

FRAMVINDUSKÝRSLA UM BREYTINGAR Á
RENNSLI OG EFNAINNIHALDI Í
BORHOLUM 3 OG 4 Í KRÖFLU

eftir

Gest Gíslason og
Stefán Amórsson

ORKUSTOFNUN

Jaróhitadeild

FRAMVINDUSKYRSLA UM BREYTINGAR Á
RENNELI OG EFNAINNIHALDI Í
BORINGUM 3 og 4 Í KRÖFLU

eftir

Gest Gíslason og
Stefán Arnórsson

EFNISYFIRLIT

1. Inngangur
2. Hóla 3
 - 2.1 Efnainnihald
 - 2.2 Rennslisbreytingar
3. Hóla 4
 - 3.1 Efnainnihald
 - 3.2 Rennslisbreytingar
4. Leirhver við Leirhnúk
5. Áhrif hólunnar 4 á vandamál við losun affallsvatns
6. Orsakir fyrir breytingum

1. INNGANGUR

Frá því í ágúst 1975 hefur verið fylgst með efnainnihaldi, þrýstingi og rennelli í holu 3 í Kröflu. 14 sýni hafa verið efnagreind og utthvað hlutir aflmælingar gerðar. Niðurstöður þessara athugana eru sýndar á mynd 1 og töflu 1.

Úr holu 4 var safnað 3 sýnum áður en hún reif af sér lokana. Um tíma eftir að lokarnir fóru af holunni var ekki unnt að safna sýnum, eða ekki fyrr en í lok mars. Síðan hafa verið tekin 3 sýni. Niðurstöður þessara athugana eru sýndar í töflu 2.

Þrjú sýni hafa verið tekin af vatni úr hvernum syóst í Leirhnúk (tafla 3).

Sýnum var safnað á þann hátt, sem greint er frá í skýrslu eftir Stefán Arnórsson og Einar Gunnlaugsson um söfnun vatns og gassýna (OS JHD 7552). Aflmælingar voru gerðar með mælingu á kítískum þrýstingi í útstreymisopi og enthalpia fundin úr frá kísilhita.

Efnainnihald djúpvatns er reiknað úr frá samsetningu vatns, gass og þéttivatns á þann hátt, sem lýst er í ritgerð Stefáns Arnórssonar, Uppleyst efni í heitu vatni (OS JHP 7317).

Efnagreiningu er ekki að fullu lokið, en ekki þótti fært að bíða eftir því, og birtast því efnagreiningarnar hér ófullgerðar.

2. HOLA 3

2.1 Efnainnihald

Frá því, að holu 3 var hleypt í gos 20. ágúst 1975 hafa verið tekin 14 mýni til efnagreininga (tafla 1). Helstu breytingar, sem hafa orðið eru hægfara minnkun á styrk kísils (SiO_2) og minnkun á kalsíum (Ca^{++}) fyrst eftir að holan var opnuð. Þá hefur vetni (H_2) aukist frá því í október og kolsýra (CO_2) jókst gífurlega í mars síðastliðnum.

Orsakir lëkkunar kísils munu vera þær, að þegar holan blæs, fellur þrýstingur í holunni og næsta nágrenni hennar. Við það sýður vatnið fyrir utan holuna, úti í berginu. Við suðuna lëkkar hitastigið á vatninu. Verður það þá yfirmettað af kvarsí, sem fellur þá út úr vatninu í berginu. Afleiðing af þessari útfellingu er lëkkandi kísilhití (mynd 1).

Beinast liggur við að skýra minnkun kalsíums (Ca^{++}) með því, að það hvarfist við karbónat (CO_3^{--}) og falli út sem kalsít eða aragónít (hvortveggja CaCO_3). Við suðu hækkar sýrustig (pH) vatnsins og veldur það aukningu á styrk karbónats (CO_3^{--}). Þessi aukning karbónats er valdur að útfellingunni

Kalsíum (Ca^{++}) hefur minnkað úr 4 ppm í 1,5 ppm en sú minnkun samsvarar því, að 6,3 mg af kalsíti falli út úr hverju kílógrammi djúpvatns. Á fyrstu 4 mánuðum, sem holan blæs, mældist rennslið á jafnaði um 70 kg/sek (mynd 1). Á þessum tíma hefðu því myndast 4,5 tonn af CaCO_3 , sem samsvarar 1,7 m³. Þetta magn lokar alveg 8,5 m³ af bergi með 20% poruhluta. Þörf væri á því, að athuga hvort hugsanlegar kalsítútfellingar dragi úr innrennsli í borholur eins og hefur átt sér stað í holu 3. Slíkt mætti finna með mælingum á vatnsleiðni (transmissivity) á misunandi tímum.

Gerð tölvuforskriftar er nú á lokastigi. Þar verður reiknað, hvort þar aðstæður, sem þarf til þess að kalsít falli út, séu fyrir hendi þegar djúpvatn sýður í aðstreymi að blásandi gufuholum. Þegar niðurstæður þeirra reikninga liggja fyrir, verður auðveldara að túlka breytingar á styrk kalsíums (Ca^{++}) í holuvatninu.

Í október mældist aukning á vetni (H_2) í djúpvatninu. Aukið vetni fylgir auknum hita. Þó verður ekki vart við hækkun á hitastigi á því sem í holuna kemur. Ef til vill stafar þessi vetnisaukning frá innskoti undir jarðhitasvæðinu. Um það verður þó ekkert sagt með vissu.

Hækkunar á styrk brennisteinsvetnis (H_2S) og þó sérstaklega kolsýru (CO_2) verður svo vart síðast í mars. Vegna aukins kolsýrumagns í vatninu hefur sýrustig lækkað (tafla 1).

Orsökkin fyrir aukningu á kolsýru (CO_2), sem er u.þ.b. hundraðföld, gæti stafað af því, að við þá vatnaboróslökkun, sem varð líklega á svæðinu í kjölfar eldgossins í desember síðastliðnum (sjá kafla 2.2) féll þrýstingurinn á vatnsgeyminum. Við þrýstifall minnkar leysanleiki gassins í vatninu, sem hefði það í för með sér, að kolsýran leystist úr vatninu og streymdi til yfirborðs.

Samfara breytingum á gasmagni í holu 3 urðu aðrar breytingar á svæðinu, sem benda helst til þess, að þá hafi bergkvika myndað innskot í Kröflusvæðinu (breytingar á smáskjálftum, landlyfting og breytingar á holu 4 (sjá kafla 3)). Af þeim sökum er eðlilegra að álíta, að aukið magn kolsýru í holu 3 stafi frá slíku innskoti fremur en af þrýstifalli í vatnsgeyminum.

Ekki má útiloka þann möguleika, að innskot hafi myndast mun fyrr og sé undanfari vetnisaukningarinnar í október 1975. Vetni er mun torleysanlegra í vatni en kolsýra og brennisteinsvetni. Kæmi aukning þess því fyrr fram en kolsýru og brennisteinsvetnis.

Tvær síðastnefndu gastegundirnar myndu í fyrstu leysast upp í vatni geymisins og ekki koma fram í borholum fyrr en vatnið er mettað af þeim eða vatnið af því dýpi, þar sem innkotíð tróð sér inn, hefur náð að streyma upp og skila sér inn í borholur.

2.2 Kommulímbreytingar

Fljótlega eftir að hola 3 var opnuð í ágúst 1975 varð rennsli úr henni nokkuð stöðugt eða um 70 kg/sek (mynd 1). Stax eftir gosið í Leirhnúk 20. desember 1975 varð vart við, að rennsli úr holunni minnkaði.

Við gosið tapaðist mjög mikil gufa úr jarðhitasvæðinu. Einnig hefur verið mjög mikið vatnsrennsli frá gossprungunni, sem sést á því, að víða eru vatnrásir og þvegið grjót við eldstöðvarnar. Þetta hefur orsakað vatnsborðslökkun í jarðhitasvæðinu, sem veldur þrýstingslökkun og getur vel verið, að rennslisminnkun úr holu 3 stafi af þessari þrýstingslökkun.

Frá því í desember og þar til í apríllok var rennslið stöðugt minnkandi en hefur nú verið óbreytt í 18 kg/sek í um 2 mánuði miðað við 5 ata mótþrýsting. Ef til vill er að nást jafnvægi á ný, en frekari mælingar verða að skera úr um það. Lokunarþrýstingur er 8.5 ata, þannig að ekkert fæst úr holunni við fyrirhugaðan vinnsluþrýsting, sem er um 9.0 ata.

3. HOLA 4

3.1 Efnainnihald

Fyrstu þremur sýnunum úr holu 4 er safnað með gufuskilja. Efnainnihald vatnsins í fyrsta sýninu bendir til þess, að vatnsýnið sé að mestu þéttuð gufa. Efnagreiningar seinni sýnanna tveggja sýna, að þá var gufan orðin blaut. Efnainnihald vatnsins bendir

ekki til hærri hita en 230°C (tafla 2). Hins vegar mældist yfir 300°C í holunni, er gerð var mæling skömmu eftir að holan byrjaði að bláa. Sennilegt er, að við þrýstifallið, sem varð í holunni við blásturinn, hafi vatn úr að á 700 m dýpi komist inn í holuna. Þannig bundir margt til þess, að úr neðstu aðinni komi ekkert vatn, en aðeins gufa.

Þyrsta sýnið, sem nefnað var úr læknum frá holu 4 eftir að hún reif af sér toppinn hafði mjög lágt sýrustig eða pH 1.86 (tafla 2). Þessu mun valda íblöndun saltsýru og líklegast einnig brennisteins-sýru, en súlfat (SO_4^{--}) er enn ómelt. Um svipað leyti og þetta sýni var tekið fannst áberandi lykt úr mekkinum frá holunni af brennisteinssýrlingi (SO_2), en sú lofttegund er einungis stöðug við mjög hátt hitastig (nálægt hitastigi hraunkviku). Um svipað leyti fundust útfellingar umhverfis holuna, sem reyndust vera brenni-steininn. Hár styrkur kalsíums (Ca^{++}) og magníums (Mg^{++}) í vatninu mun stafa af meiri útskolun þessara efna úr berginu af því vatnið er svo súrt.

Sýrustig vatnsins hefur farið hækandi, og mældist síðast 7.32. Það sýrustig, sem búast má við undir eðlilegum kringumstæðum er pH 9-10. Núverandi sýrustig gæti stjórnað af háum styrk kolsýru, ef jafnmikið gas streymir út um holu 4 og holu 3. Vegna ákafrar suðu í útstreyminu verður söfnun á gufu og gasi ekki komið við og því ekki unnt að mæla það gasmagn, sem út streymir.

Lágt sýrustig eins og mældist í mars veldur tæringu og gæti skýrt að einhverju leyti hvers vegna fóðringin í holu 4 gaf sig. Þó geta aðrir þættir líka ráðið þar um. Áberandi var, að í skjálftunum í janúar í vetur var mjög mikið af bergmylsnu í gufumekkinum, og dökknaði strókurinn eftir hvern finnanlegan skjálfta. Einnig litaðist snjórinn grann á stóru svæði í kringum holuna. Bergagn-irnar eru mjög öflug graftól, og hljóta að hafa átt drjúgan þátt í að slíta fóðringunni.

3.2 Rennslisbreytingar

Þegar hola 4 slapp í gos í september 1975 var áberandi, að gufan var nær alveg þurr, lítið rignði úr mökkinum. Þetta sama sýndu fyrstu sýnin.

Í byrjun janúar rifnuðu lokarnir af holunni, og hefur hola blásið óhamin síðan. Fljótlega eftir þetta fór að bera á því, að partar úr fóðringunni komu upp með gufunni. Þann 27. janúar varð skyndilega sú breyting, að tjörn hafði myndast við holutoppinn 20-30 m í þvermál. Vatnsrennsli var þá talið vera um 20-40 l/sek, en hafði ekkert verið áður. Rennslið smá jókst er á leið, og frá því í vor hefur rennslið mælst 150-250 l/sek í yfirfallsstíflu nærri holunni. Rennslið er nokkuð breytilegt.

Beinar mælingar á heildarrensli eru engar til, en við heppileg veðurskilyrði hefur mökkurinn úr holu 4 verið borinn saman við mökkinn úr holu 3. Mat manna hefur verið það, að mökkurinn úr holu 4 sé 4-8 sinnum stærri að rúmmáli en mökkur holu 3.

Sú hugmynd hefur komið fram, að heita æðin á 1940 m dýpi í holu 4 gefi nærri þurra gufu. Fljótlega eftir að hola fór að blása fór gufan að blotna. Kísilhitinn á vatninu bendir ekki til hærri hita en 230°C. Vatnið er því líklegast komið úr grynri æðum. Veruleg aukning á vatnsrensli varð seinni hluta vetrar. Þetta gæti stafað af því, að þegar fóðringin gaf sig, hafi opnast leið inn í holuna fyrir vatn úr æðum á mun minna dýpi. Kísilhitinn er sá sami og í holu 2 (sjá skýrslu OS Krafla OS JHD 7506) en hún fær vatn úr öflugum æðum á 325-350 m dýpi. Við borun holu 4 kom fram stór vatnsæð á 290 m dýpi.

4. LEIRHVER VIÐ LEIRHNÚK

Við gosið í vetur myndaðist leirhver syðst í Leirhnúk og var hann virkur í nokkurn tíma. Var þá tekið eitt sýni (tafla 3). Síðan kólnaði vatnið og fraus. Þegar hverinn var skoðaður í byrjun maí

hafði hann brætt af sér og var þá mikið gasstreymi úr honum. Hitinn á vatninu var þá 18°C, en er nú kominn upp yfir 30°C. Efnagreiningar sýna, að vatnið í skálinni er kalt grunnvatn og gasið virðist aðallega kolsýra (CO₂), því mjög mikið af því er uppleyst í vatninu. Sýni, sem tekið var í júlí, hefur mun minni kolsýrustyrk heldur en sýnið frá í maí. Þetta geti stafað af því, að síðarnefnda sýnið var tekið þar sem mest bólar upp af gasinu, en fyrirnefnda sýnið er tekið fjar gasuppstreyminu.

5. ÁHRIF HOLU 4 Á VANDAMÁL VIÐ LOSUN AFFALLSVATNS

Áætlað er, að affallsvatn frá Kröfluvirkjun verði 340 l/sek. Rennsli frá holu 4 er 150-250 l/sek. Er því auséð, að við tilkomu þessa viðbótarvatns eykst affallsvatnsvandamálið verulega. Þess ber þó að gæta, að styrkur kísils í vatninu frá holu 4 er mun minni en í væntanlegu affallsvatni. Mettunarmörk ópals í vatninu frá holu 4 nást við 90°C. Til samanburðar má geta þess, að áætlað er að hitastig ópalmettunar á affallsvatninu miðað við 270°C innstreymishita verði 110-150°C (pH 9.6-10.0). Af þessum sökum er vandamál vegna ópalútfellinga ekki eins mikil vegna vatns frá holu 4 eins og gert er ráð fyrir með affallsvatn frá virkjuninni í heild. Hinsvegar er mjög mikill framburður í holuvatninu, þannig að Hlíðardalslækur er nú kolmórauður. Er viðbúið, að framburðurinn komi til með að stífla niðurfallsrásir í Búrfellshrauni, ef ákkert verður að gert.

6. ORSAKIR FYRIR BREYTINGUM

Eldgosið og önnur umbrot á Kröflusvæðinu í vetur hafa valdið verulegum breytingum á efnainnihaldi og rennsli vatns úr þeim borholum, sem fylgst hefur verið með eins og greint var frá hér að framan. Rennslisminnkunin í holu 3 stafar líklegast af lökkun vatnsboróðs í jarðhitageyminum. Sú skýring er þá að nokkru leyti í mótsögn við þá skýringu, sem sett var fram um rennsli í holu 4. Aðrar skýringar á minnkðu rennsli í holu 3 eru þétting af völdum kalsítútfellinga eða breytingar af völdum jarðhræringa. Ráði vatnsboróðslökkun þessari rennslisminnkun, er við því að búast, að hún verði meiri í holum, sem taka vatn úr vatnsæðum á litlu dýpi, heldur en þeim, sem dýpra eru. Þetta stafar af því,

að þrýstifall er hlutfallslega meira ofarlega í vatnskerfinu heldur en neðar. Rennslíð úr holu 3, sem var um 70 kg/sek fyrir gosið, hefur nú verið nokkuð stöðugt 18 kg/sek í um tvo mánuði við um 5 ata mótþrýsting. Nú er lokunarþrýstingur 8,5 ata. Áætlaður vinnsluþrýstingur er um 9 ata. Af framansögðu leiðir, að ef rennsli úr holu 3 eykst ekki frá því sem nú er, fæst engin gufa frá henni inn á væntanlega gufuveitu, a.m.k. háþrýstihlutann.

Ekkert er hægt að segja til um hvort hola 3 nái aftur fyrra rennsli. Ef rennslisminnkunin stafar af vatnsboróslakkun á jarðhitakerfinu er ekki hægt að segja til um hvenær svæðið nær sér aftur eftir gosið, hvort sem það tekur nokkra mánuði eða nokkur ár. Ef rennslisminnkunin stafar af þéttingu vegna kalsítútfeilinga mun rennslið halda áfram að minnka, en ef jarðskjálftar hafa valdið mun rennslið líklegast haldast óbreytt, nema til komi nýjar jarðhræringar.

Samhliða túlkun margra athugana benda til þess, að í mars hafi myndast innskot undir Kröflusvæðinu. Á þeim tíma tók land að rísa á ný, en svæðið hafði sigið strax eftir gosið. Einnig urðu þá breytingar á smáskjálftum.

Við afgösun bergkvikunnar í innskotinu hafa lofttegundir leitað út í jarðvatnsgeyminn, mettað vatnið og bólað síðan upp í gegnum vatnskerfið, og valdið hinni miklu aukningu á gasi, aðallega kolsýru í holu 3 og í leirhvernum við Leirhnjúk. Nú eftir 3 mánuði virðist gasmagnið enn óbreytt. Ekki er unnt að segja til um hvort eða hvaða breytingar verða á gasmagni djúpvatnsins í náinni framtíð.

Hið lága sýrustig í holu 4 stafar af saltsýru og líklegast einnig brennisteinssýru, og getur saltsýran og brennisteinsoxíð, sem myndar brennisteinssýruna, naumast verið áttað frá öðru en innskoti. Sýrustigið í vatni frá holu 4 hefur farið ört hákkandi og var um 7 þegar sýni var síðast tekið, 8. júní s.l.

Athuganir í Kröflu hafa leitt í ljós, að aukning á gasi er á allstóru svæði, eða a.m.k. frá holu 3 yfir í Leirhnjúk, og má því búast við, að sama verði uppi á teningnum í öðrum holum, og þá e.t.v. sérstaklega í efri vatnsdóm. Þá má einnig búast við því, ef vatnsborð hefur lækkað, að rennsli úr þeim verði minna en annars hefði orðið. Ekki mun ástæða til þess að óttast eins lágt sýrustig og var í holu 4 nema frekari innkotavirkni verði.

TAFLA 1.

Samsetning djúpvatns í holi 3 í Kröfllu.
Sýrkur er í ppm. Sýrustig er mál á
söfnunartími (ekki sýrustig djúpvatns).

Sýni nr.	dags.	klæðing	pH/20°C	SiO ₂	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	F ⁻	CO ₂	H ₂ S	H ₂	CH ₄
KRAD08750200	21/8'75	247	8,71	483	152	27,9	4,1	0,05	0,73	226	138	1,18	
KRAD08750201	22/8	253	8,61	514	147	26,1	4,0	0,04	0,73	289	172	0,90	
KRAD08750202	27/8	254	9,52	537	170	25,4	3,5	0,45	0,78	299	164	0,86	
KRAD08750204	2/9	251	9,22	505	156	25,1	2,2	0,04	0,88	124	166	1,53	
KRAD09750156	22/9	246	9,85	478	154	24,0	1,7	0,04	0,85	173	94,6	0,75	0,21
KRAD10750166	9/10	249	9,66	506	153	25,0	1,8	0,02	0,79				
KRAD10750167	19/10	243	9,20	549	150	24,1	1,6	0,02	0,86	228	85,3	1,89	0,45
KRAD11750171	6/11	250	9,79	521	157	26,7	1,1	0,01	0,94	266	97,2	2,67	0,51
KRAD11750179	23/11	244	9,84	468	179	24,0	1,5	0,04	0,93	213	94,5	2,59	0,58
KRAD12750189	21/12	245	9,94	466	151	23,3	0,88	<0,01	0,90	261	49,7	2,41	0,57
KRAD01760008	15/1'76	246	9,69	474	145	24,1	1,4	0,08	0,90	161	184	4,59	0,70
KRAD03760027	22/3	246	7,39	476	141	22,0	1,9	0,08	0,84	24066	270		
KRAD05760055	5/5	246	8,08	477					0,76	24022	155		
KRAD06760065	2/6	248	7,57	491						22025	272		

TAFLA 2.

Efnasamsetning vatns úr holu 4 í Króflú.

Safnað með skilju, samsetning djúpvatns, styrkur í ppm. Sýrustig er mælt á sófnunaratni (ekki sýrustig djúpvatns)

SÝNI NR	dags.	kísilhiti	pH/°C	SiO ₂	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Cl ⁻	F ⁻	CO ₂	H ₂ S	H ₂	CH ₄
KRAD09750151	21/9'75		6,40/10	36	0,75	0,47	4,95	0,11	0,0	0,70	464	30	2,51	0,35
KRAD10750168	19/10	227	9,10/20	414	173	22,6	3,35	0,08	50,0	4,92	153	40,3	0,66	0,12
KRAD11750180	24/11	228	9,44/20	409	166	20,8	3,38	0,04	41,3	4,86	147	43,3	1,07	0,22

Safnað úr læk frá holu 4 eftir að hún reif af sér loka, styrkur í ppm.

SÝNI NR	dags.	kísilhiti	pH/°C	SiO ₂	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Cl ⁻	F ⁻	CO ₂	H ₂ S
KRAD03760028	22/3'76	228	1,86/20	519	252	25,0	331	25,4	151	0,83	223	<0,1
KRAD05760056	5/5	216	5,70/19	410							~0	37,0
KRAD06760079	8/6	208	7,32/18	372							3,7	37,9

TAFLA 3.

Samsetning vatns í leirhver við Leirhnjúk. Styrkur efna er í ppm.

STUÐ NR	dags.	hítl. °C	pH/°C	SiO ₂	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	CO ₂ (total)	H ₂ S	Cl ⁻	F ⁻	uppl.efni
KRAV12750190	23/12'75		7,95/18	37,2	85,9	4,1	102,4	7,22	113,1	0,1	56	0,89	
KRAV05760057	5/5'76	18	6,14/18	43					1345	<0,1	29	0,04	1210
KRAV06760079	8/6'76	29	6,55/18	54					750	<0,1			

76 0308 66/AA
 Tr. 201 Tr. 115
 Ljæfmatr. J. Stofna
 Fnr 13992

ORKUSTOFNUM
 HOLA 3 KRÖFLU
 Breytingar á afli og kasilhita með tíma.

Mynd 1

