

ORKUSTOFNUN  
jarðhitadeild

ÁHRIF KOLDÍOXÍÐS Á HITÆIGINLEIKA  
METTAÐRAR VATNS-GUFUBLÖNDU

ORKUSTOFNUN  
Jarðhitadeild

ÁHRIF KOLDIOXÍÐS Á HITAEIGINLEIKA

METTADRAR VATNS-GUFUBLÖNDU.

Trausti Hauksson

Maí 1978

## 1. INNGANGUR

Í borholum KJ-7, KG-10 og KJ-11 í Kröflu hefur mælst allt að 4-5% koldíoxíð í heildar massastreymi. Þetta hefur í för með sér viss vandkvæði við túlkun hita- og þrýstimælinga. Hér á eftir er í stuttu máli reynt að varpa ljósi á áhrif koldíoxíðs á hitaæiginleika vatns. Að mestu er byggt á grein eftir F.M. Stutton 1). Þar er tekið fyrir hitabilið 200-300°C. Gildi á bilinu 330-350 eru byggð á útvíkkun á mældum gildum og ber því að taka þau með fyrirvara.

## 2. SUÐURÝSTIGNUR

Hlutþrýsting koldíoxíðs,  $P_c$  má skilgreina sem mismun á heildarþrýstingi  $P$  og suðuprýstingi vatns við hitastigið  $T$ .

$$P = P_c + P_s \quad 2.1$$

Nálgun á Henrys lögmáli gefur 1)

$$m_1 = \alpha (T) \cdot P_c \quad 2.2$$

Þar sem  $m_1$  er massahluti  $CO_2$  í vatni og

$$\alpha (T) = [5.4 - 3.5 (T/100) + 1.2 (T/100)^2] \cdot 10^{-n} [\text{bar}^{-1}] \quad 2.3$$

Jafna 2.3 er nálgun á niðurstöðum tilrauna sem gerðar hafa verið með koldíoxíð og vatn 2). Hæsta melda gildi er við 330°C. Fyrrtaldar þrjár jöfnur gefa heildarþrýsting ( $P$ ) sem fall af hita og massahluta,  $CO_2$  í vatni ( $m_1$ ). Þetta er sýnt í töflu I og mynd 1.

## 3. SUÐUHITI Í BORHOLUM.

Ef reiknað er með að vatnið á sérhverju dýpi í borholu sé við suðumark má reikna þrýsting sem fall af dýpi 3). Þessi þrýstiferill er notaður til að ákvarða suðuhita vatns með uppleystu koldíoxíði á mismunandi dýpi. Þetta er sýnt á mynd 2.

### 3. JAFNVÆGISSTYRKUR

Samkvæmt Daltons lögmáli er

$$X_g = P_c/P \quad 3.1$$

þar sem  $X_g$  er mólhluti  $CO_2$  í gufu. En niðurstöður tilrauna (1) benda til að nær lægi sé að skrifa:

$$m_g = P_c/P \quad 3.2$$

Þessi jafna ásamt jöfnum 2.1, 2.2 og 2.3 gefa massahluta koldíoxíðs í gufu ( $m_g$ ) sem fall af hita ( $T$ ) og uppleystu koldíoxíði ( $m_l$ ). Þetta er sýnt í töflu II og mynd 3.

### 5. VARMAINNIHALD.

Varmainnihald vökvans skrifast:

$$H_l = m_l H_{lc} + (1-m_l) (U_w + P_{vl}) \quad 4.1$$

$U_w$  er innri orka vatns:

$$U_w = H_w - P_s v_w \quad 4.2$$

$v_l$  er eðlisrúmmál vökvans sem við gefum okkur að sé sá sami og vatns. Ef jafna 4.2 er sett inn í 4.1 fæst

$$H_l = m_l H_{lc} + (1-m_l) (H_w + P_c v_w) \quad 4.3$$

$H_w$  og  $v_w$  fást úr gufutöflum 4)

$$H_{lc} = H_{soln} + H_{gc}$$

$H_{soln}$  er varmi sem losnar er  $CO_2$  léysist í vatni. Gildi fyrir  $H_{soln}$  eru fengin úr grein Ellis og Golding (1963) (2).  $H_{gc}$  er varmainnihald koldíoxíðs og er notað við jöfnu sem fengin er úr H. of C. and P. (D-58) (5).

Varmainnihald gufufasa má skrifa:

$$H_g = m_g H_{gc} + (1-m_g) (U_s + P_{vg}) \quad 4.5$$

þar sem

$$U_s = H_s - P_s v_g \quad 4.6$$

$$\text{og } v_g = m_g v_c + (1-m_g) v_s \quad 4.7$$

Ef jöfnur 4.6 og 4.7 eru settar inn í jöfnu 4.5 fæst:

$$H_g = m_g H_{gc} + (1-m_g) (H_s + P_c v_c) \quad 4.8$$

$H_s$  er fengið úr gufutöflum og til að reikna eðlisrúmmál  $CO_2$  er notað lögmálið um fullkomið (ideal) gas:

$$v_c = 8.31 \cdot 10^{-3} (T + 273) / (44 \cdot P_c) \quad 4.9$$

Áhrif  $CO_2$  á varmainnihald vatns og gufu eru reiknuð með hjálp fyrirtaldra jafna og eru niðurstöður sýndar í töflu III og mynd 4.

TÁKN

$H_g, H_l$	varmáinnihald gufu- og vökvafasa (kJ/kg)
$H_{lc}$	varmáinnihald $CO_2$ í vatni (kJ/kg)
$H_{gc}$	varmáinnihald $CO_2$ í gufu (kJ/kg)
$H_{soln}$	leysnivarmi $CO_2$ í vatni (kJ/kg)
$m_g, m_l$	massahluti $CO_2$ í gufu- og vökvafasa
$P$	þrýstingur (bar)
$P_c$	hlutþrýstingur $CO_2$ (bar)
$T$	hitastig °C
$U_s, U_w$	innri orka gufu og vatns (kJ/kg)
$v_c$	eðlisrúmmál $CO_2$ í gasformi ( $m^3/kg$ )
$v_g, v_l$	eðlisrúmmál gufu- og vökvafasa ( $m^3/kg$ )
$v_s, v_w$	eðlisrúmmál gufu og vatns ( $m^3/kg$ )
$x_g$	mólhluti $CO_2$ í gufu

HEIMILDIR

- 1) Pressure Temperature Curves for a Two Phase Mixture of Water and Carbon Dioxide. by F.M. Sutton.
- 2) Ellis, A.J. and Golding R.M. 1963. The solubility of carbon dioxide above 100°C in water, and in sodium chloride solutions. Am. J. of Sci. 261, p 47-60.
- 3) Suðuhiti í borholum eftir Helga Björnsson, skýrsl OS.
- 4) Data och diagram till teknisk värmelära. Sten. Erik Mörtstedt Lärmedelsforlagen Teknik och ekonomi, 1970.
- 5) Handbook of Chemistry and Physics 54th edition 1973-1974.

TAFLA I Suðubrýstingur vatns og með uppleystu CO<sub>2</sub>

Hitast °C	% CO <sub>2</sub>	0.0	0.5	1.0	2.0	5.0
200		15.6	31.2	46.8	78.1	171.8
210		19.1	34.1	49.0	79.0	168.8
220		23.2	38.0	51.7	80.2	165.7
230		28.0	41.5	55.0	82.0	163.1
240		33.5	46.3	59.1	84.6	161.4
250		39.8	51.8	63.9	88.0	160.3
260		46.9	58.3	69.6	92.3	160.3
270		55.1	65.7	76.3	97.6	161.4
280		64.2	74.2	84.2	104.1	164.0
290		74.5	83.8	93.2	111.9	168.1
300		85.9	94.7	103.5	121.0	173.9
310		98.7	106.9	115.1	131.6	180.9
320		112.9	120.6	128.3	143.7	189.9
330		128.6	135.8	143.1	157.5	200.9
340		146.1	152.7*	159.7*	173.2*	213.9*
350		165.4	171.8*	178.1*	190.9*	229.1*
360		186.7	-	-	-	-
370		210.5	-	-	-	-
374		221.3	-	-	-	-

\* Tölur byggðar á útvíkkun.

Hitast: °C, %CO<sub>2</sub>: viktarpósentá, brýstingur: bar



TAFLA II Jafnvægisstyrkur CO<sub>2</sub> í gufu í % CO<sub>2</sub>

Hitast. °C	% CO <sub>2</sub>	0.1	0.2	0.5	1.0	2.0	5.0
200		16.8	28.7	50.1	66.8	80.1	90.9
210		13.6	23.9	44.0	61.1	75.8	88.7
220		10.9	19.7	38.1	55.1	71.1	86.0
230		8.8	16.1	32.5	49.0	65.8	82.8
240		7.1	13.2	27.6	43.3	60.4	77.2
250		5.7	10.8	23.3	37.7	54.8	75.2
260		4.6	8.8	19.5	32.6	49.1	70.7
270		3.7	7.2	16.2	27.9	43.6	65.9
280		3.0	5.9	13.4	23.7	38.3	60.8
290		2.5	4.8	11.2	20.1	33.4	55.7
300		2.0	3.9	9.3	16.9	29.0	50.5
310		1.6	3.2	7.7	14.3	25.0	45.5
320		1.3	2.7	6.4	12.0	21.4	40.6
330		1.1	2.2	5.3	10.1	18.3	36.0
340		0.9*	1.8*	4.4*	8.5*	15.7*	31.7*
350		0.8*	1.5*	3.7*	7.2*	13.4*	27.8*
360							
370							
374							

\* Tölur byggðar á útvíkkun

Hitast: °C, % CO<sub>2</sub>: viktarprósenta

TAFLA III Varmainnihald vatns, gufu og koldíoxíós.

Vökvafrasi Gufufasi

%CO <sub>2</sub> Hitast. °C	Vökvafrasi										Gufufasi		
	0.0	0.5	1.0	2.0	5.0	0.0	5.0	10.0	20.0	50.0			
200	852	851	850	848	841	2793	2747	2612	2342	1532			
210	898	897	895	893	885	2798	2754	2619	2350	1540			
220	944	942	941	938	930	2801	2759	2625	2355	1548			
230	990	989	987	984	975	2803	2764	2629	2367	2554			
240	1038	1036	1035	1031	1022	2803	2766	2632	2364	1560			
250	1086	1084	1082	1079	1069	2801	2766	2633	2366	1565			
260	1135	1133	1131	1128	1117	2796	2764	2631	2365	1568			
270	1185	1184	1181	1178	1168	2790	2760	2628	2365	1571			
280	1237	1235	1233	1230	1219	2780	2753	2622	2359	1572			
290	1290	1288	1287	1283	1273	2766	2742	2612	2352	1571			
300	1345	1343	1342	1338	1328	2749	2728	2599	2342	1568			
310	1402	1400	1399	1396	1387	2727	2710	2582	2328	1563			
320	1462	1460	1460	1457	1449	2700	2686	2561	2309	1556			
330	1526	1525	1524	1521	1514	2665	2665	2532	2285	1544			
340	1595	1594	1593	1591	1584	2622	2617	2496	2254	1529			
350	1672	1671	1670	1668	1662	2564	2564	2446	2211	1506			
360	1762					2481							
370	1893					2331							
374	2085					2085							

Hitast: °C, %CO<sub>2</sub> : viktarpósentta, varmainnihald: kJ/kg



ORKUSTOFNUN

Þrýstingur vatns með uppleystu

koldíoxíði

'78.06.08 TH/EK

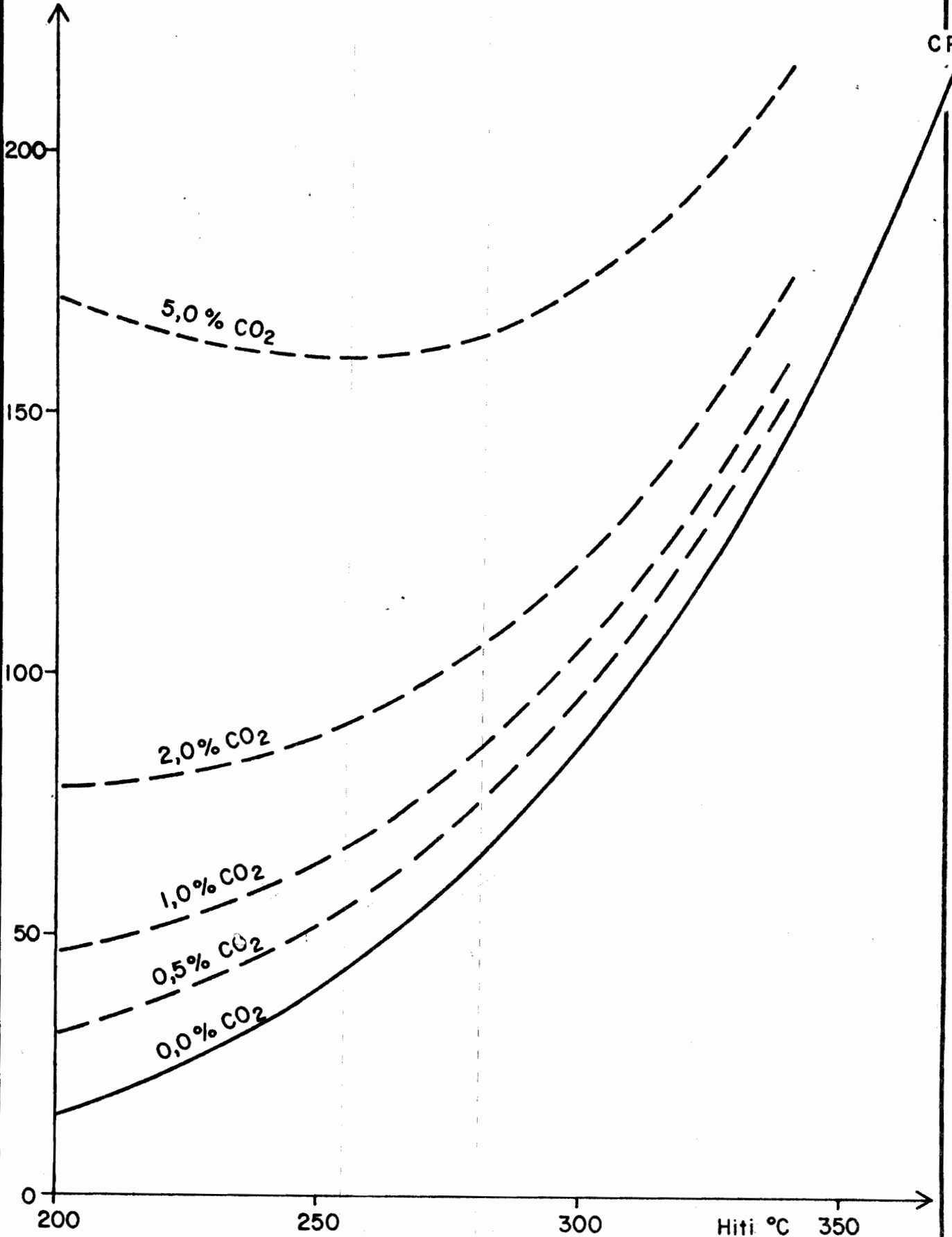
T-277 T-679

J-Jarðefnaf. J-Ým

F-17166

Mynd I

Þrýstingur  
(bar)





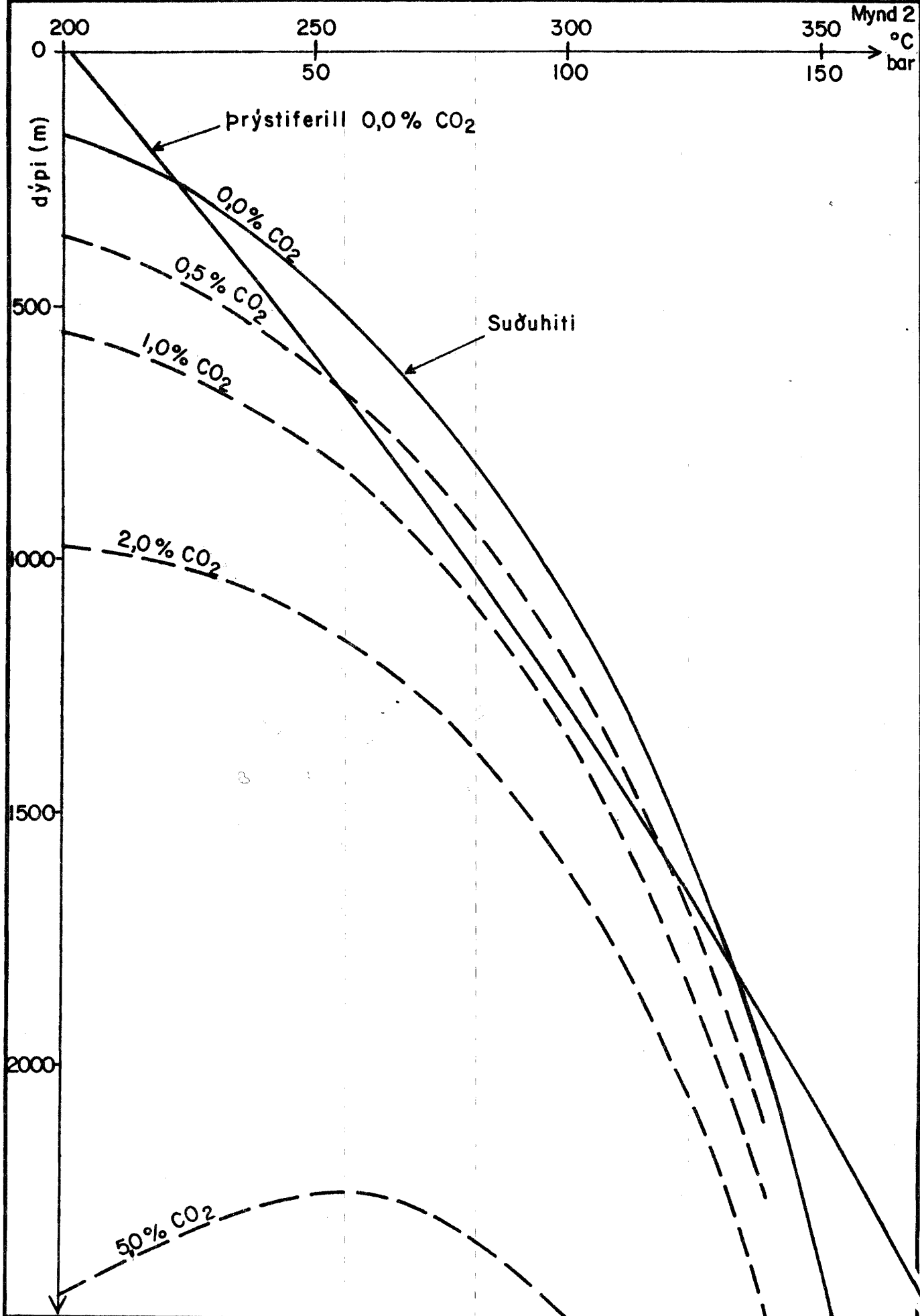
Áhrif uppleysts CO<sub>2</sub> á suðuhita vains í borholu

'78.06.08. TH/EK

T-278 T-688

J-Jarðefnafr. J-Ým.

F-17167

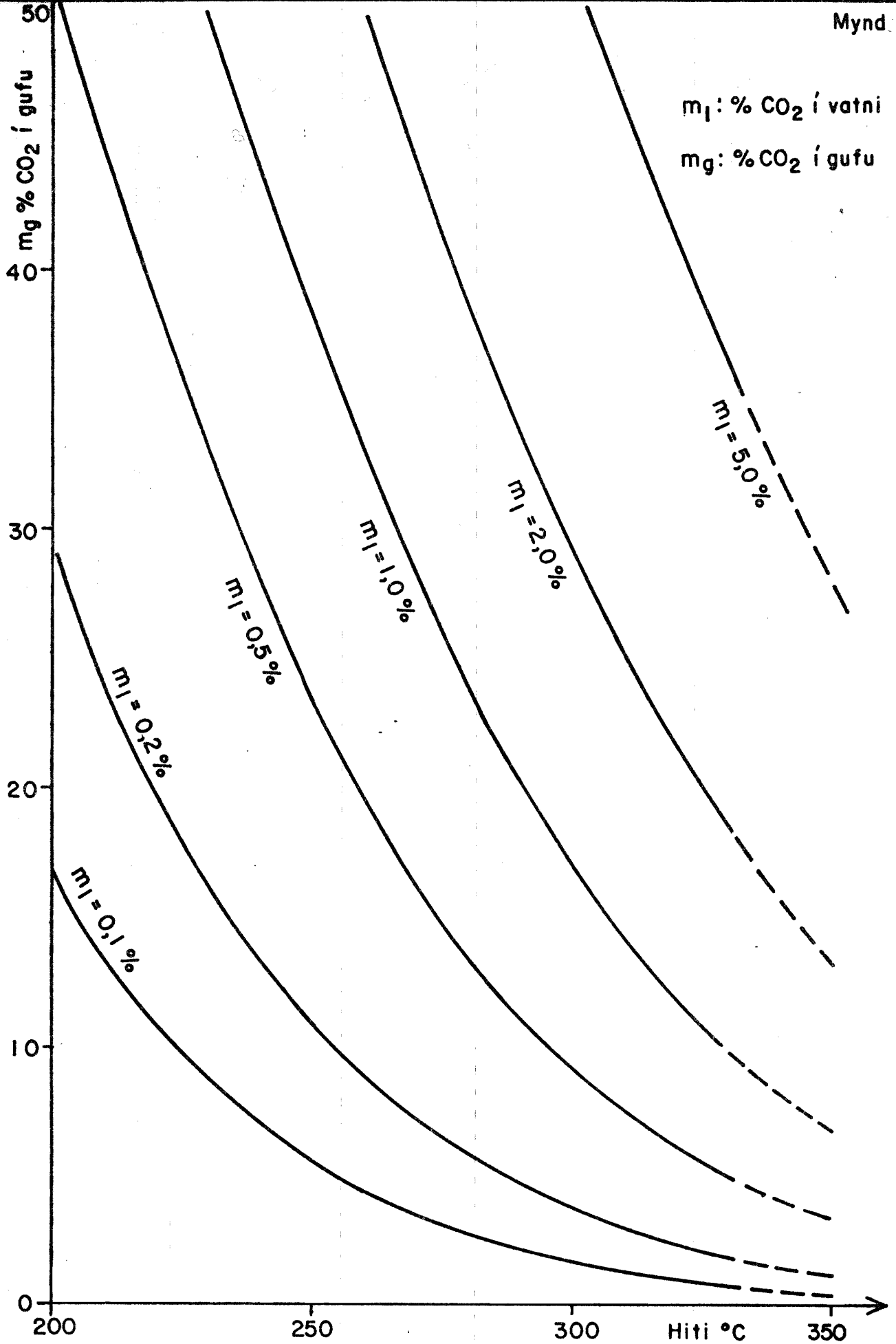




Jafnvægisstyrkur koldíoxíðs (CO<sub>2</sub>)  
í vatni og gufu

'78.06.09. TH/EK  
T-279 T-689  
J-Jarðefnafr. J-Ým.  
F-17168

Mynd 3





Mynd 4

