



ORKUSTOFNUN  
Jarðhitadeild

## SKILAGREIN

**Athuganir á magnesiumsilikatútfellingum  
við upphitun vatns**

Páll Árnason

OS82128/JHD39 B

Desember 1982



**ORKUSTOFNUN**  
GRENSÁSVEGI 9, 108 REYKJAVÍK

## SKILAGREIN

**Athuganir á magnesiumsilikatútfellingum  
við upphitun vatns**

Páll Árnason

OS82128/JHD39 B

Desember 1982

EFNISYFIRLIT

	Bls.
INNGANGUR.....	3
KALT VATN - EFNAGREININGAR OG VINNSLUEIGINLEIKAR.....	3
ÚTREIKNINGAR Á YFIRMETTUN MAGNESÍUM-SAMBANDA í UPPHITUÐU VATNI....	5
ÚTFELLINGARTILRAUNIR í RANNSÓKNASTOFU.....	6
ÚTFELLINGAR í LÖGNUM HITAVEITU REYKJAHLÍÐAR.....	8
ÚTFELLINGAR í VARMAORKUVERI HITAVEITU SUÐURNESJA í SVARTSENGI.....	10
SAMANTEKT Á NIÐURSTÖÐUM.....	10
HEIMILDARSKRÁ.....	12
 Tafla I: Skrá yfir sýnin sem notuð eru.....	13
Tafla II: Efnastyrkur og eiginleikar sýnanna.....	15
Tafla III: Talk og krisótilyfirmettun vatnssýnanna við 100 °C auk þeirra þátta sem ákvarða hana.....	17
Tafla IV: Útfellingar í flöskum við mismunandi sýrustig (pH).....	18
Tafla V: Samanburður á útfellingarhraða í vatni frá Austara- selslind IV og kaldavatnsholu Hitaveitu Reykjavíkur.....	18
Tafla VI: Sýrustig og magnesiuminnihald vatns í aðveituæð að Fitjum.....	19

## INNGANGUR

---

Í greinargerð (skilagrein) þessari er gerð grein fyrir niðurstöðum sumarvinnu á vinnslutæknideild Jarðhitadeilda Orkustofnunar. Verkefnið sem unnið var að var tvíþátt: í fyrsta lagi var tekin saman skrá yfir efnagreiningar á köldu vatni úr vatnsbólum viðs vegar á landinu og reiknuð í því mettunargráða miðað við tvær gerðir magnesiumsilikata. Í öðru lagi voru gerðar tilraunir á rannsóknastofu til að framkalla útfellingu á magnesiumsilikötum í vatni. Verkefnið er liður í rannsóknum á útfellingu magnesiumsilikata í hitaveitum í Svartsengi og í Reykjahlíð sem unnið hefur verið að á Jarðhitadeild s.l. fjögur ár.

## KALT VATN - EFNAGREININGAR OG VINNSLUEIGINLEIKAR

---

Einvörðungu er notast við efnagreiningar af köldu vatni sem til eru á Orkustofnun. Reynt var að velja efnagreiningar af sýnum úr sem flestum byggðakjörnum landsins, og urðu 49 vatnsból fyrir valinu. Sýni vantar þó frá nokkrum af stærri byggðalögnum, en þau sýni sem til eru eru flest frá árunum 1973-1976, og ekki öll af drykkjarvatni. Víða hefur verið skipt um vatnsból að hluta eða öllu leyti. Auk þess eru margar efnagreininganna ófullnægjandi. Tafla I er skrá yfir hvar og hvenær viðkomandi sýni eru tekin. Í töflu II er efnagreining þeirra og er þar í síðasta dálki hlutfallslegur munur á magni anjóna og katjóna (% hleðslumismunur) sem er mælikvarði á gæði efnagreiningarinnar. Mismunurinn er enginn ef efnagreiningin er góð, en eins og þar sést er stór hluti efnagreininganna lélegur þ.e. frávik meira en 10%. Að framansögðu er ljóst að þær niðurstöður sem hér fást varðandi vinnsluhæfni vatnsins geta verið rangar fyrir viðkomandi byggðarlög. Þó má ætla að þau 49 sýni sem hér eru notuð, séu nokkuð góður þverskurður af íslensku vatni og ættu því að gefa góða mynd af vinnslueiginleikum. Þess. Almennt má segja að efnasamsetning íslensks ferkvatns sé góð eins og vikið verður að hér á eftir.

Í flestum iöngreinum sem nota vatn í framleiðsluna, eru gerðar kröfur um að harka, alkalístyrkur, stýrustig (pH) og styrkur ákveðinna jóna sé innan vissra marka. Þessi mörk eru mismunandi eftir iöngreinum og þeim gæðakröfum sem gerðar eru til framleiðslunnar, en um drykkjarvatn gildir einn staðall.

Harka er mælikvarði á  $\text{Ca}^{+2}$  og  $\text{Mg}^{+2}$  innihald vatns og er gefin upp í einingunum ppm  $\text{CaCO}_3$  (mg  $\text{CaCO}_3/\text{kg}$ ). M.Ö.O. þá ímynda menn sér að öll Ca og Mg atómin væru Ca og í efnasambandinu  $\text{CaCO}_3$ . Harka er sá eiginleiki vatns sem hindrar fræðumyndun sápu.

Alkalístyrkur er mælikvarði á bindigirni vatns við sýruprótónu sem í það er sett og þá um leið mælikvarði á magn bíkarbónats ( $\text{HCO}_3^-$ ), karbónats ( $\text{CO}_3^{-2}$ ) og hydroxíðs ( $\text{OH}^-$ ) í vatninu. Á sama hátt og harka er alkalístyrkur gefið upp í einingunum ppm  $\text{CaCO}_3$ . Reikna má alkalístyrk með eftirfarandi formúlu:

$$\text{Alkalístyrkur (í ppm } \text{CaCO}_3) = (\text{HCO}_3^-) + 2(\text{CO}_3^{-2}) + (\text{OH}^-) - (\text{H}^+) \times 50,05 \times 1000$$

Íslenskt vatn er afar steinefnasnautt miðað við það sem gengur og gerist. Það má segja að allt íslenskt ferskvatn sem ekki er mjög saltmengað, sé innan leyfilegra marka fyrir allar jónir í nær öllum iöngreinum. Það fyrirfinnast fáar tegundir iönaðar sem krefjast minni hörku en almennt er í íslensku vatni. Mun algengara er að alkalístyrkur og/eða sýrustig (pH) sé ekki við hæfi, en hinsvegar er tiltölulega auðvelt að breyta þessu.

Að íslandi er notaður staðall alþjóða heilbrigðismálastofnunarinnar (WHO) um drykkjarvatn. Kalda vatnið er svo steinefnasnautt að magn steinefna fer yfirleitt ekki yfir gæðamörk í drykkjarvatni. Í staðli alþjóða heilbrigðismálastofnunarinnar frá 1970 eru gæðakröfur þessar:

100 ppm < Harka < 500 ppm

7,0 < pH < 8,5

$\text{Ca}^{+2}$  < 75 ppm

$\text{Mg}^{+2}$  < 30 "

$\text{Cl}^-$  < 200 "

$\text{SO}_4^-$  < 200 "

$\text{F}^-$  < 1,5 "

sianleg óhreinindi < 500 "

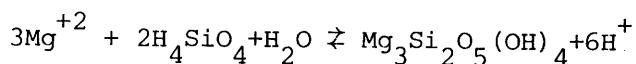
Af 49 sýnum reyndust 48 hafa of litla hörku. Ástæðan fyrir því að lágmark er í alþjóðlega staðlinum er sú að tölfraðilegar rannsóknir sýna greinilegt samband milli dauðatíðni af hjarta- og æðasjúkdómum og myktar drykkjarvatns.

Af sömu 49 sýnum reyndust 7 hafa of lágt sýrustig (pH) og 8 of hátt samkvæmt þessum itrustu gæðakröfum. Viðunandi er þó talið að sýrustig sé á bilinu 6,5 - 9,2, en miðað við þau mörk hafa 3 sýni of lágt sýrustig og 2 sýni of hátt.

#### ÚTREIKNINGAR Á YFIRMETTUN MAGNESÍUMSILIKATA Í UPPHITUÐU VATNI

Mikilla útfellinga magnesíumsilikata hefur orðið vart í hitaveitu Reykjavíkjar í Mývatnssveit og lítisháttar í bráðabirgðastöð hitaveitu Suðurnesja í Svartsengi (Hrefna Kristmannsdóttir: Greiningar á útfellingum í Svartsengi. Skýrsla Orkustofnunar OSJHD 7828; Hrefna Kristmannsdóttir: Magnesium Silicate scaling in Icelandic District Heating systems, Proc. 3rd International symposium on Water-Rock interaction, 110-111, 1980; Hrefna Kristmannsdóttir: Hitaveita Reykjahlíðar-Efnainnihald í vatni og útfellingar í því. Greinargerð Orkustofnunar HK 1981/06; Sverrir Pórhallsson: Hitaveita Reykjahlíðar, Vandamál útfellinga 1971-1981. Greinargerð Orkustofnunar SP 1981/01; Trausti Hauksson: Svartsengi. Efna-samsetning heits grunnvatns og hitaveituvatns. Skýrsla Orkustofnunar OS80023/JHD12). Greiningar þessara útfellinga sýna að í Svartsengi fellur út illa kristallað efni sem likist mest steindinni krýsótil en í Reykjahlíð er útfellingin enn verr kristölluð en í Svartsengi og erfiðara að átta sig á efninu, en atómhutfallið Mg/Si er svipað og í steindinni talki.

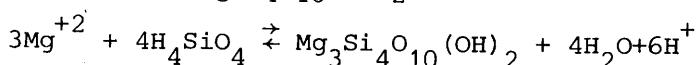
Krýsótil er steindin  $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$ . Jafnvægislíking fyrir fellingu steindarinnar úr vatni er:



og virknimargfeldið

$$K = \frac{(H^+)^6}{(Mg^{+2})^3 (H_4SiO_4)^2}$$

Talk er steindin  $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$  og hefur í jafnvægislíkinguna:



og virknimargfeldið

$$K = \frac{(H^+)^6}{(Mg^{+2})^3 (H_4SiO_4)^4}$$

Nauðsynleg forsenda útfellingar er að vatnið sé yfirmedtað af viðkomandi steind. Kalt vatn er undantekningalitið undirmettað af krisótíli og talki. Þegar það er síðan hitað upp til nota í hitaveitukerfum er nauðsynlegt að aflofta það til að losna við súrefni úr vatninu. Vatnið er þá fyrst hitað upp fyrir suðumark en síðan leitt í stóran afloftunar-kút til að losna við gösin úr vatninu (thermal deairation). Við það rýkur auk súrefnis mikið koldíoxíð úr vatninu og sýrustigið (pH) hækkar (styrkur lækkar) og vatnið verður mjög yfirmedtað af krísótíli og talki.

Sem mælikvarði á yfirmedtunina er notuð yfirmedtunargráða y, sem er logaritmiskur mælikvarði á yfirmedtunina. Ef  $K_s$  táknað virknimargfeldi mettaðs vatns, þá er  $y = \log \frac{K_s}{K}$  (milljónföld yfirmedtun hefur  $y = 6$ ). Með "Watch 3" forriti Orkustofnunar (Hörður Svavarsson 1981: Forritin "Watch 1" og Watch 3". Hjálpartæki til túlkunar efnagreininga á jarðhita-vatni. Leiðbeiningar fyrir notendur. Orkustofnun OS81007/JHD03) hefur verið reiknuð út yfirmedtunargráða talks og krýsótíls fyrir vatn eftir upphitun í 105°C og 100% afloftun í öllum sýnum úr töflu I og eru niðurstöðurnar skráðar í töflu III. Þar kemur fram að eftir afloftun er  $y_{Ta}^{100°C}$  fyrir allt íslenskt vatn á bilinu 3 til 11. Samkvæmt útreikningum með "WATCH 3" lækkar Y lítilsháttar með hitastigi eða sem samsvarar 0,1-0,4 við 20°C kælingu. Hitastigið hefur því óveruleg áhrif á yfirmedtunina.

#### ÚTFELLINGATILRAUNIR Á RANNSÓKNA STOFU

Á efnarannsóknastofu Orkustofnunar hafa verið þróaðar aðferðir til að rann-saka útfellingar magnesiumsilikata. Við útfellinguna má búast við breytingum á sýrustigi, styrk  $Mg^{+2}$  og styrk  $SiO_2$  í lausninni. Sýrustig eða pH er næmt fyrir svo mörgum öðrum þáttum að ekki er mögulegt að nota sýrustigsmælingar til að fylgjast með útfellingum og mæliaðferð á styrk  $SiO_2$  er ekki nógu næm á því bili sem mæla þarf. Hins vegar hafa mælingar á styrk  $Mg^{+2}$  með "Atomic Absorption-tæki" gefið góða raun við að fylgjast með útfellingunum.

Tvær aðferðir eru mögulegar til að hækka sýrustig afloftaðs vatns, en þær eru að setja vitissóda (NaOH) í vatnið eða sjóða það nokkra stund. Suðan er á allan hátt líkari því sem gerist í afloftunartækjum og væri að því leytinu til æskilegri, en vitissóda í blöndun er miklu þægilegri í framkvæmd til þess að framkalla það sýrustig sem óskað er, og er hún því notuð hér.

Eftir sýrustigshækkunina er lausnin sett í mæliflösku ásamt nokkrum zinkmolum (til að hraða fellingunni) og síðan höfð í hitabaði í nokkra tíma (þar til útfellingar sjást). Að því búnu er lausnin kæld, síuð (0,4  $\mu\text{m}$  sia) og styrkur  $\text{Mg}^{+2}$  mældur.

Fellt var út úr kranavatni (Vatnsveita Reykjavíkur) á Orkustofnun og mældist í vatninu fyrir meðhöndlun:

1,03 ppm  $\text{Mg}^{+3}$

og

12,0 "  $\text{SiO}_2$

samkvæmt fyrri efnagreiningu hefur vatnið eftirfarandi samsetningu:

11 ppm  $\text{Na}^+$

0,4 "  $\text{K}^+$

3,8 "  $\text{Ca}^{+2}$

3 "  $\text{SO}_4^{-2}$

11 "  $\text{Cl}^-$

og í útreikningum á yfirmettunargráðu í töflu IV er gert ráð fyrir

27 ppm  $\text{CO}_2$

Síðan er bætt  $\text{MgCl}_2$  og  $\text{NaOH}$  í vatnið til að fá æskilegan magnesíumstyrk og sýrustig (sjá töflu 4) og síðan eru átta mæliflöskur með mismunandi innihaldi látnar standa jafnlengi í hitabaði við 75°C-90°C og mælt hve mikil magnesíum fellur út. Niðurstöðurnar eru í töflu IV. Glöggt má sjá að sýrustigið fellur verulega við útfellinguna. Af  $\text{Mg}^{+2}$ -breytingum lausnanna eftir um 5 tíma við um 80°C sést hvernig upphaflega sýrustigið hefur áhrif á útfellingahraðann (sjá mynd 1). Af mynd 1 mætti ætla að við ákveðinn sýrustyrk, um  $\text{pH}^{23^\circ\text{C}} = 8,6-8,8$ , yrði útfellingahraðinn núll, en þegar lausnirnar eru geymdar í 65 tíma við 90°C sést að svo er ekki því að þá fellur  $\text{pH}^{23^\circ\text{C}}$  niður í allt að 8,0. Eftir þessa 65 tíma útfellingu er magnesíuminnihald þriggja lausna á mörkum þess að vera mælanlegt og allar lausnirnar eru undirmettaðar. Í þeim flöskum sem hægt er með einhverri vissu að meta  $\text{Y}_{\text{Ta}}^{90^\circ\text{C}}$  og  $\text{Y}_{\text{Kr}}^{90^\circ\text{C}}$  eftir útfellinguna reyndist það vera á bilinu -5 til -2. Tekið var innrautt litróf af útfellingunum og reyndist það eins og litrófið af útfellingunum í Reykjahlíð (Hrefna Kristmannsdóttir pers. uppl.) sem talið er að sé ókristallað talk. Með þessari athugun hefur verið sýnt fram á að hægt er að framkalla sömu útfellingar og

og eiga sér stað í Reykjahlíð í flöskum, raunveruleg yfирmettunargráða er eitthvað hærri en sú sem reiknuð er út með "WATCH 3" og að útfellingarhraðinn er háður sýrustigi og styrk  $Mg^{+2}$ .

Selta hefur áhrif á hraða efnahvarfa í vatni og var því gerð einföld athugun á því hvaða áhrif fremur lítil aukning í seltu hefði á hraða útfellinganna. Kranavatn var sett í fjórar flöskur og síðan bætt 100 ppm NaCl í tvær þeirra sem samsvarar því að jónastyrkur vatnsins 4,5 faldist. Sýrustig var hækkað í 9,4 í öllum flöskunum. Sýnin voru höfð jafnlengi í hitabaði og við athugun reyndist magnesíumstyrkur falla þrisvar-fjórum sinnum hraðar í saltara vatninu. Með þessari einföldu prófun var sýnt fram á að selta (jónastyrkur) hefur veruleg áhrif á hraða fellings- innar.

#### ÚTFELLINGAR í HITAVEITU REYKJAHLÍÐAR

Nýlega var ákveðið að hitaveitan í Reykjahlíð í Mývatnssveit fengi kalt vatn til forhitunar úr Austaraselslindum í stað þess vatns sem nú er notað og fellur mikið úr. Það þótti því fróðlegt að athuga hvort vænta mætti minni útfellinga úr Austaraselsvatninu en því sem nú er notað. Útreikningar (Hrefna Kristmannsdóttir, 1981) sýndu að yfирmettun verður einnig í þessu vatni við hitun og afloftun. Heildarmagn uppleystra efna er að vísu mun lægra í vatninu frá Austaraselslindum, var því talið hugsan- legt að hraði útfellinga yrði minni. Samkvæmt sýnum teknum 1981 (sjá töflur I, II og III, sýni 30 og 31) hafa bæði vatnsbólin sama magnesíum- innihald og reiknislega sama pH<sup>100°C</sup> eftir afloftun. Vatnið úr núverandi vatnsbóli hitaveitunnar (í Bjarnarflagi) hefur þarfalt meira kísilsýruinnihald en óþekkt er hve mikil áhrif það hefur á útfellinguna. Jónastyrkur vatnsins er 4,7 sinnum meiri í Bjarnarflagi (sem stafar aðallega af miklu natriumsúlfati) og má því gera ráð fyrir að útfellingar séu nokkru hraðari.

Fyrrihluta ágústmánaðar í ár (1982) tóku starfsmenn Orkustofnunar sýni úr Austaraselslind IV og kaldavatnsholu hitaveitu Reykjahlíðar í Bjarnarflagi og fluttu suður í þeim tilgangi að mæla hlutfallslegan hraða magnesiumsílikatfellinga í sýnum í mæliflöskum. Við mælingar á magnesiuminnihaldi sýnanna kom í ljós að Austaraselslind IV inniheldur 4,71 ppm  $Mg^{+2}$  sem er nánast það sama og árið áður, en Bjarnarflagsvatnið innihélt 8,27 ppm sem er allveruleg aukning (70%) frá árinu áður. Stafar sú aukning vafalaust

af kólnun á svæðinu, hversu varanleg sem hún nú er. Hitastig og efnasamsetning vatns í Bjarnarflagi er mælt árlega og hafa verið stórar sveiflur sem tengjast umbrotum í Kröflueldum. Ekki er vitað hvaða áhrif kólnunin hefur haft á jónastyrk vatnsins, en hinsvegar hefur kísilsýran líklega minnkað. Ef miðað er við vatnssýnin frá '81 þá er pH<sup>100%</sup> nokkuð jafnt í báðum sýnunum eftir afloftun og er þá sama hve mikil afloftunin er. Við dælingu í 20°C verður Austaraselsvatnið hinsvegar basiskara (hærra pH) sem munar þó aðeins 0,1. Ef til vill hefur þessi munur minnkað lítilsháttar vegna kólnunarinnar í Bjarnarflagi en þó er rétt vegna hans að hafa pH<sup>20%</sup> hærra fyrir Austaraselsvatnið þegar reynt er í mæliflöskum að bera saman útfellingarhraðann í þeim tveimur sýnum sem tekin voru nú í summar.

Gerðar voru tvær tilraunir til að bera saman útfellingarhraða sýnanna í mæliflöskum (tafla V). Önnur með því að sjóða vatnið og reyna þannig að líkja eftir venjulegri afloftun, en í hinni var sýrustig hækkað með vítissóda. Á rannsóknarstofu eru engin tæki til afloftunar svipuð þeim sem eru í raunverulegum kerfum heldur verður að sjóða sýnin í opinni flösku og veldur það erfiðleikum í að fá jafnmikla afloftun í bæði sýnin. Í hvorri tilraun voru hafðar fjórar flöskur, tvær með Austaraselsvatni og tvær með Bjarnarflagsvatni. Báðar tilraunir voru síðan endurteknar. Leitast er við að hafa sýrustig Austaraselsvatnsins ca 0,1 hærra. Erfiðlega gekk að fá marktækar niðurstöður (sjá töflu V) en það tókst þó við endurtekningu þar sem sýrustigi var breytt með vítissóda. Greinilega mátti sjá útfellingar í báðum sýnum og gott samræmi var í mælingum. Fimm sinnum minna reyndist falla út úr Austaraselsvatninu. Greinilega mátti sjá útfellingar í báðum sýnum. Þessi niðurstaða segir þó ekki að útfellingar verði fimm sinnum minni ef Austaraselsvatn verður notað í hitaveitu Reykjahlíðar, og kemur þar tvennt til. Í fyrsta lagi er hér aðeins um byrjunarhraða útfellingarinnar að ræða, en á lengri tíma má búast við að allt Mg<sup>+2</sup> falli út úr báðum sýnunum og eru útfellingar þá 75% meiri í Reykjahlíðarvatninu eins og það er nú eftir að Mg styrkur hækkaði. Tímabátturinn er óþekktur, en afla mætti upplýsinga um hann með mælingum á útfellingum í núverandi hitaveitu. Í öðru lagi er ekki þekkt hvort aðrir þættir stjórni því hve mikil útfelling festist innan á pípunum en þeir sem stjórna hraða útfellinganna.

## ÚTFELLINGAR Í HITAVETTU SUÐURNESJA Í SVARTSENGI

Á meðan bráðabirgðastöðin var notuð í Svartsengi (1976-1978) varð vart nokkurra útfellinga magnésiumsilikata í rörum strax eftir afloftun, enda var sýrustig hækkað með íblöndun vitissóda pH  $20^{\circ}\text{C}$  9,2. Þegar varmaorkuverið var tekið í notkun mældist pH  $20^{\circ}\text{C}$  9,1-9,2 eftir afloftun. Án þess að vitissóda væribætt í vatnið. Ekki hefur orðið vart alvarlegra útfellinga í pípum frá því síðasti var tekin í notkun. Í sumar var gerð ferð suður í Svartsengi til að athuga hvort vart yrði við minnkun í  $\text{Mg}^{+2}$  innihaldi vatnsins í leiðslunni að Fitjum. Lögnin er 500 mm í þvermál og 11 km löng, fjórir tímar liðu frá því vatnið yfirlag stöðvarhúsið, þar til það barst til Fitja, miðað við rennsli þess dags.

Við mælingu í stöðvarhúsi á pH  $20^{\circ}\text{C}$  eftir afloftun reyndist það vera 8,80-8,85 og ca tveimur tímum síðar mældist það 8,60. Þegar sýni voru tekin á nokkrum stöðum í leiðslunni mældist pH 8,52-8,81 en magnesíum mældist allsstaðar jafnmikið (sjá töflu VI). Er því ljóst að sýrustigið er óstöðugt og að pH  $20^{\circ}\text{C}$  8,8 nágir ekki til að fella út mælanlegt magn magnésiumsilikata á þeim þremur og hálfum tíma sem mælingarnar náðu yfir. Vegna þess að vatnið er mjög yfirmettað ætti krýsótíl að falla út. Yrðu þá útfellingarnar nokkrir tugir rúmmetra á ári.

## SAMANTEKT Á NIÐURSTÖÐUM

Eins og fram kemur í töflu III verður allt íslenskt ferskvatn yfirmettað af magnesiumsilkötum eftir upphitun og afloftun. Þeir þættir sem ætla má að geti skipt máli varðandi hraða fellingsinnar eru sýrustig eftir afloftun, magnesíumstyrkur, kísilsýrustyrkur, hitastig, jónastyrkur, yfirborð og straumlag. Sýrustig og magnesíumstyrkur hafa mikil áhrif eins og glöggjt sést í töflu IV. Kísilsýra tekur beinan þátt í fellinguunni og eru því verulega miklar líkur á að styrkur hennar hafi áhrif á útfellingarhraðann. Hærra hitastig eykur almennt hraða efnahvarfa verulega, en hér ber þess að gæta að hitastigshækkunin lækkar sýrustig. Sýnt hefur verið fram á hvernig uppleyst NaCl hefur áhrif á útfellingarhraðann. Liklegt er að mismunandi jónir hafa mismikil áhrif á hraða fellingsinnar og því ekki víst að hugtakið jónastyrkur sé rétti mælikvarðinn á heildaráhrif jóna á hraðann. Eftir því sem rennslið og þar með iðustreymið er meira

má búast við hraðari útfellingum í vatninu, en sérstaklega má búast við að þessi þáttur hafi áhrif á hversu fast kristalkjarnarnir sitja á yfirborði.

Niðurstaðan er því sú að, lítið sé hægt að segja um útfellingarhættu úr íslensku köldu vatni fyrr en frekari athuganir hafa farið fram. Líklegt verður þó að teljast að magnesiumsilikatfellingar valdi vandræðum í verulegum hluta íslensks ferskvatns sem hitað væri upp og afloftað fyrir hitaveitukerfi.

**HEIMILDARSKRÁ**

---

Hrefna Kristmannsdóttir 1978: Greiningar á útfellingum í Svartsengi.  
Orkustofnun OSJHD-7828.

Hrefna Kristmannsdóttir 1980: Magnesium Silicate scaling in Icelandic  
District Heating systems, Proc. 3rd International symposium on  
Water-Rock interaction: 110-111.

Hrefna Krstmannsdóttir 1981: Hitaveita Reykjahlíðar - Efnainnihald í  
vatni og útfellingar í því. Orkustofnun, greinargerð HK-81/06.

Hörður Svavarsson 1981: Forritin "Watch 1" og "Watch 3". Hjálpartæki  
til túlkunar efnagreininga á jarðhitavatni. Leiðbeininningar fyrir  
notendur. Orkustofnun OS81007/JHD03.

Sverrir Þórhallsson 1981: Hitaveita Reykjahlíðar, vandamál útfellinga  
1971-1981. Orkustofnun, greinargerð SP-82/01.

Trausti Hauksson 1980: Svartsengi. Efnasamsetning heits grunnvatns  
og hitaveituvatns. Orkustofnun OS80023/JHD12.

TAFLA I. Skrá yfir sýnin sem notuð eru

(Nr hrepps eða kaupst. - Sýnatökustaður - dags. - nr. efnagreiningar)

1) 2200	Borhola í Keflavík	73.09. - 0021
2) 1300	Borhola v. Vífilsstaðavatn, Garðabæ	73.11.06 - 0080
3) 0000	Bullaugu í Reykjavík	73.07.11 - 0008
4) 0000	Gvendarbrunnar í Reykjavík	73.07.10 - 0007
5) 2300	Svartsengi - úr grein eftir Hrefnu Kristmannsdóttur	
6) 1604	Laxnesdý, vatnsveita Mosfellssveitar	78.06.23 -
7) 3709	Grafarnes (hola I), Grundarfirði	64.05.
8) 3711	Egisgata 9 í Stykkishólmi	73.10.19 - 0070
9) 3804	Vatnsveita Búðardals (Vatn úr Laxárdal)	74.05.30 - 0009
10) 4603	Balalækur (fyrrv. vatnsv. Patreksfjarðar)	76.05.18 - 0050
11) 4902	Drangsnes	74.07.24 - 0044
12) 4904	Hólmavík	74.07.24 - 0043
13) 4908	Borðeyri	73.10.04 - 0035
14) 5504	Bóllindir, Hvammstanga	73.10.08 - 0036
15) 5504	Uppspr. sunnan Grákollutj., vatnsv Hvammstanga	73.10 - 0038
16) 5604	Blönduós (fyrrv. vatnsveita)	76.08.11 - 0104
17) 5609	Skagaströnd	74.07.23 - 0042
18) 5100	Sauðárkrúkur	74.07.23 - 0040
19) 5711	Vatnsveita Höfsóss	74.07.22 - 0039
20) 5000	Siglufjörður	75.06.12 - 0069
21) 6200	Ólafsfjörður (fyrrv. vatnsveita)	74.07.22 - 0038
22) 6300	Vatnsveita Dalvíkur	74.07.22 - 0037
23) 6000	Vatnsveita Akureyrar	74.07.22 - 0036
24) 6601	Vatnsveita Svalbarðseyrar	74.07.20 - 0035
25) 6602	Grenivík	74.07.19 - 0034
26) 6100	Vatnsveita Húsavíkur	74.07.19 - 0033
27) 6100	Vatnsveita Húsavíkur	81.09.29 -
28) 6704	Kópasker	74.07.18 - 0032
29) 6707	Sléttuflói, vatnsból Þórshafnar	74.10.26 - 0110
30) 6607	Austaraselslindir (tilv. vatnsb. Reykjahlíðar)	81. - 0016
31) 6607	Kaldav. hola hitaveitu Reykjahlíðar	81. - 1043
32) 7509	Vatnsveita Bakkagerðis	74.07.14 - 0026
33) 7000	Dieselrafstöð Seyðisfjarðar (ekki notað lengur)	74.06.28 - 0018
34) 7603	Vatnsveita Egilsstaða	74.06.28 - 0017

TAFLA I (frh)

35) 7606	Neskaupstaður (ekki notað lengur)	74.06.29 - 0020
36) 7607	Vatnsból Eskifjarðar	74.06.28 - 0019
37) 7609	Vatnsveita Reyðarfjarðar	74.06.29 - 0022
38) 7610	Fáskrúðsfjörður	74.06.29 - 0021
39) 7613	Vatnsveita Breiðalsvíkur	74.06.26 - 0015
40) 7615	Vatnsveita Djúpavogs	74.06.25 0014
41) 7702	Höfn í Hornafirði (fyrrv. vatnsveita)	74.06.20 0012
42) 8502	Borhola á Kirkjubæjarklaustri	73.10.11 - 0040
43) 8506	Vík í Mýrdal	74.06.19 - 0010
44) 8703	Hola á Eyrarbakka	73.01.04 - 0002
45) 8715	Lækur við Nesjavelli	74.07.18 - 0048
46) 8715	Gjá I í Þorsteinsvík - Fengið hjá Sverri Þórhallssyni	
47) 8715	Ljósafoss - Fengið hjá Sverri Þórhallssyni	
48) 8716	Hveragerði	74.09.30 - 0108
49) 8716	Kaldav.hola hitaveitu Hveragerðis	74.07.17 - 0047

TAFLA II. Efnaþyrkur og eiginleikar sýnanna

Staður	Hiti	pH/°C	SiO <sub>2</sub>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	CO <sub>2</sub>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Cl <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	Uppl. Alka-%	Harkalini-efni	Hleðslumunur		
1) Keflavík	7,1	7,72/20	16,2	48,2	2,3	6,6	8,1	18,06	12,1	184,8	0,05	219,5	51	20	60
2) Garðabær	2,5	8,95/20	12,4	13,9	0,3	12,7	1,1	21,6	2,3	13,4	<0,05	70,5	36	25	32
3) Bullaugu	-	7,70/21	11,9	13,5	0,6	6,7	2,4	33,9	<0,1	12,9	<0,1	85,1	27	37	3
4) Gvendarbrúnnar	-	8,42/21	20,0	11,5	0,4	3,8	1,0	26,0	6,6	7,4	<0,1	67,5	14	30	19
5) Svartsengi	-	7,7/20	14,1	37,5	1,5	8,1	7,1	15,9	11,3	75,0	-	-	51	17	2
6) Mosfellssveit	-	7,50/21	21,35	10,4	1,0	9,0	3,4	9,7	4,1	10,2	0,07	-	37	10	68
7) Grundarfjörður	-	6,45/-	9,2	10,7	1,1	2,6	2,1	17,6	2,0	10,3	-	46,8	15	11	37
8) Stykkishólmur	6,5	6,91/20	8,9	6,7	0,6	3,4	1,4	9,7	6,4	11,1	<0,05	49,0	15	8	2
9) Búðardalur	5,0	9,49/20	17,8	31,1	3,2	0,8	1,2	33,0	4,3	17,3	0,28	109,5	7	43	3
10) Patreksfjörður	-	7,67/20	15,54	7,7	0,6	3,5	1,46	7,3	3,6	15,3	-	42,95	15	8	3
11) Drangsnes	4,2	7,74/20	13,2	20,6	0,54	11,0	3,6	44,5	6,2	21,8	0,12	104,5	43	48	2
12) Hólmavík	2,8	7,01/20	9,2	11,7	0,37	3,8	2,0	24,7	4,1	13,1	0,03	55,0	18	23	4
13) Borðeyri	-	7,55/19	19,0	14,3	0,8	7,9	5,3	45,7	1,6	16,0	0,1	95,5	42	48	1
14) Hvammstangi	6,0	7,56/20	22,7	13,3	0,4	35,3	2,5	59,4	7,6	8,7	0,1	103,5	99	63	42
15) Hvammstangi	1,8	6,33/20	11,9	4,4	0,3	4,8	1,47	15,2	10,1	5,1	0,05	46,5	18	8	8
16) Blönduós	4,8	7,28/24	14,9	12,2	1,0	9,7	3,7	47,8	4,6	16,0	-	-	40	48	12
17) Skagaströnd	4,8	7,25/20	9,0	9,7	0,17	9,6	2,2	37,8	7,9	10,6	0,05	70,8	33	18	12
18) Sauðárkrúkur	3,8	8,84/20	17,0	5,1	0,46	11,1	1,4	36,1	2,1	9,8	0,09	75,0	34	42	29
19) Höfsos	6,0	7,50/20	15,3	6,2	0,40	3,8	1,2	18,0	-	8,2	0,03	43,8	15	19	13
20) Siglufjörður	0,4	7,25/20	9,0	7,5	0,3	3,4	1,36	10,14	<1(a)	13(a)	0,066	51	14	10	5
21) Ólafsfjörður	3,8	8,53/20	10,7	6,2	0,43	2,5	0,9	11,5	1,5	6,8	0,02	36,8	10	13	3
22) Dalvík	12,9	7,62/20	14,2	7,6	0,17	4,0	1,4	24,3	1,1	8,9	0,05	51,0	16	26	21
23) Akureyri	3,8	8,08/20	16,9	3,7	0,62	4,6	0,9	22,6	1,0	5,6	0,05	40,5	15	25	36
24) Svalbarðseyri	4,6	7,52/20	20,4	4,9	0,27	6,7	2,8	38,8	1,1	7,1	0,06	63,5	29	41	29
25) Grenivík	10,1	7,68/20	14,0	11,2	0,09	3,5	0,9	27,8	1,4	8,3	0,05	54,5	8	30	16
26) Húsavík	5,1	8,84/20	17,6	12,7	0,61	4,6	1,9	25,5	2,3	16,9	0,09	71,5	20	30	19
27) Húsavík	5,9	9,58/21	15,0	14,3	0,71	5,0	1,87	36,0	4,19	15,2	0,069	66,5	20	48	46
28) Kópasker	3,8	9,01/20	17,2	31,4	1,24	28,1	5,0	29,5	10,1	98,4	0,06	292,2	92	34	16
29) Þórshöfn	3,2	7,28/20	15,4	9,7	0,58	4,9	3,57	18,9	4,1	14,9	0,03	-	28	19	9
30) Austarasel	-	7,60/22,5	26,5	7,8	1,14	8,7	4,98	40,0	5,7	2,9	0,05	-	43	43	43

	Staður	Hiti	pH/°C	SiO <sub>2</sub>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	CO <sub>2</sub>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Cl <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	Uppl. Harkalini-mis-ty munur	
31)	Reykjahlíð	-	7,58/25	77,8	70,2	7,0	42,0	4,91	111,0	135,0	12,6	0,23	-	126 119 3
32)	Bakkagerði	4,6	6,94/20	11,8	6,3	0,5	3,2	1,6	21,6	1,6	7,7	0,1	44,8	15 19 9
33)	Seyðisfjörður	5,0	7,45/20	29,6	17,7	1,2	11,0	7,6	91,3	1,2	8,7	0,2	143,3	60 95 11
34)	Egilssstaðir	4,1	7,22/20	14,8	4,4	0,3	5,2	2,3	28,1	2,1	5,6	0,0	51,8	23 28 16
35)	Neskaupstaður	6,0	7,10/20	22,1	110,2	5,9	18,8	25,8	97,7	2,7	175,7	0,09	537,0	63 93 15
36)	Eskifjörður	3,1	7,53/20	8,4	3,8	0,05	2,6	0,7	15,0	2,4	3,7	0,0	30,8	9 16 29
37)	Reyðarfjörður	8,0	7,29/20	10,8	3,6	0,2	2,3	1,1	17,6	6,3	3,4	0,0	30,7	10 18 45
38)	Fáskrúðsfjörður	5,9	6,56/20	15,0	4,0	0,3	3,4	1,6	22,9	2,1	4,4	0,0	44,0	15 15 2
39)	Breiðdalsvík	4,9	7,09/20	13,7	5,9	0,2	3,1	1,5	21,2	4,4	5,8	0,1	46,5	14 20 20
40)	Djúpivogur	5,8	7,22/20	9,2	4,5	0,1	3,5	1,1	21,2	3,3	3,5	0,1	71,0	13 21 24
41)	Höfn	5,5	6,35/20	8,1	3,8	0,2	4,5	1,3	27,3	4,7	6,8	0,0	41,0	17 15 15
42)	Kirkjubæjarklaustur	6,2	7,42/20	24,4	8,7	0,6	6,5	3,3	40,06	6,4	4,4	0,05	81,0	30 42 10
43)	Vík	3,5	8,85/20	21,8	15,0	0,9	7,6	1,1	27,3	5,6	17,4	0,3	91,0	24 32 12
44)	Eyrarbakki	-	6,80/-	29,0	42,0	5,6	14,3	13,8	158,0	17,1	75,5	0,15	266,0	95 130 29
45)	Nesjavellir	-	7,72/23 <sup>b)</sup>	26,7	9,4	0,7	20,2	6,5	218,1 <sup>b)</sup>	28,4	5,8	0,07	121,6	77 237 97
46)	Borsteinsvík	9,7	7,95/25	37,8	14,0	1,78	11,3	5,3	60,2	9,7	9,3	-	-	51 67 9
47)	Ljósafoss	-	7,60/25	13,0	8,1	0,5	3,9	1,3	23,6	7,2	6,3	-	-	15 25 23
48)	Hveragerði	-	7,65/20	23,7	7,3	1,02	11,6	4,34	40,7	8,5	8,6	0,09	88,8	47 44 2
49)	Hveragerði	8,0	8,10/23	26,6	7,9	1,2	11,4	4,5	116,7	12,0	9,4	0,22	99,3	48 130 84
	Miðgildi		7,58/20	15,3	9,7	0,6	5,2	2,1	27,3	4,2	9,4		67,5	24 29 15
	Meðaltal		7,65/21	17,8	15,4	1,03	8,5	3,43	40,1	8,3	21,0		93	34 41 21
	Staðalfrávirk		0,75/-	10,9	18,9	1,46	8,2	4,10	39,9	19,2	38,0		90	26 41 21

a) Tölur skáldar með hliðsjón af öðrum sýnum frá SigluFirði. b) Sýni tekið á plastbrúsa.

TAFLA III. Talk- og krísótílyfirmettun vatnssýnanna við 100°C auk þeirra

páttu sem ákvarða hana.

Staður	Fyrir afloftun			Eftir "Svartsengis-afloftun"			Eftir 5°C afloftun		
	pH/°C	SiO <sub>2</sub>	Mg <sup>+2</sup>	pH <sup>100°C</sup>	Y <sub>Ta</sub>	Y <sub>Kr</sub>	pH <sup>100°C</sup>	Y <sub>Ta</sub>	Y <sub>Kr</sub>
1 Keflavík	7,72/20	16,2	8,1	7,70	5,5	4,6	8,22	8,4	7,6
2 Garðabær	8,95/20	12,4	1,1	7,99	4,2	3,6	8,39	6,3	5,8
3 Bullaugu	7,70/21	11,9	2,4	7,83	4,3	3,7	8,40	7,4	6,9
4 Gvendarbr.	8,42/21	20,0	1,0	7,89	4,3	3,3	8,37	6,9	6,0
5 Svartsengi	7,7/20	14,1	7,1	7,68	5,0	4,2	8,20	7,9	7,2
6 Mosfellssveit	7,5/21	21,35	3,4	7,53	4,0	2,9	8,03	6,9	5,8
7 Grundarfjörður	6,45/-	9,2	2,1	7,00	-1,2	-1,6	7,89	4,0	3,6
8 Stykkishólmur	6,91/20	8,9	1,4	7,34	0,2	-0,2	7,99	4,0	3,6
9 Búðardalur	9,49/20	17,8	1,2	8,38	6,9	6,1	8,62	8,1	7,4
10 Patreksfjörður	7,67/20	15,54	1,46	7,54	2,4	1,5	8,00	5,1	4,3
11 Drangsnes	7,74/20	13,2	3,6	7,86	5,1	4,4	8,44	8,2	7,6
12 Hólmavík	7,01/20	9,2	2,0	7,48	1,6	1,2	8,22	5,7	5,4
13 Borðeyri	7,55/19	19,0	5,3	7,80	5,9	4,9	8,41	9,2	8,3
14 Hvammstangi	7,56/20	22,7	2,5	7,78	5,0	3,9	8,39	8,3	7,3
15 Hvammstangi	6,33/20	11,9	1,47	6,88	-2,0	-2,6	7,77	3,3	2,7
16 Blönduós	7,28/24	14,9	3,7	7,70	4,6	3,6	8,39	8,2	7,5
17 Skagaströnd	7,25/20	9,0	2,2	7,66	2,6	2,3	8,36	6,5	6,2
18 Sauðárkrúkur	8,84/20	17,0	1,4	8,05	5,4	4,5	8,47	7,6	6,9
19 Höfsós	7,50/20	15,3	1,2	7,67	2,9	2,1	8,23	6,0	5,3
20 Siglufjörður	7,25/20	9,0	1,36	7,51	1,3	0,9	8,08	4,5	4,2
21 Ólafsfjörður	8,53/20	10,7	0,9	7,78	2,5	2,0	8,21	5,0	4,6
22 Dalvík	7,62/20	14,2	1,4	7,76	3,6	2,7	8,32	6,6	5,9
23 Akureyri	8,08/20	16,9	0,9	7,82	3,6	2,7	8,33	6,3	5,6
24 Svalbarðseyri	7,52/20	20,4	2,8	7,77	5,1	4,0	8,38	8,4	7,4
25 Grenivík	7,68/20	14,0	0,9	7,80	3,1	2,3	8,36	6,2	5,5
26 Húsavík	8,84/20	17,6	1,9	7,99	5,5	4,6	8,41	7,7	6,9
27 Húsavík	9,58/21	15,0	1,87	8,47	7,6	7,0	8,67	8,6	8,1
28 Kópasker	9,01/20	17,2	5,0	8,06	7,0	6,1	8,42	8,9	8,1
29 Þórshöfn	7,28/20	15,4	3,57	7,59	3,8	3,0	8,20	7,3	6,5
30 Austaraselsl.	7,60/22,5	26,5	4,98	7,78	6,3	5,0	8,37	9,5	8,3
31 Reykjahlíð	7,58/25	77,8	4,91	7,79	7,4	5,2	8,39	10,7	8,6
32 Bakkagerði	6,94/20	11,8	1,6	7,42	1,4	0,8	8,16	5,6	5,1
33 Seyðisfjörður	7,45/20	29,6	7,6	7,81	7,1	5,7	8,48	10,7	9,5
34 Egilsstaðir	7,22/20	14,8	2,3	7,41	3,4	2,5	8,28	7,1	6,4
35 Neskaupstaður	7,10/20	22,1	25,8	7,58	6,8	5,6	8,36	11,1	10,1
36 Eskifjörður	7,53/20	8,4	0,7	7,68	1,2	0,9	8,23	4,3	4,1
37 Reyðarfjörður	7,29/20	10,8	1,1	7,61	1,8	1,2	8,22	5,2	4,8
38 Fáskrúðsfj.	6,56/20	15,0	1,6	7,11	-0,1	-0,9	7,98	5,0	4,3
39 Breiðdalsvík	7,09/20	13,7	1,5	7,52	2,1	1,3	8,20	5,9	5,3
40 Djúpivogur	7,22/20	9,2	1,1	7,60	1,5	1,1	8,25	5,1	4,9
41 Höfn	6,35/20	8,1	1,3	6,92	-2,6	-2,9	7,88	3,1	2,9
42 Kirkjubæjarkl.	7,42/20	24,4	3,3	7,73	5,3	4,0	8,35	8,7	7,6
43 Vík	8,85/20	21,8	1,1	7,99	5,2	4,1	8,40	7,4	6,4
44 Eyrarbakki	6,80/-	29,0	13,8	7,35	5,1	3,7	8,29	10,3	9,1
45 Nesjavellir	7,72/23	26,7	6,5	7,99	7,5	6,2	8,64	10,7	9,7
46 Þorsteinsvík	7,95/25	37,8	5,3	7,90	7,6	6,0	8,45	10,5	9,1
47 Ljósafoss	7,60/25	13,0	1,3	7,76	3,2	2,5	8,32	6,3	5,7
48 Hveragerði	7,65/20	23,7	4,34	7,80	6,0	4,8	8,38	9,1	8,1
49 Hveragerði	8,10/23	26,6	4,5	8,05	7,5	6,3	8,61	10,3	9,3

Miðgildi	7,58/20	15,3	2,1	7,68	4,3	3,6	8,35	7,3	6,4
Meðalgildi	7,65/21	17,8	3,4	7,70	3,9	3,1	8,29	7,2	6,5
Staðalfrávik	0,75/-	10,9	4,1	0,31	2,6	2,3	0,19	2,1	1,8

TAFLA IV. Útfellingar í flöskum við mismunandi sýrustig (pH)

Fyrir útfellingu			Eftir ca 5 tíma við ca 80°C		Eftir ca 65 tíma við ca 90°C	
Mg <sup>+2</sup>	pH <sup>23°C</sup>	Y <sub>Ta. 80°C</sub>	Mg <sup>+2</sup>	pH <sup>23°C</sup>	Mg <sup>+2</sup>	pH <sup>23°C</sup>
1,03	8,96	3,6	0,83	9,09	0,024	8,52
1,03	9,36	5,5	0,63	9,39	0,004	8,79
1,03	9,76	7,3	0,51	9,60	0,002	10,07
1,03	10,20	8,8	0,51	10,13	0,002	10,27
9,73	9,01	6,8	9,33	9,04	6,15	8,13
11,48	9,45	9,1	10,35	9,26	6,24	8,28
12,73	9,72	10,5	7,63	9,02	4,00	8,02
11,94	10,17	12,0	5,25	9,50	1,90	8,52

TAFLA V. Samanburður á útfellingarhraða í vatni frá Austaraselslind IV  
og kaldavatnsholu hitaveitu Reykjahlíðar

		Aðferð við pH-breytingar	Staður	pH <sup>20°C</sup> fyrir útfellingu	Mg <sup>+2</sup> sem fallið hefur út
Öll átta sýnin jafnlengi í sama vatns- baðinu	Sýrustigi breytt með suðu	Austarasel	9,09 9,10	ómælanlegt ómælanlegt	
	Sýrustigi breytt með NaOH	Reykjahlíð	9,00 8,98	ómælanlegt ómælanlegt	
	Sýrustigi breytt með NaOH	Austarasel	9,20 9,20	0,41 0,09	
	Sýrustigi breytt með NaOH	Reykjahlíð	9,20 9,20	1,84 1,57	
	E N D U R T E K N I N G				
	Sýrustigi breytt með suðu	Austarasel	9,00 9,00	0,26 1,29	
Öll átta sýnin jafnlengi í sama vatns- baðinu	Sýrustigi breytt með NaOH	Reykjahlíð	9,08 9,10	4,48 5,95	
	Sýrustigi breytt með NaOH	Austarasel	9,12 9,12	0,80 0,69	
	Sýrustigi breytt með NaOH	Reykjahlíð	9,02 9,02	3,64 3,79	

TAFLA VI. Sýrustig og magnesiuminnihald vatns í aðveituæð

að Fitjum

Fjarlægð frá stöðvarhúsi (m)	Tími frá því vatn yfirlgaf stöðvarhús (klst)	pH/°C	Mg <sup>+2</sup> (ppm)
0	0	8,80/20°C	6,37
2586	0,91	8,52/21°C	6,40
4525	1,59	8,62/18,5°C	6,35
9102	3,20	8,77/19°C	6,37
9960	3,51	8,81/18°C	6,38

% Mg sem fallið hefur út úr vatninu á ca. 5  
tínum við ca. 80°C, sem fall af sýrustigi

