

**Krafla KG-25: upphleyping og fyrstu  
mæliniðurstöður**

**Gestur Gíslason, Kristján Hrafn Sigurðsson**

**Greinargerð GG-KHS-90-01**

## KRAFLA KG-25 UPPHLEYPING OG FYRSTU MÆLINÆURSTÖÐUR

### 1. INNGANGUR

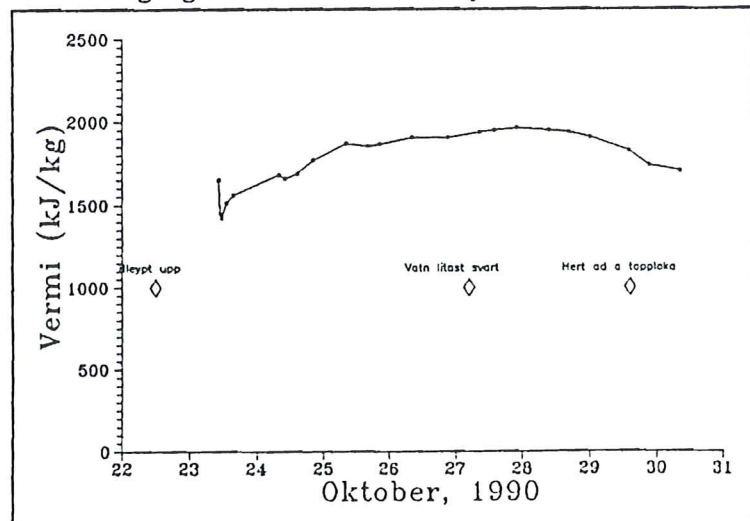
Hola KG-25 í Kröflu var boruð sumarið 1990, og lauk þeirri aðgerð í byrjun september. Holan er rétt norðan við KG-4, vestan við Víti, og er því nyrsta holan á svæðinu. Við borun og mælingar hafa komið fram vatnsæðar á tveimur dýptarbilum neðan við steypar fóðringar. Efri æðarnar eru á um 1400 m dýpi, og hitamælingar sem gerðar voru nokkru áður en holunni var hleypt í blástur bentu til að hitastig þar væri nærri 200°C, en neðri æðarnar eru á um 2070 m dýpi, sem er nærri botni holunnar (2105 m). Hitastig neðst í holunni er um eða yfir 330°C.

Hér á eftir verður fjallað um upphleypingu KG-25, og fyrstu afkastamælingar. Einnig verður greint frá sýnatökum og þeim bráðabirgða niðurstöðum sem nú liggja fyrir.

### 2. UPPHLEYPING OG BLÁSTUR

Holu KG-25 var hleypt upp á hádegi þann 22. október 1990, og voru þá liðnar 7 vikur síðan upphitun hófst. Nokkrar tilraunir höfðu verið gerðar til að hleypa holunni upp, fyrst með því að ýta vatnsborðinu niður með loftþrýstingi, en þær aðgerðir báru ekki árangur. Sú aðferð sem kom holunni í blástur var að setja "karbít" í hana. Þessi aðferð var notuð nokkuð á árum áður, t.d. í Bjarnarflagi, en hefur nú ekki verið reynd í fjölda ára. Karbíturinn hefur þá náttúru að þegar hann kemst í snertingu við vatn verður efnahvarf, og myndast meðal annars lofttegundin acetylen. Acetylen-gasið léttir vatnssúluna í holunni nægilega til að koma af stað sjálfrennsli.

Um 110 kg af karbít voru sett í holuna, og henni hleypt 'beint upp', og blés hún þannig í um 22 klst, en þá var rennslinu beint í hljóðdeyfi. Í útblásturslegg var 130 mm blenda, og mælistútur í hljóðdeyfi var 184 mm í þvermál. Toppþrýstingur ( $P_0$ ), kritiskur þrýstingur ( $P_c$ ) og vatnshæð í V-yfirfalli frá hljóðdeyfi hafa verið mæld reglulega frá því að flæðinu var beint í hljóðdeyfinn. Mæld gildi eru skráð í töflu 1 ásamt með vermi, heildarrennsli og ýmsum öðrum reiknuðum gildium. Á mynd 1 er vermið sýnt sem fall af tíma á mælingartímanum.



Mynd 1. Krafla KG-25, vermi

Tafla 1. Krafla KG-25, mæliniðurstöður og reiknuð afköst

Dags	kl	P0 (barg)	Qtot (kg/s)	H0 (kJ/kg)	Dc (mm)	Gufurennslí		Hápr. (kg/s)	Lágpr. (kg/s)	Sýni númer
						Pc (barg)	Vh (mm)			
90.10.23	10:35	11.50	40.1	1652	184	2.00	180	18.3	2.0	
90.10.23	10:58	14.10	52.2	1451	184	2.40	215	18.6	3.1	
90.10.23	11:35	15.50	51.0	1424	184	2.25	215	17.5	3.1	
90.10.23	13:10	16.00	51.9	1514	184	2.55	210	20.1	2.9	
90.10.23	15:43	16.20	50.9	1560	184	2.60	205	20.9	2.8	
90.10.24	07:53	16.50	47.4	1684	184	2.65	190	22.3	2.3	
90.10.24	09:50	17.50	49.4	1661	184	2.75	195	22.7	2.5	90-1001
90.10.24	14:25	17.00	47.8	1692	184	2.70	190	22.7	2.3	
90.10.24	20:10	17.00	45.4	1772	184	2.70	180	23.3	2.0	
90.10.25	08:15	17.00	44.3	1871	184	2.85	170	24.9	1.8	90-1002
90.10.25	16:00	17.00	44.7	1855	184	2.85	172	24.8	1.8	
90.10.25	20:30	17.00	44.0	1867	184	2.82	170	24.7	1.8	
90.10.26	08:15	17.00	42.9	1905	184	2.80	165	24.8	1.7	90-1003
90.10.26	21:00	17.00	42.9	1905	184	2.80	165	24.8	1.7	
90.10.27	08:45	16.80	41.5	1938	184	2.75	160	24.7	1.6	90-1004
90.10.27	14:00	16.80	40.8	1948	184	2.70	158	24.4	1.5	90-1005
90.10.27	21:50	16.80	41.0	1962	184	2.75	157	24.8	1.5	
90.10.28	09:15	16.80	40.9	1950	184	2.72	158	24.6	1.5	90-1006
90.10.28	16:30	16.70	41.5	1938	184	2.75	160	24.7	1.6	
90.10.29	00:35	16.60	42.3	1906	184	2.75	164	24.5	1.6	
90.10.29	14:00	16.50	43.8	1826	184	2.70	173	23.6	1.9	90-1007
90.10.29	21:00	18.70	44.4	1739	184	2.55	181	22.1	2.1	
90.10.30	08:20	18.60	45.8	1703	184	2.58	186	22.0	2.2	

Þegar þetta er skrifað hefur KG-25 blásið í 9 daga. Afköst holunnar eru vel yfir meðaltali Kröfluhola. Hámarksrennslí náðist eftir 25 klst blástur (52 kg/s), og hefur síðan dregið nokkuð úr, svo sem ávallt gerist er holi er hleypt í blástur. Stafar þetta af þrýstifalli í vatnsæðum við holuna. Þegar nýju jafnvægi er náð í þeim vatnsæðum sem hola dregur úr blöndu af vatni og gufu, má búast við jafnara rennslí. Af sömu ástæðum breytist vermi (enþalþía) vatns-gufu blöndunnar sem úr holunni kemur, og hefur enn sem komið er ekki náð jafnvægi.

Aflmæling sem gerð var laust eftir miðnætti þann 29/10 sýndi aukningu í vatnsrennslí frá hljóðdeyfi, en litlar sem engar breytingar mældust á toppþrýstingi né krítískum þrýstingi í stút. Er þróun hélt áfram var mælikarið athugað, og reyndist halla nokkuð, þannig að sú vatnshæð sem mæld var á mælistöðunum í karinu var um 5 mm of lág. Ekki er unnt að segja hvenær staða karsins breyttist, en líklegt verður að teljast að um raunverulega vatnsaukningu hafi verið að ræða þann 29/10. Þetta þýðir aukið heildarrennslí og lækkandi vermi, eins og fram kemur í töflu 2 og á myndum 1 og 2. Möguleiki var talinn vera á því að þessi breyting stafaði af auknum hlut vökva úr efri æðum í heildar-rennslínu, en slíkt gæti boðið heim aukinni útfellingahættu í borholunni. Til þess að minnka líkurnar á slíku var gripið til þess ráðs að hækka þrýsting í holunni með því að þrengja að rennslí með lokanum á láréttu lögninni. Var þetta gert um kl 16.00 þann 29/10. Þrátt fyrir þessa aðgerð hélt vatnsmagn áfram að aukast, og vermið að lækka.



### 3. SYNATÖKUR OG FYRSTU NIÐURSTÖÐUR

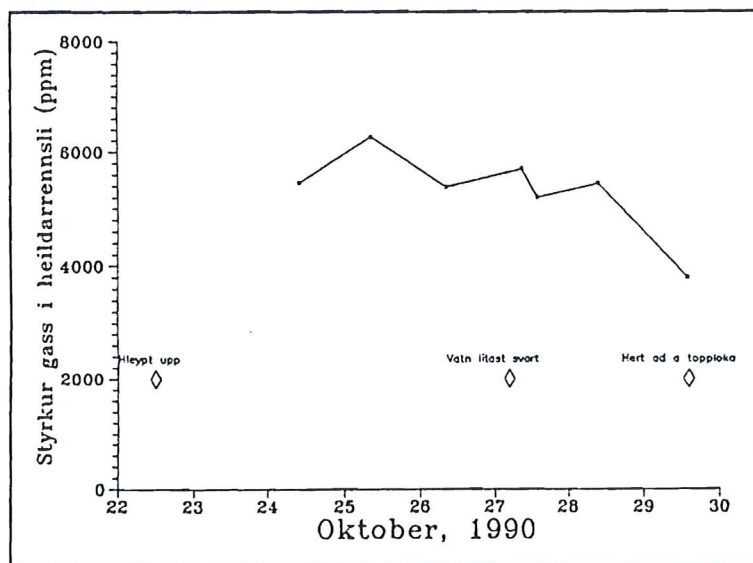
Alls voru tekin 7 sýni úr holunni á því tímabili sem hér er frá greint. Í töflu 2 er sýnt hvenær þau voru tekin, en aflmæling var ávallt framkvæmd samtímis. Tvö þessara sýna eru ætluð til heildargreiningar (nr 90-1001 og 90-1007), en í hinum sýnunum voru aðeins greindir fáeinir þættir. Fyrstu niðurstöður liggja nú fyrir, og eru þær birtar í töflu 2.

Tafla 2. Fyrstu niðurstöður efnagreininga

Gasinnihald í vatns-gufu-blöndunni virðist fljótlega nálgast nokkuð stöðugt gildi, sem liggur á bilinu 4600-5800 ppm (mynd 3). Þessi styrkur er ekki ólíkur því sem gerist í vatns-gufublöndu ýmissa eldri Kröfluhola sem nú eru nýttar til gufuframleiðslu, og um 10 sinnum minni en var í KG-10 á sínum tíma, en þessar tvær holar munu draga vatn af svipuðu svæði. Þetta er í samræmi við þá spá, að áhrif kvikugasa væru dvínandi. Reiknaður gas-styrkur í háþrýstigufu er öllu lægri en mældist í þeirri gufu sem virkjunin nýtir, en hann var um 1.2% síðast liðið vor.

Sýni Nr.	P <sub>S</sub> bary	CO <sub>2</sub> <- við P <sub>S</sub> -> ppm	H <sub>2</sub> S ppm	Gas heildarr ppm	Gas 7 bara %	SiO <sub>2</sub> v. P <sub>S</sub> ppm
901001	17.6	13000	992	5070	1.2	390
901002	17.5	11840	957	5800	1.1	371
901003	17.0	9720	836	4960	1.0	362
901004	16.8	9840	913	5220	1.0	346
901005	16.8	8680	944	4690	0.9	335
901006	16.8	9230	861	4980	0.9	344
901007	16.5	7120	970	3800	0.7	308

Gasstyrkur er áberandi minni í síðasta sýninu, nr. 1007, heldur en í þeim fyrri, og hleypir það styrkari stöðum undir þá hugmynd að meira af kaldara og gassnauðara vatn úr efri æðum nái nú að renna inn í holuna.



Mynd 2. Krafla KG-25, breytingar á heildar gasstyrk

Þær djúpu holar, sem boraðar hafa verið nærri KG-25 (þ.e. KG-4 og KG-10), hafa báðar verið mjög öflugar, en eyðilagst vegna mikilla áhrifa frá svokölluðum kviku-gösnum, en þau brutust inn í jarðhitakerfið samfara eldsumbrotunum í Leirhnúk. Borun KG-25 er meðal annars gerð til að sannreyna hvort kvikugösinn hafa minnkað svo mikið, að þetta gjöfuga svæði sé orðið nýtanlegt. Svo sem að ofan greinir benda fyrstu gasmælingar til að svo sé, en ekki er hægt að slá því föstu fyrir en eftir langtíma blástur.

Önnur afleiðing af innrás kvikugasa var myndun á járnsúlfíði, sem verður til þegar SO<sub>2</sub> úr kvikugösunum hvarfast við járn úr berginu. Þetta gerðist í nokkrum Kröfluhola (KJ-6, KJ-7, KG-10 og KJ-13) og litaði járnsúlfíðið vatnið svart. Oft virtist járnsúlfíðið tengjast háum gasstyrk og 'gas-púlsum' í holunum. Járn-súlfíðið reyndist leggja til hluta af þeim útfellingum sem fundust í holum KJ-7 og KG-10. Athuganir á þessum holum bentu ákveðið til að járn-sambandið væri upprunnið úr berginu, og tæringarprófanir við holutopp KJ-7 árið 1977 sýndu litia sem enga tæringu. Við

hreinsun KG-10 kom í ljós, að 80 m af leiðara voru horfnir að því er talið var vegna tæringar af völdum kvikumengaðs vökva.

Af ofangreindum sökum var járninnihaldi vökvans úr KG-25 gefinn sérstakur gaumur. Í upphafi var vatnið nánast tært, en aðfaranótt 27/10 litaðist vatnið kolsvart, og hefur verið svo síðan. Síþrýstimæling sýndi, að engar þrýstisveiflur voru samfara litarbreytingunni, og gasstyrkur breyttist ekki, fyrr en lækkun gasstyrks og vermis mældist tveimur dögum seinna. Mælingar á járnstyrk í ósúðu vatni eru sýndar í töflu. Þar kemur glögg fram hve breytingin er mikil, og að afgerandi mikið járn berst með vatninu. Að svo stöddu er ekki hægt að fullyrða hvort kvikugös eru enn virk í jarðhitageyminum, eða hvort járn súlfíðið sem skilar sér í KG-25 eru leifar frá umbrotatímunum. Uppleysanleiki járnss eykst verulega með hitastigi, og þarf því ekki endilega kvikuvirkni til að skýra háan járnstyrk í djúpvatninu.

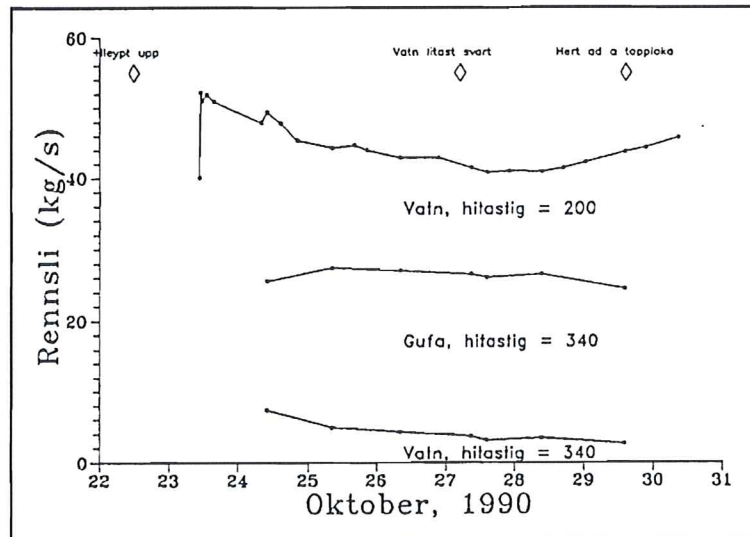
Tafla 3. Krafla KG-25, styrkur járnss

Sýni nr.	P <sub>S</sub> (barg)	Fe (ppm)
90-1001	17.5	<0.1
90-1005	16.8	4.90
90-1006	16.8	4.86
90-1007	16.5	15.00

#### 4. Samspil milli efri og neðri æða.

Ljóst er að minnsta kosti tvö æðakerfi leggja til vatn og gufu í KG-25, svo sem þekkt hefur í mörgum fleiri Kröfluhola. Kerfin tvö hafa ólíka eðliseiginleika, svo sem vermi og efnainnihald. Samspil æðanna hefur mikið að segja varðandi útfellingahættu í holunni. Erfitt er að meta innrennsli og vermi úr æðakerfunum, en með reikningum má gera sér nokkra grein fyrir eðli æðakerfanna tveggja. Þessir reikningar byggja á mældu vermi og kísilstyrk í heildarrennslinu sem og þekktu hitastigi í æðakerfunum.

Mynd 3 sýnir myndrænt niðurstöður slíkra reikninga, og er þar heildarstreyminu skift í þrennt, þ.e. 200°C heitt vatn úr efri æðunum annars vegar, og hins vegar af 340°C heitri blöndu af gufu og vatni úr neðri æðunum. Samkvæmt þessum reikningum er rennsli úr neðra kerfinu nokkuð stöðugt, um 24 kg/s, en vatnshlutinn í blöndunni smáminnkar með tíma (þ.e. vermi neðri æðanna hækkar). Þær breytingar sem mælt hafa á heildarrennsli og vermi stafa af breytilegu rennsli frá efra kerfinu, en hlutur þess er um 34% af heildarrennslinu. Þrýstingur í holunni í blæstri á móts við æðarnar á 1400 m dýpi reiknast milli 65 og 70 bar.



Mynd 3. Krafla KG-25, reiknað rennsli úr efra og neðra kerfi

## 5. Helstu niðurstöður og ráðleggingar um eftirlit á KG-25.

Eftir rúmlega viku blástur benda mælingar til að KG-25 sé öflug hola með lágum gasstyrk, og gæti að öllu óbreyttu verið góð búbot fyrir Kröfluvirkjun. Hins vegar stafar útfellingarhættu frá vatninu í efri æðunum og járnsúlfiðinu í neðri æðunum. Til þess að minnka rennslið úr efri æðunum er ráðlagt að halda toppþrýsting holunnar all háum, helst ekki lægri en 19 barg.

Varðandi svarta litinn á vatninu er fyrsta skrefið að ákvarða um hvaða efnasamband er að ræða, og hefur verið tekið sýni til efnagreiningar. Ef um er að ræða járnsúlfið er erfitt að koma í veg fyrir að það berist inn í holuna, og varla annað að gera en að fylgjast með afköstum holunnar reglulega.

Ráðgert er að taka annað heildarsýni af jarðhitavökva úr KG-25 eftir 2-3 vikur, og verður járnstyrkur þá greindur, en þangað til er ráðlagt að starfsmenn Kröfluvirkjunnar mæli og skrái heildargasstyrk við toppþrýsting jafnframt sem holan er aflmæld. Fylgjast þarf með halla karsins og leiðréttu aflestur á vatnshæð fyrir mismun á hæð á V-yfirfallinu og mæliþrepinu. Æskilegt væri að mæla sýrustig vatns, annað hvort frá mælikari eða í söfnunarskilju. Við gasstyrksákvörðun skal nota skal tímamælingu svo sem gert er í reglubundnu eftirliti í stöðinni. Æskilegt væri að gera daglegar mælingar svo fremi veður leyfi.