



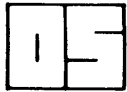
ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

Caution

Hrefna Kristmannsdóttir
Sverrir Þórhallsson
Karl Ragnars

MAGNESÍUMSILIKATÚTFELLINGAR Í HITAVEITUM

OS-83051/JHD-10
Reykjavík, júní 1983



ORKUSTOFNUN

Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

**Hrefna Kristmannsdóttir
Sverrir Þórhallsson
Karl Ragnars**

MAGNESÍUMSILIKATÚTFELLINGAR Í HITAVEITUM

OS-83051/JHD-10

Reykjavík, júní 1983

ÁGRIP

Við upphitun á ferskvatni í hitaveitunum í Reykjahlíð, Svartsengi og Hveragerði hafa fallið út úr vatninu ókristölluð magnesíumsíliköt. Slík vandamál verða ekki í hitaveitum sem nota jarðhitavatn þar sem nær allt magnesíum hefur fallið út úr því við upphitun vatnsins í berggrunninum. Fræðileg úttekt á efnajafnvægjum sýnir að yfirleitt verður ferskvatn hér á landi yfirmettað með tilliti til magnesíumsílikata við hitun, suðu og afloftun. Með rannsóknarstofutilraunum er einnig hægt að fá útfellingar í ferskvatn á örfáum klukkustundum, þegar líkt er eftir aðstæðum í hitaveitum.

EFNISYFIRLIT

Bls.

ÁGRIP	2
EFNISYFIRLIT	3
MYNDASKRÁ	4
1 INNGANGUR	5
2 GERÐIR ÚTFELLINGA	7
3 EFNASAMSETNING HEITA VATNSINS	9
4 JAFNVÆGISREIKNINGAR	10
5 NIÐURSTÖÐUR	14
6 HEIMILDASKRÁ	15
TÖFLUR	17
MYNDIR	23

TÖFLUSKRÁ

1 Efnasamsetning útfellinga	18
2 Efnagreiningar á ferskvatni	19
3 Efnagreiningar á hitaveituvatni og jarðhitavatni	20
4 Yfirmettun miðað við magnesíumsiliköt í nokkrum vatnssýnum	21

MYNDASKRÁ

Bls

- 1 Breytingar á efnainnihaldi og hitastigi með tíma í
kaldavatnsholu Hitaveitu Reykjahlíðar 24
- 2 Breytingar virknimargfeldis í vatni við suðu,
afloftun og kælingu, bornar saman við
jafnvægisferil talks og krísotíls - Svartsengi
(HSK-2) og Hitaveita Reykjahlíðar (Kaldavatnshola
82-10-17) 25
- 3 Breytingar virknimargfeldis í vatni við suðu,
afloftun og kælingu bornar saman við
jafnvægisferil talks og krísotíls - Hitaveita
Reykjahlíðar, kaldavatnshola 1975, 1979 og 1982 26
- 4 Breytingar virknimargfeldis í vatni við suðu,
afloftun og kælingu bornar saman við jafnvægisferil
talks og krísotíls - Hitaveita Reykjahlíðar,
hitaveituvatn 1976, 1977 og 1981 og kaldavatnshola
1982 26
- 5 Breytingar virknimargfeldis í vatni við suðu,
afloftun og kælingu bornar saman við jafnvægisferil
talks og krísotíls - Svartsengi, hitaveituvatn úr
varmaskiptastöð og ferskvatn úr HSK-2 27
- 6 Breytingar virknimargfeldis í vatni við suðu,
afloftun og kælingu bornar saman við jafnvægisferil
talks - Vatn úr Austaraselslindum og vatnssýni úr
kaldavatnsholu Hitaveitu Reykjahlíðar 1982 27
- 7 Breytingar virknimargfeldis í vatni við suðu,
afloftun og kælingu bornar saman við jafnvægisferil
talks - Vatn úr borholu við Grámel í Grafningi og
ferskvatn úr HSK-2 í Svartsengi 28
- 8 Breytingar virknimargfeldis í vatni við suðu,
afloftun og kælingu bornar saman við jafnvægisferil
talks - Vatn úr borholu við Grámel í Grafningi og
vatn úr Austaraselslindum 28

1 INNGANGUR

Í nokkrum hitaveitukerfum þar sem jarðhitavatn er notað verður tæring í lögnum og útfelling fastra efna. Þessi vandamál eru mjög háð uppruna vatnsins, hitastigi og efnasamsetningu. Með greiningu efna í vatninu og útreikningum á væntanlegri hegðun þess við nýtingu má sjá mörg þessara vandamála fyrir, og oft er hægt að leysa þau með sérstakri hönnun, þar sem vandamálanna gætir ekki. Þar fara jafnan saman fræðilegir útreikningar og reynsla af hegðun tæringar og útfellinga. Aðferðir og forrit til að reikna efnajafnvægi eru þó aðeins til fyrir hluta þeirra efna sem út falla og þarf því oft að beita nálgunaraðferðum, sem byggðar eru á mistraustum grunni. Ennfremur geta útreikningar einungis sýnt fram á, hvort tæring eða útfellingar muni verða en ekki hve hratt. Þekking á hraða efnahvarfanna er oft óþekkt og er álit um neysluhæfni heita vatnsins fyrst og fremst byggt á reynslu af rekstri hitaveitna.

Tæring, sem í flestum tilvikum er rakin til súrefnis í vatninu, birtist fyrst í götum sem koma á ofna og þunn stálrör og er helsta vörnin við henni að hindra upptöku súrefnis sé þess kostur, en ella að blanda efnunum í vatnið sem binda súrefnið. Vandamál af völdum útfellinga eru yfirleitt mun erfiðari viðfangs, en útfellingar valda sem kunnugt er stíflum í borholum, auknu slit og jafnvel stöðvun á borholudælum, hrjúfu yfirborði og stíflun í hitaveitulögnum, minnkun afkasta í varmaskiptum, óþéttum lokum og bilunum á rennslismælum. Einnig eru dæmi þess, að útfellingar hafi stíflað skólppípur.

Hér á landi eru nú í rekstri um 30 hitaveitur af fjórum gerðum með tilliti til þess hvers konar vatn er notað: í fyrsta lagi þar sem nota lághitavatn, í öðru lagi háhitavatn og gufu, í þriðja lagi kalt ferskvatn hitað með háhita og í fjórða lagi veitur þar sem vatnið er hitað með rafmagni og olfu.

Lághitaveiturnar eru flestar og yfirleitt eru fæst rekstrarvandamál bundin þeim vegna eðliseiginleika lághitavatnsins. Í sumum þeirra, þar sem mikið magn er af kalki eða súrefni í vatninu og selta er há, hafa rekstrarvandamál þó verið umtalsverð.

Tvær hitaveitur, í Reykjahlíð í Mývatnssveit og í Hveragerði voru fyrst í stað reknar með háhitavatni, sem var aðskilið frá gufunni. Fljótlega kom í ljós að þessi aðferð var ónothæf vegna mikillar útfellingar á kísli í aðveitu- og dreifikerfum og var því fljótlega lögð af í upphaflegri mynd. Hitaveitan í Hveragerði hefur frá upphafi að hluta til verið rekin með því að leiða blöndu af gufu og háhitavatni beint frá borholum inn á dreifikerfið, og hefur sú aðferð ekki valdið tæringu né útfellingum.

Nú eru þrjár hitaveitur, þ.e. Hitaveitur Suðurnesja, Hveragerðis og Reykjahlíðar, reknar með því að hita ferskvatn með jarðgufu. Upphitunin á sér þannig stað, að háhitagufu er ýmist blandað beint í kalda vatnið eða það hitað í varmaskiptum. Auk þessara þriggja hitaveitna fyrirhugar Hitaveita Reykjavíkur að beita þessari aðferð á Nesjavöllum.

Útfellingar steinefna (magnesiumkísilsambanda) hafa orðið við notkun ferskvatns í þessum veitum og fjallar þessi skýrsla um stöðu rannsókna á þessu vandamáli. Athuganir voru gerðar á ferskvatni úr öllum helstu vatnsbólum á landinu með tilliti til útfellingahættu við upphitun þess (Páll Arnason 1983). Tiltæk gögn um efnasamsetningu ferskvatns hér á landi eru ekki viðamikil og efnagreiningar eru oft ófullkomnar. Í þessari skýrslu er einungis fjallað um reikninga á ferskvatni frá þeim stöðum þar sem nýting er í gangi eða er fyrirhuguð á næstunni. Meginniðurstöður skýrslunnar hafa þó almennt gildi.

2 GERÐIR ÚTFELLINGA

Eins og nefnt er í inngangi hafa þrjár hitaveitur nýtt orku frá háhitasvæðum til húshitunar, þ.e. í Reykjahlíð, í Hveragerði og á Suðurnesjum. Hitaveiturnar í Reykjahlíð, svo og Hveragerði, eftir að hún var endurbyggð, hófu notkun háhitavatns í byrjun sjöunda áratugarins. Notaðar voru borholur með 200 til 300°C innstreymishita og vatnið aðskilið frá gufunni í opinni gufuskilju. Gufan var skilin frá en holuvatnið sent beint í dreifikerfin. Í hverju húsi voru forhitarar. Mjög fljótlega komu útfellingar fram í forhitarunum og ekki leið á löngu áður en útfellingar í dreifikerfum ollu verulegum rekstrartruflunum. Í ljós kom, að útfellingar mynduðust strax eftir að vatnið kólnaði niður fyrir suðumark, enda þótt ópalmettunarmörk séu mun lægri eða við 30-60°C, en við þau var talin hætta á útfellingum. Útfellingin reyndist við greiningu vera nær ókristallað álsflikat og miðað við samsetningu er líklegt að efnið hafi svipaða byggingu og zeólít. Þegar hitaveiturnar höfðu verið 2-3 ár í rekstri var gripið til þess ráðs að afla fersks vatns, sem hitað var upp með beinni innspýtingu gufu. Í þessu skyni var í Hveragerði virkjuð lind þar sem kalt vatn rennur undan hrauni, en í Reykjahlíð var boruð hola nærri Grjótagjárprungunni og dælt upp um 30°C vatni. Útfellingar í kerfunum minnkuðu verulega við þessar aðgerðir og tóku á sig nýja mynd.

Í Svartsengi er kalt vatn hitað í tveim þrepum með jarðgufu. Fyrst er vatnið forhitað með beinni innspýtingu lágþrýstigufu en síðan fullhitað með háþrýstigufu í varmaskipti. Meðan orkuver Hitaveitu Suðurnesja var í byggingu var heita vatnið framleitt í bráðabirgðastöð og var afgösun súrefnis úr vatninu þá ófullnægjandi og sýrustig of lágt. Með íblöndun vífissóða í vatnið sem stóð í stuttan tíma var hægt að hindra tæringu en vart varð við útfellingu í aðveituæðum, næst Svartsengi. Afgösun úr upphitaða vatninu í orkuverinu er mun fullkomnari en áður var og eru tæring og útfellingar ekki vandamál sem stendur. Þó má ætla að óstöðugt jafnvægi ríki hvað útfellingar snertir og því sé of snemmt að slá nokkru föstu um endanlega lausn á því vandamáli.

Í Svartsengi og Reykjahlíð (Hrefna Kristmannsdóttir 1978, 1980 og 1981) eru útfellingarnar myndlaus (amorf) þoróttur massi, hvítur til ljósbrúnleitur á lit. Í töflu 1 er sýnd

efnasamsetning útfellinganna. Flestar efnagreininganna eru gerðar á örgreini og gekk fremur illa að fá sæmilegar heildarsummur þar sem yfirborð sýnanna fægðist illa. Magn vatns bundið í strúktúrum var ekki mælt sérstaklega, svo ekki er vitað nákvæmlega um summu þurroxýða. Hlutfall magnesíums og kísils er talsvert breytilegt í sýnum úr Hitaveitu Reykjahlíðar, en stöðugra í sýnum úr Hitaveitu Suðurnesja. Mg:Si hlutfallið í útfellingum frá Hitaveitu Suðurnesja er að meðaltali um 1. Í útfellingum úr Hitaveitu Reykjahlíðar er hlutfallið yfirleitt lægra og liggur á bilinu 0,6-0,9.

Sýnin eru nánast ókristölluð, þannig að endurvarp röntgengeisla frá kristallaflötum kemur ekki fram. Aðrar athuganir benda þó til að nokkur regla sé í uppbyggingu efnisins. Í útfellingum sem hafa verið í leiðslum um nokkurra mánaða skeið hefur sést vottur af endurvarpi frá kristallaflötum. Slík endurvarpslínurit frá útfellingum úr Hitaveitu Suðurnesja líkjast endurvarpslínuritam sem koma fram við röntgengreiningu á magnesíumsilikatínu krisotfl. Athugun á gleypni útfellinganna í innrauða litrófinu sýnir enn betur að kristalbygging þeirra líkist krisotfli. Krisotfl hefur efnasamsetninguna $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$ og Mg:Si hlutfallið 1,5, þ.e. herra en í útfellingunum.

Útfellingar frá Hitaveitu Reykjahlíðar sýna alltaf mjög lélegan endurkastsferil við röntgengreiningu. Þegar einhverjir ferlar sjást þá líkjast þeir fremur ferli magnesíumsilikatsins talks, en krisotfli. Talk hefur samsetninguna $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ og Mg:Si hlutfallið 0,75 er því mun lægra en í krisotfli. Gleypni í innrauða litrófinu gefur einkennandi feril, sem ekki er eins og fyrir talk né krisotfl.

Ástæða þess, að æskilegt er að finna einhver algeng kristölluð siliköt sem líkjast þessum illa kristölluðu útfellingum að uppbyggingu er fyrst og fremst sú að fyrir kristölluðu silikötin eru til efnavarmafræðilegir fastar sem nota má til jafnvægisreikninga. Reikna má hvort heita vatnið verði yfirmettað við nýtingu á með tilliti til kristallaðra silikata og fá þannig mælikvarða á yfirmettun og hættu á útfellingu magnesíumsilikata.

3 EFNASAMSETNING HEITA VATNSINS

Í töflu 1 er sýnd efnasamsetning vatnssýna úr tveim ferskvatnsholum Hitaveitu Suðurnesja og úr ýmsum vatnsbólum nálægt Reykjahlíðarporpi teknum á árunum 1975-1982. Til samanburðar er sýnd efnasamsetning úr Austaraselslindum, sem er fyrirhugað vatnsból fyrir Hitaveitu Reykjahlíðar. Einnig er tekin með efnasamsetning ferskvatns frá Hveragerði, úr Gvendarbrunnum og tveim ferskvatnsborholum nálægt Nesjavöllum, en þar er í athugun hitun ferskvatns fyrir Hitaveitu Reykjavíkur. Í töflu 2 er sýnd efnasamsetning hitaveituvatnsins í Reykjahlíð og Svartsengi. Til samanburðar er sýnd samsetning jarðhitavatns í Eyjafirði og Reykjavík.

Í Svartsengi er kalda vatnið mun saltara en venjulegt er um ferskvatn á Íslandi. Magn kísils er um 14 mg/l (SiO_2) og magnesíums 7 mg/l, sem er allhótt en ekki óalgengt magn í ferskvatni á landinu.

Vatnið í kaldavatnsholu Hitaveitu Reykjahlíðar er mun heitara og hefur herra magn af uppleystum kísli en annað ferskvatn sem nýtt er. Í töflu 2 og á mynd 3 er sýnt hvernig efnainnihald vatnsins hefur breyst á s.l. 6-7 árum vegna áhrifa eldvirkinnar á svæðinu. Hiti vatnsins hefur hækkað, kísilmagn og magn brennisteinsvetnis hefur aukist en magnesíumstyrkur lækkað. Í sýnum frá síðasta ári sést hins vegar að magnesíumstyrkur hefur hækkað og kísilmagn minnkað, sem bendir til minnkandi áhrifa eldvirkinnar. Hitastig hefur þó nær ekkert lækkað enn. Styrkur magnesíums í jarðhitavatni er ávallt mjög lágur, yfirleitt lægri en 0,1 mg/l. Í ferskvatni er styrkur magnesíums hins vegar 3-15 mg/l. Orsök þessa er að við upphitun vatnsins í berggrunni fellur magnesíum úr því og verður eftir í berggrunninum. Útfellingar magnesíumsambanda eru því óþekktar í hitaveitum þar sem jarðhitavatn er notað beint. Í gufukötlum og hverflum eru hins vegar þekkt vandamáal vegna útfellinga magnesíumsambanda (sjá t.d. J.G.Vail 1952).

Magn flestra annarra uppleystra efna eykst þegar vatn hitnar djúpt í berggrunni og hvarfast við hann. Styrkur uppleysts kísils er þannig í beinu sambandi við það hitastig sem vatnið nær í berggrunninum.

4 JAFNVÆGISREIKNINGAR

Til að skýra útfellingar magnesíumsílikata úr ferskvatni voru gerðir reikningar á því hvort yfirmettun yrði með tilliti til ýmissa gerða magnesíumsílikata þegar kalt vatn væri hitað, soðið og afloftað á svipaðan hátt og gert er í hitaveitunum. Einnig var athugað hvort sjálft hitaveituvatnið úr Svartsengi og Reykjahlíð reiknaðist yfirmettað með tilliti til sömu gerða magnesíumsílikata. Við reikningana var notað "Watch" forrit Orkustofnunar (Hörður Svavarsson 1981). Jón Örn Bjarnason bætti inn í forritið til að flýta úrvinnslu, reikningi á log K fyrir þau hvörf sem notuð voru. Dæmi um niðurstöður þessara reikninga eru sýndar á myndum 2-8, þar sem sýnd eru jafnvægisferli (logaritminn af jafnvægisfasta hvarfanna á móti hitastigi) fyrir tvær gerðir magnesíumsílikata. Notuð eru hvörfin: $Mg_3Si_2O_5(OH)_4 + 6H^+ \rightleftharpoons 3Mg^{2+} + 2H_4SiO_4 + H_2O$ (krísofil) og $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2 + 6H^+ + 4H_2O \rightleftharpoons 3Mg^{2+} + 4H_4SiO_4$ (talk). Ferlarnir eru dregnir eftir gögnum frá Helgeson et al. (1978). Notuð eru jafnvægisferli fyrir þær gerðir magnesíumsílikata, sem mest líkjast útfellingum í Svartsengi og Reykjahlíð. Mikill munur er á Mg:Si hlutfalli þessara steinda og styrkur kísils ætti að hafa aðaláhrif á það hvort efnið falli út. Ferlarnir eru notaðir til viðmiðunar við ferli sem fást með því að reikna tilsvarendi virknimargfeldi í vatnssýnum við hitun, suðu (afloftun) og kælingu.

Eins og sést af hvörfunum er hætta á útfellingu magnesíumsílikatanna mjög háð sýrustigi vatnsins. Sýrustigið er aðallega háð því hversu mikil afloftun verður. Hugtökin 100% afloftun og 30% afloftun, sem notuð eru hér á eftir eru skýrgreind þannig, að við 100% afloftun næst jafnvægi í dreifingu rokgjarnra efna milli gufu og vatnsfasa. Sé afloftun minni segir prósentuhlutinn til um hversu mikill hluti rokgjörnu efnanna hefur jafnast á milli fasanna; afgangurinn situr eftir í vökvafasanum. Á myndum 2 a og c eru sýnd slík jafnvægisferli fyrir fellingum magnesíumsílikatsins krísofils og á myndum 2 b og d eru sýnd jafnvægisferli fyrir fellingum magnesíumsílikatsins talks. Á myndunum eru einnig ferli sem sýna reiknaða breytingu á tilsvarendi virknimargfeldum við nýtingu kalds vatns úr Svartsengi (holu HSK-2) og kaldavatnsholu Hitaveitu Reykjahlíðar. Sýnið úr Hitaveitu Reykjahlíðar sem notað er til reikninganna er frá árinu

1982. Á myndum 2 a og b er virknimargfeldisferillinn reiknaður fyrir hitun vatnsins í 105°C, suðu við 100°C með 100% afloftun og eftirfarandi kælingu í 40°C. Á myndum 2 b og d er ferillinn reiknaður fyrir hitun vatnsins í 101°C, suðu við 100°C og 30% afloftun og kælingu í 40°C. Öll sýnin eru yfirmettuð eftir hitun í 101 og 105°C og eykst yfirmettunin verulega við suðu og afloftun og helst nær óbreytt við kælingu. Mun meiri yfirmettun er miðað við jafnvægisferil talks. Verulega meiri yfirmettun er við meiri afloftun. Vatnið í Reykjahlíð er heldur meira yfirmettað en Svartsengisvatn við allar aðstæður sem reiknað er við.

Á myndum 3 a og b eru sýndir reikningar á vatni úr kaldavatnsholu Hitaveitu Reykjahlíðar frá 1975, 1979 og 1982. Á mynd 3 a er miðað við jafnvægisferil krísótils og á mynd 3 b við jafnvægisferil talks. Reiknuðu ferlarnir fyrir vatnið eru miðaðir við hitun í 105°C og 100% afloftun eftir suðu. Við 105°C er vatnið yfirmettað í öllum tilfellum. Yfirmettun er verulega meiri með tilliti til talks en krísótils. Vatn frá 1975 og 1982 hefur nær samfallandi ferli, en í sýni frá 1979 er yfirmettun minni en í hinum tveim. Áhrif kvikuvirkni á grunnvatnið á Reykjahlíðarsvæði hafa m.a. verið þau að minnka útfellingahættu við nýtingu vegna hækkunar á hitastigi þess og lækkunar á magnesíumstyrk. Á mynd 4 a og b eru sýnd á sömu mynd reiknuð ferli fyrir vatn úr Reykjahlíð hituð í 101°C og afloftuð 30% og hituð í 105°C og afloftuð 100%. Einnig eru sýnd á myndinni tilsvarendi virknimargfeldi í vatnssýnum úr Hitaveitu Reykjahlíðar frá 1976, 1977 og 1981. Staðsetning þeirra punkta ætti að sýna hvernig raunverulegt mettunarástand hitaveituvatnsins er.

Eins og fram kom hér að framan verður yfirmettun því meiri sem afloftun er virkari. Öll sýnin af hitaveituvatni eru verulega yfirmettuð miðað við talk, en mun minna yfirmettuð miðað við krísótil. Langmest yfirmettun er í sýni frá 1976. Yfirmettun miðað við magnesíumsiliköt er í raun lægri en búast mætti við. Stafar það annað hvort af því að afloftun er ekki eins virk og talið er eða að þegar hefur fallið eitthvað út úr vatninu. Á myndum 5 a og 5 b eru sýnd sams konar reiknuð ferli fyrir kalt vatn úr Svartsengi og sýnt var á mynd 3 a og b fyrir Reykjahlíð. Tilsvarendi virknimargfeldi fyrir sýni af hitaveituvatninu eru einnig á myndinni. Sömu almennu niðurstöður gilda um þessa mynd og mynd 4. Hér falla hins vegar flestöll gildi fyrir heita

vatnið á milli ferlanna fyrir 30% og 100% afloftun. Heita vatnið er því verulega yfirmettað af magnesíumsilíkötum. Í töflu 4 eru tekin saman gildi fyrir yfirmettun miðað við talk og krisotíl í vatni frá hitaveitunum í Svartsengi, Hveragerði og Reykjahlíð, úr fyrirhuguðu vatnsbólum Reykjahlíðarþorps, Austaraselslindum, úr Gvendarbrunnum og úr tveim borholum nálægt Nesjavöllum, holu 2 á Nesjavöllum og holu 1 við Grámel. Mettunargráða er miðuð við hitun í 105°C, suðu og 100% afloftun. Vatn úr öllum þessum vatnsbólum verður mjög yfirmettað af magnesíumsilíkötum við upphitun, suðu og afloftun. Íhugunarvert er að í vatni frá Nesjavöllum er yfirmettun meiri en í Svartsengi og álíka og í vatni úr kaldavatnsholu Hitaveitu Reykjahlíðar. Vatnið úr borholunni við Grámel er talsvert minna yfirmettað, en þó er yfirmettun mun meiri en í Svartsengi. Ferskvatn úr Hveragerði liggur á milli vatns úr Austaraselslindum og Grámelsholu hvað yfirmettun varðar. Á mynd 6 eru svo borin saman ferlin miðað við jafnvægi við talk fyrir vatn úr Austaraselslindum í Skútustaðahreppi og ferskvatnsholu Hitaveitu Reykjahlíðar (sýni frá 1982). Reikningarnir miða hér einnig við hitun í 105°C og 100% afloftun. Yfirmettun er minni í vatninu úr Austaraselslindum, en það er þó verulega mikið yfirmettað. Á mynd 7 er gerður samskonar samanburður og á mynd 6 á milli reiknaðs ferlis fyrir vatn úr borholu í Grámel í Grafningi og ferskvatns úr HSK-2 í Svartsengi. Eftir suðu og fulla afloftun verður meiri yfirmettun í vatninu frá Grámel. Á mynd 8 er svo ferlunum frá myndum 6 og 7 fyrir Grámel og Austaraselslindir stillt saman. Mjög sambærilegar niðurstöður fást eftir suðu og fulla afloftun.

Þótt vatn sé yfirmettað með tilliti til einhvers efnasambands er ekki þar með sagt að útfelling verði strax í því. Mjög mikla yfirmettun þarf yfirleitt til að kalk og kísill falli út úr hitaveituvatni. Jarðhitavatn reiknast einnig yfirmettað með tilliti til magnesíumsilíkata þótt nær allt magnesíum sé þegar fallið út úr því. Hætta á útfellingum eykst almennt séð ef heildarmagn uppleystra efna er mikið, sem hraðar öllum hvörfum og eins ef snertiyfirborð er hrjúft og auðveldar þar með kjörnun. Mjög erfitt er að leggja eitthvert tölulegt mat á þessa þætti. Til þess að meta áhrif þeirra í ákveðnum tilvikum er öruggast að gera líkanprófanir. Líkanprófanir ættu fyrst og fremst að beinast að því hvort og hversu hratt magnesíumsilíköt falla út úr ósöltu köldu grunnvatni með svipaða samsetningu og vatn úr Austaraselslindum, vatn frá

Nesjavöllum og e.t.v. Gvendarbrunnvatn. Einnig þyrfti að athuga hvort hægt væri að stýra útfellingunum með mismikilli afloftun. Einnig hvort stýra mætti með tafkerjum eða sandgildrum hvar í kerfinu útfelling yrði svo hægt væri að fá útfellingu á heppilegum stað og losna við hana annars staðar.

Þegar hafa verið gerðar tilraunir á rannsóknarstofu til að kanna útfellingahættu (Hrefna Kristmannsdóttir 1983 og Páll Arnason 1982). Gvendarbrunnvatn, vatn úr kaldavatnsholu Hitaveitu Reykjahlíðar og lindarvatn úr Austaraselslindum var kannað sérstaklega. Þar sem ekki er hægt að stýra nákvæmlega afloftun með þeim einfalda útbúnaði, sem notaður var, voru tilraunirnar ekki magnbundnar. Megintilgangur þeirra var að sýna fram á áhrif hitunar og afloftunar. Athyglisvert var að í öllu þessu vatni urðu útfellingar sem reyndust vera magnesíumsiliköt, sambærilegar við þau sem áður höfðu mælst. Byrjunarhraði útfellinganna er þó minni en í lítillega söltu vatni (100 ppm Cl) og vatni með meira heildarmagni af uppleystum efnum (Reykjahlíðarvatn).

5 NIÐURSTÖÐUR

Við upphitun fersks vatns til notkunar í hitaveitum hafa orðið útfellingar á magnesíumsílikötum. Á þetta fyrst og fremst við um Hitaveitu Hveragerðis og Hitaveitu Reykjahlíðar. Í hitaveitu Reykjahlíðar er erfitt að stýra sýrustigi þannig að komist verði hjá útfellingum. Þar hefur útfellingavandamálið minnkað heldur vegna breytinga á grunnvatni við náttúruhamfarir. Ólíklegt er að lausn á útfellingavandamálinu fáiast með því að nota vatn úr Austaraselslindum í stað vatns úr kaldavatnsholu hitaveitunnar.

Vatn úr kaldavatnsbólum víðs vegar um landið verður yfirmettað með tilliti til magnesíumsílikata við upphitun og afloftun. Í vatni úr kaldavatnsholum á Nesjavöllum reiknast einna mest yfirmettun af þeim grunnvatnssýnum sem athuguð voru. Í flestu venjulegu ferskvatni virðist yfirmettun óhjákvæmileg ef afloftun er um eða yfir 25% við suðu vatnsins. Frumtilraunir á rannsóknastofu sýna að einfalt er að framkalla útfellingar í ósöltu efnasnauðu vatni, en jafnframt að útfellingar eru hraðari í byrjun í lítillega söltu vatni og vatni með hærra magni af kísli.

Niðurstöður þessarar rannsóknar kalla á mun nákvæmari líkantilraunir þar sem fyrir dyrum standa frekari virkjanir á háhitasvæðum landsins þar sem ferskvatn yrði notað sem varmamiðill, svo sem virkjun Hitaveitu Reykjavíkur á Nesjavallasvæðinu en þar eru vísbendingar um vandamál vegna útfellinga magnesíumsílikata.

6 HEIMILDASKRÁ

- Helgeson, H.C., J.M. Delany, H. Wayne Nesbitt & D.K. Bird
1978: Summary and critique of the thermodynamic
properties of rock-forming minerals. Amer. J. Sci.,
278: 1-229.
- Hrefna Kristmannsdóttir 1975: Samantekt á greiningum á
útfellingum í rörum frá Hitaveitu Hveragerðis.
Orkustofnun, OSJHD-7535.
- Hrefna Kristmannsdóttir 1978: Greining 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 Kristmannsdóttir 1981: Hitaveita Reykjahlíðar -
Efnainnihald í vatni og útfellingar í því.
Orkustofnun, greinargerð, HK-81/06.
- Hrefna Kristmannsdóttir 1983: Útfellingar úr upphituðu
ferskvatni frá Hitaveitu Hveragerðis. Orkustofnun,
OS-83011/JHD-02 B, 14s.
- Hörður Svavarsson 1981: Forritin "Watch1" og "Watch3".
Hjálpartæki til túlkunar efnagreininga á
jarðhitavatni. Orkustofnun, OS81007/JHD03.
- Kristján Sæmundsson 1981: Kaldavatnsboranir á Nesjavöllum
1980. Orkustofnun, greinargerð, KS-81/03.
- Páll Arnason 1983: Athuganir á magnesíumsílikatútfellingum
við upphitun vatns. OS82128/JHD39 B, 20 s.
- Sverrir Þórhallsson, Karl Ragnarss, Stefán Arnórsson &
Hrefna Kristmannsdóttir 1975: Rapid scaling of silica
in two district heating systems. Orkustofnun,
OSJHD-7534, 14 s.

Sverrir Þórhallsson 1982: Hitaveita Reykjahlíðar - Vandamál útfellinga 1971-1981. Orkustofnun, greinargerð, SP-82/01.

Vail J.G. 1952: Soluble silicates, 1. ACS Monograph, 116, Reinhold.

TÖFLUR

TAFLA 1. Efnasamsetning útfellinga í Hitaveitu Reykjahlíðar (1 og 2)

og Suðurnesja (3)

Punga %	1	2	3
SiO ₂	55,8	51,5	45,1
Al ₂ O ₃	1,9	1,1	2,2
FeO (heildar)	0,7	0,6	1,6
MgO	24,6	38,1	32,3
CaO	4,3	4,2	0,2
Na ₂ O	-	-	<0,1
K ₂ O	-	-	0,0

- ekki mælt

TAFLA 2. Efnagreiningar á ferskvatni

	Dagsetn.	Sýni nr	Hitastig °C	Sýrustig pH/°C	Eðlis- viðnám Σm	SiO ₂ ppm	Na ⁺ ppm	K ⁺ ppm	Ca ⁺⁺ ppm	Mg ⁺⁺ ppm	CO ₂ ^{tot} ppm	SO ₄ ⁻⁻ ppm	H ₂ S ppm	Cl ⁻ ppm	F ⁻ ppm	Heildar- magn uppl. efna
Reykjahlíð																
Hola Kísiliðju	75-09-22	153	28	7,64/15	18,2/	84	65,6	7,1	40,0	0,03	92,4	184,7	<0,1	20,3	0,29	496
Hitav. Hola	75-22-24	182	22	7,90/20	17,4/	68	65,8	6,7	55,7	12,71	95,9	190,2	<0,5	18,7	0,28	518
Hola Kísiliðju	76-11-24	171	28	7,80/20	22,7/	72	57,8	5,5	38,5	8,3	82,1	118,0		14,4	0,27	394
"	77-05-22	1116	33	8,26/20	17,9/	81,6	70,0	5,8	48,3	10,8	96,6	182	<0,1	16,7	0,21	490
Hitav. Hola	77-06-26	1138	26			58	84,0	12,4	5,3	15,0		247,0		13,7	0,19	581
Hola Kísiliðju	79-04-27	20	52	6,7/22	19,6/21	159	97,5	7,8	15,1	1,48	118,0	130,0	4,4	25,7	0,38	540
Hitav. Hola	79-04-27	21	32	7,1/22	19,8/21	93,5	68,6	5,0	38,0	5,48	112,0	173,0	1,1	13,5	0,29	455
Grjótagjá	79-04-26	18	57	8,40/23	22,7/21	172,0	80,8	7,3	12,8	2,0	198,0	88,3	1,3	17,5	0,38	469
Stóragjá	79-04-26	19	38	8,34/23	20,0/21	139,0	85,3	8,3	15,5	3,2	75,8	121,0	0,7	24,9	0,36	486
Hola Kísiliðju	81-03-26	1011	50,7	7,82/21	22,0/	153,4	91,6	10,8	16,2	2,0	91,9	115,8	0,0	33,8	0,39	495
Nyrðri H. Kísiliðju	81-07-16	1040	48,4	7,65/24,5	19,6/21	144,4	116,0	10,8	18,4	2,78	92,4	117,7	0,0	38,6	0,38	462,8
Hitav. Hola	81-07-17	1043	33,0	7,58/24,6	20,0/21	77,8	70,2	7,0	42,0	4,91	111,0	135,0	0,0	12,6	0,23	414,5
Syðri H. Kísiliðju	82-05-20	1016	50,4	8,22/23	18,9/22	142,0	89,0	9,2	17,4	2,91	88,1	119,4	<0,1	32,0	0,35	489,6
Hitav. Hola	82-05-20	1017	33,9	7,92/23	19,6/22	78,3	65,0	6,3	34,4	7,34	88,1	122,3	<0,1	17,8	0,24	431,6
Svartsengi	HSK-2		5,2	7,7/20	-	14,1	37,5	1,5	8,1	7,1	15,9	11,3	-	75,0	-	-
"	HSK-4		5,2	7,6/20	-	14,7	33,2	1,6	8,2	7,4	18,4	11,7	-	73,0	-	-
Austaraseislindir	81-06-21	16	3,6	7,60/22,5	88,0/20	26,5	7,8	1,14	8,7	4,98	40,0	5,7	0,0	2,9	0,05	163,5
Gvendarbrunnar	(meðaltal)		4,0	9,05/23	100/23	12,9	11,5	0,44	4,04	1,0	23,3	3,2	0,0	12,0	0,04	47,5
Nesjavellir hola 2	80-06-02	79		7,74/22,5	60,6/22,4	34,6	16,2	2,80	13,4	6,02	65,9	11,7	0,24	8,6	0,12	142
Grámelur hola 1 *	-	-		7,3/	-											
Hveragerði	74-09-30	740108	10,5	7,65/20	90,9/	18,8	7,4	0,8	6,1	4,5	44,0	8,2	-	8,4	-	103,5
						23,7	7,3	1,02	11,6	4,34	40,7	8,5	0,0	8,6	0,09	88,8

* Gógn frá Kristjáni Semundssyni, 1980

TAFLA 3. Efnagreiningar á hitaveituvatni

Dagsetn	Sýni nr	Hitastig °C	Sýrustig pH/°C	Eðlis- viðnám Ωm	SiO ₂ ppm	Na ⁺ ppm	K ⁺ ppm	Ca ⁺⁺ ppm	Mg ⁺⁺ ppm	CO ₂ tot ppm	SO ₄ ⁻⁻ ppm	H ₂ S ppm	Cl ⁻ ppm	F ⁻ ppm	Heildar- magn uppl. efna	
Hitaveita Reykjahlíðar	75-11-24	181	88	7,90/20	18,7/20	69	58,3	6,3	47,1	13,7	65,5	210	16,8	0,1	0,25	492
- "	76-11-24	170	89	8,70/22	21,7/	49,0	44,6	5,6	47,3	8,5	72,1	169	0,4	8,7	0,18	397
- "	77-05-22	1118	86	7,78/20	15,6/	107,0	60,0	6,0	59,0	14,0	46,9	306,7	33,3	13,6	0,14	556
- "	79-04-27	1022	>78	8,25/22	22,7/21	80,7	55,9	4,8	33,5	3,58	61,6	146,0	16,9	7,2	0,26	403
- "	81-07-16	1041	87	8,50/24,8	21/21	69,0	63,8	6,5	35,6	2,27	48,9	160,8	15,7	12,6	0,21	432
- "	82-05-20	1015	87	7,68/23	20/22	89,8	60,7	6,2	30,2	6,45	74,5	123,3	17,2	16,6	0,22	431
Akureyri	81-05-16	083	95	9,79/23	43,5/21,3	102,3	53,5	1,31	2,76	0,007	14,1	40,7	<0,1	12,3	0,38	256
Reykjavík	79-02-28	018	100	9,63/20	55,6/20	94,3	41,6	1,7	2,0	0,08	23,3	13,6	0,3	18,4	0,41	249
Svartsengi bráðabirgðastöð	77-12-13	240	83	8,88/22	38,4/	19,1	30,6	1,51	7,43	6,44	26,0	10,7	<0,1	57,3	0,13	179
- "	78-06-29	024	86	9,20/18	40,4/	6,0	32,0	1,43	6,86	5,58	24,1	11,2	<0,1	57,1	0,09	133
Svartsengi aðalstöð	78-04-18	016	100	8,37/24	33,3/	13,0	36,0	2,0	7,89	6,8	13,2	11,0	<0,1	66,1	0,12	159
- "	79-04-18	042	103,5	8,91/21	38,5/22	13,0	35,2	2,2	7,40	6,07	6,6	9,5	<0,1	72,4	0,09	142

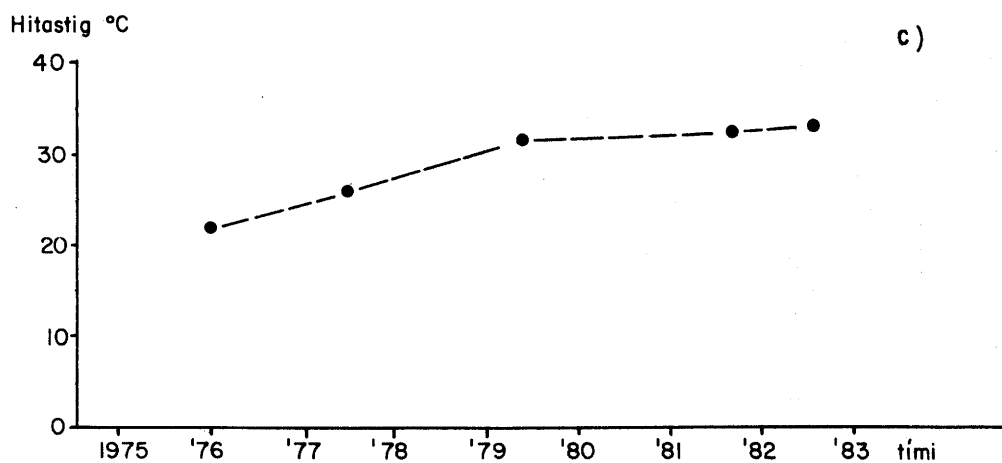
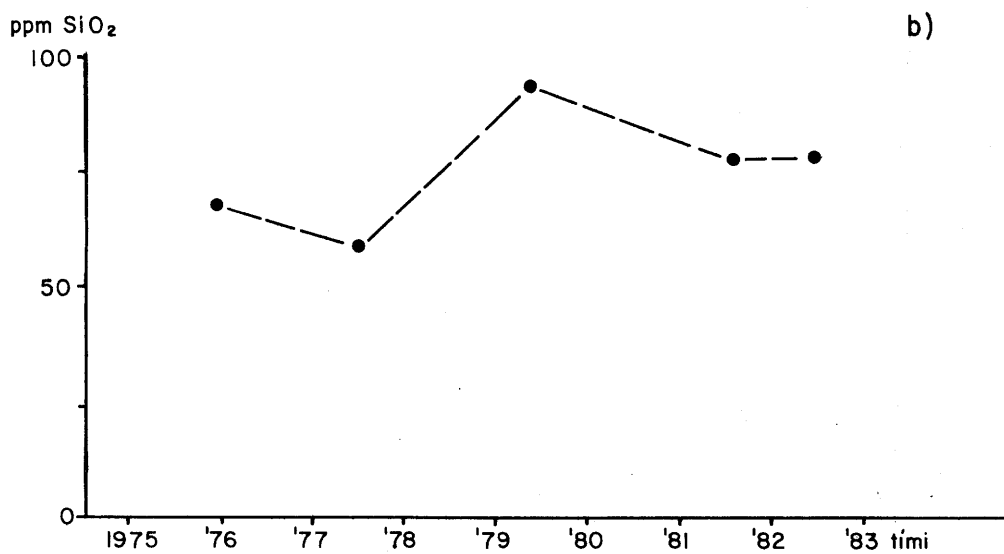
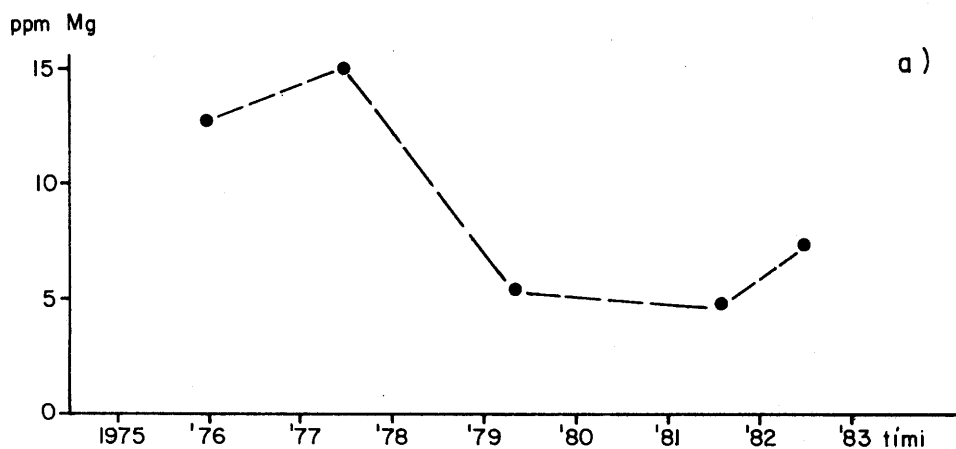
TAFLA 4. Yfirmettun ($\log K_{\text{reiknað}} - \log K_{\text{jafnvægi}}$) miðað við magnesíumsilikötin krísotíl og talk við hitun á köldu vatni í 105°C og eftirfarandi suðu með 100 % afloftun

Staðsetning	Númer vatnssýnis	Yfirmettun miðað við krísotíl	Yfirmettun miðað við talk
Austaraselslindir	810016	8,3	9,5
Nesjavellir hola 2	800079	9,1	10,5
Gvendarbrunnar	Meðaltal (staðalgrein.)	6,0	6,5
Grámelur hola 1	800000	7,9	8,7
Hveragerði	740108	8,1	9,1
Svartsengi HSK-2	760000	7,3	7,9
Svartsengi HSK-4	760000	7,5	8,2
Hitaveita Reykjahlíðar	751224	9,6	11,6
" "	790021	8,2	10,5
" "	821017	9,2	11,3

MYNDIR

JHD-JEF-9000-HK
83.01.0120 AA

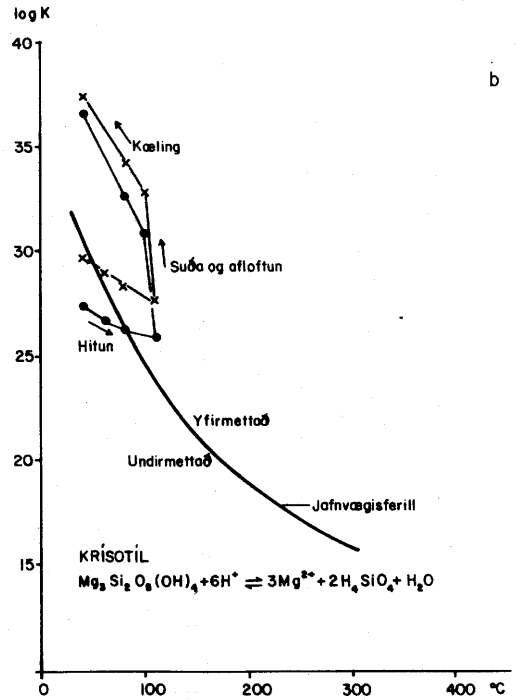
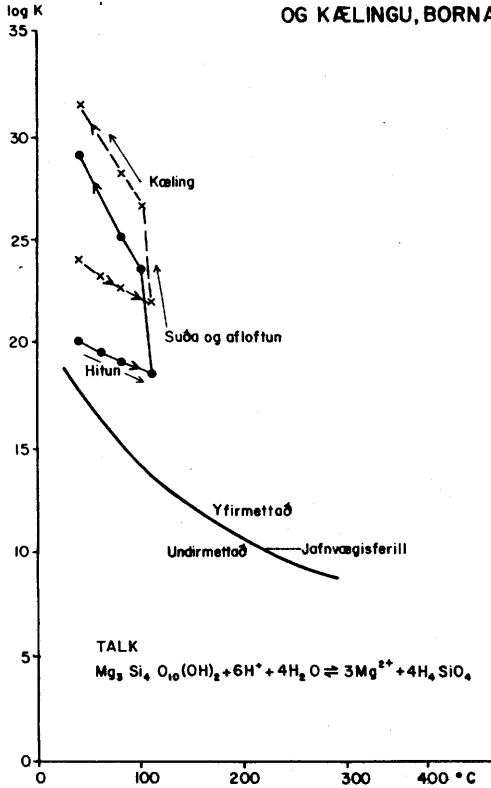
Mynd I

Breytingar á efnainnihaldi og hitastigi
með tíma í kaldavatnsholu Hitaveitu Reykjahlíðar

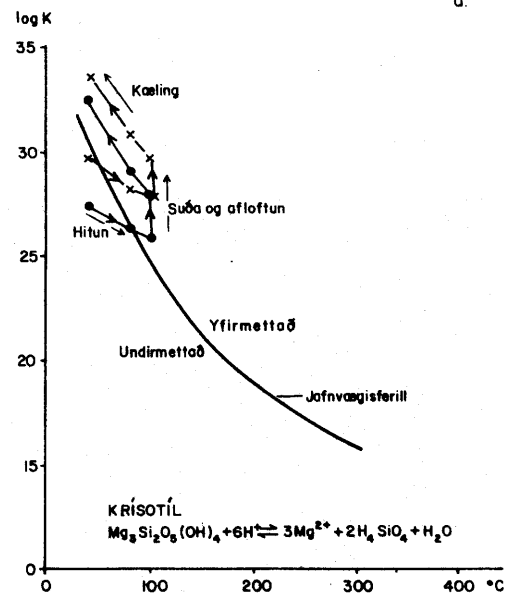
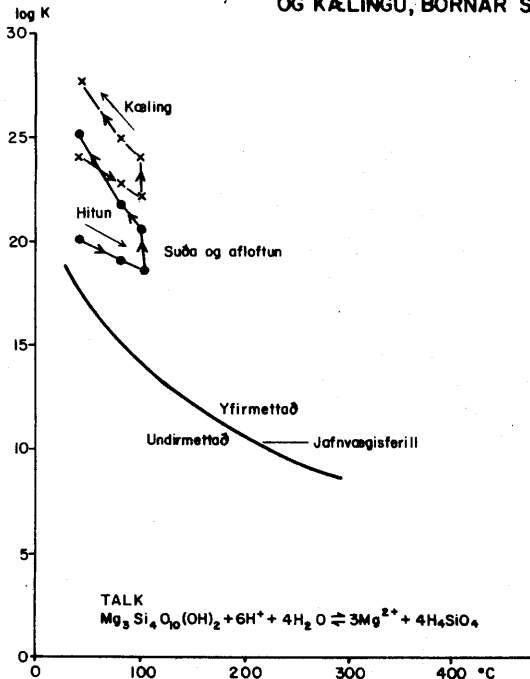
JHD-JEF-9000-HK
83.01.0062 AA

Mynd 2

BREYTINGAR VIRKNIMARGFELDIS Í VATNI VIÐ SUÐU, AFLOFTUN OG KÆLINGU, BORNAR SAMAN VIÐ JAFNVÆGISFERIL TALKS OG KRÍSOTÍLS



BREYTINGAR VIRKNIMARGFELDIS Í VATNI VIÐ SUÐU, AFLOFTUN OG KÆLINGU, BORNAR SAMAN VIÐ JAFNVÆGISFERIL TALKS OG KRÍSOTÍLS

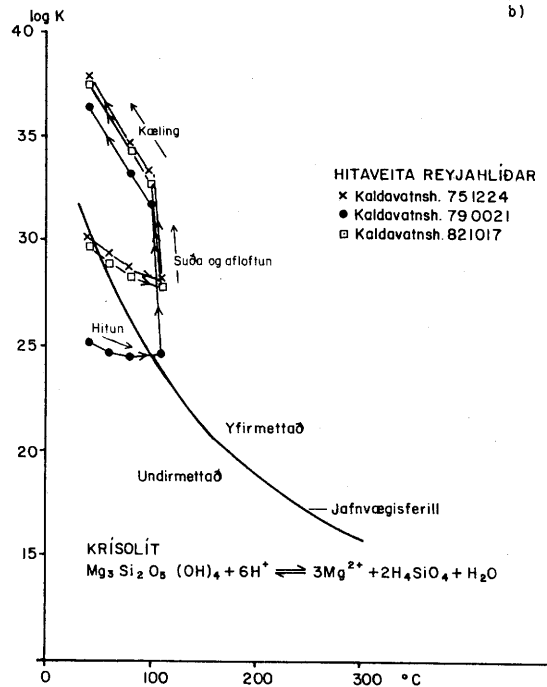
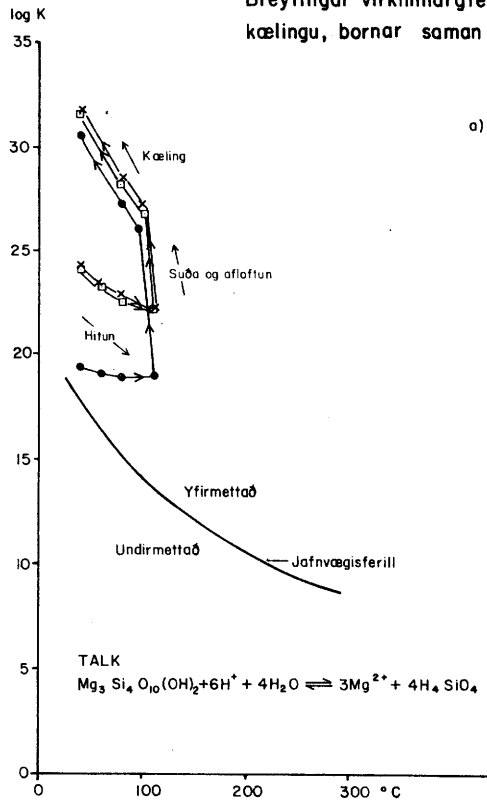


SKÝRINGAR : ● Svartsengi (HSK-2) × Reykjahlíð (82.10.17)

JHD-JEF-6607-HK
83.01.0061 AA

Breytingar virknimargfeldis í vatni við suðu, aflöftun og kælingu, bornar saman við jafnvægisferil talks og krísólits

Mynd 3



JHD-JEF-6607-HK
83.01.0061 AA

Breytingar virknimargfeldis í vatni við suðu, aflöftun og kælingu, bornar saman við jafnvægisferil krísólits og talks

Mynd 4

