



ORKUSTOFNUN

NATIONAL ENERGY AUTHORITY

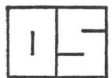
SKILAGREIN

HEGÐUN KÍSILS Í AFFALLSVATNI ORKUVERS HITAVEITU SUÐURNESJA, SVARTSENGI

Unnið af Verkfræðistofu Sigurðar R. Guðmundssonar
fyrir Orkustofnun vegna Hitaveitu Suðurnesja

OS82072/JHD17 B

Ágúst 1982



ORKUSTOFNUN

GRENSÁSVEGI 9, 108 REYKJAVÍK

SKILAGREIN

HEGÐUN KÍSILS Í AFFALLSVATNI ORKUVERS HITAVEITU SUÐURNESJA, SVARTSENGI

Unnið af Verkfræðistofu Sigurðar R. Guðmundssonar
fyrir Orkustofnun vegna Hitaveitu Suðurnesja

OS82072/JHD17 B

Ágúst 1982



INNGANGUR

Mig langar, í stuttu máli, að gera þeim, sem lesa þessa skýrslu, grein fyrir innihaldinu í almennum orðum. Þar eð skýrslan sjálf er að meginefni til mæliniðurstöður og frekar þurr yfirlestrar, vil ég benda lesanda á að hafa línurit þau, sem eru í skýrslunni, og kaflann um niðurstöður, í huga við lestur inngangsins.

Skýrslunni er skipt í fjóra kafla, 1, 2, 3 og 4, þar sem gerð er grein fyrir setprófunum, fjöliliðun kísils, síun og niðurstöðum.

Áður en raunverulegar mælingar væru hafnar, voru framkvæmdar forprófanir á jarðsjónum. Sýrustigi í sýnum af jarðsjónum var breytt, hækkað eða lækkað og sýnin síðan athuguð. Við þessar forprófanir kom meðal annars í ljós við lökkun sýrustigs, $\text{pH} \leq 4,0$, að vökvinn hélst tær við geymslu í nokkra daga. Við hækun sýrustigs reyndist hins vegar töluvert magn kísils vera óbotnfallið í jarðsjónum við 70°C . Með þetta leiðarmesti voru raunverulegar mælingar hafnar.

Í upphaflegri vinnuáætlun var reiknað með því að sýrustigi yrði breytt um leið og sýnin væru tekin til mælinga, og var það gert.

Áður en sjálfar kísilmælingarnar voru hafnar var títrunarferill jarðsjávarins ákvarðaður fyrir sýru og lútarmagn á móti sýrustigi, pH , sjá línurit 1.0.1 -títrunarferill.

Við sýrustigslökkun, $\text{pH} \leq 5,5$, fellur enginn kísill út úr jarðsjónum. Engin fjöliliðun mældist innan 60-80 mínútna við 70°C , línurit 2.1.1.

Við sýrustigshækkun fellur kísill út úr jarðsjónum. Ákveðnu lútarmagni var blandað strax í sýnið, og síðan var sethraði mældur. Sama var gert aftur og mæld fjöliliðun kísilsins í jarðsjónum, sjá fjöliliðun kísils, mism. pH gildi, línurit 2.1.1., sethraði mism. pH gildi- tafla 1.1.0. Niðurstöður framan- greindra mælinga bentu eindregið til þess að nauðsynlegt myndi vera að prófa hvort ekki næðist betri árangur, ef beðið væri með lútargjöfina í jarðsjóinn, eftir að fjöliliðun kísilsins hefði átt sér stað að einhverju marki, sjá fjöliliðun kísils í jarðsjó, línurit 2.1.1. Valinn tími var 15

1. títrun		2. títrun		1. títrun		2. títrun	
ml HCl	sýrust. pH	ml HCl	sýrust. pH	ml NaOH	sýrust. pH	ml NaOH	sýrust. pH
2.55	2.78	-	-			2.56	9.52
2.70	2.78	-	-				
2.91	2.73	-	-				
3.11	2.68	-	-	3.12	9.85		
3.65	2,58	-	-				
3.88	2.58	-	-	3.88	10.23	3.80	10.0
4.30	2.55	-	-				
4.67	2.50	4.43	2.43			4.55	10.3
5.10	2.45	-	-	5.20	10.7		
5.55	2.42	-	-				
5.98	2.38	-	-			5.7	10.70
6.85	2.33	7.00	2.23	6.62	11.00	7.88	11.05
9.55	2.18	-	-	8.28	11.15		
11.73	2.10	11.35	2.00	9.38	11.25		
15.30	1.95	15.00	1.90	10.00	11.29		
25.00	1.78	25.00	1.70				

1.1 Sethraði ákvarðaður við mismunandi pH-gildi, lútaríblöndun strax við töku sýnis.

Ekkert set myndast við sýrustig, pH, \leq 7.8. Mældur var sethraði kísilagna við sýrustig 7.8, 8.3 og 8.8.

1. Mæling við pH = 7.8

Ómeðhöndlað sýni, þ.e. hálfur lítri af jarðsjó, var látið renna í mælisívalning og hann látinn vera í hitabaði, við 70°C í eina klukkustund. Vökvinn virtist alveg tær fyrstu þrjátíu mínúturnar en eftir sextíu mínútur hafði myndast stór "kollí", sem hafði sest á botn sívalningsins og mældist hann 25 ml/0.5 l.

2. Mæling við pH = 8.3

0.5 mæq/l af lút var látinn í 2 l mælisívalning. Einn lítri af jarðsjó var látinn í sívalninginn 70°C og hann síðan látinn vera í jarðsjávarhitabaði með sama hita í eina klukkustund.

3. Mæling, pH = 8.8

2.0 m³q/w/1 af lút var látinn renna í eins líters mælisívalning.
Jarðsjó bætt í hann eins og greint er frá í 2. mælingu.

Tafla 1.1.0 Sethraði við mismunandi pH gildi, lútaríblöndun strax við töku sýnis.

Set	ml/0.5 l	ml/2.0 l	ml/1
pH	7.8	8.3	8.8
mín			
7.5	0	40	40
15.0	0	40	60
30.0	0	50	60
60.0	25	60	50
Mæl. no.	1	2	3

Kísillinn í jarðsjó mældist fyrir mælingar 697 mg/l, ófjölliðaður og 711 mg/l, allur kísill. Kísillinn í vökvannum mældist, eftir setprófun og sjálfkólnun jarðsjávarins í 20°C, í sýnum no 2 og 3., 245 mg/l og 238 mg/l (allur kísill).

Smá-kísilagnir voru sýnilegar í mælisívalningum 2 og 3, sem settust aldrei út og voru um allan vökvann á meðan á mælingu stóð (hnoðrarnir í no 3 > no 2). Eftir klukkustund hurfu þeir þó.

1.1.1 Sethraði eftir 15 og 30 mínútna bið lútargjafar.

Mælisívalningurinn var fylltur með jarðsjó og látinn standa í fimmtán mínútur í sama jarðsjávarrennsli, baði, 70°C. Síðan var 0.25 m³q/w/1 (10 mg NaOH/l) lúts látinn renna í sívalninginn og hrært vel saman í ca eina mínútu. Sethraði og fjölliðun var síðan mæld. Ofangreint var endurtekið eftir 30 mínútna bið. Niðurstöður eru í töflu 1.1.2 og línuriti 2.1.1

Tafla 1.1.2

Bið í 15 mínútur

mín	set ml	Fjölliðun mg/l kísill	Athugasemdir
15	-	-	0.25 mæqw lútur hrærður saman við jarðsjóinn
17	-	-	Þrír stórir kollar hafa myndast
18	80		Vökvinn tær
19	80		"
20	75		"
30	70-75	369T (363 M)	"

Bið í 30 mínútur

mín	set ml	Fjölliðun mg/l kísill	Athugasemdir
30			Vökvinn mjólkurlitaður ekkert set 0.25 mæqw/l lút bætt út í og vökvinn hrærður
33	85		Vökvinn tær
40	85		"
60	85	363T (369 M)	"

"T" Allur kísill

"M" Fjölliðaður kísill

1.2 Áhrif kísilagna á setmyndun í ferskum jarðsjó

Kísilagnir voru fengnar með fellingum úr ferskum jarðsjó sem voru látnar setjast í einn sólarhring. Vökvinn sem var ofan í setinu var sogaður burtu. Sýrustig setsins, pH, var 8.5.

Mælt var eftirfarandi magn af setinu 5, 50, 100 og 200 ml. Hvert þessara set-sýna var látið í eins líters mælisívalning og áhrif sethraða mælt fyrir hvert setmagn um sig. Magn kísilagna í setinu mældist ca 4.000 mg/l.

Tafla 1.2.0

Áhrif kísilagna á setmyndun í ferkum jarðsjó

Seti bætt úr í jarðsjó, ml/l	5	50	100	200
Mínútur	set ml/l			
1				750 (980)
2				520 (970)
4-5	5	50	150	400
9-10	5	50	160	280
15	5	50	140	
19-20				240
30			120	220 (*)
50	30	75		
60				
Sýrustig í lokin, pH	8.1	8.2	8.25	

() sethraði "flokka"

* smáir "flokkar" sjást nú greinilega í öllum vökvanum.

1.2.1 Áhrif sets, kísilagna og lútar á setmyndun í ferskum jarðsjó

Í líter af jarðsjó var bætt eftirfarandi:

- a) 50 ml set og lút bætt út í jarðsjóinn strax, 0-mínútur
- b) 50 ml set og lút bætt út í jarðsjóinn eftir 15 mínútur
- c) 50 ml set og lút bætt út í jarðsjóinn eftir 35 mínútur

Niðurstöður mælinga eru sýndar í töflum 1.2.1 a, b og c og línuriti 2.2.3 a., b., c.

Tafla 1.2.1. a

50 ml set með 0,25 mæq/1. lút, NaOH, bætt út í strax, 0 mínútur.

Mínútur	Set kolla	Set	Athugasemdir
1	980	20	
2	900	55	
5	800	35	
7	0	35	
15	-	35	kolli sýnilegur um allan vökvann set hrært upp í vökvanum
20	950	60	
25	850	65	
30	600	70	
37			" "
40	950	100	
41	950	85	sýrustig., pH var 8.5
50	0	75	

Tafla 1.2.1. b

50 ml set með 0,25 mæq/1. lút, NaOH., bætt út í eftir 15 mínútur.

Mínútur	Set kolla	Set	Athugasemdir
15	-		Setið og lútur hrært í jarðsjó
16	-	110	
18	-	110	Smá kollar sýnil. um allan vökvann
20	-	-	Set hrært aftur saman við vökvann
22	950	120	
25	950	120	
26	-	-	Set hrært upp í vökva
27	980	100	
28	-	130	
30	-	110	Smá kollar um allan vökvann
32	-	95	
34	-	90	Kolli horfinn
50	-	90	- " - pH = 8.4 við lok mælingar

Tafla 1.2.1. c

50 ml set með 0,25 mæq/l. lút, NaOH, bätt út í eftir 30 mínútur

Mínútur	Set kollar	Set	Athugasemdir
35	-	-	Set og lút hrært út í jarðsjó
39	950	120	
40	800	280	
43	0	140	Engin kolli sýnil.
45	0	118	" " "

Sýrust. við lok mæl. var 8,7

1.3 Kornastærð kísilagna í núverandi lóni.

Tekin voru sýni úr bunustokki og vestur enda lóns.

Staður sýnatöku	Hiti °C	uppl.	Kísill agnir	allur
Bunustokkur	72	320	378	698
Vestur endi lóns	30	220	260	480

Kornastærðardreifing vestur enda lóns, sjá línurit K-1641 - Svartsengi nr. VII. í viðauka - Mælingar á kornastærðardreifingu kísilagna voru framkvæmdar af Svani Pálssyni Orkustofnun.

2.1 Fjölliðun kísils í ferskum jarðsjó, mæld við mismunandi pH gildi

2.1.1 Lút eða sýru blandað strax út í sýnið við töku þess

Notaður var hitabrúsi. Hitafall í brúsanum hafði mælst eftir eina klukkustund minna en ein gráða á Celcius. Fyrir hverja mælingu var sett ákveðið magn af lút í brúsann. Áður var brúsinn fylltur með jarðsjó tvisvar til þrisvar sinnum til að tryggja að ekkert hitafall yrði í sýnunum. Eftir að lúturinn (eða sýran) var kominn í brúsann þá var sýnið látið renna í hann. Fylgst var síðan með fjölliðun kísilsins með "monomer" mælingum. Niðurstöður mælinga eru í töflu 2.1.1 og línuriti 2.1.1.

Tafla 2.1.1

Fjölliðun kísils í ferskum jarðsjó mæld við mism. pH gildi

pH:	8.8	8.2	óbr.	5.5	4	2
mín						
0	651	648	675	-	-	-
5	-	-	-	716	696	-
10	-	-	-	-	-	623
20	-	-	380	-	711	665
30	473	437	319	686	-	-
50	504	(538)	318	-	-	-
60	-	-	312	-	690	-
80	477	467	-	737	-	681
ml., 0.IN. íblöndun lúts eða sýru						
lútur;	2.56	0.65	-	-	-	
sýra;			-	0.57	0.66	~11.35*
mäqw/l;						

* Notuð var conc. HCl, 35% 1 ml.

2.1.2 Bið - 15 og 30 mínútna bið lútargjafar

Mælisívalningur, einn líter var fylltur með jarðsjó og síðan látinn standa í sama jarðsjórennsli, baði, 70°C í 15 mínútur og 30 mínútur. 0.25 mäqw/l. lúti var þá bætt út í mælisívalninginn. Vökvinn var vel hrærður saman við lútinn. Allur kísill var mældur eftir 60 mínútur, tafla 1.1.2 og línurit 2.1.1.

2.2.3 a Íblöndun strax, 0 mínútur

mín	Kísill SiO ₂ ófjölliðaður mg/l	Kísill SiO ₂ allur mg/l
12	400	
15	401	480
30	366	421
60	336	(455)

2.2.3 b Íblöndun eftir 15 mínútur

mín	Kísill SiO ₂ ófjölliðaður mg/l	Kísill SiO ₂ allur mg/l
20	261	
30	247	435
50	239	438

2.2.3 c Íblöndun eftir 30 mínútur

mín	Kísill SiO ₂ ófjölliðaður mg/l	Kísill SiO ₂ allur mg/l	Athugasemdir
0	640	-	
5	431	608	
30	289	456	Kísil og lút bætt í jarðsjóinn
35	266	336	
40		296	
50		293	
60	245	283	

3.1 Síun kísilagna úr jarðsjó

Sýni var tekið úr vesturenda lónsins við aðstæður eins og greint er frá í kafla 1.3. Botnfallið kísilgrugg var tekið til mælinga á plastflöskur. Kísillinn var látinn setjast til í flöskunum og vökvinn sogaður ofan af kísilgrugginu.

Síuhraði

1. mæling			2. mæling		3. mæling	
Rúmmál vökva ml.	Rennsli sek.	Þrýst- ingur mm Hg	Rennsli sek.	Þrýst- ingur mm Hg	Rennsli sek	Þrýst- ingur mm Hg
0	0	-	-	-		
30	40	112	40	140	70	75
50	80	77	75	60	120	(≈3)
70	120	62	120	10	180	(≈3)
90	180	(45)	165	(2)	290	(≈3)

Síu mælingarnar voru framkvæmdar þannig, að eftir mælingu 1 var kakan tekin af filterpappírnum (nr. 4) og kísillinn hrærður aftur saman við filtratið og tilraunin endurtekin tvisvar, mæling 2 og 3.

Þvermál síu var 11,0 cm

Rúmmál köku mældist 19.0 cm³

Rennslishraði 3,3 mm/mín (cm³/m³·mín)

Mælt kísilgums var 95 ml.

Þurrefnisinnihald köku mældist 12.34 gr.

Eðlisþyngd gums 1.10-1.13 gr/cm³

3.2 Eðli síu köku

Mælt var rúmmál síuköku og þyngd

Eðlisþyngd reyndist, gr/cm³, 2,50, blautþungi.

Rakinn í síuköku mældist 73,9%

Eðlisþ. kísilköku 0,65 gr/cm³, þurrþungi.

4.1 Niðurstöður

4.1.1 Set hraði og áhrif kísilagna

Sýrustigshækkun	Tafla	pH	Sethraði mm/sek
0-mínútur	1.1.1	8.8	>0.7
eftir 15 mínútur	1.1.2	8.55	>1.6
eftir 30 mínútur	1.1.2	8.55	>1.7
set kísilagna íblöndun og lútar, 0-mínútur	1.2.0		
Sýrustigshækkun og kísilagnablöndun,			
0 mínútur	1.2.1 a	8.5	>0.3
15 mínútur	1.2.1 b	8.4	>2.0
30 mínútur	1.2.1 c	8.7	>0.6

4.1.2 Komastærð kísilagna

Af línuritum í viðauka k 1633-41 má sjá að kísilagnirnar verða stærri eftir bið - "retention", og stækkunin verður meiri við íblöndun kísilagna.

4.2 Fjölliðun

4.2.1 Fjölliðun kísils í ferskum jarðsjó við mismunandi pH gildi

Við sýrustigslækkun úr 7.8 í 5.5, 4.0 og 2.0 helst kísillinn í jarðsjónum eftir 60 mínútur ófjölliðaður, sjá töflu 1.1.2 og línurit 2.1.1.

Sýrustig hækkað með lút

Mínútur bið fyrir lútargjöf	Tafla línurit	Kísill SiO ₂ ó fjöliliðaður mg/l eftir 30 mín	Kísill SiO ₂ ó fjöliliðaður mg/l eftir 60 mín	pH
0	2.1.1	473	475	8.8
0	2.1.1	438	468	8.2
15	2.1.1	400	370*	8.55
30	2.1.1	-	363*	8.55

* Það er allur kísill

4.2.2 Fjölliðun kísils eftir að kísilögnum hefur verið bætt út í jarð-
sjóinn með og án sýrustigs hækunar

Mínútur bið fyrir kísil- íblöndun	Magn íblandaðs kísils ml/l	Tafla línurit	pH	Kísill SiO ₂ mg/l ó fjöliliðaður eftir (mín.)				Kísill SiO ₂ mg/l allur eftir (mín.)		
				10	20	30	60	10	30	60
0	10	2.2.2	-	386	332	305	-	-	-	-
0	100	2.2.2	8.25	423	362	338	-	-	-	-
0	200	2.2.2	8.30	-	-	-	-	498	498	382

Mínútur bið fyrir kísil og lúts íblöndun	Magn íblandaðs kísils ml/l	Tafla línurit	pH	Kísill SiO ₂ mg/l ó fjöliliðaður eftir (mín.)				Kísill SiO ₂ mg/l allur eftir (mín.)			
				10	20	30	60	10	20	30	60
0	50	2.2.3 a		416	380	365	336	520	448	423	-
15	50	2.2.3 b		-	264	248	238	-	435	435	435
30	50	2.2.3 c		-	-	289	245	-	-	235	284

4.2.3 Síun kísilagna úr jarðsjó

Síað var grugg úr lóni sjá niðurstöður í kafla 3.1. Rennslishraðinn reyndist í gegnum filterköku frá 0.000-3,5 mm þykkt.

Tafla 4.2.4

Rennsli vökvi ml	Þykkt köku mm	Tími sek	Þrýstingur mm Hg	ml/sek	(cm ³ /cm ² 1/sek)	mm/mín
0	0	-	-	-	-	-
30	1.2	40 (40)	112 (112)	0.75	7.9	4.7
50	1.9	80 (75)	77 (60)	0.625	6.8	4.0
70	2.7	120 (120)	62 (10)	0.583	6.1	3.7
90	3.5	180 (165)	(45) (2)	0.5	5.3	3.2

() : Önnur mæling

Reiknaður rennslishraði í mm/mín fyrir 1.0 mm þykka köku við 1.0 atmosferu þrýsting

$$\text{mm/mín} \times \frac{P_m \cdot t}{760} \times \frac{\text{þykkt köku (mm)}}{1.0 \text{ mm}} = \text{mm/mín}$$

t.d.:

$$4.7 \times \frac{112}{760} \times \frac{1.2}{1.0} = 0.83$$

$$0.83 + 0.77 + 0.815 = 0.8 \text{ mm/mín}$$

Rennslishraði við 50 mm Hg í gegnum 1.0 mm köku er 12,2 mm/mínútu o.s.frv.

4.2.5 Eðli síuköku

Kornastærðadreifing kísilagnanna virðist mjög jöfn. Kísillinn þéttist fljótlega við síun. Rakinn mældist >70%.

Kornastærðadreifing fer eftir sýrustigi því sem kísillinn er felldur út við og öðrum aðstæðum t.d. ("retension") bið o.s.frv.

Við framleiðslu t.d. síuefnis verður sían grófari við pH > 7, en finni við pH < 7.

Þurrkuð kísilkaka er fallega hvít og heldur lögum sinni, eftir þurrkun við 110°C.

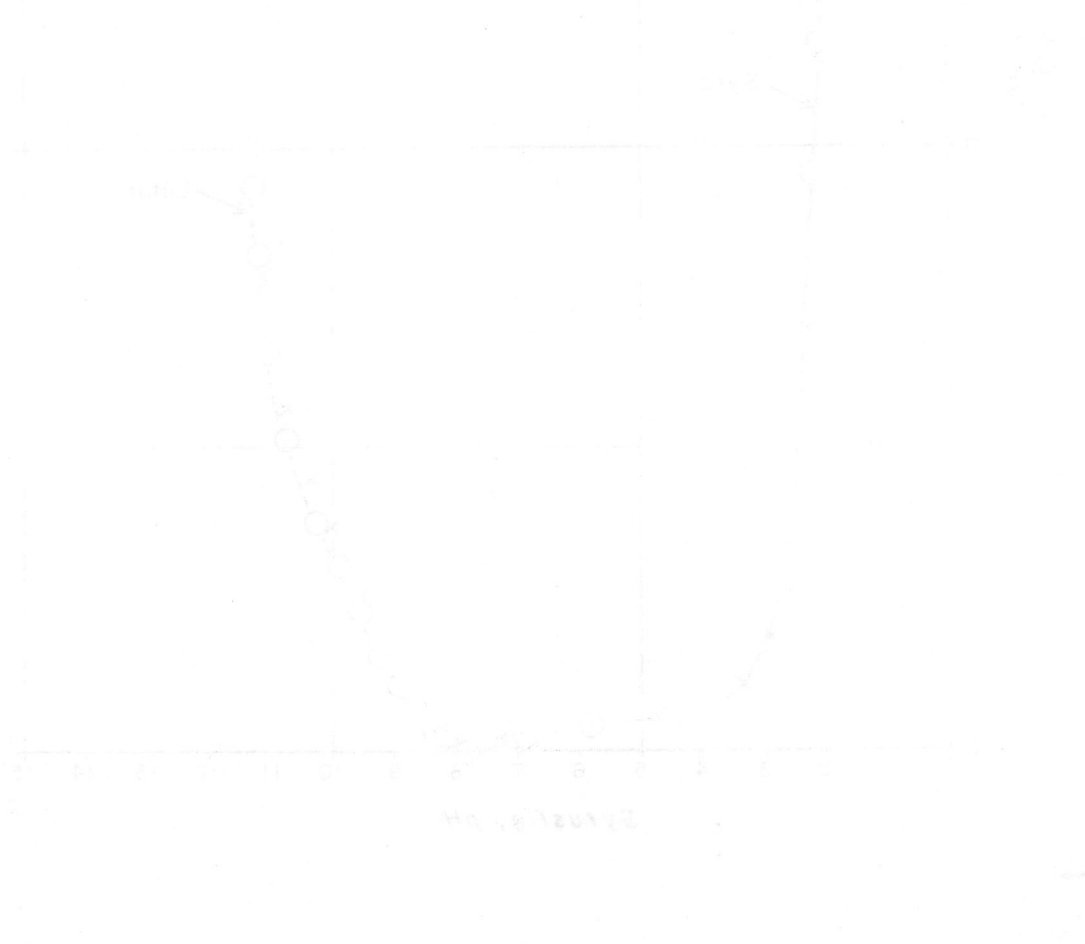
Línurit

Stofnun Akad. Vísind. Íslands

VIÐAUKI

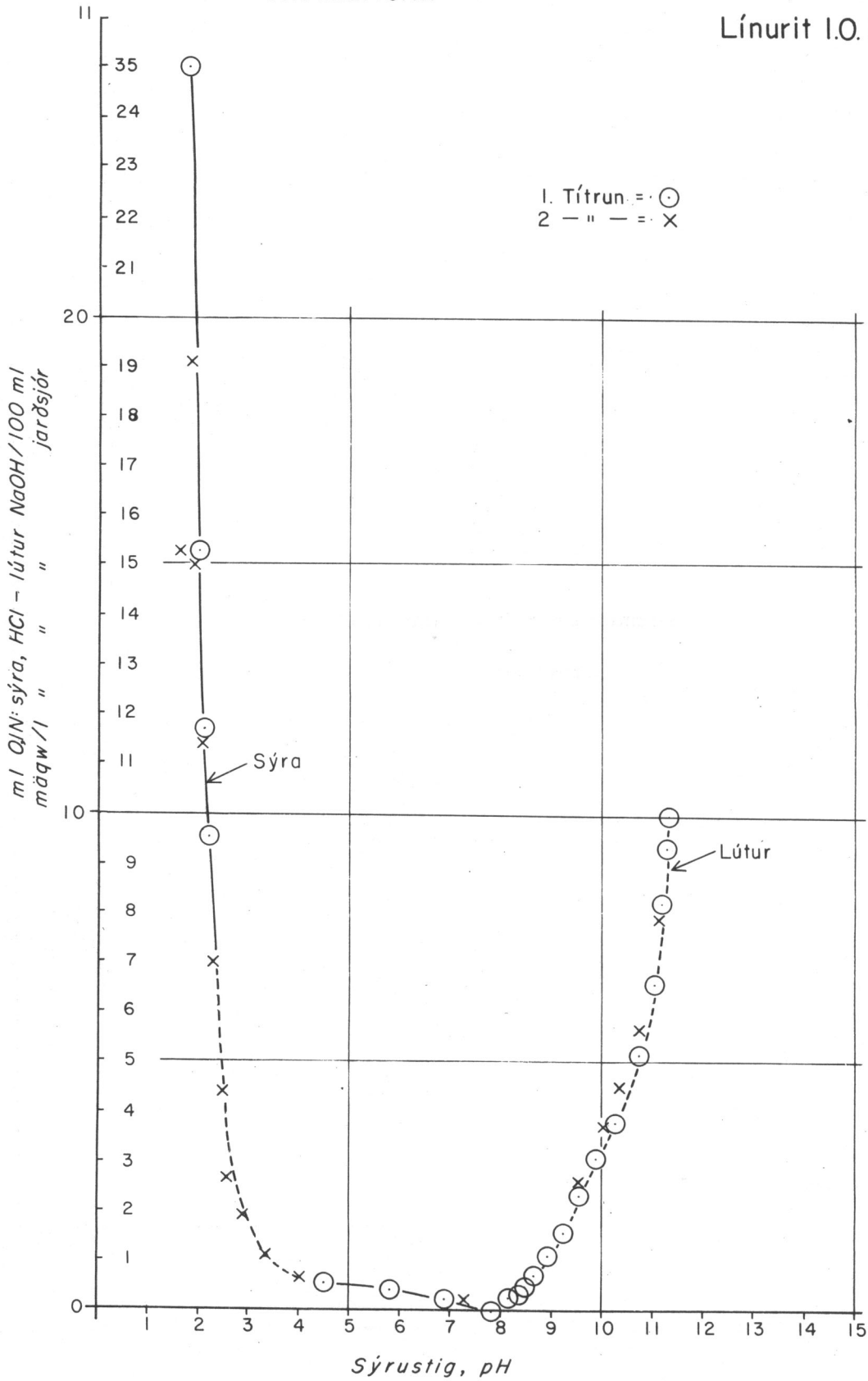
Mælingar á komastæðardreifingu kísilagna

Línurit



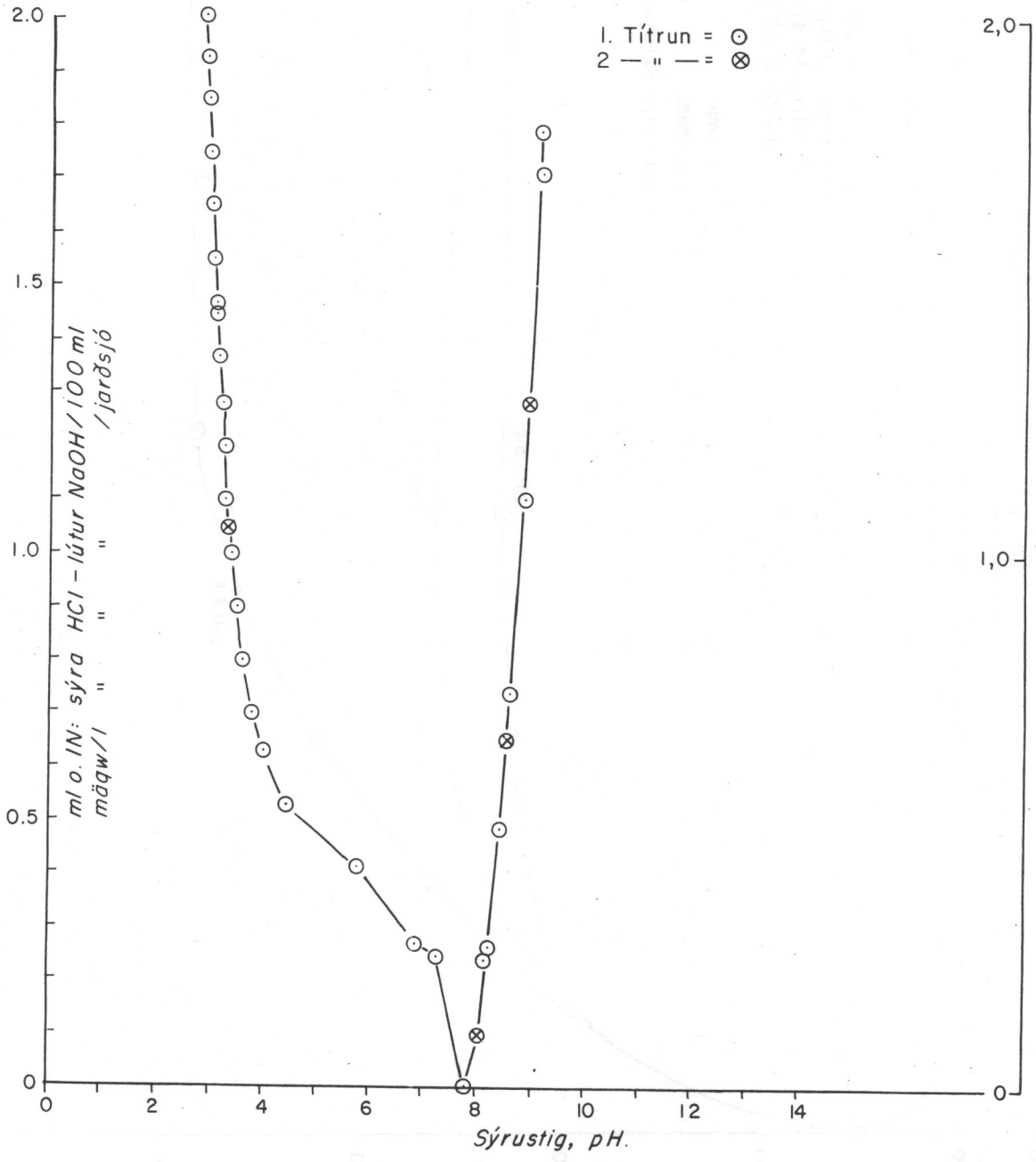
Títunarferill

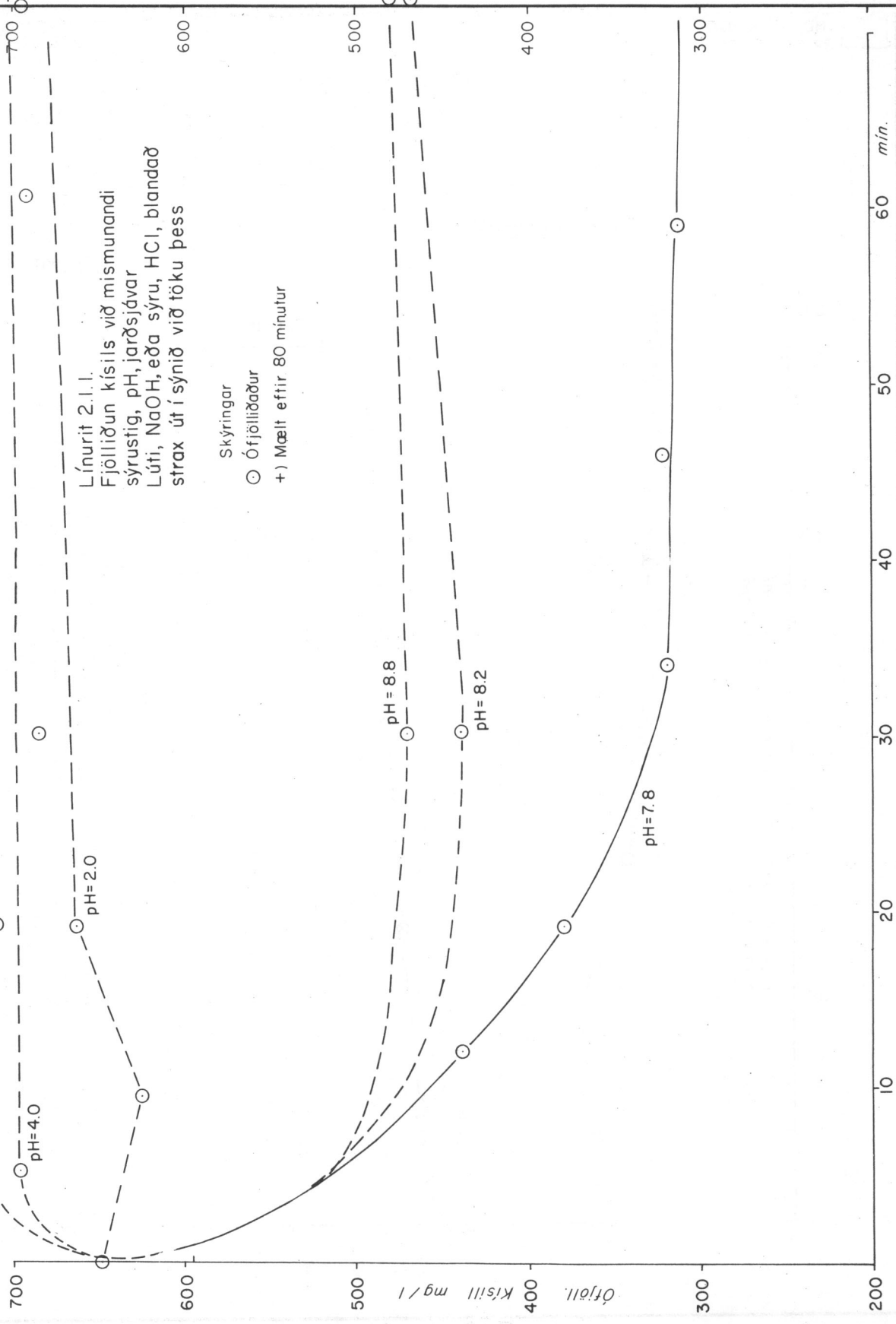
Línurit I.O.I.a



Títrunarferill

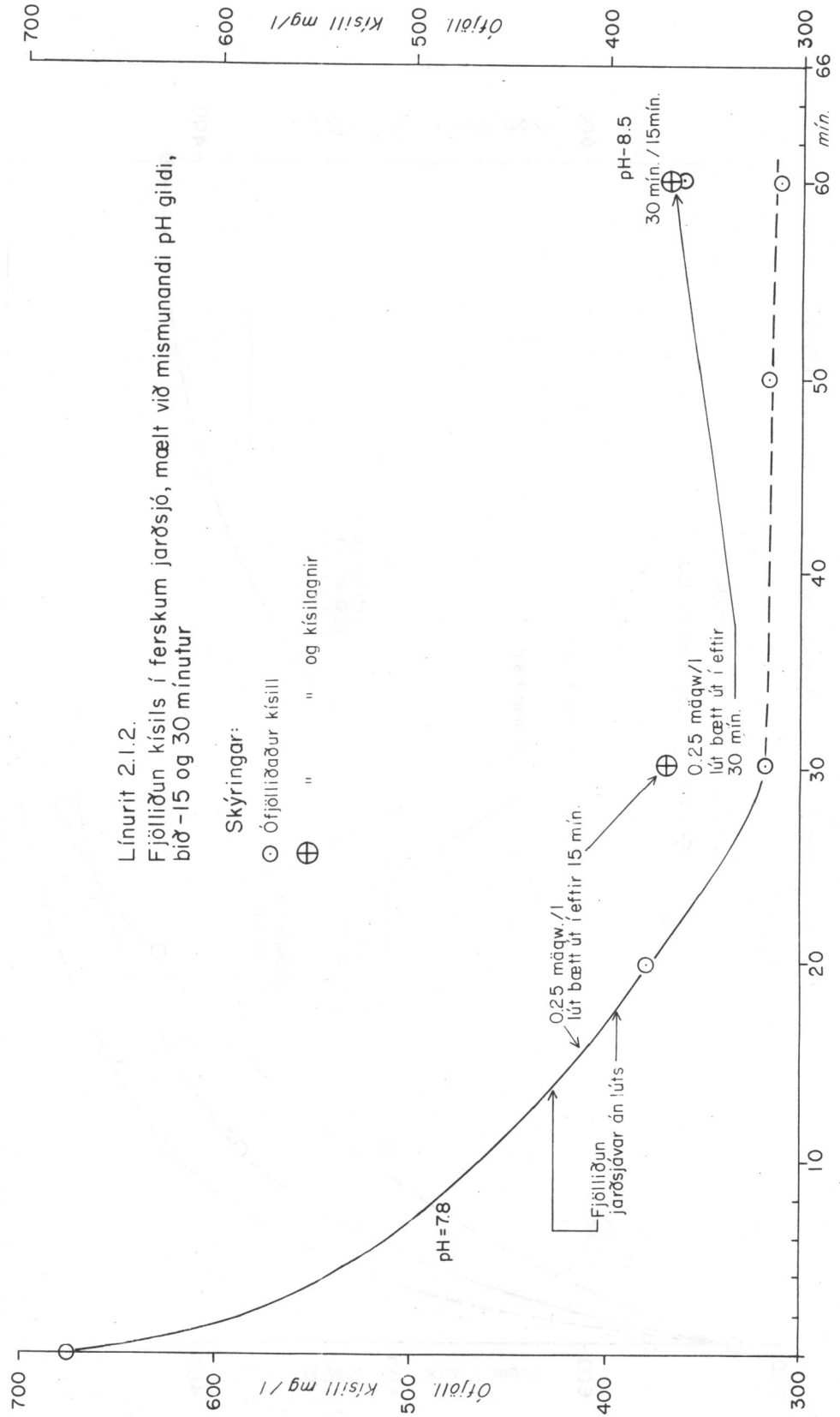
Línurit I.O.I.b





Línurit 2.1.1.
Fjöllíðun kísills við mismunandi
sýrustig, pH, jarðsjávar
Lúti, NaOH, eða sýru, HCl, blandað
strax út í sýnið við töku þess

Skýringar
○ Ófjöllíðaður
+) Mælt eftir 80 mínútur

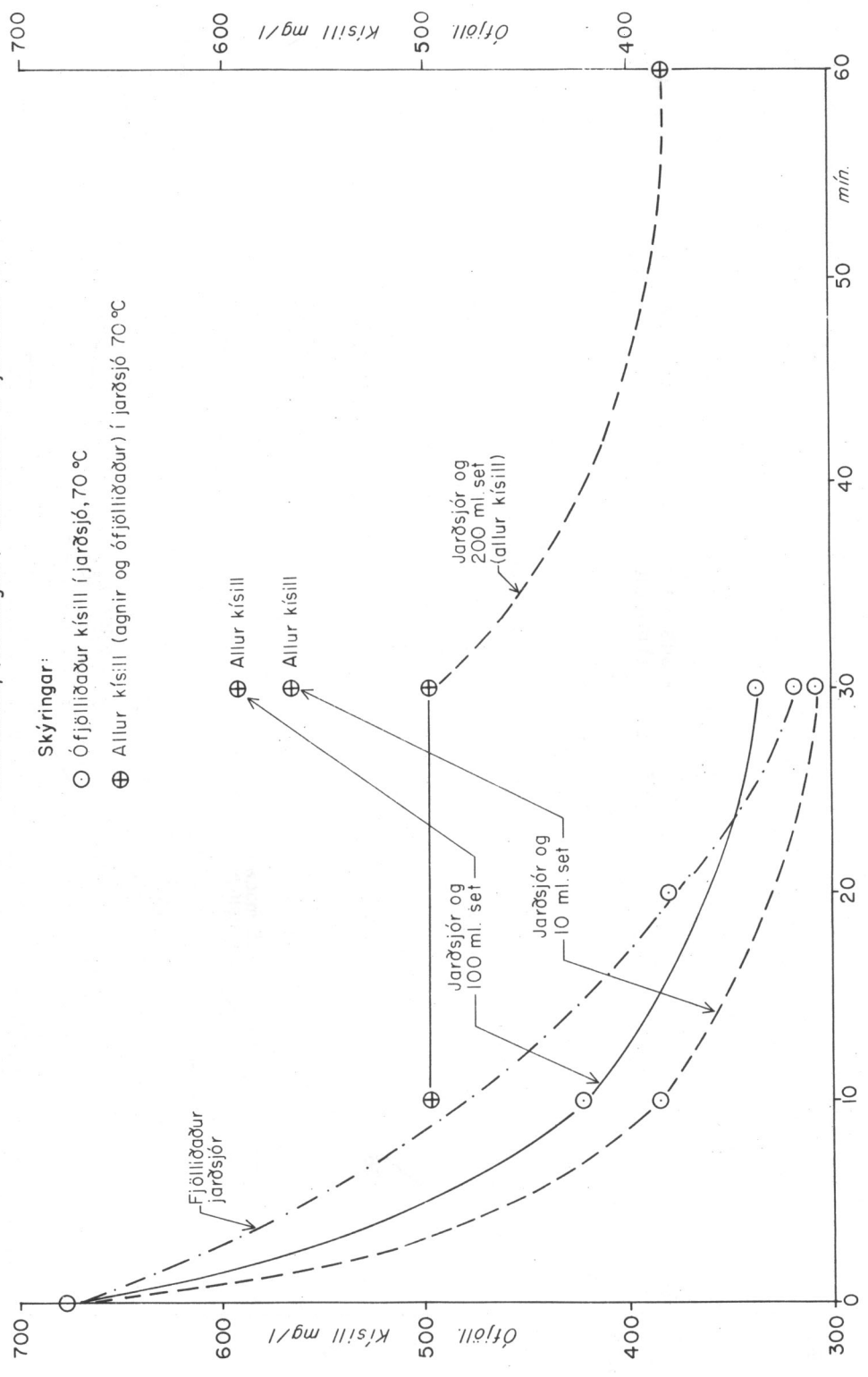


Línurit 2.1.2.
Fjölliðun kísils í ferskum jarðsjó, mælt við mismunandi pH gildi,
bið-15 og 30 mínútur

Skýringar:

- Ófjölliðaður kísill
- ⊕ " " og kísillagnir

Línurit 2.2.2.
Áhrif sets, (kísilagna) íblöndunar á fjölliðun kísils



Skýringar:

- Ófjölliðaður kísill í jarðsjó, 70 °C
- ⊕ Allur kísill (agnir og ófjölliðaður) í jarðsjó 70 °C

Fjölliðaður jarðsjór

Jarðsjór og 100 ml. set

Jarðsjór og 10 ml. set

Jarðsjór og 200 ml. set (allur kísill)

⊕ Allur kísill

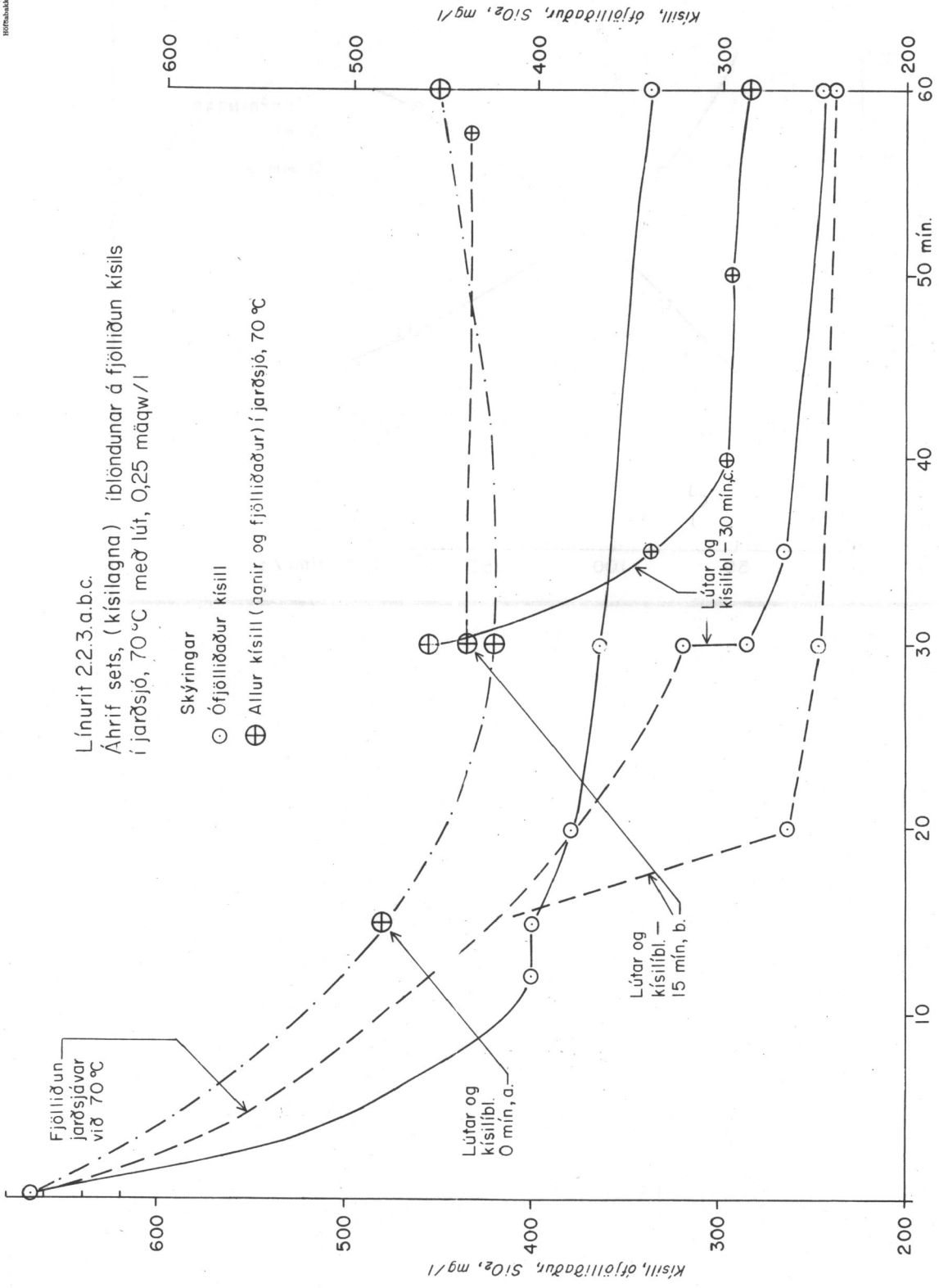
⊕ Allur kísill

JHD-VT-9000-
82.06.0816.00

Sigurður R. Guðmundsson
Línuritaður
Höfnunarskóli Íslands 1942 - 1973

Línurit 2.2.3.a.b.c.
Áhrif sets, (kísilagna) íböndunar á fjölliðun kísils
í jarðsjó, 70 °C með lút, 0,25 mägw/l

Skýringar
○ Ófjölliðaður kísill
⊕ Allur kísill (agnir og fjölliðaður) í jarðsjó, 70 °C



Fjölliðun jarðsjávar við 70 °C

Lútar og kísilbl. 0 mín, a.

Lútar og kísilbl. 15 mín, b.

Lútar og kísilbl. 30 mín, c.

Kisill, ófjölliðaður, SiO₂, mg/l

Kisill, ófjölliðaður, SiO₂, mg/l

600
500
400
300
200

0 10 20 30 40 50 60 mín.

JHD-VT-9000-
82.06.0816. '00

Línurit 3.1.
Sínun kísílagna úr sjó

Sigurður R. Guðmundsson
Verkfærastofa
Höftabakka 9 - Símar 84462 - 53023

