	1,5	1,8
B51	80	8,97	-0,10	+0,05	+0,3	-0,3	-	0,3
B52	100	10,25	-0,89	-4,25	0,0	-5,6	1,9	3,1
A52	100	9,34	-0,36	-0,72	+0,2	-1,5	1,2	14,3
A53	100	8,92	-0,13	-0,25	+0,2	+0,5	-	-0,2
B53	100	8,58	+0,18	-0,01	0,0	+0,1	-	-0,2
B54	120	9,95	-1,07	-3,86	+0,3	-3,5	2,7	4,4
A54	120	9,17	-0,47	-1,14	+0,4	-1,1	2,6	11,0
A55	120	8,90	-0,27	-0,98	-0,1	-1,0	2,4	3,0
B55	120	8,56	-0,12	-0,58	+0,2	-0,1	-	1,1

Hlutfall magnesíums og kísils í styrkminnkun var breytilegt en yfirleitt hærra en í tilrauninum á Grafarholti og á það sérstaklega við um tilraunir sem gerðar voru við 120 °C. Í tilraunum á Grafarholti var Mg:Si hlutfallið á bilinu 0,5 til 2 og að jafnaði í kringum 1. Í tilrauninum í Svartsengi var hlutfallið að jafnaði í kringum 1,5 við 80 og 100 °C en við 120 °C var hlutfallið að jafnaði um 2,5.

### 3.2 Leysnijafnvægi

Leysni magnesíum-silíkatútfellinga er einfaldast að lýsa með eftirfarandi heildar-efnajafnvægi:



með leysnifastann við jafnvægi:

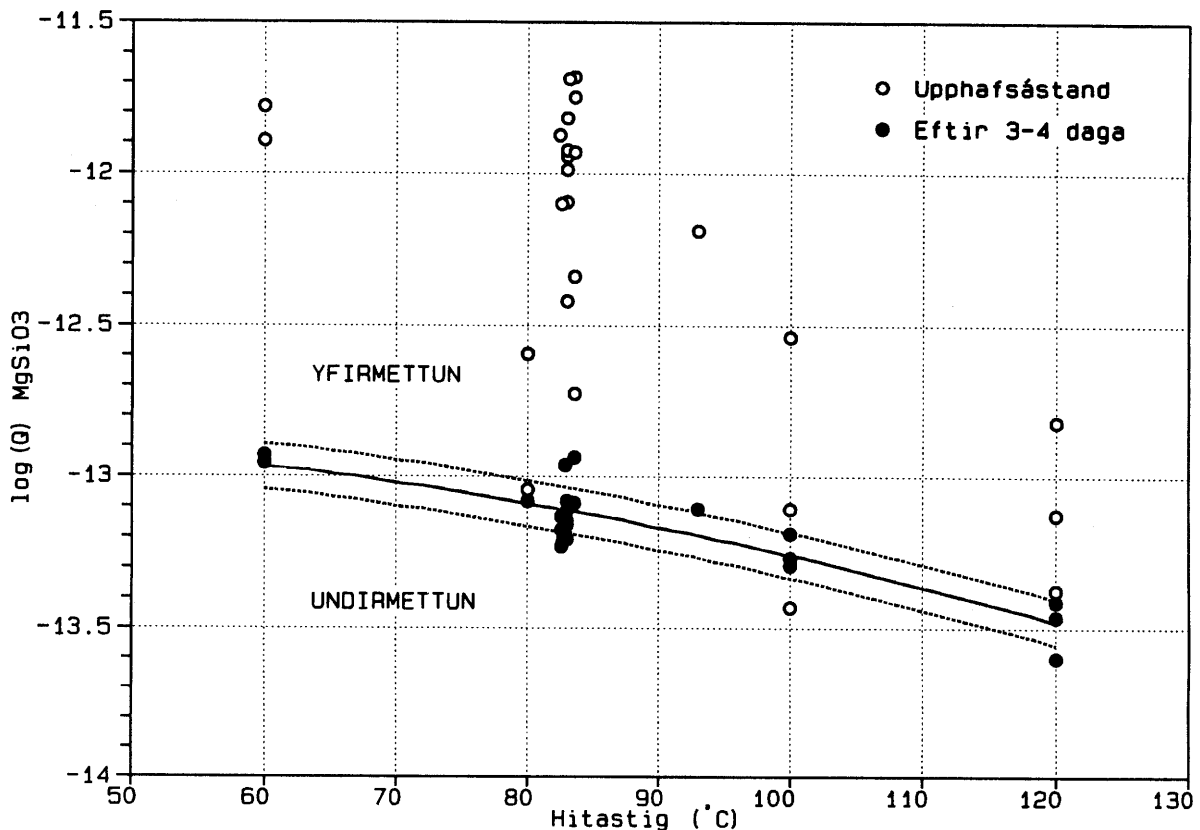
$$[2] \quad K_{\text{SP}} = (\text{Mg}^{+2}) \cdot (\text{H}_3\text{SiO}_4^-) \cdot (\text{OH}^-)$$

Út frá efnagreiningu sýnis af vatni er hægt að reikna jónamargfeldi magnesíum-silíkats í vatninu.

$$[3] \quad Q = (\text{Mg}^{+2}) \cdot (\text{H}_3\text{SiO}_4^-) \cdot (\text{OH}^-)$$

Ef jónamargfeldið (Q) er hærra en leysnifastinn ( $K_{\text{SP}}$ ) þá er vatnið yfirmettað og magnesíum-silíkatútfellingar geta myndast.

Á mynd 3.5 er jónamargfeldið sýnt, sem fall af hitastigi bæði fyrir tilraunir gerðar á Grafarholti og í Svartsengi.



Mynd 3.5 Jónamargfeldi sem fall af hitastigi.

Niðurstöður efnagreininga sýna úr tilraununum voru færðar inn í forritið VDATA, sem reiknar ofangreint margfeldi og tekur tillit til jónastyrks vatnsins, klofnunar kísilsýru ásamt komplexmyndunar magnesíums og kísils og fleiri efna í vatninu.

Opin tákni eru margfeldi fyrir sýni, sem tekin voru úr hylkinu um leið og því var lokað, og fylltu tákni eru fyrir sýni, sem tekin voru úr hylkinu eftir að blandan hafði mallað í því í 3 til 4 daga.

Fyrst eftir blöndun var margfeldið mun hærra en leysnifastinn og blöndurnar yfirmettaðar. Eftir nokkra daga hafði nægilegt magnesíum-silíkat fallið úr lausnunum til þess að þær væru nálægt því í jafnvægi.

Dregin var besta nálgun í gegnum punktana og sýnir brotna línan staðalfrávik þeirrar nálgunar. Heildregna línan sýnir besta mat á leysnifastanum ( $K_{sp}$ ), sem er jónamargfeldi ofangreinds efnahvarfs við sýndarjafnvægi, þ.e. þegar breytingar í efnastyrk verða svo hægar að þær skipta ekki máli tæknilega séð. Leysnifastar, sem fengust úr tilraununum í Svartsengi (80, 100 og 120 °C), eru í stórum dráttum í góðu samræmi við þá fasta, sem fengust í tilraununum á Grafarholti (60, 83 og 93 °C). Leysnifastinn lækkar með hækkandi hita á hitabilinu 60 til 120 °C, sem þýðir að hætta á útfellingu eykst.

Eftirfarandi jafna sýnir samband leysnifastans og hitastigs á hitabilinu 60 til 120 °C.

$$[4] \quad \log(K_{sp}) = -12.90 + 0.00262 * T - 6.212E-05 * T^2$$

**$K_{sp}$ : Leysnifasti (mól/l)<sup>3</sup>**

**T: Hitastig (°C)**

Þessir jafnvægisreikningar gera ráð fyrir að jafna [1] lýsi sýndarjafnvægi því, sem næst, þegar myndlaust magnesíumsilíkat fellur úr lausn. Jafna [1] er efnahvarf magnesíum- og kísiljóna í hlutfallinu 1:1. Ekki er tekið tillit til breytilegs hlutfalls magnesíums og kísils í myndefninu, enda gefa fyrirliggjandi gögn ekki tilefni til þess að ætla breytilegt Mg:Si hlutfall í myndefni hafi veruleg áhrif á niðurstöðuna.

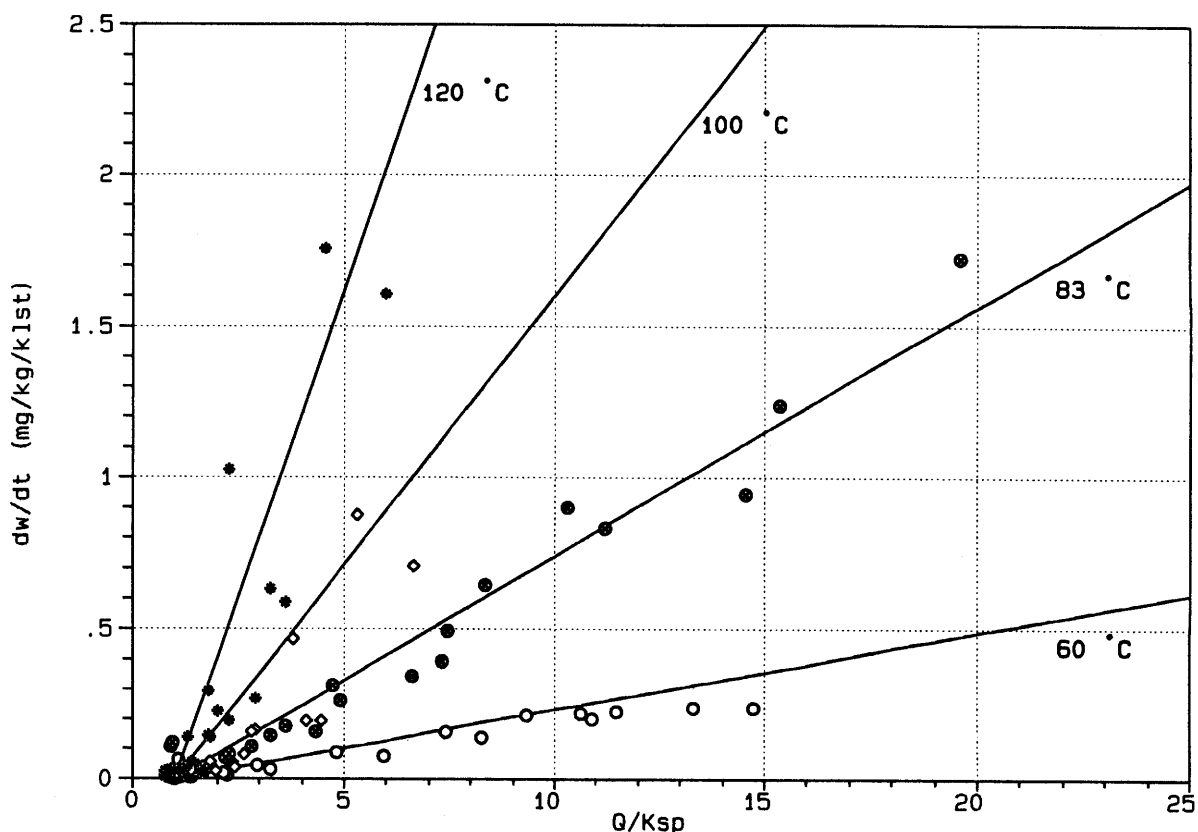


### 3.3 Útfellingarhraði

Dvalartími hitaveituvatnsins í veitukerfum Hitaveitu Suðurnesja og Reykjavíkur er innan við einn sólarhringur og því mikilvægt að geta sagt fyrir um hraða útfellinganna fyrst eftir afloftun, en ekki aðeins magn útfellinga, sem fellur út á fjórum sólarhringum.

Í tilraunum á Grafarholti við 83 og 93 °C var sýnt fram á línulegt samband milli yfirmettunarhlutfalls ( $sMgSiO_3 = Q/K_{sp}$ ) og hraða styrkminnkunar ( $dw/dt$ , mg/kg/klst).

Á mynd 3.6 er sýnt samband hraða útfellingar og yfirmettunarhlutfalls í tilraunum við 60 og 83 °C á Grafarholti og 100 og 120 °C í Svartsengi.



Mynd 3.6 Útfellingarhraði sem fall af yfirmettun.

Í tilraunum gerðum á Grafarholti við 60 °C kom fram greinileg línuleg fylgni milli hraða og yfirmettunar eins og áður fékkst við 83 °C. Í Svartsengi var þetta samband ekki línulegt eins og í tilraununum á Grafarholti því þar voru styrkbreytingar minni og því meiri óregla í niðurstöðunum. Frávik frá línulegu sambandi voru mest við hátt hitastig og hátt upphafssýrustig. Hraðinn minnkaði í fyrstu mjög ört ef sýrustigið var hátt, sem gæti bent til þess að hvarfleið við sýrustig nálægt pH 10 sé ekki sú sama og við sýrustig um pH 9.

Samkvæmt tilraunum á Grafarholti við 83 og 60 °C er örvunarorka hvarfsins á því hitabili um 50 kJ/mól og lýsa eftirfarandi jöfnur hraðasambandinu, en hraði útfellingar fer stigvaxandi með hækkandi hitastigi.

$$[5] \quad dw/dt = k (Q/Ksp-1) \quad k = A \exp(-E/RT)$$

**A:** fasti  $1,8 \times 10^6$  (mg/kg/klst)

**E:** örvunarorka 50000 (J/mól)

**R:** gasfasti 8,314 (J/K/mól)

**T:** hitastig (K)

Heildregnu línurnar á mynd 3.6 voru dregnar samkvæmt þessum fasta fyrir hitastigin 60, 83, 100 og 120 °C.

Þrátt fyrir að tilraunaniðurstöðurnar úr Svartsengi séu ekki línulegar þá er hraðinn ekki fjarri þeim hraða, sem jafna Arrheniusar gefur við þessi hitastig. Það ætti því að vera hægt að notast við þann fasta til að meta gróflega áhrif hitastigs á útfellingarhraða við hærri hita en 80 °C, sérstaklega ef sýrustig er ekki mjög hátt.

Taka ber fram að þessar niðurstöður gilda í raun aðeins fyrir samskonar streymis- aðstæður og í tilraunabúnaðinum. Slíkar aðstæður er helst að finna í þröngum pípum með nokkrum rennslisraða en síður í stofnæðum. Í stofnæðum þar sem hlutfall rúmmáls og veggyfirborðs er hátt gefur þessi líking væntanlega of mikinn útfellingarhraða.

### 3.4 Sýni úr vinnslurás

Tekin voru sýni úr vinnslurásum orkuversins í Svartsengi til samanburðar við tilraunaniðurstöður. Niðurstöðurnar eru birtar í eftirfarandi töflu.

**Tafla 3.2** Efni í vatni, sýni úr vinnslurás, 3/11 92.

Staður	Hitast. (°C)	pH	----Efnastyrkur (mg/kg)-----										sMgSiO <sub>3</sub> (Q/Ksp)
			Basi (OH)	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	SiO <sub>2</sub>	Na	K	Ca	Mg	SO <sub>4</sub>	Cl	
Ferskvatn	25,5	7,76	8,4	22,3		14,7	35,6	1,6	8,6	7,38	10,0	73,9	0,00
<b>Orkuver 1</b>													
Rás 1	100,0	8,90	5,8	12,8	0,00	14,7	35,5	1,6	8,6	7,32			1,83
Rás 2	100,0	9,05	5,8	12,2	0,00	14,9	36,3	1,7	8,7	7,47			2,96
Rás 3	100,0	8,86	5,6	12,5	0,00	14,9	36,1	1,7	8,7	7,37			1,63
Rás 4	100,0	9,11	5,6	11,3	0,00	13,7	36,1	1,6	8,8	7,48			3,12
<b>Orkuver 2</b>													
Rás 6 *)	80,0	8,97	5,4	11,6	0,14	12,9	33,3	1,5	7,8	6,67			1,11
Rás 7	73,9	8,81	5,1	11,6	0,09	13,8	32,9	1,7	7,9	6,67			0,59
Rás 8	78,6	8,85	5,1	11,3	0,07	13,6	33,2	1,6	8,1	6,74			0,74

\*) Sýni tekið 5/8 92.

Ef styrkur natríums (Na) er borinn saman, annars vegar í ferskvatni og hinsvegar í afloftuðu vatni, sést hversu mikil gufa hefur soðið úr eða þéttst í vatninu.

Í orkuveri 1 var natríumstyrkurinn hærri en í ferskvatninu, nema í rás 1 þar sem hann var sá sami. Vegna þess að hola 10 gefur enga lágþrýstigufu, þá er magn hennar nú hlutfallslega minna, en gert var ráð fyrir við hönnun orkuvers 1, og því ekki hægt að forhita vatnið með beinni íblöndun við ferskvatnið nema í einni rás. Í hinum rásum orkuvers 1 er vatnið hitað óbeint í plötuhiturum í 105 °C og látið sjóða í 100 °C. Við það hækkar styrkur steinefna í vatninu um 1 %. Þegar forhitun í orkuveri 1 er sleppt, þá eykst hætta á útfellingum magnesíum-silífkata. Þegar sýnin voru tekin var sýrustigið á bilinu 8,9 - 9,1 í rásum orkuvers 1 og vatnið var yfirmettað við afloftunarhitastig 100 °C. Sjá síðasta dálk í töflu 3.2, en hann sýnir yfirmettunarhlutfallið sMgSiO<sub>3</sub>. Þegar hlutfallið er hærra en 1 þá er vatnið yfirmettað en undirmettað ef sMgSiO<sub>3</sub> er lægra en 1.

Styrkur natríums í rásum í orkuveri 2 var lægri en í ferskvatninu. Í afloftunarsúlum orkuvers 2 þéttist lágþrýstigufa í ferskvatninu og við það minnkar styrkur steinefna í vatninu um 10 %. Þéttivatn, sem bætist í hitaveituvatnið, er þó minna, en var, áður en Ormatvélnar voru teknar í notkun, vegna þess að nú er ferskvatnið heitara, eða um 25 °C, þegar það streymir inn í afloftunarsúlurnar. Miðað við 7°C ferskvatnshita og 80 °C afloftunarhita þá þéttist 13% gufa í afloftaranum. Hætta á útfellingu hefur því aukist eftir að inntakshitastig hækkaði. Þegar sýnin voru tekin var sýrustig á bilinu 8,8 til 9,0 og var vatnið undirmettað eða rétt yfir mörkunum við afloftunarhitastig.

Árið 1983 voru einnig tekin sýni úr rásum 6,7 og 8. Þá mældist styrkur steinefna lægri

en nú og var styrkur magnesíums (Mg) um 5,9 mg/kg samanborið við 6,7 mg/kg núna. Þessi munur er meiri en svo að hann megi skýra með hærri ferskvatnshita eingöngu, því sú breyting skýrir aðeins 0,2 mg/kg hækkun. Styrkur steinefna í ferskvatninu hefur því hækkað síðan 1983 og er hér því væntanlega komin skýringin á því að útfelling magnesíum-silíkata var orðin meira áberandi nú en var fyrstu árin. Haustið 1991 var magnesíumstyrkur 7,2 mg/kg í ferskvatninu (Trausti Hauksson 1991), en nú ári seinna mældist hann 7,4 mg/kg. Ástæða er til þess að fylgjast vel með styrk steinefna í ferskvatnsholum og taka út holur sem gefa vatn með háan steinefnastyrk.

Tekin voru sýni úr Njarðvíkur- og Grindavíkuræð í þeim tilgangi að kanna hvort styrkminnkun og útfelling magnesíum-silíkats ætti sér stað við núverandi aðstæður. Í eftirfarandi töflu er sýndur mældur efnastyrkur í Njarðvíkur- og Grindavíkuræð.

Tafla 3.3 Efni í vatni, sýni úr stofnæðum, 18/11/92.

Staður	Hitast. (°C)	----Efnastyrkur (mg/kg)-----											sMgSiO <sub>3</sub> (Q/Ksp)
		Basi pH/25°C	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	SiO <sub>2</sub>	Na	K	Ca	Mg	SO <sub>4</sub>	Cl		
<b>Grindavíkuræð</b>													
Svartsengi	83,3	8,84	5,5	12,5	0,00	14,4	34,6	1,6	8,3	7,12	10,2	70,9	0,94
Grindavík	79,5	8,87	5,7	12,8	0,00	14,3	36,5	1,6	8,3	7,08	14,4	70,5	0,94
<b>Njarðvíkuræð</b>													
Svartsengi	105,0	8,95	5,4	11,7	0,00	13,9	34,1	1,6	8,2	6,88	10,0	69,6	2,01
Njarðvík	102,6	8,85	5,2	11,8	0,00	13,6	33,9	1,6	8,2	6,63	10,7	69,3	1,34

Þegar sýnin voru tekin þá mældist engin yfirmettun í Grindavíkuræð. Grindavíkuræð var tengd inn á rás 1 í orkuveri 1. Nær öll lágþrýstigufan var notuð í forhitara rásar 1 og var ferskvatnið forhitað með gufuþblöndun úr 25 í 41 °C. Vatnið var hitað í 105,6 °C og látið sjóða við 100 °C. Sýrustig var lækkað með gufuþblöndun í afloftara í pH 8,84. Magnesíum mældist 7,12 mg/kg sem samsvarar því að um 4 % gufa hafi þéttst í vatninu. Vatnið í æðinni var undirmetað (sjá síðasta dálk í töflu 3.3). Styrkur magnesíums í vatninu hafði minnkað um 0,04 mg/kg á leiðinni til Grindavíkur, sem ekki er marktæk minnkun.

Í Njarðvíkuræð reiknast nokkur yfirmettun í vatninu þrátt fyrir að sýrustig vatnsins hafi aðeins verið um pH 8,95. Hitastig var 105 °C þannig að leysni magnesíum-silíkats var minni en í afloftara við 80 °C. Í dælustöð að Fitjum í Njarðvík hafði styrkur magnesíums minnkað um 0,25 mg/kg og einnig kom fram lækun í sýrustigi og styrkur kísils minnkaði. Samkvæmt því hefur magnesíum-silíkat fallið út úr vatninu á leið þess frá Svartsengi til Fitja. Ef gert er ráð fyrir því að öll útfellingin setjist jafnt innan á rörið alla leiðina þá samsvarar styrkminnkunin um 0,2 mm skeljun á einu ári.

### 3.5 Þrýstifall í stofnæðum

Árið 1983 var þrýstifall í Njarðvíkuræð mælt og flutningsgeta hennar metin (Trausti Hauksson, 1983). Samskonar mælingar voru gerðar núna, og einnig var þrýstifall mælt í Grindavíkuræð.

#### 3.5.1 Njarðvíkuræð

Rennsli í Njarðvíkuræð var ákvarðað með hitaferlun, þ.e. hitastig var hækkað lítilsháttar og fylgst með því hvenær hækkunin kom fram í dælustöðinni á Fitjum í Njarðvík. Hitapúlsinn var 163 mínútur á leiðinni og miðað við rúmmál pípu 2340 m<sup>3</sup> var rennslið 239 l/s. Eftirfarandi tafla sýnir niðurstöður þessara mælinga.

Tafla 3.4 Mælingar í Njarðvíkuræð

	Fjarlægð frá Svartsengi (m)	Hæð yfir sjó (m)	Þrýstingur (barg)	Hita- stig (°C)	Athugasemd
1	319	30,90	2,85	105,0	Fyrsti lofttæmistútur á æð.
2	4057	28,75	2,09		Hjá Gjánni. Lofttæming eftir festu.
3	9101	19,90	1,85		Fyrsti lofttæmist norðan girðingar.
4	11727	4,45	2,69	102,6	Brunnur austan við Fitjastöð.

Þvermál pípu er 493,8 mm og er reiknað með að hryfi í nýrri pípu sé 0,045 mm. Flutningsgeta er sett fram sem hlutfall rennslis í pípunni af rennsli í nýrri pípu með sama þrýstifalli.

Tafla 3.5 Flutningsgeta Njarðvíkuræðar (ID=493,8 mm, Q=239 l/s)

	Lengd pípu-kafla (m)	Ein. mót-stöður (*)	Þrýstifall Mælt (bar)	Ný pípa (bar)	Flutningsgeta (%)
1-2	3738	2	0,96	0,72	87
2-3	5044	2	1,07	0,98	95
3-4	2626	2	0,62	0,52	92

\*) Þrýstifall vegna loka, beygja o.s.fr. (t.d. spjaldloki opinn K=0,24, 90° beygja K=0,75 o.s.fr)

Árið 1983 var flutningsgeta 82, 98 og 94 % þannig að flutningsgetan hefur ekki minnkað marktækt síðan þá. Flutningsgeta fyrsta kaflans 1-2 er meiri en 1983. Hún var og er þar marktækt lægri en í nýrri pípu og samsvarar þrýstifallið í pípunni nú um 0,25 mm hryfi.

Ekki er hægt að sjá merki skeljunar í pípunni í samsvarandi mæli og niðurstöður

efnagreininga í kafla 3.4 gáfu til kynna, því ef skeljun væri 0,2 mm á ári í nokkur ár þá myndi það hafa veruleg áhrif á flutningsgetuna, en hún var meiri núna fyrstu 4 km æðarinnar en mældist 1983. Taka ber fram að þrýstifall fyrstu 319 metrana var ekki mælt en þar er mest hætta á útfellingu, sérstaklega í lokum, tengingum og beygjum við orkuverið.

### 3.5.2 Grindavíkuræð

Flutningsgeta Grindavíkuræðar hefur ekki verið ákvörðuð áður. Samkvæmt mælum í stjórnstöð var rennsli frá stöð að geymi 27 l/s, en rennsli frá geymi var óþekkt. Eftirfarandi tafla sýnir mælingar á þrýstingi og hita í æðinni.

Tafla 3.6 Mælingar í Grindavíkuræð

Fjarlægð frá Svartsengi (m)	Hæð yfir sjó (m)	Þrýstingur (barg)	Hita- stig (°C)	Athugasemd
1 0	24,20	3,85	83,3	Orkuver 1, pipa við norðurvegg.
2 1300	54,20	0,49	82,0	Vatnshæð í tanki 4,8 m.
3 4100	13,40	1,85	79,5	Brunnur við Festi. Mælt við lok.

Tafla 3.7 Flutningsgeta Grindavíkuræðar (ID=263 mm, Q=27 l/s)

	Lengd pípu-kafla (m)	Ein. mót-stöður (*)	Þrýstifall Mælt (bar)	Ný pípa (bar)	Flutnings- geta (%)
1-2	1300	5	0,54	0,10	43
2-3	2800	5	1,25	-	-

\*) Þrýstifall vegna loka, beygja o.s.fr. (t.d. spjaldloki opinn K=0,24, 90° beygja K=0,75 o.s.fr)

Flutningsgeta Grindavíkuræðar frá Svartsengi að geymi var aðeins 43% af flutningsgetu nýrrar pípu.

Þar sem rennsli frá geymi að Grindavík var ekki þekkt er ekkert hægt að segja um flutningsgetu þess hluta pípunnar.

## 4 TILLÖGUR

### 4.1 Sýrustig hitaveituvatns

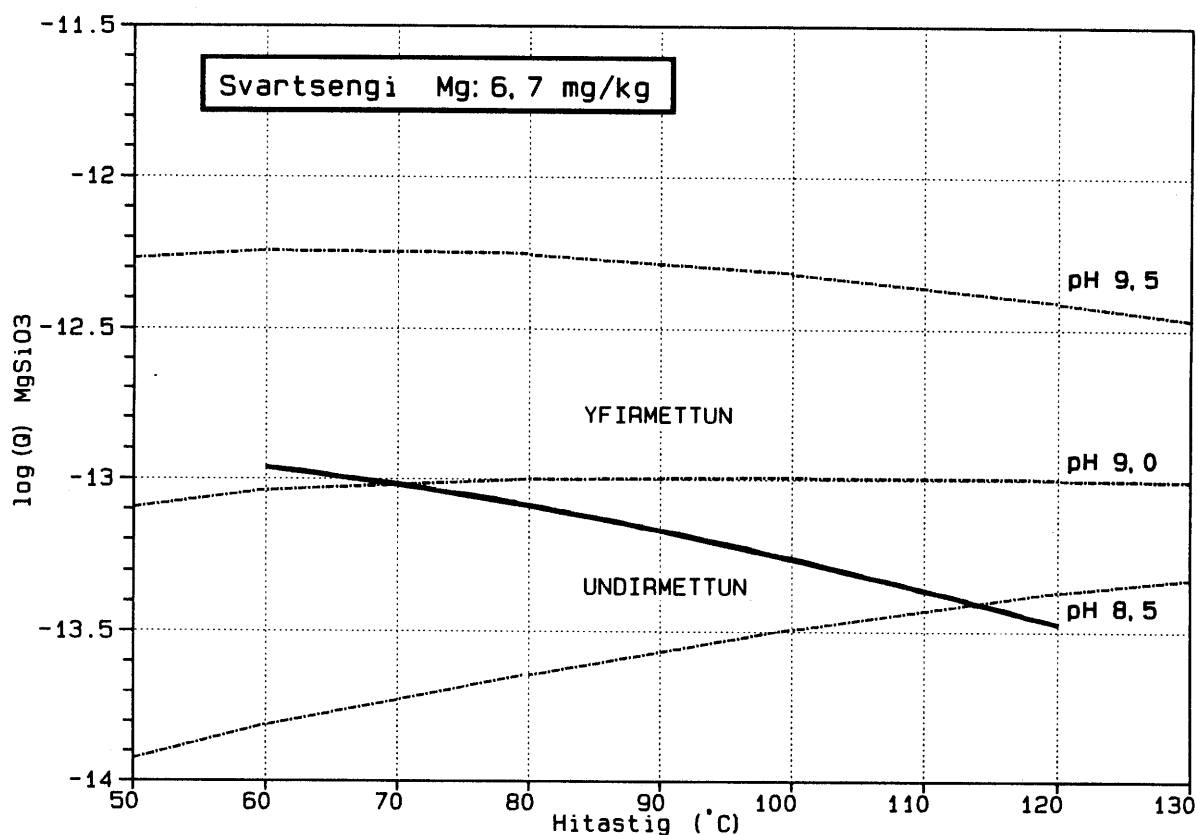
Leysnifasta leysnifasta myndlauss magnesíum-silíkats, sem ákvarðaður var í tilraununum (jafna [4] í kafla 3.2), er hægt að nota til þess að reikna yfirmettun í afloftuðu vatni með þekktu efnasamsetningu en breytilegt hitastig og sýrustig.

Hraði útfellinganna eykst línulega með yfirmettunarhlutfalli og stig vex með hækkandi hitastigi. Jöfnu [5] í kafla 3.3 er hægt að nota til þess að reikna útfellingarhraða við breytilegt hitastig og sýrustig.

Hér á eftir verður fjallað um orkuverin á Nesjavöllum og í Svartsengi með tilliti til áhrifa sýrustigs hitaveituvatnsins á útfellingarhættu.

#### 4.1.2 Svartsengi

Eftirfarandi mynd sýnir jónamargfeldi hitaveituvatns í orkuveri 2 í Svartsengi sem fall af hita- og sýrustigi.



Mynd 4.1 Jónamargfeldi sem fall af sýrustigi og hitastigi. Svartsengi.

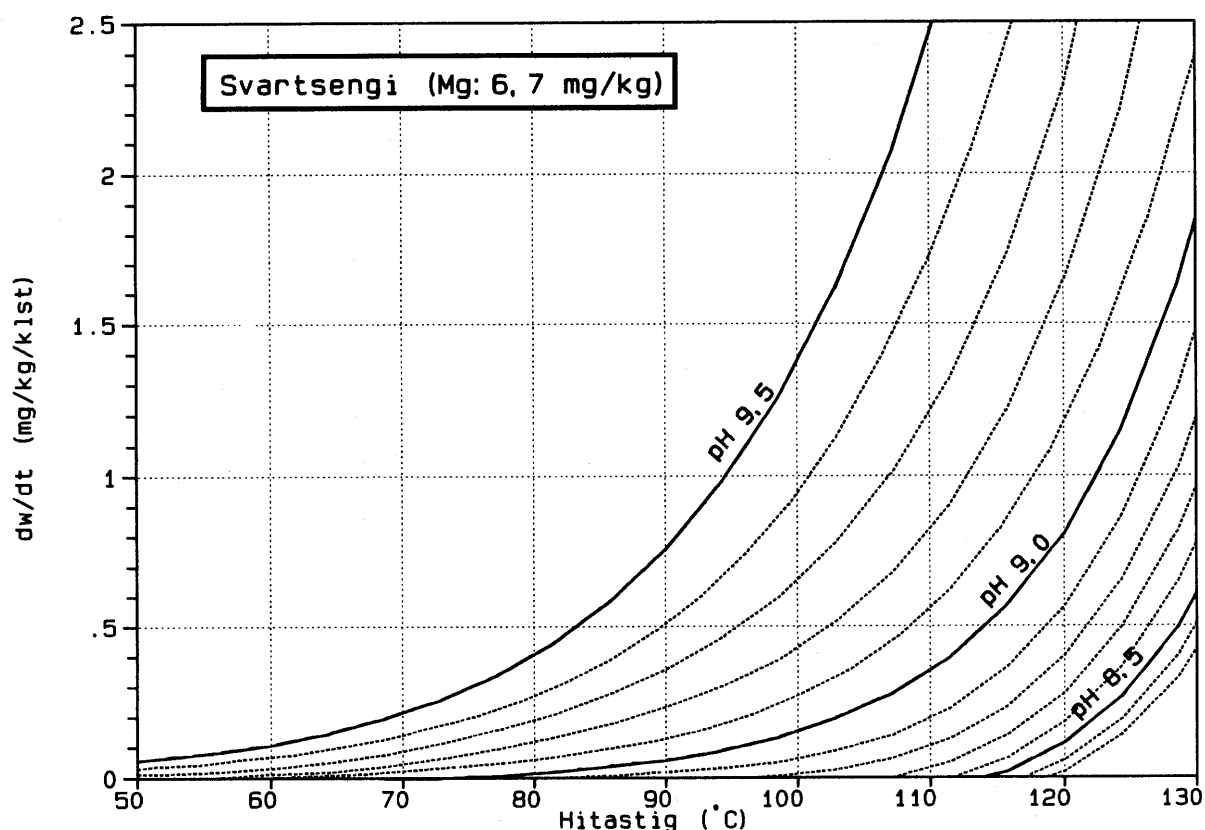
Heildregna þykka línar sýnir leysnifasta myndlauss magnesíum-silíkats en brotnu línurnar sýna jónamargfeldi í afloftuðu vatni í orkuveri 2 í Svartsengi (sýni úr rás 6). Ef t.d. vatnið er afloftað við 70 °C og sýrustig stillt á pH 9,0 þá verður vatnið mettað og því ekki

hætta á útfellingu magnesíum-silíkats í afloftara. Þegar vatnið er síðan hitað í eftirhitara þá verður jónamargfeldið hærra en leysnifasti myndlauss magnesíum-silíkats, og hætta verður á útfellingu. Ef sýrustigið hækkar í pH 9,5 þá verður vatnið yfirmettað við öll hitastig. Ef það er lækkað í pH 8,5 þá má hita vatnið í 115 °C án þess að það verði yfirmettað.

Ef styrkur steinefna er hærri en í rás 6, t.d. eins og í rásum í orkuveri 1, þar sem engin forhitun á sér stað, þá verður hætta á útfellingu meiri, og þarf þá að lækka sýrustig enn frekar, til þess að stöðva þær örugglega.

Lagt er til að sýrustig vatns út af afloftunarsúlum sé stillt á sýrustig, sem er nægilega lágt, til þess að engin útfellingarhætta verði í Njarðvíkur- og Grindavíkuræð við viðkomandi útrásarhitastig. Miðað við 105 °C útrásarhitastig til Njarðvíkur má sýrustig vatnsins ekki vera hærra en 8,7 til þess að útiloka útfellingar. Ástæða er þó til þess að fylgjast vel með áhrifum sýrustigslækkunar á tæringu í veitukerfinu.

Á mynd 4.2 er reiknaður útfellingarhraði sýndur sem fall af hita- og sýrustigi fyrir sýni úr rás 6 í orkuveri 2.



Mynd 4.2 Útfellingarhraði sem fall af sýrustigi og hitastigi. Svartsengi.

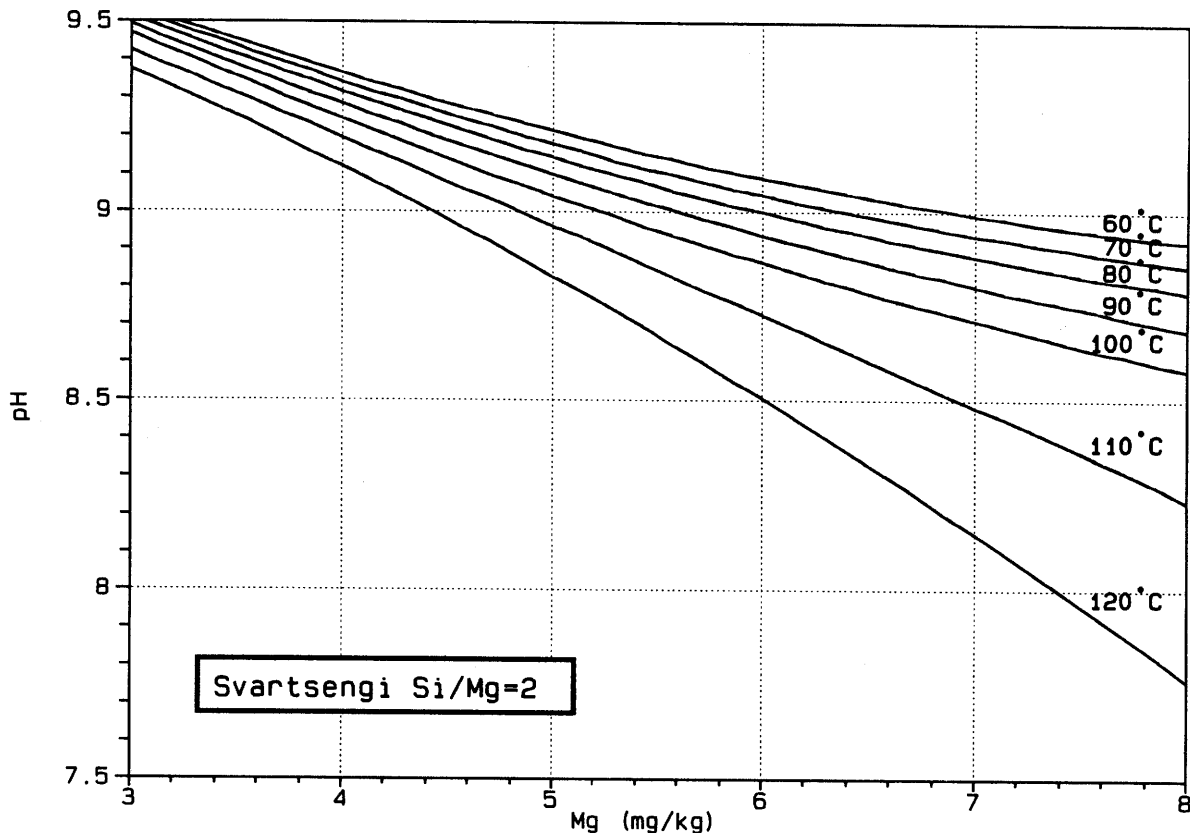
Mynd 4.2 er hægt að nota til þess að meta útfellingarhættu í afloftunarsúlum, eftirhiturum og veitukerfi ef sýrustig og hitastig eru þekkt og gert er ráð fyrir að efnasamsetning vatnsins sé svipuð og var sumarið 1992.

Áhrif sýrustigshækkunar eru meiri við hærri hitastig. T.d. eykst útfellingarhraði þrefalt



meira við hækkun úr pH 9,0 í pH 9,5 við 100 °C heldur en 80 °C. Mestur útfellingarhraði er því í eftirhiturum og þá sérstaklega við heitt yfirborð plötuhtaranna, sem hitaðir eru með gufu sem yfirhitast við þrýstilækkun úr ca 5 til 6 bara þrýstingi í 2 til 4 bör. Yfirhitunin hverfur væntanlega fljótt þegar gufan snertir kalt yfirborð plötuhtaranna en þó er hugsanlegt að vatnshitinn verði hæstur næst inntaki gufunnar. Ráð væri að lækka inntakshitastig gufunnar, t.d. með því að hringdæla þéttivatni í gegnum þá og eyða yfirhitun við inntaksþrýsting. Þrátt fyrir að varmaflutningsgeta plötuhtaranna verði lítilsháttar minni vegna minni hitamunar, þá ætti það ekki að koma að sök vegna stærðar þeirra, en stærð þeirra tekur mið af útfellingu magnesíum-silífkats, sem minnkar varmaflutningsgetu þeirra jafnt og þétt.

Mynd 4.3 sýnir hæsta leyfilegt sýrustig sem fall af styrk magnesíums við nokkur hitastig. Gert er ráð fyrir að styrkur magnesíums, sem hlutfall af heildarstyrk steinefna, sé eins og í ferskvatnssýni sem tekið var úr pípu við inntak orkuversins í Svartsengi (Tafla 3.2).



Mynd 4.3 Hámarkssýrustig sem fall af magnesíumstyrk og hita. Svartsengi

Styrkur magnesíums í afloftuðu vatni í orkuveri 2, en þar þéttist gufa í vatnið í afloftaranum, mældist nú um 6,7 mg/kg og í orkuveri 1 án forhitunar mældist styrkur magnesíums nú um 7,5 mg/kg.

Eftirfarandi tafla sýnir reiknað jafnvægissýrustig í orkuveri 1 í Svartsengi án forhitunar annarsvegar, og í orkuveri 2 hins vegar.

**Tafla 4.1** Svartsengi, pH-MgSi\*.

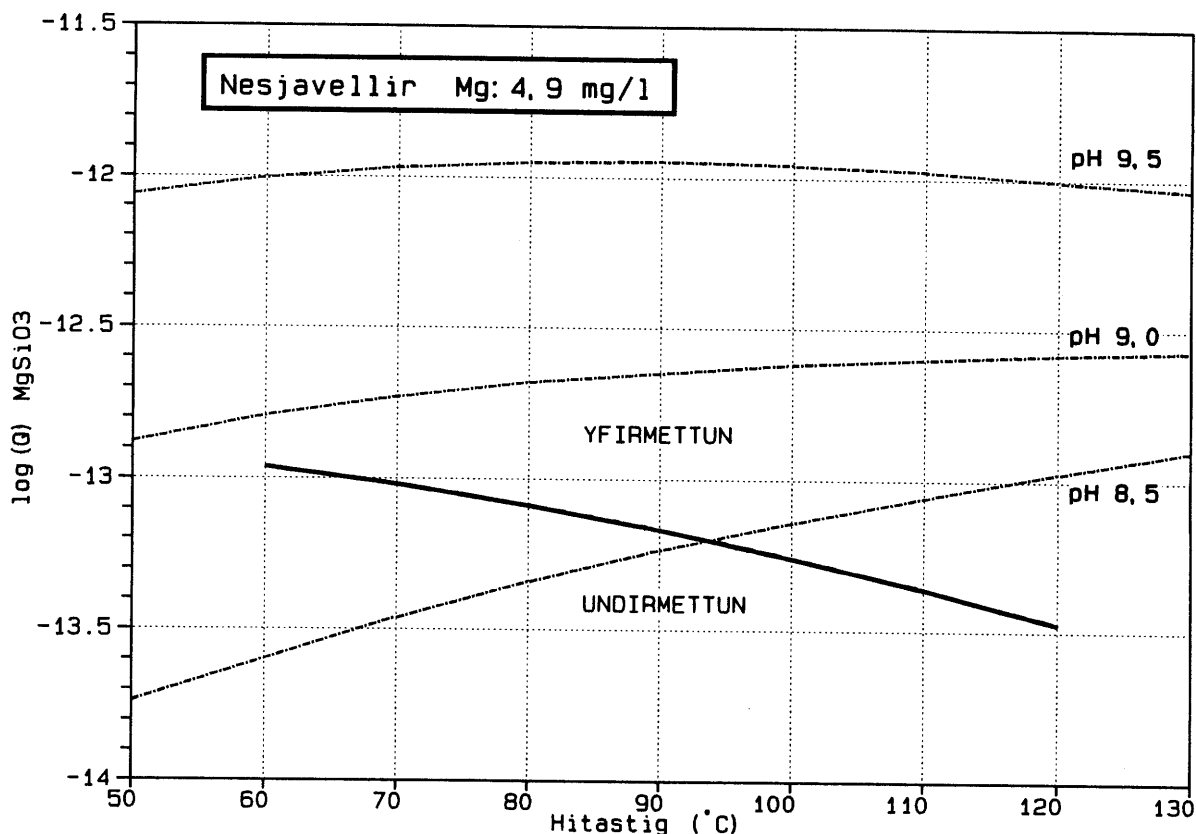
Hitastig °C	Orkuver 1 pH/25°C	Orkuver 2 pH/25°C
80	8,80	8,95
90	8,75	8,85
100	8,65	8,75
110	8,35	8,55
120	7,90	8,20

pH-MgSi\*: Sýrustig sem gerir vatnið mettað.

Áhrif hitastigs eru mikil og þarf að lækka sýrustig niður fyrir pH 8 ef engin forhitun á sér stað og vatnið er hitað í 120 °C. Svo lágt sýrustig er ekki öruggt hvað varðar tæringu.

### 4.1.2 Nesjavellir

Eftirfarandi mynd sýnir jónamargfeldi hitaveituvatns frá orkuverinu á Nesjavöllum, sem fall af hita- og sýrustigi.



Mynd 4.4 Jónamargfeldi sem fall af sýrustigi og hitastigi. Nesjavellir.

Heildregna þykka línan sýnir leysnifasta myndlauss magnesíum-silífkats. Brotnu línurnar sýna jónamargfeldi í afloftuðu vatni frá orkuverinu á Nesjavöllum (sýni úr Nesjavallaæð). Ef t.d. vatnið er afloftað við 83 °C og sýrustig stillt á pH 8,7 þá verður vatnið mettað og því ekki hætt á útfellingu magnesíum-silífkats í afloftara. Ef vatnið er síðan hitað í eftirhitara þá verður jónamargfeldið hærra en leysnifasti myndlauss magnesíum-silífkats, og hættu verður á útfellingu. Ef sýrustigið er hækkað í pH 9,0 þá verður vatnið yfirmettað við öll hitastig. Ef það er lækkað í pH 8,5 þá má hita vatnið í 94 °C án þess að það verði yfirmettað.

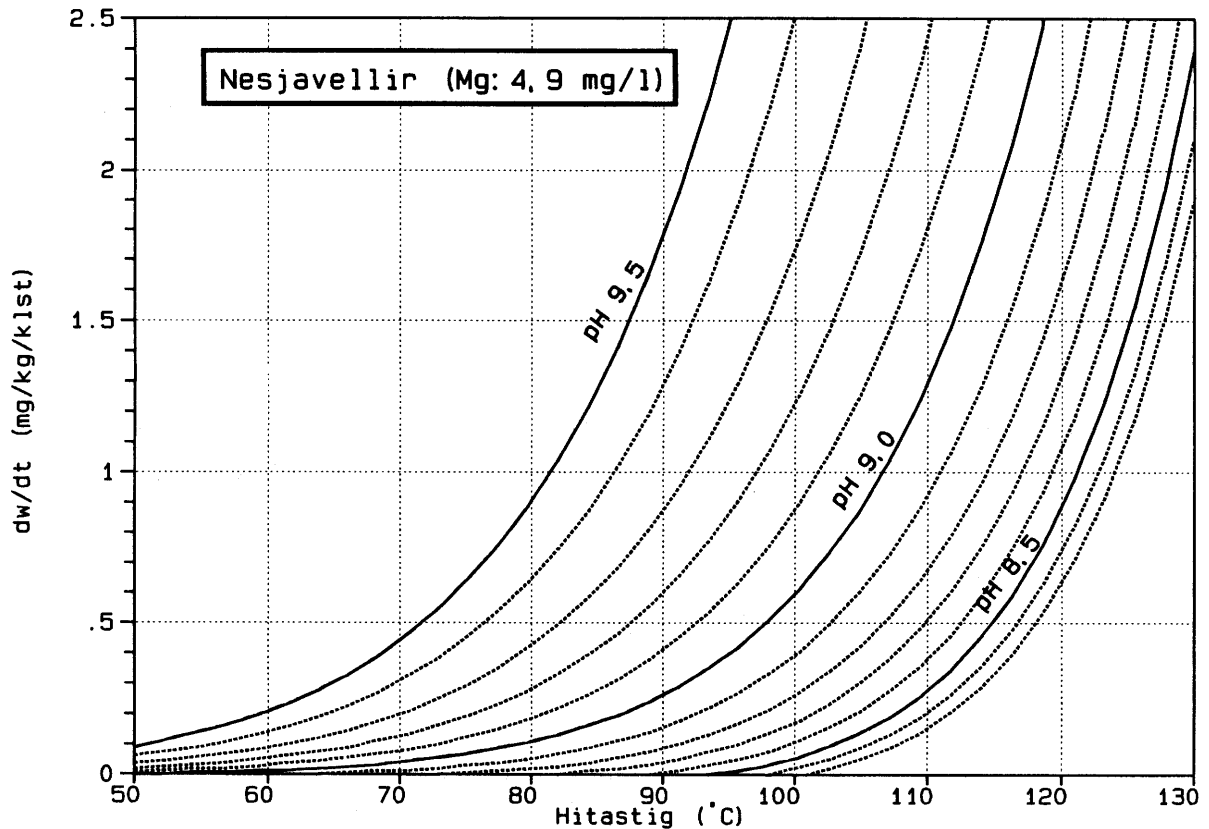
Ef styrkur steinefna er hærri (styrkur hefur mælst hærri í Grámelsvatni en í því sýni úr Njarðvíkuræð, sem lagt er til grundvallar ofangreindum reikningum), þá verður hættu á útfellingu meiri, og þarf þá að lækka sýrustig enn frekar, til þess að stöðva þær örugglega.

Lagt er til að sýrustig hitaveituvatnsins sé stillt á sýrustig, sem er nægilega lágt, til þess að engin útfellingarhætta verði í Nesjavallaæð við viðkomandi útrásarhitastig. Miðað við 83 °C útrásarhitastig til Reykjavíkur og magnesíumstyrk um 4,9 mg/kg, má sýrustig vatnsins ekki vera hærra en 8,7 til þess að útiloka útfellingar.

Útfelling í Nesjavallaæð var mæld í 8 mánuði fyrri hluta ársins 1992 (Gestur Gíslason og Einar Gunnlaugsson, 1992). Engin útfelling mældist ( $< 0,01$  mm/ár), en sýrustig vatnsins var á bilinu pH 8,5-8,8. Þetta er í samræmi við ofangreindar niðurstöður því vatnið hefur verið nálægt metnun á meðan prófunin stóð yfir. Áður var miðað við að jafnvægis-sýrustig væri pH 8,5, en sýni frá 31. maí 1992 sýnir minni magnesíum og kísilstyrk en áður og jafnvægis-sýrustig er því hærra.

Styrkur kísils og magnesíums hefur mikil áhrif á yfirmettun og útfellingahættu og er yfirmettun í hitaveituvatninu frá Nesjavallavirkjun (Grámel) mun meiri en í Svartsengisvatni við sama sýrustig. Rétt er að fylgjast vel með efnastyrk hitaveituvatnsins og kanna hvort hægt sé að finna ferskvatnslindir, sem innihalda minni styrk kísils og magnesíum en það vatn sem nú er notað.

Á mynd 4.5 er reiknaður útfellingarhraði sýndur sem fall af hita- og sýrustigi fyrir sýni úr Nesjavallaæð.

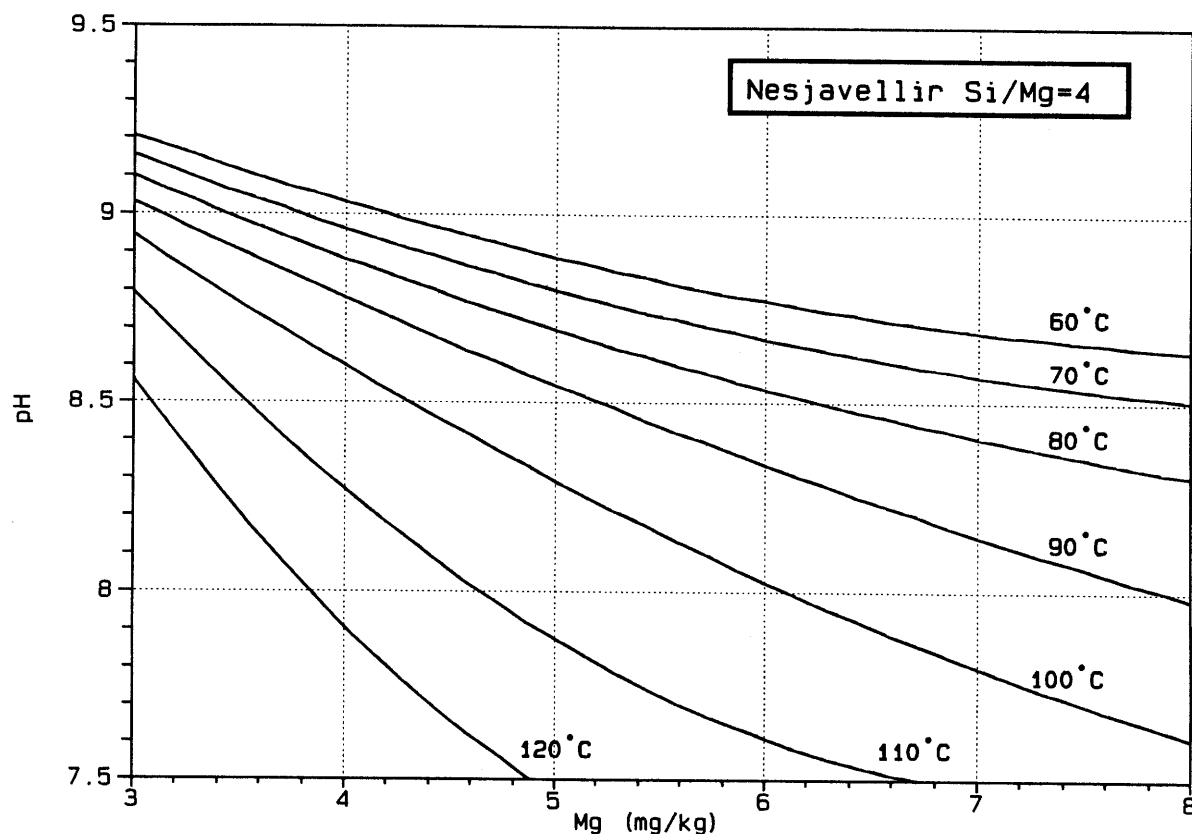


Mynd 4.5 Útfellingarhraði sem fall af sýrustigi og hitastigi. Nesjavellir.

Mynd 4.5 er hægt að nota til þess að meta útfellingarhættu í afloftunarsúlum, eftirhiturum og veitukerfi ef sýrustig og hitastig eru þekkt og gert er ráð fyrir að efnasamsetning hitaveituvatnsins sé svipuð og var sumarið 1992.

Mynd 4.6 sýnir hæsta leyfilegt sýrustig sem fall af styrk magnesíums við nokkur hitastig. Gert er ráð fyrir að styrkur magnesíums, sem hlutfall af heildarstyrk steinefna, sé eins

og í sýni sem tekið var úr Nesjavallæð 31/5 1992. (Viðauki 1, tafla V1.1)



*Mynd 4.6 Hámarkssýrustig sem fall af magnesíumstyrk og hita. Nesjavellir*

Styrkur magnesíums í sýni úr Nesjavallæð (31/5 1992) mældist 4,9 mg/kg og kísils 20,0 mg/kg, en hæst hefur magnesíumstyrkur mælst 5,7 mg/kg og kísilstyrkur 21,7 mg/kg. Væntanlega var styrkurinn lægri vegna þess að gufu og þéttivatni var blandað í hitaveituvatnið til sýrustigslækkunar og súrefniseyðingar.

Eftirfarandi tafla sýnir reiknað jafnvægis-sýrustig fyrir hitaveituvatnið frá Nesjavöllum.

**Tafla 4.2** Nesjavellir, pH-MgSi\*.

Hitastig °C	Mg=4,9 pH/25°C	Mg=5,7 pH/25°C
80	8,70	8,60
90	8,60	8,40
100	8,30	8,10
110	7,90	7,70
120	7,50	7,20

pH-MgSi\*: Sýrustig sem gerir vatnið mettað.

## 4.2 Framhald rannsókna

Tilraunirnar í Svartsengi og á Grafarholti hafa gefið upplýsingar um útfellingu magnesíum-silíkats á hitabilinu 60 °C til 120 °C.

Þessar niðurstöður eru mjög gagnlegar fyrir rekstur veitukerfis Hitaveitu Reykjavíkur og Hitaveitu Suðurnesja og einnig fyrir aðrar hitaveitur, sem nota afloftað magnesíumríkt ferskvatn til varmaflutnings.

Lagt er til að niðurstöðurnar verði prófaðar í rekstri afloftunarrása og varmaskipta, og mat lagt á áreiðanleika þeirra til þess að segja fyrir um útfellingu magnesíum-silíkats við raunverulegar rekstraraðstæður.

Slíkar prófanir gætu t.d. falist í eftirfarandi.

- Mælingar á skeljun við mismunandi rekstraraðstæður (hitastig, sýrustig, streymi).
- Mælingar á styrkbreytingum í stofnæðum með breytilegu útrásarhitastigi og sýrustigi.
- Afgösun þéttivatns og blöndun þess við hitaveituvatn til þynningar.
- Lækkun yfirhitunar gufu í inntaki eftirhitara með hringdælingu þéttivatns.
- Þróun á mælibúnaði til þess að fylgjast með yfirmettun (Mg, SiO<sub>2</sub>, pH).

## HEIMILDASKRÁ

Gestur Gíslason og Einar Gunnlaugsson, 1992: *Athugun á myndun útfellinga úr hitaveituvatni frá Nesjavallavirkjun*. Hitaveita Reykjavíkur, efnafraeðistofa, september 1992.

Hrefna Kristmannsdóttir, Sverrir Þórhallsson og Karl Ragnars, 1983: *Magnestum-silíkatútfellingar í hitaveitum*. Orkustofnun, OS-83051/JHD-10.

Sverrir Þórhallsson, Karl Ragnars, Stefán Arnórsson og Hrefna Kristmannsdóttir, 1975: *Rapid scaling of silica in two distric heating systems*. Orkustofnun, OSJHD-7534.

Trausti Hauksson, 1983: *Hitaveita Suðurnesja. Athugun á útfellingarhættu í Njarðvíkuræð*. Orkustofnun, OS-83076/JHD-14.

Trausti Hauksson, 1991: *Hitaveita Suðurnesja. Athugun á orsök útfellinga í rás orkuversins í Svartsengi*. Greinagerð til Hitaveitu Suðurnesja.

Trausti Hauksson, Sverrir Þórhallsson, Einar Gunnlaugsson og Gestur Gíslason, 1992: *Útfellingar magnestum-silíkata. Skýrsla um niðurstöður tilrauna á Grafarholti með blöndun jarðhitavatns frá Reykjum í Mosfellsbæ og upphitaðs ferskvatns frá Nesjavallavirkjun*. Hitaveita Reykjavíkur, mars, 1992.

**VIDAUKAR**



## TÖFLUSKRÁ VIÐAUKA

Tafla		bls
V1.1	Efni í vatni, sýni úr Nesjavalla- og Reykjaæð, 31/5 92.....	36
V1.1	Stálhylki. Grafarholt. Tilraun A41, 60°C, 60 % Reykjavatn...	36
V1.2	Stálhylki. Grafarholt. Tilraun B41. 60°C, 40 % Reykjavatn...	36
V2.1	Stálhylki. Svartsengi. Tilraun A51, 80 °C, pH 9,28.....	42
V2.2	Stálhylki. Svartsengi. Tilraun B51, 80 °C, pH 8,97.....	42
V2.3	Stálhylki. Svartsengi. Tilraun A52, 100 °C, pH 9,34.....	45
V2.4	Stálhylki. Svartsengi. Tilraun B52, 100 °C, pH 10,25.....	45
V2.5	Stálhylki. Svartsengi. Tilraun A53, 100 °C, pH 8,92.....	47
V2.6	Stálhylki. Svartsengi. Tilraun B53, 100 °C, pH 9,58.....	47
V2.7	Stálhylki. Svartsengi. Tilraun A54, 120 °C, pH 9,17.....	49
V2.8	Stálhylki. Svartsengi. Tilraun B54, 120 °C, pH 9,95.....	49
V2.9	Stálhylki. Svartsengi. Tilraun A55, 120 °C, pH 8,90.....	50
V2.10	Stálhylki. Svartsengi. Tilraun B56, 120 °C, pH 8,56.....	50

## MYNDASKRÁ VIÐAUKA

Mynd		bls
V1.1	Stálhylki, Grafarholt, 60 °C. Sýrustig á móti tíma.....	37
V1.2	Stálhylki, Grafarholt, 60 °C. Kísill á móti tíma.....	37
V1.3	Stálhylki, Grafarholt, 60 °C. Kalsíum á móti tíma.....	38
V1.4	Stálhylki, Grafarholt, 60 °C. Magnesíum á móti tíma.....	38
V2.1	Stálhylki, Svartsengi, 80 °C. Sýrustig á móti tíma.....	43
V2.2	Stálhylki, Svartsengi, 80 °C. Kísill á móti tíma.....	43
V2.3	Stálhylki, Svartsengi, 80 °C. Kalsíum á móti tíma.....	44
V2.4	Stálhylki, Svartsengi, 80 °C. Magnesíum á móti tíma.....	44
V2.5	Stálhylki, Svartsengi, 100 °C. Sýrustig á móti tíma.....	47
V2.6	Stálhylki, Svartsengi, 100 °C. Kísill á móti tíma.....	47
V2.7	Stálhylki, Svartsengi, 100 °C. Kalsíum á móti tíma.....	48
V2.8	Stálhylki, Svartsengi, 100 °C. Magnesíum á móti tíma.....	48
V2.9	Stálhylki, Svartsengi, 120 °C. Sýrustig á móti tíma.....	51
V2.10	Stálhylki, Svartsengi, 120 °C. Kísill á móti tíma.....	51
V2.11	Stálhylki, Svartsengi, 120 °C. Kalsíum á móti tíma.....	52
V2.12	Stálhylki, Svartsengi, 120 °C. Magnesíum á móti tíma.....	52

# VIÐAUKI 1

## TILRAUNIR Á GRAPARHÖLTI



## V1 TILRAUNIR Á GRAFARHOLTI

Tvö hylki voru notuð. Annað 6,1 lítrar að rúmmáli merkt A og hitt 5,5 lítrar merkt B.

Blöndur voru stilltar af með rennslismælum og þær látnar renna í gegnum stálhylkin í nokkra tíma til skolunar. Hitastig hringrásarvatns var fyrst stillt á 50 °C. Blandan var um 82 °C og þegar hitastig hylkisins hafði hækkað í um 60 °C var fyrsta sýni tekið úr útrennslinu frá hylkjunu, þeim lokað og hitastýringin stillt á 60 °C. Argon gasi var hleypt á og þrýstingur stilltur á 0,3 barg. Sýni voru tekin með reglulegu millibili. 100 ml voru síaðir í gegnum 0,2 µm síu og sýrð með HNO<sub>3</sub>. Einnig var tekið sýni til ákvörðunar á sýrustigi. Það var kælt í plastflösku í vatnsbaði og sýrustigið mælt við 25°C. CO<sub>2</sub> og H<sub>2</sub>S var mælt í upphafssýni og í lokin.

Stálhylki A var fyllt með blöndu af 60% Reykjavatni á móti 40% Nesjavallavatni og stálhylki B með blöndu af 40% Reykjavatni á móti 60% Nesjavallavatni. Tekin voru tíu sýni úr hylkinu, fyrst þegar hylkinu var lokað og eftir 1, 3, 6, 12, 24, 48, 72 og 194 tíma. Niðurstöður efnagreininga eru sýndar í töflum V1.1 og V1.2.

Í töflunum eru sýndar styrkbreytingar magnesíums og kísils, reiknaðar sem MgO+SiO<sub>2</sub>+H<sub>2</sub>O.

Á myndum V1.1 til V1.4 er styrkur efna í vatninu sýndur á móti tíma.

## V1.1 Tilraunir á Grafarholti við 60 °C.

Tafla V1.1 Efni í vatni, sýni úr Nesjavalla- og Reykjaæð, 31/5 92.

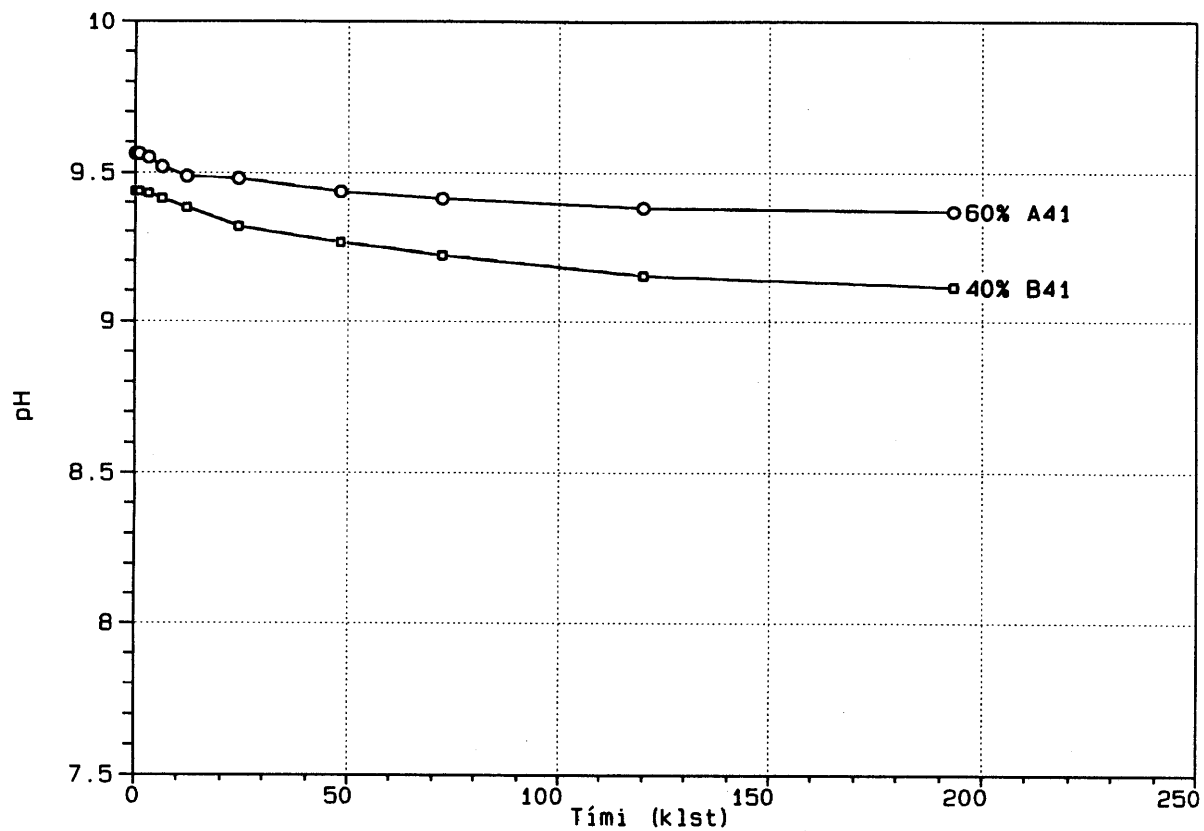
Staður	Hitast. (°C)	----Efnastykur (mg/kg)-----											sMgSiO <sub>3</sub> (Q/Ksp)
		pH	Basi (OH)	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	SiO <sub>2</sub>	Na	K	Ca	Mg	SO <sub>4</sub>	Cl	
Nesjav.	79,8	8,75	12,8	30,6	0,19	19,9	9,6	1,2	8,6	4,86	7,4	7,8	1,09
Reykir	83,4	9,69	25,4	27,9	1,76	94,0	49,3	1,1	2,1	0,01	18,0	12,7	0,24

Tafla V1.2 Stálhylki. Tilraun A41 Grafarholti, 60 °C, 60 % Reykjavatn.  
Efnagreiningar vatnssýna

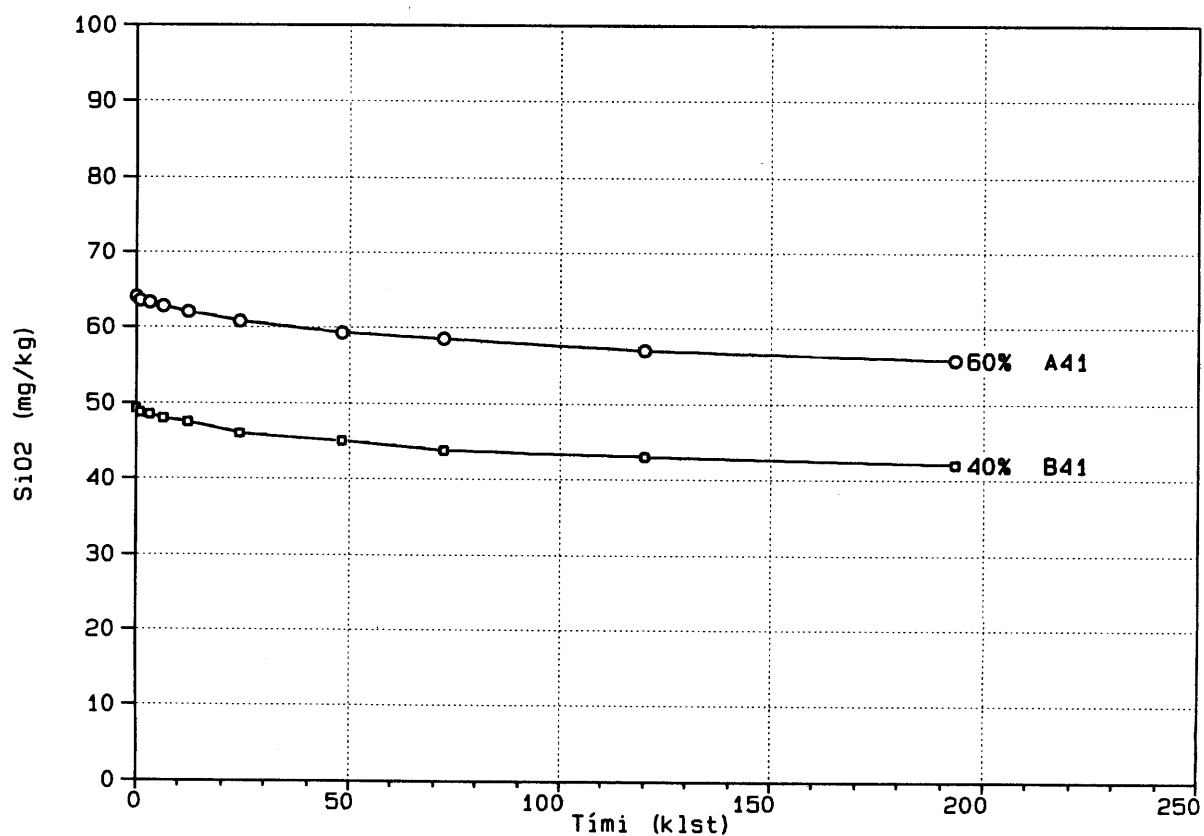
Númer sýnis (klst)	Tími	Hitast. (°C)	---Efnastykur (mg/kg) -----											Styrkminnkun MgSiO <sub>3</sub> Mg:Si (mg/kg)	
			pH /25°C	Basi (OH)	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	SiO <sub>2</sub>	Na	K	Ca	Mg	Mg:Si	Mg:Si		
5503		60,0	9,56	18,8	28,6	1,13	64,1	33,4	1,11	4,85	1,918				
5504	1,00	60,0	9,56	18,8			63,6			4,91	1,887	0,17	0,6		
5505	3,17	60,0	9,55	18,6			63,2			4,77	1,781	0,38	1,4		
5506	6,17	60,0	9,52	18,1			62,7			4,62	1,633	0,50	2,3		
5507	12,08	60,0	9,49	17,6			62,0			4,58	1,393	0,61	3,6		
5508	24,25	60,0	9,48	17,4			60,7			4,42	1,057	0,64	5,8		
5509	48,33	60,0	9,44	16,8			59,2			4,21	0,688	0,62	8,4		
5510	72,25	60,0	9,41	16,4			58,5			4,08	0,534	0,61	9,6		
5511	120,25	60,0	9,38	15,9			57,0			3,94	0,388	0,53	11,7		
5512	193,50	60,0	9,37	15,9	27,2	0,04	55,8			3,90	0,316	0,48	13,3		

Tafla V1.3 Stálhylki. Tilraun B41 Grafarholti, 60 °C, 40 % Reykjavatn.  
Efnagreiningar vatnssýna

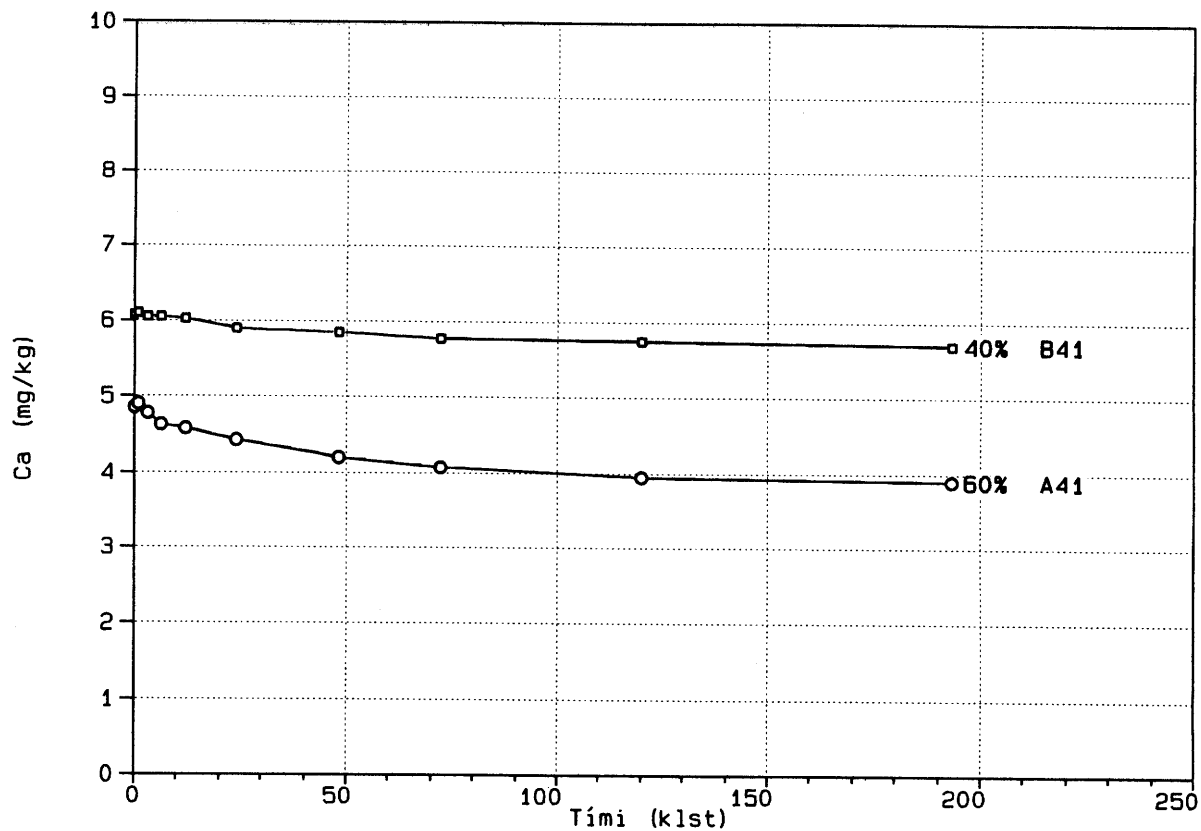
Númer sýnis (klst)	Tími	Hitast. (°C)	----Efnastykur (mg/kg) -----											Styrkminnkun MgSiO <sub>3</sub> Mg:Si (mg/kg)	
			pH /25°C	Basi (OH)	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	SiO <sub>2</sub>	Na	K	Ca	Mg	Mg:Si	Mg:Si		
5513		60,0	9,44	17,7	29,4	0,82	49,3	25,5	1,12	6,07	2,933				
5514	1,00	60,0	9,44	17,4			48,8			6,11	2,898	0,20	0,6		
5515	3,17	60,0	9,43	17,3			48,5			6,06	2,798	0,42	1,3		
5516	6,17	60,0	9,41	17,1			48,1			6,05	2,663	0,58	1,9		
5517	12,08	60,0	9,38	16,7			47,5			6,02	2,402	0,75	3,1		
5518	24,25	60,0	9,32	16,1			46,1			5,91	2,019	0,71	5,6		
5519	48,33	60,0	9,26	15,5			45,0			5,84	1,596	0,78	7,7		
5520	72,25	60,0	9,22	15,1			43,9			5,78	1,380	0,71	9,6		
5521	120,25	60,0	9,15	14,6			42,9			5,74	1,170	0,68	11,2		
5522	193,50	60,0	9,11	14,3	29,0	0,80	42,1			5,70	1,058	0,65	12,4		



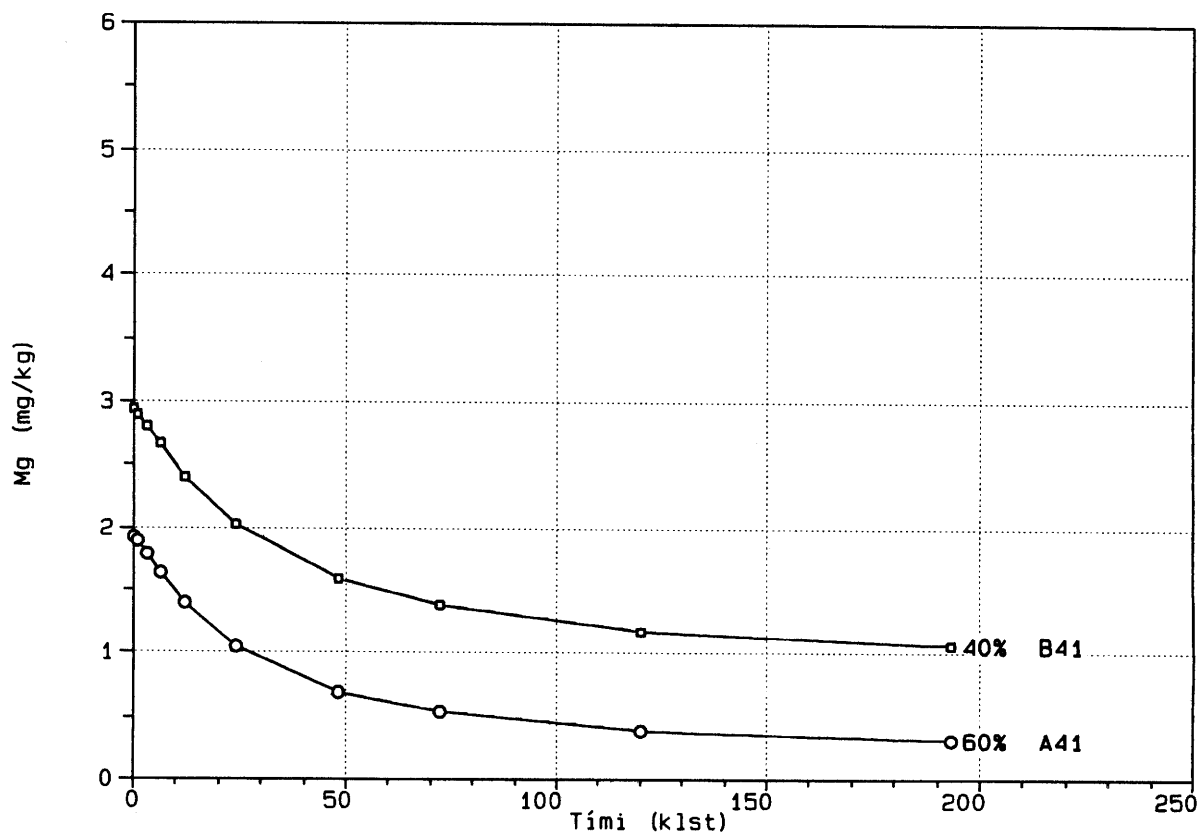
Mynd VI.1 Stálhylki, Grafarholt, 60°C. Sýrustig á móti tíma.



Mynd VI.2 Stálhylki, Grafarholt, 60°C. Kísil á móti tíma.



Mynd VI.3 Stálhylki, Grafarholt, 60°C. Kalsíum á móti tíma.



Mynd VI.4 Stálhylki, Grafarholt, 60°C. Magnésíum á móti tíma.

**VIÐAUKI 2**

**TILRAUNIR Í SVARTSENGI**





## V2 TILRAUNIR Í SVARTSENGI.

Hylkin, sem notuð voru á Grafarholti, voru flutt í Svartsengi og þeim komið fyrir í dælugryfju fyrir rás 5 í orkuveri 2. Olía var sett á hitabaðið í stað vatns, svo hægt væri að hita þau yfir 100 °C.

Tengt var inn á tækin úr rás 6. Þrjár lagnir voru lagðar þ.e. strax eftir afloftun, eftir millihitara og eftir eftirhitara. Þannig var hægt að leiða vatn með heppilegu hitastigi inn í tækin.

Vatn var látið renna í gegnum stálhylkin í nokkra daga til skolunar. Fyrsta sýni var tekið úr hylkjunum og þeim lokað. Argon gasi var hleypt á og þrýstingur stilltur á 3 bör. Sýni voru tekin með reglulegu millibili. Sýnin voru kæld í kælislaufu, sem gerð var úr 1,2 m af 6 mm ryðfríu röri og leidd ofan í vatn. 100 ml voru síaðir í gegnum 0,2  $\mu$ m síu og sýrð með 0,5 ml HNO<sub>3</sub> conc (Suprapure). Einnig var tekið sýni til ákvörðunar á sýrustigi. Það var kært í plastflösku í vatnsbaði og sýrustigið mælt við 25°C. CO<sub>2</sub> og H<sub>2</sub>S var mælt í upphafssýni og í lokin.

Sýrustigi vatnsins var breytt með því að auka eða minnka innspýtingu gufu inn í afloftunarturn. Til þess að hækka sýrustig enn frekar var NaOH bætt í hylkið.

Niðurstöður efnagreininga eru sýndar í töflum V2.1 og V2.10. og á myndum V1.1 til V1.12 er styrkur efna í vatninu sýndur á móti tíma.

## V2.1 Tilraunir í Svartsengi við 80 °C.

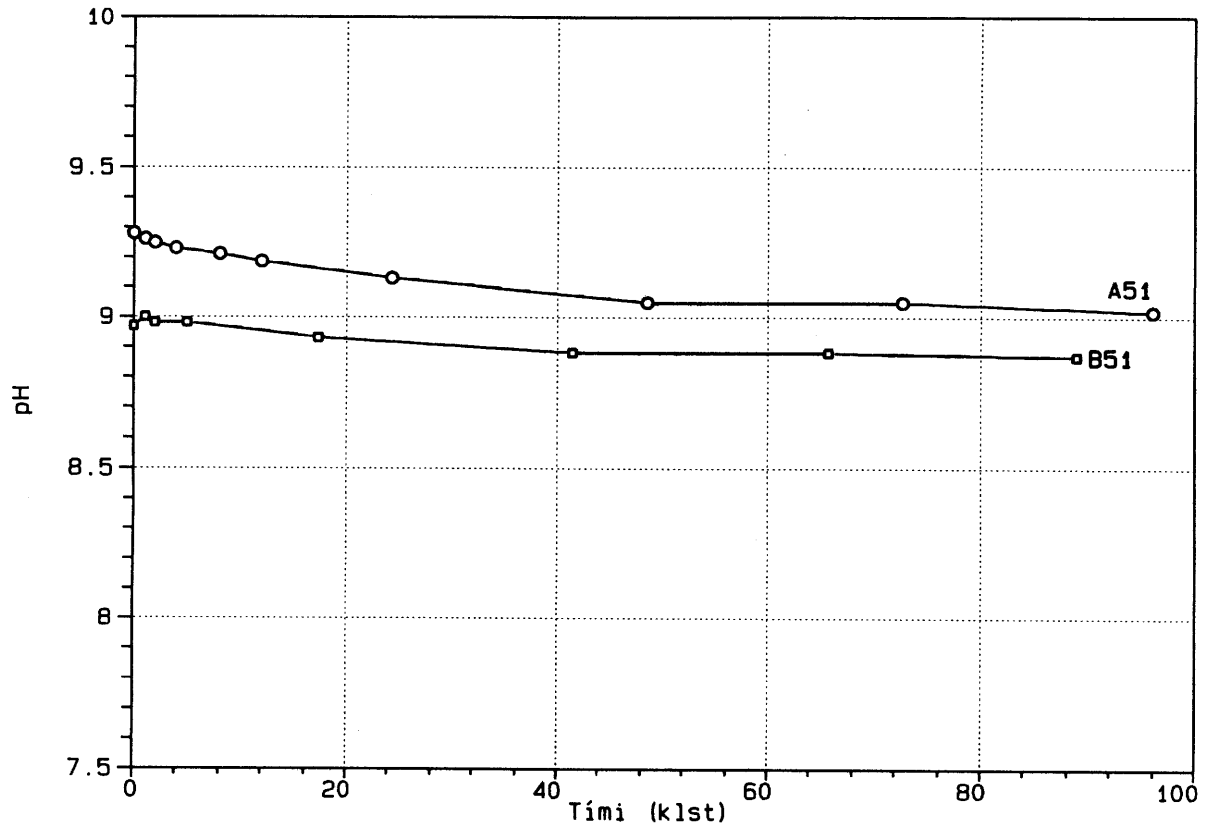
Tvær tilraunir voru gerðar við 80 °C. Fyrri tilraunin var gerð með vatn, sem tekið var beint úr afloftara, án innspýtingar gufu, og var pH þá um 9,3. Seinni tilraunin var gerð með vatn úr afloftara, sem lækkað hafði verið í pH 9,0 með gufueinnspýtingu.

**Tafla V2.1** Stálhylki. Tilraun A51 Svartsengi, 80°C, pH 9,28.  
Efnagreiningar vatnssýna

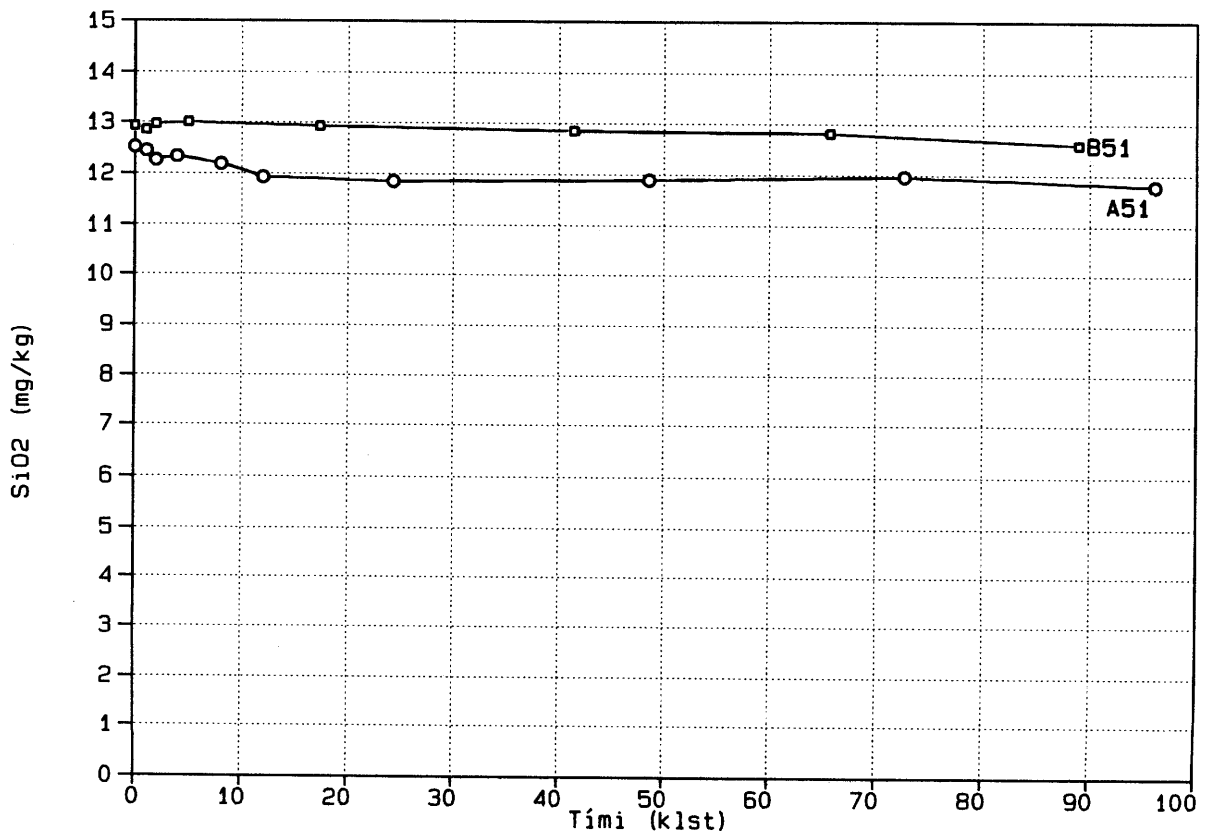
Númer sýnis	Tími (klst)	Hitast. (°C)	pH /25°C	----Efnastykur (mg/kg) -----								Styrkmínnkun MgSiO <sub>3</sub>	
				Basi (OH)	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	SiO <sub>2</sub>	Na	K	Ca	Mg	Mg:Si (mg/kg)	
5523		80,0	9,28	5,4	9,8	0,13	12,5	33,0	1,48	7,86	6,660		
5524	1,00	80,0	9,26				12,4			7,83	6,610	1,76	0,2
5525	2,00	80,0	9,25				12,3			7,78	6,590	0,75	0,4
5526	4,00	80,0	9,23				12,3			7,83	6,570	1,17	0,4
5527	8,00	80,0	9,21				12,2			7,82	6,500	1,23	0,7
5528	12,00	80,0	9,19				11,9			7,99	6,470	0,81	1,1
5529	24,25	80,0	9,13				11,9			7,94	6,400	0,97	1,3
5530	48,50	80,0	9,05				11,9			7,95	6,340	1,27	1,3
5531	72,75	80,0	9,05				12,0			8,32	6,280	1,74	1,3
5532	96,00	80,0	9,02	5,1	11,0	0,00	11,8			8,15	6,180	1,60	1,8

**Tafla V2.2** Stálhylki. Tilraun B51 Svartsengi, 80°C, pH 8,97.  
Efnagreiningar vatnssýna

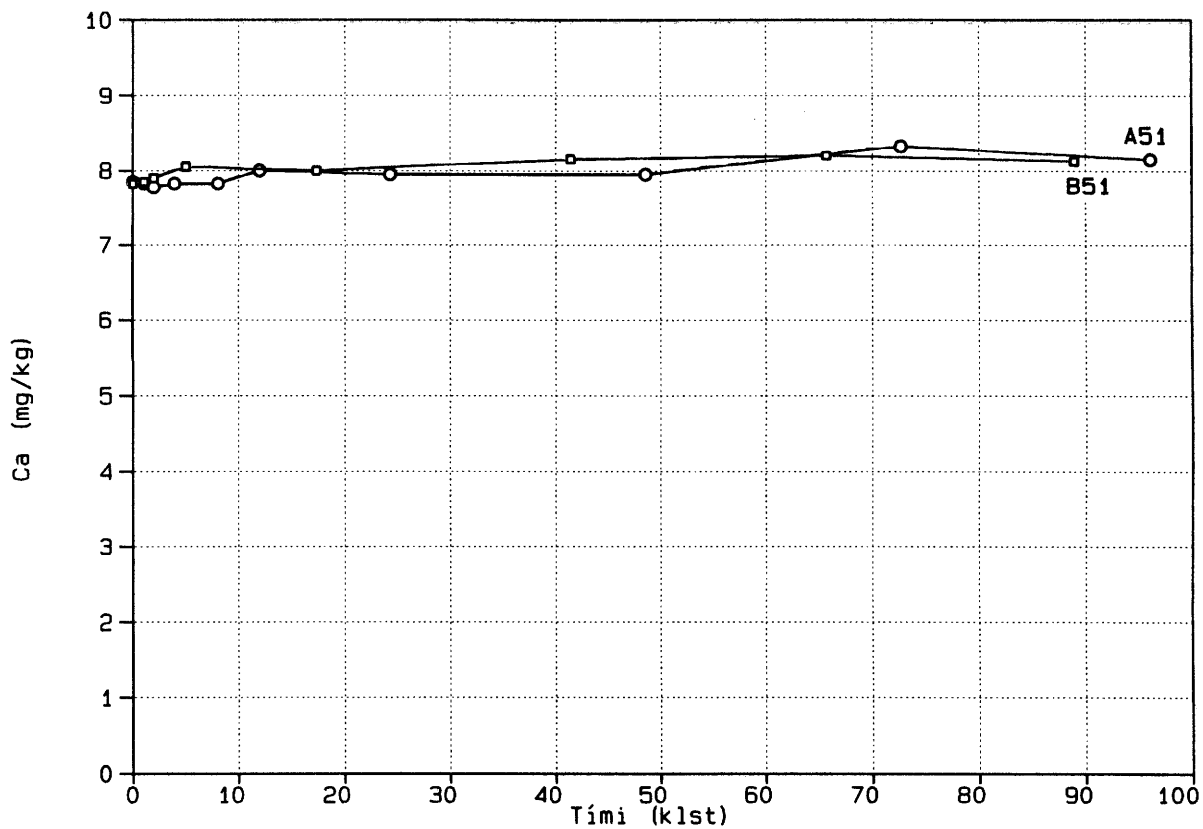
Númer sýnis	Tími (klst)	Hitast. (°C)	pH /25°C	----Efnastykur (mg/kg) -----								Styrkmínnkun MgSiO <sub>3</sub>	
				Basi (OH)	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	SiO <sub>2</sub>	Na	K	Ca	Mg	Mg:Si (mg/kg)	
5533		80,0	8,97	5,4	11,6	0,14	12,9	33,3	1,50	7,83	6,670		
5534	1,00	80,0	9,00				12,9			7,85	6,720		0,0
5535	2,00	80,0	8,98				13,0			7,91	6,780	6,79	-0,2
5536	5,00	80,0	8,98				13,0			8,06	6,860	5,87	-0,4
5537	17,25	80,0	8,93				12,9			8,01	6,840		-0,3
5538	41,50	80,0	8,88				12,9			8,14	6,770		-0,1
5539	65,75	80,0	8,88				12,8			8,21	6,650	0,41	0,2
5540	89,00	80,0	8,87	5,4	12,1	0,14	12,6			8,12	6,720		0,3



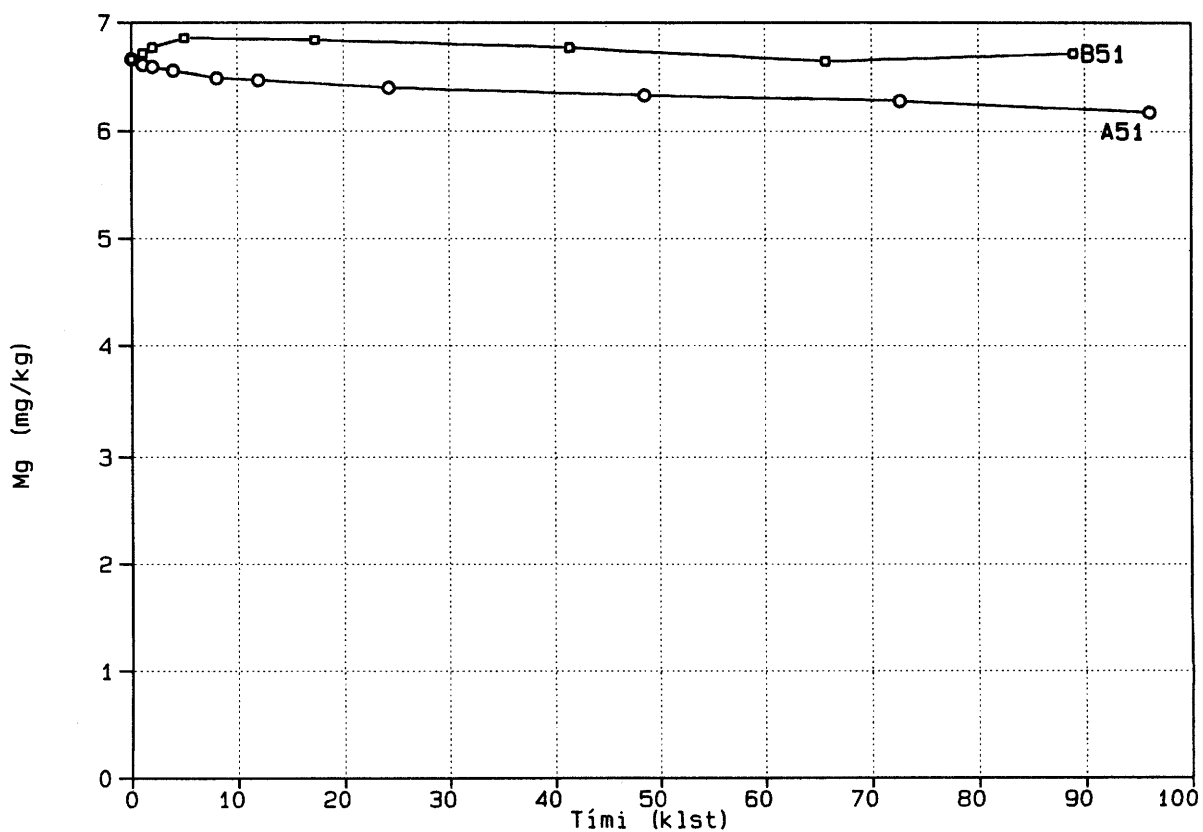
Mynd V2.1 Stálhylki, Svartsengi, 80°C. Sýrustig á móti tíma.



Mynd V2.2 Stálhylki, Svartsengi, 80°C. Kísill á móti tíma.



Mynd V2.3 Stálhylki, Svartsengi, 80°C. Kalsíum á móti tíma.



Mynd V2.4 Stálhylki, Svartsengi, 80°C. Magnésíum á móti tíma.

## V2.2 Tilraunir í Svartsengi við 100 °C.

Fjórar tilraunir voru gerðar við 100 °C. Fyrsta tilraunin var gerð með vatn sem tekið var úr millihitara, án innspýtingar gufu og var pH þá um 9,3. Í tilraun tvö (B52) var pH stillt á 10,2 með NaOH. Tvær tilraunir voru gerðar að auki, þar sem sýrustig var lækkað í pH 8,9 og pH 8,6 með innspýtingu gufu í vatnið í afloftara.

**Tafla V2.3** Stálhylki. Tilraun A52 Svartsengi, 100°C, pH 9,34.  
Efnagreiningar vatnssýna

Númer sýnis	Tími (klst)	Hitast. (°C)	pH /25°C	----Efnastyrkur (mg/kg) -----								Styrkminnkun MgSiO <sub>3</sub>	
				Basi (OH)	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	SiO <sub>2</sub>	Na	K	Ca	Mg	Mg:Si (mg/kg)	
5542		100,0	9,34	5,4	9,4	0,12	13,0	33,0	1,70	7,93	6,620		
5543	0,50	100,0	9,31				12,5	32,7	1,54	7,93	6,530	0,44	0,8
5544	1,50	100,0	9,29				12,4	32,8	1,53	7,83	6,490	0,58	0,9
5545	3,50	100,0	9,20				12,2	32,8	1,59	8,05	6,410	0,65	1,4
5546	5,57	100,0	9,18				12,1	32,8	1,52	8,06	6,340	0,82	1,6
5547	11,55	100,0	9,16				12,0	33,0	1,60	7,92	6,240	0,96	1,9
5548	24,25	100,0	9,11				11,8	32,7	1,67	7,93	6,140	0,99	2,4
5549	48,25	100,0	9,03				11,6	32,8	1,71	8,01	6,020	1,05	2,8
5550	72,75	100,0	8,98				11,5	32,7	1,60	8,06	5,900	1,22	3,1
5551	97,25	100,0	8,98	4,8	10,4	0,00	11,5	33,0	1,74	8,09	5,900	1,19	3,1

**Tafla V2.5** Stálhylki. Tilraun B52 Svartsengi 100°C, pH 10,25.  
Efnagreiningar vatnssýna

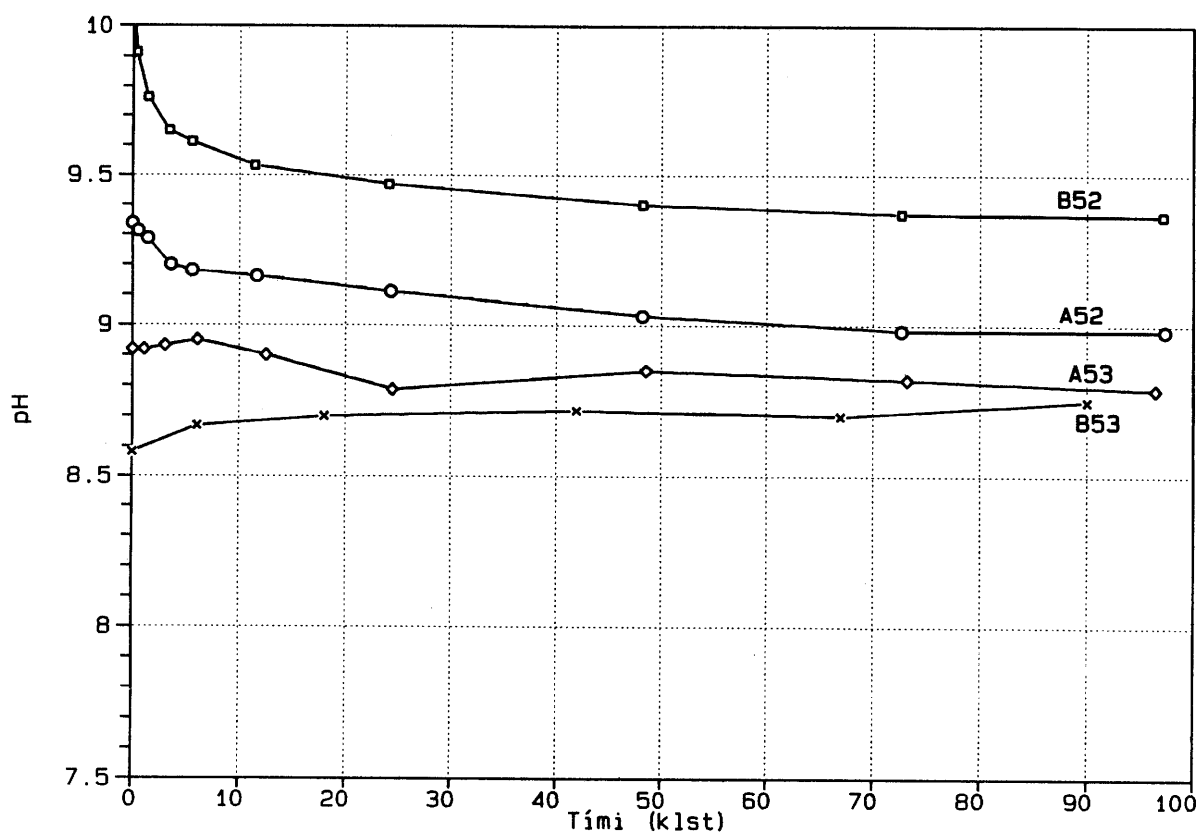
Númer sýnis	Tími (klst)	Hitast. (°C)	pH /25°C	----Efnastyrkur (mg/kg) -----								Styrkminnkun MgSiO <sub>3</sub>	
				Basi (OH)	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	SiO <sub>2</sub>	Na	K	Ca	Mg	Mg:Si (mg/kg)	
5542		100,0	10,25	11,8	9,4	0,12	13,0	41,5	1,59	7,93	6,620		
5552	0,42	100,0	9,91				10,3			7,70	3,890	2,49	8,1
5553	1,42	100,0	9,76				8,9			7,62	3,310	2,02	10,8
5554	3,42	100,0	9,65				8,1			7,83	3,020	1,84	12,3
5555	5,48	100,0	9,61				7,5			7,70	2,820	1,71	13,4
5556	11,47	100,0	9,53				7,1			7,66	2,630	1,67	14,3
5557	24,17	100,0	9,47				6,9			7,73	2,480	1,68	14,8
5558	48,17	100,0	9,40				6,8			7,71	2,350	1,72	15,1
5559	72,67	100,0	9,37				7,1			7,69	2,280	1,81	14,9
5560	97,17	100,0	9,36	5,3	10,0	0,00	7,4			7,91	2,370	1,88	14,3

**Tafla V2.6 Stálhylki. Tilraun A53 Svartsengi, 100°C, pH 8,92.**  
Efnagreiningar vatnssýna

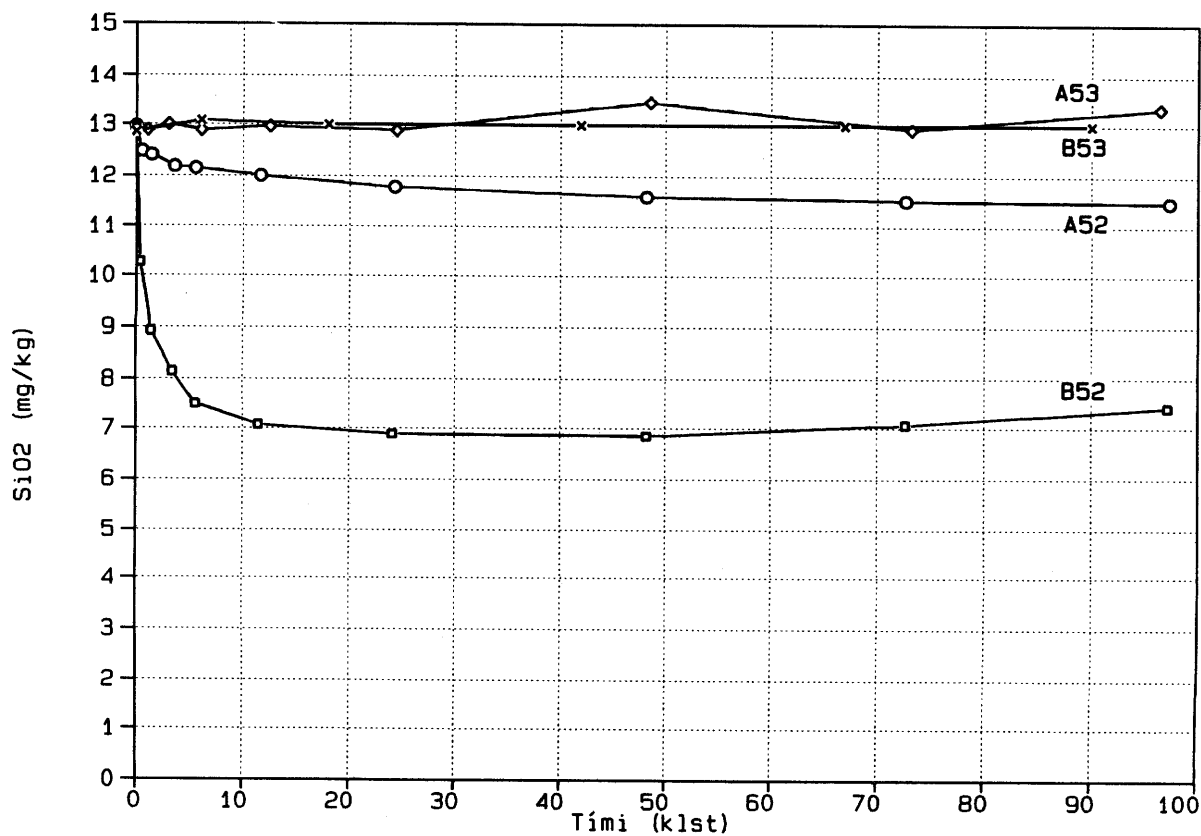
Númer	Tími	Hitast.	pH	----Efnastykur (mg/kg) -----								Styrkmínnkun	
				Basi	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	SiO <sub>2</sub>	Na	K	Ca	Mg	MgSiO <sub>3</sub>	Mg:Si (mg/kg)
sýnis (klst)	(°C)	/25°C	(OH)										
5561		100,0	8,92	5,1	11,2	0,03	12,9	33,5	1,64	8,00	6,810		
5562	1,00	100,0	8,92				12,9	33,4	1,54	8,06	6,840	-0,0	
5563	3,00	100,0	8,93				13,0	33,6	1,56	7,96	6,770	-0,1	
5564	6,00	100,0	8,95				12,9	33,5	1,70	8,10	6,800	0,0	
5565	12,50	100,0	8,90				13,0	33,6	1,58	7,92	6,730	0,0	
5566	24,50	100,0	8,79				12,9	33,5	1,68	7,98	6,640	0,3	
5567	48,50	100,0	8,85				13,4	33,7	1,64	8,26	6,700	-0,5	
5568	73,25	100,0	8,82				12,9	33,5	1,68	8,10	6,570	0,3	
5569	96,50	100,0	8,79	5,1	11,7	0,00	13,4	33,8	1,80	8,18	6,560	-0,2	

**Tafla V2.7 Stálhylki. Tilraun B53 Svartsengi, 100°C, pH 8,58.**  
Efnagreiningar vatnssýna

Númer	Tími	Hitast.	pH	----Efnastykur (mg/kg) -----								Styrkmínnkun	
				Basi	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	SiO <sub>2</sub>	Na	K	Ca	Mg	MgSiO <sub>3</sub>	Mg:Si (mg/kg)
sýnis (klst)	(°C)	/25°C	(OH)										
5571		100,0	8,58	5,6	13,3	0,12	12,9	33,4	1,62	8,18	6,730		
5572	6,00	100,0	8,67				13,1	33,2	1,60	8,12	6,800	0,86	-0,4
5573	18,00	100,0	8,70				13,0	33,4	1,68	8,18	6,770	0,62	-0,3
5574	42,00	100,0	8,72				13,0	33,4	1,66	8,20	6,720	-0,15	-0,2
5575	66,92	100,0	8,70				13,0	33,1	1,68	8,22	6,690	-0,62	-0,1
5576	90,00	100,0	8,75	5,3	12,4	0,00	13,0	33,8	1,68	8,20	6,720	-0,15	-0,2

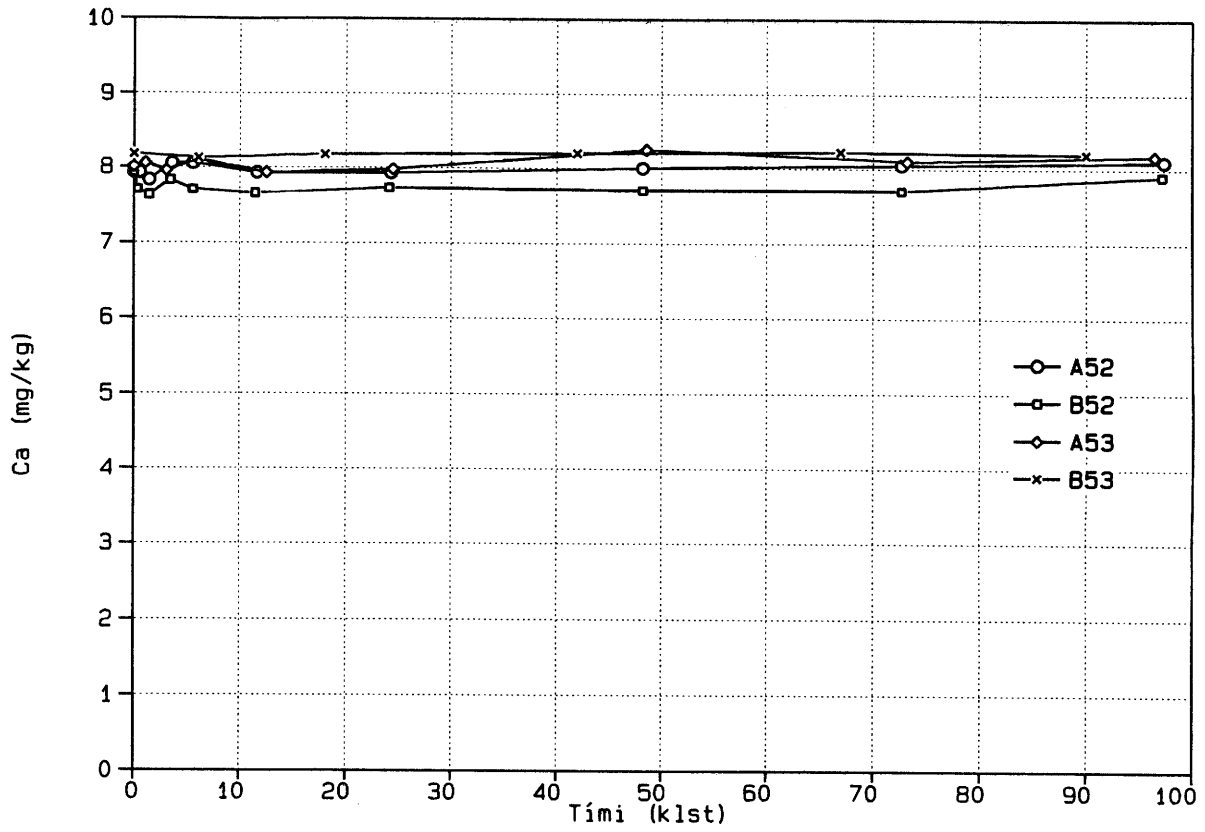


Mynd V2.5 Stálhylki, Svartsengi, 100°C. Sýrustig á móti tíma.

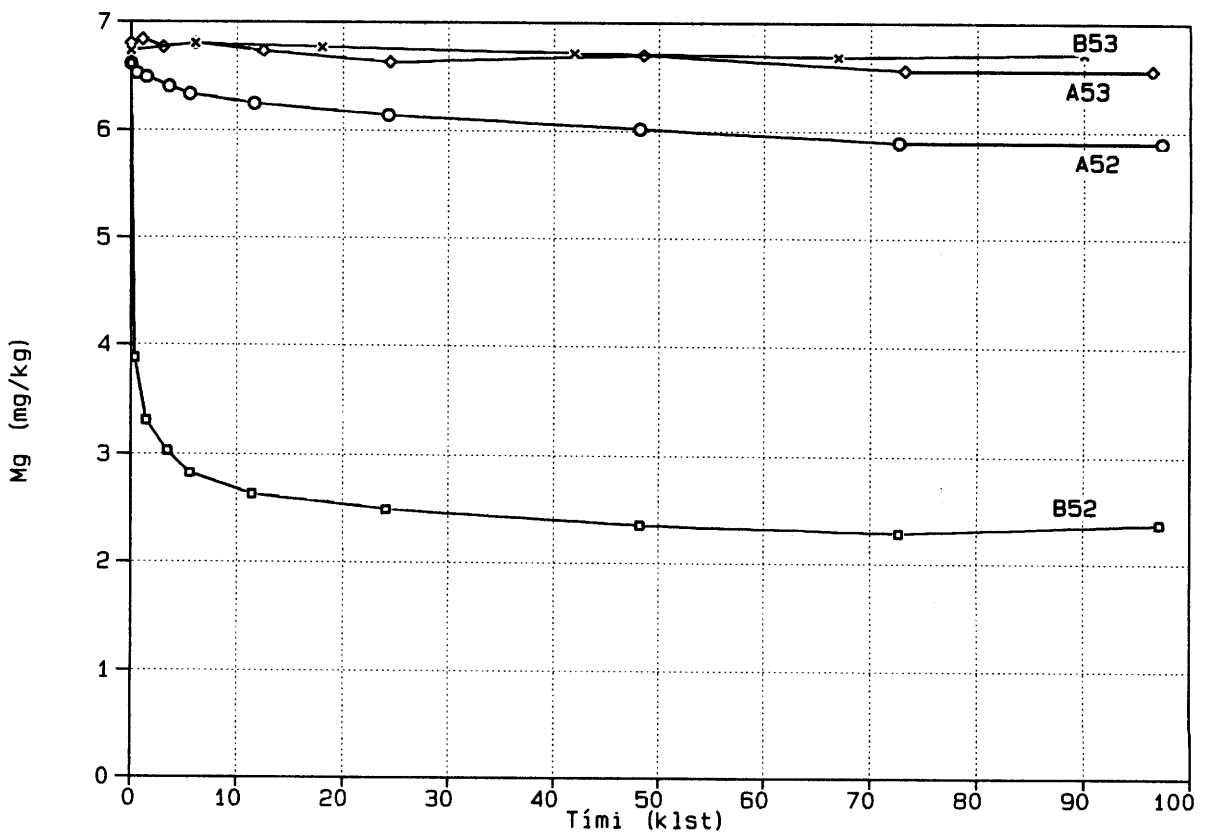


Mynd V2.6 Stálhylki, Svartsengi, 100°C. Kísill á móti tíma.





Mynd V2.7 Stálhylki, Svartsengi, 100°C. Kalsíum á móti tíma.



Mynd V2.8 Stálhylki, Svartsengi, 100°C. Magnésíum á móti tíma.

### V2.3 Tilraunir í Svartsengi við 120 °C.

Fjórar tilraunir voru gerðar við 120 °C. Fyrsta tilraunin var gerð með vatn sem tekið var úr eftirhitara, án innspýtingar gufu og var pH þá um 9,2. Í tilraun tvö (B54) var pH stillt á 10,0 með NaOH. Tvær tilraunir voru gerðar að auki, þar sem sýrustig var lækkað í pH 8,9 og pH 8,6 með innspýtingu gufu í vatnið í afloftara.

**Tafla V2.8** Stálhylki. Tilraun A54 Svartsengi, 120°C, pH 9,17.  
Efnagreiningar vatnssýna

Númer sýnis	Tími (klst)	Hitast. (°C)	pH /25°C	----Efnastyrkur (mg/kg) -----								Styrkmínkun MgSiO <sub>3</sub> Mg:Si (mg/kg)	
				Basi (OH)	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	SiO <sub>2</sub>	Na	K	Ca	Mg	Mg:Si	(mg/kg)
5577		120,0	9,17	5,5	10,8	0,06	13,0	33,6	1,64	7,88	6,400		
5578	0,50	120,0	9,11				12,8	33,7	1,62	7,86	6,220	1,71	0,6
5579	1,50	120,0	9,05				12,4	33,5	1,52	7,94	6,100	1,21	1,3
5580	3,50	120,0	8,98				12,1	33,8	1,54	7,96	5,990	1,15	1,8
5581	6,50	120,0	8,91				11,9	33,5	1,56	7,84	5,870	1,15	2,4
5582	12,50	120,0	8,88				11,9	33,9	1,62	7,98	5,700	1,63	2,5
5583	24,50	120,0	8,78				11,9	33,8	1,92	8,16	5,650	1,75	2,6
5584	48,75	120,0	8,70				12,1	34,0	1,72	8,10	5,420	2,75	2,8
5585	72,25	120,0	8,73				11,9	33,9	1,78	8,26	5,360	2,25	3,2
5594	312,00	120,0	8,54	3.7	9.0	0,00	11,6	32,2	2,59	8,30	4,860	2,62	4,4

**Tafla V2.9** Stálhylki. Tilraun B54 Svartsengi, 120°C, pH 9,95.  
Efnagreiningar vatnssýna

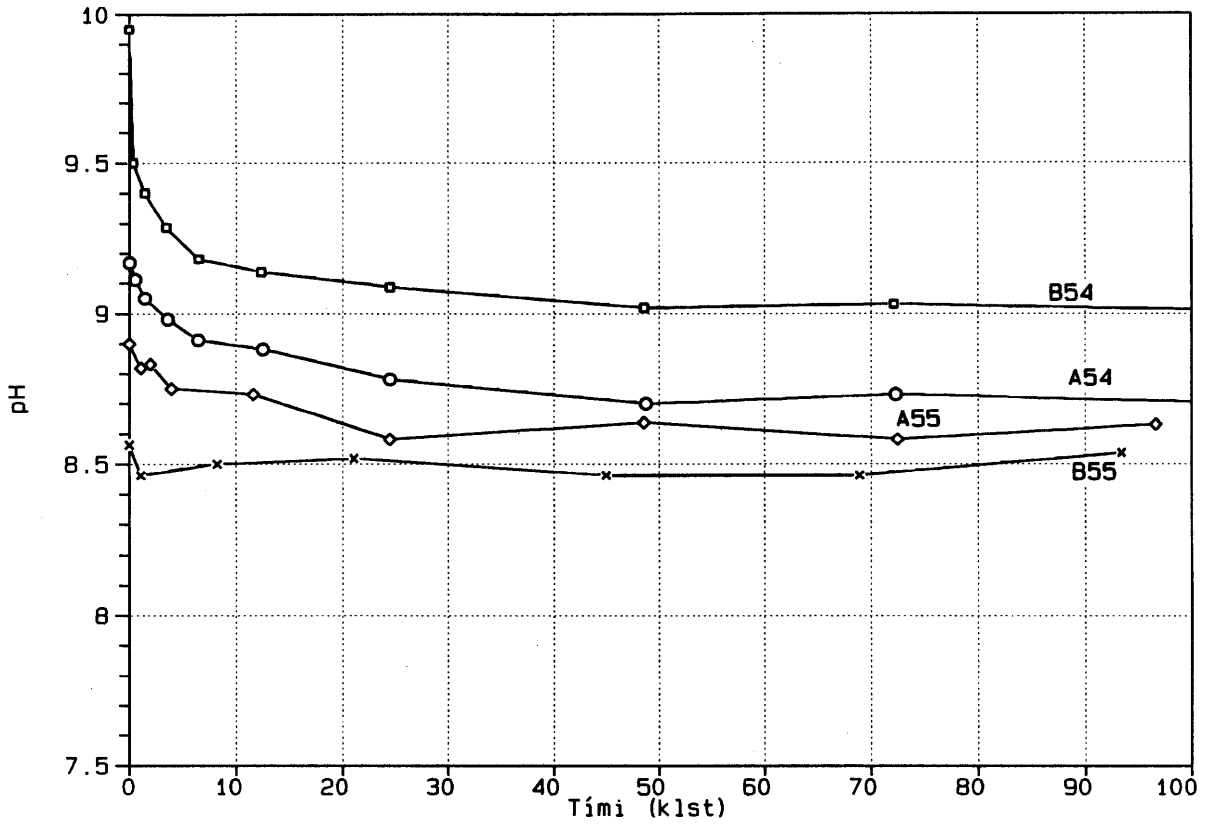
Númer sýnis	Tími (klst)	Hitast. (°C)	pH /25°C	----Efnastyrkur (mg/kg) -----								Styrkmínkun MgSiO <sub>3</sub> Mg:Si (mg/kg)	
				Basi (OH)	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	SiO <sub>2</sub>	Na	K	Ca	Mg	Mg:Si	(mg/kg)
5577		120,0	9,95	9,0	9,7	0,06	13,0	39,6	1,64	7,88	6,400		
5586	0,38	120,0	9,50				10,4	39,6	1,62	7,84	4,160	2,16	7,0
5587	1,38	120,0	9,40				9,0	39,4	1,56	7,76	3,830	1,60	9,4
5588	3,38	120,0	9,29				8,6	39,2	1,64	7,74	3,570	1,59	10,4
5589	6,38	120,0	9,18				8,2	39,5	1,76	7,76	3,430	1,51	11,2
5590	12,38	120,0	9,14				8,3	39,8	1,96	7,78	3,260	1,66	11,3
5591	24,38	120,0	9,09				8,0	39,8	1,70	7,86	3,160	1,59	11,9
5592	48,63	120,0	9,02				8,2	39,7	1,82	7,86	3,010	1,73	11,9
5593	72,22	120,0	9,03				8,3	39,7	1,74	7,90	2,940	1,80	11,9
5595	312,05	120,0	8,88	4,2	9,4	0,00	9,5	38,8	2,30	8,18	2,540	2,69	11,0

**Tafla V2.10** Stálhylki. Tilraun A55 Svartsengi, 120°C, pH 8,90.  
Efnagreiningar vatnssýna

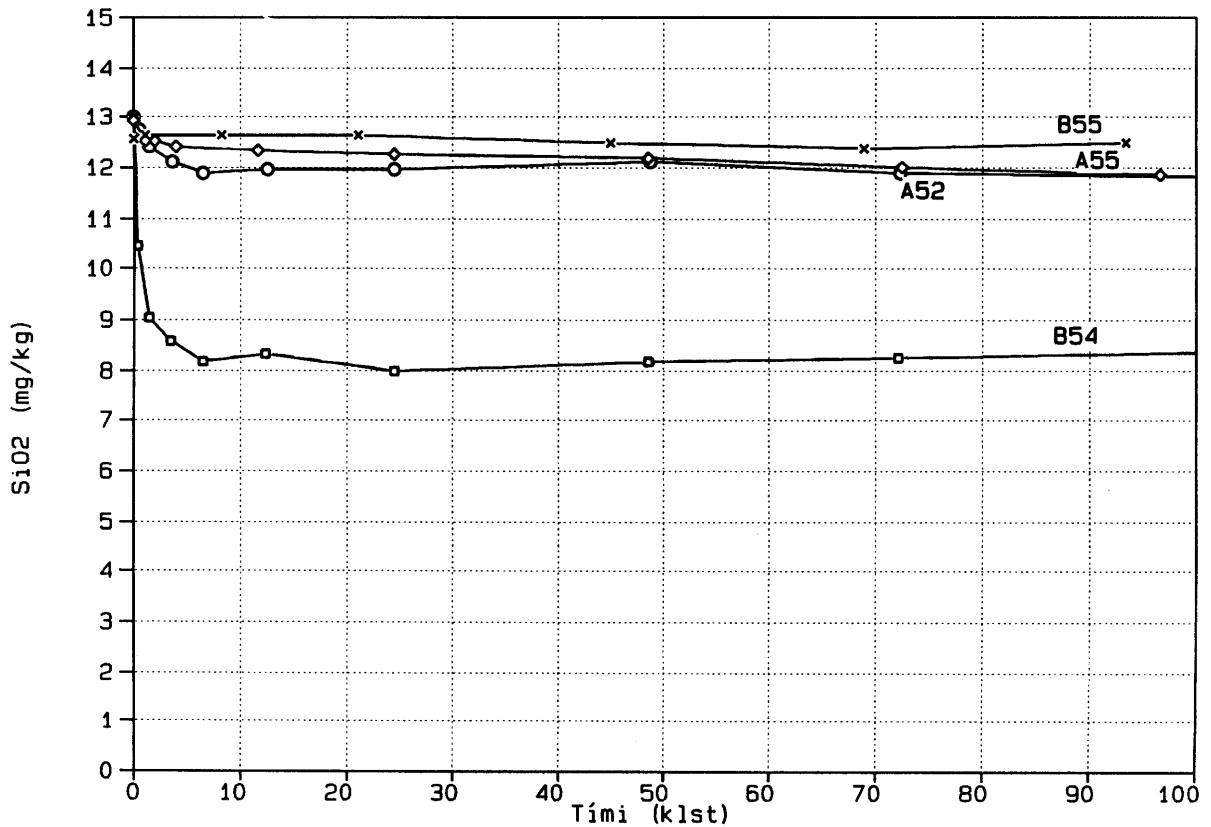
Númer sýnis (klst)	Tími	Hitast. (°C)	pH /25°C	----Efnastyrkur (mg/kg) -----								Styrkminnkun MgSiO <sub>3</sub>	
				Basi (OH)	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	SiO <sub>2</sub>	Na	K	Ca	Mg	Mg:Si	(mg/kg)
5596		120,0	8,90	5,1	11,2	0,06	12,9	34,3	1,87	7,98	6,570		
5597	1,00	120,0	8,82				12,5	34,0	1,71	7,90	6,360	1,21	0,9
5598	2,00	120,0	8,83				12,5	33,9	1,59	7,88	6,330	1,38	1,0
5599	4,00	120,0	8,75				12,4	33,9	1,62	7,92	6,210	1,71	1,3
5600	11,67	120,0	8,73				12,3	33,9	1,61	7,88	6,130	1,78	1,5
5601	24,50	120,0	8,58				12,3	33,8	1,67	7,94	5,990	2,05	1,9
5602	48,50	120,0	8,64				12,2	33,6	1,63	7,96	5,840	2,31	2,2
5603	72,50	120,0	8,58				12,0	33,3	1,69	7,94	5,720	2,21	2,6
5604	96,67	120,0	8,63	4,1	9,7	0,00	11,9	33,0	1,70	7,88	5,590	2,22	3,0

**Tafla V2.4** Stálhylki. Tilraun B55 Svartsengi, 120°C, pH 8,56.  
Efnagreiningar vatnssýna

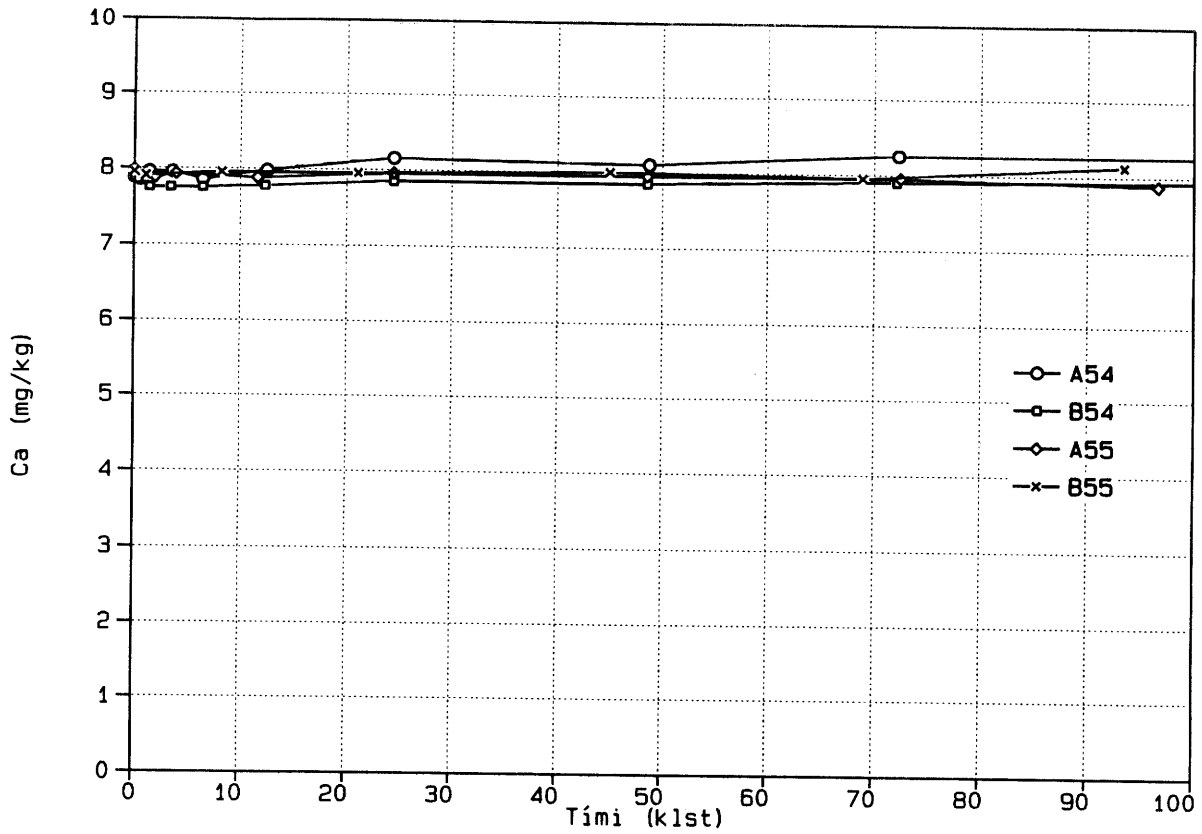
Númer sýnis (klst)	Tími	Hitast. (°C)	pH /25°C	----Efnastyrkur (mg/kg) -----								Styrkminnkun MgSiO <sub>3</sub>	
				Basi (OH)	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	SiO <sub>2</sub>	Na	K	Ca	Mg	Mg:Si	(mg/kg)
5605		120,0	8,56	5,3	12,6	0,12	12,6	33,8	1,57	7,96	6,570		
5606	1,00	120,0	8,46				12,6	33,8	1,54	7,90	6,460	-3,02	0,1
5607	8,17	120,0	8,50				12,6	33,7	1,55	7,96	6,400	-4,67	0,2
5608	21,00	120,0	8,52				12,6	33,8	1,59	7,94	6,270	-8,23	0,4
5609	45,00	120,0	8,46				12,5	33,9	1,61	7,99	6,170	10,98	0,8
5610	69,00	120,0	8,46				12,4	33,9	1,63	7,95	6,040	7,70	1,1
5611	93,33	120,0	8,54	4,7	12,4	0,00	12,5	34,1	1,66	8,13	5,990	15,92	1,1



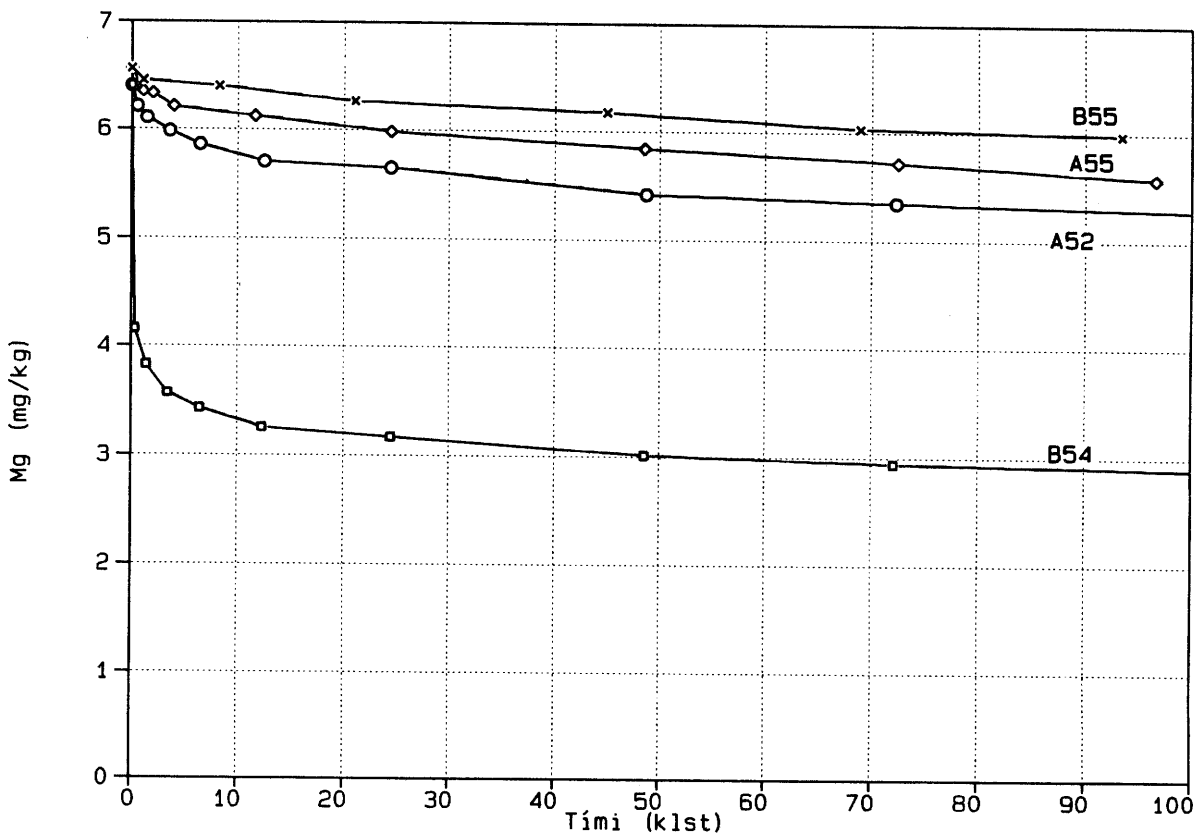
Mynd V2.9 Stálhylki, Svartsengi, 120°C. Sýrustig á móti tíma.



Mynd V2.10 Stálhylki, Svartsengi, 120°C. Kísill á móti tíma.



Mynd V2.11 Stálhylki, Svartsengi, 120°C. Kalstúm á móti tíma.



Mynd V2.12 Stálhylki, Svartsengi, 120°C. Magnestum á móti tíma.