

LV-2013-051



Landsvirkjun



# Þeistareykjavirkjun

Prófun ferksvatns fyrir kælivatnshringrás virkjunar

## Lykilsíða



Skýrsla LV nr: LV-2013-51

Dags: 06.06.13

Fjöldi síðna: 18

Upplag: 3

Dreifing:

- Birt á vef LV  
 Opin  
 Takmörkuð til

Titill: Þeistareykjavirkjun - Prófun ferskvatns fyrir kælivatnshringrás virkjunar

Höfundar/fyrirtæki: Trausti Hauksson/Kemía

Verkefnisstjóri: Sigurður H. Markússon

Unnið fyrir: Landsvirkjun

Samvinnuaðilar: Kemía

Útdráttur: Skýrslan fjallar tilraunir með ferskvatn úr borholu ÞG-09 á fyrirhuguðu vatnstöksvæði Þeistareykjavirkjunar. Vatnið var profað í tilraunakæliturni þar sem áhrif uppgufunar á útfellingu kalks voru rannsökuð.

Ef ferskvatn úr borholu ÞR-9 er notað til áfyllingar í kælivatnshringrás Þeistareykjavirkjunar má styrkur steinefna ekki aukast meira en 2,9-falt svo að tryggt sé að engar kalkútfellingar myndist í kælivatnshringrásinni. Miðað við 236 kg/s hámarks uppgufun frá 180 MW virkjun þarf rennsli áfyllingarvatns í kælivatnshringrásina að vera lágmark 360 kg/s. Með sýringu áfyllingarvatnsins má spara ferskvatn.

Lykilorð: Þeistareykjavirkjun, kæliturn, kælivatn, kalkútfellingar, ferskvatnshola ÞG-09.

ISBN nr:

Samþykki verkefnisstjóra  
Landsvirkjunar

*Sigurður H. Markússon*

LV-2013-051



# Þeistareykjavirkjun

Prófun ferksvatns fyrir kælivatnshringrás virkjunar

Trausti Hauksson

Apríl 2013



## EFNISYFIRLIT

1 Inngangur .....	4
2 Kalkútfellingar úr kælivatni .....	5
3 Framkvæmd tilrauna .....	7
3.1 Tilraunabúnaður .....	7
3.2 Framkvæmd tilrauna .....	8
4 Niðurstöður tilrauna .....	10
4.1 Ómeðhöndlað vatn .....	10
4.2 Sýruíblöndun.....	12
5 Helstu niðurstöður .....	14
6 Heimildir .....	15

## Töflur

Tafla 1 Yfirlit tilrauna .....	9
Tafla 2 Sýrunotkun og vatnssparnaður .....	13

## Myndir

<i>Mynd 1 Tilraunakæliturn .....</i>	<i>7</i>
<i>Mynd 2 Tilraunakæliturn uppsettur .....</i>	<i>8</i>
<i>Mynd 3 Mæling sýrustigs og sýnataka .....</i>	<i>9</i>
<i>Mynd 4 Kalsíumstyrkur á móti styrkingarlutfalli.....</i>	<i>10</i>
<i>Mynd 5 Kalkmettun sem fall af styrkingarlutfalli .....</i>	<i>12</i>
<i>Mynd 8 Sýruíblöndun. Kalsíumstyrkur á móti styrkingarlutfalli.....</i>	<i>13</i>

## 1 Inngangur

Efnagreining ferskvatns úr borholu ÞG-09 á fyrirhuguðu vatnstöksvæði þeistareykjavirkjunar gefur til kynna að vatnið sé hagstætt til notkunar til áfyllingar í kælivatnshringrás hennar. Mun betra en vatn sem fánlegt er í Bjarnarflagi, sjá skýrslu (Trausti Hauksson 2012).

Samkvæmt tilraununum sem framkvæmdar voru í Bjarnarflagi 2012 var hægt að spá fyrir um útfellingu úr kælivatni í rekstri virkjunar með því að efnagreina vatnið og reikna út hvort mettunarhlutfallið  $\log_{10}(k/k_{sp})$  er undir eða yfir 1 (tífold yfirmettun).

Til þess að sannreyna þetta fyrir vatn úr ÞR-9 voru gerðar þrjár tilraunir. Vatnssýni var tekið úr holunni og prófað í tilraunakæliturni í skiljustöð-I í Bjarnarflagi.

Tvær tilraunir voru gerðar með ómeðhöndlað vatn og ein með vatni sýrt með saltsýru (HCl)

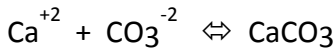
Trausti Hauksson, Kemía ehf., útfærði tilraunirnar en Ásgerður K. Sigurðardóttir og Vigdís Harðardóttir sáu um framkvæmd tilraunanna og efnagreindu sýnin undir verkstjórn Sigurðar H. Markússonar. Umsjón annaðist Árni Gunnarsson.

## 2 Kalkútfellingar úr kælivatni

Miðað er við að ferskvatn verði eingöngu notað til áfyllingar í kælivatnshringrás þeistareykjavirkjunar og það verði tekið úr vatnsholu ÞR-9.

Ef ferskvatnið er kalkríkt og basískt yfirmettast það fyrir kalki vegna styrkingar steinefna og afgösunar í kæliturni, sem leiðir til útfellingar kalks.

Útfelling kalks ( $\text{CaCO}_3$ ) ræðst af eftirfarandi efnajöfnu:



Við jafnvægi ræðst styrkur  $\text{Ca}^{+2}$  og  $\text{CO}_3^{-2}$  af leysnimargfeldi kalks. Eftirfarandi jafna gildir um leysnimargfeldið sem er fall af hita vatnsins og hefur það samband verið ákvarðað með tilraunum.

$$k_{sp} = (\text{Ca}^{+2}) * (\text{CO}_3^{-2})$$

$(\text{Ca}^{+2})$  = virkni kalsíumjóna í vatninu.

$(\text{CO}_3^{-2})$  = virkni karbonatjóna í vatninu.

Uppgufun eykur styrk jónanna og jónamargfeldið ( $k = (\text{Ca}^{+2}) * (\text{CO}_3^{-2})$ ) verður hærra en leysnimargfeldið ( $k_{sp}$ ) og kalk fellur út sem fast efni þar til jafnvægi næst aftur. Ef yfirmettun er lítil gerist efnahvarfið mjög hægt og kalksameindir falla eingöngu út á fast yfirborð (“molecular deposition”). Við þær aðstæður er útfellingin hæg og ætti ekki að hafa veruleg áhrif á rekstur kælikerfisins.

Við aukna yfirmettun verður kyrning í vatninu og útfellingarhraðinn eykst. Í fyrstu verður svokölluð einsleit kyrning (“homogenous nucleation”) þegar kalkagnir myndast í vatninu og setjast á yfirborð. Útfellingarhraðinn verður meiri og getur haft áhrif á reksturs kælikerfisins.

Þegar styrkingin og yfirmettunin eykst enn meira verður misleit kyrning (“heterogeneous nucleation”) þegar kalkagnir í vatninu bindast hvorri annarri og falla hratt út. Við þessar aðstæður verður hröð útfelling sem hefur mikil áhrif á reksturinn.

Þegar ferskvatn er notað til áfyllingar í kælivatnshringrás þá eykst styrkur steinefna í vatninu vegna uppgufunar. Ef áfyllingarrennsli er lítið þ.e. útskolun (yfirfalli í pró) er haldið í lágmarki, þá getur styrkur steinefna orðið það mikill að útfellingar myndast. Efnasamsetning áfyllingarvatnsins segir til um hámarks styrkingarhlutfall.

Með því að stjórna innflæði ferskvatns inn í kælirásina og tryggja nægilega útskolun má koma í veg fyrir að vatnið nái þeim mörkun að kyrning verði í því og þar með kalkútfelling.

Eftirfarandi jafna sýnir samband áfyllingarrennslis ( $R_f$ ), uppgufunarrennslis ( $R_u$ ) og styrkingarhlutfalls vatnsins í kælivatnshringrás ( $CC$ ).

$$R_f = R_u * CC / (CC - 1)$$

Styrkingarhlutfall ("Cycles of Concentration") er mælikvarði á styrkingu steinefna í vatninu.

$$CC = Na / Na\text{-fæðivatn}$$

Ef ekkert kalk fellur út í kælivantstrásinni, hækkar styrkur kalsíums samsvarandi og styrkur natríums.

$$Ca = Ca\text{-fæðivatn} * CC$$

Með tilraununum voru þau styrkingarhlutföll (CC) ákvörðuð sem valda einsleitri kyrningu (hæg útfelling) annars vegar og misleitri (hröð útfelling) hins vegar. Þannig er hægt að ákvarða hversu mikið ferskvatn (RF) þarf til áfyllingar í kælivantshringrás þeistareykjavirkjunar miðað við ákveðna uppgufun (RU) til að koma í veg fyrir útfellingar.

Ef sýru er blandað í kælivatnshringrásina lækkar sýrustig pH og styrkur  $H^+$  jóna eykst .



Við það minnkar styrkur  $CO_3^{-2}$ , sem lækkar jónamargfeldið og hefur áhrif á kalkmettun. Sýruíblöndun er því möguleg leið til þess að stjórna útfellingunni og draga úr þörf á áfyllingarvatni. Með tilraunum er hægt að mæla áhrif sýruíblöndunar á kyrninguna.

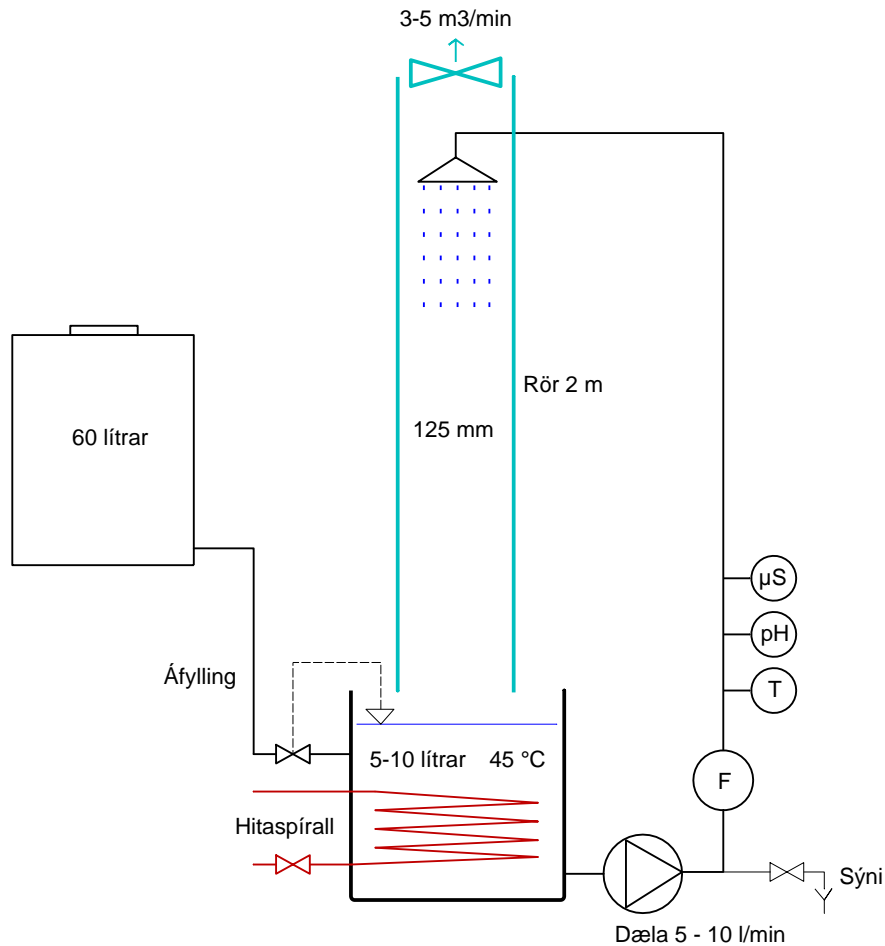
Í jarðhitaorkuverum fellur til mikið þéttivatn sem hægt er að nota til áfyllingar í kælivatnshringrásina. Ef það er notað eitt sér verða engar kalkútfellingar í kerfinu því ekkert kalsíum verður þá til staðar. Ef það er notað til drýingar á ferskvatni (þ.e.a.s áfyllingarvatn er blanda af fersk- og þéttivatni) geta orðið útfellingar en reikna má með að hægt verði að draga út þörf áfyllingarvatns umfram uppgufun án útfellinga vegna minni steinefnastyrks í áfyllingarvatninu.



### 3 Framkvæmd tilrauna

#### 3.1 Tilraunabúnaður

Eftirfarandi mynd sýnir módel af kæliturni sem notaður var til þess að prófa kælivatnið.



Mynd 1 Tilraunakæliturn

Tilraunakæliturninn var smíðaður hjá Íslenskri Jarðhitatækni ehf. í Mosfellsbæ. Hann er gerður úr venjulegu lagnaefni nema tankurinn sem er úr ryðfríu stáli, sjá mynd 2.

Í tankinum er ryðfrír spíral til upphitunar vatns með gufu. Vatninu er hringdælt og því úðað á móti lofti svipað og í kæliturni virkjunar. Ekkert yfirfall er haft á kæliturninum og var jafnmiklu vatni bætt á turninn og gufar upp.

Tilraunakæliturninum er komið fyrir í skiljustöð-I í Bjarnarflagi. Þar er rafmagn og gufa til upphitunar.



*Mynd 2 Tilraunakæliturn uppsettur*

### **3.2 Framkvæmd tilrauna**

Vatni var dælt upp úr holu PR-9 á þeistareykjum. Dælt var í nokkrar klst. áður en fyllt var á 24 l brúsa til notkunar í tilrauninni.

Vatnið var látið renna í tilraunakæliturninn þar sem það hitnaði í um 45 °C. Fylgst var með hita og sýrugildi og tekin sýni til mælinga á styrk steinefna í vatninu. Sýnin voru síuð með 0,2 µm míkrosíum og efnagreind samdægurs með jónagreini. Heildarkarbónat var einnig greint með títrun.



*Mynd 3 Mæling sýrustigs og sýnataka*

Þrjár tilraunir voru gerðar, sjá töflu 1. Niðurstöður allra efnagreininga eru skráðar í ViewData (Kemia 2010).

**Tafla 1 Yfirlit tilrauna**

Tilraun nr	Tilraun hefst	Tilraun hættir	Stærð safns	Lýsing
ÞEI-KT-01	2012-08-23 16:00	2012-08-24 00:00	17	ÞR-09
ÞEI-KT-02	2012-08-29 14:00	2012-08-30 02:00	17	ÞR-09
ÞEI-KT-03	2012-09-18 08:10	2012-09-18 20:10	13	ÞR-09 + 8 mg/kg HCl

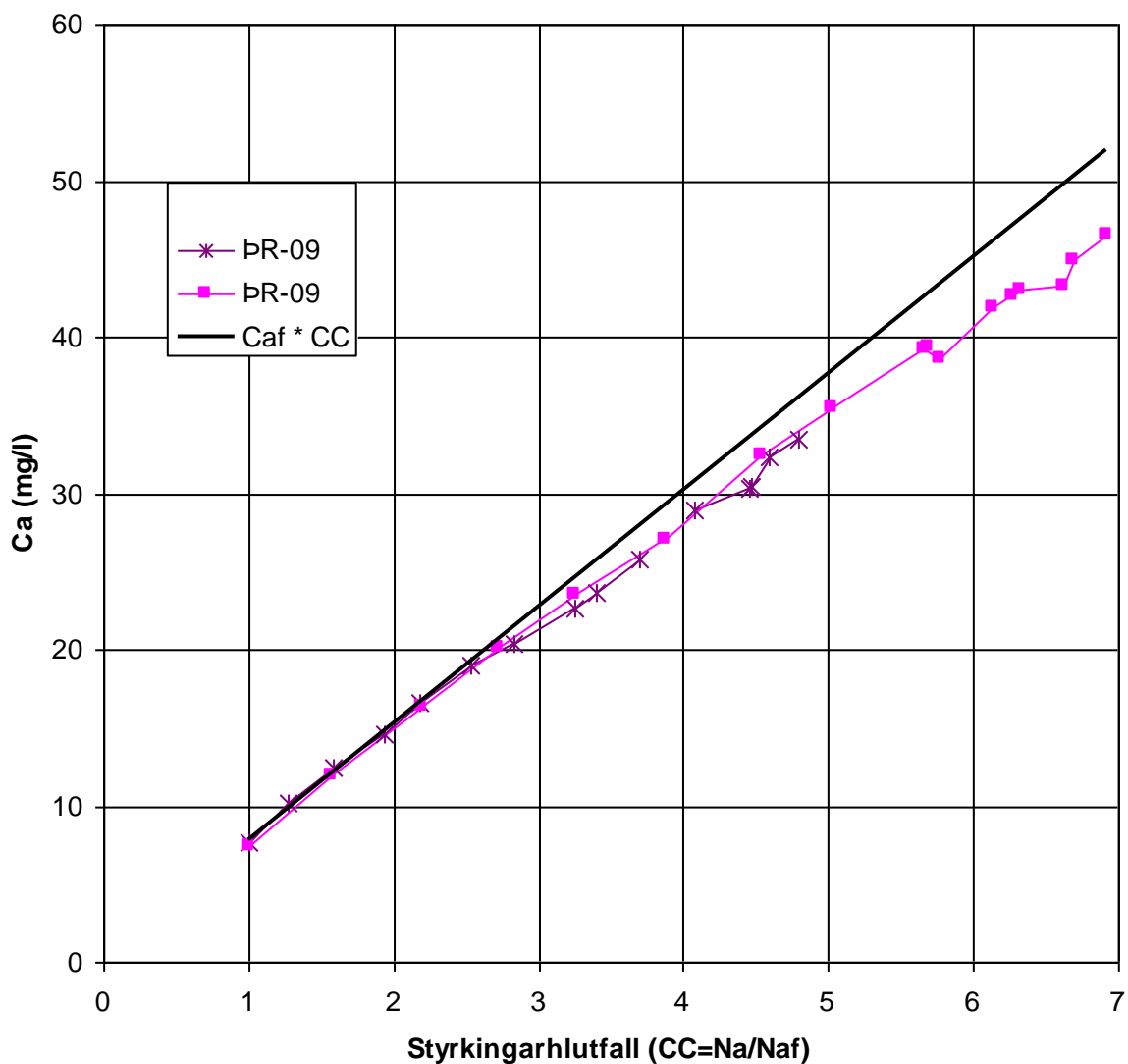
## 4 Niðurstöður tilrauna

### 4.1 Ómeðhöndlað vatn

Tvær tilraunir voru gerðar með ómeðhöndlað ferskvatn úr borholu ÞR-9.

#### Styrkbreytingar kalsíums

Eftirfarandi mynd sýnir mældan styrk kalsíums í vatninu á móti styrkingarlutfalli. Beina svarta línan er reiknaður styrkur kalsíums ef ekkert kalk fellur úr lausn.



Mynd 4 Kalsíumstyrkur á móti styrkingarlutfalli

Styrkur kalsíums byrjar að víkja frá styrkingarlínunni þegar styrkur kalsíums (Ca) hefur aukist vegna uppgufunar og náð styrkleikanum um 22 mg/l sem gerist þegar styrkingarlutfallið fer yfir 2,9. Frávikið frá styrkingarlínunni er lítið, sem bendir til þess að

útfellingin stjórnist af einsleitinni kyrningu (“homogenous nucleation”). Frávikið eykst jafnt og þétt og þar með magn útfellinga sem myndast. Í Bjarnarflagsvatni byrjar einsleit kyrning við styrkingarhlutfall 2.

Við áframhaldandi uppgufun eykst kalkútfellingin og að endingu getur orðið misleit kyrning (“heterogenous nucleation”) og allt kalsíum sem bætist í kerfið fellur úr lausn. Það gerist ekki í vatninu úr ÞR-9 en misleit kyrning varð í vatni sem prófað var á sama hátt fyrir Bjarnarflagsvirkjun.

Til þess að fyrirbyggja alveg útfellingu kalks í kælivatnshringrás virkjunar er nauðsynlegt að koma í veg fyrir alla kyrningu.

**Styrkur steinefna í kælivatnshringrásinni á Þeistareykjum, sem notar ferskvatn úr borholu ÞR-9, má ekki aukast meira en 2,9 falt svo að tryggt sé að ekki verði kyrning og að engar kalkútfellingar myndist í kælivatnshringrásinni.**

Styrking steinefna ræðst af rennsli áfyllingarvatns og uppgufun sem er háð lofthita og rakastigi andrúmsloftsins. Við vothitastig (wet bulb) 12 °C áætlast uppgufun 229 kg/s en er breytilegt frá 180 til 236 kg/s (Þeistareykjavirkjun verkhönnun 2011).

Eftirfarandi jafna sýnir samband áfyllingarrennslis ( $R_f$ ), uppgufunar ( $R_u$ ) og styrkingarhlutfalls ( $CC$ ).

$$R_f = R_u * CC / (CC - 1)$$

**Miðað við 236 kg/s hámarksuppgufun frá 180 MW virkjun þarf lágmarksrennsli áfyllingarvatns í kælivatnshringrásina að vera 360 kg/s. ( $R_f = 236 * 2,9 / (2,9 - 1) = 360$  kg/s)**

## Kalkmettun

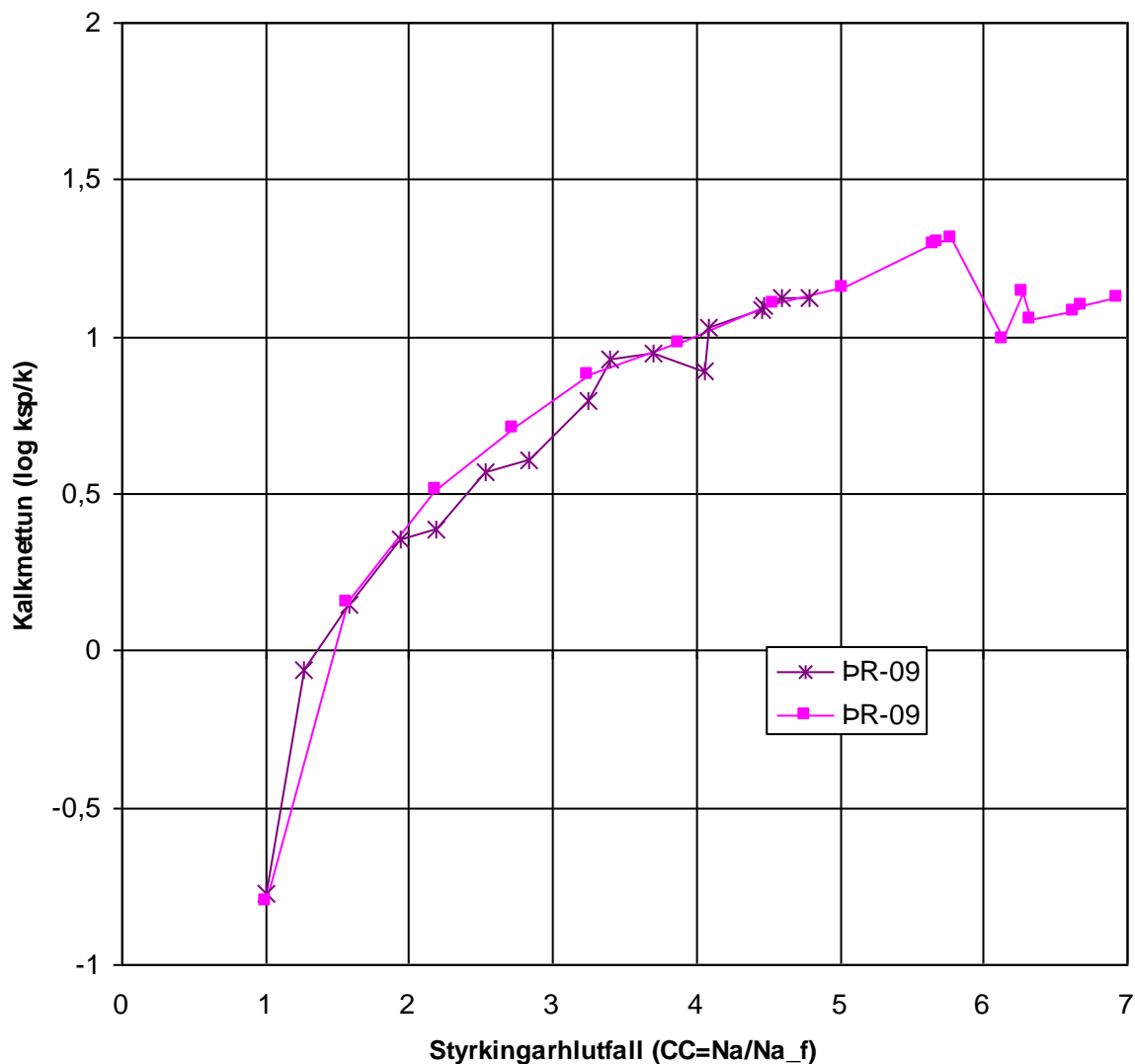
Ferskvatnið í ÞR-9 er undirmettað og breytist lítið við upphitun í 45°C. Vegna uppgufunar í kæliturninum og hækkandi efnastyrks eykst mettunin.

Þetta er sýnt á mynd 5 en þar er mettnarhlutfallið (“saturation ratio”) sem er hlutfall jónamargfeldis og leysnimargfeldis ( $k/k_{sp}$ ) sýnt á lógarítmískum skala ( $\log_{10}(k/k_{sp})$ ) = “saturation index”) á móti styrkingarhlutfalli (Cycles of Concentration =  $Na/Na_{fæðivatn}$ ). Reikningarnir eru gerðir í ViewData.

Í upphafi er vatnið undirmettað kalsíti og mettnarhlutfallið  $k/k_{sp} = 0,16$  og  $\log_{10}(k/k_{sp}) = -0,8$ . Undirmettunin bendir til þess að um sé að ræða regnvatn sem ekki hefur streymt lengi í bergi og sem ekki hefur náð fullu jafnægi við bergsteindir.

Við uppgufun eykst styrkur bæði kasíums og karbonats. Yfirmettunin er fimmföld, ( $k/k_{sp} = 5$  og  $\log_{10}(k/k_{sp}) = 0,7$ ), þegar styrkingarhlutfall nær 2,9 og samleit kyrning virðist byrja í vatninu. Í Bjarnarflagsvatni byrjar misleit kyrning þegar styrkingarhlutfall er 2, eða við tífalda yfirmettun.

Hæst nær yfirmettunin  $\log_{10}(k/k_{sp}) = 1,1$  í tilrauninni og hún náði aldrei að verða 1,5. Í Bjarnarflagsvatni varð misleit kyrning við yfirmettunarhlutfallið 1,5.



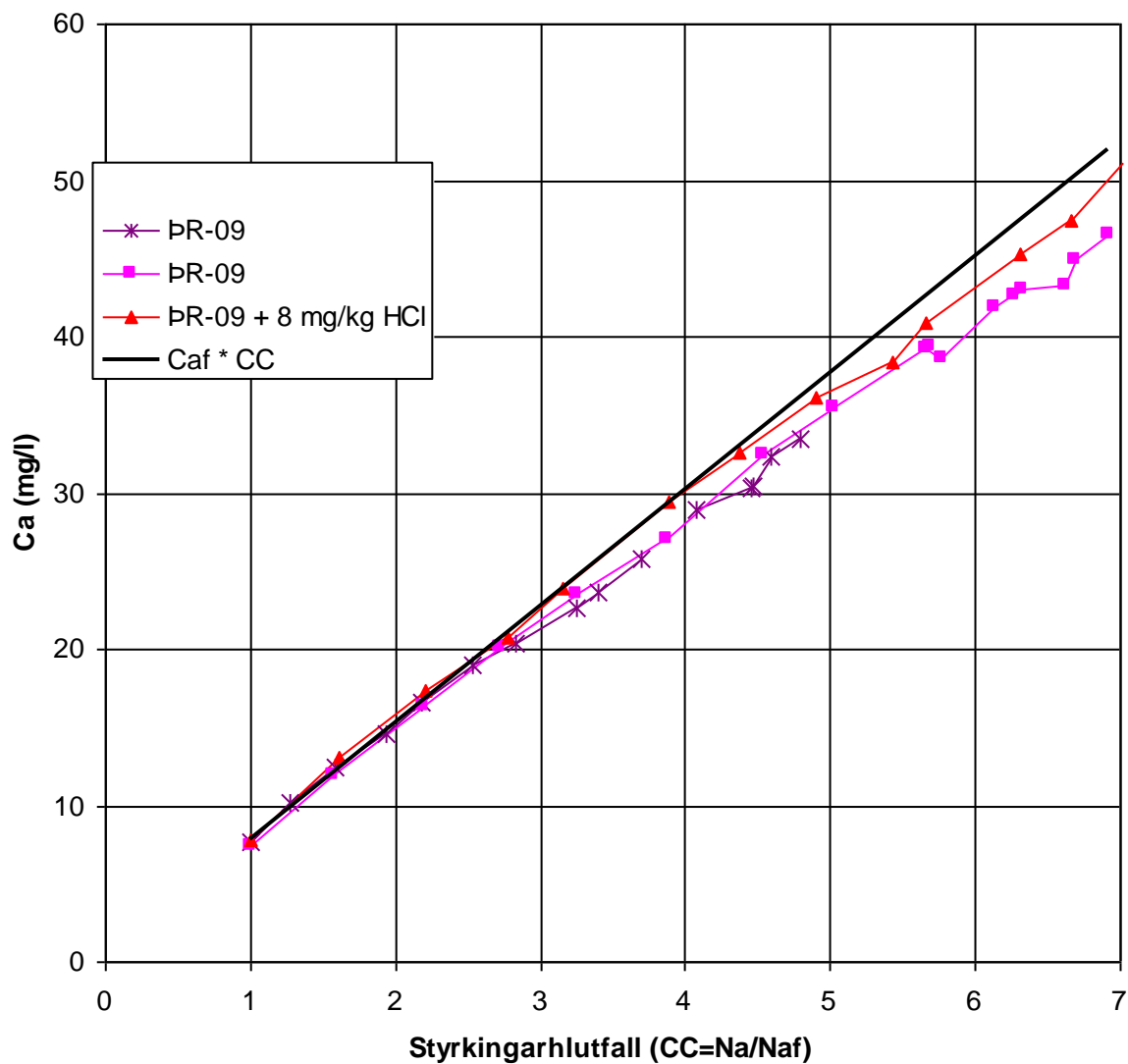
Mynd 5 Kalkmettun sem fall af styrkingarhlutfalli

## 4.2 Sýruíblöndun

Íblöndun sýru í kælivatnið lækkar jónamargfeldi kalks í vatninu og minnkar kalkyfirmettun. Ein tilraun var gerð þar sem sýru var bætt í vatnið áður en það rann inn í tilraunakæliturninn.

Mynd 8 sýnir mældan styrk kalsíums í vatninu á móti styrkingarhlutfalli í ósýrðu og sýrðu vatni.

Þegar 8 mg/l af saltssýru (HCl) er bætt í fæðivatnið þarf meiri styrkingu en í ómeðhöndluðu vatni til þess að einsleit kyrning eigi sér stað. Það gerist þegar kalsíumstyrkurinn verður um 35 mg/kg við um 4,5 faldna styrkingu samanborið við 2,9 faldna styrkingu í ómeðhöndluðu vatni.



Mynd 6 Sýruíblöndun. Kalsíumstyrkur á móti styrkingarhlutfalli.

Í töflu 2 er sýnt hversu mikið vatn sparast og hversu mikla sýru þarf á ári fyrir 180 MW Þeistareykjavirkjun. Einnig er sýndur áætlaður sýrukostnaður miðað við listaverð hjá einum söluaðila. Ekki er reiknað með kostnaði vegna flutnings, aðstöðu né mögulegum verðafslætti vegna magnkaupa.

Tafla 2 Sýrunotkun og vatnssparnaður.

HCl mg/kg	CC max	Fæðivatn kg/s	Sparnaður kg/s	HCl 33% m <sup>3</sup> /y	Kostnaður Mkr/y *)
0	2,9	360	0	0	
8	4,5	303	57	232	24,6

\*) Miðað við HCl 33% á 106.000 kr/m<sup>3</sup>

## 5 Helstu niðurstöður

Ef ferskvatn úr borholu ÞR-9 er eingöngu notað til áfyllingar í kælivatnshringrás Þeistareykjavirkjunar má styrkur steinefna ekki aukast meira en 2,9-falt svo að tryggt sé að ekki verði kyrning og engar kalkútfellingar myndist í kælivatnshringrásinni.

Miðað við 236 kg/s (59 kg/s,vél) hámarks uppgufun frá 180 MW virkjun þarf rennsli áfyllingarvatns í kælivatnshringrásina að vera lágmark 360 kg/s (90 kg/s,vél).

Með sýringu áfyllingarvatnsins má spara ferskvatn. Íblöndun 8 mg af saltsýru (HCl) í lítra af áfyllingarvatni sparar 57 kg/s af ferskvatni (15 kg/s,vél). Sýrunotkun verður þá 232 rúmmetrar á ári af 33% sýru á ári.



## 6 Heimildir

Mannvit 2011. Þeistareykjavirkjun verkhönnun 2011. Útgáfa 1. LV-2011-065 Þeistareykir ehf - Landsvirkjun Júní 2011, 110 s.

Kemia 2010. *ViewData. Gagnabirtingarkerfi fyrir jarðvatnsvinnslu*. Notkunarleiðbeingar. Kemía janúar 2010, útgáfa 1.6, 14 s.

Trausti Hauksson 2011. Þeistareykjavirkjun. Vinnslueiginleikar gufu og vatns úr borholum. Skýrsla nr. LV-2011-123. September 2011, 20 s.

Trausti Hauksson 2012. Bjarnarflagsvirkjun. Prófun vatns fyrir kæliturna. Skýrsla nr. LV-2012-106. Október 2102, 21 s.



Landsvirkjun

Háaleitisbraut 68  
103 Reykjavík  
landsvirkjun.is

landsvirkjun@lv.is  
Sími: 515 90 00

