

LV-2012-106



Landsvirkjun



Bjarnarflagsvirkjun

Prófun vatns fyrir kæliturna

Lykilsíða



Skýrsla LV nr: LV-2012-106

Dags: 31. október 2012

Fjöldi síðna: 18

Upplag: 3

Dreifing:

- Birt á vef LV
- Opin
- Takmörkuð til

Titill: Bjarnarflagsvirkjun. Prófun vatns fyrir kæliturna.

Höfundar/fyrirtæki: Trausti Hauksson

Verkefnisstjóri: Sigurður H. Markússon

Unnið fyrir: Landsvirkjun

Samvinnuaðilar: Kemía

Útdráttur: Skýrslan fjallar tilraunir með ferskvatn úr holu LUD-3 í Búrfellshrauni. Vatnið var profað í tilraunakæliturni þar sem áhrif uppgufunar á útfellingu kalks voru rannsökuð.

Styrkur steinefna í kælivatnshringrásinni má ekki aukast meira en 2-falt til þess að tryggt sé að ekki verði kyrning og að engar kalkútfellingar myndist í kælihringrásinni. Miðað við 130 kg/s uppgufun frá 90 MW virkjun þarf rennsli fæðivatns inn í kælirásina að vera 260 kg/s. Samkvæmt tilraununum ætti að vera hægt að spá fyrir um útfellingu úr kælivatni í rekstri virkjunar með því að efnagreina vatnið.

Lykilorð: Bjarnarflagsvirkjun, kæliturn, kælivatn, kalkútfellingar, ferskvatnshola LUD-3.

ISBN nr:

Samþykki verkefnisstjóra
Landsvirkjunar

Sigurður Markússon

LV-2012-106



Bjarnarflagsvirkjun

Prófun vatns fyrir kæliturna

Október 2012

EFNISYFIRLIT

1 Inngangur	3
2 Kalkútfellingar úr kælivatni.....	4
3 Framkvæmd tilrauna	6
3.1 Tilraunabúnaður	6
3.2 Framkvæmd tilrauna	7
4 Niðurstöður tilrauna	9
4.1 Ómeðhöndlað vatn.....	9
4.2 Sýruíblöndun	11
4.3 Þynning með þéttivatni	14
5 Helstu niðurstöður.....	17
6 Heimildir	18

Töflur

Tafla 1 Yfirlit tilrauna	8
Tafla 2 Sýrunotkun og vatnssparnaður.....	14
Tafla 3 Þynning og vatnssparnaður.....	16

Myndir

<i>Mynd 1 Tilraunakæliturn</i>	<i>6</i>
<i>Mynd 2 Tilraunakæliturn uppsettur</i>	<i>7</i>
<i>Mynd 3 Mæling sýrustigs og sýnataka</i>	<i>8</i>
<i>Mynd 4 Kalsíumstyrkur á móti styrkingarlutfalli.....</i>	<i>9</i>
<i>Mynd 5 Kalkmettun sem fall af styrkingarlutfalli</i>	<i>11</i>
<i>Mynd 6 Sýruíblöndun. Sýrustig (pH) á móti styrkingarlutfalli.....</i>	<i>12</i>
<i>Mynd 7 Sýruíblöndun. Kalkmettun á móti styrkingarlutfalli.....</i>	<i>13</i>
<i>Mynd 8 Sýruíblöndun. Kalsíumstyrkur á móti styrkingarlutfalli.....</i>	<i>14</i>
<i>Mynd 9 Þynning. Kalkmettun á móti styrkingarlutfalli</i>	<i>15</i>
<i>Mynd 10 Þynning. Kalsíumstyrkur á móti styrkingarlutfalli</i>	<i>16</i>

1 Inngangur

Samkvæmt efnagreiningu ferskvatns úr borholum á Bjarnarflagssvæðinu er vatnið óhagstætt til notkunar sem áfylling á kæliturni, sjá skýrslu (Trausti Hauksson 2011). Það ferskvatn sem stendur til að nota fyrir Bjarnarflagsvirkjun er alkalískt og kalsíum er með meira móti. Samkvæmt útreikningum munu kalkútfellingar myndast þegar vatnið gufar upp í kæliturni og styrkur efna eykst. Ákveðið var að prófa þetta með tilraun.

Smíðaður var tilraunakæliturn og hann settur upp í skiljustöðinni í Bjarnarflagi og gerðar nokkrar tilraunir með vatn úr holu LUD-3. en holan er staðsett á áætluðu vatnstökusvæði virkjunarinnar í Búrfellshrauni.

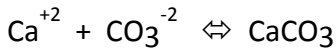
Tilraunir voru gerðar með ómeðhöndlað vatn, vatn sýrt með saltsýru (HCl) og vatn þynnt með afjónuðu vatni.

Trausti Hauksson sá um útfærslu og framkvæmd tilraunar. Ásgerður K. Sigurðardóttir og Svanfríður H. Magnúsdóttir aðstoðuðu við framkvæmd tilraunanna og efnagreindu sýnin. Verkefnisstjóri Landsvirkjunar var Sigurður H. Markússon.

2 Kalkútfellingar úr kælivatni

Ef kælivatnið er kalkríkt og basískt verður það yfirmettað kalki vegna styrkingar steinefna og afgösunar í kæliturni.

Útfelling kalks (CaCO_3) ræðst af eftirfarandi efnajöfnu:



Við jafnvægi ræðst styrkur Ca^{+2} og CO_3^{-2} af leysnimargfeldi kalks. Eftirfarandi jafna gildir um leysnimargfeldið sem er fall af hitastigi vatnsins og hefur það samband verið ákvarðað með tilraunum.

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

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

(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 á kæliturna þá eykst styrkur steinefna í vatninu vegna uppgufunar. Ef áfyllingarrennsli er lítið þá getur styrkur steinefna orðið það mikill að útfellingar myndast. Efnasamsetning áfyllingarvatnsins ræður því hversu hátt styrkingarhlutfall er mögulegt.

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

Eftirfarandi jafna sýnir samband fæðivatnsrennslis (R_f), uppgufunar (R_u) og styrkingarhlutfalls (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 úr lausn á styrkur kalsíums að hækka samsvarandi og styrkur natríums.

$$Ca = Ca\text{-fæðivatn} * CC$$

Með tilraununum var það styrkingarhlutfall (CC) ákvarðað sem veldur einsleitri kyrningu (hæg útfelling) og misleitri (hröð útfelling). Þannig var hægt að ákvarða hversu mikið kælivatn þarf til áfyllingar ef tryggja á útfellingafrítt kælikerfi.

Íblöndun sýru lækkar sýrustig pH og styrkur H^+ jóna eykst .



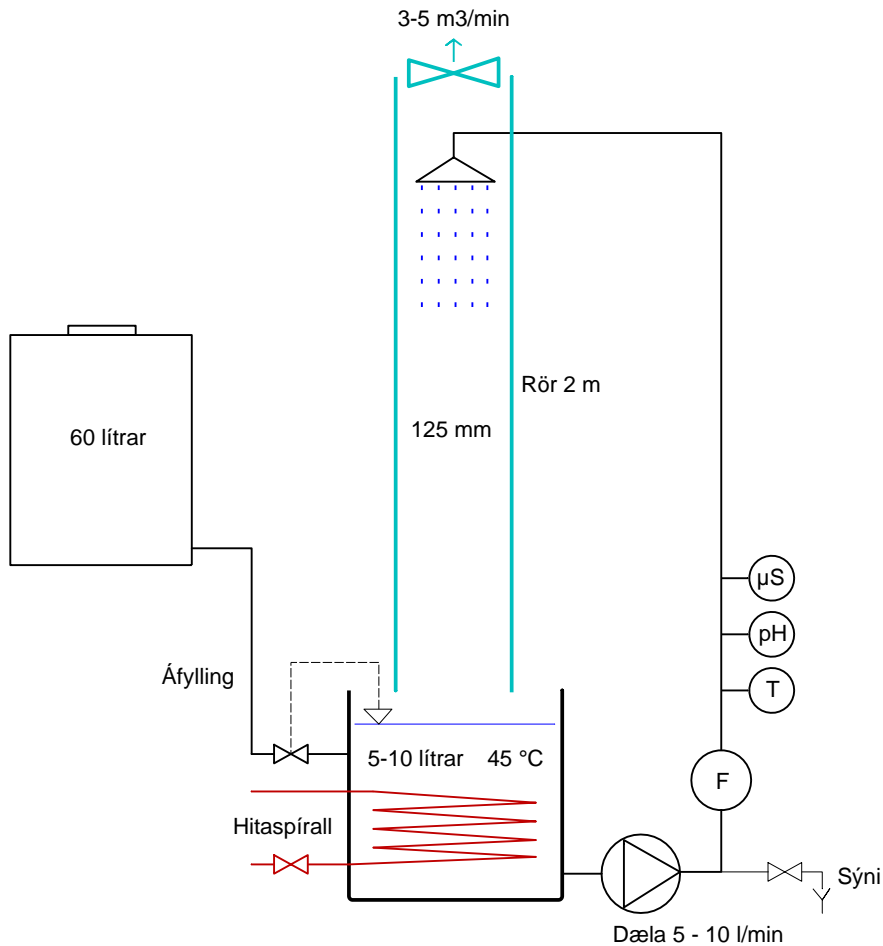
CO_3^{-2} styrkur minnkar sem lækkar jónamargfeldið og hefur áhrif á kalkmettun. Sýruíblöndun er því möguleg leið til þess að stjórna útfellingunni. Með tilraunum er hægt að mæla áhrif sýruíblöndunarinnar á kyrninguna.

Í jarðhitaorkuverum fellur til mikið þéttivatn sem nota má til áfyllingar á kæliturnum. Ef það er notað eitt sér verða engar kalkútfellingar í kerfinu því ekki kalsíum verður til staðar. Ef það verður notað til drýingar á ferskvatni geta orðið útfellingar en reikna má með að hægt verði að sjóða vatnið lengra niður án útfellinga vegna minni steinefnastyrks í fæðivatninu.

3 Framkvæmd tilrauna

3.1 Tilraunabúnaður

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



Mynd 1 Tilraunakælituren

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

Í tanknum var ryðfrír spíral sem notaður var til að hita vatnið með gufu. Vatninu var hringdælt og því úðað á mót lofti svipað og í kælitureni. Ekkert yfirfall var úr kælitureninum og var jafnmiklu vatni bætt á turninn og gufaði upp.

Tilraunakælitureninn var settur upp í skiljustöð í Bjarnarflagi þar sem aðgangur var að rafmagni og gufu til upphitunar.



Mynd 2 Tilraunakæliturn uppsettur

3.2 Framkvæmd tilrauna

Farið var að holu LUD-3 í Búrfellshrauni og dælt úr holunni í 3 klst áður en vatni var dælt á 24 l brúsa til þess að nota í tilrauninni.

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



Mynd 3 Mæling sýrustigs og sýnataka

Tólf tilraunir voru gerðar og er yfirlit þeirrasýnt í töflu 1. Niðurstöður allra efnagreininga eru skráðar í ViewData (Kemica 2010).

Tafla 1 Yfirlit tilrauna

Tilraun nr	Tilraun hefst	Tilraun hættir	Stærð safns	Lýsing
BFL-KT-01	2012-05-08 16:10	2012-05-08 21:30	12	LUD-3
BFL-KT-02	2012-05-10 10:25	2012-05-10 18:00	16	LUD-3
BFL-KT-03	2012-06-12 14:00	2012-06-12 21:30	16	LUD-3
BFL-KT-04	2012-06-14 09:00	2012-06-14 17:00	16	LUD-3
BFL-KT-05	2012-07-02 14:30	2012-07-02 22:00	16	LUD 3 + 8 mg/l HCl
BFL-KT-07	2012-07-24 13:00	2012-07-24 20:35	16	LUD-3 + 17% þynning
BFL-KT-08	2012-07-25 13:00	2012-07-25 20:30	16	LUD 3 + 32 mg/l HCl
BFL-KT-09	2012-07-26 13:00	2012-07-26 20:30	16	LUD-3 + 33% þynning
BFL-KT-10	2012-09-19 13:30	2012-09-19 20:30	15	LUD-3 + 17% þynning
BFL-KT-11	2012-09-20 07:20	2012-09-20 15:50	18	LUD-3 + 25% þynning
BFL-KT-12	2012-09-20 16:05	2012-09-21 00:00	17	LUD 3 + 26 mg/l HCl

4 Niðurstöður tilrauna

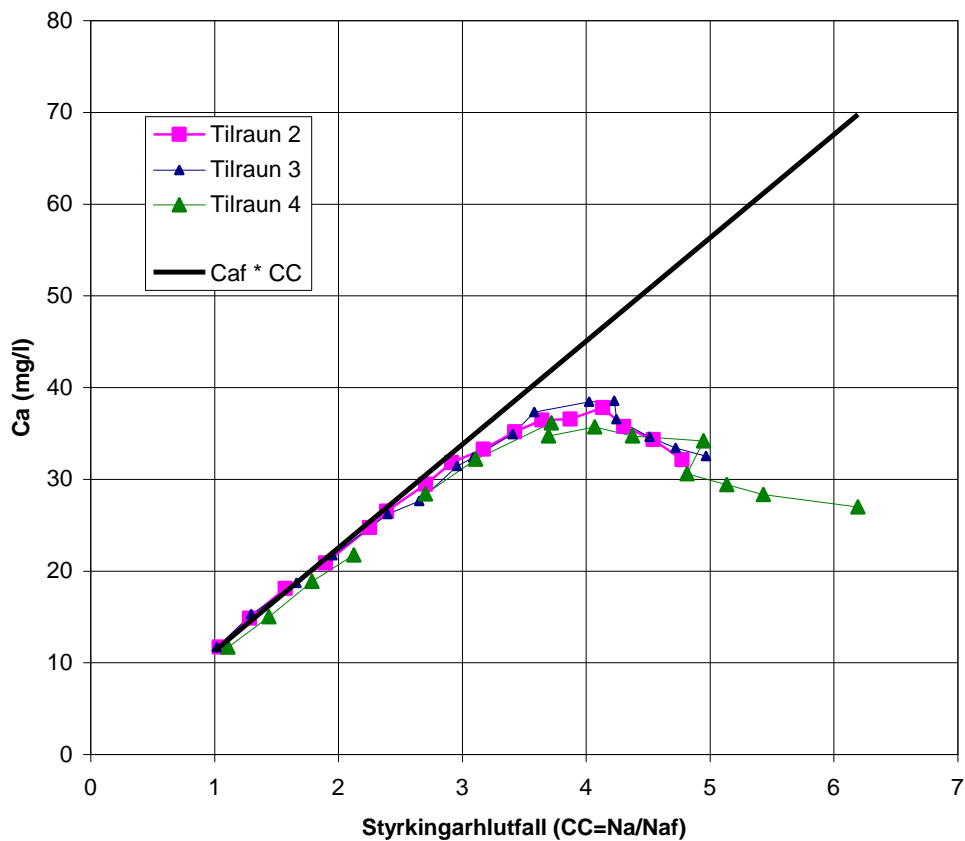
4.1 Ómeðhöndlað vatn

Fjórar tilraunir voru gerðar með ómeðhöndlað vatn úr LUD-3.

Í fyrstu tilraun var lítilsháttar leki úr búnaðinum sem getur hafa haft áhrif. Einnig var hitastig óstöðugra. Henni var því sleppt. Í tilraunum 2 til 4 var ómeðhöndlað vatn prófað og gáfu allar þær tilraunir svipaðar niðurstöður.

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

Kalsíumstyrkur byrjar að víkja frá styrkingarlínunni þegar styrkur kalsíums (Ca) eykst vegna uppgufunar og verður um 23 mg/l og styrkingarlutfallið fer yfir 2. Frávikið frá styrkingarlínunni er í byrjun lítið sem bendir til þess að útfellingin stjórnist af einsleitinni

kyrningu (“homogenous nucleation”). Frávikið eykst jafnt og þétt og þar með magn útfellinga sem eru að myndast.

Við áframhaldandi uppgufun eykst kalkútfellingin og að endingu verður misleitt kyrning (“heterogenous nucleation”) og allt kalsíum sem bætist í kerfið fellur úr lausn. Það gerist þegar styrkingarhlutfallið í kælturninum fer yfir 3,5.

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

Styrkur steinefna í kælivatnshringrásinni má ekki aukast meira en 2 falt til þess að tryggt sé að ekki verði kyrning og að engar kalkútfellingar myndist í kæliringrásinni.

Styrking steinefna ræðst af rennsli fæðivatns og uppgufun en hún fer eftir lofthita og rakastigi loftsins. Við vothitastig (wet bulb) 12 °C áætlast uppgufun 126 kg/s en getur breyst frá 100 til 130 kg/s eftir vothitastigi loftsins (Bjarnarflag, verkhönnun. Landsvirkjun 2011).

Eftirfarandi jafna sýnir samband fæðivatnsrennslis (Rf), uppgufunar (Ru) og styrkingarhlutfalls (CC).

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

Miðað við 130 kg/s uppgufun frá 90 MW virkjun þarf rennsli fæðivatns inn í kælirásina að vera 260 kg/s.

Kalkmettun

Vatnið í LUD-3 er nálægt mettnun yfirmettunin þegar það rennur úr holunni og breytist lítið við hitun í 45°C. Vegna uppgufunar í kælturninum og hækkandi efnastyrks eykst yfirmettunin.

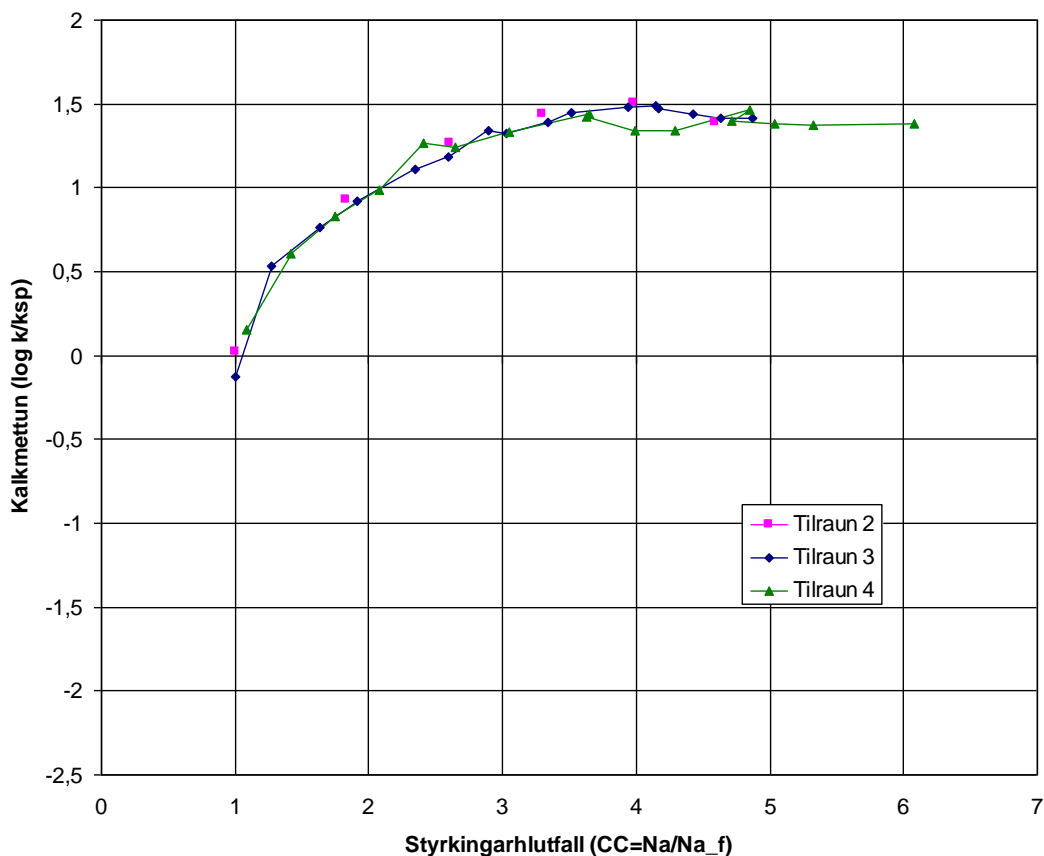
Þetta er sýnt á mynd 5 en þar er mettnarhlutfallið (“saturation ratio”) sem er hlutfall jónamargfeldis og leysnimargfeldis (k/k_{sp}) sýnt á lógarítmískum skala ($\log_{10}(k/k_{sp})$ = “saturation index”) á móti styrkingarhlutfalli (Cycles of Concentration = Na/Na -fæðivatn). Reikningarnir voru gerðir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

Í upphafi er vatnið í jafnvægi og mettað kalsíti og mettnarhlutfallið $k/k_{sp} = 1$ og $\log_{10}(k/k_{sp}) = 0$.

Við uppgufun eykst styrkur bæði kasíums og karbonats. Yfirmettunin er tíföld, ($k/k_{sp} = 10$ og $\log_{10}(k/k_{sp}) = 1$), þegar styrkingarhlutfall verður 2 og samleit kyrning virðist byrja.

Hæst verður yfirmettunin $\log_{10}(k/k_{sp}) = 1,5$ en við það hlutfall virðist verða misleit kyrning og svo hröð útfelling að allt kalsíum sem streymir inn í kælturninn fellur út og mettnarhlutfallið getur því ekki orðið hærra.

Samkvæmt þessu ætti að vera hægt að spá fyrir um útfellingu úr kælivatni með því að efnagreina vatnið og reikna út hvort mettnarhlutfallið $\log_{10}(k/k_{sp})$ er undir eða yfir 1.



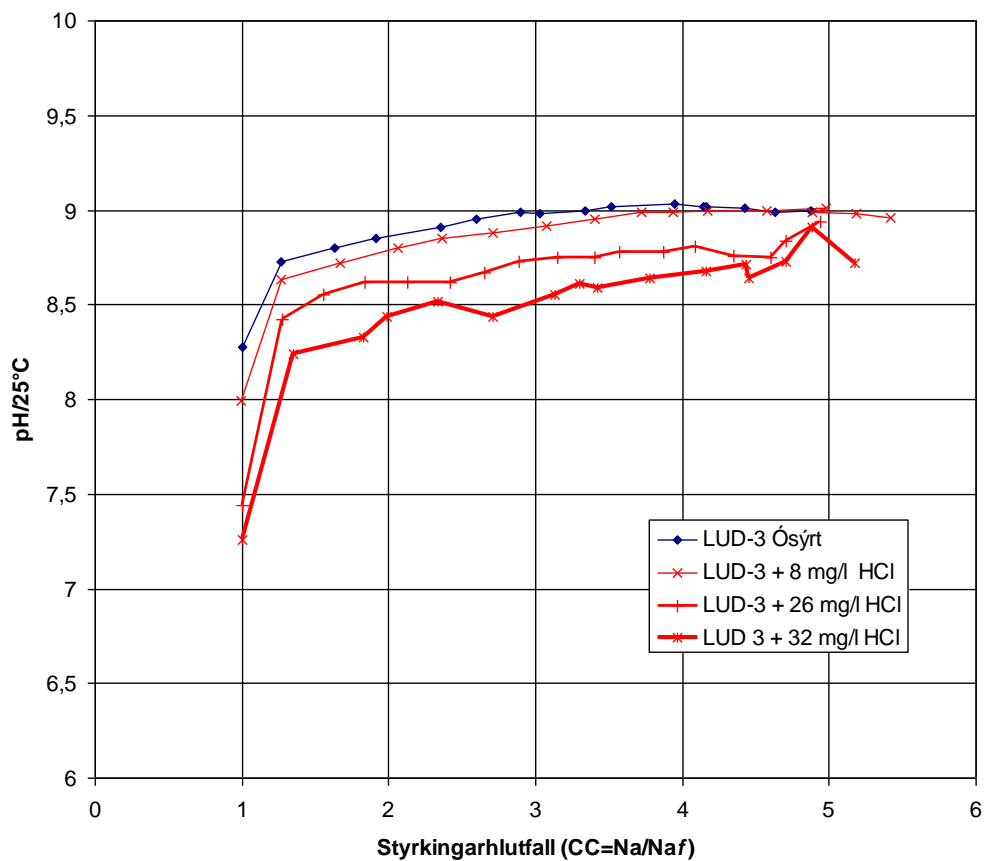
Mynd 5 Kalkmettun sem fall af styrkingarhlutfalli

4.2 Sýruíblöndun

Íblöndun sýru í kælivatnið lækkar jónamargfeldi kalks í vatninu og minnkar kalkyfirmettun. Nokkrar tilraunir voru gerðar þar sem sýru var bætt í vatnið áður en það rann inn í tilraunakæliturninn.

Mynd 6 sýnir hvernig sýrustigið breytist í tilraununum.

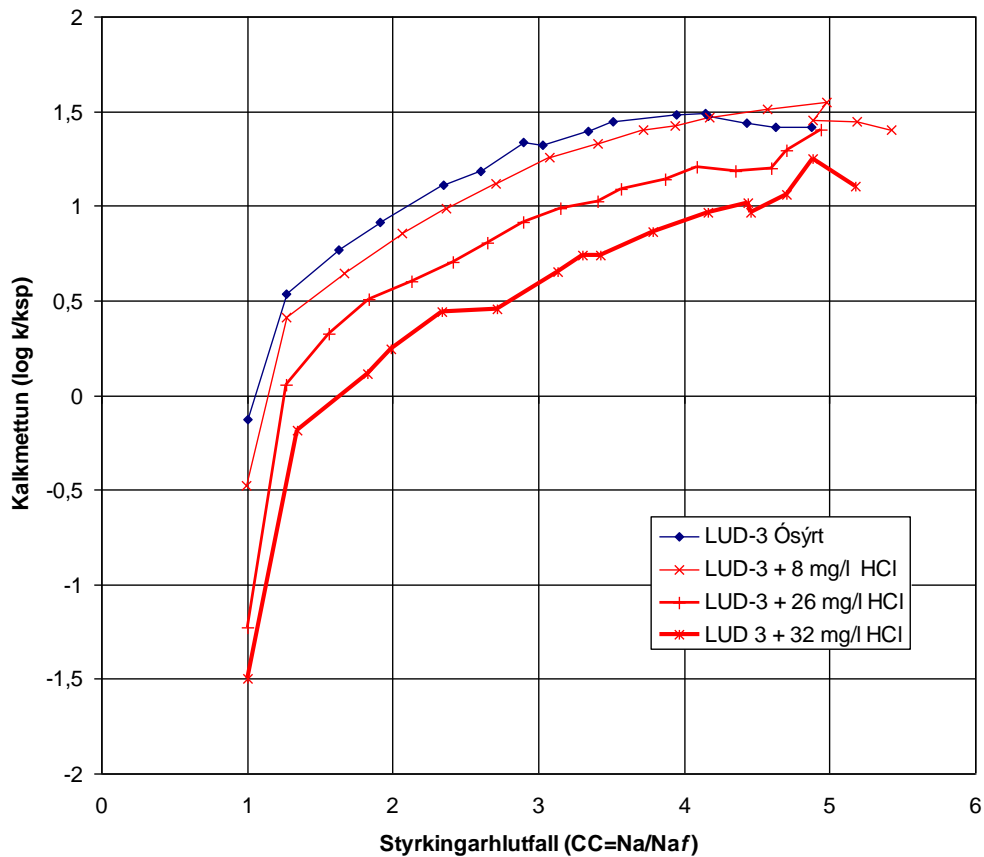
Sýrustigið hækkar strax eftir að tilraun byrjar en breytist hægt eftir það. Fyrir ómeðhöndlað sýni nær sýrustigið hámarki eftir rúmlega tvöfalda styrkingu og helst óbreytt eftir það Fyrir sýringu með 8 mg/kg nær sýrustigið hámarki eftir um þrefalda styrkingu.



Mynd 6 Sýruíblöndun. Sýrustig (pH) á móti styrkingarhlutfalli.

Áhrif sýringar á kalkmettun er sýnd á mynd 7.

Íblöndun 8 mg/kg af saltsýru (HCl) gerir vatnið undirmettað í byrjun. Vatnið verður þó fljótt yfirmettað en meiri styrkingu þarf til þess að ná hámarks yfirmettun en í ómeðhöndluðu vatni. Íblöndun 26 og 32 mg/kg lækkar mettnarhlutfallið enn meira og hámarks yfirmettunarhlutfall 1,5 næst ekki í tilrauninni.

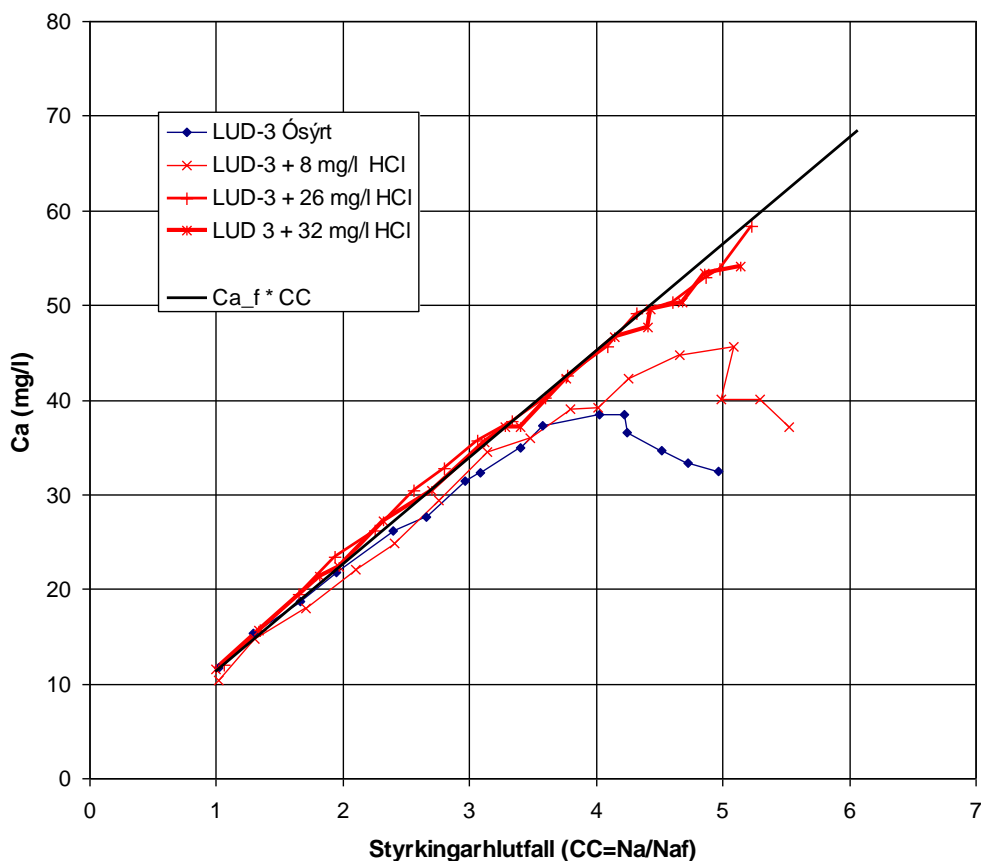


Mynd 7 Sýruíblöndun. Kalkmettun á móti styrkingarhlutfalli.

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 3 falda styrkingu samanborið við 2 falda styrkingu í ómeðhöndluðu vatni. Misleit kyrning byrjar einnig við meiri styrkingu eða þegar styrkingarhlutfallið fer yfir 5 samanborið við 3,5 fyrir ómeðhöndlað vatn.

Í tilraun með 26 og 32 mg/kg sýru verður ekki misleit kyrning. Erfiðara er að segja til um hvort einsleit kyrning eigi sér stað. Yfirmettunin, $\log_{10}(k/k_{sp})$, fer yfir 1 við um 3,5 falda styrkingu fyrir 26 mg/kg og við 4,5 falda styrkingu fyrir 32 mg/kg sýringu en við það hlutfall virðist einsleit kyrning byrja í ómeðhöndluðu vatni, því er miðað við það hlutfall.



Mynd 8 Sýruíblöndun. Kalsíumstyrkur á móti styrkingarhlutfalli.

Í töflu 2 er sýnt hversu mikið vatn sparast og hversu mikla sýru þarf á ári fyrir 90 MW virkjun. Einnig er sýndur áætlaður kostnaður 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 ³ /y	Kostnaður Mkr/y *)
0	2	260	0	0	
8	3	195	65	149	15,8
26	3,2	189	71	470	49,8
32	4,5	167	93	511	54,2

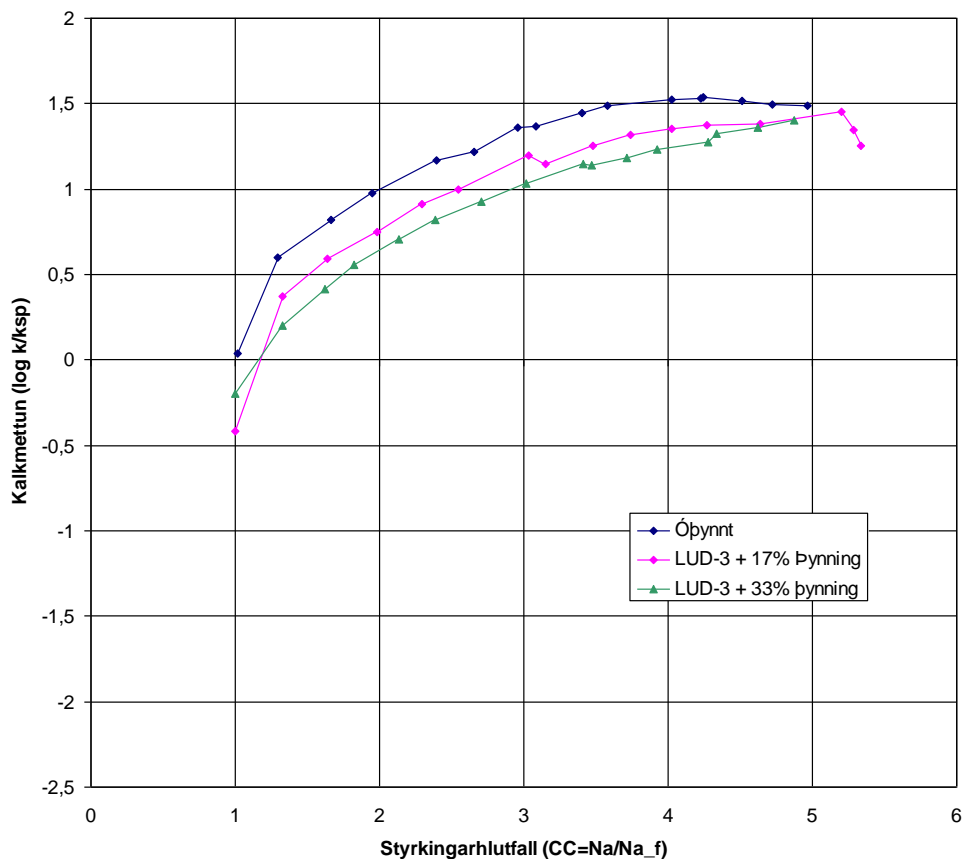
*) Miðað við HCl 33% á 106.000 kr/m³

4.3 Þynning með þéttivatni

Gerðar voru nokkrar tilraunir þar sem líkt var eftir áhrifum þess að blanda saman þéttivatni og ferskvatni.

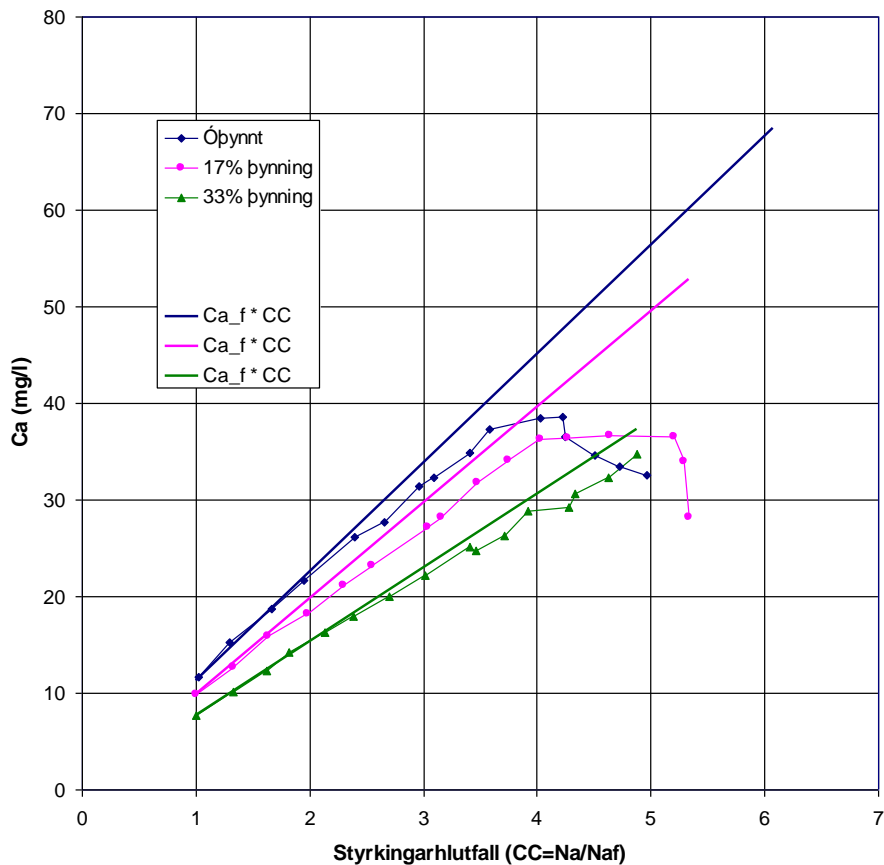
Þéttivatn frá væntanlegri virkjun verður afgasað og gassnautt. Þess vegna er ekki hægt að nota þetta háþrýstigufu í slíkar tilraunir, því hún inniheldur gas sem breytir sýrustiginu. Í staðin voru gerðar nokkrar tilraunir þar sem vatn úr LUD-3 var þynnt með afjönuðu vatni.

Mynd 9 sýnir hvernig yfirmettunin eykst með hækkandi styrkingarlutfalli vegna uppsuðunnar. Fyrir óþynnt vatn fer mettnarhlutfallið yfir 1 við 2-falda styrkingu. Vatn þynnt 17% fer yfir sömu mörk við 2,5 falda styrkingu og 33 % við 3-falda styrkingu. Þetta samsvarar því að þynningin hafi bein áhrif á kalkmettunina.



Mynd 9 Þynning. Kalkmettun á móti styrkingarlutfalli

Mynd 10 sýnir styrk kalsíums sem fall af styrkingarlutfalli. Samkvæmt henni byrjar kalkstyrkurinn að minnka vegna útfellinga fyrir tilraun með 17% þynningu við 1,5-falda styrkingu en ekki 2,5 falda eins og búast mætti við út frá kalkyfirmettun. Þessi tilraun var endurtekin og fengust svipaðar niðurstöður. Fyrir tilraun með 33% kyrningu byrjar kalkstyrkurinn að minnka hlutfallslega þegar styrkingarlutfallið er um 2,4 en ekki 3,0 þegar mettnarhlutfallið, log(k/k_{sp}) er um 1 eins og gerist í óþynntu vatni. Ekki er auðvelt að skýra þetta en hugsanlegt er að afjönaða vatnið hafi áhrif á kyrninguna á einhvern hátt.



Mynd 10 Þynning. Kalsíumstyrkur á móti styrkingarhlutfalli

Í töflu 3 er sýnt hversu mikið ferskvatn sparast með þéttivatnsþynningu fyrir 90 MW virkjun.

Tafla 3 Þynning og vatnssparnaður.

Þynning	CC max	Fæðivatn	Þéttivatn	LUD-3	Sparnaður
%		kg/s	kg/s	kg/s	kg/s
0	2	260	0	260	0
17	1,6	347	59	288	-28
33	2,4	223	74	149	111

Lítill þynning getur samkvæmt þessu aukið vatnspörfina. Með meiri þynningu sparar ferskvatn umfram bein þynningaráhrif. Þessu verður þó að taka með fyrirvara því ekki er víst að þéttivatn frá virkjuninni hafi sömu áhrif á kyrninguna og afjónaða vatnið sem notað var í tilraununum.

5 Helstu niðurstöður

Styrkur steinefna í kælivatnshringrásinni má ekki aukast meira en 2-falt til þess að tryggt sé að ekki verði kyrning og að engar kalkútfellingar myndist í kælihringrásinni.

Miðað við 130 kg/s uppgufun frá 90 MW virkjun þarf rennsli fæðivatns inn í kælirásina að vera 260 kg/s.

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

Með sýringu fæðivatnsins má spara ferskvatnsdælingu. Íblöndun 8 mg af saltsýru (HCl) í lítra af fæðivatni sparar 65 kg/s dælingu. Sýrunotkun verður þá 149 rúmmetrar af 33% sýru á ári. Með því að auka sýringu í 26 mg/kg sparast 93 kg/s dæling en 415 rúmmetra af 33% saltsýru þarf árlega.

Þynnig ferskvatnsins með þéttivatni getur haft neikvæð áhrif, ef hún er lítil. Við 33% þynningu (74 kg/s af þéttivatni) sparast 111 kg/s ferskvatn eða 37 kg/s umfram bein þynningaráhrif.

6 Heimildir

Bjarnarflag, verkhönnun. Landsvirkjun

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

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



Landsvirkjun

Háaleitisbraut 68
103 Reykjavík
landsvirkjun.is

landsvirkjun@lv.is
Sími: 515 90 00

