



ORKUSTOFNUN  
Jarðhitadeild

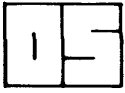
**Trausti Hauksson**

## **HITAVEITA SUÐURNESJA**

**Athugun á útfellingarhættu í Njarðvíkuræð**

**OS-83076/JHD-14**  
Reykjavík, september 1983

**Unnið fyrir**  
**Hitaveitu Suðurnesja**



**ORKUSTOFNUN**  
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

**Trausti Hauksson**

# **HITAVEITA SUÐURNESJA**

**Athugun á útfellingarhættu í Njarðvíkuræð**

**OS-83076/JHD-14**  
Reykjavík, september 1983

**Unnið fyrir**  
**Hitaveitu Suðurnesja**

## ÁGRIP

Athuguð voru áhrif hækkaðs framrásarhitastigs í Njarðvíkuræð á útfellingarhættu magnesíumsilikata.

Niðurstaðan varð sú að líklega falli allt að 1,2 mg af magnesíumsílikati úr hverjum lítra vatns á leið hitaveituvatnsins til Fitja ef hitastig verður hækkað í 110 til 120 °C.

Lagt er til, að þegar til hækkunar hitastigs komi, verði fylgst með styrk magnesíums í Njarðvíkuræð og að reynd verði íblöndun háprýstigufu ef veruleg útfelling á sér stað.

EFNISYFIRLIT

	Bls.
ÁGRIP.....	2
EFNISYFIRLIT.....	3
TÖFLU- OG MYNDASKRÁ.....	4
1 INNGANGUR.....	5
2 FRÆÐILEGAR FORSENDUR.....	7
2.1 Útreikningar á yfirmettun.....	7
2.2 Hraði útfellingar.....	9
3 MÆLINGAR.....	11
3.1 Athugunarstaðir.....	11
3.2 Framkvæmd.....	11
3.2.1 Sýnataka.....	11
3.2.2 Efnagreiningar.....	11
3.2.3 Tæringarplötur.....	12
3.2.4 Þrýstimælingar.....	12
4 NIÐURSTÖÐUR MÆLINGA.....	13
4.1 Efnastyrkur.....	13
4.2 Tæringarplötur.....	17
4.3 Útfellingasýni.....	17
4.4 Þrýstifall í æð.....	18
5 UMMRÆÐA OG TILLÖGUR.....	20
HEIMILDASKRÁ.....	21

VIÐAUKAR

1 Afgasað vatn úr rás 8. Útskrift úr WATCH-forriti.....	23
2 Þrýstifallsreikningar - Njarðvíkuræð.....	27

## TÖFLUR

	Bls.
1 Efnastyrkur í hitaveituvatni (við 94°C).....	14
2 Efnastyrkur í hitaveituvatni (við 100, 105, 110 og 120°C).....	14
3 Niðurstöður athugana á tæringarplötum.....	17
4 Þrýstimælingar í Njarðvíkuræð.....	19
5 Reiknuð flutningsgeta Njarðvíkuræðar.....	19

## MYNDIR

1 Reiknuð krísótíl- og talk-yfirmettun afgasaðs vatns í Rás 8 sem fall af hitastigi.....	8
2 Reiknuð margþrepa afgösun Svartsengisvatns og kalkmettun.....	8
3 Reiknuð krísótíl og talk yfirmettun afgasaðs vatns úr Rás 8 við breytilegt sýrustig (pH) og hitastig.....	16
4 Títrunarferill fyrir afgasað vatn úr Rás 8.....	16
5 Reiknuð áhrif íblöndunar háþrýstigufu í vatn úr Rás 8 á sýrustig og styrk H <sub>2</sub> S og CO <sub>2</sub> .....	16
6 Mæling rennslis í Njarðvíkuræð með ferlun.....	18

## 1 INNGANGUR

Í þessari skýrslu eru dregnar saman helstu niðurstöður athugunar á áhrifum hækkaðs hitastigs í Njarðvíkuræð á útfellingarhættu. Nýlega birtist úttekt á gerð og orsökum magnesíumsilikatútfellinga í hitaveitum (Hrefna Kristmannsdóttir o.fl. 1983). Þar kemur fram að hitun og afgösun hitaveituvatns í Svartsengi veldur yfirmettun með tilliti til magnesíumsilikata. Í ljósi þess ættu magnesíumsiliköt að falla úr hitaveituvatninu í Svartsengi en í raun hafa útfellingar magnesíumsilikata ekki verið til verulegra vandræða í Svartsengi, en útfelling varð veruleg í bráðabirgðastöð (1976-1978) þegar vítisóða var blandað í vatnið til að hækka sýrustigið og varna tæringu (Trausti Hauksson 1980).

Ekki er til góð skýring á því hvers vegna magnesíumsíliköt falla ekki út þrátt fyrir yfirmettun. Helst er hallast að þeirri skýringu að kjörnunarhraðinn sé mjög lítill og að mun meiri yfirmettun þurfi til að mælanleg útfelling verði á skömmum tíma. Við lútaríblöndun hefur yfirmettun orðið margföld á við yfirmettun vegna afgösunar og skýrir það útfellingu í bráðabirgðastöð.

Nú bendir allt til þess að hækka þurfi hitastig í Njarðvíkuræð næstkomandi vetur í allt að 120°C til að auka varmaflutningsgetuna.

Ákveðið var að kanna hvort slík hækkun yki útfellingarhættu vegna aukins hraða útfellingarhvarfs. Kannað var hvort mælanleg útfelling yrði úr hitaveituvatninu við hækkun hitastigs í þrepum upp í 120°C.

Í fyrra var athugað hvort mælanleg minnkun yrði á Mg-styrk í Njarðvíkuræð á leið vatnsins til Fitja (Páll Árnason 1982). Ekki kom fram mælanleg breyting á Mg-styrk en sýrustig reyndist nokkuð breytilegt.

Hækkun sýrustigs (pH) við afgösun eða íblöndun lútarefna hækkar virkni anjóna veikra sýra ( $Mg_2SiO_4^{-2}$  og  $CO_3^{-2}$ ). Þetta veldur hættu á útfellingu efna svo sem kalsíums og magnesíums sem mynda torleyst efnasambönd með þessum jónum svo sem magnesíumsiliköt (talk og krísótíl) og kalsíumkarbónat ( $CaCO_3$ ). Búast má við lækkun sýrustigs samfara útfellingu fyrirtalinna efna.

Ákveðið var að endurtaka sýnatöku úr Njarðvíkuræð og afgösunarturni og einnig að taka sýni við enda dreifikerfis í Keflavík, Sandgerði og Garði og mæla í vatninu kalsíum, magnesíum, kísil, karbónat og sýrustig. Einnig var ákveðið að mæla fyrirtalin efni á leið frá

Svartsengi til Fitja við hærra framrásarhitastig í þrepum, fyrst við 100 °C síðan 105, 110 og 120°C. Segja má til um útfellingu með því að skoða breytingar er verða á styrk kalsíums, magnesíums, kísils og koldíoxíðs. Samhliða fyrirtöldum prófunum voru settar upp tæringarplötur á tveimur stöðum á Njarðvíkuræð og á Fitjum. Þyngdaraukning eða minnkun á að segja til um hvort útfelling eða tæring á sér stað.

Til að meta hvort mælanleg minnkun hefði orðið á flutningsgetu vegna útfellingar miðað við nýja pípu var mælt þrýstifall í pípunni. Þar sem ekki voru til áreiðanlegar mælingar á rennsli var rennsli ákvarðað með hitaferlun.

Gerðar voru prófanir í tilraunastofu á áhrifum hitastigs á útfellingu magnesíumsilikata. Sýni úr vinnslurás 8 í orkuveri var hitað í glerflöskum undir þrýstingi í 120°C. Magnesíumstyrkur lækkaði um 1,4 mg/l eftir að vatnið hafði staðið í 12 tíma og 24 tíma og jafnframt lækkaði sýrustig, en ekki mældist marktæk lækkun á magnesíumstyrk eftir 6 tíma hitun. Kísilmælingar sýndu að kísilstyrkur hafði allt að tífoldast sem benti til þess að kísill leystist úr glerlátinu. Ákveðið var að endurtaka prófun þessa og er því ekki lokið og verður ekki fjallað frekar um hana í þessari skýrslu.

## 2 FRÆÐILEGAR FORSENDUR

### 2.1 Útreikningar á yfirmettun

Forrit Orkustofnunar WATCH (Hörður Svavarsson 1981) var notað til að reikna virkni efna í afgösuðu vatni úr rás 8 og efnagreining sýnis frá 23. júlí lögð til grundvallar (sjá viðauka 1). Leysnimargfeldi krísótíls og talks var reiknað við breytilegt hitastig (sjá mynd 1) og sýndi það verulega yfirmettun og jókst hún frekar við hækkað hitastig, sérstaklega hvað varðar krísótíl. Við afgösun vatns rjúka gös svo sem O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> og CO<sub>2</sub> úr lausn. Tilgangur með afgösun vatnsins í Svartsengi er að losna við súrefni úr vatninu til að varna tæringu en óhjákvæmilegt er að koldíoxíð rjúki samhliða úr lausn.

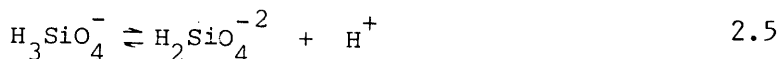
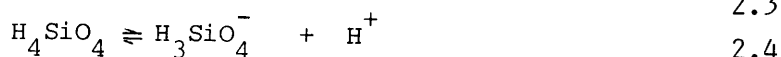
Við afgösun koldíoxíðs (CO<sub>2</sub>) raskast jafnvægi sem ríkja milli karbonats (CO<sub>3</sub><sup>-2</sup>), bíkarbonats (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) og kolsýru (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>). Eftirfarandi jafnvægi leitar til hægri við afgösun og styrkur kolsýru lækkar



Lækkun kolsýrustyrks veldur lækkun á styrk vetnisjóna, þ.e. hækkun sýrustigs (pH) samkvæmt eftirfarandi líkingu:



Lækkun sýrustigs veldur aukningu á styrk karbónats (CO<sub>3</sub><sup>-2</sup>) og silikats samkvæmt

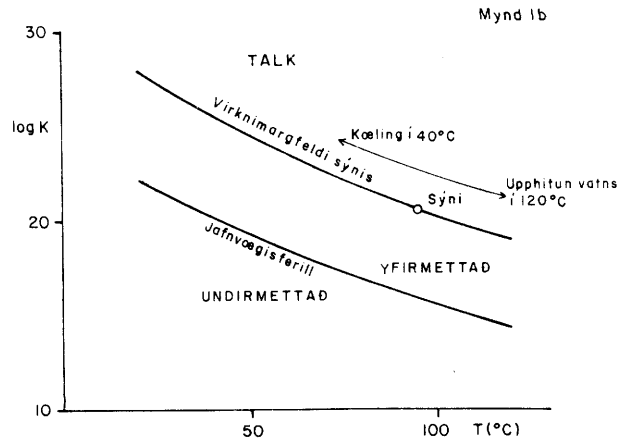
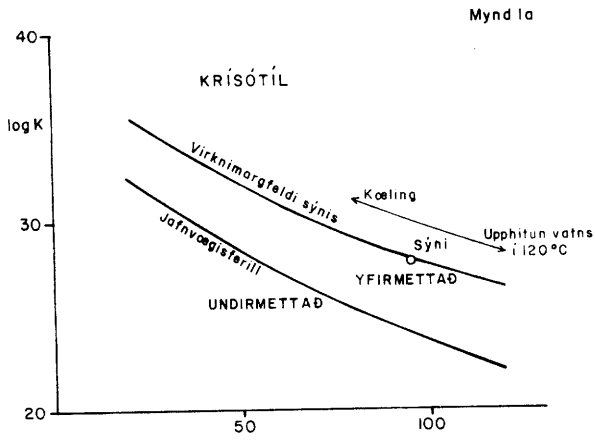


og eykur hættu á útfellingu m.a. á magnesíumsilikötum og kalsíumkarbónati. Á mynd 2 a er sýnt hvernig sýrustig og koldíoxíðstyrkur vatns, með upphaflegan koldíoxíðstyrk 18 mg/l, pH 7,5 og sömu samsetningu og afgasað vatn úr rás 8 að öðru leyti, breytist við afgösun sem fall af fjölda afgösunarþrepa. Um eitt hundrað þrep þarf til að reka allt koldíoxíð úr lausn og verður sýrustig þá um 10,5 við 20 °C. Þessi gildi má líta á sem möguleg efri mörk með afgösun eingöngu.



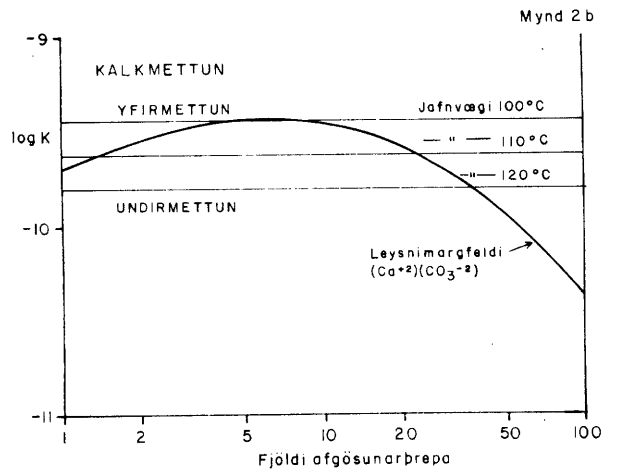
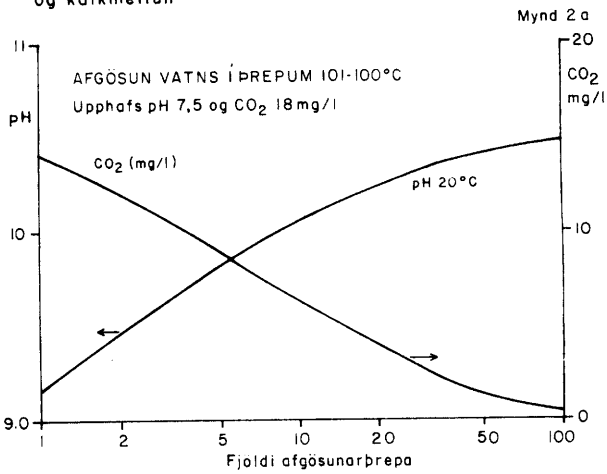
JHD-JEF-2300. TH.  
83.09.1095. Sy.J.

Reiknud krisítíl- og talk- yfirmettun afgasáðs vatns  
úr rás 8 sem fall af hitastigi



JHD-JEF-2300. TH.  
83.09.1096. Sy.J.

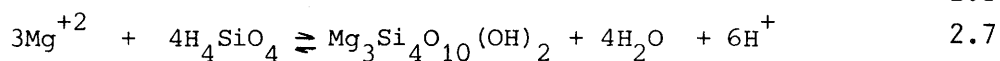
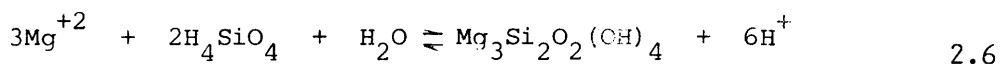
Reiknud margbrepa afgösun Svartsengisvatns  
og kalkmettun



Aðeins eitt þrep þarf til að ná pH 9,16 og um 10 þrep til að ná pH 10. Í afloftunarbúnaði í orkuveri I er eitt þrep en í orkuveri II eru nokkur þrep möguleg í afloftunarsúlunum.

Ef kalkmettun er skoðuð sem fall af fjölda afgösunarþrepa sést að útfellingarhætta eykst fyrst vegna klofnunar bíkarbónats í karbónat og vetnisjónir en minnkar síðan við enn meiri afgösun vegna lækkunar í heildarstyrk koldíoxíðs. Vatnið verður yfirmettað við hærri hitastig en 100 °C og þarf ekki nema eitt þrep til að orsaka yfirmettun með tilliti til kalks við 120°C.

Útfelling magnesíumsílikata er sýrustigsháð og eykst útfellingarhætta við hækkun sýrustigs eins og sést á eftirfarandi leysnimargfeldi fyrir krísótíl og talk:



Á mynd 3 er sýnd reiknuð yfirmettun með tilliti til krísótíls og talks við breytilegt sýrustig. Þar sést að til að koma í veg fyrir yfirmettun þarf sýrustig við 20°C að vera 7 eða lægra. Við pH 9, sem mælist yfirleitt í rásunum 6, 7 og 8, er veruleg yfirmettun og við hækkun um eitt pH stig í pH 10 verður um 10.000 föld aukning krísótílsyfirmettunar við 100°C.

## 2.2 Hraði útfellingar

Hraði útfellingar er mjög háður yfirmettunargráðu, hitastigi, seltu, streymisaðstæðum og tærleika vatnsins.

Algengt er að engin útfelling eigi sér stað í lausninni í langan tíma þrátt fyrir verulega yfirmettun. Orsök þessa er að á fyrstu stigum kjörnnunar er kristallinn óstöðugur þ.e. hann hefur ekki nægilega frjálssa myndunarorku.

Kjörnnunarhraðinn ákvarðast að mestu af frjálstri myndunarorku kjarna sem er stöðugur, svokölluð krítísk myndunarorka. Krítísk myndunarorka minnkar með hækkun hitastigs, aukinni yfirmettun og þéttleika kristals, en eykst með aukinni yfirborðsspennu milli kristals og vatns (O. Weres et al. 1980). Ef kjarninn nær ákveðinni stærð (fáein mólikúl) minnkar krítísk myndunarorka og kristallinn stækkar jafnt og þétt þar til yfirmettun hverfur.

Til að merkjanlegur útfellingarhraði náist þarf yfirleitt verulega yfirmettun nema fyrir séu í vatninu agnir sem virka sem kjarnar. Útfelling á yfirborð pípuveggja hefur lága krítíska orku. Þykkunarhraði útfellingar beint á pípuveggi er þó ekki nema fáeinir nanómetrar á klukkutíma (0,1 mm á ári), sem þýðir að veruleg skeljun pípuveggja á sér ekki stað nema fyrst myndist agnir af útfellingum í vatninu vegna kjörnunar sem setjast síðan á yfirborð pípuveggja og mynda útfellinga-skel. Ör hreyfing kjarna í vatninu minnkar krítíska myndunarorku hans en þetta veldur því að útfelling verður oft mest þar sem rennslis-truflanir eru og iðustreymi.

Eins og fyrr segir líður oft langur tími þar til útfelling verður mælanleg, en það er sá tími sem þarf til að nægilegur fjöldi kjarna, nái að vaxa, til að hafa markverð áhrif á styrk efna í lausu. Kjörnunarhraði eykst í fyrstu, nær síðan hámarki og lækkar svo aftur þegar yfirmettun minnkar vegna útfellingar.

Biðtími útfellingar er í öfugu hlutfalli við kjörnunarhraða og útfellingarhraða á fast yfirborð. Í báðum tilvikum er hraðinn háður yfirmettun og hitastigi og styttest tíminn með aukinni yfirmettun og hærri hita.

### 3 MÆLINGAR

#### 3.1 Athugunarstaðir

Við 94°C framrásarhitastig frá Svartsengi voru tekin sýni úr rásum 6, 7 og 8 í Njarðvíkuræð, úr lofttæmisstútum 319, 4057 og 6910 m frá beygju við holu 4 í Svartsengi og úr brunni við Fitjastöð um 11727 m frá Svartsengi. Sýni voru að auki tekin inni í Fitjastöð, Keflavík (Iðuvöllum 9), Sandgerði (Áhaldahús) og Garði (Niðursuðuverksmiðjan Gerðaröst).

Við hækkað hitastig voru tekin sýni úr rás 8, lofttæmisstút 319 m frá beygju við holu 4, brunni við Fitjar og inni í Fitjastöð.

Tæringarplötur voru settar í greiðu við lofttæmisstút 300 m frá Svartsengi og í brunn við Fitjar. Einnig voru settar tæringarplötur í mælagrind í dælustöðinni að Fitjum.

Þrýstingur var mældur í Njarðvíkuræð við lofttæmisstúta 319, 4057 og 6910 m frá beygju við holu 4 og í brunni við Fitjar um 11727 m frá Svartsengi.

#### 3.2 Framkvæmd

##### 3.2.1 Sýnataka

Sýni voru tekin gegnum sýnatökuspíral og kæld í ca 20°C. Safnað var í loftþétta gastúpu til mælingar á karbónati og sýrustigi. Einnig var safnað sýni sem fyrst var síað í gegnum 0,45 m síuplast og sýrt með 1 ml 6N HCl í 499 ml af sýni.

##### 3.2.2 Efnagreiningar

Sýrustig og karbónat var mælt með pH-mæli og títrun með 0,1 HCl frá pH 8,2 til 3,8.

Magnesium var mælt með atómisogstæki. Sýnið var þynnt 1/20 og 2 ml 5% lanþaníum oxíði bætt í 200 ml til að eyða áhrifum kísils á mælinguna.

Kalsíum var mælt með atómisogtæki. Sýnið var þynnt og 5% La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bætt í til að eyða áhrifum kísils.

Kísill var mældur með litrófsmæli með "mólybdat blárri" aðferð.

### 3.2.3 Tæringarplötur

Tæringarplöturnar voru úr ofnastáli og voru þær sápuþvegnar, skolaðar í asetón og þurrkaðar fyrir vigtun. Lengd var 5 cm, breidd 2,6 cm og þykkt 1,0 mm. Þyngd var um 10 g.

### 3.2.4 Þrýstimælingar

Þrýstingur var mældur með námkvæmum kvörðunarmæli og var þrýstislanga full af vatni tengd við stút og mælir staðsettur í sömu hæð og neðri brún einangrunar við stöpul eða inntak í brunn.

## 4 NIDURSTÖÐUR MÆLINGA

### 4.1 Efnastyrkur

Í töflu 1 eru birtar niðurstöður efnagreininga á hitaveituvatni við 94 °C. Ef styrkur magnesíums er skoðaður sést að enginn marktækur munur er á magnesíumstyrk sýna tekinn við 94 °C hvort heldur í Njarðvíkuræð eða við enda dreifikerfis. Þetta staðfestir fyrri niðurstöður, að magnesíum falli ekki út í Njarðvíkuræð við þessi rekstrarskilyrði (Páll Árnason 1982), og einnig sýnir þetta að engar magnesíum-útfellingar eiga sér stað í dreifikerfi eftir að frárennsli Keflavíkurflugvallar hefur blandast vatninu úr Njarðvíkuræð og hitastig lækkað í 80 °C.

Í töflu 2 eru birtar niðurstöður efnagreininga vatns við hækkað hitastig. Ekki er hægt að sjá marktæka breytingu á styrk efna í vatninu á leið til Fitja við hitastig 98 og 106,6 °C.

Við 110 °C framrásarhitastig mældist um 0,4 mg/l lökkun á styrk magnesíums í vatninu á leið til Fitja, sem er marktæk lökkun. Ekki var marktækur munur á styrk annarra efna nema sýrustigi sem lækkaði um 0,1-0,2 pH-stig. Lökkun á styrk kísils um 0,4 mg/l er innan óvissumarkna kísilákvörðunar. Sýrustig vatnsins úr rás 8 var óvenju hátt eða 9,15 borið saman við 8,9-9,0 í prófunum við 98 og 106,6 °C, en hátt sýrustig eykur hættu á útfellingu magnesíumsilikata.

Þar sem ekki mælist marktæk lökkun á kísilstyrk má ætla að kísil-snauðari steindin krísótíl falli út. Þetta samrýmist niðurstöðum fyrri athugana á gerð útfellinga í Svartsengi, en þær sýndu að magnesíumsílikat-útfellingarnar væru krísótíl (Hrefna Kristmannsdóttir 1978). Ef gert er ráð fyrir því að magnesíum falli út sem krísótíl þá samsvara 0,4 mg af magnesíum um 1,2 mg af krísótíl-útfellingu. Þetta þýðir að fyrir 200 kg/s rennsli falla út 20 kg á sólarhring eða um 7,5 tonn á ári.

Við framrásarhitastig 121 °C mældist um 0,4 mg/l lægri magnesíumstyrkur við Fitjastöð, þ.e. áður en vatnið blandast frárennsli Keflavíkurflugvallar. Inni í Fitjastöð eftir blöndun við frárennslið mældist aftur á móti svipað magnesíum í vatninu og við Svartsengi.

Af framansögðu má ætla að við hækkun hitastigs vatns úr rásum 6, 7 og 8 uppfyrir 110 °C megi búast við útfellingu magnesíumsilikata. Til að hindra slíkar útfellingar er helst ráð að lækka sýrustig vatnsins.

TAFLA 1 Efnastyrkur í hitaveituvatni. (Hitastig í Njarðvíkuræð 94°C)

Staður	Dags.	Hitastig (°C)	pH/°C	CO <sub>2</sub> (mg/l)	Mg (mg/l)	Ca (mg/l)	SiO <sub>2</sub> (mg/l)	Na (mg/l)
Svartsengi Rás 8	83.06.23	94,0	8,96/22	7,7	5,92	6,5	11,5	30,3
" Rás 7	-	-	8,93/22	-	5,92	6,3	11,5	30,0
" Rás 6	-	-	9,17/22	-	5,95	6,0	12,1	30,2
Njarðvíkuræð 319 m	-	-	8,83/22	7,2	5,92	5,9	(16,3)	32,4
" 4.057 m	-	-	8,98/22	-	5,95	6,2	11,7	30,9
" 6.910 m	-	-	9,06/22	-	5,95	6,0	11,7	31,5
" 11.727 m	-	-	8,87/22	7,2	5,89	6,6	11,7	35,9
Dælustöð Fitjum	83.06.30	79,3	8,93/20	7,7	5,80	7,1	12,2	29,8
Keflavík	-	70,7	8,94/20	7,5	5,86	6,1	12,1	30,7
Sandgerði	-	71,8	8,93/20	7,9	5,86	6,4	12,1	29,9
Garður	-	71,8	8,80/20	7,9	5,92	6,3	12,1	30,0

TAFLA 2 Efnastyrkur í hitaveituvatni (T ≈ 100, 105, 110 og 120°C)

Staður	Dags.	Hitastig (°C)	pH/°C	CO <sub>2</sub> (mg/l)	Mg (mg/l)	Ca (mg/l)	SiO <sub>2</sub> (mg/l)	Na (mg/l)
Svartsengi Rás 8	83.07.14	98,0	8,97/22	7,3	5,89	6,6	12,3	30,3
Njarðvíkuræð 319 m	-	97,3	8,90/22	3,8	5,83	6,6	12,5	30,0
" 11.727 m	-	95,0	8,87/22	8,6	5,86	6,5	12,5	29,3
Dælustöð Fitjum	-	80,0	8,95/22	8,2	5,77	6,7	13,4	29,5
Svartsengi Rás 8	83.07.16	100,5	8,95/23	7,5	5,80	6,3	12,5	30,9
Njarðvíkuræð 319 m	-	106,6	8,93/23	8,4	5,80	6,7	12,7	31,1
" 11.727 m	-	104	8,88/22	8,1	5,83	6,9	12,3	30,9
Dælustöð Fitjum	-	80,5	9,00/22	8,8	5,77	6,9	12,3	31,1
Svartsengi Rás 8	83.07.27	-	9,15/23	8,6	6,04	6,2	12,8	29,7
Njarðvíkuræð 319 m	-	110	9,08/23	7,7	5,95	6,5	12,8	29,5
" 11.727 m	-	107	8,93/23	9,0	5,81	6,4	12,7	28,9
Dælustöð Fitjum	-	80,0	9,02/23	8,8	5,61	6,5	12,6	29,9
Svartsengi Rás 8	83.08.04	-	8,98/22	7,3	5,85	6,4	(44,6)	30,2
Njarðvíkuræð 319 m	-	121	9,02/22	7,7	5,82	7,2	11,6	30,4
" 11.727 m	-	114	8,80/23	7,3	5,41	6,5	11,7	30,8
Dælustöð Fitjum	-	80	8,93/22	7,9	5,79	6,5	11,7	30,6

Það má t.d. gera með íblöndun sýru, minni afgösun eða íblöndun koldíoxíðríkrar gufu.

Lækkað sýrustig og aukinn kolsýrustyrkur eykur aftur á móti tæringarhættu. Aðeins eitt afgösunarþrep þarf til að hækka sýrustig úr 7,5 í 9,0 og er erfitt að stjórna sýrustigi með því að minnka afgösun. Að auki má búast við hærri súrefnisstyrk ef afgösun verður kraftminni.

Vænlegra er að blanda í vatnið eftir afgösun efnun sem lækka sýrustig í heppilegt gildi. Af myndum 3a og 3b má ráða að sýrustig þurfi að vera minna en pH 7 til að koma í veg fyrir yfirmettun við 120°C.

Hugsanlegt er að minni sýrustigslökkun sé nægileg til að hindra kjörnun en það þyrfti að athuga með prófunum. Sýrustig lægra en pH7 er ekki æskilegt vegna stóraukinnar tæringarhættu.

Á mynd 4 er sýndur títrunarferill fyrir vatn úr rás 8. Til að lækka sýrustig í pH 8 þarf um 0,05 meq H<sup>+</sup> í lítra og um 0,13 meq H<sup>+</sup> til að lækka sýrustig í pH 7. Þetta samsvarar miðað við 200 l/s rennsli um 32 til 82 rúmmetrum af 10 M saltsýru á ári. Eins og sést á mynd 4 er sýrustig mjög næmt fyrir íblöndun sterkrar sýru og því væntanlega erfitt að stýra sýrustiginu með íblöndun saltsýru.

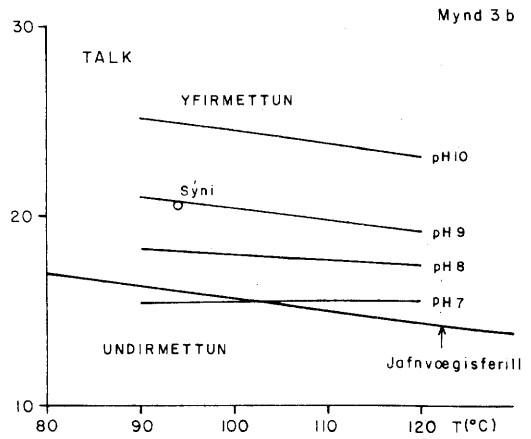
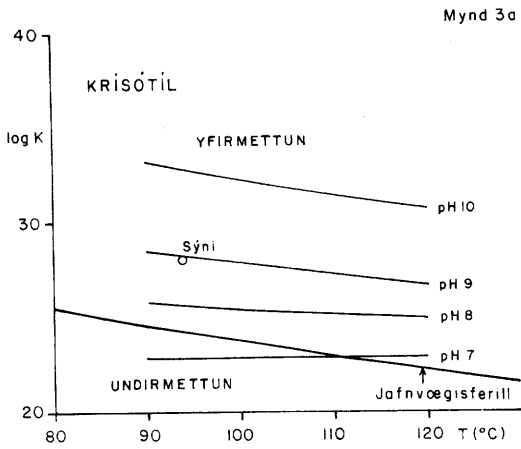
Á mynd 5a og b eru sýnd reiknuð áhrif íblöndunar háþrýstigufu eða þéttivatns og gass með 2570 mg/l kolsýru og 46 mg/l brennisteinsvetni á styrk kolsýru og brennisteinsvetnis og sýrustig vatnsins.

Til að lækka sýrustig í pH 8 þarf 0,06% íblöndun háþrýstigufu og um 0,13% til að ná pH 7. Styrkur brennisteinsvetnis verður við það um 0,03 og 0,06 mg/l og ætti það ekki að skapa vandræði heldur hjálpar það til við eyðingu súrefnis og minnkar tæringarhættu. Þetta er aðeins hærri styrkur brennisteinsvetnis en leyfilegur er í neysluvatni (0,05 mg/l) þótt algeng sé nýting jarðhitavatns með margföldum þessum styrk. Íblöndun 0,06% af háþrýstigufu (6,5 bar abs) samsvara um 0,4°C hitastigshækkun og 0,13% um 0,85°C við 120°C.



JHD-JEF-2300. TH.  
83.09.1097. Sy.J.

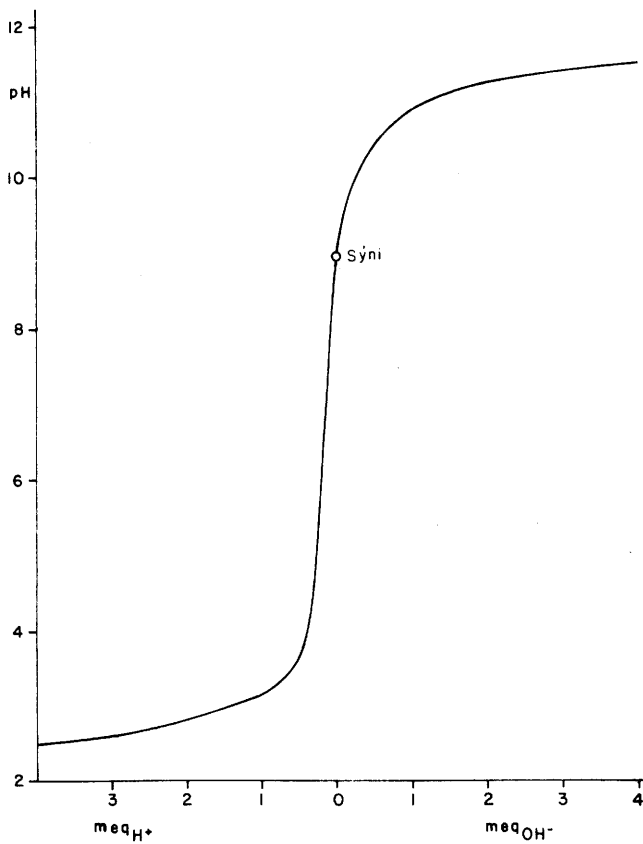
Reiknuð krisótíll- og talk- yfirmettun afgasads vatns úr rás 8 við breytilegt sýrustig (pH) og hitastig



JHD-JEF-2300. TH.  
83.09.1098. Sy.J.

Titrunarferill fyrir afgasad vatn úr rás 8

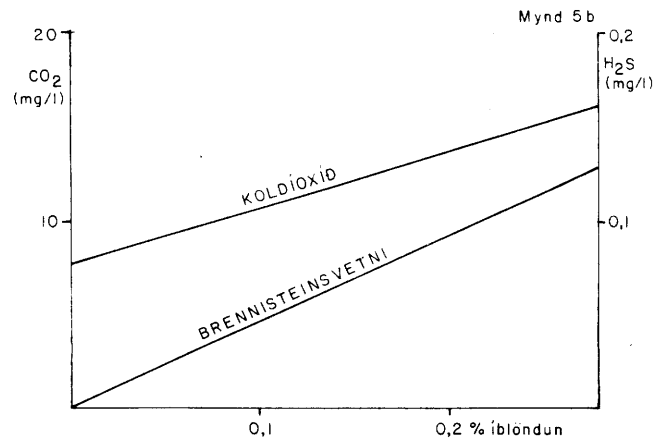
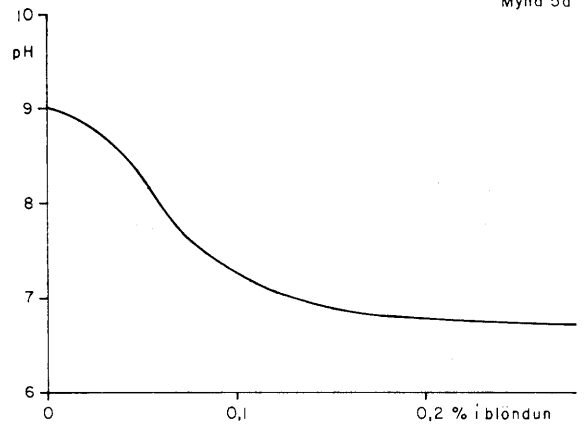
Mynd 4



JHD-JEF-2300 TH.  
83.09.1099. Sy.J.

Reiknuð áhrifblöndunar háþrýstigufu í vatni úr rás 8 á sýrustig og styrk  $H_2S$  og  $CO_2$  (Gufa- $CO_2$  2590 mg/l  $H_2S$  46 mg/l)

Mynd 5a



## 4.2 Tæringarplötur

Í töflu 3 eru samandregnar niðurstöður athugana á tæringarplötum. Plötur úr greiðu við Svartsengi voru mjög hreinar eftir 11 og 39 daga og var þyngdaraukning um 1-2 mg. Engin tæring var sjáanleg en marglit himna þakti yfirborðið. Plötur úr greiðu í brunni við Fitjar fengu dökka áfellingu með ójafnari dreifingu og var þyngdaraukningin um 1-4 mg. Ekki tókst að skafa nægilegt magn til röntgengreiningar.

Á plötum úr grind í dælustöðinni að Fitjum mynduðust tæringapyttir fyrst og fremst á köntunum. Þyngdarminnkun varð 8-20 mg eftir 13-28 daga. Röntgengreining (XRD) gaf háan bakgrunn en ekki fengust greinilegir toppar. Svo virðist sem súrefni í vatninu í Fitjastöð valdi tæringu og að súrefni komst í vatnið þegar vatni úr bakrennslisgeymi er blandað við heitara vatn frá Svartsengi, til að lækka hitastigið. Engin merki um útfellingu sást á plötum í Fitjastöð.

TAFLA 3 Niðurstöður athugana á tæringarplötum

Plata No.	Staður	Sett í dags.	Tekin út dags.	Dagar	Δm (mg)	Lýsing á plötu
S2	Njaróvíkuræð S-1	83.07.01	83.07.12	11	+2,0	Marglit himna. Engin tæring
S1	"	S-1	83.07.01	83.08.09	39	+1,5 " " " "
S6	"	S-4	83.07.01	83.07.12	11	Dökk útfelling ójöfn dreifing
S7	"	S-4	83.07.01	83.08.09	39	Svört " " "
S15	Dælustöð Fitjum	83.07.27	83.08.09	13	-7,6	Tæringar-pyttir, mest á köntum
S11	"	"	83.07.12	83.07.27	15	-18,3 " " (stærri) "
S12	"	"	83.07.12	83.08.09	28	-19,6 " " " "

## 4.3 Útfellingasýni

Sýni af útfellingu og myndefnum tæringar náðust í brunni rétt við tank að Fitjum og úr tæringarbúnaði í brunni við Fitjar. Sýnin samanstóðu að mestu af ljósbrúnum flögum ( $\approx 1$  mm þykkt) og í sýni við tank var einnig nokkuð af svörtum flögum. Svartar flögur í sýninu reyndust við greiningu vera járnnoxíðið magnetít. Ljósbrúnar útfellingar reyndust vera magnesíumsílikat við XRF-greiningu en röntgen diffraktion (XRD) greining gaf ekki greinilega toppa en gaf þó til kynna einhverja ógreinilega kristalbyggingu.

Magnesíumsílikat útfellingarnar voru nokkuð "ellilegar" og er ekki ólíklegt að um sé að ræða gamlar útfellingar frá tímum lútaríblöndunar

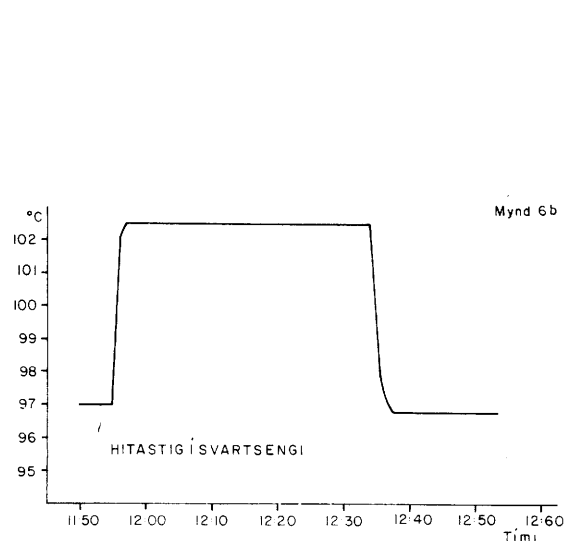
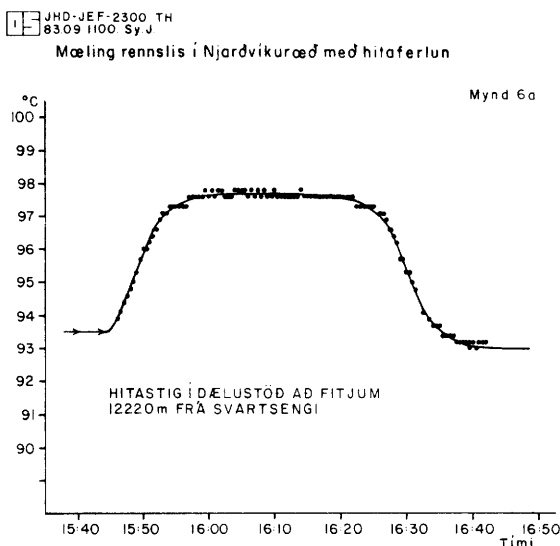
sem flagna innan úr rörinu t.d. vegna hitabreytinga.

#### 4.4 Þrýstifall í æð

Þar sem ekki var til marktæk mæling á rennsli var það ákvarðað með hitaferlum. Hitastig vatnsins í Svartsengi var hækkað úr 97°C í 105,5 °C í tæpar 40 mínútur og hitastigsbreyting í Fitjastöð mæld. Á mynd 6 sést hvernig hitapúlsinn skilar sér að Fitjum. Miðað við lengd pípu 12220 m þvermál 493,8 mm og tíma þann sem líður frá hækkun hitastigs og þar til hitastigshækkun mælist í Fitjastöð var rennsli um 170 l/s.

Lengd pípu og hæð mælipunkta var fengin hjá Fjarhitun hf. og flutningsgetan var reiknuð með forriti Orkustofnunar (Hjörleifur Jakobsson og Sverrir Þórhallsson 1983, sjá útskrift í viðauka 2).

Í töflu 4 er yfirlit yfir mælingar og í töflu 5 helstu reiknaðar stærðir. Flutningsgeta er áberandi minnst í fyrsta hluta æðarinnar enda er vitað um útfellingar í pípunni sem áttu sér stað vegna lútaríblöndunar á fyrstu mánuðum sem Njarðvíkuræð var í notkun. Seinni hluti æðar virðist hreinn. Við skoðun á pípunni 1978 kom í ljós útfelling innan á pípu næst Svartsengi en við Fitjar reyndist pípan hrein sem er í samræmi við þessar niðurstöður og virðist lítið hafa bæst við síðan þá.



TAFLA 4 Þrýstimælingar í Njarðvíkuræð

Staðsetning (metrar frá beygju við holu 4)	Rennsli (l/s)	Þvermál pípu (mm)	Hæð y.s. (m)	Þrýstingur (bar yfir)
1:(319)	170	493,8	30,90	3,00
2:(4057)	-	-	28,75	2,63
3:(6910)	-	-	19,70	3,18
4:(11727)	-	-	4,45	3,98

TAFLA 5 Reiknuð flutningsgeta Njarðvíkuræðar

Mæli- punktar	Lengd pípu (m)	Þrýstifall (bar)	Þrýstifall ný pípa (bar)	Flutnings- geta (%)
1-2	3738	0,57	0,38	81,5
2-3	2853	0,31	0,29	97,9
3-4	4817	0,55	0,49	94,2

## 5 UMRÆÐA OG TILLÖGUR

Líklegt er að við hækkun framrásarhitastigs í 110 til 120°C falli magnesíumsílikat úr hitaveituvatninu á leið frá Svartsengi til Fitja, allt að 1,2 mg úr hverjum lítra vatns. Miðað við 200 l/s rennsli samsvarar 1,2 mg um 7,5 tonnum á ári. Til að koma í veg fyrir slíka útfellingu þarf að lækka yfirmettunargráðuna. Við núverandi rekstrar- aðstæður er sýrustig vatnsins um pH 9/20 °C og væri æskilegt að lækka sýrustig í allt að pH 7/20 °C sem minnkar yfirmettun 10.000 falt.

Lækkun sýrustigs má t.d. framkvæma með breyttri og kraftminni afgösun, íblöndun sterkrar sýru svo sem saltsýru, eða íblöndun koldíoxíðríkrar háþrýstigufu.

Ekki þarf nema eitt afgösunarþrep til að hækka sýrustig í pH 9 og er því erfitt að stýra sýrustigi með breytingum á afgösunarbúnaði, jafnframt því sem minni afgösun gæti haft í för með sér hærri súrefnis- styrk í vatninu.

Um 0,13 meq af saltsýru í hvern lítra vatns þarf til að lækka sýrustig í pH 7. Þetta samsvarar 82 tonnum af sterkri lausn (10 M) á ári miðað við 200 l/s rennsli. Sýrustig er mjög næmt fyrir íblöndun sterkrar sýru og verður því erfitt að halda stöðugu pH gildi.

Um 0,13 íblöndun háþrýstigufu þarf til að lækka sýrustig í pH 7/20 °C. Þetta samsvarar 0,26 kg/s af gufu miðað við 200 l/s. Við íblöndun gufu í vatnið hækkar hitastig um 0,85 °C, koldíoxíð um 4 mg/l og brennisteinsvetni um 0,06 mg/l. Aukning í styrk brennisteinsvetnis hjálpar til við eyðingu súrefnis og getur minnkað tæringarhættu. Leyfileg efri mörk brennisteinsvetnis í neysluvatni eru 0,05 mg/l, þótt dæmi séu um nýtingu á heitu vatni með margfalt hærri styrk.

Lagt er til að þegar framrásarhitastig verður hækkað í 110°C eða herra verði fylgst reglulega með magnesíumstyrk við enda Njarðvíkuræðar. Jafnframt verði settar nýjar tæringarplötur í vatnið bæði ryðfríar og úr ofnastáli til að fylgjast með útfellingu og tæringu. Mæla þarf þrýstifall reglulega til að meta hvort flutningsgeta æðarinnar minnkar vegna útfellingar.

Ef vart verður við útfellingar sem virðast geta valdið rekstrar- truflunum er lagt til að reynd verði íblöndun háþrýstigufu. Reynsla þarf að skera úr um hvaða framrásarsýrustig er heppilegast með tilliti til útfellingar og tæringarhættu. Lagt er til að reynt verði með tilraunum í ransóknarstofu að finna heppilegt sýrustig.

HEIMILDASKRÁ

Hjörleifur Jakobsson og Sverrir Þórhallsson 1983: Hitaveita Hvera-gerðis, Áhrif útfellinga á flutningsgetu hitaveitulagna. Orkustofnun, OS-83048/JHD-08, 31 s.

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

Hrefna Kristmannsdóttir, Sverrir Þórhallsson og Karl Ragnars 1983: Magnesiumsilikatútfellingar í Hitaveitum. Orkustofnun, OS-82051/JHD-10, 28 s.

Hörður Svavarsson 1981: Forritin "Watch 1" og "Watch 3". Hjálpartæki til túlkunar efnagreininga á jarðhitavatni. Orkustofnun, OS-81007/JHD-03, 70 s.

Páll Árnason 1983: Athuganir á magnesiumsilikatútfellingum við upphitun vatns. Orkustofnun, OS-82128/JHD 39 B, 20 s.

Trausti Hauksson 1980: Svartsengi. Efnasamsetning heits grunnvatns og hitaveituvatns. Orkustofnun, OS80023/JHD12 38 s.

O. Weres, A. Yee and L. Tsao 1980: Kinetics of Silica Polymerization. U.S. Department of Energy. Prepared by Lawrence Berkley Laboratory, Earth Science Division.



Viðauki 1

Afgasað vatn úr Rás 8.

Útskrift úr WATCH forriti



ORKUSTOFNUM JHD  
1983-08-25 TH

SVARTSENGI RAS 8

23001206008306230139 SVARTSENGI, RAS 8 (VESTARA HUS)

GRINDAVIK

PROGRAM WATCH2.

WATER SAMPLE (PPM)

STEAM SAMPLE

PH/DEG.C	8.96/ 22.0	GAS (VOL.%)	REFERENCE TEMP.	DEGREES C
SI02	11.50	CO2		
NA	30.30	H2S	SAMPLING PRESSURE	BARS ABS.
K	1.67	H2	DISCHARGE ENTHALPY	MJOUL/KG
CA	6.54	O2	DISCHARGE	KG/SEC. 0.0
MG	5.920	CH4		
CO2	7.70	N2	MEASURED TEMPERATURE	DEGREES C 94.0
SO4	9.73		RESISTIVITY/TEMP.	OHM/DEG.C 0.0/ 0.0
H2S	0.00		EH/TEMP.	MV/DEG.C 0.000/ 0.0
CL	61.54			
F	0.06	LITERS GAS PER KG		
DISS.SOLIDS	0.00	CONDENSATE/DEG.C	MEASURED DOWNHOLE TEMP.	FLUID INFLOW
AL	0.0000		DEGREES C/METERS	DEPTH (METERS)
B	0.0000			
FE	0.0000	CONDENSATE (PPM)	0.0	0.0
NH3	0.0000	PH/DEG.C	0.0	0.0
		CO2	0.0	0.0
		H2S	0.0	0.0
		NA	0.0	0.0
			0.0	0.0
			0.0	0.0
			0.0	0.0
		CONDENSATE WITH NAOH (PPM)	0.0	0.0
		CO2	0.0	0.0
		H2S	0.0	0.0

IONIC STRENGTH = 0.00266 IONIC BALANCE : CATIONS (MOL.EQ.)0.00216132  
ANIONS (MOL.EQ.)0.00213914  
DIFFERENCE (%) 1.03

DEEP WATER (PPM)

DEEP STEAM (PPM)

GAS PRESSURES (BARS ABS.)

SI02	11.50	CO2	7.70	CO2	0.00	CO2	0.225E-02
NA	30.30	H2S	0.00	H2S	0.00	H2S	0.000E+00
K	1.67	H2	0.00	H2	0.00	H2	0.000E+00
CA	6.54	O2	0.00	O2	0.00	O2	0.000E+00
MG	5.920	CH4	0.00	CH4	0.00	CH4	0.000E+00
SO4	9.73	N2	0.00	N2	0.00	N2	0.000E+00
CL	61.53	NH3	0.00	NH3	0.00	NH3	0.000E+00
F	0.06					H2O	0.270E+01
DISS.S.	0.00					TOTAL	0.270E+01
AL	0.0000						
B	0.0000			H2O (%)	0.00		
FE	0.0000			BOILING PORTION	0.00		





Viðauki 2

Þrýstifallsreikningar -  
Njarðvíkuræð

Mælistaður: Mælip 3-4  
Dagsetning: 31. ágúst 1983  
Mælt af: HJ-TH

Innlestrarstærðir:  
Þvermál= 493.8 mm  
Lengd pípu =4817.00 m  
Hitastig vatns = 93.00 C  
Hrjúflekastuðull nýrrar pípu, k= 0.04500 mm  
Fjöldi einingamótstaða, si= 2.

Mæling númer 1  
Rennsli= 10224.00 l/mín  
Þrýstifall= 0.549 bar

Reiknaðar stærðir:  
Eðlismassi= 963.4 kg/rm  
Seigjustuðull= 0.3061E-03 kg/ms  
Hraði= 0.89 m/s  
Viðnámsstuðull= 0.0145  
Reynoldstala= 0.138E+07  
Þrýstítap vegna aukahluta= 0.008 bar

Til samanburðar:  
Viðnámsstuðull nýrrar pípu = 0.0129  
Þrýstifall fyrir nýja pípu = 0.488 bar  
Núverandi flutningsgeta 94.2 %

Mælistaður: Mælip 2-3 Sv.e.  
Dagsetning: 31. ágúst 1983  
Mælt af: HJ-TH

Innlestrarstærðir:  
Þvermál= 493.8 mm  
Lengd pípu =2853.00 m  
Hitastig vatns = 93.00 C  
Hrjúflekastuðull nýrrar pípu, k= 0.04500 mm  
Fjöldi einingamótstaða, si= 2.

Mæling númer 1  
Rennsli= 10224.00 l/mín  
Þrýstifall= 0.305 bar

Reiknaðar stærðir:  
Eðlismassi= 963.4 kg/rm  
Seigjustuðull= 0.3061E-03 kg/ms  
Hraði= 0.89 m/s  
Viðnámsstuðull= 0.0135  
Reynoldstala= 0.138E+07  
Þrýstítap vegna aukahluta= 0.008 bar

Til samanburðar:  
Viðnámsstuðull nýrrar pípu = 0.0129  
Þrýstifall fyrir nýja pípu = 0.292 bar  
Núverandi flutningsgeta 97.9 %

Mælistaður: Mælip 1-2 Sv.e.  
Dagsetning: 31. ágúst 1983  
Mælt af: HJ-TH

Innlestrarstærðir:  
Þvermál= 493.8 mm  
Lengd pípu =3738.00 m  
Hitastig vatns = 93.00 C  
Hrjúflekastuðull nýrrar pípu, k= 0.04500 mm  
Fjöldi einingamótstaða, si= 2.

Mæling númer 1  
Rennsli= 10224.00 l/mín  
Þrýstifall= 0.573 bar

Reiknaðar stærðir:  
Eðlismassi= 963.4 kg/rm  
Seigjustuðull= 0.3061E-03 kg/ms  
Hraði= 0.89 m/s  
Viðnámsstuðull= 0.0196  
Reynoldstala= 0.138E+07  
Þrýstítap vegna aukahluta= 0.008 bar

Til samanburðar:  
Viðnámsstuðull nýrrar pípu = 0.0129  
Þrýstifall fyrir nýja pípu = 0.380 bar  
Núverandi flutningsgeta 81.5 %