



ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

**Trausti Hauksson, Kemíu sf
Sverrir Þórhallsson, Orkustofnun**

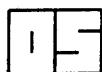
AFLOFTUN HITAVEITUVATNS

**Prófun afloftunarsúlu við breytilegt
rennsli, hita og gasíblöndun**

Skýrsla um niðurstöður tilrauna í Svartsengi 1995

OS-96052/JHD-07
Reykjavík, sept. 1996

**Unnið fyrir
Hitaveitu Suðurnesja**



ORKUSTOFNUN
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Verknr. 630 221

**Trausti Hauksson, Kemíu sf
Sverrir Þórhallsson, Orkustofnun**

AFLOFTUN HITAVEITUVATNS

**Prófun afloftunarsúlu við breytilegt rennsli,
hita og gasíblöndun**

Skýrsla um niðurstöður tilrauna í Svartsengi 1995

Unnið fyrir Hitaveitu Suðurnesja

OS-96052/JHD-07

Reykjavík, september 1996

Orkustofnun
ISBN 9979-827-78-5

ÁGRIP

Í nóvember 1995 voru gerðar prófanir á afloftunarsúlu 6 í orkuveri 2, til þess að kanna hámarksafköst súlunnar og hvernig best væri að stýra sýrustigi vatnsins og tryggja næga afloftun.

Súlan var prófuð við breytilega heitavatnsframleiðslu frá 38 til 88 kg/s og afloftunarhitastig frá 71 til 85°C. Háþrýstigufu var bætt í afloftað vatnið til þess að stilla af sýrustigið.

Skráningartölva var tengd við súluna og sýrustig, vatnshiti, gashiti og lofttæmi skráð á mínuðu fresti. Virkni afloftunarsúlu var mæld með efnagreiningu á sýrustigi (pH), kolsýru (CO₂), brennisteinsvetni (H₂S) og súrefni (O₂) í sýnum af afloftuðu vatni.

Hámarksafköst súlunnar voru um 88 kg/s af heitu vatni við hitastig 80°C (0,46 bar abs). Þegar hitastig var lækkað takmörkuðu afköst gufuþeysa afköstin og voru þau mest um 75 kg/s við suðuhita 76°C og 50 kg/s við 72°C. Við lægra hitastig en 72°C (0,34 bar abs) var súlan óstöðug, gufuþeysur köfnuðu, hitastig súlu féll og afloftun varð léleg. Við hærri afloftunarhita en 80°C takmarkaði gufustreyimi (lágþrýstisjór) afköstin og fengust mest 71 kg/s af heitu vatni úr súlunni við 86°C hita. Gufurennslí var mest 7,2 kg/s.

Til að lækka sýrustig í pH 8,8 þurfti að hækka styrk CO₂ um 2 mg/kg úr 10 mg/kg í afloftuðu vatni. Til þess þurfti að blanda um 3 mg/kg CO₂ í vatnið því aðeins 70% íblandaðs gass leystust upp.

Gasstyrkur háþrýstigufu var mikill, eða 9400 mg/kg CO₂ og 120 mg/kg H₂S, og þurfti mjög litla gufublæðingu til þess að lækka sýrustigið. Fyrir 60 kg/s framleiðslu samsvarar 3 mg/kg íblöndun um 0,019 kg/s af gufu. Þegar gufuíblöndun var breytt, leið um ein og hálf klukkustund, þar til nýtt jafnvægi náðist.

Gasstyrkur inn á gufuþeysur var mjög breytilegur eftir afloftunarhita og afköstum (5 til 95%). Við 60 kg/s framleiðslu og 76°C hita var gasstyrkur um 18% og jókst í 20% þegar 0,056 kg/s af háþrýstigufu var bætt í vatnið.

Lágþrýstigufan inniheldur meira af gasi en reiknað var með, vegna þess að gufu frá holu 10 er blandað við jarðsjóinn fyrir framan háþrýstiskiljur. Þetta veldur því að styrkur brennisteinsvetnis mældist nokkur í afloftuðu vatni þótt engri háþrýstigufu væri blandað í vatnið. Mestur mældist styrkurinn um 0,15 mg/kg H₂S, þegar hitastig var 85°C. Við lægri hita mældist minni styrkur eða 0,09 mg/kg við 82°C, 0,06 mg/kg við 76°C og 0,01 við 72°C. Þetta stafar væntanlega af hærri vatns/gufuhluta og kraftminni afloftun við lægri afloftunarhita, sem veldur því að súrefni nær að hvarfast við brennisteinsvetnið.

Íblöndun háþrýstigufu eykur styrk brennisteinsvetnis lítilsháttar eða úr 0,07 mg/kg í 0,10 mg/kg við 76°C afloftunarhita og sýrustigslækkun úr pH 9,13 í 8,79.

EFNISYFIRLIT

	bls
ÁGRIP	3
EFNISYFIRLIT	5
MYNDASKRÁ	5
INNGANGUR.....	6
2 FRAMKVÆMD PRÓFANA.....	7
3 NIÐURSTÖÐUR.....	9
3.1 Afköst súlu.....	9
3.2 Svörunartími	10
3.3 Afloftun.....	12
3.4 Gufublæðing.....	14
3.5 Massavægi.....	16
4 TILLÖGUR.....	17
HEIMILDASKRÁ	18
 VIÐAUKAR	 19
Töfluskrá viðauka	20
Myndaskrá viðauka	20
 VIÐAUKI 1 Efnagreiningar vatns og gufu.....	 21
VIÐAUKI 2 Tölvuskráðar mælingar.....	25

MYNDASKRÁ

Mynd	bls
2.1 Svartsengi, súla 6, mæli- og sýnatökustaðir.....	7
3.1 Svartsengi, súla 6, framleiðsla og afloftunarhitastig í prófunum.....	9
3.2 Sýrustig heits vatns, rennslisbreytingar.....	10
3.3 Sýrustig heits vatns, gufuþlöndun.....	10
3.4 Hitastig vatns og gass, hitabreytingar úr 76 í 85 °C.....	11
3.5 Hitastig vatns og gass, hitabreytingar úr 72°C í 71°C.....	11
3.6 Sýrustig vatns, hitabreytingar úr 72°C í 71°C.....	12
3.7 Samband sýrustigs (pH) og koldíoxfðs (CO ₂).....	13
3.8 Sýrustig sem fall af rennslí.....	13
3.9 Sýrustig sem fall af afloftunarhita.....	14
3.10 Styrkur H ₂ S sem fall af afloftunarhita.....	14
3.11 Uppleysing koldíoxfðs í heitt vatn.....	15
3.12 Sýrustig sem fall af gufuþlöndun.....	15
3.13 Vatns-, gufu- og gasstreymi við 60 kg/s framleiðslu og 81 °C.....	16

1 INNGANGUR

Í orkuveri Hitaveitu Suðurnesja í Svartsengi er ferskvatn hitað með jarðhitagufu og því síðan veitt til notenda. Ferskvatnið inniheldur súrefni og koldíoxið, sem verður að fjarlægja til þess að hindra tæringu í veitukerfi hitaveitunnar, og er það gert í sérstökum afloftunarsúlum.

Tvær gerðir af afloftunarsúlum eru nú í notkun í Svartsengi. Eldri gerðin vinnur við eina loftþyngd og afloftar vatn, sem hitað hefur verið rétt yfir 100°C og sýður þegar það streymir inn í súluna. Nýrri gerðin vinnur við undirþrýsting. Þar streymir kalt vatn efst inn í súluna og niður hana. Lágþrýstigufa streymir inn neðarlega í súluna og á móti vatninu. Gufan hitar vatnið í 70 til 80 °C og rífur með sér súrefni og koldíoxið úr því. Í súlunni er sérstök fylling til þess að auka yfirborð vatnsins. Fjórar súlur af eldri gerðinni og þrjár af þeirri nýrri eru í Svartsengi.

Við rekstur súlnanna hefur komið í ljós að afloftunin er það kröftug að hún orsakar útfellingu magnesíum-silfskata úr vatninu (Trausti Hauksson og Sverrir Pórhallsson 1993). Til þess að ráða bót á því hefur gasrískri háþrýstigufu verið blætt inn í vatnið neðst í súlunni og sýrustig lækkað.

Talið er að auka megi afköst nýju gerðarinnar frá því sem nú er, því afloftun virðist vera rifleg. Áður en slíkt var gert þurfti að prófa núverandi afköst súlanna og finna þa'þætti sem takmarka þau. Jafnframt var ákveðið að kanna áhrif mismunandi rekstraraðstæðna á sýrustig vatnsins og svörunartíma súlunnar þegar gufuðblöndun eða vatnsrennsli er breytt.

Niðurstöður þessara athugana verða síðan notaðar við hönnun breytinga með það að markmiði að auka afköst afloftunarsúlanna.

Í þessarri skýrslu eru niðurstöður prófananna, sem gerðar voru í október og nóvember 1995, teknar saman.

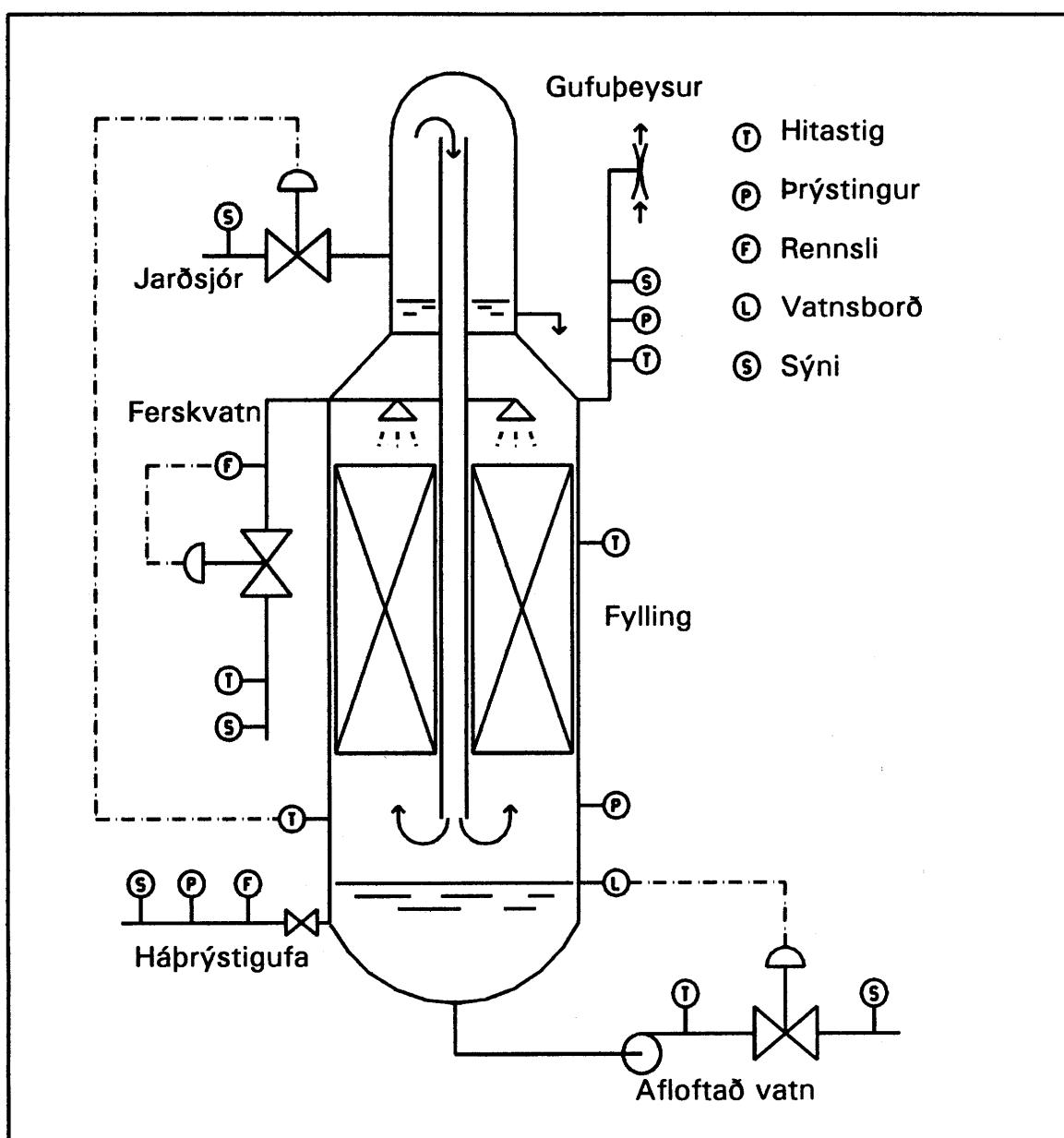
Við þökkum starfsmönnum hitaveitunnar í Svartsengi fyrir þá góðu aðstoð sem þeir veittu við uppsetningu mælitækja og framkvæmd prófana.

2 FRAMKVÆMD PRÓFANA

Tölvubúnaður var tengdur við súlu 6 í orkuveri 2 í Svartsengi, en hún er af nýrri gerðinni. Hann skráði mínumútumeðaltöl mæligilda. Skráð var sýrustig, rennsli, inntaks- og framleiðsluhitastig vatnsins, gashitastig, gasþrýstingur, vatnsborð og súluþrýstingur. Einnig voru teknir aflestrarar af gufuþrýstingi og streymi háþrýstigufu ásamt fyllingarhitastigi.

Til þess að meta afloftun voru tekin sýni af vatninu og efnagreind. Greint var súrefnisinnihald (O_2), kodíoxíð (CO_2) og súlfíð (H_2S). Jafnframt voru tekin sýni af ferskvatni, jarðsjó og háþrýstigufu og sömu efni greind í þeim.

Eftirfarandi mynd sýnir skematískt hvernig súlan er uppyggð og mælistaði.



Mynd 2.1 Svartsengi, súla 6, mæli- og sýnatökustaðir.

Mæliaðferðir

Hitastig var mælt með Pt-100 hitanemum. Hitanemarnir fyrir heitt og kalt vatn voru kvarðaðir með glerhitamælum í kvörðunarbaði. Mælinákvæmni var $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$.

Rennsli vatns var mælt með DANFOSS hljóðhraðamæli.

Rennsli gufu var mælt með ANNubar 1-1/4" gufumæli ásamt mismunaþrýstimæli. Mælinákvæmni gufumælingar áætlast $\pm 0,001 \text{ kg/s}$.

Þrýstingur í útsogi var mældur með Bell & Howell þrýstinema sem mældi "absolut" þrýsting. Mælirinn var kvarðaður með "Bourdon tube" þrýstimæli á staðnum og samtímis mælingu á loftþrýstingi. Mælinákvæmni áætlast $\pm 0,01 \text{ bar}$.

Mælitækin voru tengd við Analog Device μmac skráningartölvu og IBM PC-tölvu.

Gufuþrýstingur í útsogi var fenginn úr gufutöflum, sem sýna suðuþrýsting vatns við mældan hita. Gasþrýstingur og þar með gashlutfall var reiknað sem mismunur á gufuþrýstingi og mældum þrýstingi í útsogsröri.

Efnagreiningaraðferðir

Sýrustig (pH) var mælt með glerskauti og METROHM 691 pH mæli með spennu-útgangi. Mælirinn var stilltur reglulega með búffer við pH 7,00 og pH 9,00 (mælinákvæmni $\pm 0,02 \text{ pH}$ stig).

Koldíoxfð (CO₂) var titrað í 100 ml sýni með 0,1 M HCl lausn og mikróbýrettu. Leiðrétt var reikningslega fyrir áhrifum súlfíðs og kísils á titrunina. Mælinákvæmni var $\pm 0,1 \text{ mg/kg CO}_2$.

Brennsteinsvetni (H₂S) var titrað með 0,001 M HgAc₂ lausn í 50 ml af sýni, sem í var bætt lút, acetóni og dithizone indikator. Notuð var mikróbíretta og var mælinákvæmni $\pm 0,01 \text{ mg/kg H}_2\text{S}$.

Súrefni (O₂) var mælt með CHEMets ampúlum K7411, (0-20 ppb, mælinákvæmni $\pm 1 \text{ ppb}$), og K7599 (0-100 ppb, mælinákvæmni $\pm 5 \text{ ppb}$). Súrefni í ferskvatni var mælt með YSI 51 súrefnismæli sem kvarðaður var í andrúmslofti ($\pm 0,1 \text{ ppm}$ mælinákvæmni).

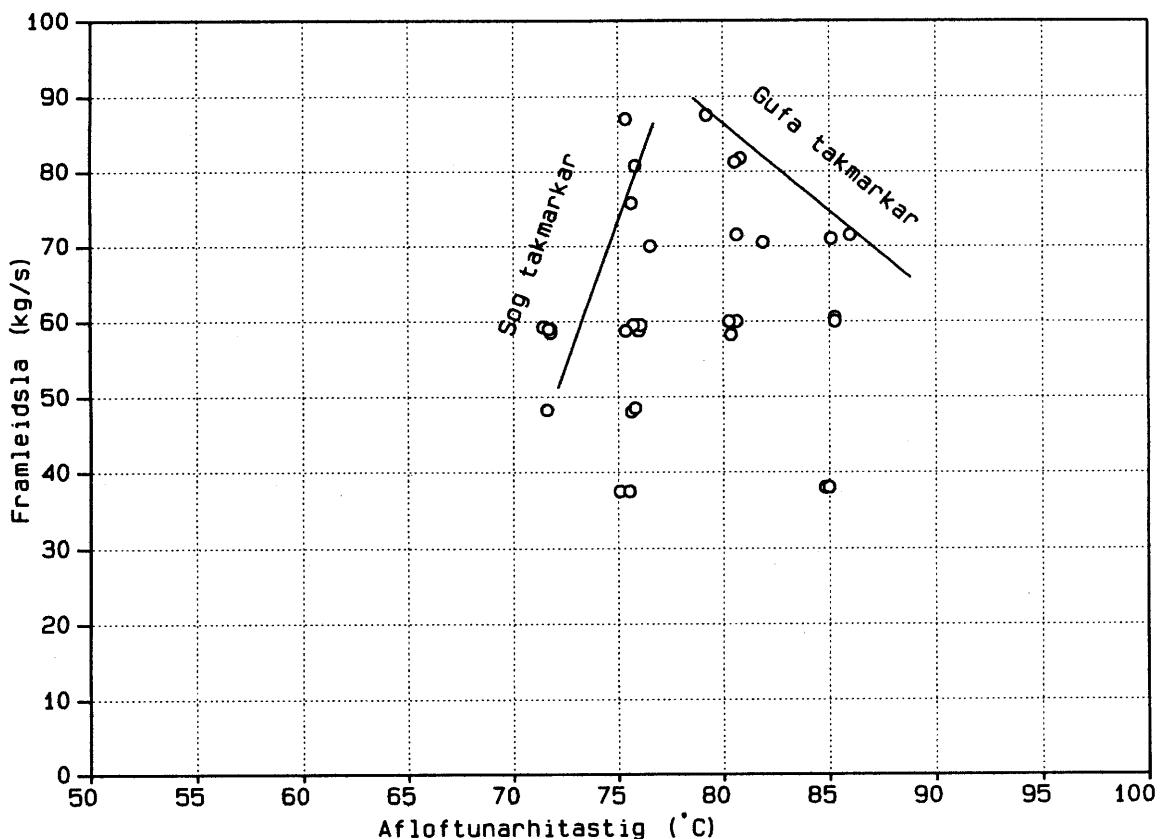
Gasi í gufu var safnað í lofttæmda kolbu með lútarlausn. Koldíoxfð og brennsteinsvetni var mælt í lútnum með titrun. Sömu aðferðir voru notaðar og fyrir titrun vatnssýna.

3 NIÐURSTÖÐUR

Niðurstöður allra efnagreininga eru birtar í viðauka 1 og tölvuskráðar mælingar í viðauka 2 aftast í skyrslunni en hér á eftir verður stiklað á helstu niðurstöðum.

3.1 Afköst súlu

Afloftun var prófuð fyrir breytilegt innrennslí vatns frá 35 kg/s upp í 80 kg/s sem samsvarar 38 til 88 kg/s framleiðslu af heitu vatni. Mynd 3.1 sýnir framleiðslu og afloftunarhita í prófunum.



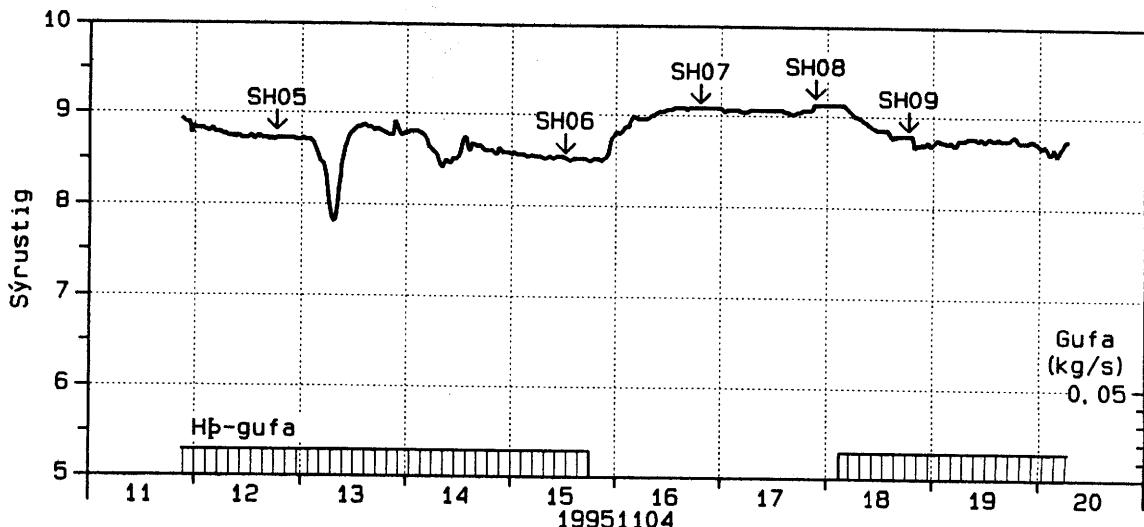
Mynd 3.1 Svartsengi, súla 6, framleiðsla og afloftunarhitastig í prófunum.

Hámarksafköst súlunnar voru um 88 kg/s af heitu vatni við hitastig 80 °C. Við lægra hitastig takmörkuðu afköst gufubeysa afköstin og voru þau mest um 75 kg/s við suðuhita 76 °C og aðeins 50 kg/s við 72 °C. Við lægra hitastig en 72 °C var súlan óstöðug, gufubeysur köfnuðu, hitastig súlu fíll og afloftun varð léleg. Við hærri afloftunarhita en 80 °C takmarkaði gufustreymi (lágþrýstisjór) afköstin og fengust mest 71 kg/s af heitu vatni úr súlunni við 86 °C hita. Gufurennslí var mest 7,2 kg/s.

3.2 Svörunartími

Fylgst var með breytingum, sem urðu í súlunni, á mínútu fresti. Þannig fékkst svörunartími súlunnar við breytingar í rennsli, hitastigi og gufuíblöndun.

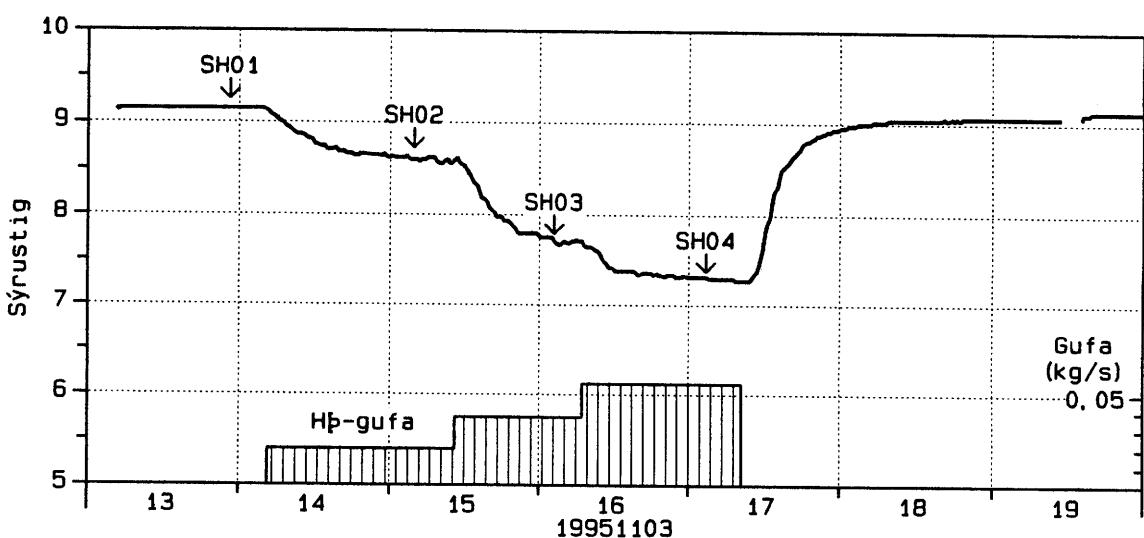
Mynd 3.2 sýnir dæmi um breytingar sýrustigs þegar rennsli vatns var breytt.



Mynd 3.2 Sýrustig heits vatns, rennslisbreytingar

Rennsli vatns var í upphafi 60 kg/s og var minnkað í 40 kg/s kl 13:00. Við svo mikla rennslisminnkun rauk hitastigið upp og sýrustigið niður (sjá einnig viðauka 2.2). Súlan hafði náð jafnvægi rúmlega tveimur tímum eftir breytinguna og var sýrustigið þá um 0,2 pH stigum lægra en í upphafi vegna þess að háþrystigufuíblöndun var hlutfallslega meiri. Rennslið var svo aukið aftur um 10 kg/s kl 17:00 eftir að lokað hafði verið fyrir háþrystigufublæðingu. Án gufuíblöndunar breyttist sýrustigið óverulega þegar rennsli vatnsins var breytt.

Mynd 3.3 sýnir breytingar sýrustigs við breytilega íblöndun háþrystigufu.

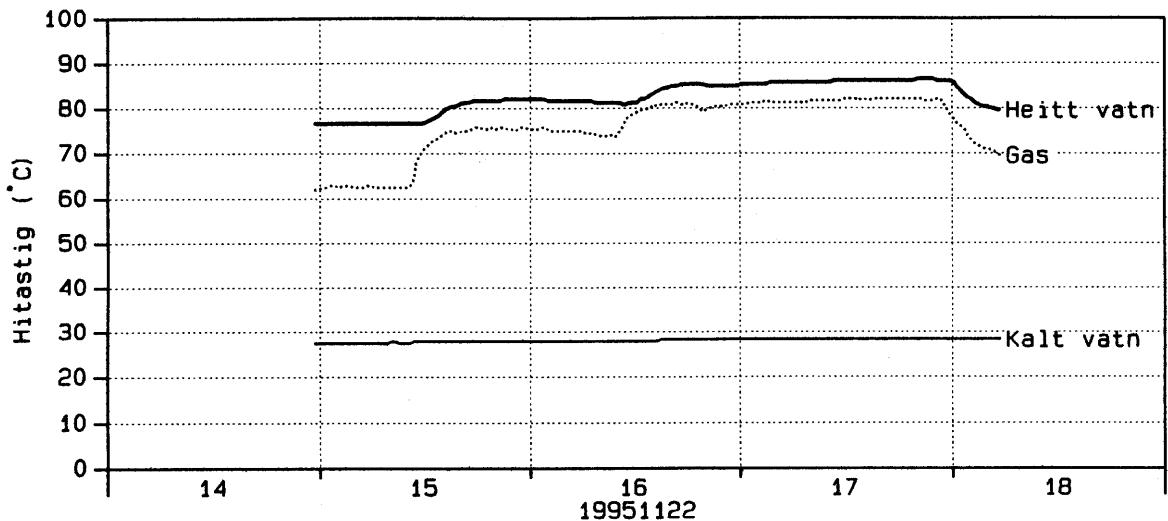


Mynd 3.3 Sýrustig heits vatns, gufuíblöndun

Sýrustigið náði nýju jafnvægi um einni klukkustund eftir breytta gufuíblöndun. Aðrar breytingar voru óverulegar. Hlutfall gass í útsogi, reiknað út frá hitastigi og

þrýstingi í útsogsröri, jókst lítilsháttar eða úr um 18% í tæp 20% við aukningu gufublæðingar um 0,056 kg/s.

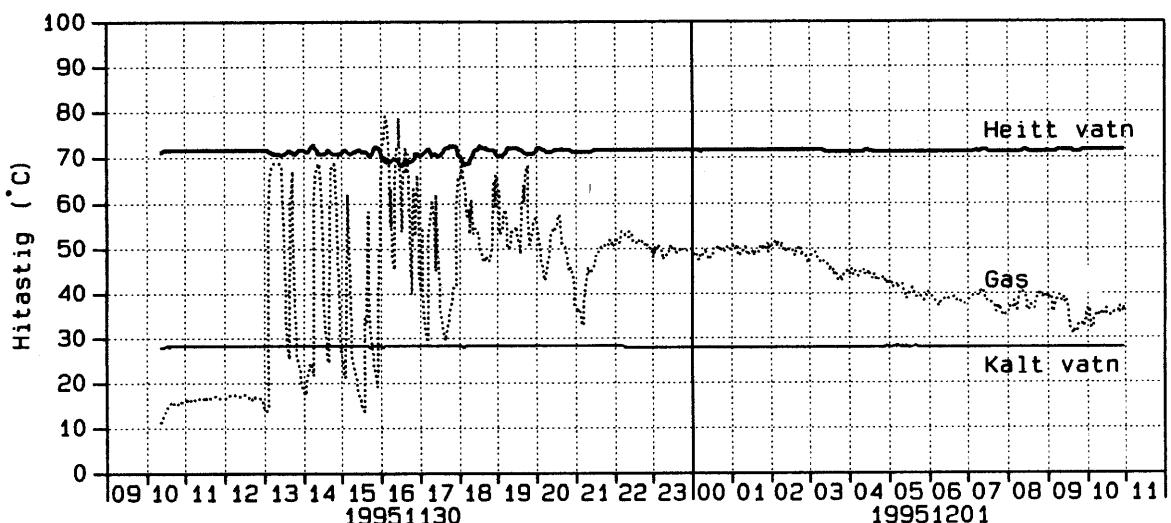
Mynd 3.4 sýnir hitastigbreytingar þegar óskgildi þess var breytt snögglega.



Mynd 3.4 Hitastig vatns og gass, hitabreytingar úr 76 í 85°C

Svörunartími var aðeins um 30 mínútur. Við hækjun hitastigs úr 76°C í 86°C lækkaði hlutfall gass í útsogi úr 33% í 10% vegna aukinnar gufu í útsogsgasi.

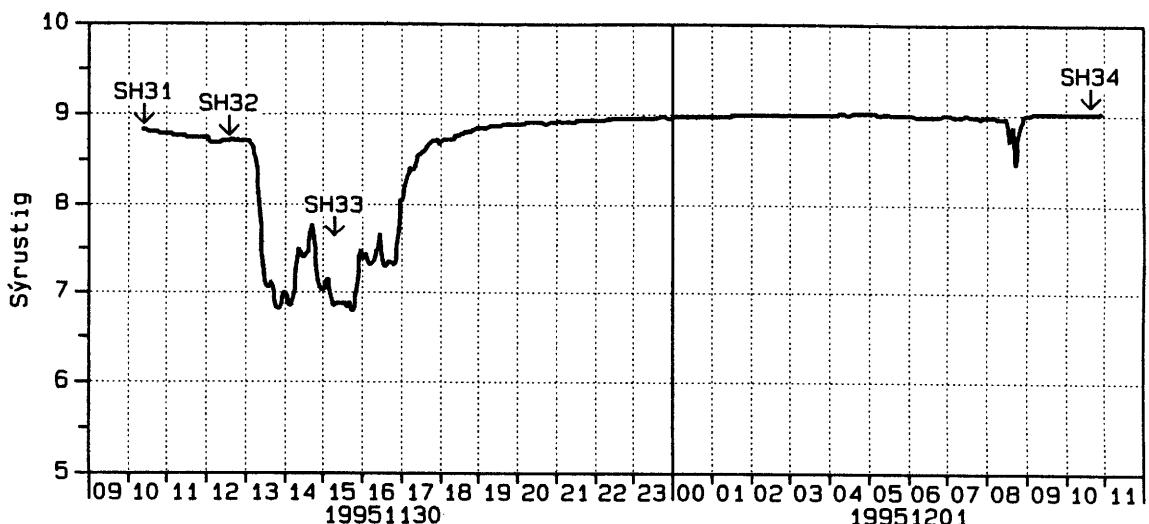
Við 72°C var gas í útsogi um 90% af rúmmáli. Þegar hitastig var síðan lækkað úr 72°C í 71°C varð súlan óstöðug og gashiti sveiflaðist upp og niður (Sjá mynd 3.5).



Mynd 3.5 Hitastig vatns og gass, hitabreytingar úr 72°C í 71°C

Þrýstingur við svo lágt hitastig varð svo lágur að gufuþeysur köfnuðu. Rennslið var 60 kg/s og þegar það var minnkað um 10 kg/s (kl 15:45 30/11) náði súlan jafnvægi á um 10 klukkustundum.

Þegar gufuþeysur höfðu ekki undan lækkaði fyllingarhitastig og afloftun varð léleg og sýrustig lækkaði (sjá mynd 3.6).



Mynd 3.6 Sýrustig hitaveituvatns, hitabreytingar úr 72 °C í 71 °C

3.3 Afloftun

Þegar vatnið streymir heitt niður súluna á móti gufunni rýkur súrefnið úr vatninu og berst með gufunni út um útsogsrörið og gufuþeysur. Styrkur súrefnis í afloftuðu vatni í tilraununum var oftast minni en $2 \mu\text{g}/\text{kg}$ (2 ppb), sem er mjög góð afloftun, en í ferskvatni mældist $11,1 \text{ mg}/\text{kg}$ (ppm) súrefni.

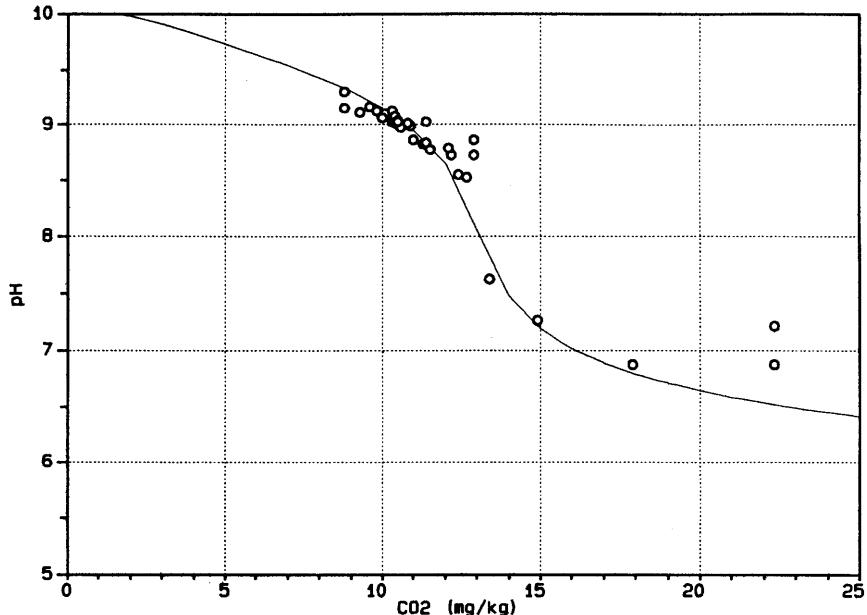
Súrefnisstyrkur í heitu vatni mældist meiri þegar fyllingin í súlunni hafði kólnað niður og sýrustig lækkað niður fyrir pH 7. Þegar fyllingin var heit var afloftun ætíð mjög góð nema að lítilsháttar aukinn súrefnisstyrkur mældist þegar framleiðslan var um $38 \text{ kg}/\text{s}$, en þá mældist $6 \mu\text{g}/\text{kg}$ súrefnis í vatninu. Hugsanleg skýring gæti verið léleg snerting vatns og gufu í súlunni við svo lítið rennsli ("channeling").

Samhlíða afloftun súrefnis rjúka önnur gös úr vatninu þ.e. köfnunarefni og koldíoxið.

Köfnunarefni (N2) var ekki mælt en reikna má með að það rjúki allt úr vatninu svipað og súrefnið. Köfnunarefni í loftmettuðu ferskvatni ætti að vera um $18 \text{ mg}/\text{kg}$.

Koldíoxið (CO2) í ferskvatninu mældist $15,2$ til $16,2 \text{ mg}/\text{kg}$ en í afloftuðu vatni mældist koldíoxið $8,8$ til $10,2 \text{ mg}/\text{kg}$. Styrkur koldíoxiðsins í vatninu stjórnar sýrustiginu, sem hækkar þegar koldíoxiðið hverfur.

Á mynd 3.7 er sýnt samband sýrustigs (pH við 25°C) og styrks koldíoxiðs í heitu vatni. Ferillinn er reiknaður í VDATA forritinu og hringirnir sýna mæld gildi í tilraununum.

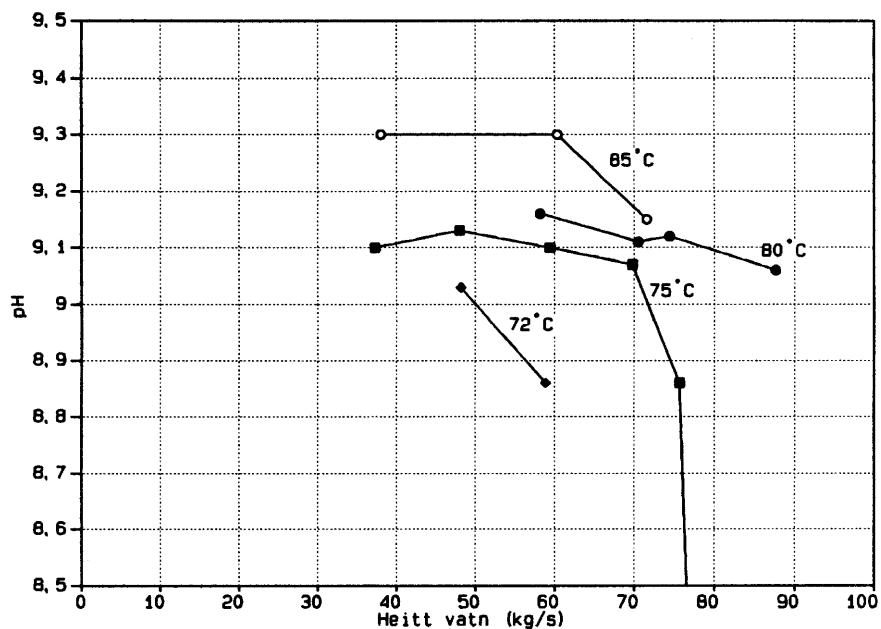


Mynd 3.7
Samband
sýrustigs (pH) og
koldíoxíðs (CO₂)

Gott samræmi er milli mælds og reiknaðs sýrustigs í vatnini sem bendir til þess að forritið VDATA megi nota til þess að herma afloftunarferlið.

Vegna þessa sambands koldíoxíðsstyrks og sýrustig heita vatnsins er sýrustigið góður mælikvarði á hversu kröftug afloftunin er.

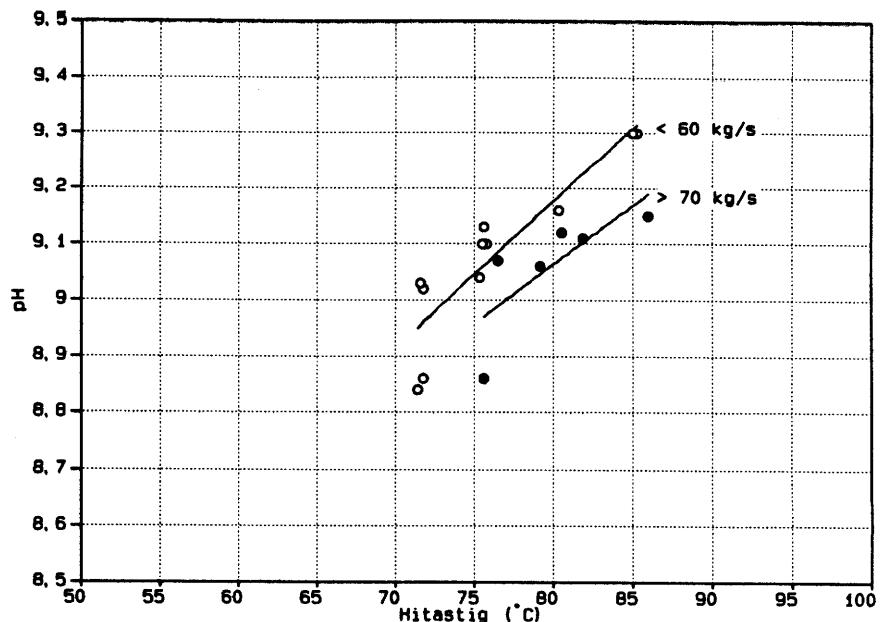
Á mynd 3.8 er sýrustig heita vatnsins sýnt sem fall af rennsli heits vatns í súlunni.



Mynd 3.8
Sýrustig (pH)
sem fall af
rennsli

Afloftun var lítilsháttar meiri við minnsta rennsli. Nálægt hámarksafköstum fél sýrustigið hratt og afloftun varð léleg. Hámarksafköstin voru eins og fyrr sagði háð afloftunarhitastigi og var mest hægt að aflofta um 88 kg/s af vatni við 80 °C hita.

Hitastig hafði meiri áhrif á kraft afloftunar en rennsli. Súlan var prófuð við hitastig frá 72 °C til 86 °C. Afloftun var mest við hæstan hita, sérstaklega ef rennsli var lítið. Á mynd 3.9 er sýnt sanband sýrustigs og hitastigs og sést þar að sýrustig hækkaði um allt að 0,3 pH stig við hækkun hitastigs frá 72 í 85 °C.

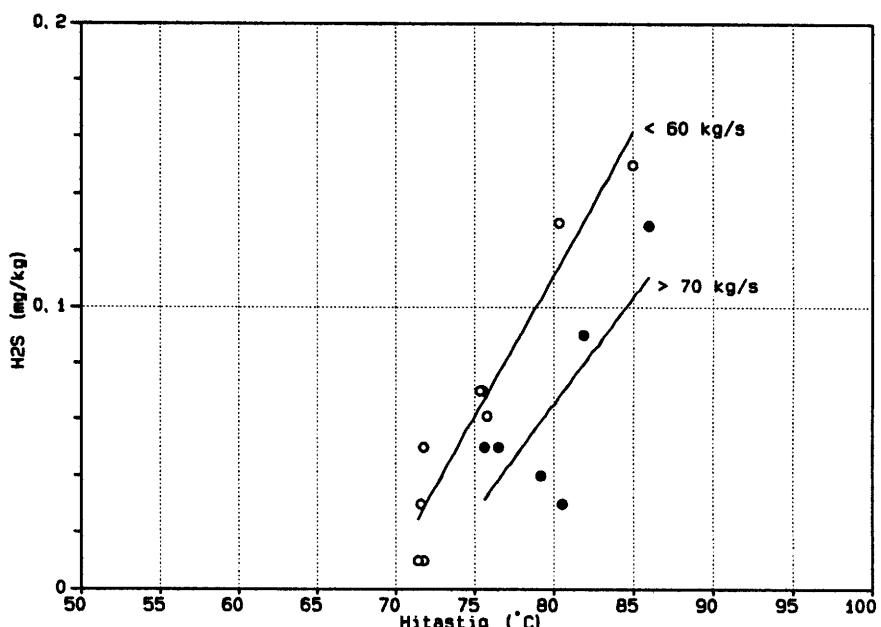


Mynd 3.9
Sýrustig (pH)
sem fall af
afloftunarhita

Samband sýrustigs og hitastigs stafar af minni styrk koldíoxfós (CO_2) í vatni sem afloftað er við hærri hita.

Lágþrýstigufan, sem hitar vatnið í súlunni, inniheldur um 0,8 mg/kg brennisteinsvetni. Styrkur gassins í lágþrýstigufunni er hár vegna þess að gasríkri gufu úr holu SG-10 er blandað við sjóinn fyrir framan háþrýstiskiljur sem eykur gasstyrk í jarðsjónum, sem streymir inn í lágþrýstiskiljur. Ferskvatnið sem streymir inn í súluna er brennisteinsvetnisfrítt en tekur upp brennisteinsvetni á leið niður súluna.

Mynd 3.10 sýnir styrk brennisteinsvetnis sem fall af afloftunarhitastigi.



Mynd 3.10
Styrkur H₂S
sem fall af
afloftunarhita

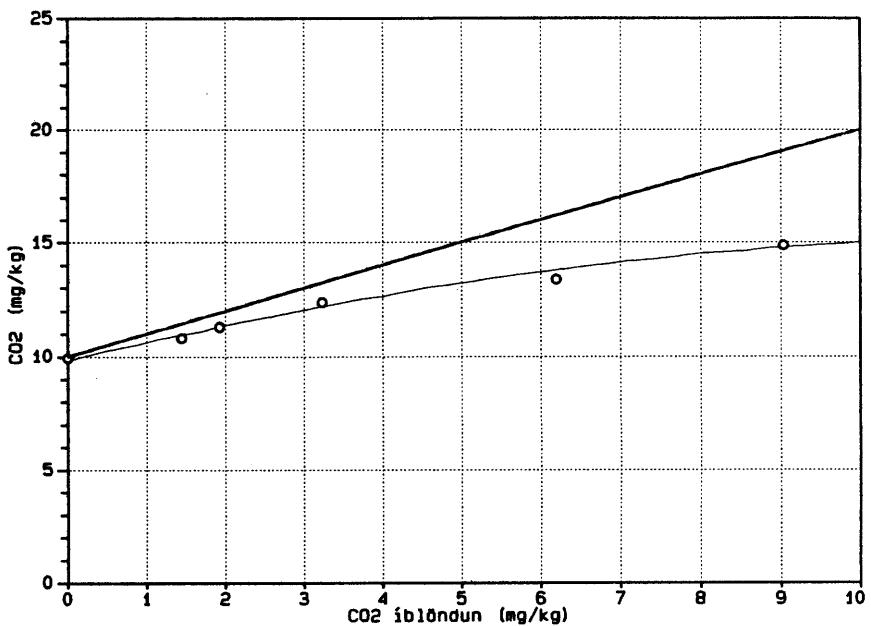
Styrkur H₂S er minnstur við lægri hita sem væntanlega stafar af efnahvarfi þess við súrefni í vatninu. Þetta bendir til þess að afloftunin sé lélegri við lægri hita þó það komi ekki fram sem súrefnisaukning í heita vatninu.

3.4 Gufublæðing

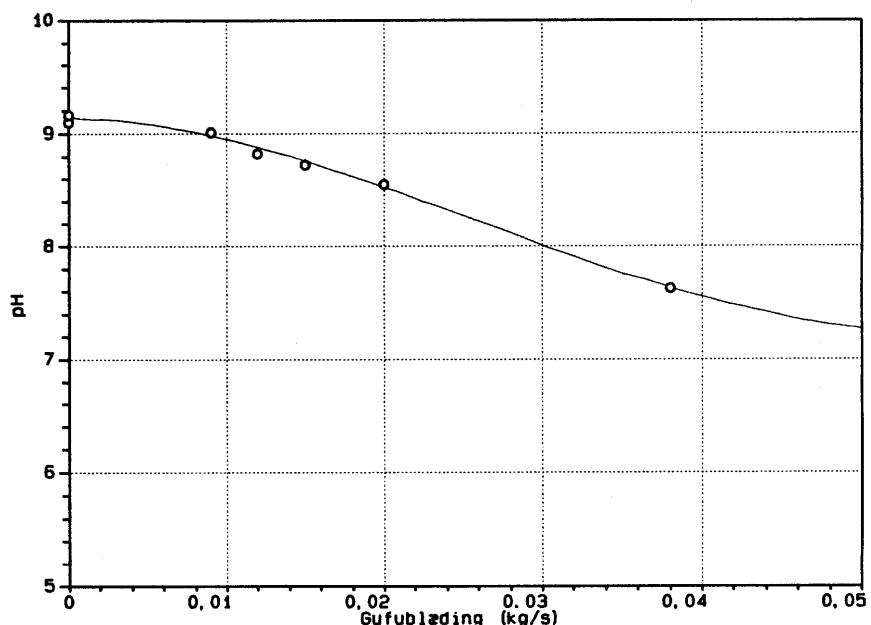
Gasríkri háþrystigufu er bætt í vatnið neðst í súlunni. Koldíoxiðið í gufunni, sem leysist í vatninu, lækkar sýrustig þess. Einnig eykst styrkur brennisteinsvetnis í vatninu.

Tekin voru sýni af háþrystigufunni og var streymi hennar mælt nákvæmlega. Þannig var hægt að reikna hversu mikil styrkur koldíoxiðs í heitavatninu ætti að hækka við ákveðna gufuíblöndun. Á mynd 3.11 er efnagreindur koldíoxiðsstyrkur í heitavatninu sýndur á móti koldíoxiðsíblöndunum. Beina línan sýnir þann styrk sem ætti að mælast ef allt gasið leysist upp í vatninu. Í ljós kom að aðeins hluti gassins leysist upp í vatninu og allt að helmingur leitaði upp súluna og út um gasþeysur. Við 2 mg/kg íblöndun leystu tveir þriðju gassins upp og sýrustig lækkaði í pH 9.

Mynd 3.12 sýnir samband sýrustigs í vatninu og gufuíblöndunar fyrir 60 kg/s framleiðslu.



Mynd 3.11
Uppleysing
koldíoxiðs
í heitt vatn

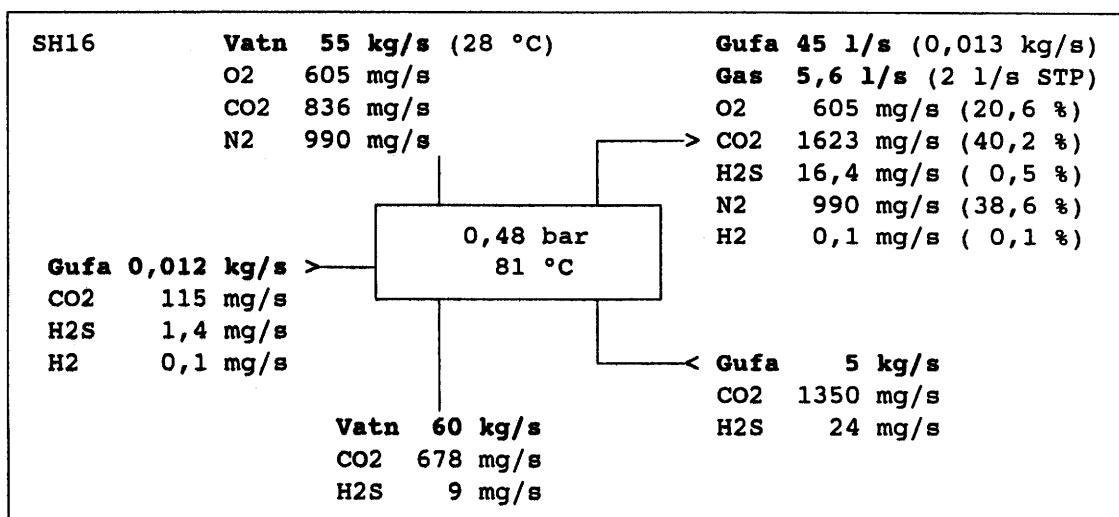


Mynd 3.12
Sýrustig
sem fall af
gufuíblöndun

Styrkur gass í gufunni var það hár að mjög litla gufuþlöndun þurfti til þess að lækka sýrustigið. Til þess að hækka styrkinn um 2 mg/kg og lækka sýrustigið í pH 9 þurfti aðeins 0,01 kg/s af gufu. Þetta er minni gufa en áður var reiknað með, en það er vegna þess hve gufan úr holu SG-10 er gasrík en henni er blandað við háþrýstigufuna og mældist koldíoxíðs-styrkur um 9400 mg/kg í henni. Það ásamt því að svörunartími er um ein klukkustund gerir handvirka stýringu erfíða.

3.5 Massavægi

Tekin voru sýni af inn- og útstreymi súlunnar til efnagreiningar. Þetta gerir mögulegt að reikna massavægi súlunnar þ.e. streymi einstakra gastegunda í súlunni. Mynd 3.13 sýnir dæmi um slíka reikninga fyrir 81°C afloftunarhitastig og 60 kg/s framleiðslu.



Mynd 3.13 Vatns-, gufu- og gasstreymi við 60 kg/s framleiðslu og 81 °C

Allt súrefni og köfnunarefni sem er í ferskvatninu sogast út um gufuþeysur og eru þau gös í þessu tilfelli um 60 % af rúmáli gassins sem þar fer út.

Koldíoxíð, sem rekið er úr vatninu, er aðeins tíundi hluti þess magns, sem streymir út um gufuþeysur. Mestur hluti þess kemur úr lágþrýstigufunni.

Megnið af brennisteinsvetninu, sem leysist í heita vatninu, kemur úr lágþrýstigufunni. Þriðjungur þess þrennisteinsvetnis, sem streymir inn í súluna með lágþrýsti og háþrýstigufu, leysist í vatninu á meðan tveir þriðju fara út um gufuþeysur.

Heildargasmagn sem soga þarf úr súlunni við þessar rekstraraðstæður er 2 l/s (STP, ein loftþyngd og 0°C).

4 TILLÖGUR

Afloftun í súlunni var fullnægjandi við 88 kg/s framleiðslu og 80 °C afloftunarhita, sem er 28 kg/s meiri framleiðsla en hönnunin gerði ráð fyrir. Það ætti því að vera hægt að auka afköstini að því marki án breytinga á súlunni.

Erfitt var að reka súluna við lágt hitastig vegna þess að gufuþeysur áttu það til að kafna. Hærra afloftunarhitastig kallar á aukinn lágþrýstijarðsjó, en hann hefur verið af skornum skammti. Það er því æskilegt að reka súluna við sem lægst hitastig. Til þess að auka afköst súlunnar við lægra hitastig en 80°C þarf að auka afköst útsogsbúnaðar frá því sem nú er. Miðað við 100 kg/s framleiðslu við 72 °C þarf útsogsbúnaðurinn a.m.k að soga 3 l/s (STP) af gasi, sem samsvarar 9,2 l/s við þrýsting 0,33 bar-abs.

Vegna mikils styrks koldíoxíðs í háþrýstigufu þarf mjög litla blæðingu til þess að lækka sýrustigið. Það ásamt því að svörunartími er um ein klukkustund gerir stýringuna erfiða og einnig geta rennslisbreytingar í súlunni breytt sýrustiginu ef gufublæðingin er föst. Æskilegt væri að stýra sýrustiginu sjálfvirkt með sýrustigsmælingu og nákvæmum gufuloka.

Hugsanlega væri til bóta að breyta fyrirkomulagi gufublæðingarinnar og blæða gufunni inn í lágþrýstisjóinn. Þá myndi megnið af gasinu leita upp súluna og út um útsogið. Þannig mætti auka nýtingu á háþrýstigufu í afloftunarsúlunum en skortur á lágþrýstisjó gæti takmarkað stækkan þeirra. Þetta mun þó kalla á aukin afköst útsogsbúnaðar og þarf að prófa betur.

Til bráðabirgða mætti bæta stýringuna með mælingu á gufustreymi inn í súluna en það væri ódýrast að gera með mælingu á krítiskum þrýstingi í gegnum blendu. Miðað við krítiskan þrýsting frá 1 til 4,5 barg væri heppileg blendustærð, fyrir gufustreymi frá 0,005 til 0,018 kg/s, 6 mm.

Framhald rannsókna

Prófa þarf afköst og gæði afloftunar við lægra hitastig og aukið rennsli. Til þess þarf að stækka útsogsbúnaðinn og opna sjólögnina betur. Prófanirnar gáfu vísbendingar um það að afloftun sé kraftminni við lægra hitastig og verður að kanna það betur en afköst núverandi búnaðar voru ekki nægileg til þess að kanna það að þessu sinni.

HEIMILDASKRÁ

Trausti Hauksson, 1986: *Magnesíum silikat útfellingar. Afloftunartilraunir í Hveragerði.* Orkustofnun, JHD-VT, Júlí 1986, 17s (óútgefið).

Trausti Hauksson og Sverrir Þórhallsson, 1993: *Útfellingar magnesíum-silikata. Áhrif sýrustigs og hitastigs á útfellingu magnesíum-silikata úr hitaveituvatni.* Skýrsla um niðurstöður tilrauna í Svartsengi og á Grafarholti. Orkustofnun, OS-93014/JHD-04, 52 s.

VIÐAUKAR

TÖFLUSKRÁ VIÐAUKA

Tafla

	bls
V1.1 Efnagreiningar heits vatns	23
V1.2 Efnagreiningar ferskvatns	24
V1.3 Efnagreiningar jarðsjávar	24
V1.4 Efnagreiningar háþrystigufu	24

MYNDASKRÁ VIÐAUKA

Mynd

	bls
V2.1.1 Sýrustig heits vatns, prófanir 01 til 04	27
V2.1.2 Rennsli, vatns og gufu, prófanir 01 til 04	27
V2.1.3 Hitastig vatns og gass, prófanir 01 til 04	27
V2.1.4 Prýstingur í súlu og útsogi, prófanir 01 til 04	28
V2.1.5 Gashlutfall í útsogi, prófanir 01 til 04	28
V2.1.6 Vatnsborð í súlu, prófanir 01 til 04	28
V2.2.1 Sýrustig heits vatns, prófanir 05 til 09	29
V2.2.2 Rennsli, vatns og gufu, prófanir 05 til 09	29
V2.2.3 Hitastig vatns og gass, prófanir 05 til 09	29
V2.2.4 Prýstingur í súlu og útsogi, prófanir 05 til 09	30
V2.2.5 Gashlutfall í útsogi, prófanir 05 til 09	30
V2.2.6 Vatnsborð í súlu, prófanir 05 til 09	30
V2.3.1 Sýrustig heits vatns, prófanir 10 til 14	31
V2.3.2 Rennsli, vatns og gufu, prófanir 10 til 14	31
V2.3.3 Hitastig vatns og gass, prófanir 10 til 14	31
V2.3.4 Prýstingur í súlu og útsogi, prófanir 10 til 14	32
V2.3.5 Gashlutfall í útsogi, prófanir 10 til 14	32
V2.3.6 Vatnsborð í súlu, prófanir 10 til 14	32
V2.4.1 Sýrustig heits vatns, prófanir 15 til 19	33
V2.4.2 Rennsli, vatns og gufu, prófanir 15 til 19	33
V2.4.3 Hitastig vatns og gass, prófanir 15 til 19	33
V2.4.4 Prýstingur í súlu og útsogi, prófanir 15 til 19	34
V2.4.5 Gashlutfall í útsogi, prófanir 15 til 19	34
V2.4.6 Vatnsborð í súlu, prófanir 15 til 19	34
V2.5.1 Sýrustig heits vatns, prófanir 20 til 24	35
V2.5.2 Rennsli, vatns og gufu, prófanir 20 til 24	35
V2.5.3 Hitastig vatns og gass, prófanir 20 til 24	35
V2.5.4 Prýstingur í súlu og útsogi, prófanir 20 til 24	36
V2.5.5 Gashlutfall í útsogi, prófanir 20 til 24	36
V2.5.6 Vatnsborð í súlu, prófanir 20 til 24	36
V2.6.1 Sýrustig heits vatns, prófanir 25 til 27	37
V2.6.2 Rennsli, vatns og gufu, prófanir 25 til 27	37
V2.6.3 Hitastig vatns og gass, prófanir 25 til 27	37
V2.6.4 Prýstingur í súlu og útsogi, prófanir 25 til 27	38
V2.6.5 Gashlutfall í útsogi, prófanir 25 til 27	38
V2.6.6 Vatnsborð í súlu, prófanir 25 til 27	38
V2.7.1 Sýrustig heits vatns, prófanir 28 til 30	39
V2.7.2 Rennsli, vatns og gufu, prófanir 28 til 30	39
V2.7.3 Hitastig vatns og gass, prófanir 28 til 30	39
V2.7.4 Prýstingur í súlu og útsogi, prófanir 28 til 30	40
V2.7.5 Gashlutfall í útsogi, prófanir 28 til 30	40
V2.7.6 Vatnsborð í súlu, prófanir 28 til 30	40
V2.8.1 Sýrustig heits vatns, prófanir 31 til 34	41
V2.8.2 Rennsli, vatns og gufu, prófanir 31 til 34	41
V2.8.3 Hitastig vatns og gass, prófanir 31 til 34	41
V2.8.4 Prýstingur í súlu og útsogi, prófanir 31 til 34	42
V2.8.5 Gashlutfall í útsogi, prófanir 31 til 34	42
V2.8.6 Vatnsborð í súlu, prófanir 31 til 34	42

VIÐAUKI 1

**EFNAGREININGAR
VATNS OG GUFU**

**Tafla VI.1 Afloftunarprófanir í Svartsengi.
Efnagreiningar hitaveituvatns.**

Dags	kl	Sýni nr:	Vatnsrennslí		Gufurennslí		Hitastig		Efnagreining-----					
			kalt (kg/s)	heitt (kg/s)	Lp (kg/s)	Hp (kg/s)	Inn (°C)	Út (°C)	pH	CO ₂ (mg/kg)	H ₂ S (mg/kg)	O ₂ (μg/kg)	þrýst. (bara)	
03.11.95	13:55	SH01	54,8	59,4	4,6	0,000	27,6	75,8	9,10	9,9	0,06	1	0,399	17,9
03.11.95	15:15	SH02	54,7	59,3	4,6	0,020	27,6	76,0	8,55	12,4	0,08	1	0,401	17,7
03.11.95	16:10	SH03	54,3	58,8	4,5	0,038	27,5	76,0	7,63	13,4	0,09	1	0,402	19,5
03.11.95	17:11	SH04	54,9	59,5	4,6	0,056	27,5	76,1	7,26	14,9	0,13	2	0,403	20,1
04.11.95	12:45	SH05	55,1	59,6	4,5	0,015	27,3	75,7	8,72	12,2	0,07	1	0,397	17,8
04.11.95	15:35	SH06	34,6	37,4	2,8	0,015	27,3	75,1	8,53	12,7	0,10	1	0,387	8,9
04.11.95	16:45	SH07	34,6	37,4	2,8	0,000	27,3	75,5	9,10	10,1	0,07	2	0,394	9,8
04.11.95	17:55	SH08	44,3	48,1	3,8	0,000	26,0	75,6	9,13	10,3	0,07	1	0,395	18,0
04.11.95	18:45	SH09	44,8	48,6	3,8	0,015	26,0	75,8	8,79	12,1	0,10	1	0,399	11,4
05.11.95	11:40	SH10	54,8	60,4	5,6	0,000	26,1	85,3	9,30	8,8	0,07	0	0,585	7,4
05.11.95	12:40	SH11	54,4	60,0	5,6	0,015	26,1	85,3	8,99	10,9	0,09	1	0,585	8,6
05.11.95	13:30	SH12	64,4	71,0	6,6	0,015	26,3	85,1	8,98	10,6	0,09	2	0,581	9,7
05.11.95	17:00	SH13	34,5	38,0	3,5	0,015	26,3	84,8	8,77	11,5	0,16	6	0,572	5,1
05.11.95	18:35	SH14	34,5	38,0	3,5	0,000	25,9	85,0	9,30	8,8	0,15	5	0,578	5,0
20.11.95	14:30	SH15	53,3	58,2	4,9	0,000	27,4	80,4	9,16	9,6	0,13	0	0,482	11,7
20.11.95	16:03	SH16	54,9	59,9	5,0	0,012	27,5	80,6	8,83	11,3	0,15	2	0,486	10,8
20.11.95	17:17	SH17	55,0	60,0	5,0	0,009	27,6	80,3	9,01	10,8	0,13	0	0,480	11,5
20.11.95	18:13	SH18	65,5	71,4	5,9	0,009	27,6	80,6	9,02	10,3	0,12	2	0,484	14,9
20.11.95	19:50	SH19	74,9	81,8	6,9	0,009	27,5	80,8	9,01	10,4	0,12	1	0,489	20,3
21.11.95	11:00	SH20	74,4	81,2	6,8		27,4	80,5	9,12	9,8	0,03	0	0,483	22,5
21.11.95	12:40	SH21	80,4	87,6	7,2		27,4	79,2	9,06	10,0	0,04	0	0,458	57,3
21.11.95	14:40	SH22	80,4	87,0	6,6		27,6	75,4	7,21	22,3	0,01	7	0,393	82,3
21.11.95	16:05	SH23	74,5	80,7	6,2		27,3	75,8	6,88	22,3	0,02	70	0,398	93,8
21.11.95	18:20	SH24	69,9	75,7	5,8		27,4	75,6	8,86	11,0	0,05	1	0,396	93,3
22.11.95	15:05	SH25	64,5	69,9	5,4		27,6	76,5	9,07	10,4	0,05	1	0,411	34,0
22.11.95	16:05	SH26	64,5	70,5	6,0		27,9	81,9	9,11	9,3	0,09	0	0,510	13,2
22.11.95	17:25	SH27	65,1	71,6	6,5		28,2	86,0	9,15	8,8	0,13	0	0,600	9,8
29.11.95	14:00	SH28	54,4	58,8	4,4		27,9	75,4	9,04	10,5	0,07	2	0,392	17,4
29.11.95	18:45	SH29	54,8	58,9	4,1		27,7	71,8	9,02	11,4	0,05	0	0,336	94,7
29.11.95	19:50	SH30	54,8	59,0	4,2		27,7	71,8	8,86	12,9	0,01	0	0,337	95,4
30.11.95	10:20	SH31	55,1	59,2	4,1		28,1	71,4	8,84	11,4	0,01	4	0,332	95,7
30.11.95	12:35	SH32	54,5	58,6	4,1		28,2	71,8	8,72	12,9	0,01	1	0,337	93,9
30.11.95	15:20	SH33	54,9	58,9	4,0		28,3	71,7	6,88	17,9	0,01	16	0,335	92,0
01.12.95	10:40	SH34	44,9	48,3	3,4		28,0	71,6	9,03	10,5	0,03	1	0,333	81,2

**Tafla VI.2 Afloftunarprófanir í Svartsengi.
Efnagreiningar ferskvatns.**

Sýni	Dags	kl	Hitast. (°C)	pH	/ °C	CO2 (mg/kg)	H2S (mg/kg)	O2 (mg/kg)
SK01	02.11.95	11:00	27,6	7,58	25,0	16,1	0	11,1
SK02	03.11.95	16:30	27,6	7,63	23,5	15,2	0	
SK03	05.11.95	15:00	26,3	7,58	23,5	16,0	0	
SK04	20.11.95	18:20	27,6	7,52	23,7	16,0	0	11,1
SK05	29.11.95	15:00	27,6	7,62	24,7	16,2	0	

**Tafla VI.3 Afloftunarprófanir í Svartsengi.
Efnagreiningar jarðsjávar.**

Sýni	Dags	kl	Hitast. (°C)	pH	/ °C	CO2 (mg/kg)	H2S (mg/kg)
SS01	02.11.95	11:00	158	6,67	23,4	46,0	0,79
SS02	03.11.95	16:30	158	6,58	23,7	46,3	0,81
SS03	05.11.95	15:00	158	6,59	25,5	45,3	0,77
SS05	21.11.95	15:00	158	6,73	29,2	51,5	0,92
SS06	29.11.95	15:00	158	6,63	23,0	42,3	1,05
SS07	30.11.95	11:45	158	6,63	25,1	45,4	0,98

**Tafla VI.4 Afloftunarprófanir í Svartsengi.
Efnagreiningar háþrýstigufu.**

Sýni	Dags	kl	Hitast. (°C)	CO2 (mg/kg)	H2S (mg/kg)
SG02	03.11.95	11:45	158	9581	119
SG03	05.11.95	14:40	158	9255	123

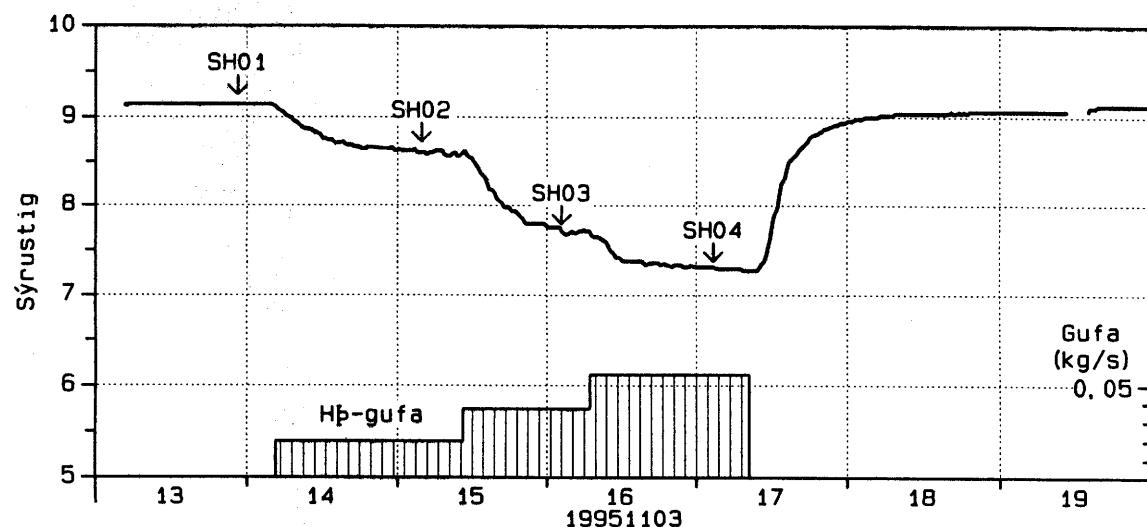
VIÐAUKI 2

**TÖLVUSKRÁÐAR
MÆLINGAR**

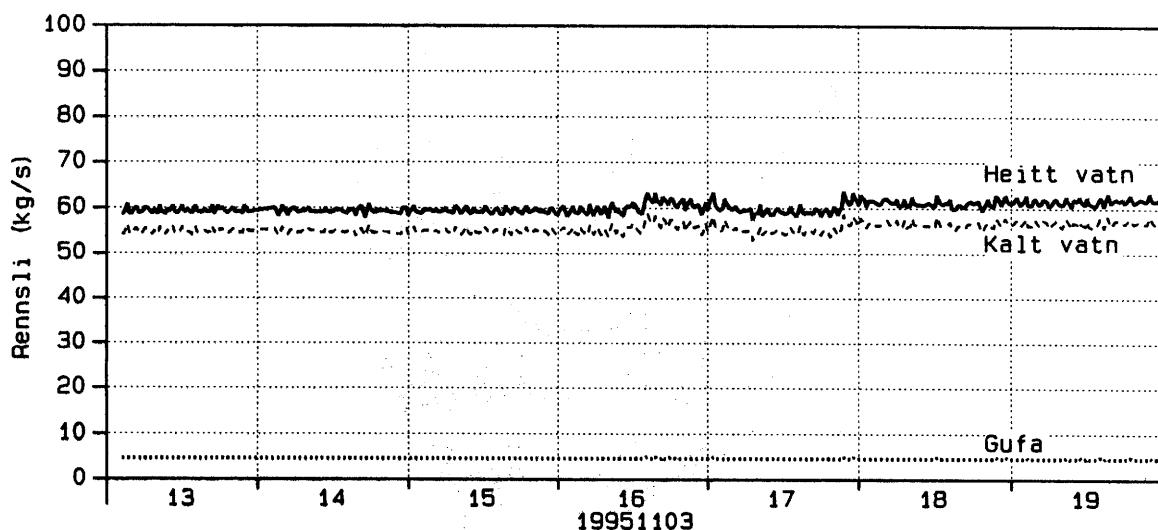
V2 Tölvuskráðar mælingar

Tölvuskráðar mælingar voru fluttar í forritið VDATA til þess að reikna afleiddar stærðir og teikna mælingarnar á móti tíma. Gufurennslí var reiknað út frá hitastigi vatns og rennsli kalds vatns. Rennslí hitaveituvatns er summa ferskvatns og gufu. Gasprósenta reiknaðist út frá hitastigi og þrýstingi í útstreymisrá.

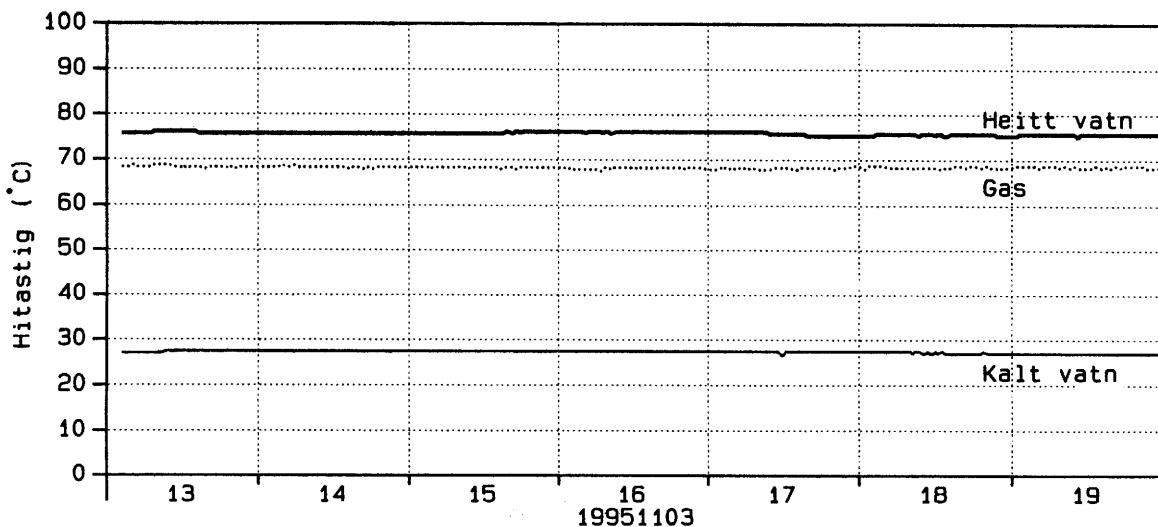
Númer sýnis er sýnt á myndum fyrir sýrustigsmælingu í hitaveituvatninu.



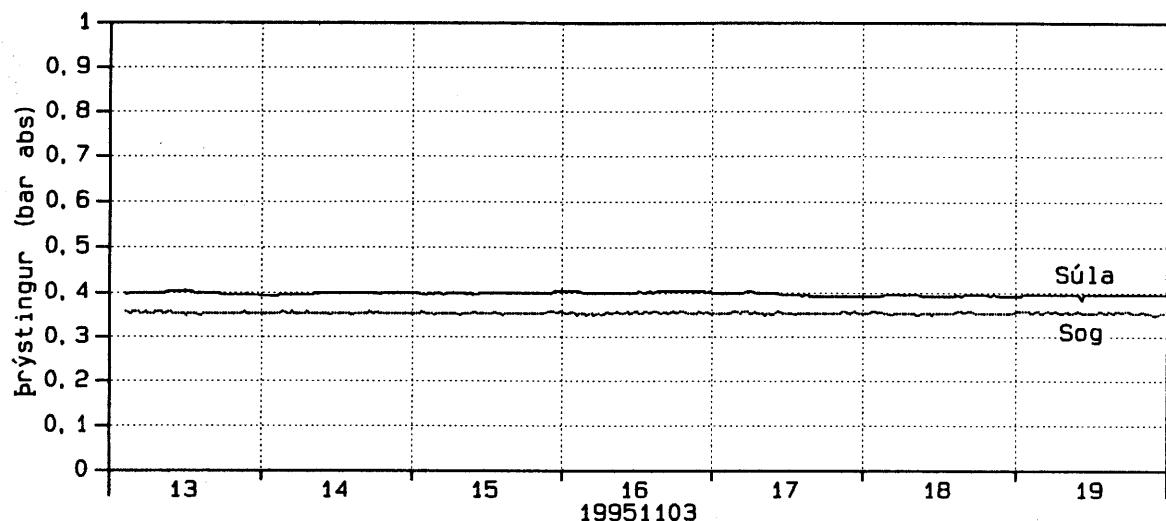
Mynd V2.1.1 Sýrustig heits vatns, prófanir 01 til 04



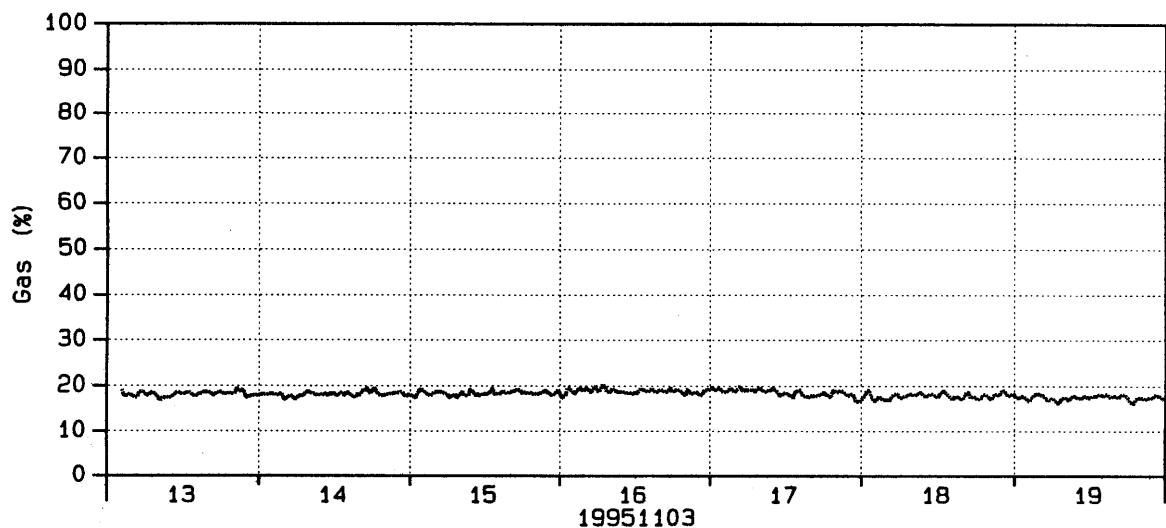
Mynd V2.1.2 Rennsli, vatns og gufu, prófanir 01 til 04



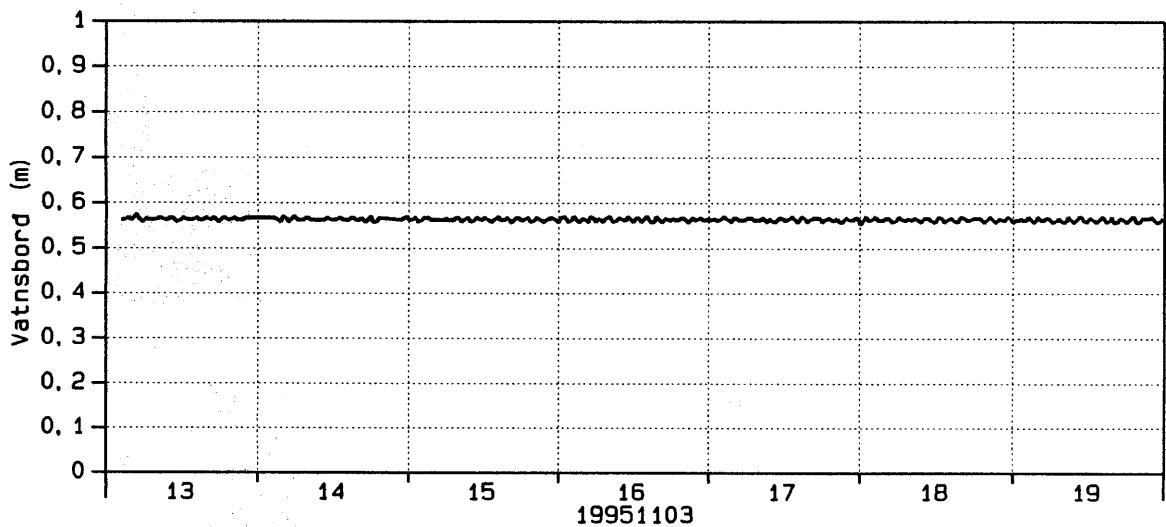
Mynd V2.1.3 Hitastig vatns og gass, prófanir 01 til 04



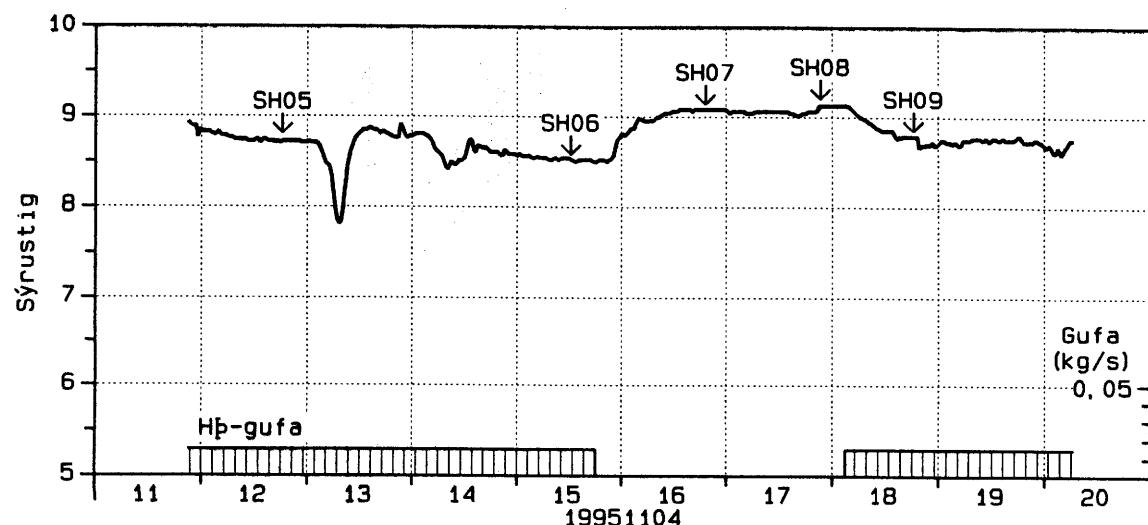
Mynd V2.1.4 Prýstingur í súlu og útsogi, prófanir 01 til 04



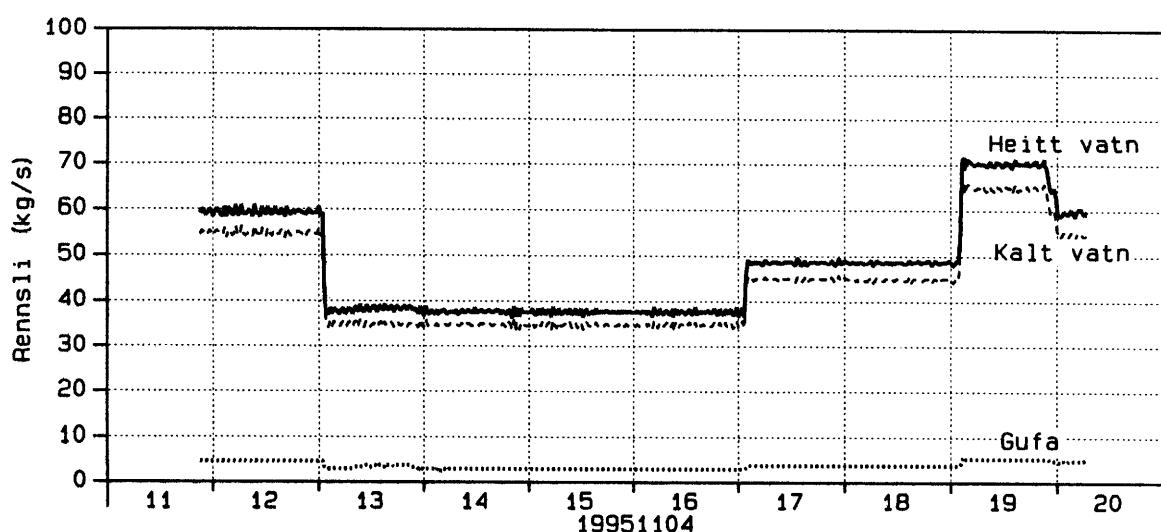
Mynd V2.1.5 Gashlutfall í útsogi, prófanir 01 til 04



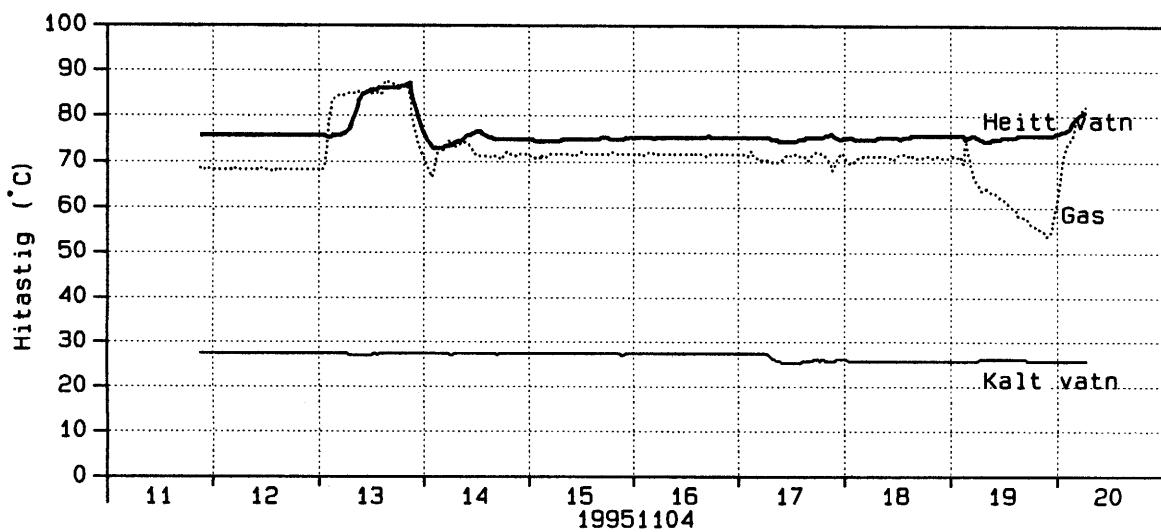
Mynd V2.1.6 Vatnsborð í súlu, prófanir 01 til 04



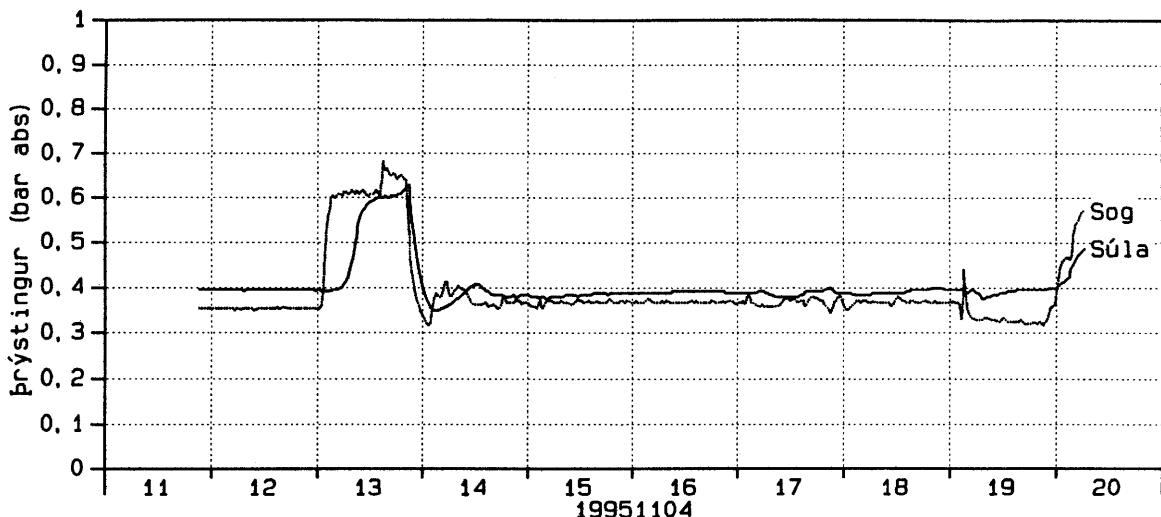
Mynd V2.2.1 Sýrustig heits vatns, prófanir 05 til 09



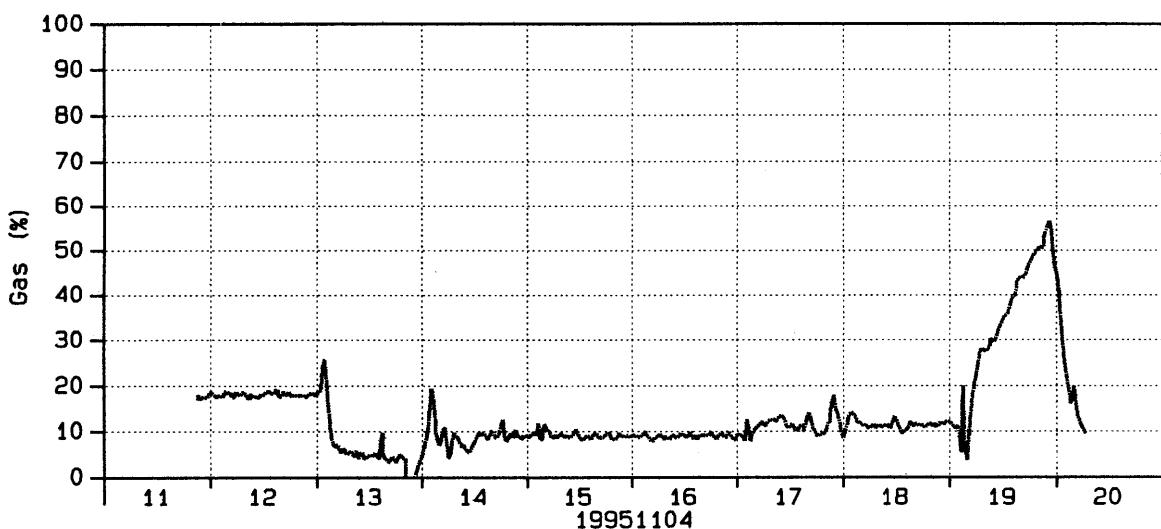
Mynd V2.2.2 Rennsli, vatns og gufu, prófanir 05 til 09



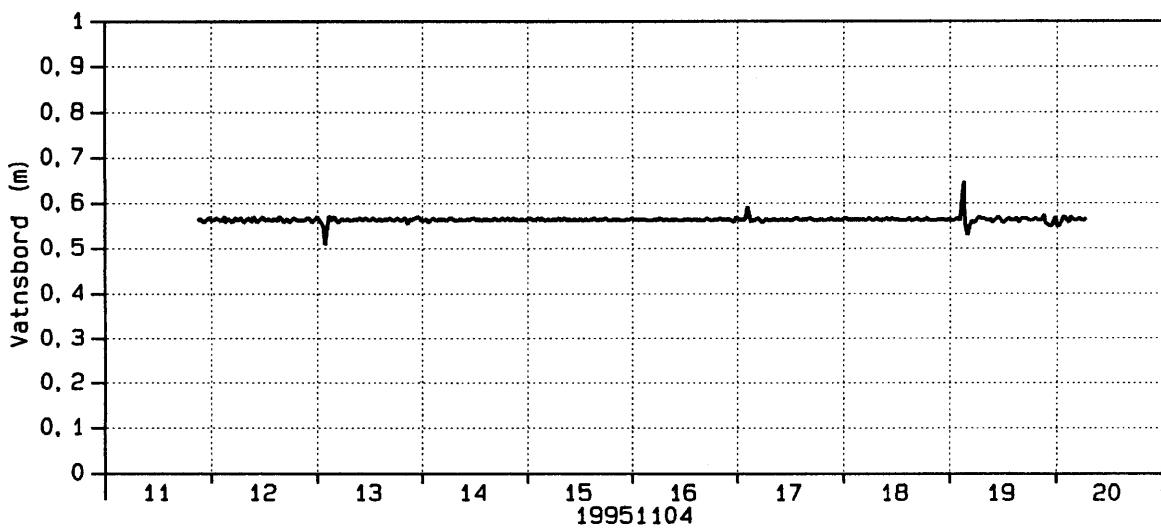
Mynd V2.2.3 Hitastig vatns og gass, prófanir 05 til 09



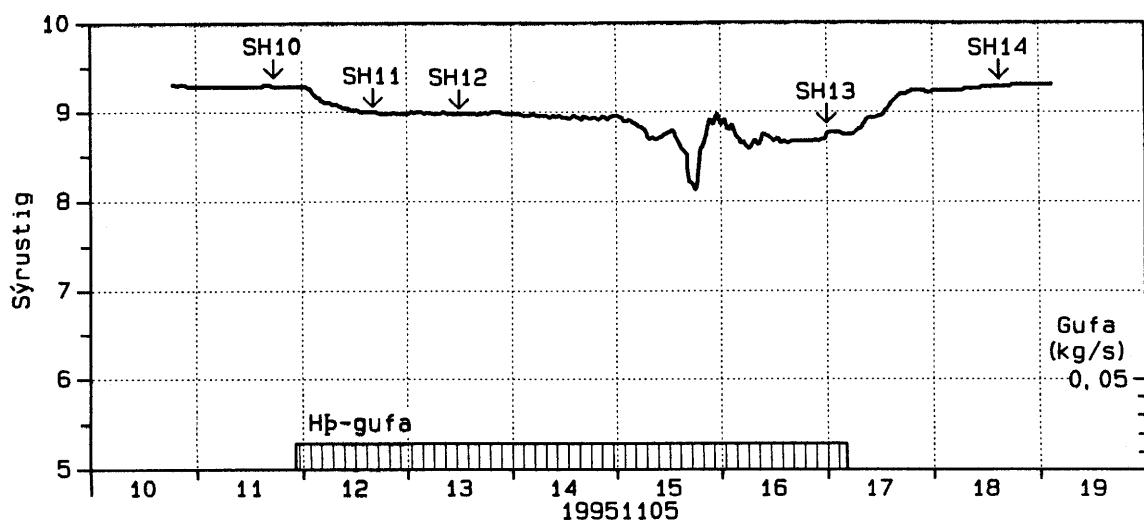
Mynd V2.2.4 Prýstingur í súlu og útsogi, prófanir 05 til 09



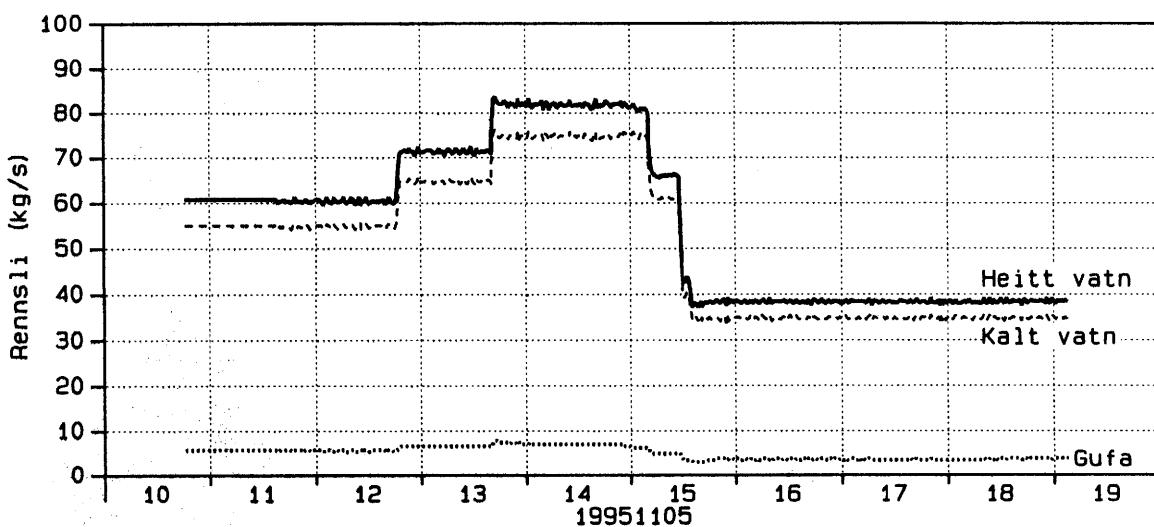
Mynd V2.2.5 Gashlutfall í útsogi, prófanir 05 til 09



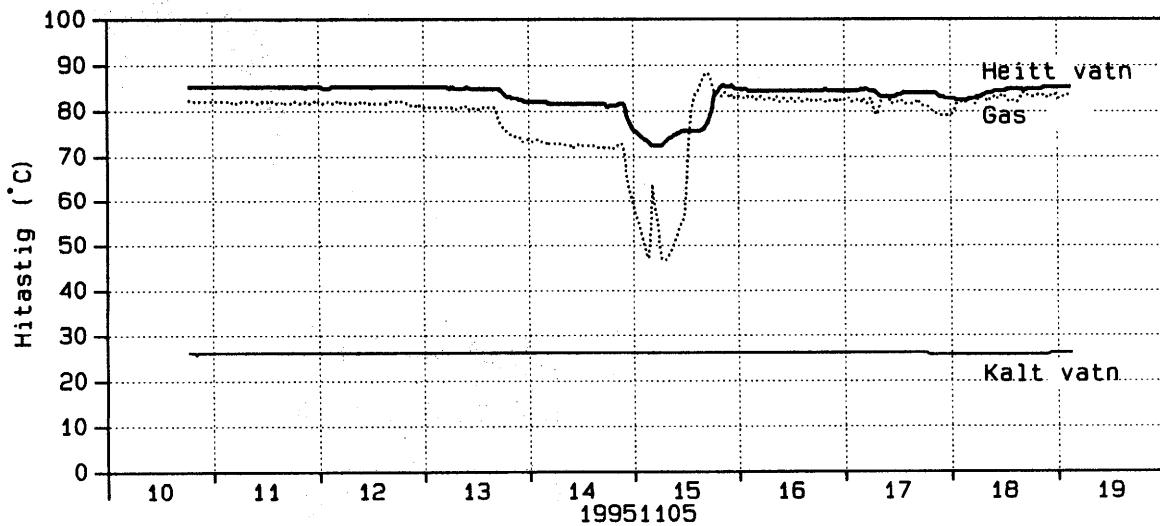
Mynd V2.2.6 Vatnsborð í súlu, prófanir 05 til 09



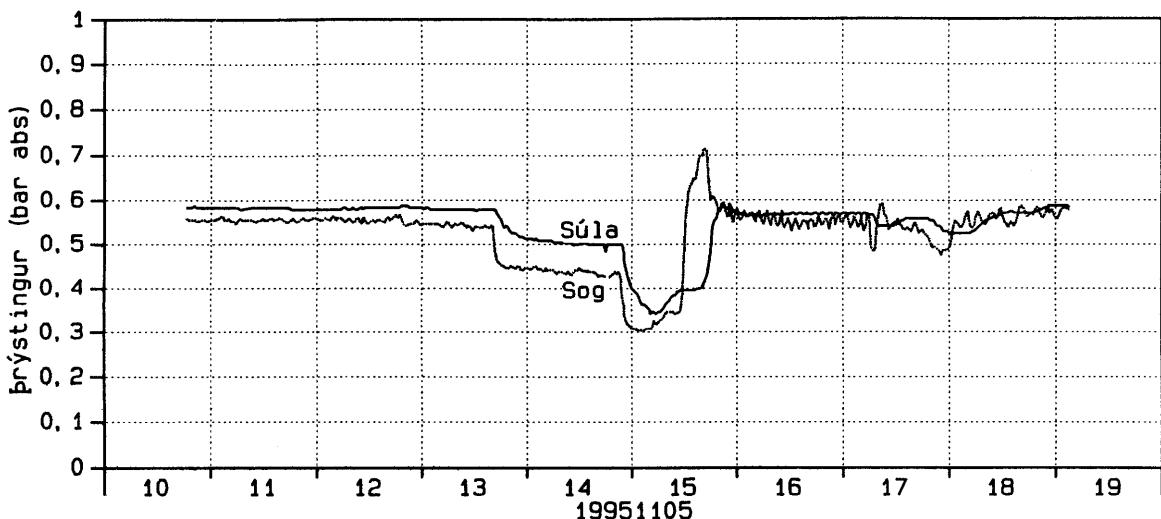
Mynd V2.3.1 Sýrustig heits vatns, prófanir 10 til 14



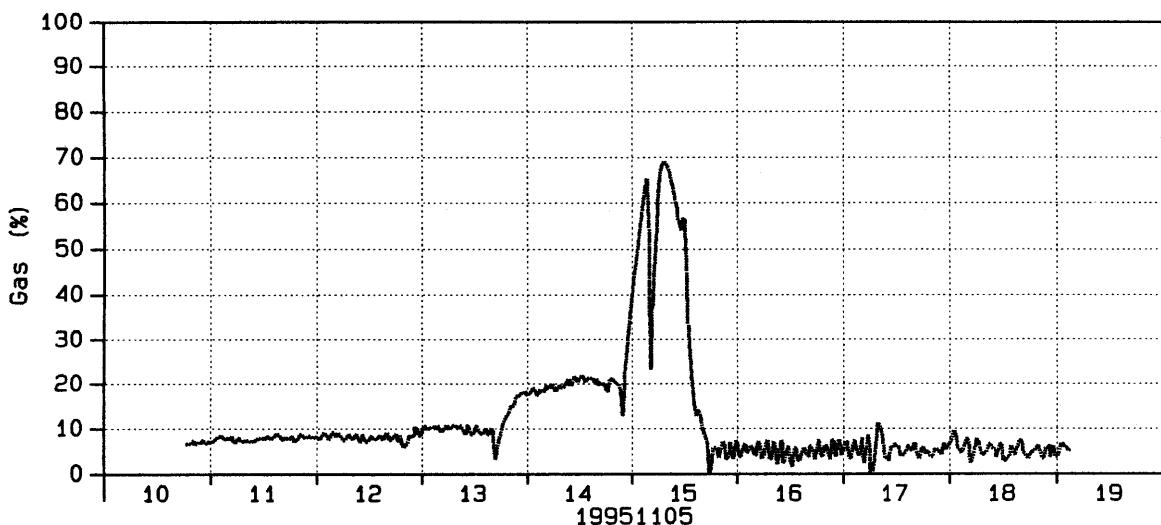
Mynd V2.3.2 Rennsli, vatns og gufu, prófanir 10 til 14



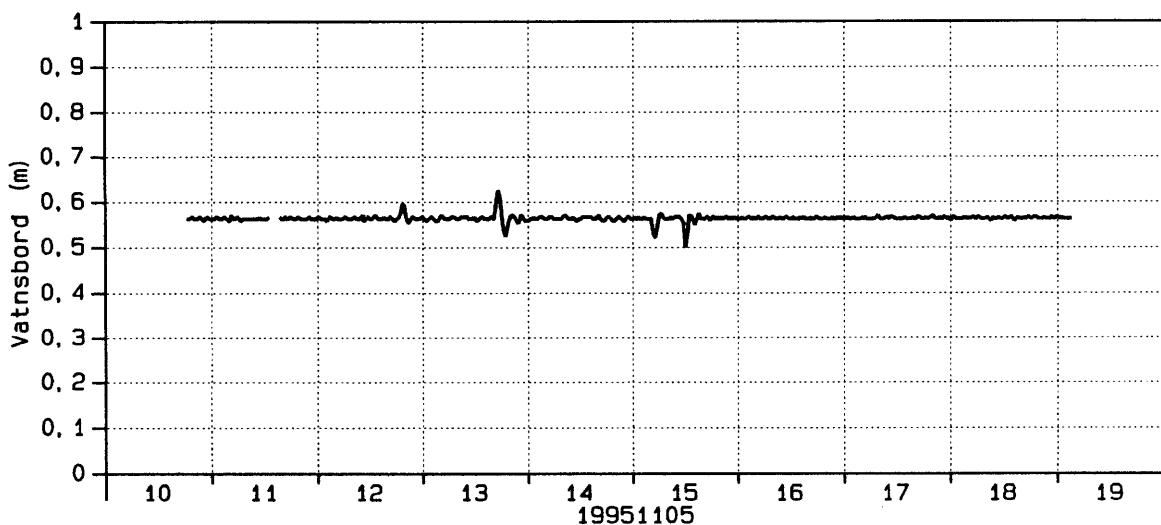
Mynd V2.3.3 Hitastig vatns og gass, prófanir 10 til 14



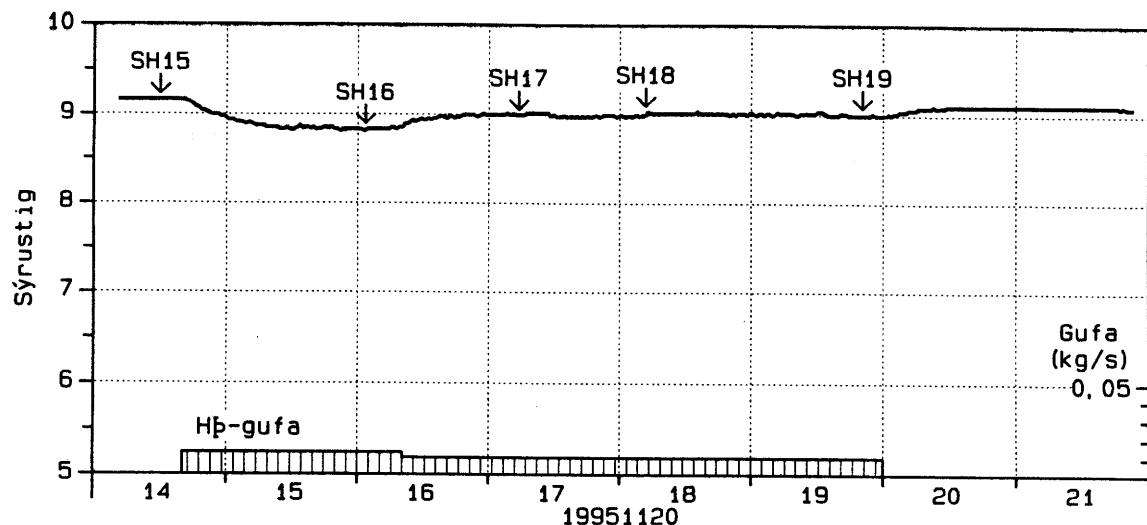
Mynd V2.3.4 Þrýstingur í súlu og útsogi, prófanir 10 til 14



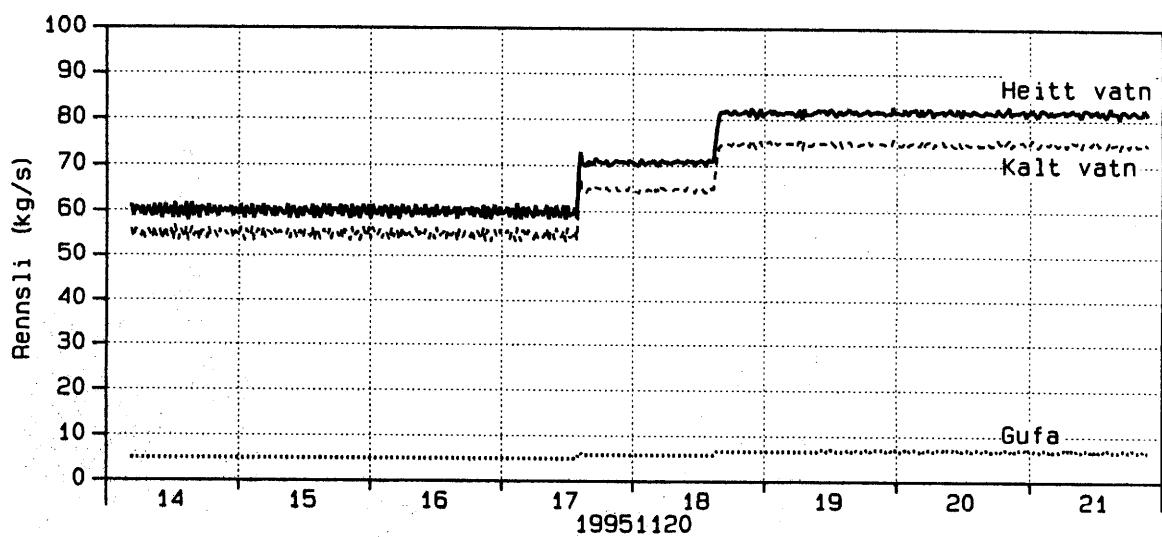
Mynd V2.3.5 Gashlutfall í útsogi, prófanir 10 til 14



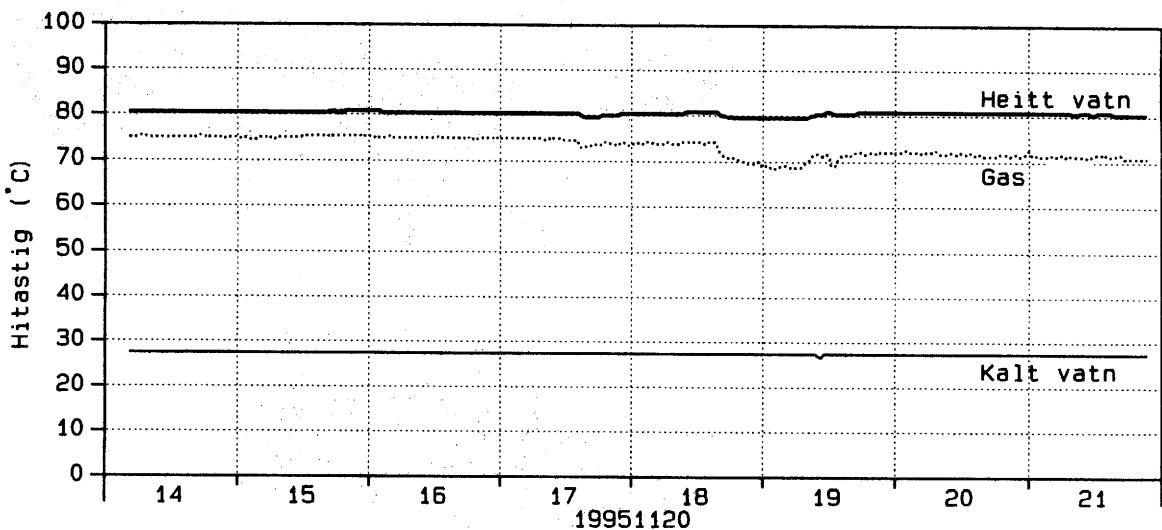
Mynd V2.3.6 Vatnsborð í súlu, prófanir 10 til 14



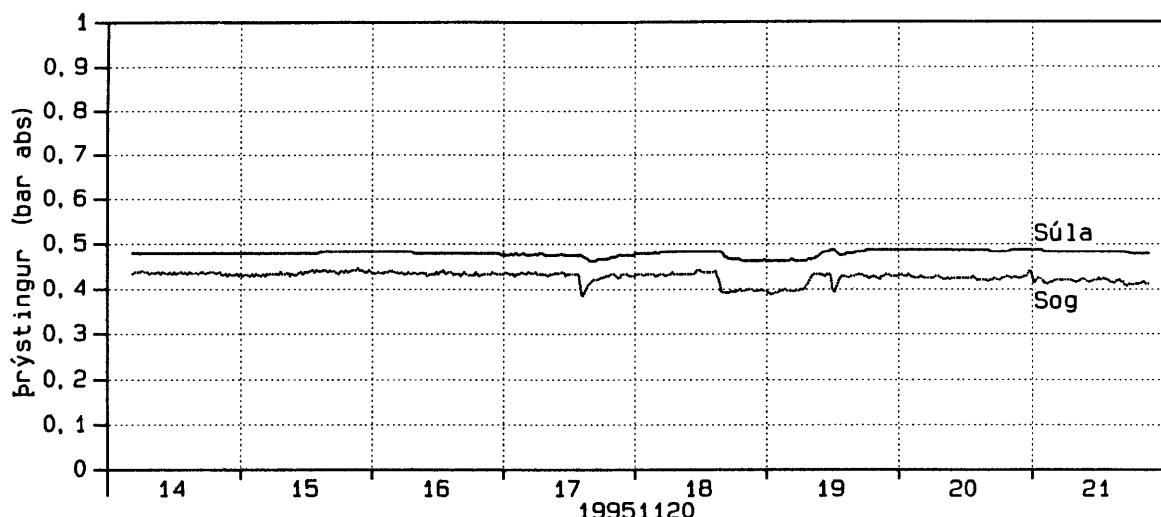
Mynd V2.4.1 Sýrustig heits vatns, prófanir 15 til 19



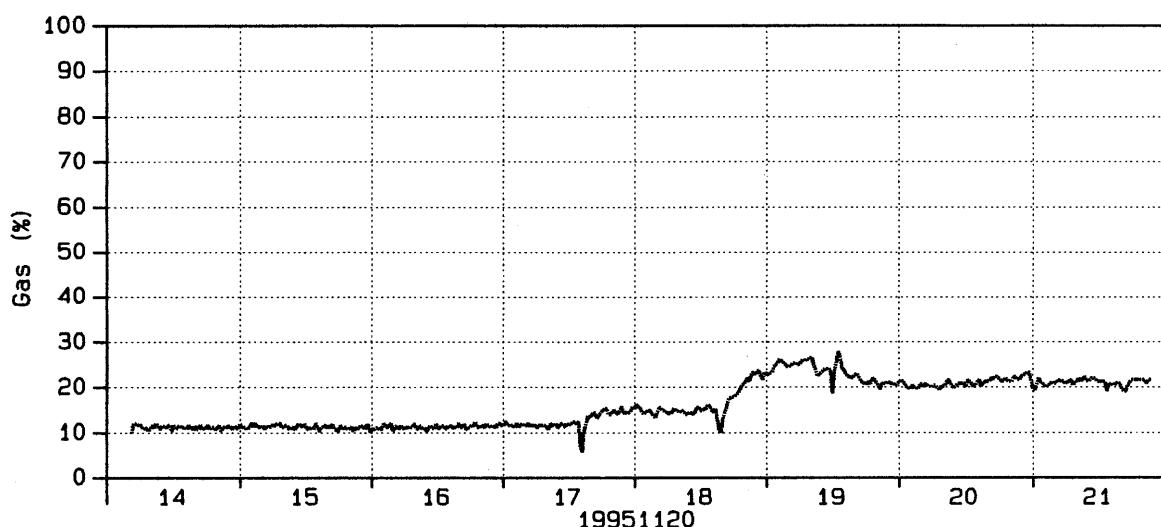
Mynd V2.4.2 Rennsli, vatns og gufu, prófanir 15 til 19



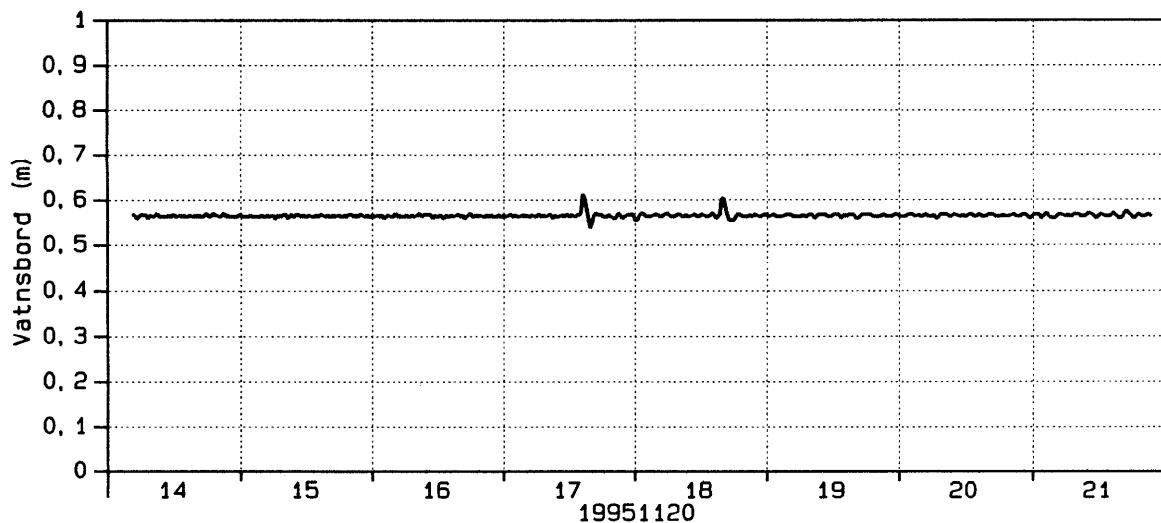
Mynd V2.4.3 Hitastig vatns og gass, prófanir 15 til 19



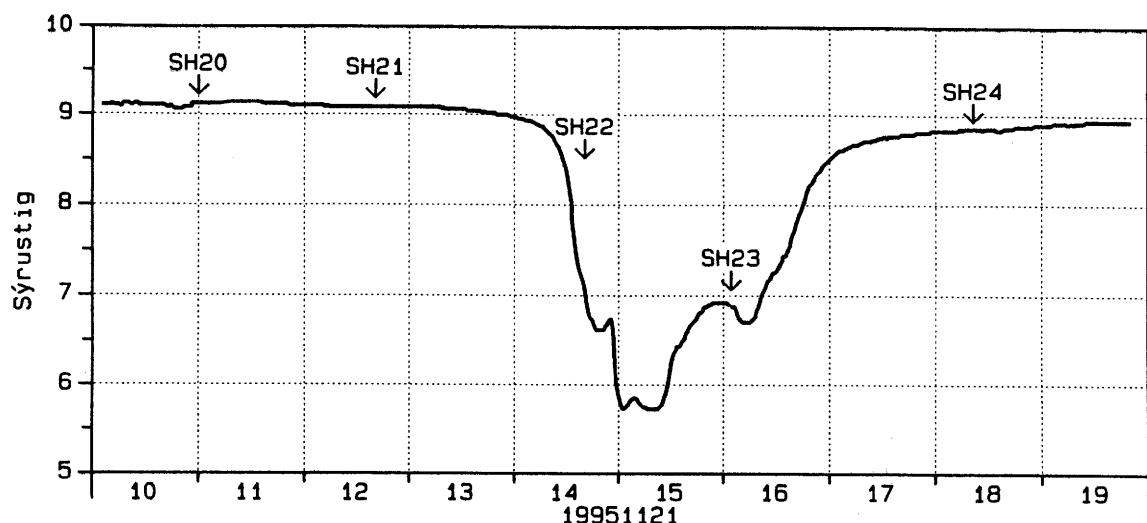
Mynd V2.4.4 Prýstingur í súlu og útsogi, prófanir 15 til 19



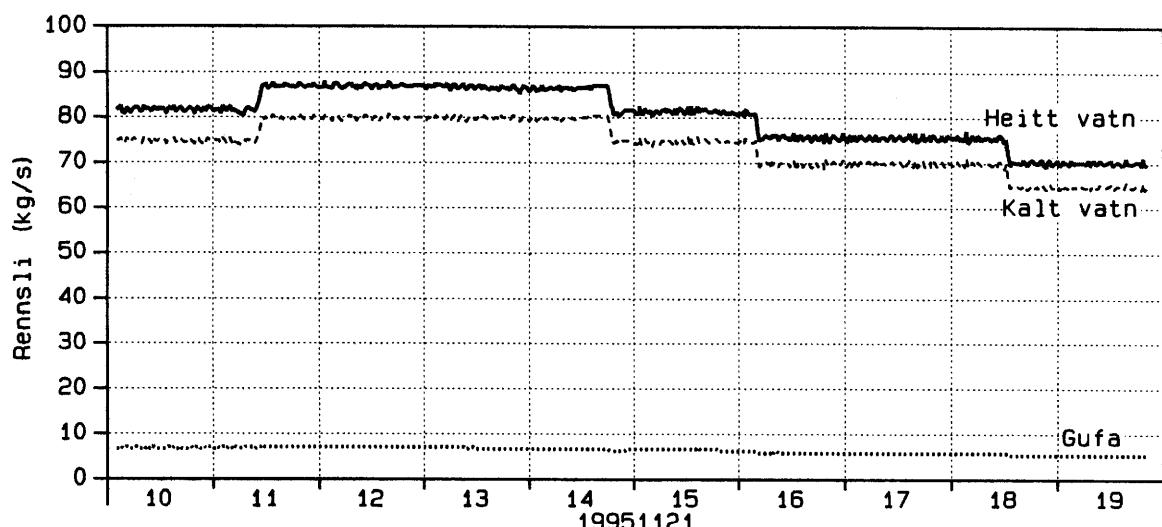
Mynd V2.4.5 Gashlutfall í útsogi, prófanir 15 til 19



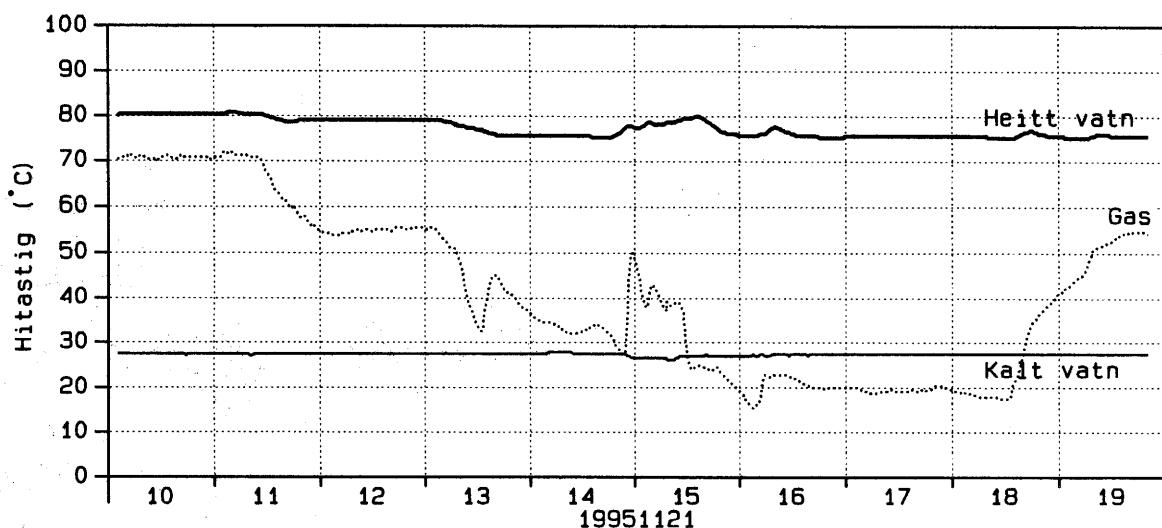
Mynd V2.4.6 Vatnsborð í súlu, prófanir 15 til 19



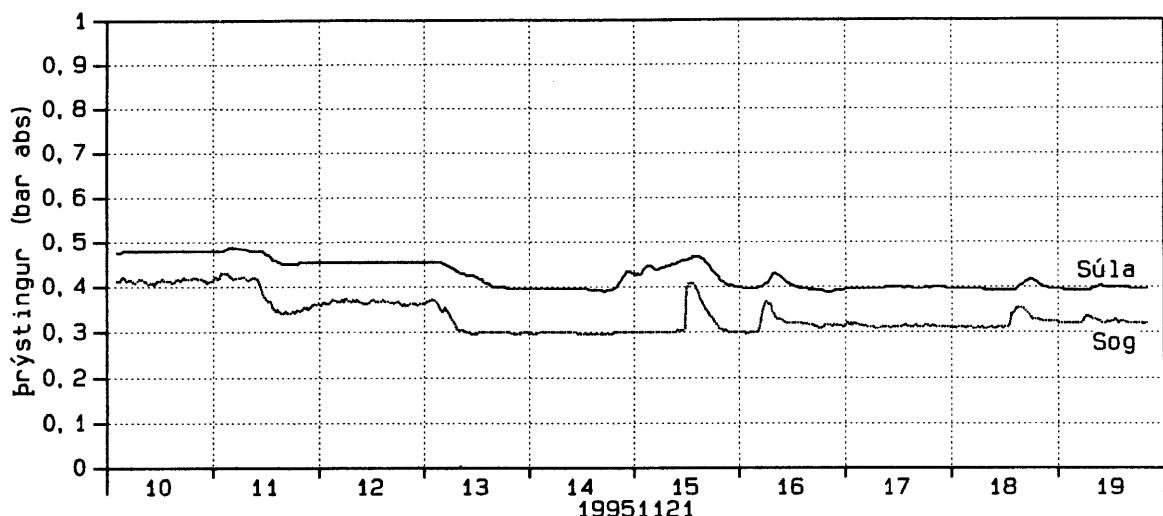
Mynd V2.5.1 Sýrustig heits vatns, prófanir 20 til 24



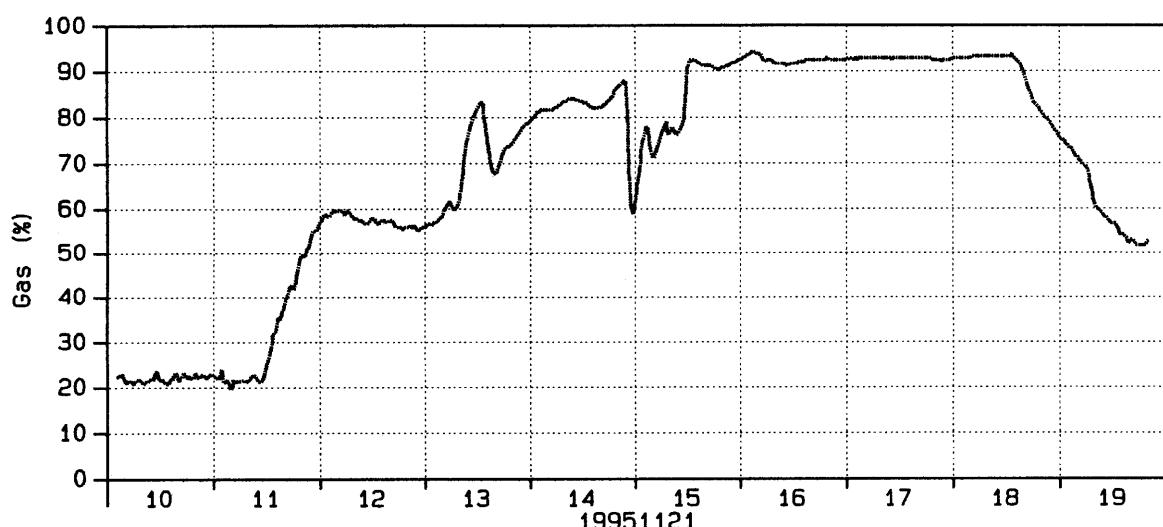
Mynd V2.5.2 Rennsli, vatns og gufu, prófanir 20 til 24



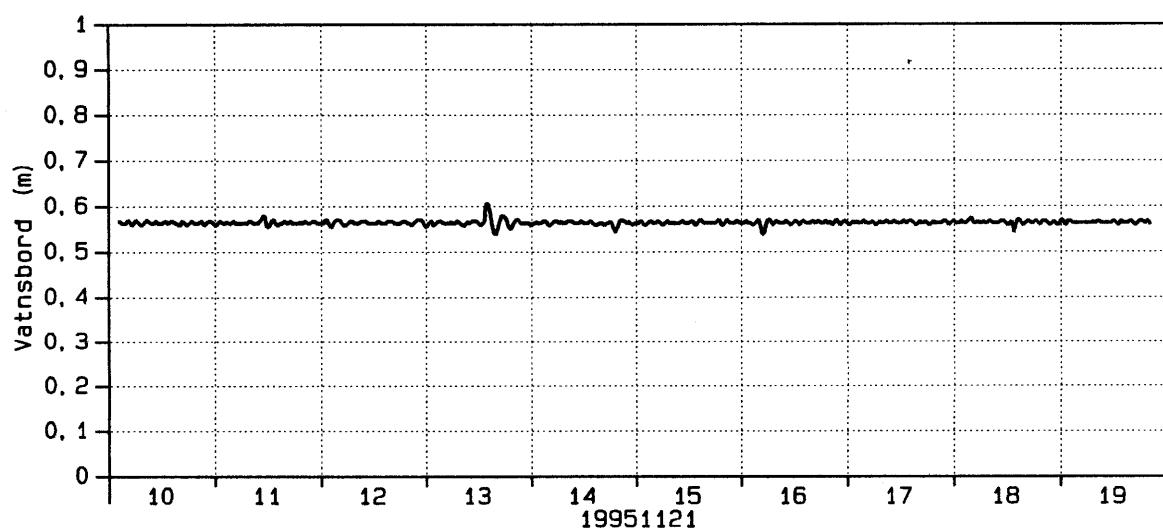
Mynd V2.5.3 Hitastig vatns og gass, prófanir 20 til 24



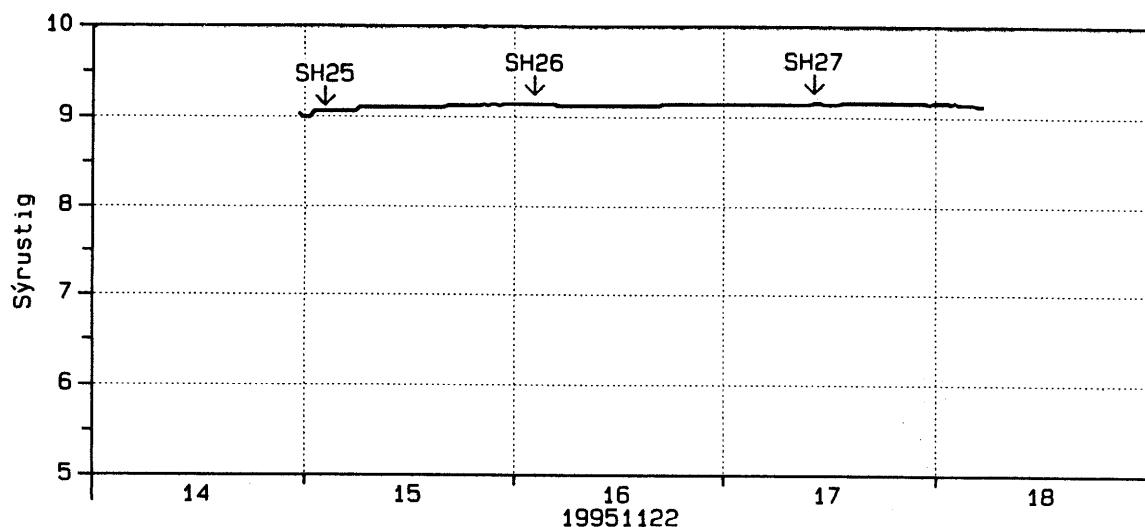
Mynd V2.5.4 Prýstingur í súlu og útsogi, prófanir 20 til 24



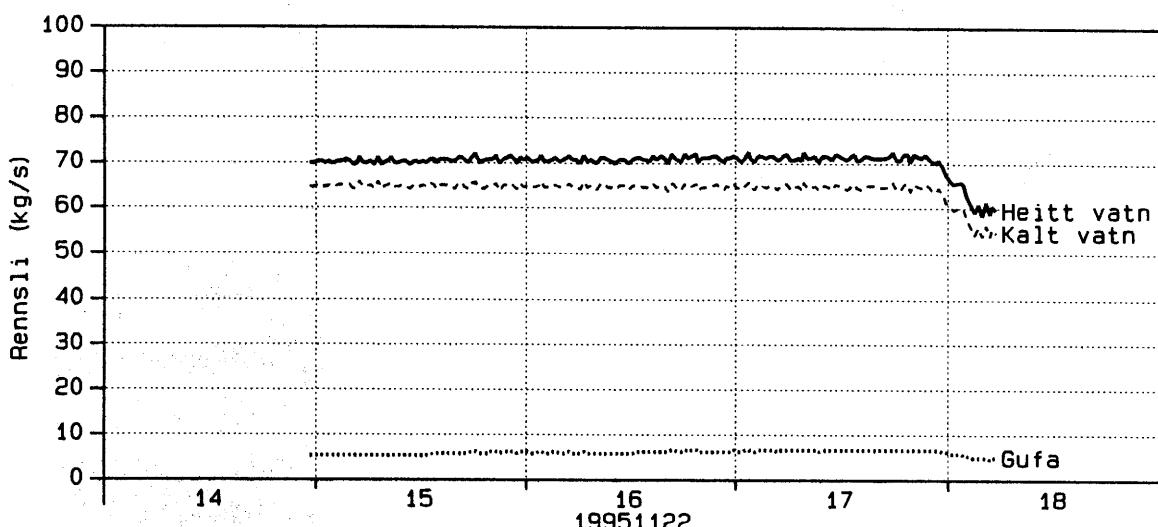
Mynd V2.5.5 Gashlutfall í útsogi, prófanir 20 til 24



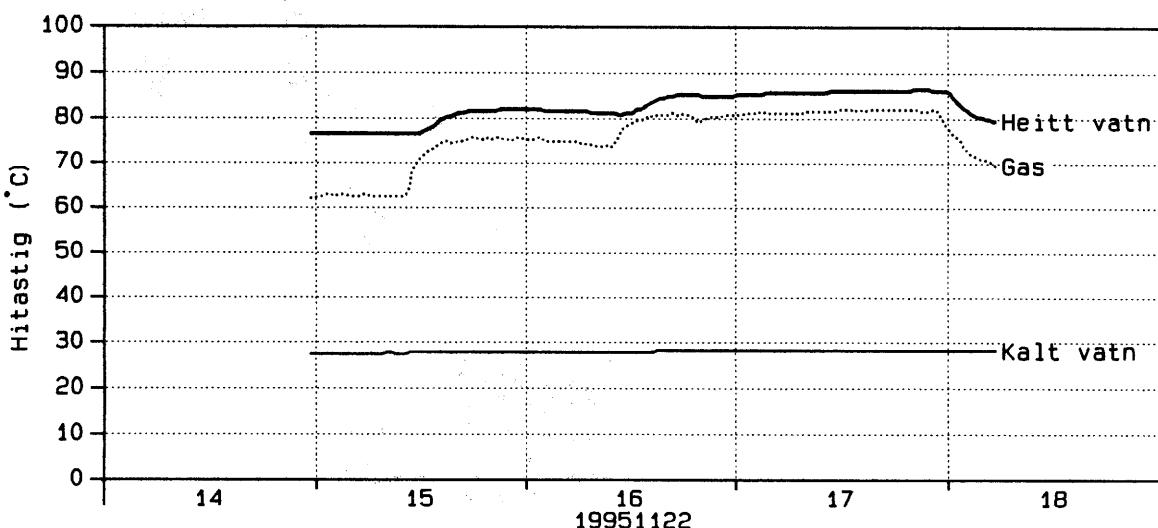
Mynd V2.5.6 Vatnsborð í súlu, prófanir 20 til 24



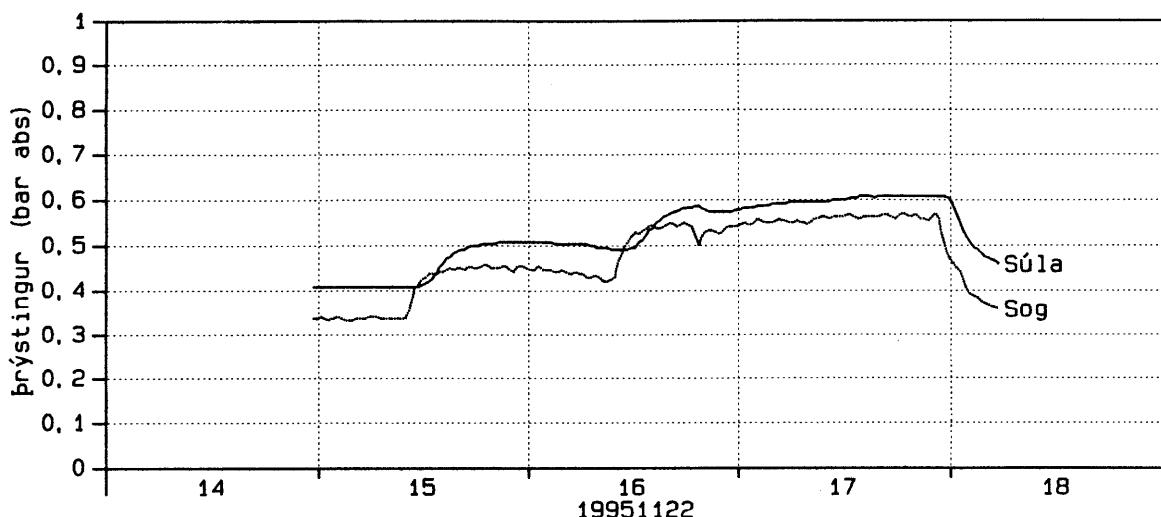
Mynd V2.6.1 Sýrustig heits vatns, prófanir 25 til 27



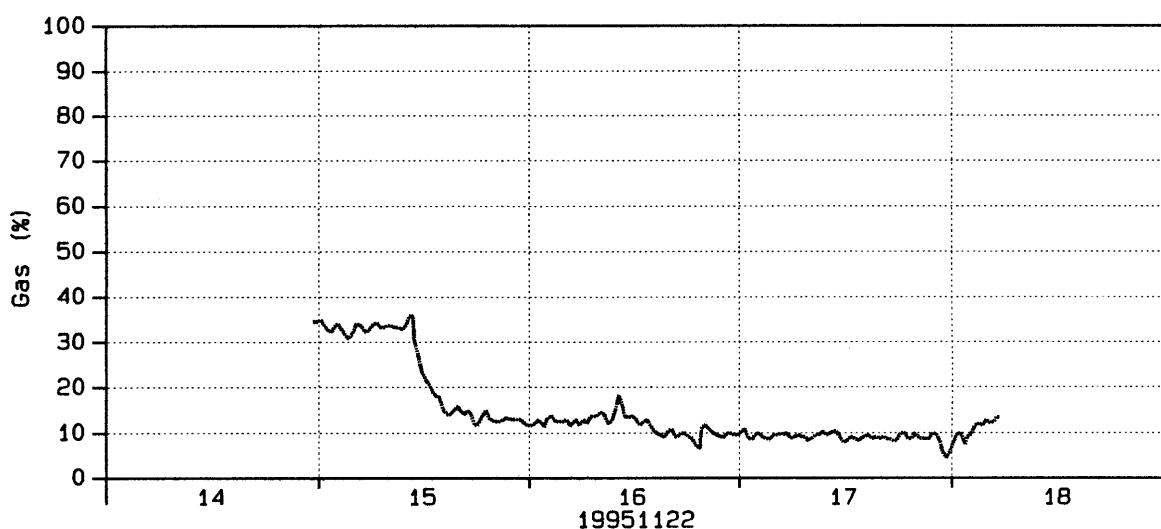
Mynd V2.6.2 Rennsli, vatns og gufu, prófanir 25 til 27



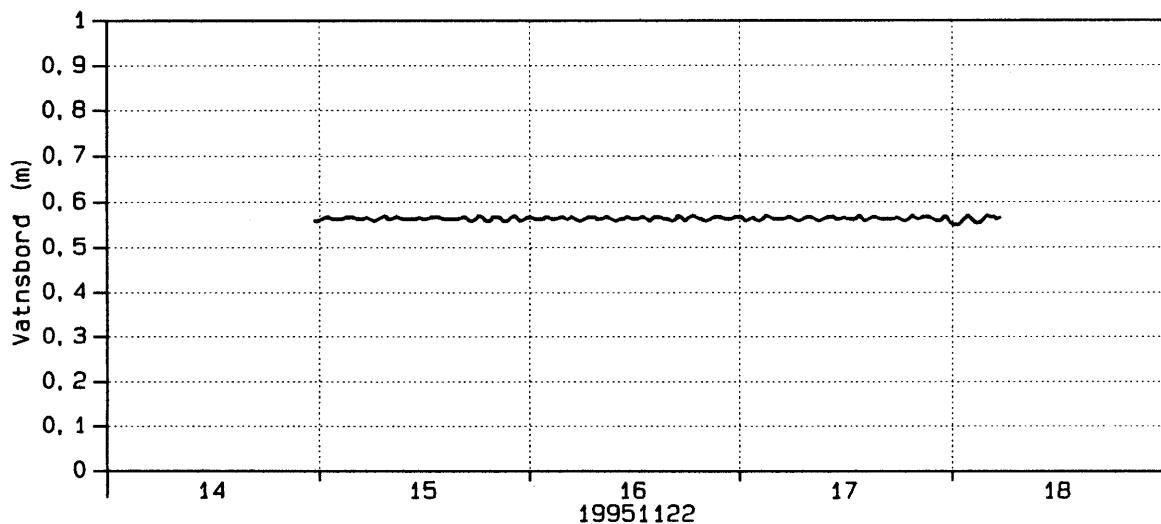
Mynd V2.6.3 Hitastig vatns og gass, prófanir 25 til 27



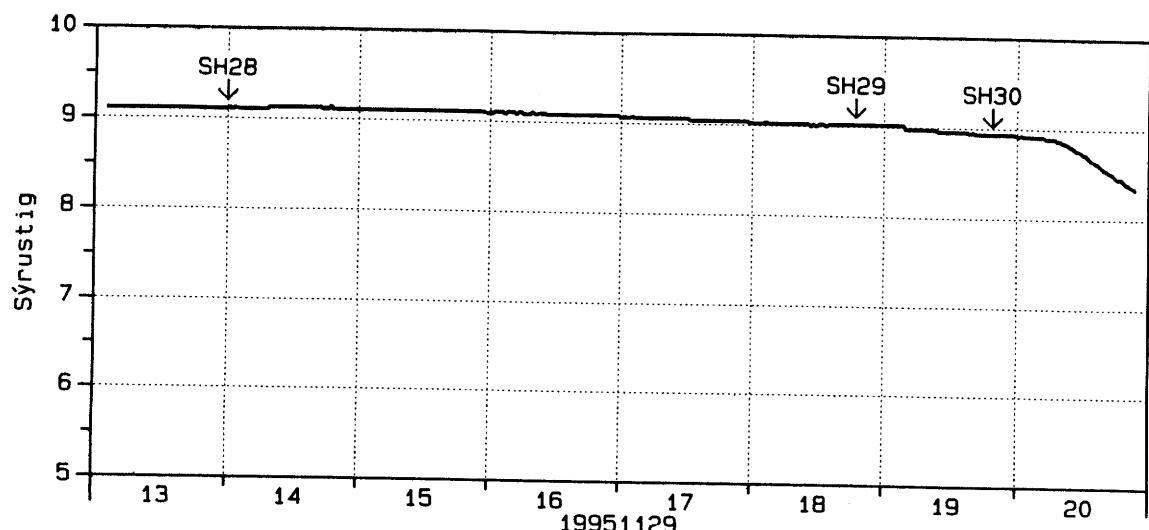
Mynd V2.6.4 Prýstingur í súlu og útsogi, prófanir 25 til 27



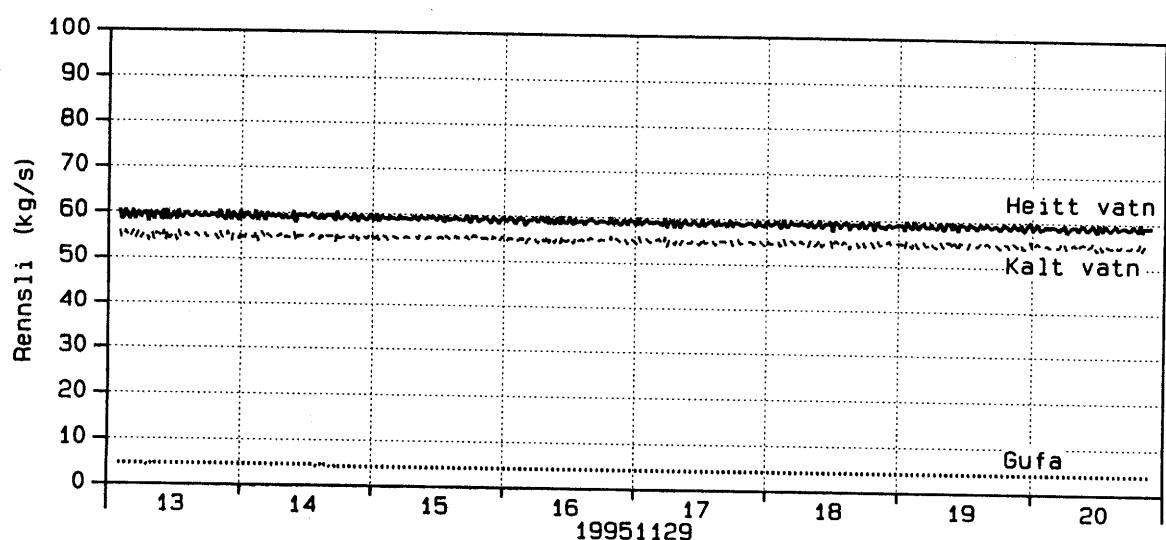
Mynd V2.6.5 Gashlutfall í útsogi, prófanir 25 til 27



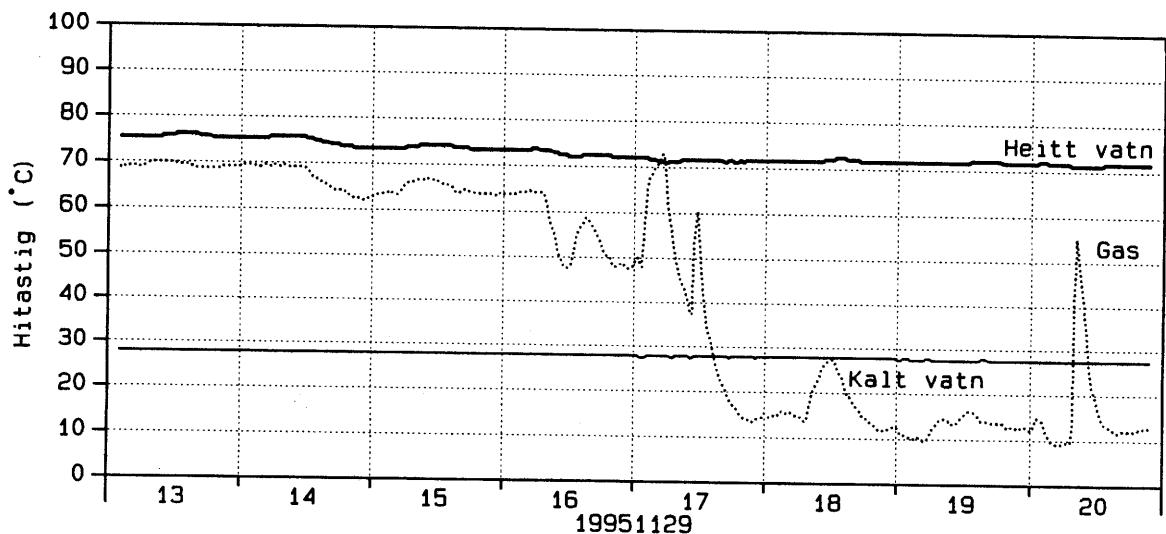
Mynd V2.6.6 Vatnsborð í súlu, prófanir 25 til 27



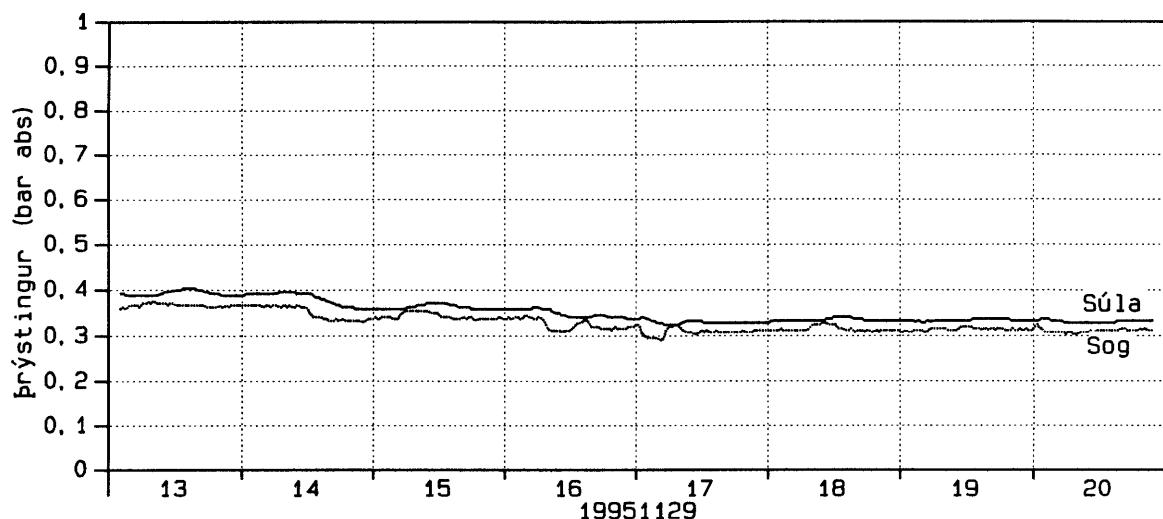
Mynd V2.7.1 Sýrustig heits vatns, prófanir 28 til 30



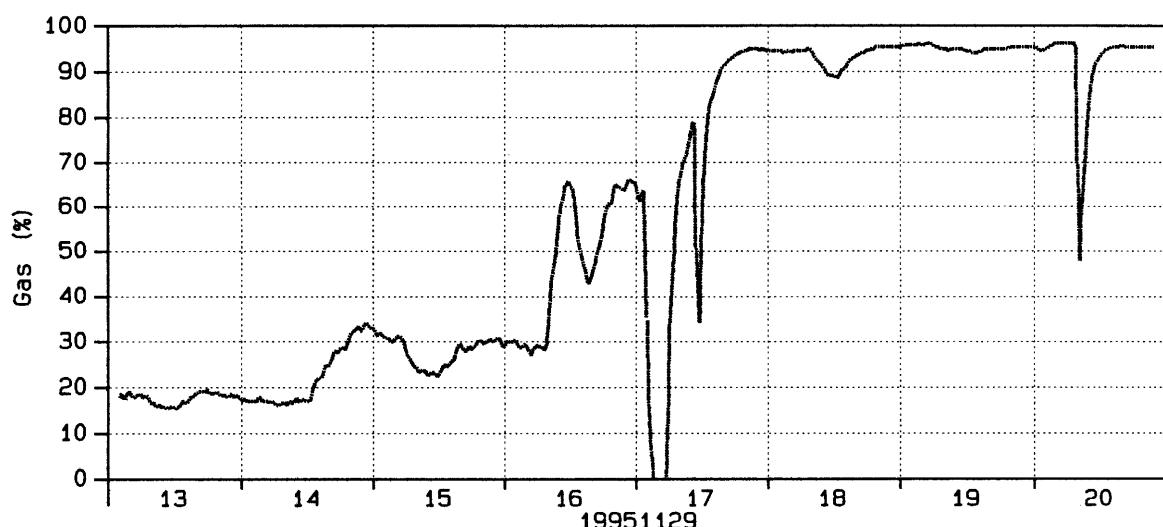
Mynd V2.7.2 Rennsli, vatns og gufu, prófanir 28 til 30



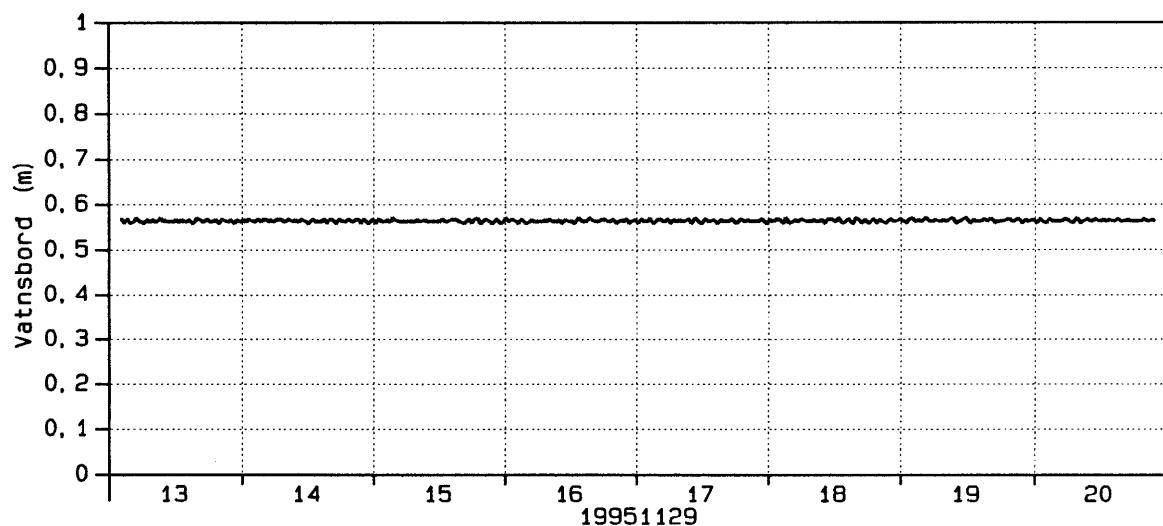
Mynd V2.7.3 Hitastig vatns og gass, prófanir 28 til 30



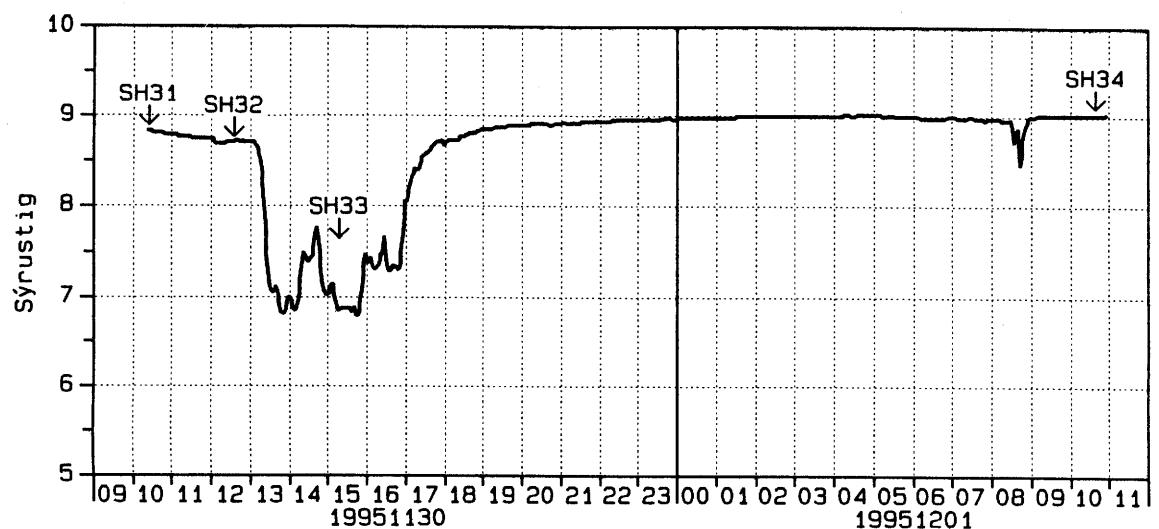
Mynd V2.7.4 Prýstingur í súlu og útsogi, prófanir 28 til 30



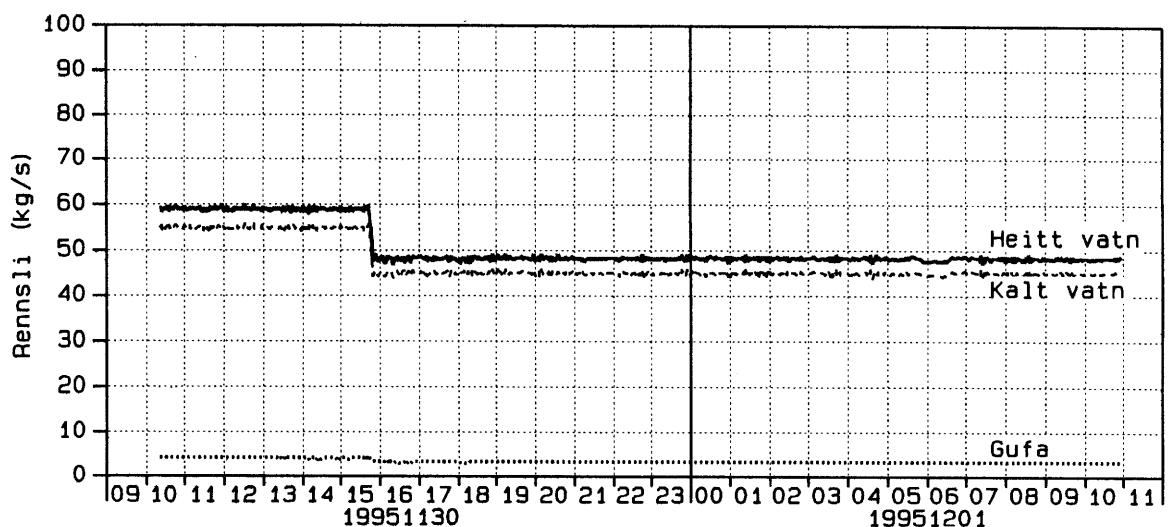
Mynd V2.7.5 Gashlutfall í útsogi, prófanir 28 til 30



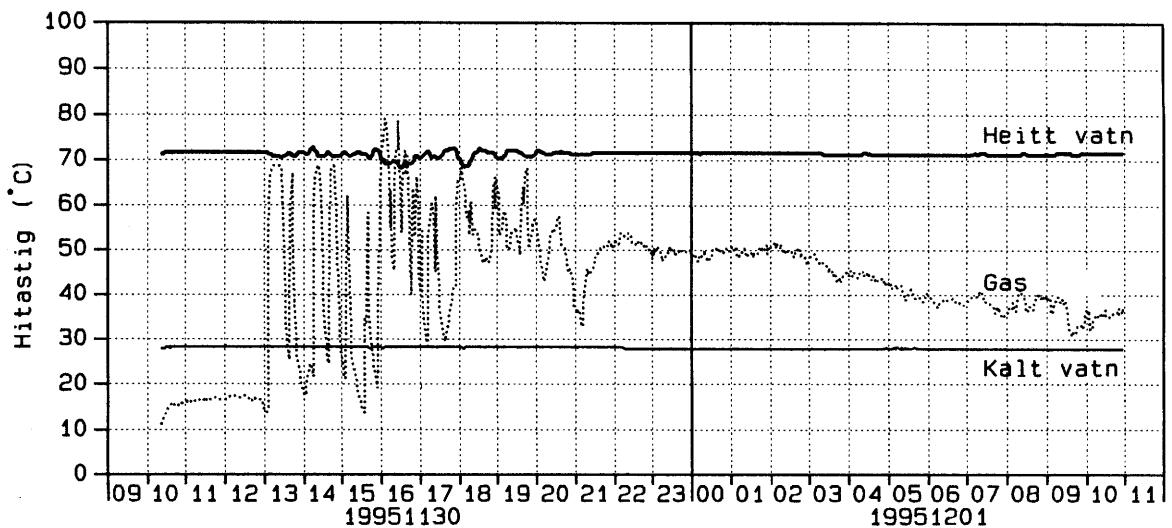
Mynd V2.7.6 Vatnsborð í súlu, prófanir 28 til 30



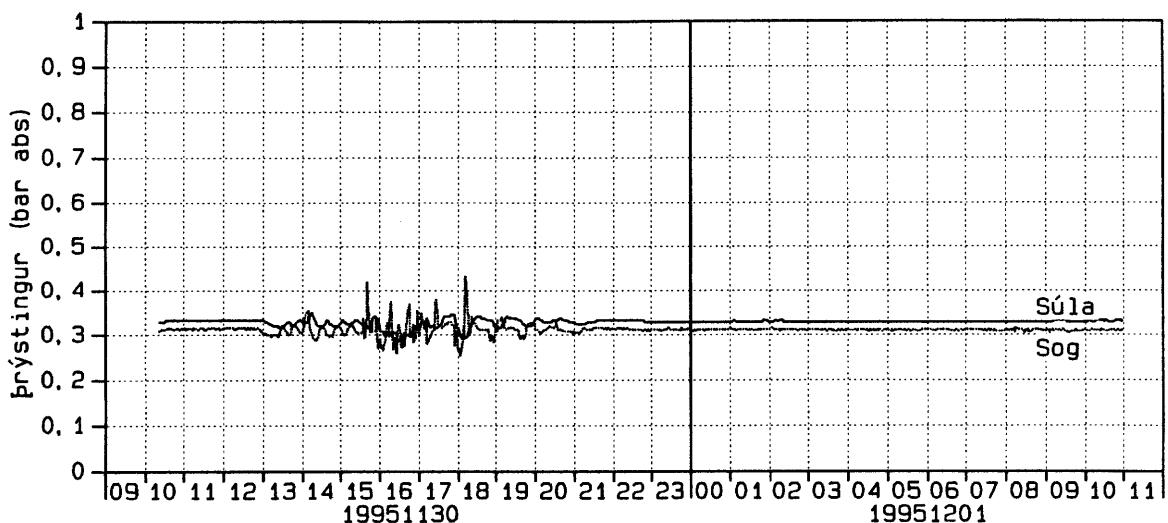
Mynd V2.8.1 Sýrustig heits vatns, prófanir 31 til 34



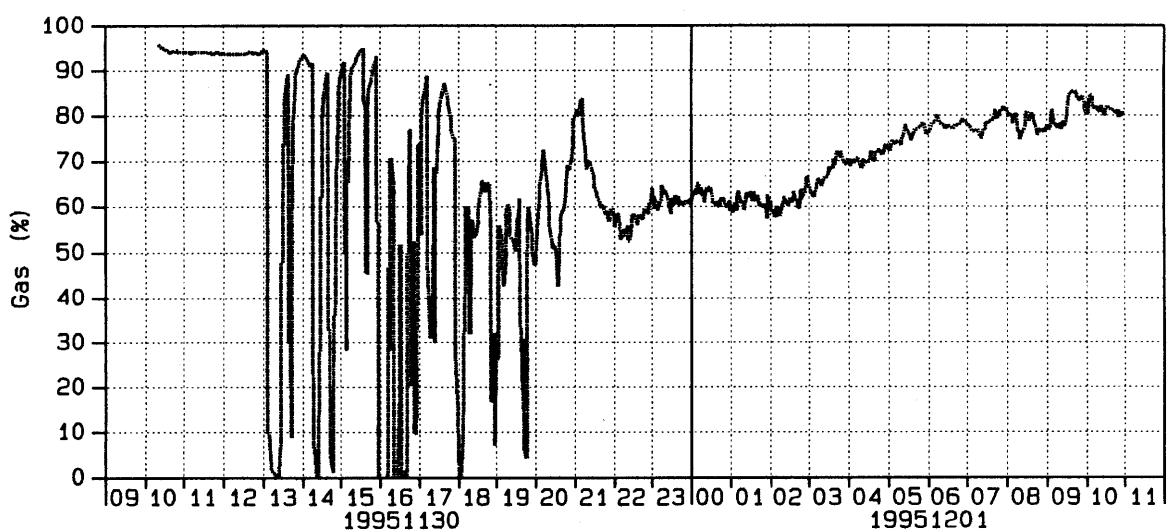
Mynd V2.8.2 Rennsli, vatns og gufu, prófanir 31 til 34



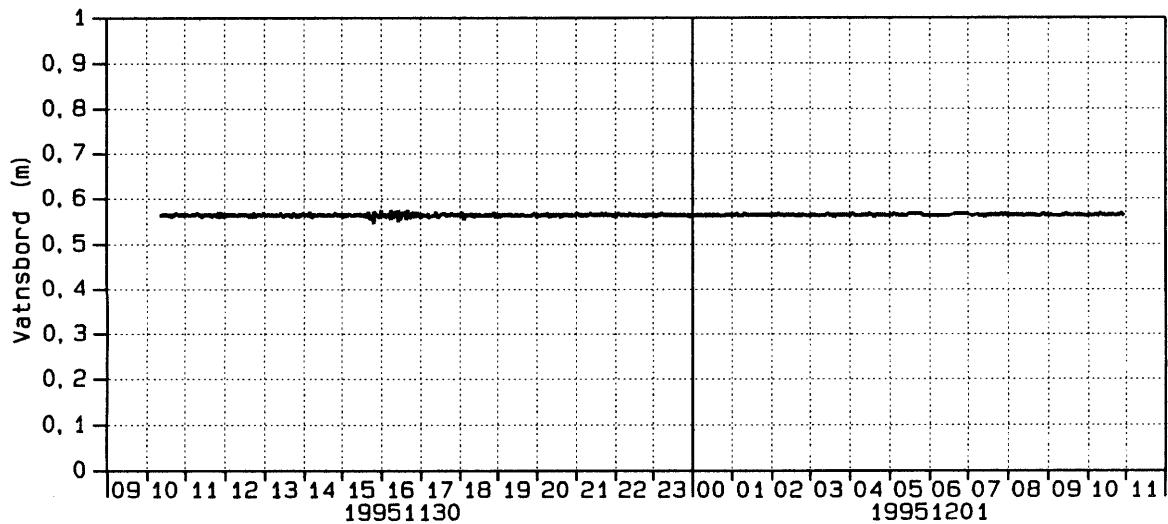
Mynd V2.8.3 Hitastig vatns og gass, prófanir 31 til 34



Mynd V2.8.4 Þrýstingur í súlu og útsogi, prófanir 31 til 34



Mynd V2.8.5 Gashlutfall í útsogi, prófanir 31 til 34



Mynd V2.8.6 Vatnsborð í súlu, prófanir 31 til 34