



ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

SVARTSENGI

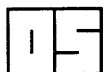
**Kísiltíraunir á affallsvatni
Íblöndun þéttivatns, sýru og gass**

Trausti Hauksson

Unnið fyrir Hitaveitu Suðurnesja

OS-92039/JHD-20 B

Ágúst 1992



ORKUSTOFNUN
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Verknr. 630221

SVARTSENGI

**Kísiltíraunir á affallsvatni
Íblöndun þéttvatns, sýru og gass**

Trausti Hauksson

Unnið fyrir Hitaveitu Suðurnesja

OS-92039/JHD-20 B

Ágúst 1992

EFNISYFIRLIT

1	INNGANGUR.....	3
2	TILRAUNABÚNAÐUR.....	4
	2.1 Brúsar í vatnsbaði.....	4
	2.2 Tafílát.....	4
3	FRAMKVÆMD TILRAUNA	
	3.1 Íblöndun þéttivatns.....	5
	3.2 Íblöndun þéttivatns og háprýstigufu.....	6
	3.3 Íblöndun sýru og þéttivatns.....	6
	3.4 Skeljun á plötur.....	6
	3.5 Íblöndun gass og þéttivatns.....	6
4	NIÐURSTÖÐUR MÆLINGA	
	4.1 Íblöndun þéttivatns.....	8
	4.2 Íblöndun þéttivatns og háprýstigufu.....	8
	4.3 Íblöndun sýru.....	8
	4.4 Skeljun á plötur.....	9
5	SAMANDREGNAR NIÐURSTÖÐUR OG UMRÆÐA.....	10
6	TILLÖGUR.....	11

TÖFLUR

1	Jarðsjór + 47 % þéttivatn.....	13
2	Jarðsjór + 30 % þéttivatn.....	14
3	Jarðsjór + 26 % þéttivatn.....	15
4	Jarðsjór + 20 % þéttivatn.....	16
5	Jarðsjór + 23 % þéttivatn + háprýstigufa.....	17
6	Jarðsjór + 27 % þéttivatn + sýra.....	18
7	Jarðsjór + 20 % þéttivatn + sýra.....	19
8	Skeljunartilraun, Jarðsjór + 28 % þéttivatn pH 7,46.....	20
9	Skeljunartilraun, Jarðsjór + 27 % þéttivatn, pH 5,05.....	21

MYNDIR

1	Tengimynd af tilraunabúnaði.....	23
2	Tafílát.....	23
3	Brúsar í vatnsbaði, Jarðsjór + 47% þéttivatn, pH 6,77.....	24
4	Brúsar í vatnsbaði, Jarðsjór + 30% þéttivatn, pH 7,21.....	24
5	Brúsar í vatnsbaði, Jarðsjór + 26% þéttivatn, pH 7,00.....	25
6	Brúsar í vatnsbaði, Jarðsjór + 20% þéttivatn, pH 7,23.....	25
7	Brúsar í vatnsbaði, Jarðsjór+23% þéttiv.+gufa, pH 6,59.....	26
8	Brúsar í vatnsbaði, Áhrif sýruíblöndunar, 26-28% þéttiv....	26
9	Brúsar í vatnsbaði, Áhrif sýruíblöndunar, 20% þéttivatn....	27
10	Tafílát, Jarðsjór + 28% þéttivatn, pH 7,46.....	27
11	Tafílát, skeljunarhraði.....	28
12	Tafílát, Jarðsjór + 27% þéttivatn, pH 5,05.....	28
13	Tafílát, tæringarhraði.....	29
14	Reiknuð áhrif HCl og CO ₂ á sýrustig, 30% þynning.....	29
15	Reiknuð áhrif CO ₂ styrks og þynningar á sýrustig.....	30
16	Reiknuð áhrif CO ₂ íblöndunar á þrýsting.....	30

INNGANGUR

Til að dæla jarðsjónum, sem tekinn er upp um borholur í Svartsengi, aftur niður í jarðhitageyminn koma eftirfarandi aðferðir helst til greina:

1. Niourdæling jarðsjávar sem skilinn er frá gufu við hærri þrýsting en ópalmettunarþrýsting.
2. Niourdæling yfirmettaðs jarðsjávar sem sýrður hefur verið með sýru eða þynntur með þéttivatni til að hægja á hraða kísilútfellinga.
3. Niourdæling jarðsjávar sem hreinsaður hefur verið með því að fella kísilinn í setþróm og sía jarðsjóinn.

Prófun á niourdælingu jarðsjávar sem þynntur var með þéttivatni fór fram 1984 en reyndist ekki vel. Í þeirri tilraun voru miklar sveiflur á þéttivatnshlutfallinu vegna álagsbreytinga á orkuverið. Einnig var sýrustig blöndunnar hærra en ráð var fyrir gert, vegna þess hve lítið gas leysist í þéttivatninu við frárennslishita 100 °C.

Ekki var talið fullreynt með þessa aðferð, en hún er hagstæður kostur sérstaklega ef hægt er að nýta kolsýrugas það, sem virkjunin gefur frá sér, til sýrustigslækkunar. Nauðsynlegt var því talið að prófa frekar áhrif kísilstyrks og sýrustigs á stöðugleika kísils í jarðsjónum í Svartsengi.

2 TILRAUNABÚNAÐUR

Flæðirit fyrir tilraunabúnaðinn er sýnt á mynd 1.

Tengt var inn á barómetrískan legg frá rás 6. Jarðsjórinn streymdi inn í blöndunartank úr stáli þar sem hann blandaðist þéttivatni, gasi eða sýru.

Þéttivatni var dælt um 4" pípu og tengt beint inn í blöndunartank, þannig að öruggt væri að þéttivatnið leitaði ekki út í barómetríska legginn við mjög hægt streymi. Blöndunni var dælt með miðflöttaafldsælum út í lón. Mæliker með V-yfirfalli var haft við pípuenda út við lón. Gufuknúinn "ejector" var settur upp til að totta gas og blása því inn í blöndunartank.

2.1 Brúsar í vatnsbaði

Tíu eins gallons plastbrúsar (3,8 l) voru fylltir af jarðsjávarblöndu og látnir fljóta í mælikeri til að halda stöðugum hita.

2.1 Tafílát

Sérstakur tilraunabúnaður til að kanna áhrif taftíma á skeljunarhraða var smíðaður (sjá mynd 2) og tengdur við pípu í gegnum 1 1/2" loka. Búnaðurinn samanstóð af þremur 220 lítra tunnum, sem tengdar voru saman með 1 1/4" rörum. Eftir hverja tunnu var tappi fyrir skeljunarplötur og sýnatökustútur. Tunnurnar voru einangraðar með steinull.

Saltsýru var dælt inn í tankinn úr þremur 210 lítra plast tunnum með sterkri saltsýru (35%).

3 FRAMKVÆMD TILRAUNA

3.1 Íblöndun þéttivatns

Dælt var blöndu jarösjávar og þéttivatns og rennsli stillt þannig að eftirfarandi þéttivatnshlutföll fengust:

- 1) 47 % Þéttivatnsíblöndun
- 2) 30 % "
- 3) 26 % "
- 4) 20 % "

Hitastig blöndunnar var 80 til 83,5 °C, og sýrustig 6,8 til 7,3 eftir magni þéttivatns í blöndunni.

Tíu eins gallons plastbrúsar (3,8 l) voru fylltir af jarösjávarblöndu og látnir fljóta í mælikeri til að halda stöðugum hita.

Eftir ákveðinn tíma var einn brúsi tekinn og sýni tekið og þynnt 1/11 til ákvörðunar á styrk einliða kísils (monomer silica). Eitt hundrað millilítrum var hellt í flösku, sem kæld var í stofuhita, til pH ákvörðunar. Þrjár og hálfur lítri voru síðan síaðir í gegnum 0,45 µm síuhimnu til ákvörðunar á föstum svifefnum (SS, suspended solids). Himnan var þurrkuð og þyngdaraukning mæld.

Rennsli var mælt í mælikeri með V-yfirfalli. Eftirfarandi formúla var notuð til að reikna rennslið:

$$Q = 1,365 (h + 0,00085)^2 \sqrt{h}$$

$$Q: \text{rennsli (m}^3/\text{s)}, \quad h: \text{hæð í keru (m)}$$

Uppleyst efni (TDS, mg/l) voru mæld með því að eima 25 ml af sýni og vigta þurrefnin. Þurrefni í óblönduðum jarösjó frá afloftunarsúlum mældist 29.800 mg/l. Þéttivatnshlutfallið reiknast þá:

$$\% \text{Þéttivatn} = (1 - \text{TDS} / 29.800) * 100$$

Til að geta ákvarðað þéttivatnshlutfallið með fljótvirkari aðferð, voru til samanburðar teknir 2 ml af sýni og þynntir í 100 ml af eimuðu vatni (þynningarhlutfall 1/50) og rafleiðnin mæld. Slíkur samanburður gaf eftirfarandi samband milli leiðni sýnis, sem þynnt er 1/50, og uppleystra efna og þéttivatnshlutfalls:

$$\begin{aligned} \text{TDS} &= 25,6 * L_{1/50} \\ \% \text{Þéttivatn} &= 100 - 0,0859 * L_{1/50} \\ \text{TDS (mg/l)}, \quad L_{1/50} &(\mu\text{S/cm}) \end{aligned}$$

Styrkur koldíoxíðs, CO₂, var mældur með pH titrun og styrkur brennisteinsvetnis, H₂S, með CHEMET mælihylkjum.

Ófjöllliðaður kísill var mældur sem molybdatkomplex með litrófsmæli við 410 nm bylgjulengd.

3.2 Íblöndun þéttivatns og háþrýstigufu

Jafnhliða þéttivatnsíblöndun var háþrýstigufu frá orkuverinu blandað í jarðsjóinn. Það var gert til þess að lækka sýrustigið og hækka hitastig blöndunnar.

Gufuíblöndun var 1,2 % og þéttivatnshlutfall 23%. Sýrustig blöndunnar lækkaði í 6,59 og hitastig hækkaði í 86,5 °C. Samskonar mælingar og lýst er í 3.1 voru gerðar.

3.3 Íblöndun sýru og þéttivatns

Sýru var blandað í sýni og fjöllliðunarhraði mældur sem fall af tíma.

Eftirfarandi blöndur voru prófaðar:

- 1) 27% þéttivatn, pH 5,98
- 2) 27% þéttivatn, pH 6,48
- 3) 20% þéttivatn, pH 6,23

3.4 Skeljun á plötur

Tilraunabúnaður sem líkir eftir aðstæðum þegar dælt verður niður var byggður samkvæmt mynd 2.

Í fyrri tilrauninni var blanda jarðsjávar og 28% þéttivatns látin streyma í gegnum ílátin í 20 daga og kísilskeljun á plötur mæld. Sýrustig var um 7,5 og rennsli var um 5,2 l/min en það gaf taftíma um 127 mínútur.

Í seinni tilrauninni var saltsýru blandað í jarðsjóinn og sýrustig lækkað í 5,05. Þéttivatnshlutfall var 27% og rennslishraði í gegnum tafílát 4,5 l/min sem gefur taftíma um 147 mínútur.

3.5 Íblöndun gass og þéttivatns.

Reynt var að blanda gasi í jarðsjóinn með því að blása því með gufuejktor inn í barometríska legginn frá afloftunarturni. Það reyndist erfiðleikum bundið vegna þess að gasið truflaði rekstur afloftunarturns.

Þá var reynt að blanda gasi í jarðsjóinn við eina loftþyngd. Gasinu var blásið í jarðsjóinn um hálfum metra undir yfirborði í blöndunartanki og haft opið upp til að leyfa umfram gasi að leita út. Gasið leystist ekki nægilega vel í jarðsjónum og hafði þetta hverfandi áhrif á sýrustig hans.

Styrkur gasins, sem streymir frá orkuverinu, var þá mældur

og reyndist hann vera 5% á móti 95% gufu. Ljóst er, að til að nýta megi gasið frá virkjuninni, til þess að blanda í niðurdælingarvökva, þá þarf að þétta gufuna betur og nota gaspressu til íblöndunar undir þrýstingi aftan við dælur.

4 NIÐURSTÖÐUR MÆLINGA

4.1 Íblöndun þéttivatns

Niðurstöður mælinga eru sýndar í töflum 1, 2, 3 og 4 og á myndum 3,4,5 og 6.

47% íblöndun þéttivatns (yfirmettunarhlutfall $S=1,11$, S er hlutfall uppleyst kísils og uppleysanleika kísils) stöðvaði myndun kísilfjölliða og útfelling fastra efna mældist ekki (Sjá töflu 1 og mynd 3).

Þegar þéttivatnsíblöndun var minnkuð í 30% ($S=1,50$) hækkaði sýrustig í 7,2 og kísillinn byrjaði að fjölleiðast um 60 mínútum eftir blöndun (Sjá töflu 2 og mynd 4). Föst efni mældust með síun eftir 272 mínútur.

Reikna má vaxtarhraða kísilagna út frá tíma þeim sem það tekur agnirnar að vaxa upp í poruvídd síuhimunnar og mælast.

$$\text{Vaxtarhraði (mm/ár)} = d \text{ (mm)} / \text{tími (min)} * 60 * 24 * 365$$

$$d: \text{poruvídd} = 0,00045 \text{ mm}$$

Vaxtarhraði kísilagna var samkvæmt þessu um 0,9 mm/ár við 30% þynningu.

Kísillinn byrjaði að fjölleiðast um 50 mínútur¹ eftir blöndun við 26% þynningu ($S=1,61$) (Sjá töflu 3 og mynd 5) og strax eftir 8 mínútur við 20% þynningu ($S=1,76$) (Sjá töflu 4 og mynd 6). Vaxtarhraði kísilagna reiknast 0,8 mm/ár fyrir 26% þynningu og 3,1 mm/ár við 20% þynningu.

4.2 Íblöndun þéttivatns og háþrýstigufu

Niðurstöður mælinga eru sýndar í töflu 5 og á mynd 7.

Þéttivatnshlutfall var 23% og hitastig 86,5 °C ($S=1,56$). Sýrustig var lægra en í fyrri tilraunum (pH 6,6).

Fjölliðun hófst ekki fyrr en eftir 180 mínútur eða um helmingi lengri tíma en fyrir 30% þéttivatnsblöndun án gufuíblöndunar. Þetta stafar líklegast af lægra sýrustigi. Föst efni mælast fyrst eftir 239 mínútur, sem samsvarar vaxtarhraða um 1,0 mm/ár. Lækkun sýrustigs hefur greinilega minni áhrif á vaxtarhraða kísilagnanna en lagtíma fjölliðunar.

4.3 Íblöndun sýru

Áhrif sýruíblöndunar á fjölliðunarhraða kísils í jarðsjó þynntum með 27% þéttivatni eru sýnd í töflu 6 og á mynd 8.

Greinilegt er að lítilsháttar sýrustigslækkun hefur veruleg áhrif á lagtíma fjölliðunar. Lækkun um hálfst stig úr pH 7 í 6,5 lengdi lagtíma úr 60 mínútum í 150 mínútur. Er sýrustigið var lækkað niður í pH 6 varð lagtíminn lengri en 300 mínútur (5 tímar).

Þessi sterku áhrif gefa vonir um að íblöndun kolsýru, sem er veik sýra, muni nægja til að hægja á kísilútfellingunum.

Í töflu 7 og á mynd 9 eru áhrif sýrustigs á fjölliðun kísils í 20 % blöndu sýnd. Áhrifin voru ekki eins sterk og lækkun um eitt pH stig úr 7,2 í 6,2 lengdi lagtíma úr 20 mínútum í 60 mínútur.

4.4 Skeljun á plötur

Tvær tilraunir voru gerðar þ.e. án sýruíblöndunar og með íblöndun saltsýru til sýrustigslækkunar.

Í fyrri tilrauninni var þéttivatnspynning 28% og sýrustig um 7,5. Niðurstöður mælinga eru sýndar í töflu 8 og myndum 10 og 11.

Fjölliðun kísils hófst eftir um 40 til 60 mínútur og föst efni mældust eftir sama taftíma, en magn fastra efna jókst þó ekki hratt og mældust svifefni (SS) aðeins 5 mg/l eftir 127 mínútur.

Plötur úr kolstáli voru hafðar inni í 20 daga og skeljunarhraði mældur. Mestur hraði mældist á fyrstu plötu strax eftir blöndun. Þessi skel hafði annarskonar áferð en skel á plötum sem staðsettar voru eftir hverja tunnu. Skeljunarhraðinn var um 5 mm/ár á fyrstu plötu en um 2 mm/ár á þeim síðari, sem er allt of mikill skeljunarhraði.

Sýrustig í þessari tilraun var nokkuð hátt og mátti því búast við betri árangri ef sýru væri blandað í sjóinn.

Í seinni tilraun var saltsýru dælt inn í blöndunartank og sýrustigi haldið á bilinu 5 til 5,5.

Niðurstöður mælinga eru sýndar í töflu 9 og á myndum 12 og 13. Sýrustigslækkunin stöðvar fjölliðun kísils algerlega. Föst efni mældust 1 mg/l og þyngdaraukning skeljunarplatna var sáralítill eða engin. Á móti þá varð tæring á plötunum sérstaklega strax eftir blöndunartank.

Ljóst er að blöndunartankur og leiðslur strax á eftir honum verða að vera úr ryðfríu efni ef nota á sterka sýru til sýrustigslækkunar.

5 SAMANDREGNAR NIÐURSTÖÐUR OG UMRÆÐA

Sýnt var fram á að 30% þynning jarðsjávarins frá afloftunarturnum með þéttivatni ásamt sýrustigslækkun í um pH 5,5 geti stöðvað útfellingu kísils.

Ef þynning er meiri þá má sýrustigið vera hærra og varð engin fjölliðun kísils í blöndu með 47% þéttivatni og sýrustigi pH 6,7.

Þar sem ekki er þörf á lægra sýrustigi en 5,5 er hægt að nota kolsýru til sýrustigslækkunar. Notkun sterkrar sýru í þessum tilgangi veldur erfiðleikum vegna tæringar.

Massataka úr svæðinu er 18 % sem háþrýstigufa og 69% sem frárennslissjór. Það þéttivatn, sem háþrýstigufan gefur af sér, ætti að nægja til þess að meðhöndla um 60 % af frárennsli orkuversins miðað við 30% þynningu.

Á myndum 14 og 15 er sýnt samband milli sýrustigs jarðsjávarins og íblöndunarmagns saltsýru annarsvegar og kolsýru hinsvegar, við 80 °C. Til þess að lækka sýrustig niður fyrir 5,5 með saltsýru þarf um 16 mg/l af HCl. Þetta samsvarar um 75 tonnum á ári af 35 % sýru miðað við 50 l/s niðurdælingu. Til að lækka sýrustig niður fyrir 5,5 með kolsýru þarf um 200 mg/kg kolsýruíblöndun.

Háþrýstigufan inniheldur um 0,2 % kolsýru (CO₂), sem nota má til sýrustigslækkunar. Með þéttri háþrýstigufu fást því um 2000 mg/l af kolsýrugasi, en það þýðir að miðað við 30% þéttivatnsþynningu fæst nægilegt gas með þéttivatninu fyrir 600 mg/l kolsýruíblöndun, eða þrisvar sinnum meira en þarf.

Á mynd 16 er sýnt samband milli gasþrýstings og styrks kolsýru í jarðsjónum, miðað við 30% þynningu og 80 °C. Á myndinni sést að til þess að halda 200 mg/l af CO₂ í lausn við 80 °C þarf 0,8 bar abs þrýsting.

Nauðsynlegt er að þetta gufuna, sem fylgir gasinu frá orkuverinu, því ef 200 mg/l af gasi eiga að leysast í jarðsjónum við eina loftþyngd, þá þarf gasstyrkurinn að vera a.m.k. 45% en er um 5%.

Til að koma í veg fyrir rekstrartruflanir vegna gasleka inn í afloftunarturna er vænlegra að blanda gasinu við sjóinn undir þrýstingi aftan við dælur.

6 TILLÖGUR

Lagt er til að niðurdæling verði prófuð með a.m.k. 30 % þéttivatnspynningu og a.m.k. 200 mg/l CO₂ íblöndun.

Smíða þarf búnað til þess að skilja þéttivatnið frá gasinu við orkuverið og þetta úr því gufuna. Gasið þarf að pressa upp í um 3 bar-g og blanda við jarðsjóinn undir þrýstingi aftan við dælur.

Skeljunarhætta er mjög viðkvæm fyrir breytingum á þéttivatnshlutfalli og því nauðsynlegt að hafa gott eftirlit með því.

Þéttivatnshlutfallið er auðveldast að ákvarða reglulega með leiðnimælingu.

Ef þéttivatnsframleiðsla orkuversins minnkar verður að minnka niðurdælingu samsvarandi og tryggja að þéttivatnshlutfallið fari aldrei niður fyrir 30%. Þetta samsvarar því að leiðnin fari aldrei upp fyrir 33,7 mS/cm í óþynntu sýni við 25 °C eða 850 µS/cm í sýni, sem þynnt hefur verið 1/50.

Nauðsynlegt er að hafa gott eftirlit með sýrustigi jarðsjávarins og tryggja að það fari ekki upp fyrir pH 5,5.

Eftirfarandi hönnunartölur miðast við 50 l/s niðurdælingu:

Jarðsjór	35 l/s, 72 °C
Þéttivatn	15 l/s, 100 °C, um 1 bar-g dæluþrýstingur
Kolsýra	0,01 kg/s um 7 l/s við 100 °C, 0 bar-g í 3 bar-g.
Gufa með kolsýru	0,2 kg/s, 100 °C 450 kW þéttivarmi
Blanda	50 l/s, 80 °C, 2-3 bar-g dæluþrýstingur

TÖFLUR

**Tafla 1 Brúsar í vatnsbaði
Jarðsjór + 47 % þéttivatn**

Dagsetning:	86.10.23
Hitastig jarðsjávar	71,6 °C
Hitastig blöndu:	83,5 °C
Þéttivatnshlutfall	46,7 %
Dæluþrýstingur	0,46 barg
Rennsli:	8,50 l/s
pH/°C	6,68/22
CO ₂	29,3 mg/kg
H ₂ S	0,35 mg/kg
SiO ₂	328 mg/kg
S	1,11
TDS (Uppl.e)	16080 mg/kg
Leiðni (25 °C)	26,0 mS/cm
Leiðni (1/50, 25 °C)	620 µS/cm

Tími (min)	SiO ₂ .m (mg/kg)	SS (mg/kg)	pH (22 °C)
1	328	0	6,64
4	326	0	6,77
20	326	0	6,91
44	328	0	6,94
74	326	0	6,96
104	326	0	6,96
134	328	0	6,96
191	325	0	6,96
254	325	0	6,97
1124	328	0	7,04

SiO₂.m: ófjölliðaður kísill

SS: Föst efni mæld með síun og vigtun.

**Tafla 2 Brúsar í vatnsbaði
Jarðsjór + 30 % þéttivatn**

Dagsetning:	86.10.25
Hitastig jarðsjávar	71,8 °C
Hitastig blöndu:	82,0 °C
Þéttivatnshlutfall	30,5 %
Dæluþrýstingur	0,84 barg
Rennsli:	12,5 l/s
pH/°C	7,21/22
CO ₂	30,7 mg/kg
H ₂ S	0,25 mg/kg
SiO ₂	434 mg/kg
S	1,50
TDS (Uppl.e)	21640 mg/kg
Leiðni (25 °C)	33,7 mS/cm
Leiðni (1/50, 25 °C)	847 µS/cm

Tími (min)	SiO ₂ .m (mg/kg)	SS (mg/kg)	pH (22 °C)
0	434	0	7,21
4	434	0	7,30
29	430	0	7,33
61	428	0	7,37
89	409	0	7,39
122	403	0	7,42
152	393	0	7,44
214	365	0	7,48
272	341	2	7,50
332	328	2	7,48

SiO₂.m: ófjölliðaður kísill

SS: Föst efni mæld með síun og vigtun.

**Tafla 3 Brúsar í vatnsbaði
Jarðsjór + 26 % þéttivatn**

Dagsetning:	86.10.28
Hitastig jarðsjávar	71,6
Hitastig blöndu:	80,9
Þéttivatnshlutfall	25,9
Dæluþrýstingur	1,24
Rennsli:	15,8
pH/°C	7,00/22
CO ₂	36,8 mg/kg
H ₂ S	0,50 mg/kg
SiO ₂	459 mg/kg
S	1,61
TDS (Uppl.e)	23080 mg/kg
Leiðni (25 °C)	35,5 mS/cm
Leiðni (1/50, 25 °C)	902 µS/cm

Tími (min)	SiO ₂ .m (mg/kg)	SS (mg/kg)	pH (22 °C)
0	459	0	7,00
4	457	0	7,00
23	459	0	6,87
52	454	0	7,03
81	434	0	7,04
115	407	0	7,03
144	377	0	7,06
174	362	0	7,09
234	344	0	7,11
307	325	3	7,12

SiO₂.m: Ófjölliðaður kísill

SS: Föst efni mæld með síun og vigtun.

**Tafla 4 Brúsar í vatnsbaði
Jarösjór + 20 % þéttivatn**

Dagsetning:	86.10.31
Hitastig jarösjávar	71,8 °C
Hitastig blöndu:	80,2 °C
Þéttivatnshlutfall	20,2 %
Dælubrýstingur	2,17 barg
Rennsli:	21,5 l/s
pH/°C	7,23/22
CO ₂	34,7 mg/kg
H ₂ S	0,25 mg/kg
SiO ₂	495 mg/kg
S	1,76
TDS (Uppl.e)	24520 mg/kg
Leiðni (25 °C)	37,5 mS/cm
Leiðni (1/50, 25 °C)	972 µS/cm

Tími (min)	SiO ₂ .m (mg/kg)	SS (mg/kg)	pH (22 °C)
0	495	0	7,24
3	487	0	7,19
25	485	0	7,36
44	443	0	7,44
77	369	2	7,46
103	347	7	7,46
130	341	47	7,47
174	327	167	7,50
237	315	183	7,50
300	309	195	7,51

SiO₂.m: ófjölliðaður kísill

SS: Föst efni mæld með síun og vigtun.

**Tafla 5 Brúsar í vatnsbaði
Jarðsjór + 23 % þéttivatn + háþrýstigufa**

Dagsetning:	86.11.17
Hitastig jarðsjávar	72,0 °C
Hitastig blöndu	86,5 °C
Þéttivatnshlutfall	23,2 %
Dæluþrýstingur	1,45 barg
Rennsli	18,0 l/s
Gufurennisli	0,22 kg/s
pH/°C	6,59/22
CO ₂	45,9 mg/kg
H ₂ S	0,05 mg/kg
SiO ₂	480 mg/kg
S	1,56
Leiðni (1/50, 25 °C)	935 µS/cm

Tími (min)	SiO ₂ .m (mg/kg)	SS (mg/kg)	pH (22 °C)
0	480	0	6,59
3	474	0	6,64
33	476	0	6,65
62	476	0	6,66
91	476	0	6,65
120	476	0	6,64
149	474	0	6,62
181	470	0	6,60
239	446	1	6,66
295	408	2	6,72

SiO₂.m: ófjölliðaður kísill

SS: Föst efni mæld með síun og vigtun.

**Tafla 6 Brúsar í vatnsbaði
Jarðsjór + 27 % þéttivatn + sýra**

Dagsetning:	86.10.30
Hitastig jarðsjávar	71,8 °C
Hitastig blöndu:	81,0 °C
Þéttivatnshlutfall	27,4 %
Dæluþrýstingur	1,24 barg
Rennsli:	13,8 l/s
pH/°C	7,19/22
SiO ₂	447 mg/kg
S	1,57
TDS (Uppl.e)	22980 mg/kg
Leiðni (1/50, 25 °C)	884 µS/cm

H ₂ SO ₄ mg/kg	25,8	12,9
pH	5,98	6,48

Tími (min)	SiO ₂ .m (mg/kg)	SiO ₂ .m (mg/kg)
0	448	449
3	446	447
34	446	447
67	448	445
98	446	445
140	448	441
163	448	437
195	446	427
226	440	411
287	438	376

SiO₂.m: ófjölliðaður kísill

**Tafla 7 Brúsar í vatnsbaði
Jarðsjór + 20 % þéttivatn + sýra**

Dagsetning:	86.10.31
Hitastig jarðsjávar	72,0 °C
Hitastig blöndu:	80,2 °C
Þéttivatnshlutfall	20,2 %
Dæluþrýstingur	2,17 barg
Rennsli:	21,5 l/s
pH/°C	6,23/22
CO ₂	34,6 mg/kg
SiO ₂	495 mg/kg
S	1,75
TDS (Uppl.e)	24520 mg/kg
Leiðni (1/50, 25 °C)	978 µS/cm

H ₂ SO ₄ mg/kg	25,8
pH	6,23

Tími (min)	SiO ₂ .m (mg/kg)
0	495
23	493
58	492
86	484
115	469
160	431
195	395
224	376
255	357
289	342

SiO₂.m: ófjölliðaður kísill

**Tafla 8 Skeljunartilraun,
Jarðsjór + 28 % þéttivatn pH 7,46**

Dagsetning	87.01.02
Hitastig jarðsjávar	72,0 °C
Hitastig blöndu	80,8 °C
Þéttivatnshlutfall	28,0 %
Dæluþrýstingur	0,98 barg
Rennsli	13,1 l/s
Rennsli gegnum tafílát	5,2 l/min
pH/°C	7,46/22
CO ₂	31,8 mg/kg
H ₂ S	0,35 mg/kg
SiO ₂	459 mg/kg
Leiðni (1/50, 25 °C)	883 µS/cm

Tími*) (min)	SiO ₂ .m (mg/kg)	SS (mg/kg)	pH (22 °C)	T (°C)
0	459	0	7,37	80,8
42	459	1	7,50	73,6
85	378	3	7,49	72,6
127	355	5	7,37	71,2

SiO₂.m: ófjölliðaður kísill

SS: Föst efni mæld með síun og vigtun.

*) Tími = Rúmmál tafíláts / rennsli

Skeljun á plötur, 20 dagar, Yfirborð: 23.6 cm²

Tími*) (min)	Þyngaraukning (mg)	Þyngaraukning (mg/cm ² /ár)	Þykktaraukning (mm)	Þykktaraukning (mm/ár)
0	333	258	0,30	5,5
42	186	144	0,12	2,2
85	364	281	0,10	1,8
127	373	288	0,15	2,7

*) Tími = Rúmmál tafíláts / rennsli

Tafla 9 Skeljunartilraun
Jarösjör + 27 % þéttivatn, pH 5,05

Dagsetning	87.02.05
Hitastig jarösjávar	73,4 °C
Hitastig blöndu	88,3 °C
Þéttivatnshlutfall	27,2 %
Dæluþrýstingur	0,31 barg
Rennsli	6,8 l/s
Gufupúði yfir blöndunartanki	
Rennsli gegnum tafílát	4,5 l/min
pH/°C	5,05/22
CO ₂	20,2 mg/kg
H ₂ S	0,1 mg/kg
SiO ₂	444 mg/kg
Leiðni (1/50, 25 °C)	887 µS/cm

Tími*) (min)	SiO ₂ .m (mg/kg)	SS (mg/kg)	pH (22 °C)	T (°C)
0	440	1	5,05	88,3
49	442	1	5,18	80,3
98	442	1	5,30	76,3
147	444	1	5,31	73,8

SiO₂.m: ófjölliðaður kísill

SS: Föst efni mæld með síun og vigtun.

*) Tími = Rúmmál tafíláts / rennsli

Skeljun á plötur, 20 dagar, Yfirborð: 23,6 cm²

Tími*) (min)	Þyngaraukning (mg) (mg/cm ² /ár)	Athugasemdir
0	-203 -157	Brún laus skel
49	7 5	Næstum því hreint
98	12 9	"
147	12 9	"

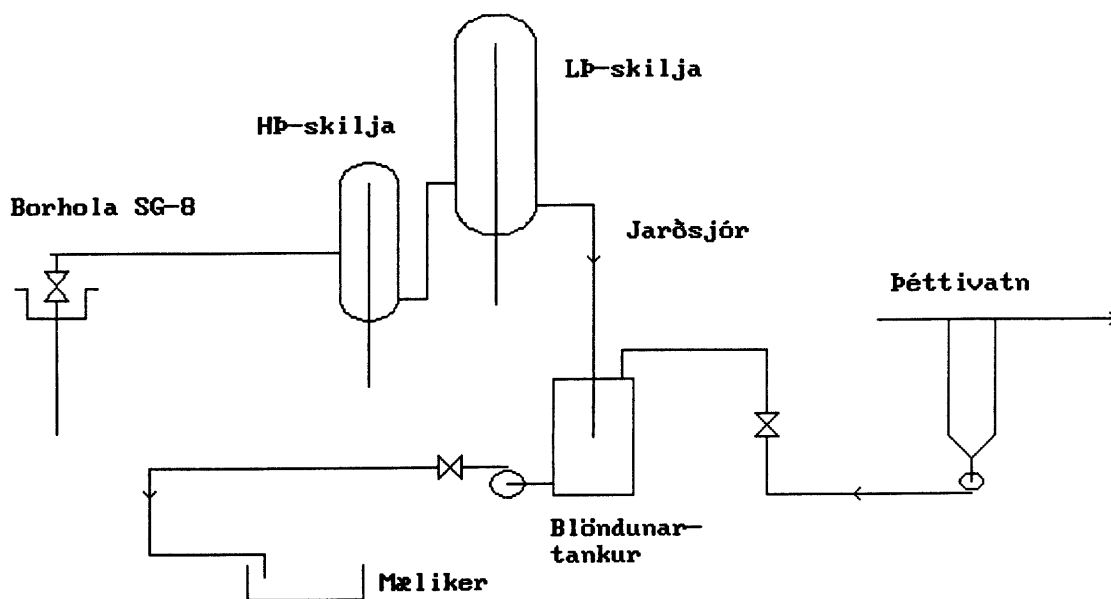
Tæringarhraði, Yfirborð: 25,4 cm², laus tæring hreinsuð af

Tími*) (min)	Þyngdartap (mg) (mg/cm ² /ár)	Tæringarhraði**) (mm/ár)	Athugasemdir
0	343 246	0,31	Pittir
49	3 2	0,003	Næstum því hreint
98	2 1	0,001	"
147	-3 -2	0	"

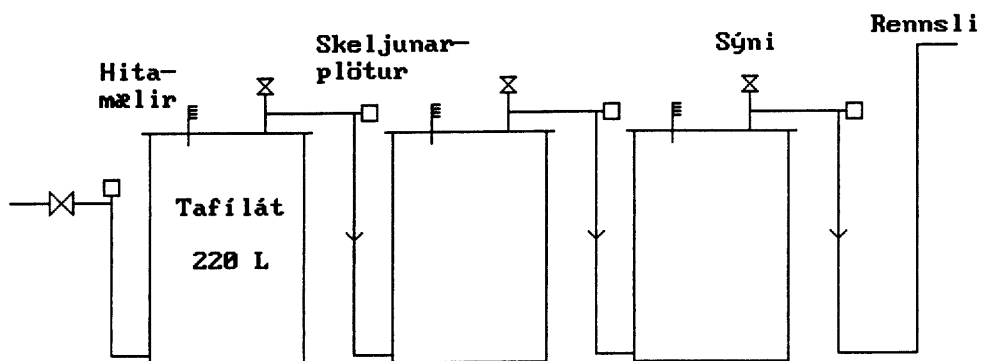
*) Tími = Rúmmál tafíláts / rennsli

**) Miðað við eðlisþyngd stáls 7820 kg/m³

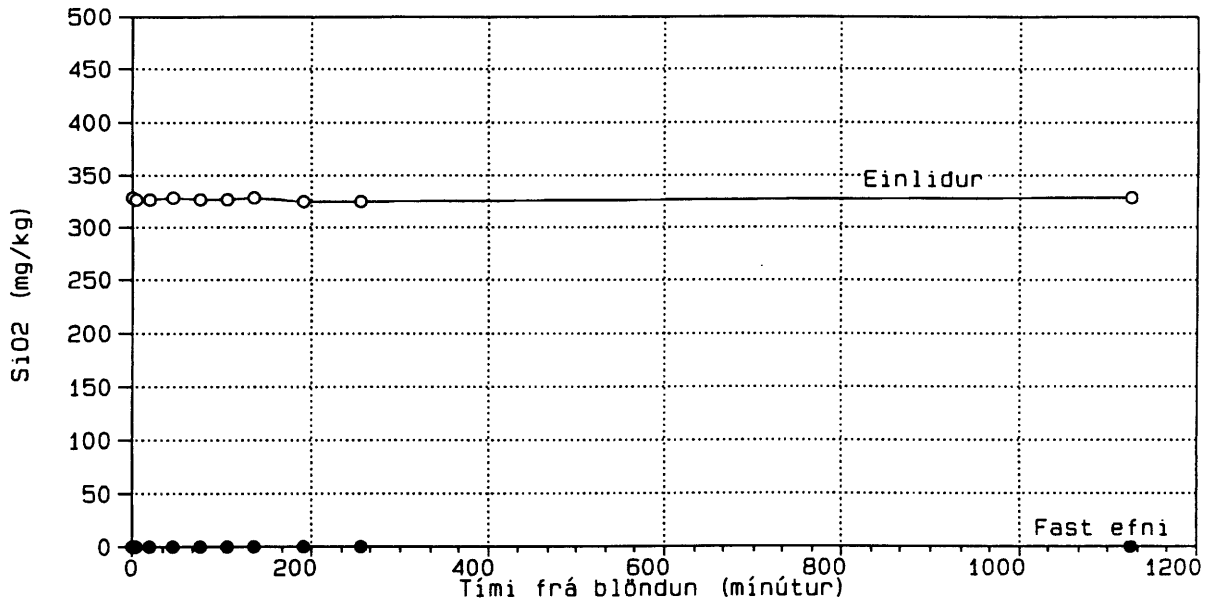
MYNDIR



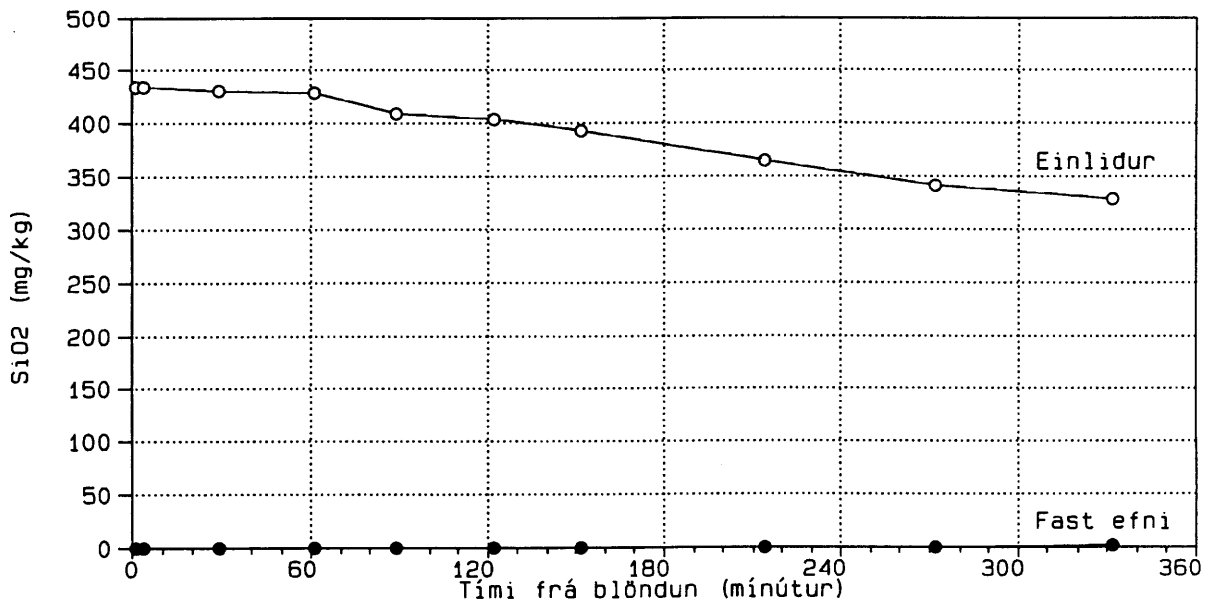
Mynd 1 Tengimynd af tilraunabúnaði



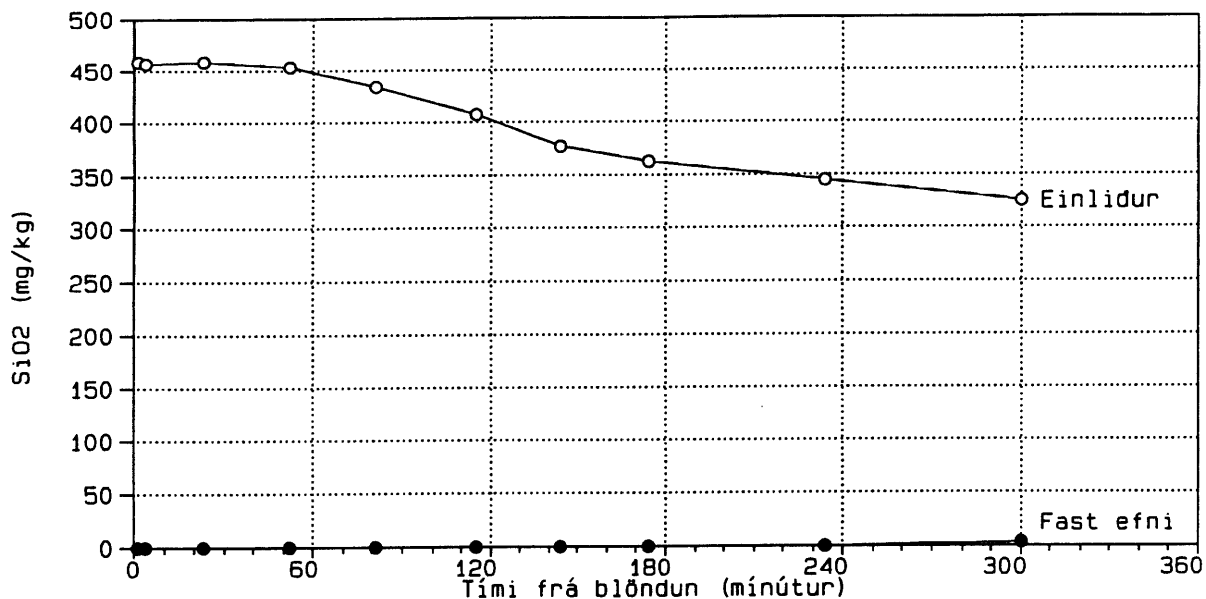
Mynd 2 Tafílát



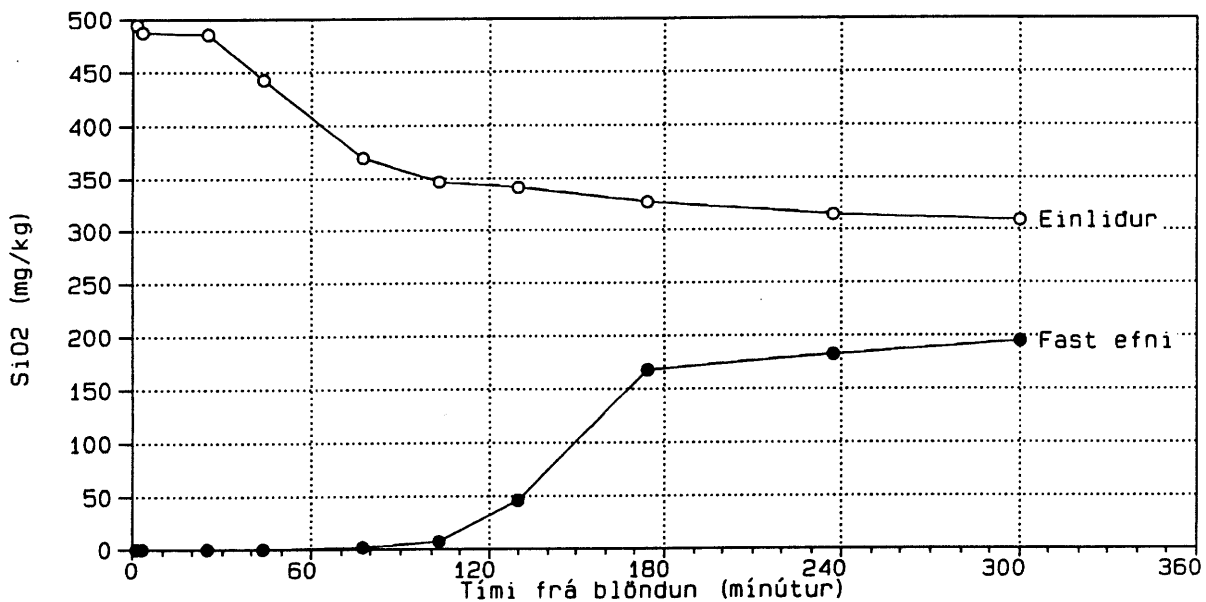
Mynd 3 Brúsar í vatnsbaði, Jarðsjór + 47% þéttivatn, pH 6,77



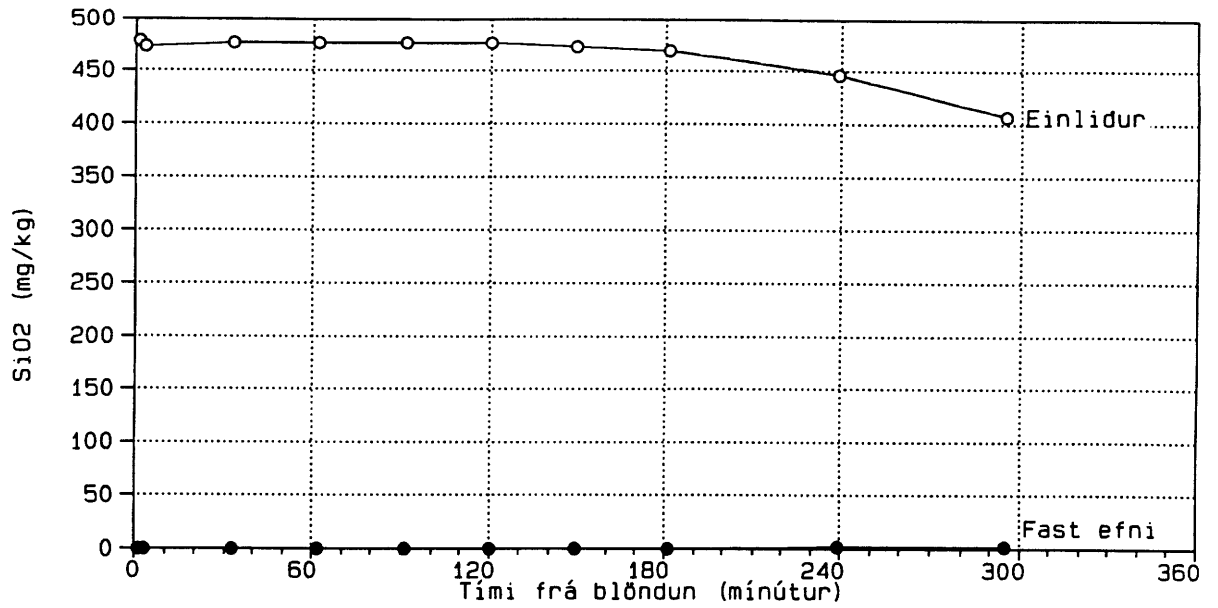
Mynd 4 Brúsar í vatnsbaði, Jarðsjór + 30% þéttivatn, pH 7,21



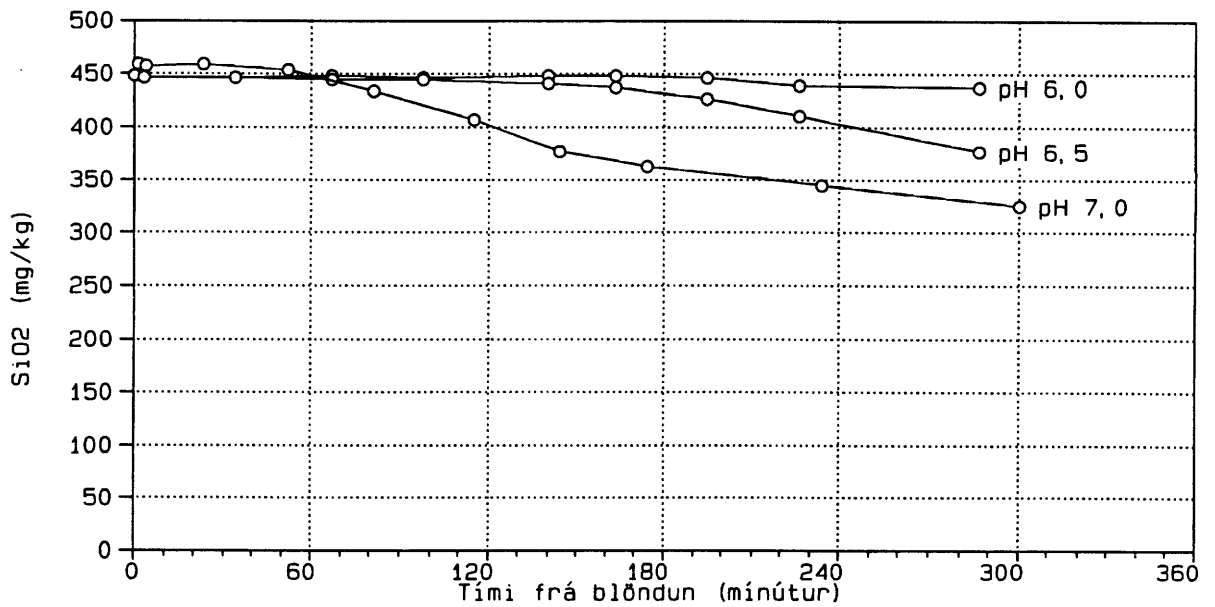
Mynd 5 Brúsar í vatnsbaði, Jarösjör + 26% þéttivatn, pH 7,00



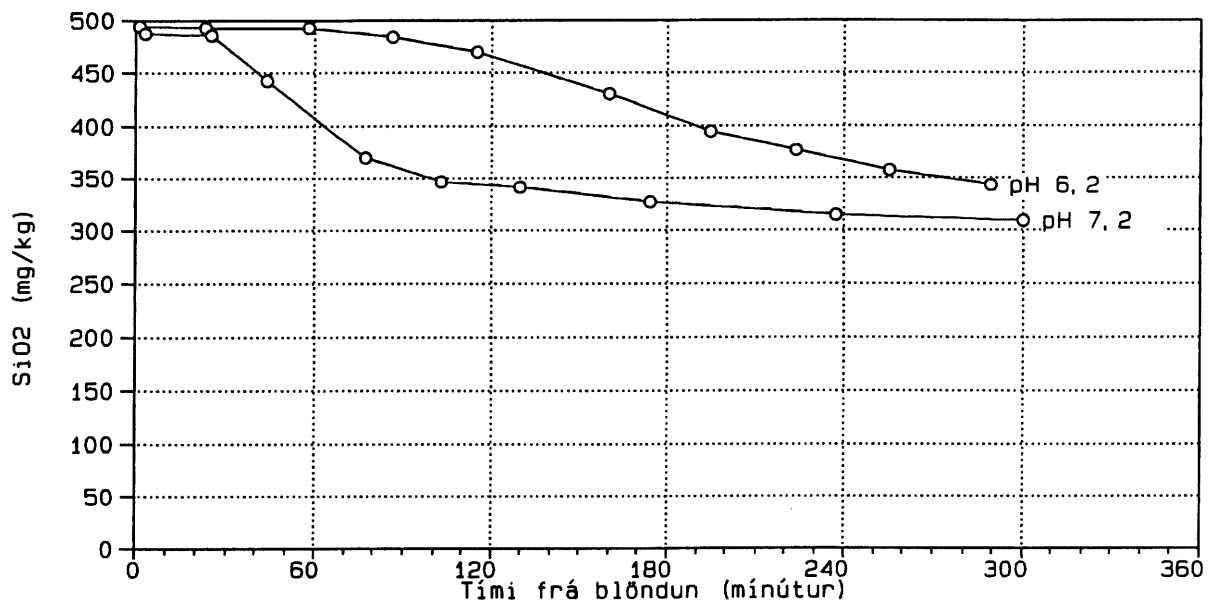
Mynd 6 Brúsar í vatnsbaði, Jarösjör + 20% þéttivatn, pH 7,23



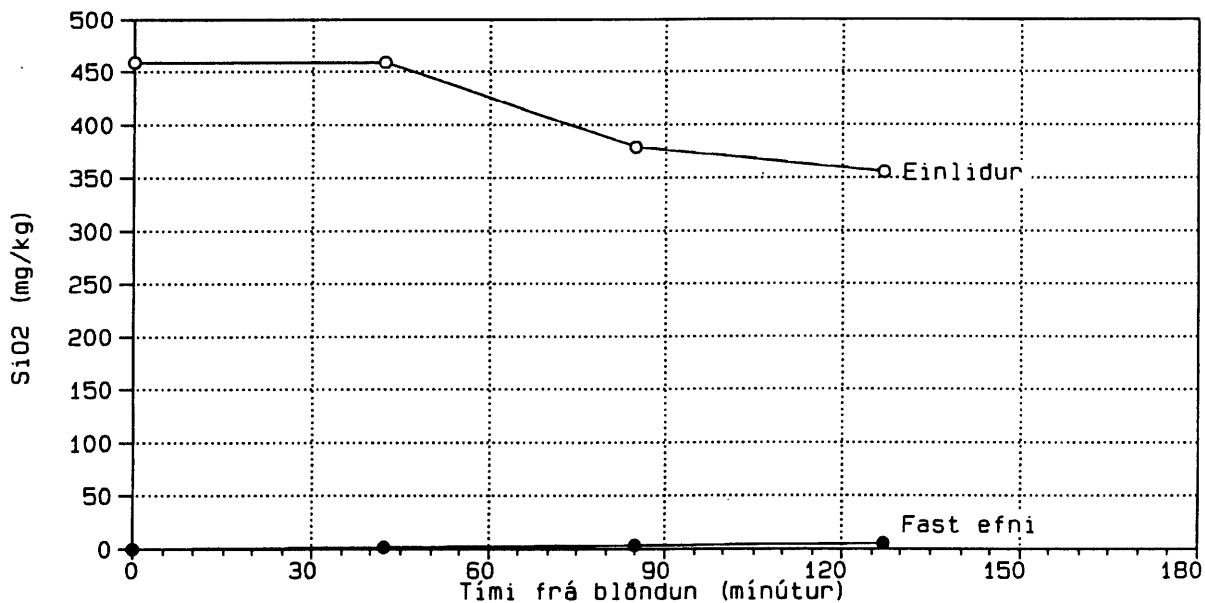
Mynd 7 Brúsar í vatnsbaði, Jarösjór + 23% þéttiv. + gufa, pH 6,59



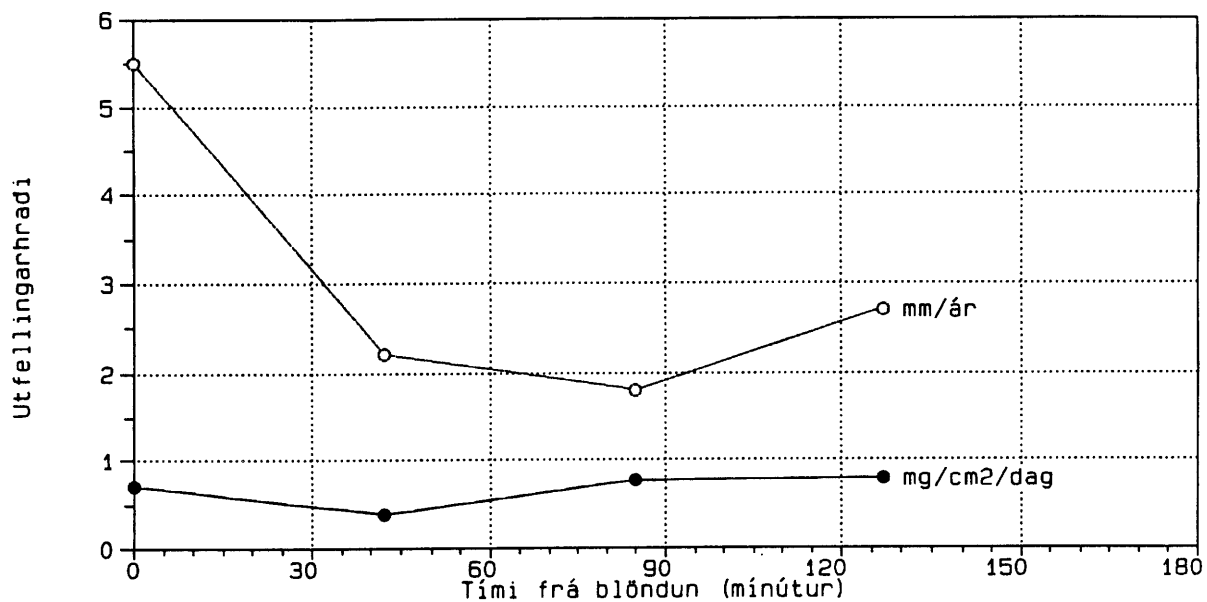
Mynd 8 Brúsar í vatnsbaði, Áhrif sýruíblöndunar, 26-28% þéttiv.



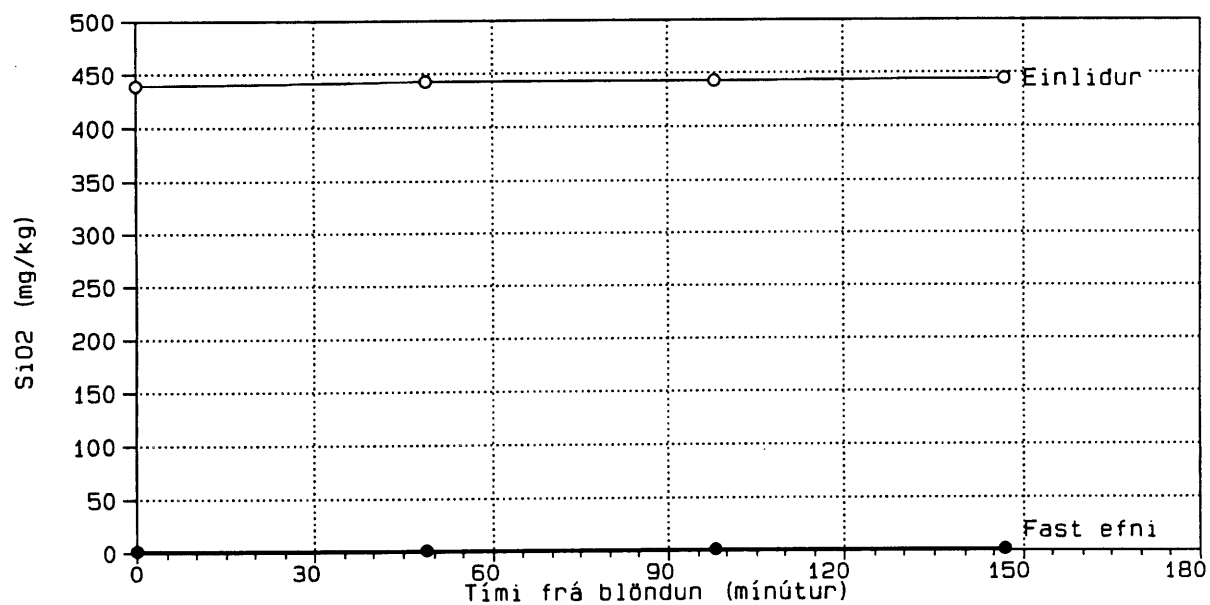
Mynd 9 Brúsar í vatnsbaði, Áhrif sýruíblöndunar, 20% þéttivatn



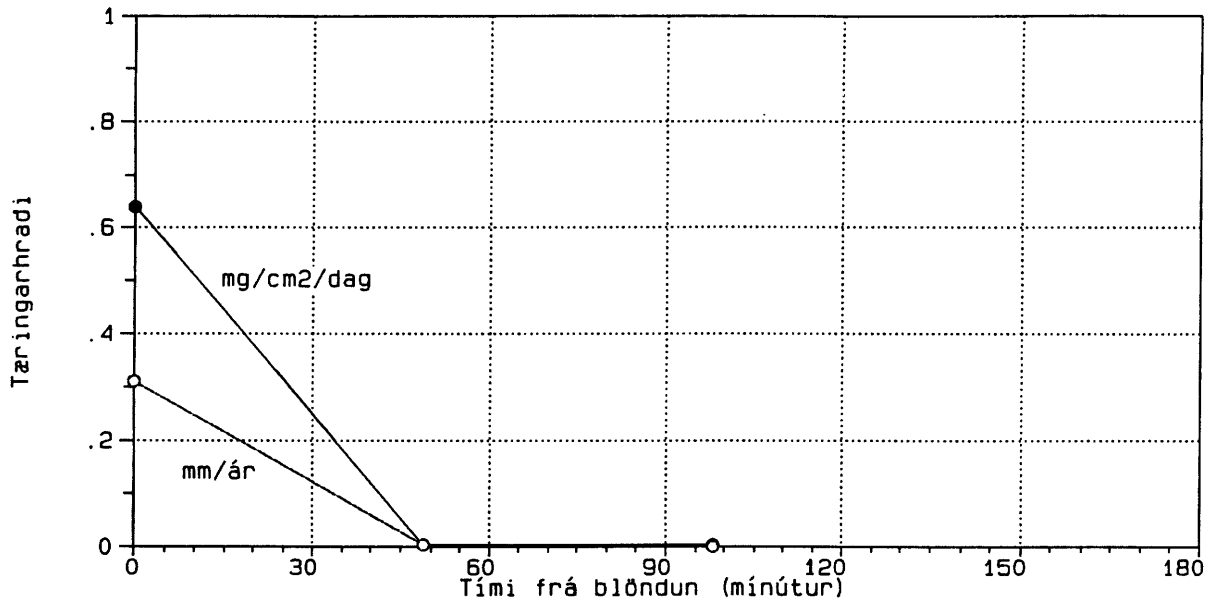
Mynd 10 Tafílat, Jarðsjór + 28% þéttivatn, pH 7,46



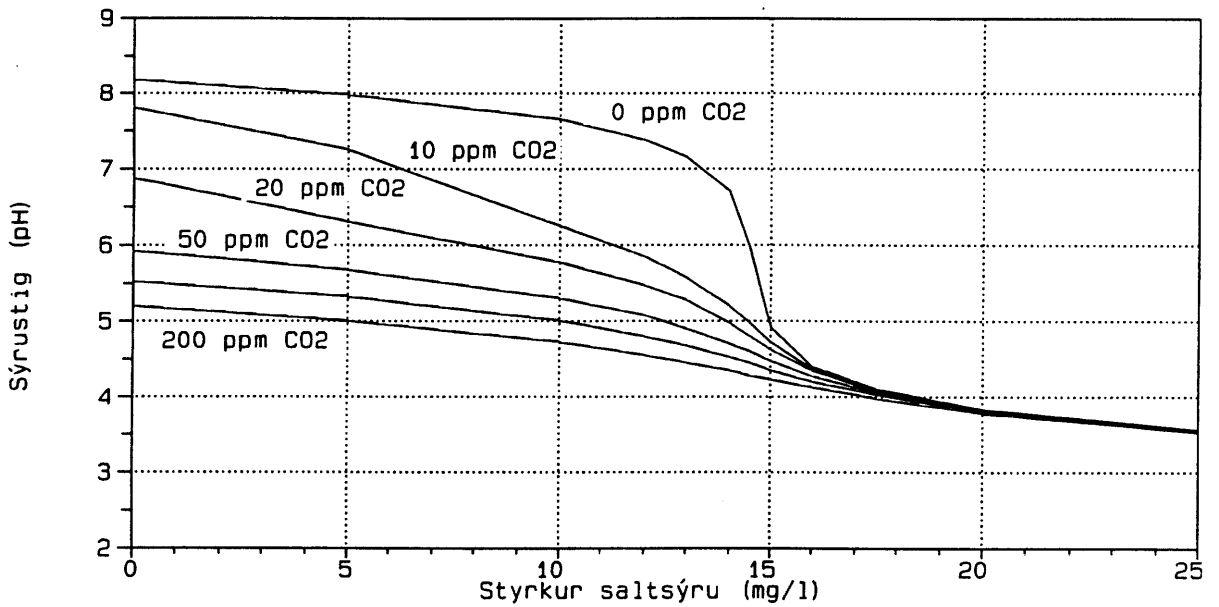
Mynd 11 Tafílat, skeljunarhraði



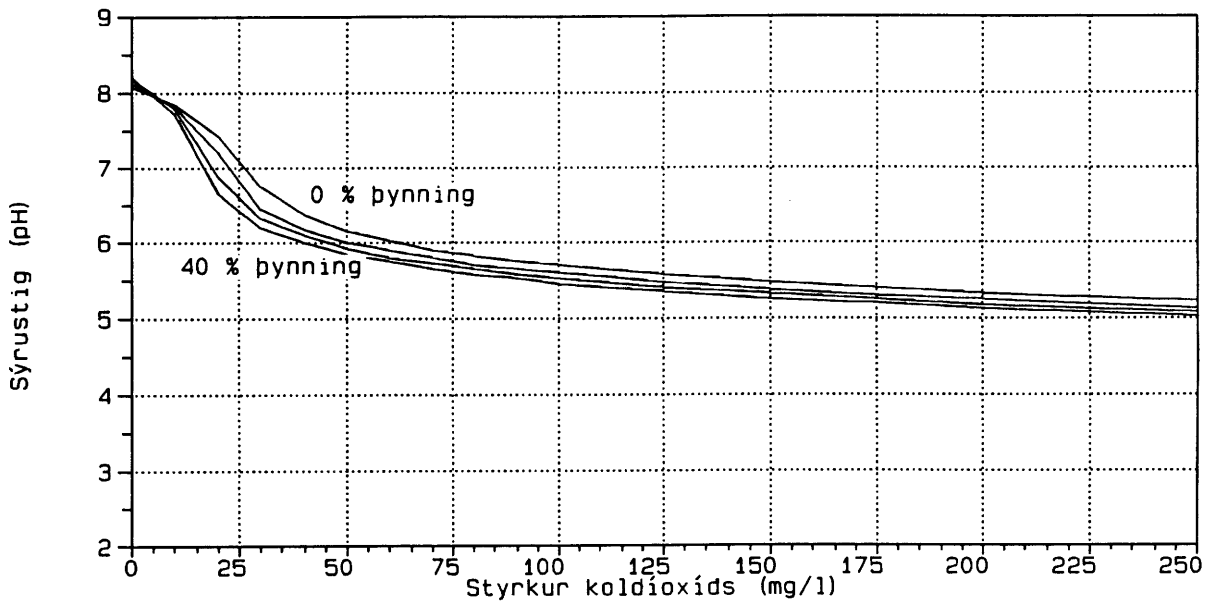
Mynd 12 Tafílat, Jarösjör + 27% þéttivatn, pH 5,05



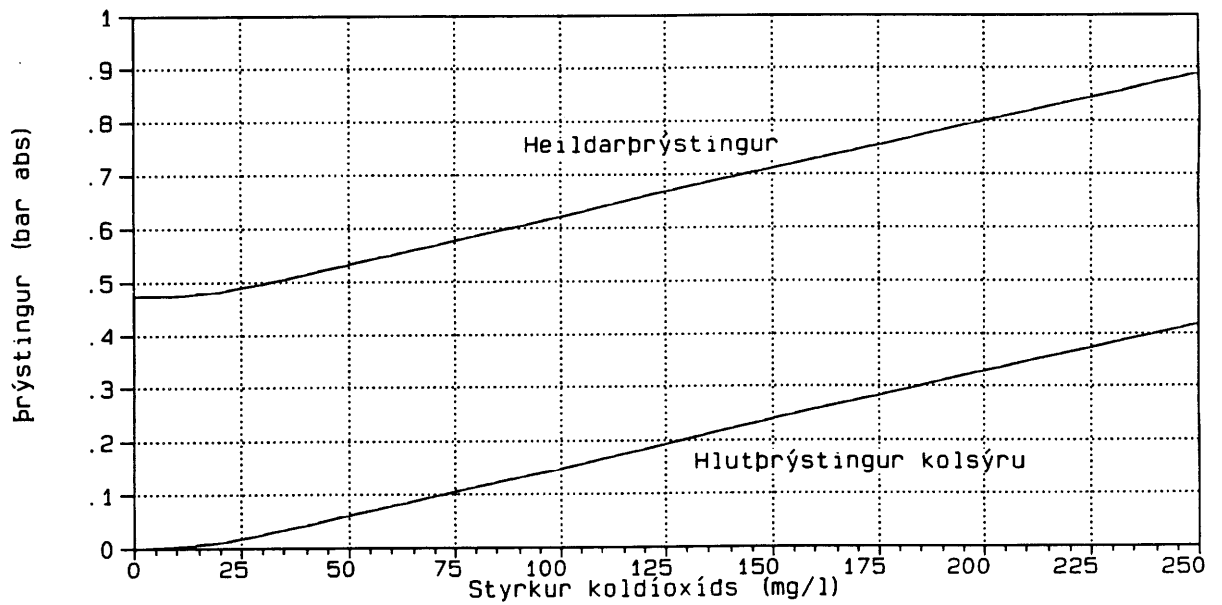
Mynd 13 Tafílát, tæringarhraði



Mynd 14 Reiknuð áhrif HCl og CO_2 á sýrustig, 30% þynning



Mynd 15 Reiknuð áhrif CO₂ styrks og þynningar á sýrustig



Mynd 16 Reiknuð áhrif CO₂ íblöndunar á suðuprýsting við 80 °C