

Tvívetni og súdeifni-18 í holu 8 á Reykjanesi

Jón Steinar Guðmundsson

Greinargerð JSG-83/01

TVÍVETNI OG SÚREFNI-18 Í HOLU 8 Á REYKJANESI

Inngangur

Uppruni jarðsjávar í borholum á Reykjanesi hefur lengi valdið mönnum heilabrotum. Vandamálið felst í því að hefðbundnar efnagreiningar segja ekki sömu sögu og tvívetnismælingar. Klóríðstyrkur holu 8 bendir til þess að jarðsjórinn sé lítið breytt sjóvatn, en tvívetnið að um helmingsblöndu sjó- og regnvatns sé að ræða.

Í samantekt höfundar ofl. (Jón Steinar Guðmundsson, Trausti Hauksson og Jens Tómasson, 1981) um Reykjanesvæðið - sérstaklega blásturssögu holu 8 - var varpað fram hugmynd til að útskýra það misræmi sem fram hefur komið um uppruna jarðsjávarins. Hugmyndin er sú að tvívetnisstyrkurinn ráðist m.a. af efnajafnvægi við ummyndunarsteindir bergsins. Til þess að kanna hugmyndina frekar var tvívetni og súrefni-18 mælt í jarðsjó holu 8. Um leið var tekið sýni til heildarefnagreiningar.

Fyrri mælingar

Fylgst hefur verið með styrk aðalefna í borholum og hverum á Reykjanesi frá upphafi borana. Trausti Hauksson (1981) hefur tekið þessar mælingar fram til 1980 saman í skýrslu. Þar koma fram upplýsingar um ýmsar aðrar athuganir sem gerðar hafa verið á jarðsjónum, m.a. mælingar á tvívetni og súrefni-18.

Bragi Árnason (1970) og Jón Ólafsson (með J.P. Riley, 1978) hafa birt mælingar á tvívetni og súrefni-18 á Reykjanesi. Greiningar þeirra á sýnum úr holu 8 eru sýndar í 1. töflu; að auki greindu þeir sýni úr öðrum holum og hverum á svæðinu. Gildin í 1. töflu eiga við jarðsjóinn sem streymir inn í holuna; þ.e. djúpvatnið. Mælingar Braga og Jóns Ó. voru gerðar á soðnum jarðsjávarsýnum; engar mælingar voru gerðar á gufuhluta

rennslisins. Aðferð Bottinga og Craig (1968) var notuð til að leiðrétta fyrri áhrif suðu á skiptingu tvívætnis og súrefnis á milli vatns- og gufufasa.

Klóríðstyrkur djúpvatns í holu 8 er sýndur í 1. töflu. Bragi gefur styrkinn upp á bls. 141 en gildið fyrir sýni Jóns Ó. er áætlað út frá töflu á bls. 229; klóríðstyrkur í söfnunarsýni margfaldaður með hlutfalli seltu.

Regnvatn á utanverðum Reykjanesskaga er talið hafa tvívætnisgildið -48,0 og -6,5 af súrefni-18 (Bragi Árnason, 1976). Samsvarandi mæld gildi fyrir sjó við Reykjanes eru -1,5 og -0,22 (Jón Ólafsson og J.P. Riley, 1978). Klóríðstyrkur sjávar við Reykjanes er nálægt 18.800 ppm (Baldur Líndal, Ísleifur Jónsson, Jóhann Jakobsson og Unnsteinn Stefánsson, 1960).

Sýni 1982

Tekið var sýni af holu 8 í september 1982 til heildarefnagreiningar og mælinga á tvívætni og súrefni-18. Efnagreiningin hefur verið reiknuð með WATCH-1 forriti Orkustofnunar; útskriftin fylgir þessari greinargerð. Tvívætnið og súrefni-18 voru efnagreind af U.S. Geological Survey í Menlo Park. Þessar greiningar - á vatni (jarðsjó) og gufuhluta - eru sýndar í 2. töflu. Við útreikninga á djúpvatnssamsetningu var miðað við vatnsfasa og reiknað við kísilhita skv. heildarefnagreiningu.

Umræða

Við skoðun á efnagreiningu holu 8 frá 1982, kom í ljós að kísilhitinn er öllu lægri en áður hefur mælst; hafði lækkað úr 256°C 1980 í 245°C 1982. Til glöggvunnar á þessu atriði, voru allar heildarefnagreiningar gerðar eftir hreinsun holu 8 1978, reiknaðar með forritinu WATCH-1 til að sýna samsetningu djúpvatns, þ.e. jarðsjávar sem streymir inn í holuna. Útskriftirnar eru ekki birtar hér, en styrkur aðalefna hins vegar sýndur í töflu 3. Helstu gildi eru teiknuð á 1. og 2. mynd. Styrkur natríum, klóríðs og uppleystra efna í venjulegum sjó er merktur á hægri ás 2. myndar. Fram kemur að marktæk lækking hefur orðið á styrk þessara efna frá janúarbyrjun 1980 til septemberloka 1982. Ef sýnið frá 1982 er rétt, þá jafngildir klóríðstyrkur jarðsjávarins um 2/3 seltu sjávar líkt og við Svartsengi. Nú er talið að sýnið úr holu 8 frá 1982 sé gallað af

einhverjum ástæðum (Hrefna Kristmannsdóttir, 1983).

Fróðlegt er að skoða hvernig tvívetni og súrefni-18 í holu 8 breytast með tíma, eða sem fall af klóríðstyrk. Á 3. mynd er búið að teikna gildin úr töflu 1 gegn klóríðstyrk djúpvatnsins. Að auki eru sýnd tvívetni og súrefnis-18 frávik, sem mæld hafa verið í regnvatni á Reykjanesskaga. Það vekur athygli við myndina að gildin falla á beina línu sem tengir djúpvatn (jarðsjóinn) holu 8 við regn- eða grunnvatn svæðisins. Sýnið frá 1982 virðist hafa lægri seltu og varma en eldri sýni vegna blöndunar við kaldara og ferskara vatn. Að svo komnu máli er ekki hægt að segja til um hvort þessi blöndun hafi átt sér stað við ófullkomna sýnatöku eða hafi gerst í jarðhitakerfinu með niðurrennsli grunnvatns.

Þakkir

Jón Örn Bjarnason tók sýnin úr holu 8 ásamt höfundi og sá um tölvu-útreikningana. Heildarefnagreining var gerð á efnafræðistofu Orkustofnunar. Tvívetnis og súrefnis-18 mælingarnar voru gerðar af Cathy J. Janik og Alfred H. Truesdell hjá U.S. Geological Survey í Menlo Park, Bandaríkjunum.

Heimildir

Baldur Líndal, Ísleifur Jónsson, Jóhann Jakobsson og Unnsteinn Stefánsson 1960: Sjávarselta við strendur Faxaflóa og suðvesturland. Tímarit Verkfræðingafélags Íslands, 45 (1-2), 19-27.

Bragi Árnason 1976: Groundwater systems in Iceland traced by deuterium. Vísindafélag Íslendinga, XLII, 236 s.

Bottinga, Y. and Craig, H. 1968: High temperature liquid-vapour fractionation factors for $H_2O-HDO-H_2O^{18}$, Trans. Am. Geophys. Union, 49, 356-357.

Gudmundsson, J.S., Hauksson, T. and Tomasson, J. 1981: The Reykjanes geothermal field in Iceland - Subsurface exploration and well discharge characteristics, Proc. 7th Workshop Geoth. Reservior Engng., Stanford University, SGP-TR-55, 61-69.

Jón Steinar Guðmundsson 1980: Afkastamæling holu 8 á Reykjanesi. Orkustofnun, greinargerð JSG-80/01, 16 s.

Hrefna Kristmannsdóttir 1983: Persónulegar upplýsingar.

Trausti Hauksson 1981: Reykjanes - Styrkur efna í jarðsjó, Orkustofnun, skýrsla OS-81-015/JHD-10, 53 s.

Ólafsson, J. and Riley, J.P. 1978: Geochemical studies on the thermal brine from Reykjanes (Iceland), Chemical Geology, 21, 219-237.

TAFLA 1

Tvívetni, súrefni-18 og klóríð í djúpvatni holu 8 á Reykjanesi.

Cl mg/kg	-δD o/oo	-δ ¹⁸ O o/oo	Heimild
18.827	22,5	0,26	Bragi (1976)
17.909	23,0-23,1	1,07-1,08	Jón Ó. (1978)
12.279	31,2	1,67	Höfundur

TAFLA 2

Tvívetni og súrefni-18 í holu 8 á Reykjanesi 1982 (frávik frá SMOW).

Dagsetn.	26-09-82
Þrýstingur	33,0 bar-a
Kísilhiti	245 °C
Klóríð	12.279 mg/kg
Gufa	1,3%
Vatn	98,7%
Tvívetni	-31,3 (vatn)
"	-23,8 (gufa)
Súrefni-18	-1,61 (vatn)
"	-2,54 (gufa)

Tvívetni	-31,2 o/oo
Súrefni-18	-1,62 o/oo

TAFLA 3

Styrkur efna (mg/kg) í holu 8 eftir hreinsun 1978

Dagur	SiO ₂	Na	Cl	Uppl.	TsiO ₂	Bar-a
23-1-79	533	9326	17.651	31.539	263	18,6
28-5-79	547	9655	19.772	33.879	265	20,0
23-8-79	638	8480	17.717	29.584	283	25,3
8-1-80	500	9469	18.720	30.975	256	10,9
27-9-82	459	6565	12.279	25.327	245	33,0

Jón Steinar Guðmundsson

20. september 1983

ORKUSTOFNUN JHD
1983-08-31 JØR

25021101088209270124 REYKJANES HOLA B

HAFNAHREPPUR

GULLBRINGUSYSLA

PROGRAM WATCH1.

WATER SAMPLE (PPM)		STEAM SAMPLE			
PH/DEG.C	5.10/24.0	GAS (VOL.%)		REFERENCE TEMP,	DEGREES C 0.0 (QTZ)
SI02	467.10	CO2	78.23		
NA	6675.00	H2S	1.05	SAMPLING PRESSURE	BARS ABS, 33.0
K	1069.70	H2	0.05	DISCHARGE ENTHALPY	MJ/OL/KG 1.056 (CALCULATED)
CA	1013.90	O2	3.82	DISCHARGE	KG/SEC, 0.0
MG	0.450	CH4	0.02		
CO2	121.80	N2	16.67	MEASURED TEMPERATURE	DEGREES C 0.0
SO4	20.30			RESISTIVITY/TEMP,	OHM/DEG.C 0.0/ 0.0
H2S	12.24			EH/TEMP,	MV/DEG.C 0.000/ 0.0
CL	12486.00				
F	0.16	LITERS GAS PER KG			
DISS.SOLIDS	25752.80	CONDENSATE/DEG.C	7.56/17.5	MEASURED DOWNHOLE TEMP,	FLUID INFLOW
AL	0.0000			DEGREES C/METERS	DEPTH (METERS)
B	0.0000				
FE	0.0000	CONDENSATE (PPM)		0.0	0.0
NH3	0.0000	PH/DEG.C	4.22/24.3	0.0	0.0
		CO2	1504.00	0.0	0.0
		H2S	92.50	0.0	0.0
		NA	0.42	0.0	0.0
				0.0	0.0
				0.0	0.0
				0.0	0.0
				0.0	0.0
		CONDENSATE WITH NAOH (PPM)		0.0	0.0
		CO2	0.00	0.0	0.0
		H2S	0.00	0.0	0.0

IONIC STRENGTH = 0.38475 IONIC BALANCE : CATIONS (MOL.EQ.)0.36706221
ANIONS (MOL.EQ.)0.35154608
DIFFERENCE (%) 4.32

DEEP WATER (PPM)		DEEP STEAM (PPM)		GAS PRESSURES (BARS ABS.)	
SI02	459.42	CO2	324.97	CO2	0.832E+00
NA	6564.70	H2S	15.44	H2S	0.160E-01
K	1051.97	H2	0.01	H2	0.141E-02
CA	997.15	O2	6.40	O2	0.922E-01
MG	0.443	CH4	0.02	CH4	0.829E-03
SO4	19.96	N2	24.46	N2	0.558E+00
CL	12278.64	NH3	0.00	NH3	0.000E+00
F	0.16			H2O	0.366E+02
DISS.S.	25327.26			TOTAL	0.381E+02
AL	0.0000				
B	0.0000			H2O (%)	0.00
FE	0.0000			BOILING PORTION	0.00

ACTIVITY COEFFICIENTS IN DEEP WATER

H+	0.632	KS04-	0.540	FE++	0.106	FECL+	0.490
OH-	0.470	F-	0.470	FE+++	0.020	AL+++	0.020
H3SI04-	0.490	CL-	0.447	FE0H+	0.527	AL0H++	0.093
H2SI04--	0.093	NA+	0.490	FE(OH)3-	0.527	AL(OH)2+	0.540
H2B03-	0.423	K+	0.447	FE(OH)4--	0.084	AL(OH)4-	0.509
HCO3-	0.490	CA++	0.106	FE0H++	0.084	ALSO4+	0.509
CO3--	0.073	MG++	0.152	FE(OH)2+	0.540	AL(S04)2-	0.509
HS-	0.470	CAHCO3+	0.559	FE(OH)4-	0.540	ALF++	0.093
S---	0.084	MGHCO3+	0.490	FES04+	0.527	ALF2+	0.540
HS04-	0.509	CAOH+	0.559	FECL+	0.084	ALF4-	0.509
S04--	0.063	MGOH+	0.573	FECL2+	0.527	ALF5--	0.073
NAS04-	0.540	NH4+	0.423	FECL4-	0.490	ALF6---	0.003

CHEMICAL COMPONENTS IN DEEP WATER (PPM AND LOG MOLE)

H+ (ACT.)	0.01	-5.047	MG++	0.44	-4.745	FE(OH)3	0.00	0.000
OH-	0.03	-5.688	NACL	1531.09	-1.582	FE(OH)4-	0.00	0.000
H4SI04	734.57	-2.117	KCL	117.12	-2.804	FECL+	0.00	0.000
H3SI04-	0.15	-5.804	NAS04-	3.74	-4.503	FECL2	0.00	0.000
H2SI04--	0.00	-11.436	KS04-	2.66	-4.706	FECL++	0.00	0.000
NAH3SI04	0.20	-5.761	CAS04	9.93	-4.137	FECL2+	0.00	0.000
H3B03	0.00	0.000	MGS04	0.02	-6.800	FECL3	0.00	0.000
H2B03-	0.00	0.000	CAC03	0.01	-7.163	FECL4-	0.00	0.000
H2CO3	445.25	-2.144	MGC03	0.00	-11.421	FES04	0.00	0.000
HCO3-	2.51	-4.386	CAHCO3+	16.66	-3.783	FES04+	0.00	0.000
CO3--	0.00	-9.657	MGHCO3+	0.00	-7.930	AL+++	0.00	0.000
H2S	15.28	-3.348	CAOH+	0.08	-5.845	AL0H++	0.00	0.000
HS-	0.15	-5.332	MGOH+	0.00	-7.436	AL(OH)2+	0.00	0.000
S---	0.00	-14.508	NH4OH	0.00	0.000	AL(OH)3	0.00	0.000
H2S04	0.00	-10.977	NH4+	0.00	0.000	AL(OH)4-	0.00	0.000
HS04-	1.20	-4.909	FE++	0.00	0.000	ALSO4+	0.00	0.000
S04--	6.85	-4.147	FE+++	0.00	0.000	AL(S04)2-	0.00	0.000
HF	0.08	-5.388	FE0H+	0.00	0.000	ALF++	0.00	0.000
F-	0.08	-5.362	FE(OH)2	0.00	0.000	ALF2+	0.00	0.000
CL-	11294.19	-0.497	FE(OH)3-	0.00	0.000	ALF3	0.00	0.000
NA+	5961.62	-0.586	FE(OH)4--	0.00	0.000	ALF4-	0.00	0.000
K+	989.78	-1.597	FE(OH)++	0.00	0.000	ALF5--	0.00	0.000
CA++	987.56	-1.608	FE(OH)2+	0.00	0.000	ALF6---	0.00	0.000

IONIC STRENGTH = 0.35118 IONIC BALANCE : CATIONS (MOL.EQ.)0.33410922
 ANIONS (MOL.EQ.)0.31879124
 DIFFERENCE (%) 4.69

CHEMICAL GEOTHERMOMETERS DEGREES C 1000/T DEGREES KELVIN = 1.93

QUARTZ 244.9
 CHALCEDONY 999.9
 NAK 248.3

OXIDATION POTENTIAL (VOLTS) : EH H2S= -0.369 EH CH4= -0.429 EH H2= -0.372 EH NH3= 99.999

LOG SOLUBILITY PRODUCTS OF MINERALS IN DEEP WATER

	TEOR.	CALC.		TEOR.	CALC.		TEOR.	CALC.
ADULARIA	-14.420	99.999	ALBITE LOW	-13.968	99.999	ANALCIME	-11.525	99.999
ANHYDRITE	-8.017	-7.930	CALCITE	-12.645	-13.374	CHALCEDONY	-2.014	-2.117
MG-CHLORITE	-84.512	99.999	FLUORITE	-10.931	-13.963	GOETHITE	2.005	99.999
LAUMONTITE	-24.546	99.999	MICROCLINE	-15.104	99.999	MAGNETITE	-17.399	99.999
CA-MONTMOR.	-72.611	99.999	K-MONTMOR.	-34.011	99.999	MG-MONTMOR.	-74.109	99.999
NA-MONTMOR.	-34.284	99.999	MUSCOVITE	-17.849	99.999	PREHNITE	-37.166	99.999
PYRRHOTITE	-23.775	99.999	PYRITE	-44.837	99.999	QUARTZ	-2.126	-2.117
WAIRAKITE	-24.461	99.999	WOLLASTONITE	7.566	5.396	ZOISITE	-37.742	99.999
EPIDOTE	-37.324	99.999	MARCASITE	-27.913	99.999			



ACTIVITY COEFFICIENTS IN DEEP WATER

H+	0.632	KS04-	0.540	FE++	0.106	FECL+	0.490
OH-	0.470	F-	0.470	FE+++	0.020	AL+++	0.020
H3SI04-	0.490	CL-	0.447	FE0H+	0.527	AL0H++	0.093
H2SI04--	0.093	NA+	0.490	FE(OH)3-	0.527	AL(OH)2+	0.540
H2B03-	0.423	K+	0.447	FE(OH)4--	0.084	AL(OH)4-	0.509
HCO3-	0.490	CA++	0.106	FE0H++	0.084	ALSO4+	0.509
CO3--	0.073	MG++	0.152	FE(OH)2+	0.540	AL(S04)2-	0.509
HS-	0.470	CAHCO3+	0.559	FE(OH)4-	0.540	ALF++	0.093
S--	0.084	MGHCO3+	0.490	FES04+	0.527	ALF2+	0.540
HS04-	0.509	CAOH+	0.559	FECL++	0.084	ALF4-	0.509
S04--	0.063	MGOH+	0.573	FECL2+	0.527	ALF5--	0.073
NAS04-	0.540	NH4+	0.423	FECL4-	0.490	ALF6---	0.003

CHEMICAL COMPONENTS IN DEEP WATER (FPN AND LOG MOLE)

H+ (ACT.)	0.01	-5.047	MG++	0.44	-4.745	FE(OH)3	0.00	0.000
OH-	0.03	-5.688	NACL	1531.09	-1.582	FE(OH)4-	0.00	0.000
H4SI04	734.57	-2.117	KCL	117.12	-2.804	FECL+	0.00	0.000
H3SI04-	0.15	-5.804	NAS04-	3.74	-4.503	FECL2	0.00	0.000
H2SI04--	0.00	-11.436	KS04-	2.66	-4.706	FECL++	0.00	0.000
NAH3SI04	0.20	-5.761	CAS04	9.93	-4.137	FECL2+	0.00	0.000
H3B03	0.00	0.000	MBS04	0.02	-6.800	FECL3	0.00	0.000
H2B03-	0.00	0.000	CACO3	0.01	-7.163	FECL4-	0.00	0.000
H2CO3	445.25	-2.144	MGO3	0.00	-11.421	FES04	0.00	0.000
HCO3-	2.51	-4.386	CAHCO3+	16.66	-3.783	FES04+	0.00	0.000
CO3--	0.00	-9.657	MGHCO3+	0.00	-7.930	AL+++	0.00	0.000
H2S	15.28	-3.348	CAOH+	0.08	-5.845	AL0H++	0.00	0.000
HS-	0.15	-5.332	MGOH+	0.00	-7.436	AL(OH)2+	0.00	0.000
S--	0.00	-14.508	NH4OH	0.00	0.000	AL(OH)3	0.00	0.000
H2S04	0.00	-10.977	NH4+	0.00	0.000	AL(OH)4-	0.00	0.000
HS04-	1.20	-4.909	FE++	0.00	0.000	ALSO4+	0.00	0.000
S04--	6.85	-4.147	FE+++	0.00	0.000	AL(S04)2-	0.00	0.000
HF	0.08	-5.388	FE0H+	0.00	0.000	ALF++	0.00	0.000
F-	0.08	-5.362	FE(OH)2	0.00	0.000	ALF2+	0.00	0.000
CL-	11294.19	-0.497	FE(OH)3-	0.00	0.000	ALF3	0.00	0.000
NA+	5961.62	-0.586	FE(OH)4--	0.00	0.000	ALF4-	0.00	0.000
K+	989.78	-1.597	FE(OH)++	0.00	0.000	ALF5--	0.00	0.000
CA++	987.56	-1.608	FE(OH)2+	0.00	0.000	ALF6---	0.00	0.000

IONIC STRENGTH = 0.35118

IONIC BALANCE :

CATIONS (MOL.EQ.)0.33410922

ANIONS (MOL.EQ.)0.31879124

DIFFERENCE (%) 4.69

CHEMICAL GEOTHERMOMETERS DEGREES C

1000/T DEGREES KELVIN = 1.93

QUARTZ 244.9

CHALCEDONY 999.9

NAK 248.3

OXIDATION POTENTIAL (VOLTS) :

EH H2S= -0.369

EH CH4= -0.429

EH H2= -0.372

EH NH3= 99.999

LOG SOLUBILITY PRODUCTS OF MINERALS IN DEEP WATER

	TEOR.	CALC.		TEOR.	CALC.		TEOR.	CALC.
ADULARIA	-14.420	99.999	ALBITE LOW	-13.968	99.999	ANALCIME	-11.525	99.999
ANHYDRITE	-8.017	-7.930	CALCITE	-12.645	-13.374	CHALCEDONY	-2.014	-2.117
MG-CHLORITE	-84.512	99.999	FLUORITE	-10.931	-13.963	GOETHITE	2.005	99.999
LAUMONTITE	-24.546	99.999	HICROCLINE	-15.104	99.999	MAGNETITE	-17.399	99.999
CA-MONTHOR.	-72.611	99.999	K-MONTHOR.	-34.011	99.999	MG-MONTHOR.	-74.109	99.999
NA-MONTHOR.	-34.284	99.999	MUSCOVITE	-17.849	99.999	PREHNITE	-37.166	99.999
PYRRHOTITE	-23.775	99.999	PYRITE	-44.837	99.999	QUARTZ	-2.126	-2.117
WAIRAKITE	-24.461	99.999	WOLLASTONITE	7.566	5.396	ZOISITE	-37.740	99.999
EPIDOTE	-37.324	99.999	NARCASITE	-27.913	99.999			