



Magnesium silikat útfellingar. Afloftunartilraunir í Hveragerði

Trausti Hauksson

Greinargerð TH-86-01

Greinargerð
TH-86/01

ORKUSTOFTNUN
Jarðhitadeild-VT

MAGNESIUM SILIKAT UTFELLINGAR
AFLOFTUNARTILRAUNIR I HVERAGERDI

Júlí, 1986

Trausti Hauksson
Efnaverkfræðingur

1. INNGANGUR

Til að gera mögulegt að nota háhita til húshitunar þarf að hita upp kalt ferskvatn og dreifa því til neytenda. Kalt ferskvatn inniheldur súrefni sem nauðsynlegt er að fjarlægja algerlega úr vatninu til að fyrirbyggja tæringu í dreifikerfinu.

Ferskvatn má aflofta m.a. með því að hita vatnið i yfir 100 stig og láta það síðan sjóða af sér uppleystar gastegundir. Súrefni í vatninu rýkur úr því og einnig æðrar lofttegundir eins og koldioxið. Þegar koldioxið rýkur úr vatninu hækkar sýrustig þess en það getur valdið útfellingum steinefna.

Magnesiumsilikat útfellingar verða í dreifikerfi hitaveitu Hveragerðis þar sem kalt vatn er hitað upp með beinni blöndun við gufu og vatni úr borholum og afloftað í opnum tanki.

Hjá Hitaveitu Suðurnesja er vatn afloftað með óbeinni hitun í varmaskiptum og afloftun í lokaðri afloftunarsúlu en þar verða ekki slikar útfellingar í dreifikerfinu.

Astæða þótti til að prófa óbeina hitun og afloftun í Hveragerði í smáum skala. Ahugi var á að kanna með tilraunum hvort MgSi-útfellingar ættu sér stað og einnig hvort mögulegt væri að hindra slikar útfellingar með því að blanda gufu við vatnið eftir afloftun þess og lækka sýrustigið.

I þessari skýrslu er lýst niðurstöðum afloftunartilrauna í Hveragerði.

Tilraunirnar fóru fram á seinni hluta árs 1985 og lauk í júni 1986.

2. FRAMKVÆMD TILRAUNAR

Tilraunabúnaðinum var komið fyrir utan við áhaldaskemmu Hveragerðishrepps. Tengt var inn á vatns og gufukerfi hússins.

Mynd 1 er tengimynd fyrir tilraunabúnaðinn, en hann samanstóð af afloftunarsúlu með þremur aðgreindum fyllingum. Súlan var smíðuð úr ryðfriu stáli og fyllingin var úr 3/4" pólýprópylené bútum. Ferskt vatn var hitað upp með gufu, í plötuvarmaskipti og því úðað efst inn í súluna. Þar sauð vatnið og var gufunni sem myndaðist hleypt upp úr súlunni og soðið vatnið streymdi niður yfir fyllinguna, sem hafði það hlutverk að auka yfirborð vatnsins og bæta afloftunina.

Rennsli ferskvatns var mælt með vatnsmáli sem sendi púlsa inn í stjórntölvu. Rennslinu var stýrt af tölvunni með mótorloka á inntaki inn á varmaskipti.

Hitastig frá varmaskipti inn á úðara var mælt með Pt-100 hitanema og því tölvustýrt með mótorloka, sem skammtaði gufu inn á varmaskiptinn. Vegna þrýstisveiflu á gufuborholu sveiflaðist hitastig um tvær gráður að jafnaði einu sinni á minútu.

Til að kanna áhrif gufuíblöndunar á útfellingarhraða var gufu hleypt inn á súluna, efst í súlu eða á milli fyllinga. Magn gufu var ákvarðað með því að hleypa 80 °C heitu vatni inn á súluna og mæla hitastigshækkan við gufuíblöndun. Gufumagnið var stillt með nálarloka.

Fyrst voru gerðar stuttar tilraunir með breytilegum inntakshita, breytilegu rennsli og gufuíblöndun. Tekin voru sýni og magn útfellinga mælt með því að sia vatnið og mæla vigtaraukningu á síufilmu og efnagreina magnesium og kisil í síuðu vatni. Einnig var styrkur súrefnis, koldíoxíðs og brennisteinsvetnis og sýrustig mælt til að kanna áhrif ofangreindra atriða á afloftunina.

Að lokum voru gerðar tvær tilraunir með keyrslu búnaðarins í lengri tima. Fyrst með inntakshita 110 °C án gufuíblöndunar og síðast með inntakshita 110 °C og 1% gufuíblöndun.

Afloftað vatn frá súlu var látið streyma í gegn um lokaða og einangraða tunnu til að kanna áhrif taftíma á útfellingarhraða.

Plötur voru settar í pipuna frá súlu (A) og eftir tunnu (B) til að mæla útfellingarhraða.

Vatnið var kælt í um 50-60 °C í stálofni til að líkja sem best eftir raunverulegu dreifikerfi.

3.1 Prófun afloftara

Fyrst voru könnuð áhrif inntakshita á súlu á afloftun. Niðurstöður eru sýndar í eftirfarandi töflu.

TAFLA III. Áhrif inntakshita á afloftun.

| Rennsli (kg/min) | Hitastig (°C) | pH/C | Styrkur efna í vatni (mg/kg) | | | | |
|---------------------|------------------|---------|------------------------------|----------------|------------------|------|------|
| | | | CO ₂ | O ₂ | SiO ₂ | Mg | SS |
| 5 | 105 | 8.73/23 | 38.5 | 0.25 | 20.5 | 3.31 | 0.05 |
| 5 | 110 | 9.07/21 | 35.0 | 0.15 | 21.2 | 4.08 | 0.00 |
| 5 | 115 | 9.12/21 | 34.3 | 0.15 | - | - | - |
| 5 | 120 | 9.19/21 | 34.1 | 0.15 | 21.6 | 4.08 | 0.00 |
| Ferskvatn | | 7.80/22 | 41.2 | 9.00 | 20.2 | 3.26 | 0.11 |

Á myndum 2a, 2b og 2c er sýnt samband milli inntakshita annars vegar og sýrustigs, styrks koldioxíðs og styrk súrefnis hins vegar.

Mjög greinilegt samband er milli hækkaðs hitastigs og aukinnar afloftunar upp að 110 °C en þar fyrir ofan eru áhrifin lítil. Þegar sýrustig fer yfir pH 9 verður hlutþrýstingur koldioxíðs mjög lágor vegna myndunar karbónats og rýkur það því trauðla úr vatninu.

Styrkur súrefnis þarf að vera lægri en 0.01 mg/kg til að koma í veg fyrir súrefnistæringu. EKKI NÁÐIST LÆGRI STYRKUR EN 0.15 mg/kg án gufuiblöndunar. Þetta kann að stafa af kælingu, en súlan var ekki einangruð.

Sýni voru tekin í gegnum kælispíral neðst á súlu. Magnesium og kísill voru mæld í siuðum sýnum og sýrðum með saltsýru. Engar breytingar á styrk kisils eða magnesiúms sjást sem gætu bent til útfellinga magnesium silikata. Engin skýring er á hærri magnesiúmstyrk við 110 og 120 °C afloftun en í ferskvatni og við 105 °C afloftun.

Svifefni (SS) í vatninu eru mjög lítil bæði í ferskvatni og afloftuðu vatni.

Afloftun var mæld við tvenns konar rennsli. Vegna lágs bakþrýstings á kalda vatninu var ekki hægt að auka rennslið meira en í 8 kg/min.

TAFLA III. Ahrif rennslis á afloftun.

| Rennsli (kg/min) | Hitastig (°C) | pH/C | CO ₂ (mg/kg) | O ₂ (mg/kg) |
|---------------------|------------------|---------|----------------------------|---------------------------|
| 5 | 110 | 9.07/21 | 35.0 | 0.15 |
| 8 | 110 | 8.97/22 | 35.4 | 0.08 |

Aukið rennsli bætir súrefnisafloftun og er það í samræmi við þá skýringu að léleg súrefnisafloftun stafi af kælingu í súlu. Leysni súrefnis er meiri við lægra hitastig og veldur það lélegri afloftun þess.

Afloftun koldioxíðs er litilsháttar minni við meira rennsli sem sést á lægra sýrustigi og hærri CO₂ styrk. Yfirborð vatnsins verður hlutfallslega minna við aukið álag og virkni súlunnar minnkar.

Ahrif gufuíblöndunar voru könnuð. Gufu var hleypt inn á milli efstu og mið fyllingar. Rennsli var 5 kg/min.

TAFLA IV. Ahrif gufuíblöndunar.

| Hitastig (°C) | Gufa (%) | pH/C | Styrkur eftir í vatni (mg/kg) | | | |
|------------------|-------------|-----------|-------------------------------|------------------|----------------|------|
| | | | CO ₂ | H ₂ S | O ₂ | SS |
| 110 | 0 | 9.07/21 | 35.0 | 0.0 | 0.15 | 0.00 |
| 110 | 0.15 | 8.38/21.3 | 36.3 | 0.04 | 0.03 | - |
| 105 | 0.8 | 7.64/21 | 38.1 | 1.1 | 0.005 | 0.03 |
| 110 | 2.4 | 8.24/23 | 34.0 | 3.5 | 0.01 | - |

Aðeins lítil íblöndun gufu (0.15%) nægir til að lækka sýrustig verulega og einnig til að eyða mestu af uppleystu súrefni í vatninu. 2.4 % gufuíblöndun hækkar styrk brennisteinsvetnis í 3.5 mg/kg en það er óæskilega hárt styrkur.

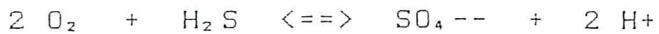
Prófað var hvort málí skiptir hvor inntak gufu er á súlunni. Hitastig var 105 °C og rennsli vatns 5 kg/s og gufa var 0.8 %.

TAFLA V. Áhrif staðsetningar gufuinntaks.

| Staðsetning | pH/C | CO ₂ (mg/kg) | H ₂ S (mg/kg) | O ₂ (mg/kg) |
|--------------|---------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| Efst i súlu | 7.39/21 | 39.9 | 0.18 | 0.02 |
| Milli 1 og 2 | 7.64/21 | 38.1 | 1.10 | 0.005 |
| Milli 2 og 3 | 7.87/21 | 37.7 | 1.37 | 0.005 |

1, 2 og 3: efsta, mið og neðsta fylling.

Greinilegt er að ef gufu er blandað í vatnið efst í súlunni þá eyðist brennisteinsvetnið. Þetta stafar af efnahvarfi milli súrefnis i vatninu efst í súlunni og brennisteinsvetnisins úr gufunni:



Við efnahvarfið myndast brennisteinssýra H₂SO₄, sem veldur lækkun sýrustigs. Þessi áhrif eru minni neðar, í súlunni því þar nær súrefnið að rjúka úr vatninu áður en það blandast gufunni.

3.2 Langtíma prófanir

Tilraunabúnaðurinn var prófaður við 5 kg/min rennsli og 110 °C inntakshita. Rennsli vatns frá súlu var leitt í gegn um 220 l tunnu og úr henni að hluta til í gegn um ofn (ca. 0.5 kg/min). Taftimi í tunnu var 44 mínútur.

Fyrst var afloftun prófuð án gufuiblöndunar og síðan með um 1% iblöndun.

Útfellingarplötur voru settar í lögn frá súlunni og einnig frá tunnu við inntak ofns. Plöturnar voru úr stáli og var þeim fest við teflon staut á 1 1/4" tappa sem skrúfaður var í té í lögninni. Lengd plötu var 50 mm, breidd var 25.4 mm og þykkt 1 mm.

I fyrstu gekk erfiðlega að reka tilraunina vegna rafmagnstruflana. Margsinnis þurfti að endurnýja plöturnar og byrja upp á nýtt. Að síðustu var gripið til þess ráðs að reka stjórntölvuna á rafgeymum og gekk það vel.

Fyrri tilraunin hófst 7. febrúar og lauk 3. mars.

Fylgst var reglulega með súrefnisstyrk í vatninu og mældist hann 0.080 mg/kg allan timann. Olafur Sigurjónsson sá um þær mælingar.

Niðurstöður mælinga á plötum eru sýndar í eftirfarandi töflu.

TAFLA VI. Tæring og útfelling á plötur, tilraun 1.

| Nr. | Staðsetning | Tímabil (dagar) | Vigtarb. (mg) | Flatarmál (cm ²) | Hraði (mg/cm ² /dag) |
|-----|--------------|--------------------|------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| 1 | Inntak tunnu | 24 | -7 | 23 | -0.013 |
| 2 | Inntak tunnu | 24 | -12 | 26 | -0.019 |
| 3 | Inntak ofns | 24 | 79 | 23 | 0.143 |
| 4 | Inntak ofns | 24 | 76 | 26 | 0.122 |

Merkí um pittatæringu sáust á teningum 1 og 2 en slik tæring er til merkis um súrefni í vatni.

Útfellingin á teningum 3 og 4 var rákótt og glitti í hreinan málm á milli rákanna. Þykkt útfellingarinnar mældist 0.15 mm en það samsvarar um 2.3 mm útfellingu á ári, sem er allt of mikil.

Seinni tilraunin hófst 7. maí og lauk 6. júní. Rennsli var 5 kg/min og inntakshiti 110 °C. Gufa var leidd inn í súluna á milli efstu og mið fyllingar. Gufumagn var um 1%.

Fylgst var reglulega með sýrustigi, brennisteinsvetni og súrefni í afloftuðu vatni frá súlunni. Starfsmaður Hveragerðishrepps, Sturla Þórðarson, sá um þær mælingar. Niðurstöður mælinga eru sýndar í eftirfarandi töflu.

TAFLA VII. Tilraun 2, mælingar.

| Dags. | kl. | pH | CO ₂ (mg/kg) | H ₂ S (mg/kg) | O ₂ (mg/kg) | Ath. |
|----------|-------|-----|----------------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------|
| 86.05.07 | 16:30 | 7.6 | 33.5 | 0.6 | 0.010 | Plötur settar inn |
| 86.05.08 | 11:30 | 7.0 | - | 0.4 | 0.005 | |
| 86.05.09 | 16:00 | 7.3 | - | 0.5 | 0.005 | |
| 86.05.10 | 14:00 | 8.0 | - | 0.5 | 0.005 | |
| 86.05.11 | 14:00 | 7.8 | - | 0.4 | 0.005 | |
| 86.05.12 | 15:00 | 8.0 | - | 1.5 | 0.005 | |
| 86.05.13 | 14:00 | 8.3 | - | 0.6 | 0.005 | |
| 86.05.14 | 14:00 | 8.1 | - | 0.8 | 0.005 | |
| 86.05.15 | 14:00 | 8.2 | - | 0.7 | 0.005 | |
| 86.05.16 | 11:25 | 7.8 | - | 1.0 | 0.005 | |
| 86.05.17 | 9:00 | 8.1 | - | 0.6 | 0.005 | |
| 86.05.18 | 14:00 | 8.4 | - | 0.5 | 0.005 | |
| 86.05.19 | 18:00 | 8.8 | - | 0.8 | 0.005 | |
| 86.05.20 | 14:00 | 8.4 | - | 0.5 | 0.005 | |
| 86.05.22 | 13:15 | 7.7 | 34.1 | 1.5 | 0.035 | |
| 86.05.23 | 14:00 | 8.0 | - | 0.7 | 0.005 | |
| 86.05.24 | 14:00 | 8.0 | - | 0.9 | 0.005 | |
| 86.05.25 | 14:00 | 8.1 | - | 0.7 | 0.005 | |
| 86.05.26 | 14:00 | 8.0 | - | 0.9 | 0.005 | |
| 86.05.27 | 16:00 | 8.0 | - | 0.7 | 0.005 | |
| 86.05.28 | 14:00 | 8.1 | - | 0.8 | 0.005 | |
| 86.05.29 | 16:00 | 7.9 | - | 0.6 | 0.005 | |
| 86.05.30 | 14:00 | 8.0 | - | 0.6 | 0.005 | |
| 86.05.31 | 14:00 | 8.0 | - | 0.5 | 0.005 | |
| 86.06.01 | 14:00 | 8.1 | - | 0.6 | 0.005 | |
| 86.06.02 | 13:00 | 8.2 | - | 1.0 | 0.005 | |
| 86.06.03 | 14:30 | 7.7 | 35.1 | 0.7 | 0.005 | Tekin sýni |
| 86.06.04 | 14:30 | 7.7 | - | 0.5 | 0.005 | |
| 86.06.05 | 16:30 | 7.5 | - | 0.4 | 0.005 | |
| 86.06.06 | 14:00 | 7.8 | - | 0.7 | >0.100 | Plötur teknað út |

Sýrustig var að jafnaði um pH 8, lægst 7.3 og hæst 8.8.
Brennisteinsvetni var um 0.7 mg/kg, lægst 0.4 hæst 1.5 mg/kg.
Koldíoxíð var 33.5 til 35.1 mg/kg.

Stjórntölvan fór úr sambandi 6. júni og var tilrauninni pá hætt.

Niðurstöður mælinga á plötum eru sýndar í eftirfarandi töflu.

TAFLA VIII. Tæring og útfelling á plötur, langtimatilraun 2.

| Nr. | Staðsetning | Tímabil (dagar) | Vigtarb. (mg) | Flatarmál (cm ²) | Hraði (mg/cm ² /dag) |
|-----|--------------|--------------------|------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| 5 | Inntak tunnu | 30 | 252 | 23 | 0.365 |
| 6 | Inntak tunnu | 30 | 294 | 26 | 0.377 |
| 7 | Inntak ofns | 30 | -8 | 23 | -0.012 |
| 8 | Inntak ofns | 30 | -10 | 26 | -0.013 |

Útfellingin á teningum 5 og 6 var dökkliðuð og mjúk viðkomu. Þykkt útfellingar var 0.34 mm sem samsvarar 4.1 mm útfellingarhraða á ári.

Útfellingin var skafin af plötu 6 og samsetningin ákvörðuð með röntgen flúorescence litrófsmælingu. Útfellingin reyndist vera mestmegin járnsúlfid en engin merki um magnesium sáust. Vottur sást af kalsium og kisli. Einnig kom fram einn toppur sem svarar til vanadiums.

Tekin voru sýni af vatni úr súlu og yfirfalli frá tunnu. Niðurstöður eru sýndar í eftirfarandi töflu.

TAFLA IX. Efnasamsetning vatns.

| | Súla | Yfirfall |
|--------------------------|---------|----------|
| Dagsetning | 860603 | 860603 |
| Hitastig (°C) | 98 | 93 |
| pH/C | 7.94/25 | 7.92/24 |
| CO ₂ (mg/kg) | 30.1 | 30.0 |
| H ₂ S (mg/kg) | 1.56 | 1.26 |
| O ₂ (mg/kg) | 0.005 | - |
| Mg (mg/kg) | 2.31 | 2.35 |
| Fe (mg/kg) | 0.01 | 0.01 |
| SS (mg/kg) | 0.07 | 0.02 |

Útfellingar á plötur 5 og 6 geta ekki verið magnesium silikat því engin lækkun verður á styrk magnesíum á leið vatnsins í gegn um tunnuna.

Járnstyrkur í ferskvatninu er mjög lágor og engin umtalsverð hækkan mælist í vatninu eftir blöndun við gufu.

Járnis i útfellingunni hlýtur því að hafa myndast við tæringu járnþipunnar frá súlunni og að teningunum. Pipan var úr svörtu stáli og um 1 m á lengd. Súlfíð lækkaði um 0.3 mg/kg á leið vatnsins í gegn um tunnuna, en það nágir til að mynda 0.8 mg/kg af járnsúlfíð útfellingu samkvæmt:



Að plötum 7 og 8 var litilsháttar útfelling en engin vigtaraukning mældist en það bendir til tæringar.

Myndir voru teknar af plötum 1, 3, 5 og 7.

Afloftunarsúla var opnuð eftir hverja prófun og sást engin útfelling.

4. SAMANDREGNAR NIDURSTÖDUR

Prófunin sýndi fram á að inntakshiti inn á afloftunarsúlu ræður sýrustigi afloftaða vatnsins.

Með því að blæða gufu inn á súluna er hægt að lækka sýrustig og eyða súrefni.

Brennisteinsvetni hvorfast við súrefni vatnsins og myndar sterka sýru ef gufunni er hleypt inn ofarlega í súlunni.

Mjög litið var af svifefni i afloftuðu vatni og engin marktæk minnkun var á styrk magnesiums í ferskvatni og afloftuðu vatni strax á eftir súlu.

Afloftunin var prófuð í 24 daga með inntakshita 110°C og 5 kg/s rennsli.

Engin útfelling mældist á plötum sem hafðar voru í pipunni strax á eftir súlunni en veruleg útfelling á plötum í pipu frá tunnu með 44 minutna taftíma. Þar mældist útfellingarhraði um 2.3 mm á ári.

Afloftun var einnig prófuð með gufuiblöndun og stóð prófunin í 30 daga.

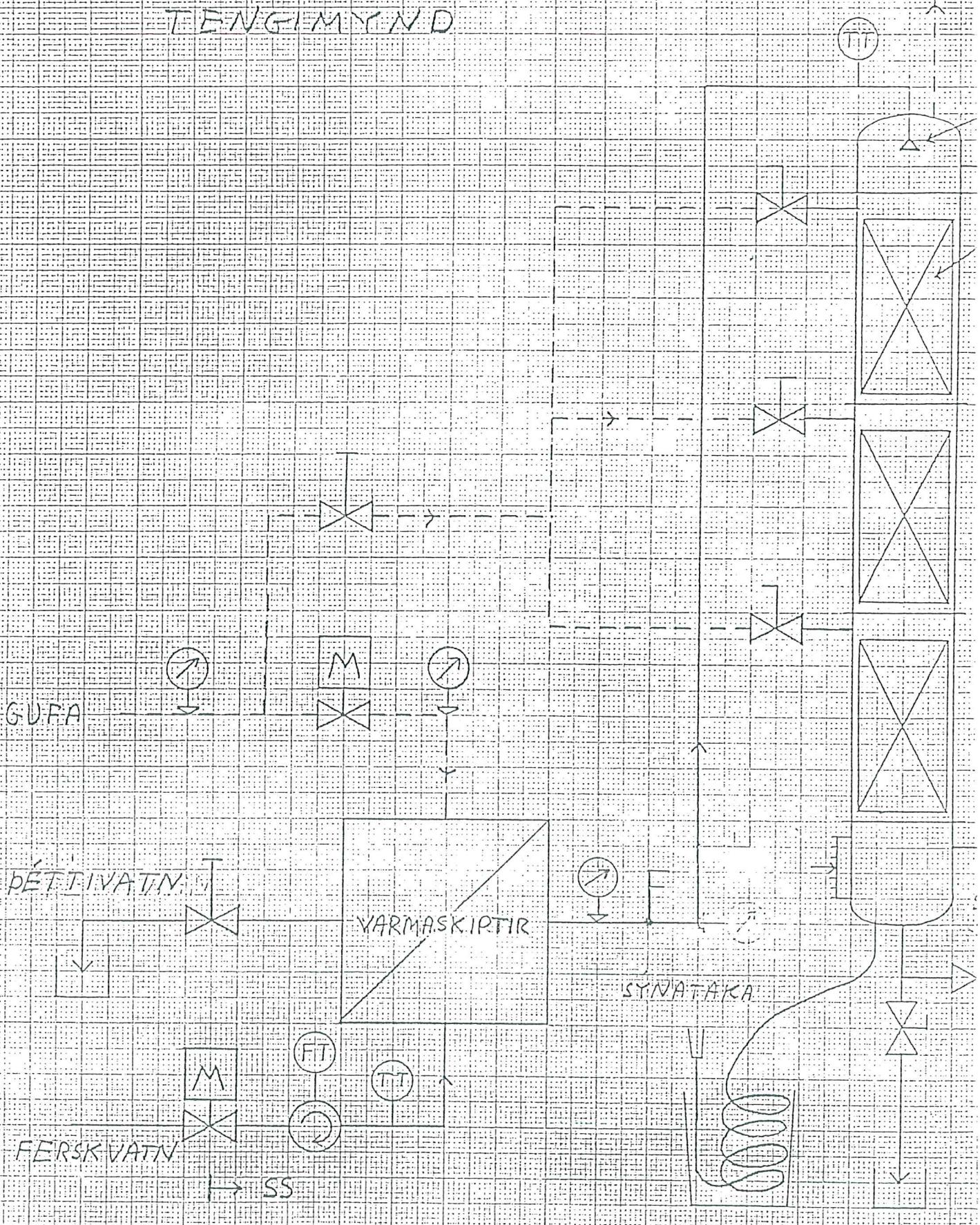
Með því að blanda 1 % gufu við vatnið var hægt að koma í veg fyrir magnesiumsilikat útfellingar en járnslúfið féll út í staðinn.

Járnið myndaðist við tæringu stálpipu sem liggur frá súlunni og að útfellingaplötunum.

Ef farið verður út í afloftun ferskvatns í Hveragerði með hitun og suðu, er nauðsynlegt að lækka sýrustig til að koma í veg fyrir myndun magnesium-silikat útfellinga í dreifikerfi veitunnar.

Ef jarðhitagufu verður bætt í vatnið til að lækka sýrustig og eyða súrefni er nauðsynlegt að allur búnaður, sem blandan kemst í snertingu við, sé úr ryðfriu efni á meðan súrefni vatnsins er að eyðast algjörlega úr vatninu.

MAGNESIUM SILIKAT ÚTFELLINGA
TILRAUN Í HVERAGERÐI
TENGIMYND



ÚDAR

(TT)

(TT)

HITANEMI, TENGIST STJÓRNTÖLVU

FYLNING

PP-3/4

(FT)

RENNSLISNEMI

(↗)

PRYSTIMÆLIR

HITAMÆLIR

(田)

UTFELLINGAPLAATA

M

MÓTORLOKI, STÝRTAFTTÖLVU

SÚLA

(TT)

EINANGRUN

SS

<

◀

1/4"

A

1000000000

TUNNA

220 l

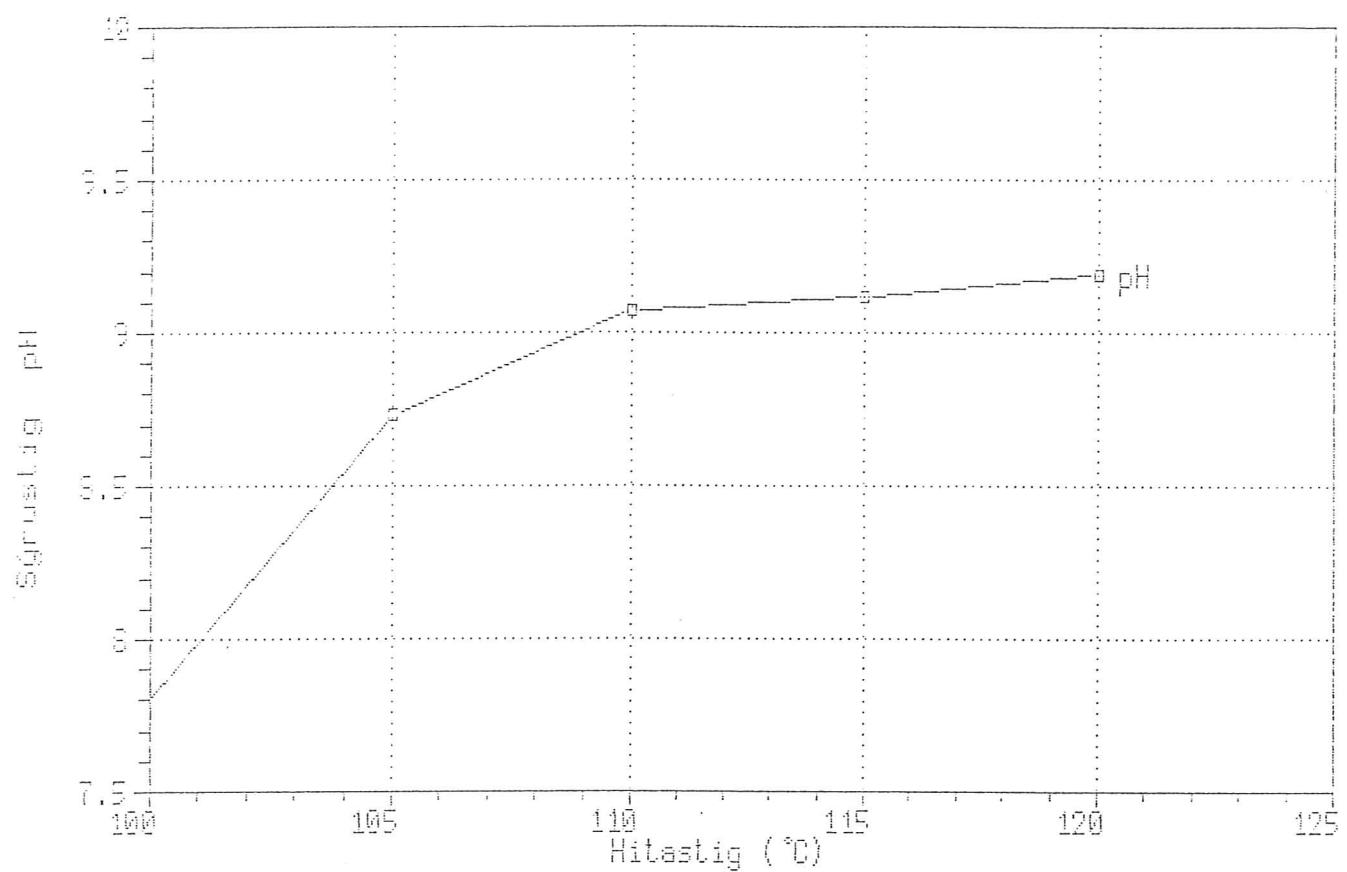
OFN

DÆLA



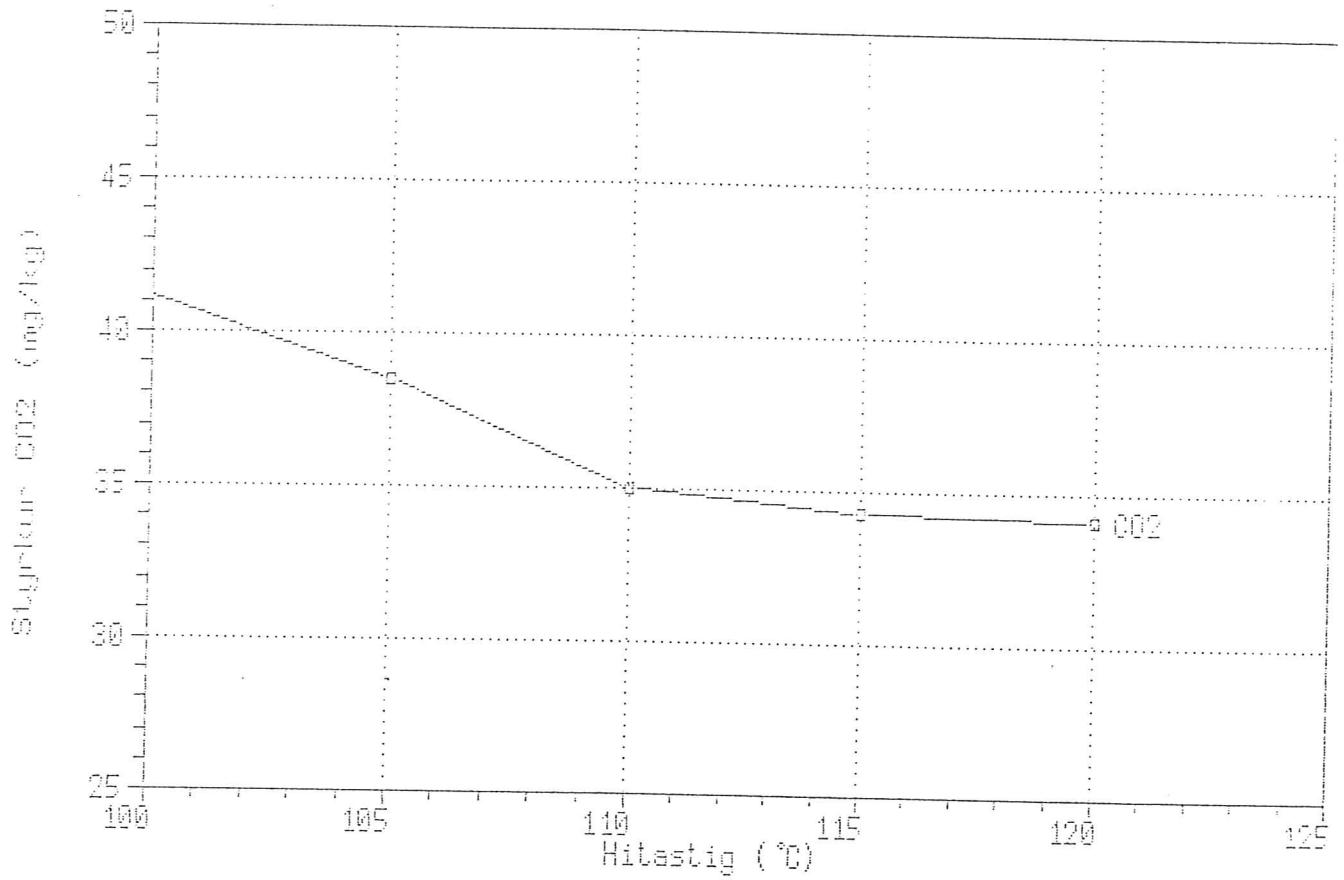
B

Aurif innlækshita e tilloftun vaths



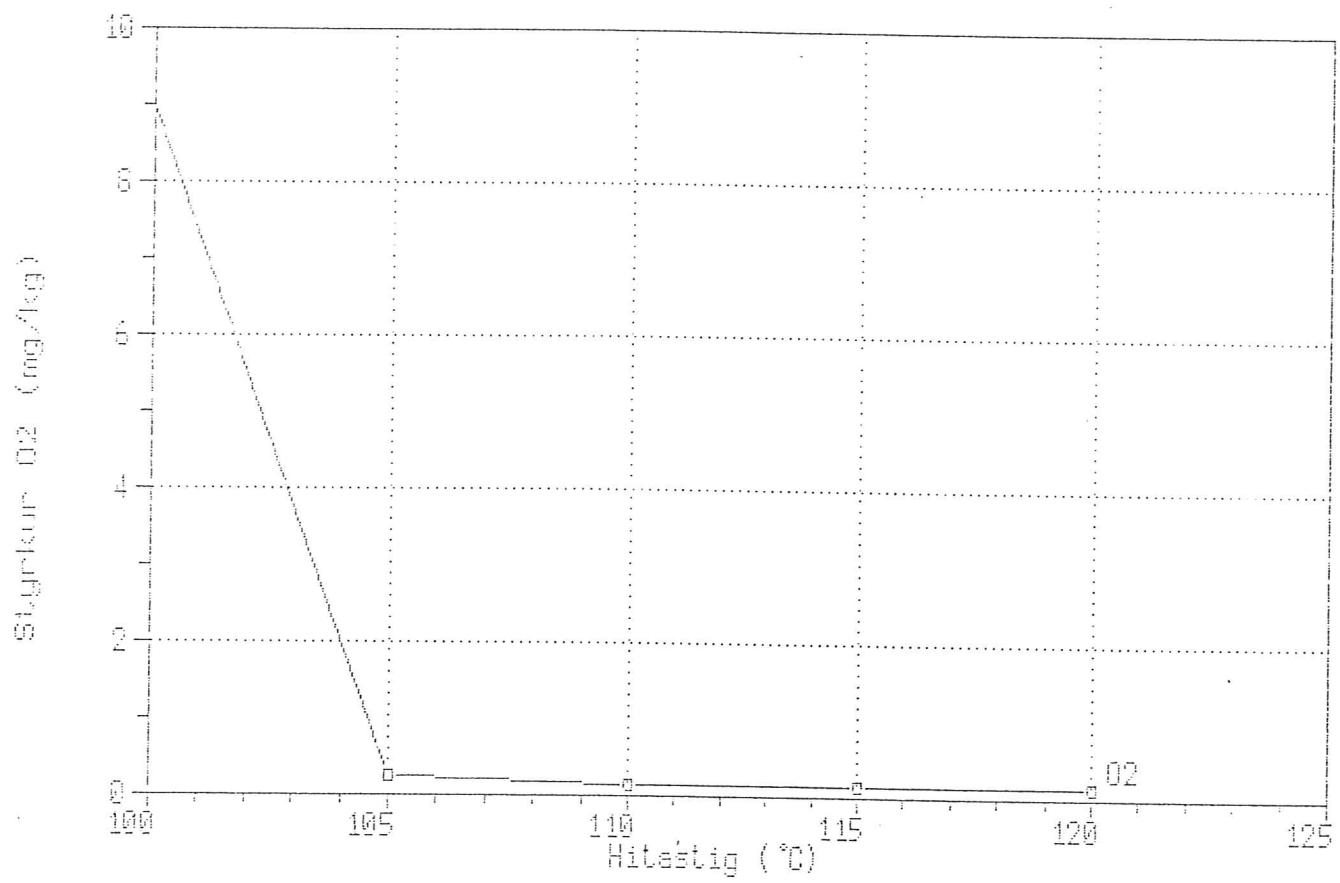
Múnuð 2a

Þóðri í öntakshita a af loftun vatns



Mánuð 26

Ahrif innstakshita á afloftun vatns



Magnið 2 c