



ORKUSTOFNUN  
Jarðhitadeild

Jón Örn Bjarnason

# ELDVÖRP

Efnasamsetning jarðsjávar og gufu úr holu EG-2

OS-84071/JHD-11  
Reykjavík, ágúst 1984

Unnið fyrir  
Hitaveitu Suðurnesja



**ORKUSTOFNUN**  
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

**Jón Örn Bjarnason**

# **ELDVÖRP**

**Efnasamsetning jarðsjávar og gufu úr holu EG-2**

**OS-84071/JHD-11**  
Reykjavík, ágúst 1984

**Unnið fyrir**  
**Hitaveitu Suðurnesja**

## ÁGRIP

Fjallað er um niðurstöður greininga á efnasýnum, sem tekin voru úr holu EG-2 í Eldvörpum á Reykjanesskaga á meðan hún blés, frá miðju sumri og fram á haust 1983. Um er að ræða fyrstu efnasýni af heitu vatni, sem tekin hafa verið í Eldvörpum. Ekki urðu teljandi breytingar á efnasamsetningu borholuvökva á blásturstímabilinu. Auk óbreytts djúpvatns streymir inn í holuna umframgufa vegna suðu úti í bergi. Sýnt er fram á, að efnasamsetning djúpvatns er hin sama og í Svartsengi, ef litið er framhá þeim mun, sem orsakast af hærri hitastigi í Eldvörpum. Klóríðstyrkur djúpvatns í báðum svæðum er um 65% af styrk í sjó. Ekkert í efnasamsetningu vökva mælir því í gegn, að svæðin séu samtengd. Sé jarðsjórinn nýttur við lægri þrýsting en 4,8 bar-a, má búast við kísilútfellingum. Innihald gass í gufu er 0,6% til 1,1% ef skilið er við 6,0 bar-a, en eins og í Svartsengi er gasið að langmestu leyti koldíoxíð.

## EFNISYFIRLIT

	bls.
ÁGRIP	2
1 INNGANGUR	5
2 JARÐHITALÍKAN, HITASTIG OG VARMAINNIHALD	6
3 EFNAGREININGAR	9
4 SAMANBURÐUR VIÐ HEITT VATN Í SVARTSENGI	14
5 ÓPALMETTUN	16
6 KALK	17
7 GAS Í GUFU	18
8 SAMANDREGNAR NIÐURSTÖÐUR	19
HEIMILDIR	20

## TÖFLUR

1	Styrkur efna í vatni, gasi, þéttivatni og gufu.	12
2	Djúpvatn. Styrkur efna í mg/kg.	13
3	Kvarshitastig, Tq.	13
4	Samsetning gass í Eldvörpum og Svartsengi. Hundraðshluti rúmmáls.	15
5	Ópalmettunarhitastig við hvelsuðu.	17
6	Gas í gufu úr holu EG-2. Afloftun við 6 bar-a.	18

## MYNDIR

1	Uppleyst efni í jarðsjó.	10
2	Kísill í jarðsjó.	11
3	Klóríð í jarðsjó.	11

## 1 INNGANGUR

Á útmánuðum 1983 var hola EG-2 boruð í Eldvörpum á utanverðum Reykjaneskaga, og var verkið unnið fyrir Hitaveitu Suðurnesja. Í skýrslu Orkustofnunar (Benedikt Steingrímsson o.fl., 1983) er gerð grein fyrir borun holunnar og þeim mælingum sem framkvæmdar voru á bortíma. Frá miðju sumri og fram á haust 1983 var holan látin blása, og var fylgst með efnasamsetningu vökvans úr henni á því tímabili. Slíkt er venjubundinn liður í eftirliti með borholum í blæstri.

Frá því holu EG-2 var hleypt upp þann 8. júlí 1983 hefur sjö heilsýnum verið safnað úr henni. Var hið fyrsta þeirra tekið rúmum tveimur klukkustundum eftir að opnað var fyrir holuna, en hið síðasta þann 17. október. Holunni var lokað skömmu seinna og hefur hún síðan staðið undir þrýstingi og gas verið látið leka úr henni. Sýni þau, sem hér um ræðir, eru hin fyrstu, sem tekin hafa verið af jarðhitavökva í Eldvörpum, og kunna þau því að þykja forvitnileg. Til skýringar er rétt að geta þess, að hola 1, sem notuð var við borun EG-2, er höggborshola og gefur einungis kalt vatn.

Í skýrslu þessari eru lagðar fram niðurstöður efnagreininga á tédum sýnum vatns og gufu, sem tekin voru úr holunni á blásturstíma.

## 2 JARÐHITALÍKAN, HITASTIG OG VARMAINNIHALD

Þegar heilsýni er tekið úr háhitaholu, er safnað vatni, gasi og þétti-  
vatni og þessir fasar efnagreindir hver í sínu lagi. Nú er sýnum  
safnað við mismunandi þrýsting og hlutfall vatns og gufu því breyti-  
legt frá einni sýnatöku til annarrar. Gefa þannig hráar efnagreiningar  
aðeins óljósa mynd af samsetningu borholuvökva. Til þess að öðlast  
gleggri hugmynd um efnasamsetningu jarðhitavatns verður fyrst að  
"reikna saman vatn og gufu", þ.e. finna þá heildarsamsetningu vökva,  
sem samsvarar niðurstöðum greininga á einstökum fösum. Til þess að  
þetta sé unnt verður hitastig eða varmainnihald (enþalpía) vökva í  
holu að vera þekkt.

Hola EG-2 var hitamæld á vegum Orkustofnunar hinn 18. október 1983  
eftir rúmlega þriggja mánaða blástur. Á 500-600 m dýpi mældist hita-  
stigið 250°C en 263°C í 1200 m.

Talsvert mikið flökt er í varmainnihaldi vökva úr holunni, en meðaltal  
allra slíkra mælinga, sem framkvæmdar voru á blásturstíma, er 1339  
kJ/kg. Þetta varmainnihald samsvarar mettuðu vatni við 299°C. Það  
hitastig er mun hærra en nokkurn tíman hefur mælst í holunni og einnig  
miklu hærra en efnasamsetning jarðsjávarins gefur til kynna. Þykir því  
einsýnt, að auk vatns streymi gufa einnig inn í holuna.

Talið er (Hjalte Franzson, 1984), að holan fylgi nokkurn veginn tveim  
lóðréttum berggöngum. Þar sem hún sker þessa ganga er gjarnan inn-  
streymi í hana. Öflugasta innstreymið er að finna á 575 m dýpi. Annað,  
mjög vatnsmikið innstreymi, er á ca. 1250 m dýpi, nálægt botni, en  
vegna hruns neðarlega í holunni er óvíst hve mikið af vatni þaðan  
skilar sér upp eftir henni. Þetta samband vatnsleiðni og innskota er  
talin vísbending um að jarðhitakerfið, a.m.k. í næsta nágrenni  
holunnar, stjórnist af þessum berggöngum. Af þeirri ástæðu eru æðarnar  
í 575 og 1275 m taldar hlutar af sama vatnskerfi.

Á miklu dýpi (t.d. 1250 m) er þrýstingur hærri en suðuprýstingur vatns  
við 263°C svo vökvinn er einfasa. Við aðalæðina í 575 m er þrýstingur  
hins vegar orðinn svo miklu lægri, að þar sýður jarðsjórinn við 250°C.  
Úr þessari æð streymir því einhver blanda vatns og gufu inn í holuna.  
Varmainnihald við holutopp (1339 kJ/kg) sýnir, að innstreymið inni-  
heldur meiri gufu en suða vatns úr 263°C í 250°C myndi framleiða.  
Umframgufan hlýtur því að hafa skilið eftir vatn úti í berginu.

Til þess að öðlast dálítið skýrari mynd af þessu innstreymi á 575 m  
dýpi má ímynda sér tvo massa djúpvatns, misstóra. Báðir stíga upp af  
miklu dýpi. Annar streymir inn í holuna í heild sinni þótt farinn sé

að sjóða og skiljast sundur í vatn og gufu. Hinn sýður úti í berginu. Úr honum kemst einungis gufan inn í holuna. Þessi gufa er einmitt umframgufan.

Til þess að finna efnasamsetningu djúpvatnsins er nauðsynlegt að vita hve umframgufan er stór hluti rennslis úr holunni. Umframgufan breytir nefnilega styrk uppleystra efna í borholuvökvanum, auk þess að auka varmainnihaldið. Hún minnkar styrk uppleystra steinefna vegna þynnningar, en eykur gasstyrk. Massahluta umframgufunnar,  $X_u$ , má finna með því að leysa saman jöfnurnar

$$H_t = X_u H_u + X_d H_d \quad (1)$$

og

$$X_u + X_d = 1 \quad (2)$$

Hér tákna  $H_t$  varmainnihald mælt við holutopp.  $H_u$  og  $H_d$  tákna varmainnihald umframgufu og djúpvatns, en  $X_u$  og  $X_d$  eru samsvarandi massahlutar. Rétt er að leggja áherslu á, að  $X_u$  er massahluti umframgufu í holuvökvanum, en ekki massahluti gufu í 250 stiga heitu innstreyminu á 575 m dýpi.

Eins og þegar hefur komið fram er  $H_t = 1339$  kJ/kg. Með því að setja  $H_d = 1149,9$  kJ/kg, sem er varmainnihald mettaðs vatns við  $263^\circ\text{C}$ , og  $H_u = 2800,4$  kJ/kg, en það er varmainnihald mettaðrar gufu við  $250^\circ\text{C}$ , fæst að  $X_u = 0,1145$  og  $X_d = 0,8855$ .

Heildarstyrk,  $C_t$ , einhvers efnis í borholuvökvanum má reikna á venjulegan hátt út frá styrk efnisins í gufu,  $C_s$ , og styrk þess í vatnsfasa,  $C_w$ , en þessar stærðir fást með mælingum á sýnum teknum við holutopp:

$$C_t = X_s C_s + (1 - X_s) C_w \quad (3)$$

Gufuhlutinn við söfnun,  $X_s$ , er fundinn út frá varmainnihaldi,  $H_t$ , og söfnunarþrýstingi eins og venjulega.

Nú stjórnast heildarstyrkurinn af styrk viðkomandi efnis í djúpvatni,  $C_d$ , og af styrk í umframgufu,  $C_u$ , þannig að

$$C_t = X_d C_d + X_u C_u \quad (4)$$

en styrkur í djúpvatni er einmitt það, sem hér er verið að slægjast eftir. Sé um órokgjarnt uppleyst efni að ræða, er  $C_s = 0$  og  $C_u = 0$  og jöfnur (3) og (4) gefa þá

$$C_d = (1 - X_s)C_w/X_d \quad (5)$$



Sé hins vegar um uppleystar lofttegundir að ræða verður málið örlítið flóknara. Með því að hér er gert ráð fyrir að umframgufan hafi orðið til við suðu djúpvatns úr 263°C í 250°C, þá gildir að

$$C_d = X_g C_u + (1 - X_g) C_v . \quad (6)$$

Hér táknar  $X_g$  gufuhlutann við þessa suðu, en hann reiknast  $X_g = 0,0374$ , og  $C_v$  táknar styrk lofttegundar í vatnsfasanum. En  $C_u$  og  $C_v$  eru ekki innbyrðis óháðar stærðir, heldur lúta þær lögmáli Henrys, sem svo er nefnt. Lögmál þetta er reifað svolítið í grein eftir Stefán Arnórsson, Sven Sigurðsson og Hörð Svavarsson (1982). Hér nægir að taka fram, að í þessu tilviki má með góðri nálgun setja

$$C_v/C_u = K P_e \quad (7)$$

þar sem  $K$  er fasti fyrir tiltekna lofttegund og tiltekið hitastig (hér 250°C) og  $P_e$  er gufuprýstingur vatns við sama hitastig. Jöfnur, sem gefa log  $K$  sem fall af hitastigi fyrir ýmsar lofttegundir má finna í töflu í tilvitnaðri grein. Þó ber þess að gæta, að í töflu þessari eru ekki notaðar sömu einingar og í umræðunni í greininni, heldur innihalda fastarnir í töflunni þáttinn 55,51 sem er fjöldi móla í 1000 g vatns. Þessum þætti verður að deila út áður en sett er inn fyrir  $K$  í jöfnu 7.

Ef jöfnur 3, 4, 6 og 7 eru leystar saman kemur í ljós að styrkur lofttegundar í djúpvatni er

$$C_d = (X_s C_s + (1 - X_s) C_w) / (X_d + X_u / (X_g + K(1 - X_g) P_e)) . \quad (8)$$

Í kaflanum hér á eftir er fjallað um efnasamsetningu djúpvatnsins. Þar er styrkur lofttegunda fundinn með jöfnu 8 en styrkur órokgjarnra efna með jöfnu 5.

### 3 EFNAGREININGAR

Við efnagreiningar á jarðhitasýnum á Orkustofnun er það venja að styrkur eins efnis er mældur í u.p.b. 20 sýnum samtímis, en þessi sýni mynda svonefndan sýnahóp. Síðan er næsta efni greint og svo hvert af öðru. Samkvæmni mælinga er talsvert mismunandi eftir því hvaða efni er greint, eins og fram kemur í greinargerð Orkustofnunar "Athugun á samkvæmni efnagreininga" (Gestur Gíslason, 1981). T.d. er samkvæmni mælinga á sama sýni nokkru betri ef tvítökin eru í sama sýnahóp en ef þau eru sitt í hvorum hóp.

Í töflu 1 eru skráðar niðurstöður greininga á sýnunum úr holu EG-2. Þótt hráar greininganiðurstöður gefi aðeins óglögga mynd af samsetningu borholuvökva, þykir rétt að hafa þær með hér. Er það bæði vegna þess, að um er að ræða fyrstu efnasýnin úr Eldvörpum, og svo hins að líkanið af efnafræði borholuvökvens, sem lýst var í kaflanum hér á undan, er nokkru flóknara en t.d. í Svartsengi. Því má vera, að menn vilji spreyta sig á því að bæta líkanið, og er þá gott að hafa frumgögn tiltæk.

Í töflu 2 er sýnd samsetning djúpvatns í holu EG-2 reiknuð eins og frá greinir í kaflanum hér á undan. Í ljós kemur, að miklar og óreglulegar sveiflur eru í magni uppleystra lofttegunda. Munar fram undir helming á heildarstyrk milli þess sýnis sem mest hefur og þess sem snauðast er. Sveiflur þessar eru langt utan óvissumarka í sýnatöku og greiningu. Ekki verður þó séð nein langtímabreyting, hvorki til hækkunar né lækkunar. Fyrirbæri þetta er þekkt bæði úr Svartsengi og af Reykjanesi og kemur þess vegna ekki á óvart (Jón Örn Bjarnason, 1983 og 1984). Viðhlýtandi skýring á þessu er ekki kunn, en vel má vera að þetta sé vegna eiginleika tveggja fasa streymis, eða þá að um einhvers konar suðufyrirbæri sé að ræða.

Þar sem djúpvatn nær að sjóða úti í bergi er ávallt hættu á að einhver aðskilnaður gass og gufu eigi sér stað. Þess vegna er ekki víst, að hlutfall gass og vatnsgufu í innstreyminu á 575 m dýpi sé alveg hið sama og jöfnurnar hér að ofan segja til um. Rétt er því að túlka tölur um gasstyrk í djúpvatni með nokkurri varúð.

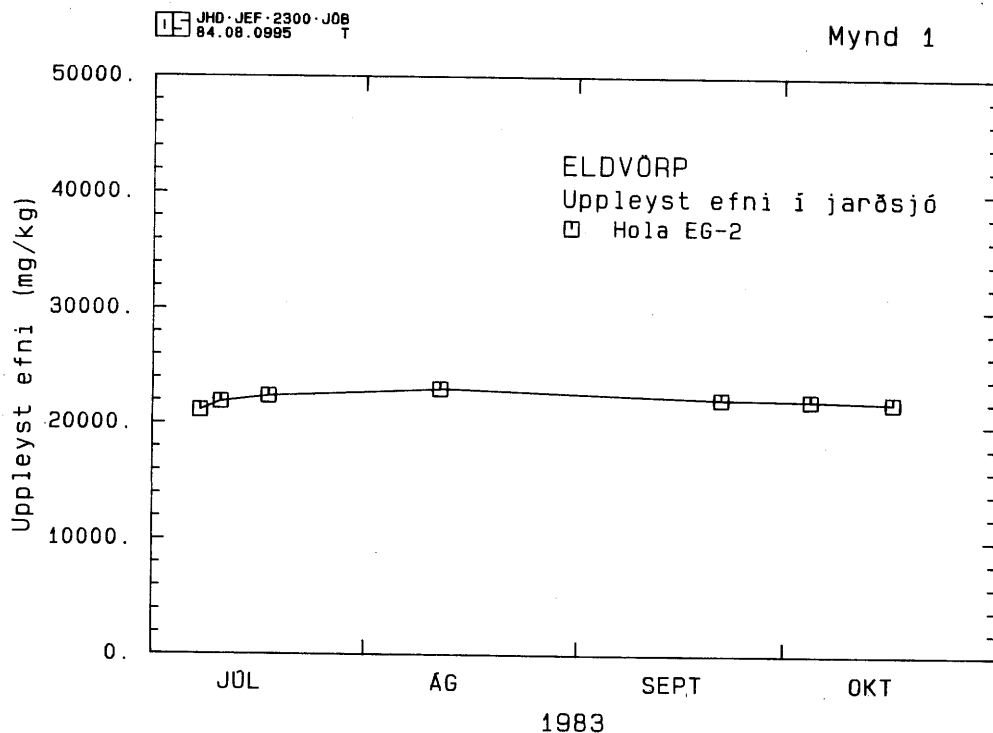
Ef litið er á styrk uppleystra steinefna (þ.e. efna annarra en lofttegunda), verður annað uppi á teningnum. Samkvæmni greininga á þeim er góð. Hún er álíka eða betri en samkvæmni greininga á tvítaki sama sýnis, ef eintökin eru sitt í hvorum sýnahóp, en lakari en ef eintökin eru bæði í sama hóp. Nú voru sýnin sjö í tveim sýnahópum, þrjú í öðrum en fjögur í hinum. Má því álykta að ekki hafi mælst marktækar breytingar á styrk uppleystra steinefna á blásturstímabilinu. Styrkur

margra steinefna sýnist að vísu ögn lægri í fyrsta sýninu en í hinum. Í járnum er að munur þessi geti talist marktækur. Sé hann talinn raunverulegur er skýringin augljós: Skolvatn frá borun hefur tæplega náð að hverfa að fullu þegar sýnið var tekið, aðeins rúmum tveim klukkustundum eftir að holunni var hleypt í blástur.

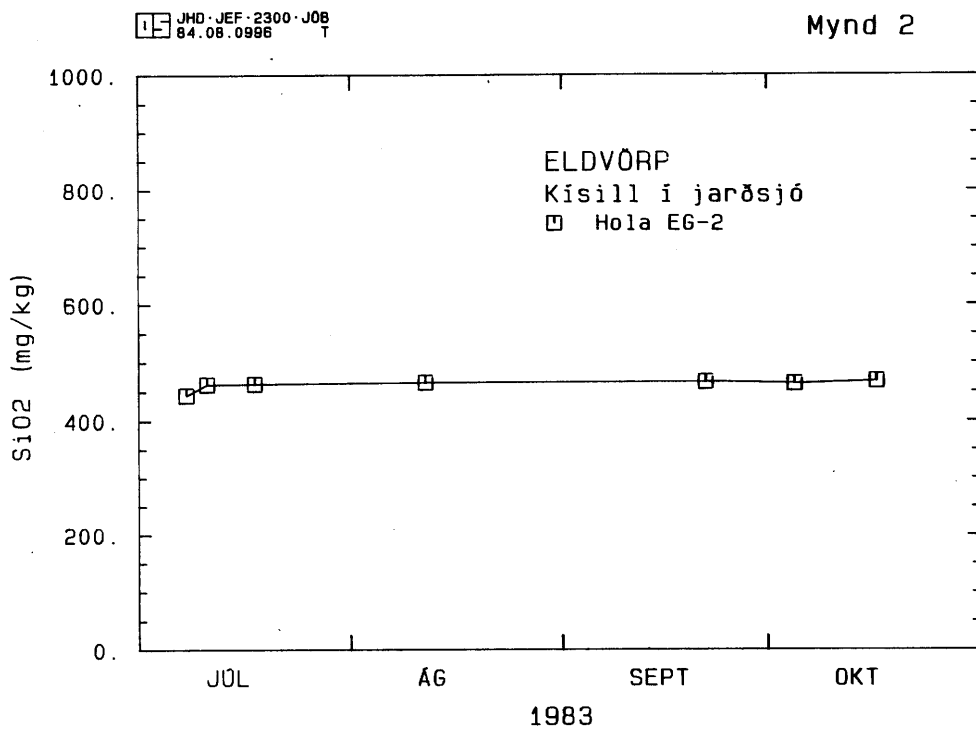
Þess má geta, að þegar síðasta sýnið var tekið úr holunni, hinn 17. október, blés holan út um 8 þumlunga stút, en hafði áður blásið um grennri stúta. Ekki er efnasamsetning þess sýnis þó í neinu frábrugðin samsetningu hinna fyrri.

Af myndunum kemur glögg fram hve litlar breytingar hafa orðið á efnasamsetningu vatnsins með tíma. Mynd 1 sýnir heildarmagn uppleystra efna sem fall af tíma, en myndir 2 og 3 styrk kísils og klórs.

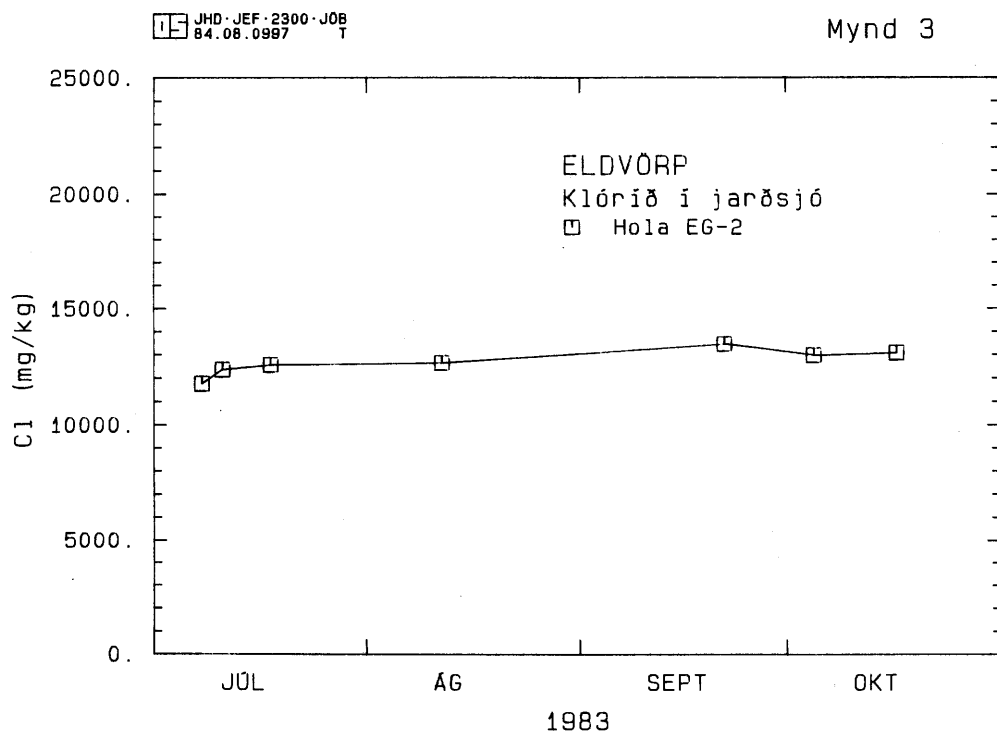
Eitt af því sem efnainnihald jarðhitavatns gefur upplýsingar um er hitastig djúpt í jörðu, þar sem vatnið var síðast í jafnvægi við berg. Talið er, að af þeim efnahitamælum sem kvarðaðir hafa verið, sé kvarshitamæli helst treystandi í jafn heitu og söltu vatni og er að finna í Eldvörpum. Kvarshitastig (Fournier, 1977) hefur verið reiknað fyrir öll sýnin úr EG-2 og eru niðurstöður skráðar í töflu 3. Innbyrðis samkvæmni er ágæt, en meðalkvarshitastig ( $245,2^{\circ}\text{C}$ ) reiknast nokkru lægra en mælt hitastig.



Mynd 1. Eldvörp, hóla EG-2. Uppleyst efni í jarðsjó.



Mynd 2. Eldvörp, hóla EG-2. Kísill í jarðsjó.



Mynd 3. Eldvörp, hóla EG-2. Klóríð í jarðsjó.

Tafla 1. Eldvörp, hola EG-2. Styrkur efna í vatni, gasi, þéttivatni og gufu.

Sýni nr.	830150	830151	830174	830213	830237	830241	830255
Dags.	83-07-08	83-07-11	83-07-18	83-08-12	83-09-12	83-09-22	83-10-05
Söfnunarþrýstingur, Ps, (bar-a)	23,0	23,0	13,7	13,0	13,0	13,0	6,5
<b>Efnasamsetning vatnsfasa (mg/kg)</b>							
Sýrustig							
pH/°C	5,60/22,0	5,60/20,7	6,00/22,0	6,08/21,2	6,12/21,0	6,00/21,0	6,60/20,3
SiO <sub>2</sub>	498,0	519,0	552,0	558,0	559,2	555,6	598,1
Na	6926,0	7217,0	7676,0	7752,0	8194,0	7924,0	8440,0
K	1219,0	1275,5	1346,2	1366,0	1416,0	1369,0	1396,0
Ca	951,3	1006,7	1012,3	1020,6	1118,0	1115,0	1160,0
Mg	0,55	0,56	0,46	0,56	0,64	0,64	0,64
CO <sub>2</sub>	96,0	99,9	68,9	49,1	58,1	58,9	46,3
SO <sub>4</sub>	34,0	30,2	31,3	26,3	31,3	29,7	29,7
H <sub>2</sub> S	1,67	1,70	0,51	1,56	1,39	1,15	0,34
Cl	13189,0	13868,0	14964,0	15146,0	16120,0	15534,0	16711,0
F	0,14	0,14	0,14	0,14	0,17	0,17	0,17
Uppleyst efni	23698,1	24543,2	26667,4	27601,9	26631,8	26523,8	28052,2
<b>Efnasamsetning gass (% rúmmáls)</b>							
CO <sub>2</sub>	92,56	97,65	94,62	97,25	96,69	96,97	95,49
H <sub>2</sub> S	0,87	1,04	0,97	1,10	1,19	1,23	1,18
H <sub>2</sub>	0,33	0,11	0,81	0,47	0,25	0,33	0,33
O <sub>2</sub> + Ar	0,11	0,07	0,09	0,04	0,14	0,05	0,12
N <sub>2</sub>	6,10	1,12	3,48	1,10	1,71	1,39	2,85
Lítrar gas/kg							
þéttivatns	7,93	4,58	4,82	5,93	5,95	7,85	2,90
Gashiti (°C)	17,3	13,5	17,0	9,0	11,2	22,5	22,6
<b>Efnasamsetning þéttivatns (mg/kg)</b>							
Sýrustig							
pH/°C	4,30/21,7	4,25/20,5	4,22/20,8	4,37/21,2	3,99/21,0	4,42/21,0	4,45/20,0
CO <sub>2</sub>	1372,0	1853,0	1402,0	1966,0	1723,0	1385,0	1459,0
H <sub>2</sub> S	35,0	38,7	39,1	47,6	35,0	47,3	42,3
Na	1,29	3,33	1,75	0,76	2,68	7,39	2,28
<b>Efnasamsetning gufu (mg/kg)</b>							
CO <sub>2</sub>	-	-	-	-	11154,0	10783,0	6300,0
H <sub>2</sub> S	-	-	-	-	117,0	124,0	74,4

Tafla 2. Eldvörp, hola EG-2, djúpvatn. Styrkur efna í mg/kg.

Dags.	Nr.	PO	HO	SiO2	Na	K	Ca	Mg	SO4	Cl	F	UE	CO2	H2S	H2	CH4	N2
830708	0150	24.0	1339	443	6167	1085.5	847.1	0.49	30.3	11744	0.13	21102	920	10.3	0.12	0.06	30.84
830711	0151	24.0	1339	462	6426	1135.8	896.5	0.50	26.9	12349	0.12	21854	639	8.4	0.02	0.02	2.58
830718	0174	14.7	1339	463	6439	1129.3	849.2	0.39	26.3	12553	0.12	22371	735	9.6	0.22	0.06	12.49
830812	0213	14.0	1339	466	6468	1139.7	851.5	0.47	21.9	12637	0.12	23029	972	13.4	0.16	0.11	4.63
830922	0237	14.0	1339	467	6837	1181.4	932.8	0.53	26.1	13449	0.14	22220	841	10.9	0.08	0.05	6.09
831005	0241	14.0	1339	464	6611	1142.2	930.3	0.53	24.8	12961	0.14	22130	814	11.5	0.10	0.07	5.03
831017	0255	7.5	1339	468	6604	1092.3	907.7	0.50	23.2	13076	0.13	21950	559	8.0	0.06	0.06	6.36
MEDALTAL		16.1	1339	462	6508	1129.5	887.9	0.49	25.6	12681	0.13	22094	783	10.3	0.11	0.06	9.72
STADALF. %		37.2	0.0	1.8	3.2	2.9	4.3	10.4	10.5	4.4	6.6	2.6	18.9	18.2	60.7	45.8	100.9

Tafla 3. Eldvörp, hola EG-2. Kvarshitastig, Tq.

Dags.	Sýni nr.	Tq(°C)
83-07-08	0150	241,5
83-07-11	0151	245,2
83-07-18	0174	245,4
83-07-12	0213	246,0
83-09-22	0237	246,2
83-10-05	0241	245,6
83-10-17	0255	246,3

#### 4 SAMANBURÐUR VIÐ HEITT VATN Í SVARTSENGI

Efnasamsetning jarðhitavökvans í Eldvörpum er harla lík og í Svartsengi, en gerð er grein fyrir efnasamsetningu jarðhitavatns í Svartsengi í áður tilvitnaðri greinargerð Orkustofnunar (Jón Örn Bjarnason, 1983).

Selta djúpvatnsins í Eldvörpum, þ.e. styrkur Na<sup>+</sup> og Cl<sup>-</sup>, er nánast hin sama og í holunum í Svartsengi og er munurinn vel innan óvissumarka. Styrkur kísils í EG-2 er hins vegar 10% - 15% meiri en í Svartsengi og ræður þessu hitastigsmunurinn á milli svæðanna, en í Svartsengi er hitastigið á bilinu 235°C til 240°C.

Styrkur kalíums, K<sup>+</sup>, er 4% - 10% hærri í Eldvörpum en í Svartsengisholum. Þegar heitt vatn sem inniheldur mikið natríum en tiltölulega lítið kalíum, eins og t.d. sjór, nær að hvarfast við berg, verða jónaskipti. Kalíum leysist úr berginu en natríum kemur í staðinn. Nú lækkar jafnvægisglutfall natríum og kalíum, Na/K, með hækkandi hitastigi. Verður styrkur kalíums þess vegna meiri í Eldvörpum, því þar er hitastigið herra en í Svartsengi, og er þar komin skýringin.

Styrkur súlfats í Eldvörpum er aðeins um 1% af styrk í sjó, en þar á verulegur hluti borholuvökvans uppruna sinn. Mismunurinn mun hafa fallið út sem anhýdrít (CaSO<sub>4</sub>). Styrkur súlfats er á bilinu 15% - 30% minni í EG-2 en í Svartsengi. Sjálfsagt á hitastigsmunurinn sök á þessu, því að leysanleiki anhydrits minnkar með hækkandi hitastigi.

Svipaða sögu er að segja um magnesíum, en styrkur þess í Eldvörpum er innan við 1/2000 af styrk í sjó og nærri helmingi minni en í Svartsengi. Magnesíumsteindir eru yfirleitt miklu torleystari í heitu vatni en köldu og er þetta væntanlega orsök munarins.

Nokkru minna kalsíum mælist í Eldvörpum en í Svartsengi. Vegna þess hve fljótt kalsít getur fallið út og vegna þess hve mikið koldíoxíð er í báðum svæðunum er þó varasamt að reyna að draga sérstakar ályktanir af þessu.

Heldur meira gas reiknast vera í djúpvatni í Eldvörpum en í Svartsengi. Vegna suðu úti í bergi er þó rétt að túlka þessa reikninga á gasstyrk í djúpvatni með nokkurri varúð eins og þegar hefur verið bent á. Ef einungis er lítið á gasstyrk við holutopp, þá kemur minna gas úr EG-2 en úr holu 10 í Svartsengi, sem er gasríkasta hola á því svæði svo frá ber. Hins vegar kemur miklu meira gas úr EG-2 en úr nokkurri Svartsengisholu annarri en SG-10.

Eins og fram kemur í töflu 4 er samsetning gassins í Eldvörpum að kalla sú sama og í Svartsengi, nema hvað styrkur vetnis er yfirleitt heldur hærri í Eldvörpum. Í töflunni er sýnd samsetning gass í tveimur sýnum úr Eldvörpum og til samanburðar gassamsetning í dæmigerðum sýnum úr þremur holum í Svartsengi. Glöggt kemur fram, að gasið er að langstærstum hluta koldíoxíð (CO<sub>2</sub>).

Tafla 4. Samsetning gass í Eldvörpum og Svartsengi.  
Hundraðshluti rúmmáls.

Hola	Dags.	Sýni nr.	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub> +Ar	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>
EG-2	83-08-12	0213	97,25	1,10	0,47	0,04	0,04	1,10
EG-2	83-10-17	0255	95,49	1,18	0,33	0,11	0,04	2,85
SG-7	83-07-19	0180	96,81	0,98	0,04	0,17	0,05	1,95
SG-9	83-10-25	0263	97,97	1,24	0,07	0,11	0,04	0,57
SG-11	83-10-25	0264	97,60	1,25	0,09	0,13	0,04	0,89

Þótt ekkert verði fullyrt um samband jarðhitasvæðanna í Svartsengi og Eldvörpum út frá ofanræddum niðurstöðum efnagreininga einum saman, þá renna þær stöðum undir þá hugmynd, að svæðin séu samtengd, eða að jafnvel sé um aðeins eitt svæði að ræða. A.m.k. hefur ekkert komið fram við efnagreiningar sem mælir þessu í gegn.



## 5 ÓPALMETTUN

Ekki er fráleitt að ímynda sér, að jarðsjór í Eldvörpum verði nýttur á svipaðan hátt og gert er í Svartsengi, þ.e. að hann verði skilinn í tveimur þrepum, við misháan þrýsting. Holuvökvinna í EG-2 inniheldur liðlega 460 mg/kg af kísilsýru og er í jafnvægi við kvars. Sé hann látinn hvellsjóða eykst kísilstyrkurinn sem nemur gufu þeirri sem tapast við suðuna. Nú minnkar leysni kísils með lækkandi hitastigi svo vatnið verður yfirmettað með tilliti til kvars. Þetta kemur þó ekki að sök ef skilið er við lægra hitastig en 200°C, vegna þess að þá er sá tími, sem það tekur kvars að falla út að nokkru marki, miklu lengri en dvalartími vatns í skiljum. Sé hins vegar soðið við svo lágt hitastig, að vatnið verði yfirmettað með tilliti til ópals, gegnir öðru máli. Ópal fellur fljótt út ef hitastig er hærra en 100°C og gæti á skömmum tíma truflað rekstur skilju. Til þess að koma í veg fyrir slíkt, verður vinnsluhitastig háþrýstiskiljunnar að vera ofan við ópalmettunarhitastig borholuvökvans við hvellsuðu. Þetta hitastig má finna með því að ákvarða skurðpunkt tveggja ferla. Annar þeirra er leysni-ferill ópals (Fournier & Rowe, 1977), en hann tjáir mettnarstyrk sem fall af hitastigi. Hinn ferillinn segir til um hversu hár styrkur kísils verður, eftir að vatn með tiltekinn upphafsstyrk og tiltekið varmainnihald er hvellsóðið við eitthvert ákveðið hitastig. Fyrri ferillinn leitar upp með hækkandi hitastigi en hinn niður, og skerast þeir við eitthvert hitastig,  $T_s$ . Sé hvellsóðið við hitastig lægra en  $T_s$  fellur ópal úr vatninu, og eykst útfellingin eftir því sem suðu-hitastigið lækkar.

Reiknað hefur verið, á ofangreindan hátt, ópalmettunarhitastig fyrir hvert sýni og eru niðurstöður skráðar í töflu 5. Meðaltal gildanna er 149°C en samsvarandi þrýstingsmeðaltal er 4,64 bar-a. Í töflunni er að auki sýndur upphafsstyrkur kísils. Rétt er að leggja áherslu á að hér er um að ræða styrk í borholu, en ekki í djúpvatni. Þannig er upphafsstyrkur þessi sá hinn sami og kallaður var  $C_t$  í kafla 2 hér að framan. Eins og áður er miðað við að varmainnihald sé 1339 kJ/kg.

Vegna óvissu í ákvörðunum kísilstyrks og varmainnihalds væri rétt að háþrýstiskiljur yrðu hannaðar til að vinna við nokkru hærra hitastig en sýnt er í töflunni, og yrði þetta gert til öryggis. Vinnsluhitastig lágþrýstiskilju yrði væntanlega valið svo lágt, að útfellingahraði ópals yrði mjög lítill; t.d. 70°C líkt og í Svartsengi.

Tafla 5. Eldvörp, hola EG-2.  
Ópalmettunarhitastig við hvellsuðu, Tm

Dags.	Sýni nr.	Styrkur (mg/kg)		Tm (°C)	Pm(bar-a)
		kísilsýru í djúpvatni			
83-07-08	0150	393		145,7	4,24
83-07-11	0151	409		149,0	4,63
83-07-18	0174	410		149,3	4,67
83-08-12	0213	412		149,7	4,72
83-09-22	0237	413		149,9	4,75
83-10-05	0241	411		149,5	4,70
83-10-17	0255	414		150,1	4,77

Varmainnihald er 1339 kJ/kg

## 6 KALK

Reikningar benda til þess, að djúpvatn í Eldvörpum sé kalsítmettað. Við íblöndun umframgufunnar lækkar sýrustig (pH) borholuvökvans, og hann verður undirmettaður. Á leiðinni upp eftir holunni sýður vökvinn innrænt og koldíoxíð rýkur úr vatninu. Við það hækkar sýrustigið aftur og mettnargráða kalsíts einnig. Vatn soðið við 20 bar-a þrýsting (212,4°C) reiknast yfirmettað með tilliti til kalsíts. Því er ekki ólíklegt, að kalkútfellingar verði í holunni við langvarandi nýtingu eins og raunin hefur orðið á í Svartsengi.

## 7 GAS Í GUFU

Magn gass í gufu er meðal þeirra þátta, sem máli skipta við nýtingu gufunnar. Í töflu 6 er sýnt hver massaprósenta gass í gufu yrði fyrir hvert sýni ef skilið væri við 6,0 bar-a þrýsting, en sá þrýstingur samsvarar hitastigi (158,8°C) sem er ofan ópalmettunarmarka fyrir hvellsuðu í einu þrepi (sbr. kaflann hér á undan). Hér er sem fyrr miðað við, að varmainnihald sé 1339 kJ/kg, og reiknast því gufuhlutinn 0,321. Í töflunni kemur fram, að við slíka hvellsuðu yrði massa-prósenta gass í gufu á bilinu 0,6% til 1,1%.

Gasið er aðallega koldíoxíð eins og áður kom fram (tafla 5).

Tafla 6. Eldvörp. Gas í gufu úr holu EG-2. Afloftun við 6 bar-a.

Dags.	Sýni nr.	Heildarstyrkur gass (mg/kg) í borholuvökva	Gas í gufu, % þyngdar 6 bar-a
83-07-08	0150	3387	1,055
83-07-11	0151	2283	0,711
83-07-18	0174	2664	0,823
83-08-12	0213	3479	1,084
83-09-22	0237	3013	0,939
83-10-05	0241	2916	0,908
83-10-17	0255	2015	0,628

Gufuhluti við suðu er 0,321

## 8 SAMANDREGNAR NIÐURSTÖÐUR

Ekki urðu neinar þær breytingar á efnasamsetningu borholuvökva úr holu EG-2 á blásturstímabili hennar, sem teljandi eru, aðrar en óreglulegar sveiflur í gasmagni. Samsetning gass í Eldvörpum er hin sama og í Svartsengi, en gasið er að langmestum hluta koldíoxíð. Talið er víst, að auk óbreytts djúpvatns streymi inn í EG-2 umframgufa sem orðin er til við suðu úti í bergi. Efnasamsetning djúpvatns í Eldvörpum og í Svartsengi er nærri því eins; frávik stafa af dálitlum hitastigsmun á milli svæðanna. Klóríðstyrkur djúpvatns er hinn sami í báðum svæðunum, eða um 65% af styrk í sjó. Ekkert í niðurstöðum efnagreininga mælir því í gegn, að svæðin séu samtengd. Vænta má kísilútfellinga sé jarð-sjórinn nýttur við lægri þrýsting en 4,8 bar-a. Innihald gass í gufu er 0,6% til 1,1% af massa ef skilið er við 6,0 bar-a.

## HEIMILDIR

Benedikt Steingrímsson, Hjalti Franzson, Svanbjörg Helga Haraldsdóttir, Þorsteinn Thorsteinsson, Guðjón Guðmundsson, Guðmundur Ómar Friðleifsson, Héðinn Ágústsson og Sverrir Þórhallsson, 1983: Borun holu EG-2, Eldvörpum. Áfangaskýrsla. Orkustofnun, OS-83107/JHD-42 B, 49 s.

Fournier, R.O., 1977: Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems. *Geothermics*, Vol.5: 41-50.

Fournier, R.O. & Rowe, J.J., 1977: The solubility of amorphous silica in water at high temperatures and pressures. *American Mineralogist*, Vol.62: 1052-1056.

Gestur Gíslason, 1981: Athugun á samkvæmni efnagreininga. Orkustofnun, greinargerð GG-81/01, 4 s.

Hjalti Franzson, 1984: Eldvörp, hola EG-2. Borholujarðfræði. Orkustofnun, (í undirbúningi).

Jón Örn Bjarnason, 1983: Efnasamsetning jarðsjávar og gufu í Svartsengi 1980-1983. Orkustofnun, greinargerð JÖB-83/03, 24 s.

Jón Örn Bjarnason, 1984: Reykjanes. Efnasamsetning jarðsjávar og gufu úr holu 9. Orkustofnun, OS-84049/JHD-13 B, 14 s.

Stefán Arnórsson, Sven Sigurðsson & Hörður Svavarsson, 1982: The chemistry of geothermal waters in Iceland. I. Calculation of aqueous speciation from 0° to 370°C. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol.46: 1513-1532.