

BRÁÐABIRGDASKÝRSLA UM
BORHOLU 8 Á REYKJANESI

- selta afl útfellingar -

eftir

Stefán Arnórsson

jan. 1971.

ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

BRÁÐABIRGDASKÝRSLA UM
BORHOLU 8 Á REYKJANESI
- selta afl útfellingar -

eftir

Stefán Arnórsson

jan. 1971.

0. Selta

Reglulegar efnagreiningar á jarðsjó úr borholu 8 frá því í október 1970, að holan var fyrst látin blása, styðja fyrri niðurstöður, að heiti jarðsjórinn, sem streymir inn í djúpar borholur (dýpi er um 700 m) hafi sömu seltu og sjór. Þessi niðurstaða bendir til þess, að heiti jarðsjórinn sé sjór að uppruna, sem streymir gegnum berg, sem er eldra en hann, en ekki að jarðsjórinn sé af sama aldri og bergið, sem hann er í. Er því talið, að ekki sé um að ræða ákveðinn forða jarðsjávar, sem vinna má úr svæðinu með borunum, heldur að borholur fái jarðsjó, úr ákveðnu gegnumstreymi gegnum jarðhitasvæðið. Þessi niðurstaða segir ekkert um náttúrulegt innstreymi jarðsjávar á svæðið, það magn sem nýta mætti úr svæðinu, án þess að raska því.

Í töflu I eru eru sýndar allar efnagreiningar sem gerðar hafa verið á jarðsjó úr borholu 8. Auk þess er í töflunni gerður samanburður á samsetningu jarðsjávar í þeirri borholu, eftir að hún fór að blása, við borholur 2 og 4 ásamt einum hver á svæðinu. Leiðréttingar á magni efnanna í jarðsjónum vegna gufutaps hafa verið gerðar í töflunni og er reiknað með gufutapi án varmataps frá síðasta jafnvægi við kvars. Kemur í ljós, að magn allra efnanna er mjög svipað í jarðsjónum í öllum þremur borholunum og hvernum, nema hvað seltan er örllítið hærri í hvernum og borholu 2, sem er grunn (300 m). Þessi hærri selta er talin stafa af því, að útreiknaður kvarshiti í þessum tveimur tilfellum er nokkuð lægri en raunverulegur hiti, þar sem suða hefst, vegna útfellingar kísils í bergi.

Borholur 4 og 8 eru í sitt hvorum enda jarðhitasvæðisins en borhola 2 í því miðju. Niðurstöður efnagreininga úr þeim benda því sterklega til þess, að samsetning jarðsjávar á jarðhitasvæðinu á Reykjanesi neðan 500-700 m sé mjög jöfn (hómogen) og, að þær breytingar sem verða stafa fyrst og fremst af hita. Með auknum hita hækkar kalí í jarðsjónum

Tafla 1

Samsetning jarðsjávar í borholu 8 Reykjanesi. Samanburður er gerður á samsetningu jarðsjávar við innstreymi á öðrum holum á svæðinu og einum hver. Leiðrétt er fyrir gufutapi og er reiknað út frá síðasta jafnvægi við kvars þ.e. kvarshita. Magn í ppm.

Sýni nr.	Safnað dags	Kvarsh. °C	pH/°C	SiO ₂	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	SO ₄ ⁻⁻	Cl ⁻	Uppl. efni	Djúpsýni dýpi m
700001	02.01	174	6.10/23	187	5540	774	808	27	78	8960	15542	200
700002	02.01	226	5.78/23	367	10220	1212	1484	64	90	16630	28262	750
700006	12.01	242	5.86/23	438	9920	1300	1652	27	78	17820	30823	800
700007	12.01	243	5.68/23	447	9630	1300	1555	32	76	17280	30214	1040
700029	24.03		7.3/20	10	643	32	120	27	44	1232	2186	100
700030	24.03	242	5.30/20	440	8760	1190	1635	17	98	17720	30458	400
700031	24.03	245	5.20/20	457	8760	1190	1660	15	95	17930	30686	800
700041	02.04	250	5.75/20	477	8450	1260	1654	21	141	17900	31032	1700
700130	08.09		5.82/20		9200	1288	1728	26	78	18220	32496	1640
700166	30.10	251	6.78/20	486	9440	1490	1573	57	51	18700	38350	
700168	06.11	(251)	9.08/20	(407)	10020	1307	1626	17	53	19600	33200	
700171	13.11	254	6.98/20	528	9950	1331	1620	17	69	19530	33000	
700173	20.11	252	6.60/20	505	9810	1292	1631	10	51	19310	33400	
700178	27.11	255	6.55/20	536	9650		1628	15	66	19520	33500	
700179	04.12	257		542	9800	1371	1632	26	47	19390		
700193	18.12	255	6.90/20	530	10180	1407	1661	10	51	19900	33900	
710001	05.01		6.83/20		10200	1340	1660	21	48	19900	33300	
Sjór v. Reykjanes					10520	416	386	1282	2640	19800		
Sjór (R & S, 1950)					10556	380	400	1272	2649	18980	34816	
H.2 (meðaltal 17)		221		353	10440	1382	1812	15	72	20745	34550	
H.4 (meðaltal 8)		240		(520)	10320	1287	1555	30	75	18950	32400	
H.8 (meðaltal 8)		255		521	9830	1363	1623	22	55	19450	33400	
Holuhver (meðalt. 4)		250		469	10400	1495	1720	20	61	20850	35750	

og sömuleiðis kísill, en búist er við, eins og niðurstöður benda til, að magn annarra efna breytist lítið, þótt hiti breytist frá 200°C til 300°C.

Niðurstöður í töflu 2 sýna magn H_2S , CO_2 og útreiknað pH í djúpvatni. Það er athyglisvert, að djúpvatnið er nokkuð súrt, pH 4.8, en hreint vatn hefur pH 5.6 við 257°C (innstreymishiti í borholu 8) og 5.65 við 190°C (innstreymishiti í borholu 2). Til samanburðar eru sýndar sömu niðurstöður fyrir borholu N.3 við Námafjall og borholu G.8 í Hveragerði. Er áberandi, að magn H_2S er miklu lægra í jarðsjónum og CO_2 og H^+ herra heldur en í heita djúpvatninu af hinum háhitasvæðunum. Talið er, að þetta megi rekja til seltu jarðsjávarins. Þessi munur á samsetningu getur leitt til annarra tæringaráhrifa gufu á járn úr jarðsjónum og er ekki æskilegt að hafa til hliðsjónar reynslu við Námafjall hvað viðvíkur endingu á pípum, er gufa streymir um.

Tafla 2. CO_2 , H_2S og útreiknað pH á jarðsjó við innstreymi í borholur 2 og 8. Magn í ppm.

Borhola	CO_2	H_2S	pH
H.2 Reykjanes	940	36	4.8
H.8 Reykjanes	1450	26	4.8
N.3 Námafjall	244	166	7.0
G.8 Hveragerði	140	50	8.4

Búast hefði mátt við, að sýrustigið í borholu 2, sem er svo grunn, hefði reynst herra en í borholu 8 vegna suðu. Lægra CO_2 í djúpvatni í þessari grunnu borholu er að vísu merki um suðu, en hún er þó mjög lítil. Mögulegt er, að suða hafi átt sér stað í bergi neðan borholu 2, ef gufan og vatnið hafa ekki skilizt að, heldur streymi blanda af gufu og vatni í borholuna. Enthalspíumæling með gasaðferð á borholu 2 bendir þó til, að svo sé ekki. Þetta þarf að athuga nánar.

Hið lága sýrustig á jarðsjónum á dýpi, þar sem hann hefur ekki náð að sjóða leiðir til þess, að hann er ekki í jafnvægi við Na^- og K-feldspöt, heldur K-mica (glimmer) (mynd 2). Í lokaskýrslu um rannsóknir á Reykjanesi var sett fram, að magn kalís í jarðsjónum stjórnaðist af uppleysanleika Na^- og K-feldspata. Niðurstöður efnagreininga hafa hins vegar sýnt, að kalí í jarðsjónum er nokkru lægra en búast mátti við af uppleysanleika feldspatanna. Ekki hefur enn verið kannað, hvort útreiknað kalímagn jarðsjávarins frá leysanleika K-mica sé svipað því, sem mælist í jarðsjónum, en það verður athugað fljótlega. Við suðu jarðsjávarins hækkar sýrustig svo, að jarðsjórinn ætti þá að vera í jafnvægi við Na^- og K-feldspöt (sbr. ör á mynd 2). Þess má geta, að heitt djúpvatn í Hveragerði ber einkenni þess að hafa soðið, en svo er ekki um djúpvatn við Námafjall og á Reykjanesi.

1. Afl

Síðan borhola 8 var látin blása í október 1970 hefur afl hennar verið mælt reglulega (mynd 3). Við þessar aflmælingar var Russel James aðferðin notuð, þ.e. mæling á krítískum þrýstingi í útstreymisopi og enthalpíu. Enthalpía var reiknuð út frá kvarshita, sem er um 257°C, en mestur hiti hefur mælt í botni holunnar 262°C. Margar vatnsæðar koma í holuna ofan við botn hennar og eru þær nokkru kaldari en 262°C.

Heildarrennsli úr borholunni hefur ekki breyzt verulega síðan holan var fyrst látin blása (mynd 3). Minnkaði það samt nokkuð fyrsta mánuðinn. Þess skal getið, að fyrstu 4 mælingarnar á afli holunnar eru ekki eins nákvæmar eins og hinar 5 síðustu. Nokkrar sveiflur eru á heildarrennsli holunnar, sem taka yfir fáar mínútur eða fáa tugi mínútna. Síðustu 5 mælingarnar eru meðaltal margra mælinga gerðar á einum klukkutíma, en 4 þær fyrstu aðeins ein mæling. Af myndum 3 og 4 er dregin sú ályktun að holan gefi um 80 kg/sek af vatni og gufu við allt að 12-13 kp/cm² þrýsting undir aðal-loka, sem er mjög svipaður þrýstingur og á vinnsluskilju. Þegar holunni er lokað í nokkrar mínútur og síðan opnuð aftur er heildarrennsli hennar um 90 kg/sek í a.m.k. eina klukkustund á eftir.

Til þess að geta dæmt um heildarrennsli borholu 8 við langtíma-vinnslu er nauðsynlegt að gera reglulegar aflmælingar í a.m.k. hálf t. ár enn. Hafi verulegar breytingar á heildarrennsli átt sér stað á þeim tíma, er gert ráð fyrir, að lengri reynslutími sé nauðsynlegur, svo unnt verði að segja fyrir um afl holunnar við langtíma-vinnslu.

Á mynd 3 sést, að heildarrennsli borholu 2 hefur minnkað um nálægt 5 kg/sek eða 20% frá miðju ári 1969 til janúar 1971. Samsetning jarðsjávarins í holunni hefur ekki breytt á sama tíma. Ekki voru gerðar þéttar aflmælingar á borholu 2 fyrir og eftir, að borhola 8 var látin blása, en af lögun

línuritsins á mynd 3 mætti ætla, að afl borholu 2 hafi minnkað við það, að borhola 8 var látin blása. Þess vegna er ástæða til að fylgjast með afli beggja holanna um tíma og sérstaklega hvort breytingar eigi sér stað á annarri hvorri holunni væri hinni lokað.

Í töflu 3 er sýnt heildarrennsli borholu 8 ásamt magni gufu og jarðsjávar við mismunandi þrýsting eins og gert er ráð fyrir í skýrslu Rannsóknarráðs ríkisins um hagkvæmni 250.000 tonna saltverksmiðju. Ennfremur er magn kísils, klórs og kalís í jarðsjónum við þennan mismunandi þrýsting sýnt í töflunni. Til samanburðar við efnasamsetningu jarðsjávar

Tafla 3

Vinnslu- þrýst. ata	jarðsjór kg/sek	gufa tonn/klst	Cl ⁻ mg/l	K ⁺ mg/l	SiO ₂ mg/l	Ca ⁺⁺ mg/l
2	58	78	26600	1870	714	2222
4	61	69	25600	1800	688	2145
17	64	10	22400	1568	599	1868
1	55	89	28200	1978	755	2355
forsendur fyrir 250.000 tonna verksmiðju við 1 ata.			30800	2200	(600)	2650

Í borholu 8 (við 100°C) eru tölur úr skýrslu Rannsóknarráðs ríkisins, sem notaðar voru ásamt öðru sem forsenda í athugun á hagkvæmni sjóefnavinnslu. Þessar tölur eru nokkru hærri en samsvarandi tölur frá borholu 8. Til þess að ná sömu seltu og gert er ráð fyrir í forsendum þarf 285°C innstreymishita í borholu, en við þann hita verður kalí nokkru herra en kemur fram í forsenduáætluninni. Það er talið líklegt, að með djúpri borun í mitt jarðhitasvæðið á Reykjanesi megi fá 300°C heitan jarðsjó. Á það skal bent að borhola 8 er í útjaðri svæðisins, sé miðað við efstu 1000 m þess.

Vinnsluferill borholu 8 (mynd 4) sýnir, að heildarrensli hennar eykst ekki, þótt þrýstingur við aðallok sé lækkaður niður fyrir 13 ata og fer rennsli borholunnar ekki að minnka verulega fyrr en þrýstingur undir aðalloka er meiri en 20 ata. Hér er gert ráð fyrir heildarrensli 80 kg/sek við vinnslu við 2 og 4 ata. Vera má, að rennsli borholu 8 aukist, ef sett verður á hana víðari útstreymispípa. Það verður gert síðast í þessum mánuði.

2. Útfellingar kísils.

Það hefur verið vel þekkt um nokkuð skeið, að magn kísils í heitu vatni á mörgum háhitasvæðum í ýmsum löndum stjórnast af uppleysanleika kvars. Svo er einnig á Reykjanesi. Þegar vatn streymir upp borholu og sýður vegna lakkunar á þrýstingi verður vatnið yfirmettað af kísil með tilliti til uppleysanleika kvars af tveimur ástæðum. Í fyrsta lagi á sér stað kólnun vegna gufumuðunar og í öðru lagi vegna gufutapsins. Hins vegar hefur reynsla sýnt, að í vatni yfirmettuðu af kvars fellur það ekki út, heldur fellur ópal út. Uppleysanleiki ópals er miklu meiri en kvars (mynd 5). Útfellingar kísils í borholum eiga sér því aðeins stað, að yfirmettun af suðu og kólnun leiði til yfirmettunar á ópal.

Þegar suða á sér stað, hvort sem er í bergi eða borholu hækkar sýrustig vatnsins. Leiðir þetta yfirleitt til þess að hluti uppleystu kísilsýrunnar klofnar og þarf meiri suðu og kólnun til að ná yfirmettun af þeim sökum en ella. Þessu er þó ekki svo varið á Reykjanesi og stafar það af seltu jarðsjávarins.

Þótt heitt vatn verði yfirmettað af ópal er ekki um það að ræða, að útfelling verði svo mikil, að jafnvægi náist. Þess vegna er ekki unnt að segja fyrir um hraða útfellinga á umræddum forsendum. Hins vegar er vitað að selta örvar útfellingu og sömuleiðis óreglulegt streymi. Talið er líklegt, að útfellingar nái ekki að festast í sléttum pípum og fóðurrörum vegna rennslisraða vatns og gufu í þeim.

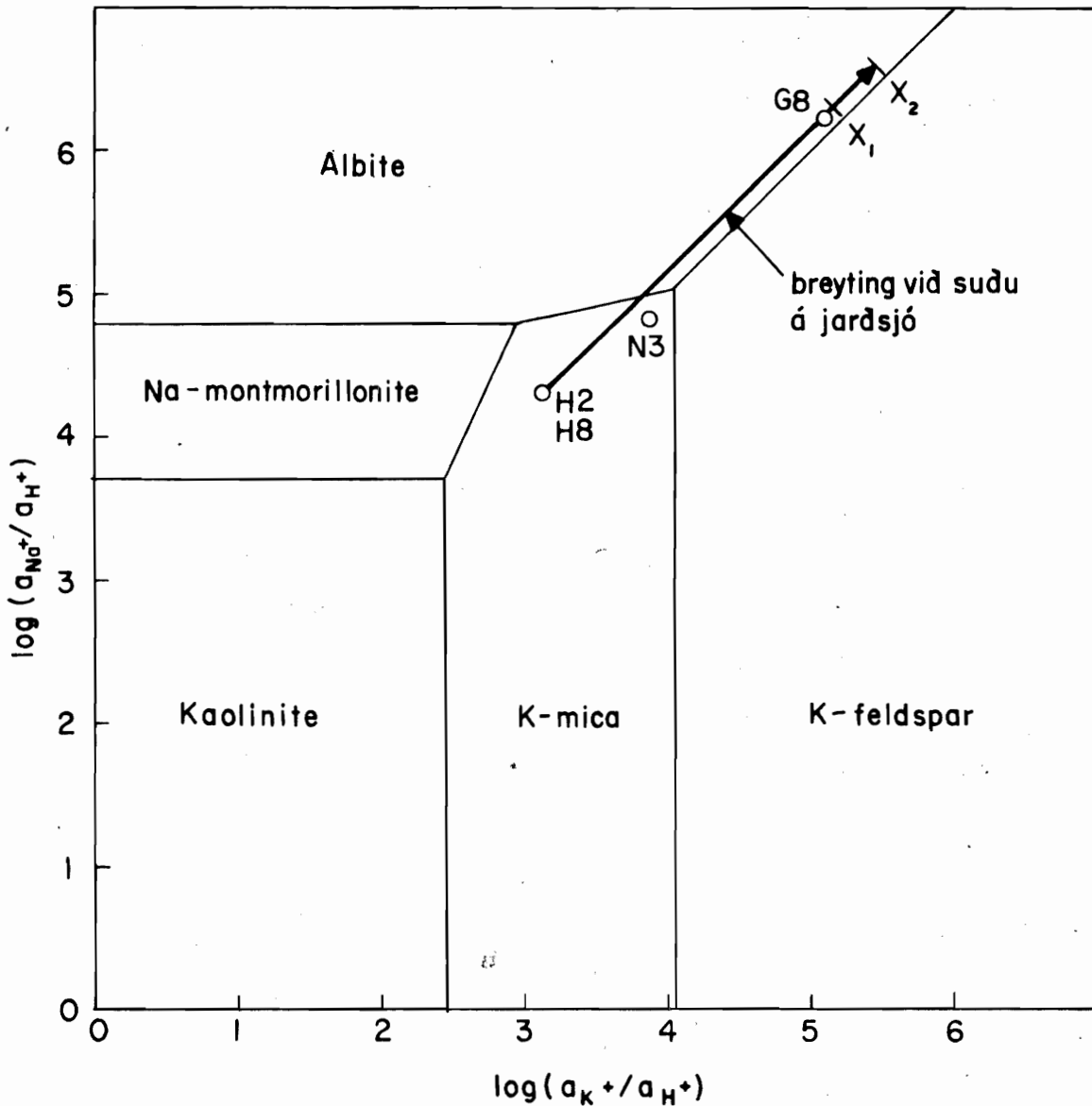
Á mynd 5 er sýnt, hvernig magn kísils í borholu 8 eykst við suðu og að mettun ópals næst við 5 ata þrýsting. Ef innstreymishiti væri 290°C yrði jarðsjórinn mettaður af ópal við rúmlega 15 ata þrýsting. Auðvelt er að reikna við hvaða þrýsting mettun við ópal næst ef innstreymishiti jarðsjávar í borholu er þekktur. Er eðlilegt að gera ráð fyrir adiabatiskri kólnun á vatninu við slíka reikninga.

Þar sem búast má við kísilútfellingu í borholu 8 við 5 ata og minni þrýsting er auðséð, að kísilútfellingar munu valda vandamáli fyrir hugsanlega sjóefnavinnslu. Áætlað er, að mest af vinnslunni fari fram við 2. og 4. ata þrýsting. Auk þess benda allar niðurstöður til þess, að við frekari boranir fáist hærri hiti en er í borholu 8 og þá eiga kísilútfellingar sér stað við hærri þrýsting. Ýmsir tæknilegir möguleikar eru fyrir hendi til þess að leysa vandamál kísilútfellinga og er hér lagt til, að Rannsóknarráð ríkisins hafi forgöngu um, að kalla saman viðkomandi aðila til að taka á þessum vandamálum fyrir hugsanlega sjóefnavinnslu.

Stöðugleiki Na- og K- steintegunda.

Mynd I

Samband milli jónavirkni hlutfallanna Na^+/H^+ og K^+/H^+ við stöðugleika Na- og K- steintegunda, sem eru algengar í bergi ummynduðu af jarðhita. Reiknað við 260°C

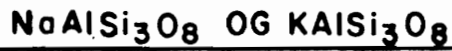


- H2 H8 borholur 2 og 8 á Reykjanesi
- N3 borhola 3 við Námafjall
- G8 borhola 8 Hveragerði
- X₁ X₂ jarðsjór, sem sodið hefur niður í 4ata og lata

Na/K ATÓMHLUTFALL Í VATNI, SEM
STJÓRNAST AF UPPLEYSANLEIKA

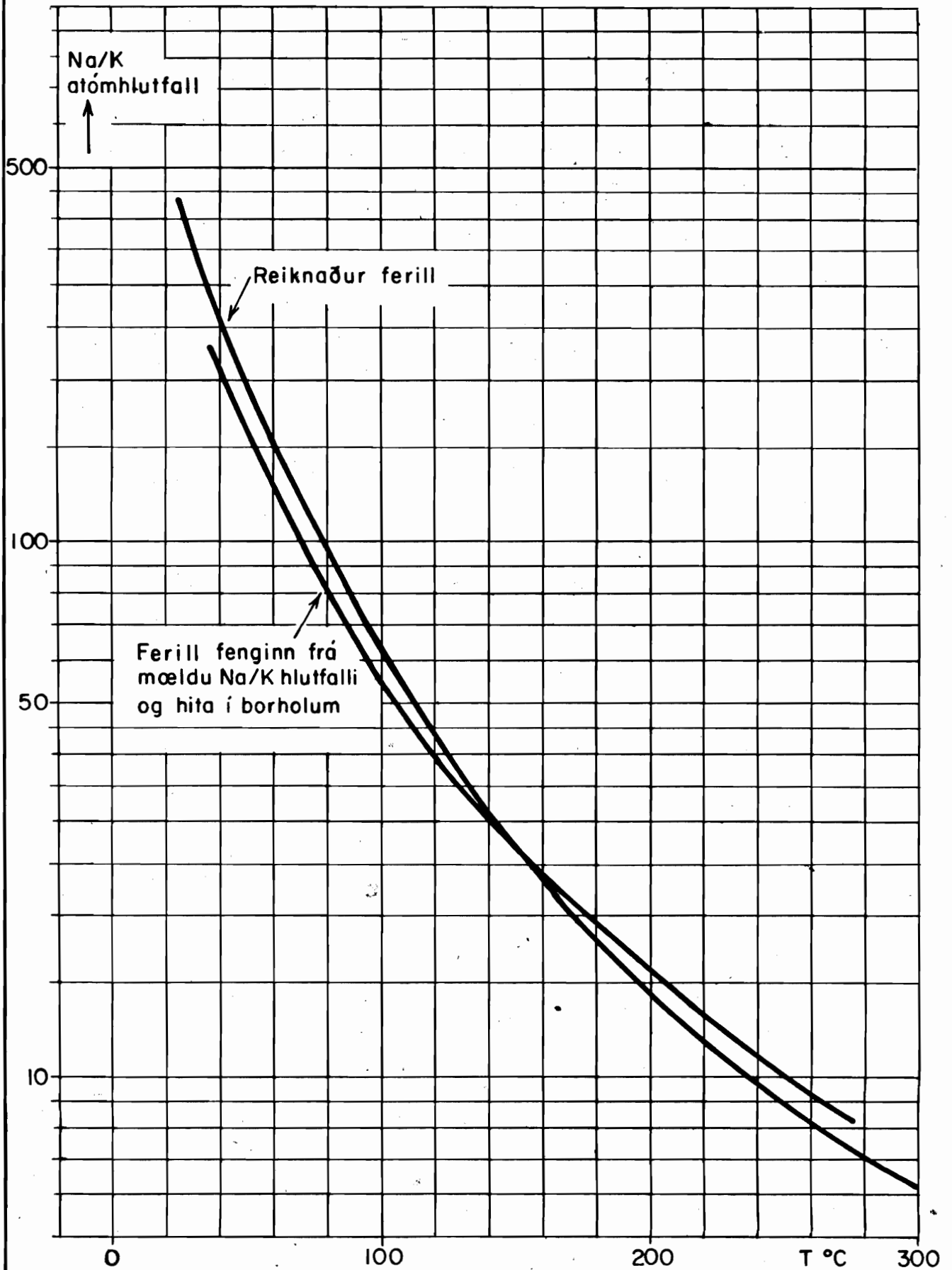
Tnr. 3

J- efnafr.



Fnr. 9331

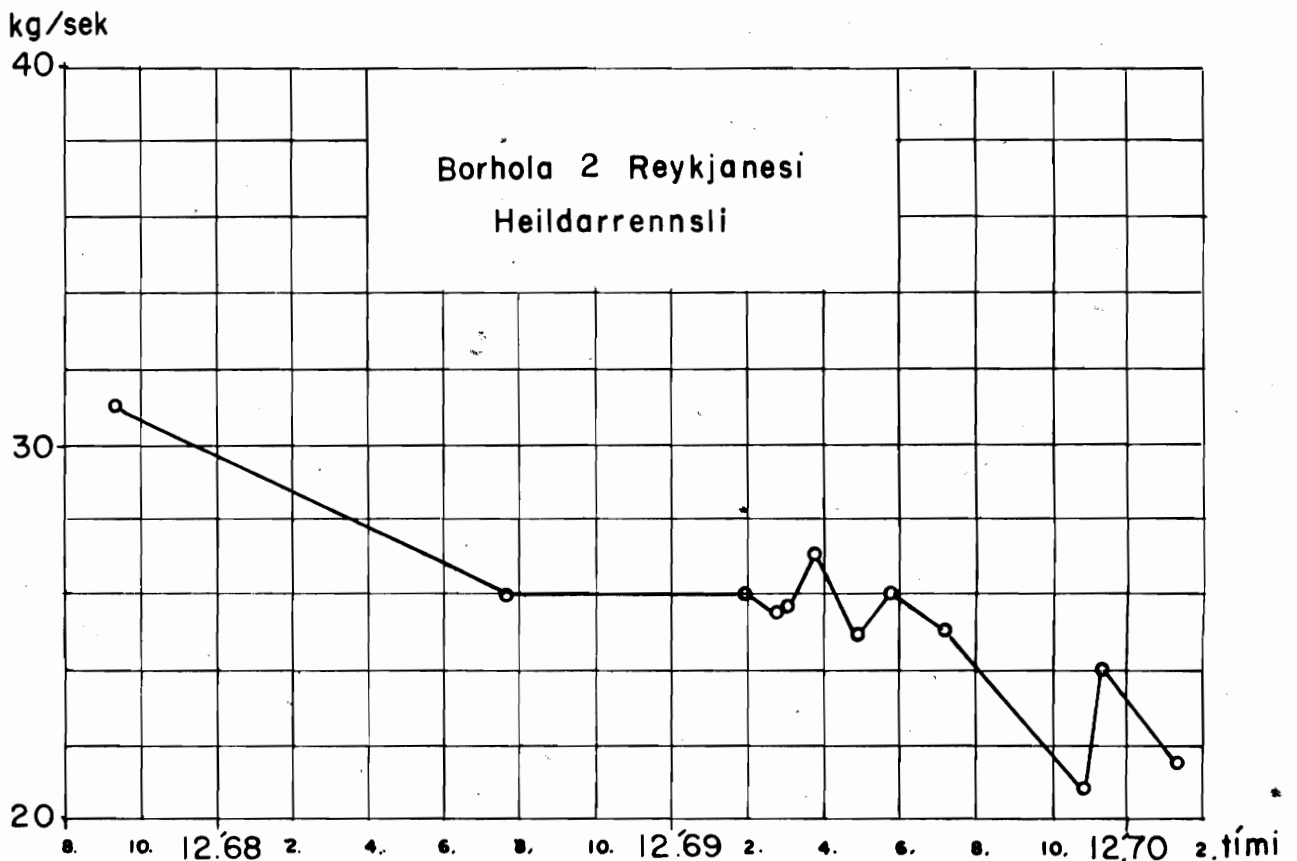
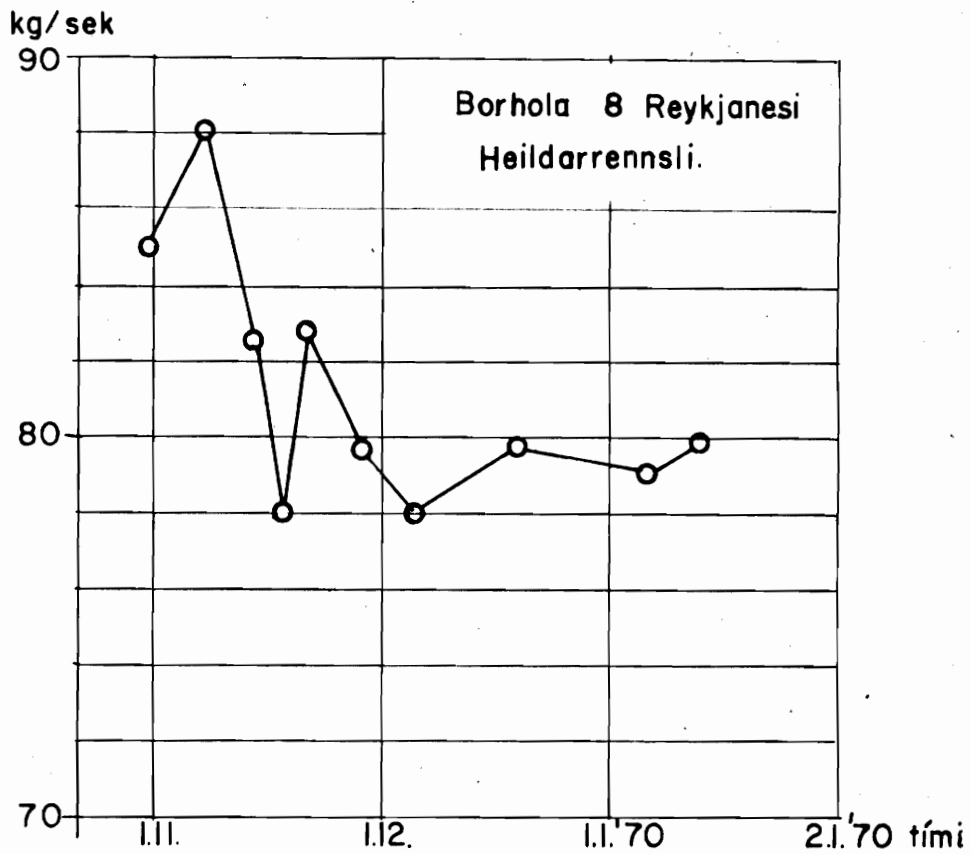
Mynd 2





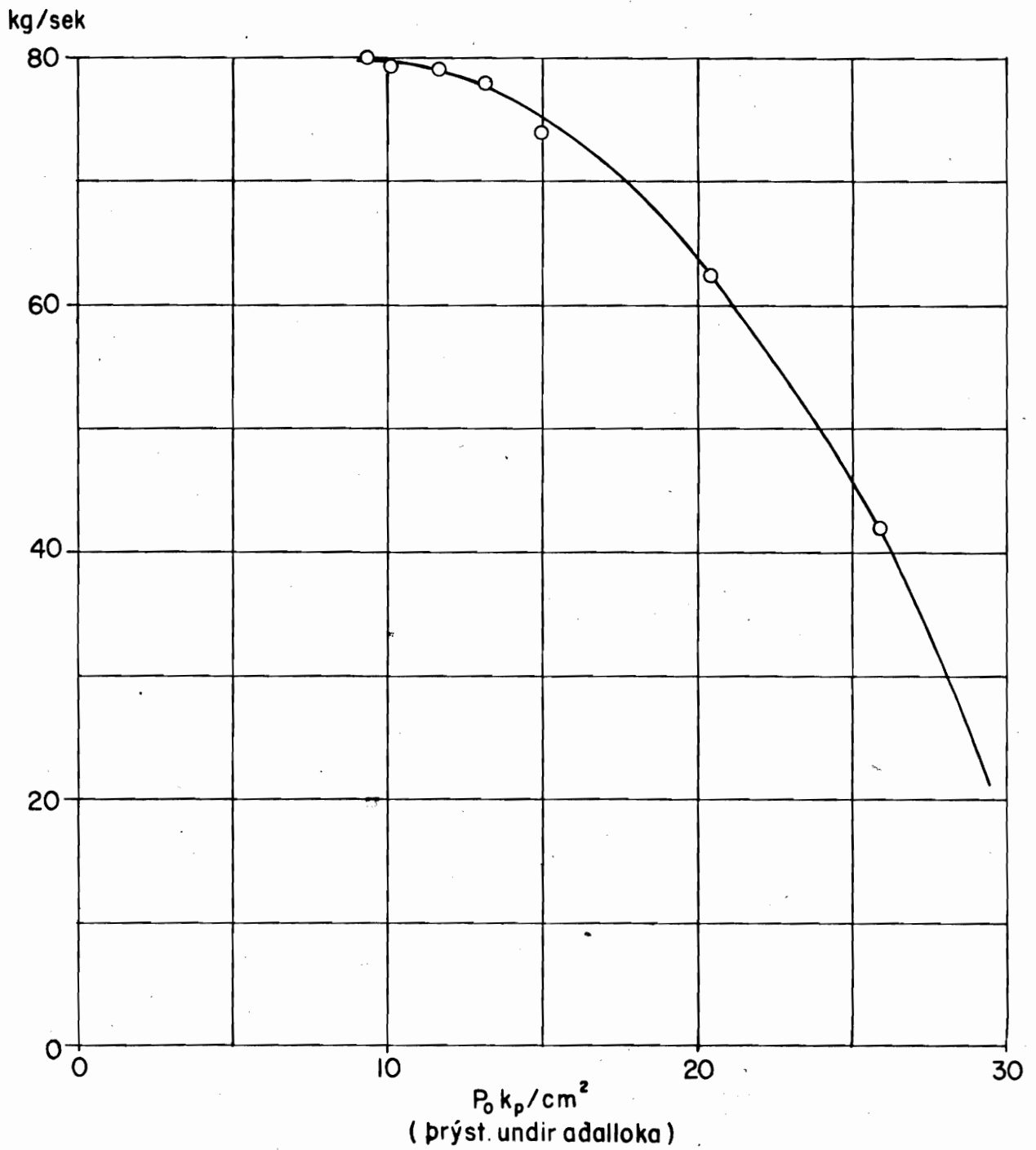
Heildarrennsli borhola 2 og 8, Reykjanesi.

Mynd 3



Vinnsluferill borholu 8, Reykjanesi

Mynd 4



ÚTFELLING KÍSILS Í BORHOLUM

Tnr. 8

J - Jarðefnafr.

Fnr. 9656

Mynd 5

SiO₂
ppm

1100

1000

900

800

700

600

500

400

300

200

100

0

0

100

200

T °C

300*

Útfelling kísils
(vatn yfirmettað
af ópal)

Engin útfelling kísils
(vatn ekki mettað
af ópal)

Upplýsanleiki ópals

Meðalkisilmagn
í borholu 8 á
Reykjanesi

Upplýsanleiki kvars

2.0 4.051 100 150

þrýst. ata.

