



ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

KRAFLA

Samsetning gass
í gufuaugum

Halldór Ármannsson
Trausti Hauksson

OS80027/JHD16

Reykjavík, ágúst 1980

KRAFLA

Samsetning gass í gufuaugum

**Halldór Ármannsson
Trausti Hauksson**

OS80027/JHD16

Reykjavík, ágúst 1980

ÁGRIP

Greint er frá rannsóknum á gasútstreymi úr gufuaugum á Kröflusvæði með tilliti til gufuöflunar í framtíðinni. Koldíoxíð, brennisteinsvetni, vetni, metan, súrefni, natrium, klóríð og radon voru ákvörðuð í 24 gufugúsum, sem safnað var á tímabilinu 31. ágúst til 19. september 1979.

Niðurstöður benda til þriggja uppstreymissvæða. Á tveimur þeirra, þ.e. Hveragils- og Leirhnúkssvæðum, hefur gufa blandast kvikugösum í töluverðum mæli, og er því illnýtanleg til vinnslu fyrir Kröfluvirkjun við núverandi aðstæður. Á þriðja svæðinu, í suðurhlíðum Kröflu, hefur gufa orðið fyrir miklu minni áhrifum frá kvikugasi og ætti að vera nýtanleg fyrir virkjunina. Gassamsetning á svæði, sem teygir sig í austur allt að Hrafninnuhrygg, bendir til vatnskerfis, sem er heitara en 240°C.

Ályktað er að í stórum dráttum sé rannsóknum á gufu úr gufuaugum á Kröflusvæðinu með staðsetningu nýrra borsvæða í huga lokið, en lagt er til að fylgst verði með völdum gufuaugum til könnunar á hugsanlegum breytingum.

EFNISYFIRLIT

	Bls.
ÁGRIP	3
EFNISYFIRLIT	5
TÖFLUSKRÁ	6
MYNDASKRÁ	6
1 INNGANGUR	7
2 AÐFERÐIR	9
2.1 Söfnun sýna	9
2.2 Efnagreiningar	9
2.3 Mat á gufustreymi	10
3 ERU VEGIR JARÐGUFU RANNSAKANLEGIR?	11
3.1 Almenn ferli	11
3.2 Aðalgastegundir	11
3.3 Natríum/klór hlutfall	13
3.4 Radon	14
3.5 Kvikasilfur	15
4 NIÐURSTÖÐUR MÆLINGA OG SAMANBURÐUR VIÐ ELDRI NIÐURSTÖÐUR	25
5 TÚLKUN GAGNA	33
5.1 Natríum/klór hlutfall	33
5.2 Aðalgastegundir	33
5.3 Radon	35
5.4 Kvikasilfur	35
6 ÁLYKTANIR	43
7 FREKARI RANNSÓKNIR	47
HEIMINLDASKRÁ	49

TÖFLUSKRÁ

	Bls.
3.1 Samsetning kvikugassýnis frá Surtsey 1965-02-21	16
3.2 Na/Cl atómhlutföll í vatni frá mismunandi umhverfi	17
4.1 Mæld gildi í rannsóknum á gasi í gufuaugum á Kröflusvæði 1978.08.31-09.19	27
4.2 Niðurstöður greininga gass úr gufuaugum á Kröflusvæði 1871-1970	28
4.3 Niðurstöður nokkurra gasgreininga frá Kröflusvæði 1976-1978	29
4.4 Breytingar á styrk koldíoxíðs, brennisteinsvetnis og vetnis í gufuaugum á Kröflusvæði frá 1978 til 1979	30
4.5 Krafla. Koldíoxíðhiti á G-5 og G-6, og mældur hiti og kísilhiti í borholu KG-8, 1977-1980	30
5.1 Koldíoxíðhiti í nokkrum gufuaugum í suðurhlíðum Kröflu og Hrafn- tinnuhrygg.....	36

MYNDASKRÁ

1.1 Yfirlitskort, gufuaugu og borholur á Kröflusvæði.....	8
3.1 Helstu ferli sem áhrif hafa á gufu frá upphafsástandi til yfirborðs.	18
3.2 Styrkur koldíoxíðs í jarðhitavatni í jafnvægi og í gufufasa þess við 100°C	19
3.3 Leysni rokgjarna efna í vatni á hitastigsbilinu 100-370°C	20
3.4 Radon í vatnsgufublöndu við 250°C. Viðmiðun er kyrrstæður vatns- fasi	21
3.5 Stöðugleikasvið kvikasilfursspesía við 25°C og 1 atm þrýsting	22
3.6 Jafnvægisstyrkur kvikasilfurs miðað við jöfnu (3.13)	23
4.1 Breyting á gasstyrk í gufu frá gufusvæði austan Vítis (G-12)	31
5.1 Na/Cl hlutfall í gufu gufuaugna	37
5.2 Koldíoxíðstyrkur (g/kg) gufu gufuaugna	38
5.3 Hlutfallið H ₂ /CO ₂ (x10 ⁶) í gufu gufuaugna	39
5.4 Radonstyrkur (dpm/g) í gufu gufuaugna	40
5.5 Kvikasilfur í gufu (Mg/kg) frá gufuaugum	41
6.1 Vegir jarðgufu skv. gassamsetningu gufu úr gufuaugum	44
6.2 Þversnið er sýnir rennslisleiðir á Kröflusvæðinu, byggt á gas- samsetningu gufu úr gufuaugum	45

1 INNGANGUR

Í skýrslu Orkustofnunar "Krafla, hitaástand og gastegundir í jarðhitakerfinu" frá 1978 eftir Gest Gíslason o.fl. er sagt frá frumniðurstöðum athugana á gasi úr gufuaugum á Kröflusvæði. Þar kemur fram, að styrk og samsetningu gass í gufu í Hveragili og í æðum í neðri hluta núverandi borsvæðis í Kröflu svipar mjög saman. Sú niðurstaða var túlkuð á þann veg, að í Hveragili væri yfirborðsútstreymi neðri hluta jarðhitakerfisins á þessu svæði.

Umrædd gufa virðist hafa orðið fyrir töluverðum kvikuáhrifum eftir umbrotin sem hófust 1975, og samanburður við fyrri athuganir (Christensen 1899, Thorkelsson 1910, Jarðboranir ríkisins 1951 og Kristján Sæmundsson o.fl. 1971) leiðir í ljós miklar breytingar á styrk og samsetningu. Eitt sýni, það austasta, frá suðurhlíðum Kröflu sýnir allt önnur einkenni. Þar er gas miklu minna, og marktæk breyting hefur ekki orðið á samsetningu frá því fyrr á tímum.

Nefnd kvikuáhrif hafa óæskileg áhrif á vinnslueiginleika gufu, og má rekja til þeirra tæringu og útfellingar. Væri mikil bót að því að finna við Kröflu vinnslusvæði, sem væru að mestu laus við slík áhrif. Af þessum ástæðum þótti fýsilegt að gera ítarlegri könnun á gasi í vökva frá gufuaugum á Kröflusvæðinu.

Við rannsóknir á efnasamsetningu borholuvökva frá Kröflu hefur styrkur kvikasilfurs og radons í gufunni verið mældur í tilraunaskyni og þótti því áhugavert að fá upplýsingar um þessi efni í yfirborðsgufu. Natríum og klóríð í gufunni voru mæld, natríumstyrkur til að fá hugmynd um vatnsblöndun en klóríðstyrkur til könnunar á kvikuáhrifum. Hlutfall natríum- og klóríðstyrks getur og veitt mikilvægar upplýsingar um jafnvægis- og hitaástand jarðhitakerfis.

Sýnum var safnað á 24 stöðum, og eru þeir sýndir á mynd 1.1. Jarðfræðilegar upplýsingar á þessari mynd og öðrum í skýrslunni eru frá Kristjáni Sæmundssyni.



ORKUSTOFNUN

KRAFLA.

Yfirlitskort - gufuaugu og borholur á Kröflusvæði

'80.08.21.

HA/EBF.

Krafla.

F-19873.

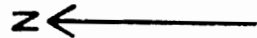
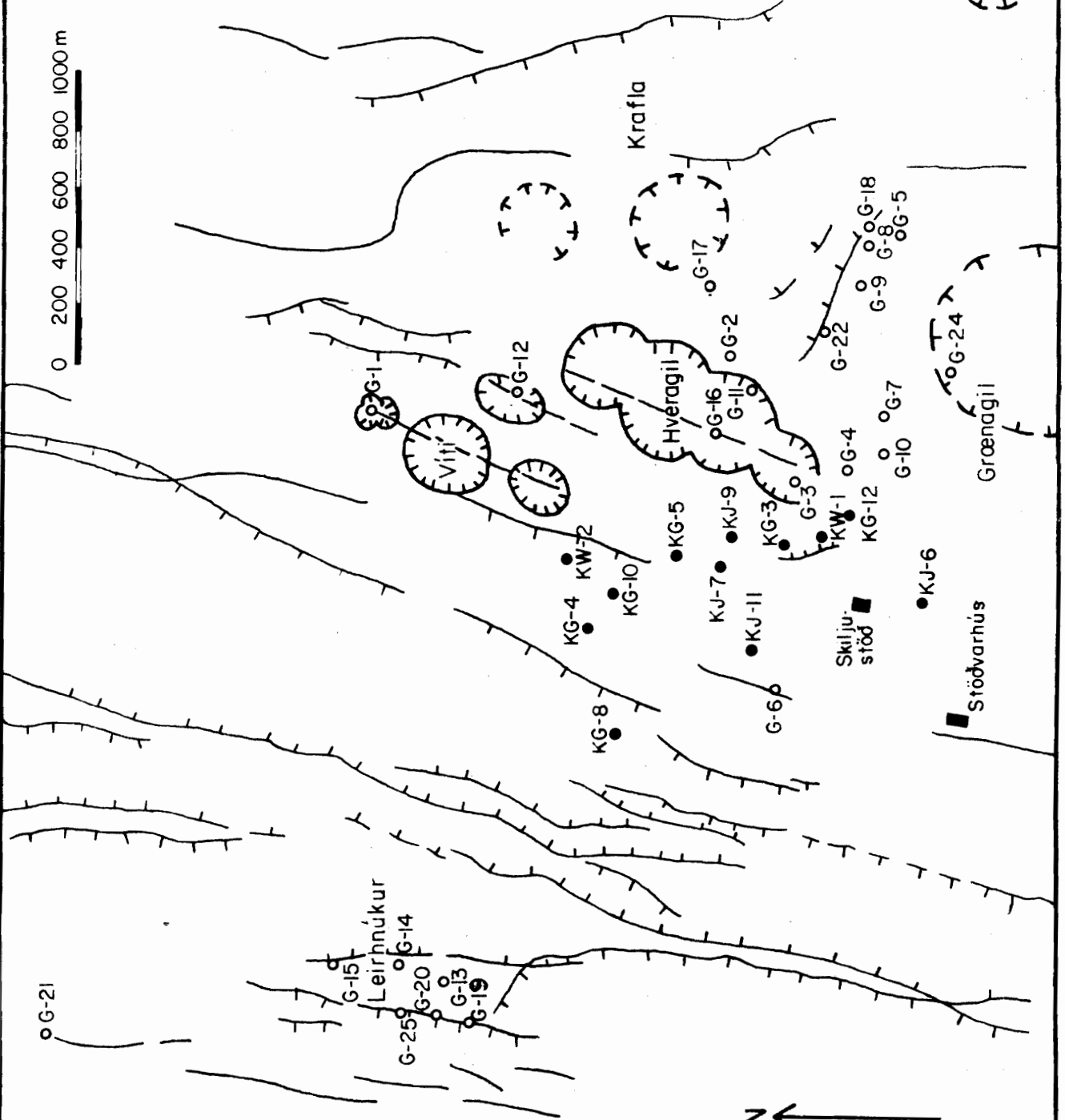
Mynd I.1.

SKÝRINGAR

- Misgengi
- Sprungu
- Sprengigigar
a. frá nútíma
- b. eldri
- Borhola
- Gufuauga

G-23 Hrafninnu-
hryggur

0 200 400 600 800 1000 m



2 AÐFERÐIR

2.1 Söfnun sýna

Gufu var safnað á þann hátt, að plasttrekt var sett yfir álitlegt gufu-útstreymi og leir settur að til þéttingar.

Sýnum til ákvörðunar á styrk hinna ýmsu efna var safnað á eftirfarandi hátt:

- a) Heildarstyrkur koldíoxíðs og brennisteinsvetnis: í lofttæmda flösku með vegnu magni natríumhydroxíðlausnar (40% W/W).
- b) Rúmmálshlutfall aðalgastegunda: á gastúbu fyllta saltlausn.
- c) Natríum og klóríð: í mæliglas með þekktu rúmmáli zinkasetatlausnar.
- d) Radon: í sérstaka lofttæmda flösku.
- e) Kvikasilfur: í mæliglas með þekktu rúmmáli saltpéturssúrrar kalíum-permanganatlausnar.

2.2 Efnagreiningar

Til ákvörðunar heildarstyrks koldíoxíðs var natríumhydroxíðlausnin vegin, pH þynntrar lausnar af henni stillt á 8,20, hún títruð með 0,1 N saltsýru að pH 3,80 og leiðrétt fyrir styrk brennisteinsvetnis, sem ákvarðaður var með títrun með kvikasilfursasetati með dithizon-indikator (Stefán Arnórsson 1969). Rúmmálshlutföll aðalgastegunda voru ákvörðuð með Tutwiler og Orsatáhöldum (Kolthoff & Sandell 1953). Natríum var ákvarðað með atómisogsaðferð (atomic absorption), og klóríð með óbeinni atómisogsaðferð, þar sem þekktu magni silfurjónar er bætt í lausnina eftir eyðingu súlfíðs, og styrkur silfurs eftir silfurklóríðútfellingu mældur. Styrkur radons var mældur með α -virkni, eftir hreinsun hugsanlegra truflanavalda úr sýninu (Egill Hauksson, persónulegar upplýsingar). Raunvísindastofnun Háskólans sá um þær mælingar. Við ákvörðun kvikasilfurs var brúnsteini og permanganati fyrst eytt með ascorbinsýru, kvikasilfur síðan afoxað með tinklóríði í frítt kvikasilfur, sem safnað er á gull, losað af því

með hitun, og ákvarðað með logalausum atómisogi (Jón Ólafsson 1974).

2.3 Mat á gufustreymi

Gufustreymi á sýnatökustað nr. G-4 var metið og kallað 1. Streymi á öðrum stöðum var metið og gefin tala í samræmi við þá viðmiðun. Flatarmál hvers uppstreymisstaðar var stikað.

3 ERU VEGIR JARÐGUFU RANNSAKANLEGIR?

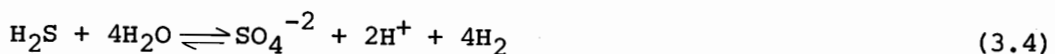
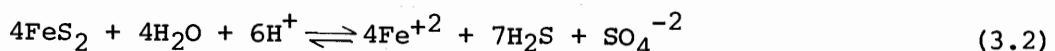
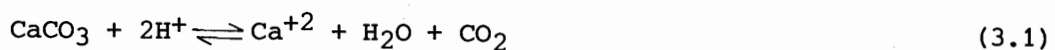
3.1 Almenn ferli

Hvað ræður endanlegri samsetningu sýnis, sem safnað er úr gufuauga? Svar við því fæst með því að gera sér grein fyrir upphafsástandi jarðhitavökvans og þeim ferlum, sem áhrif hafa á hann á leið til yfirborðs. Lítum til glöggvunar á mynd 3.1. Hver einfaldur rammi táknar ferli, en hver tvöfaldur þann efnismassa, sem snertir vökvann. Ferli 1 til 6 ráða upphafsástandi, en 7 til 10 breytingum, sem verða á leið til yfirborðs. Meta þarf afstæð áhrif þessara ferla á mismunandi stöðum, svo og á einstök sýni eða mæliniðurstöður.

Gert er ráð fyrir, að vatn í kerfinu komi úr gufuhvolfinu, en hafi komist djúpt í jörð og hitnað vegna snertingar við heitt berg. Löngu eftir komu þess þangað næst efna- og hitajafnvægi milli bergs og vatns. Efnasamsetningin ræðst þá af efnajafnvægisföstum við tiltekin hitastig. Úr andrúmslofti gufuhvolfsins geta köfnunarefni og argon borist langar leiðir, en súrefni eyðist fljótt við háan hita og snertingu við berg. Vatnið nær fljótt metnun með tilliti til ýmissa steinda, t.d. kalsíts, pýrítis, pýrrhótítis, magnetítis og epidóts.

3.2 Aðalgastegundir

Styrkur koldíoxíðs, brennisteinsvetnis og vetnis ræðst af hitastigi og ríkjandi steindajafnvægi. Þar er ferns konar efnajafnvægi helst talið koma við sögu:



Styrkur koldíoxíðs stjórnast af jafnvægi (3.1), en styrkur kalsíums og súrustig eru háð jónskiptahvörfum við steindir eins og t.d. montmorillonít. Leidd hafa verið út vensl milli hitasigs og hlutfallsins $\sqrt{\text{Ca}^{+2}/\text{H}^+}$ í

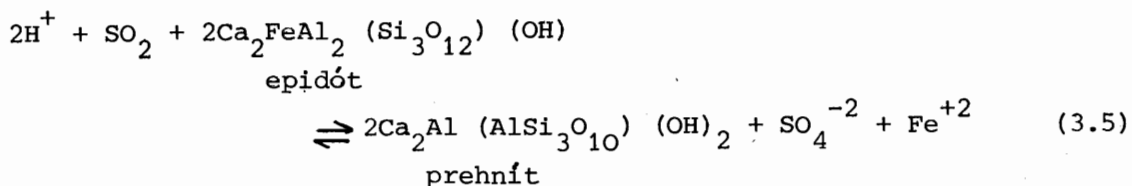
jarðhitavatni. Með notkun jafnvægisfasta hvarfs (3.1) (Helgeson 1969) hefur einnig verið sýnt fram á vensl milli hitastigs og jafnvægisstyrks koldíoxíðs (mynd 3.2) (Stefán Arnórsson 1978). Styrkur vetnis og brennisteinsvetnis er talinn ákvarðast af þrenns konar jafnvægi, þ.e. (3.2), (3.3) og (3.4).

Séu jafnvægisfastar Helgesons (1969) notaðir, reynast útkomur úr reikningum á H_2/H_2S hlutfalli, við þekkt hitastig, hærri en mæld gildi í jarðhitavatni. Til eru fleiri gögn um slíka "fasta" og ekki víst, að fastar Helgesons séu þeir bestu, sem völ er á (Einar Gunnlaugsson, persónulegar upplýsingar).

Vera má, að trúverðugri útkomur fengjust, ef stuðst væri við fasta Giggenbachs (1971). Því miður náðist ekki í þau gögn í tæka tíð, og frekari bið hefði frestað útkomu þessarar skýrslu óhæfilega.

Gasstyrkur eykst í öfugu hlutfalli við gufuhluta og getur meðalgasríkt vatn soðið af sér mjög gasríka gufu. Sé gufa ættuð úr vatns- og gufublöndu breytist gasstyrkur hennar minna við þrýsingslækkun og suðu. Við þrepasuðu kemur fram gassnuð gufa í síðari þrepum, einkum er lítið af köfnunarefni og vetni. Þá getur fyrri þrepa vatn náð nýju jafnvægi með tilliti til koldíoxíðs, brennisteinsvetnis og vetnis, en köfnunarefni verður alltaf lítið í seinni þrepa gufu. Ýmislegt verkar á gufu á leið hennar frá upphafsástandi til yfirborðs. Yfirborðslög eru oft köld og streymir inn í þau kalt yfirborðsvatn, sem er mettað af andrúmslofti og hefur að geyma rotnandi lífverur. Kólnun og þétting gufu hafa viðlíka áhrif og suða, þ.e. gasstyrkur eykst og hinar leysnari gastegundir vilja skolast úr. Blöndun við yfirborðsvatn hefur í för með sér frekari losun hinna leysnari gastegunda úr gufunni, og enn fremur oft aukningu styrks metans, köfnunarefnis og súrefnis. Súrefni getur valdið oxun brennisteinsvetnis og kvikasilfurs.

Við kvikuinnskot og þrýstingslækkun rjúka gastegundir úr kviku inn í vatnskerfi. Í töflu 3.1 er skráð efnasamsetning kvikugass, sem náðist úr gíg í Surtseyjargosinu (Sigvaldason & Elísson 1968). Slíkt kvikugas er mjög heitt og getur hækkað vatnshitastig í jarðhitakerfi verulega og jafnvel hleypt kerfinu í suðu. Íblöndun kvikugass raskar verulega ríkjandi jafnvægi. Súru gastegundirnar (HCl , SO_2 og CO_2) lækka sýrustig, en á móti kemur hækun þess vegna skolunar koldíoxíðs og brennisteinsvetnis úr bergi. Brennisteinsdíoxíð oxast í súlfat, þ.e.



og eykst þá styrkur tvígilds járnns í vatninu um leið. Vetni hvarfist síður við berg, en getur haft áhrif á kvikasilfurstyrk (sbr. kafla 3.5). Vatnsleysni vetnis er lítil og hverfur það því fljótt úr kerfinu. Fari djúpvatn að sjóða, rjúka gös í gufufasa. Leysni gastegunda sem fall af hitastigi er sýnd á mynd 3.3. Vetni, köfnunarefni og radon eru mjög rokgjörn, en brennisteinsvetni og kvikasilfur haldast gjarnan í lausn. Sé gert ráð fyrir að allt það gas, sem losnar, fari í gufufasa, stjórnast styrkur þess af upphaflegum styrk (G_0) og varmainnihaldi (H_0), ásamt varmainnihaldi vatns (H_w) og gufu (H_s) eftir suðu

$$G \approx \frac{G_0}{x} = \frac{H_s - H_w}{H_0 - H_w} \cdot G_0, \text{ þar sem } x = \text{gufuhluti} \quad (3.6)$$

3.3 Natríum/klór hlutfall

Í töflu 3.2 eru skráð natríum/klór hlutföll vatns úr ýmis konar umhverfi. Við gufun natríumklóríðvatnslausna fylgir örlítill hluti natríums og klóríðs gufunni, en hlutfallið milli þeirra raskast lítið. Af þessum sökum er tiltölulega lítil munur á natríum/klór hlutfalli sjávar og nýfallins regns. Í jarðvegi og bergi er yfirleitt ofgnótt natríums miðað við klór og hækkar því natríum/klór hlutfall vatns eftir snertingu við slíkt. Sú hækkun er hitastigsháð. Í háhitavatni hafa mælst mjög há gildi, en algengast er 10-15. Þar sem sjór streymir um berg eða ferskt vatn um sölt setlög eru sjávaráhrif alls ráðandi. Í Kröflu er vatn ekki salt og væri eðlilegt að búast við hlutfallinu 10-15, þar sem um háhita er að ræða. Slík gildi finnast og í vatni þeirra hola, sem draga inn vatn í jafnvægi við berg (Halldór Ármannsson o.fl. 1980).

Með kvikugasi, sem streymir inn í jarðhitakerfi, berst ofgnótt klórs (sem HCl, sbr. töflu 3.1) miðað við natríum. Lækkar þá natríum/klór hlutfall verulega eins og fram kemur í þurri gufu frá holu KG-12, sem talin er draga inn gas úr grennd við kviku (Halldór Ármannsson o.fl. 1980). Natríum/klór hlutfall í vökva þeirra hola sem draga inn vatns-gufublöndu, og orðið hafa fyrir kvikuáhrifum (Halldór Ármannsson o.fl.

1980), er á milli þessara öfga. Það má rekja til mótverkandi áhrifa efnaskipta við berg og klórinnspýtingar úr kviku. Sé litið til gufu-
augna, má telja víst, að uppruni gufu þeirra sé jarðhitavökvi í jafn-
vægi við berg, ef Na/Cl hlutfall er > 9, og að þá séu kvikuáhrif lítil.
Lægri gildi benda oft til kvikuáhrifa, en má í sumum tilvikum rekja til
áhrifa nýfallins regns.

3.4 Radon

Radonstyrkur í jarðhitavatni er háður radíumstyrk bergsins, snertifleti
og snertitíma. Útleiðsla Stokers & Krugers (1975) var höfð til hlið-
sjónar við eftirfarandi útleiðslu. Hugsum okkur bergsprungu að vídd b ,
sem vatn eða gufa flæðir um, og lag að þykkt s , sem skilar út í rennsli
öllu því radoni, sem myndast við klofnun radíums. Þá má sýna fram á, að
styrkur radons í rennsli (C_{Rn}), (dpm/kg) eftir vegalengd L sé:

$$C_{Rn} = \frac{U_f \cdot E \cdot 2 \cdot s}{\lambda_{Rn} b} \left(1 - e^{-\frac{L \lambda_{Rn}}{m U_f}} \right) \quad (3.7)$$

E : útgeislun radons úr bergi, dpm/m³

λ_{Rn} : tímafasti radonklofnunar, s⁻¹

m : rennsli, kg/m²s

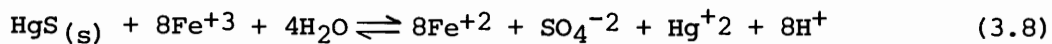
U_f : eðlisrúmmál (m³/kg)

Eðlisrúmmál er fyrst og fremst háð því, hvort um vökva eða gufu er að
ræða. Sé miðað við 250°C heitt, staðið vatn og breytilegt rennsli og
gufuhluta, og reiknuð aukning radonstyrks, fæst það samband, sem sýnt
er á mynd 3.4. Miðað við fasta vegalengd er radonstyrkur mestur í gufu,
sem streymir hægt um berg, eða u.þ.b. fertúgfaldur á við þann, sem
reikna má með í sama massastreymi vatnsfasa. Aukið massastreymi minnkar
styrk meira, ef gufuhluti er stór en ef um vatnsrennsli er að ræða.
Svipað gildir um rennslisvegalengd, nema hvað radonstrykur eykst með
lengd sprungu.

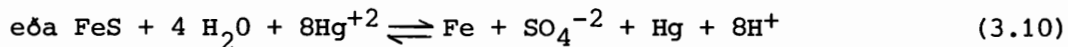
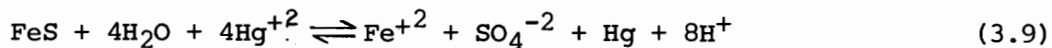
Við afgösun kviku kemst mikill fljótandi bergmassi í snertingu við
gasfasa. Radon-222, sem myndast stöðugt sem milliefni í ²³⁸U
keðjunni, leitar í gasfasa, og berst í miklu magni upp í jarðhitakerfið.
Helmingunartími radons er 3,8 dagar og áhrif slíkrar innspýtingar því
skammvinn.

3.5 Kvikasilfur

Kvikasilfur kemur fram í náttúrunni á þremur oxunarstigum, þ.e. Hg(II), Hg(I) og Hg(0). Stöðugleikasvið kvikasilfursspesía í vatnslausn við 25°C og 1 atm þrýsting eru sýnd á mynd 3.5 (McNerney and Buseck 1973), og kemur þar í ljós, að við náttúrulegar aðstæður eru það einungis Hg(II) (í HgS) og Hg(0), sem máli skipta, þó að Hg(I) komi oft fyrir sem millistig í efnahvörfum. Hg(II) er unnt að losa úr HgS með oxun súlfíðs fyrir tilverknað Fe(III) og nálægt yfirborði geta lífræn efni gegnt sama hlutverki.



Önnur súlfíð, t.d. FeS geta afoxað Hg(II) í Hg(0) eða Hg(I).



Einnig getur Fe(II) afoxað Hg(II) í Hg(I), þ.e.



Hafi Hg(I) myndast undirgengst það gjarnan sundrun, þ.e.



Þannig ber allt að sama brunni, þ.e. fari afoxun af stað myndast frítt kvikasilfur, sem ferðast til yfirborðs. Í jarðhitakerfum hafa gastegundirnar H₂ og H₂S áhrif vegna hvarfsins



Ekki er öll sagan sögð, þar sem kvikasilfur á til að ganga inn í anjónakomplex (karbónat, súlfíð, súlfat, klór). Bíkarbonatrikt vatn eykur leysni málmsúlfíða vegna sýringar. Hins vegar sogast slík komplex gjarnan á svifefni í grunnvatni einkum við pH 4-7. Slíkum ferlum er hraðað við rok koldíoxíðs úr lausn.

Á mynd 3.6 er sýndur jafnvægisstyrkur kvikasilfurs sem fall af hitastigi, ef gert er ráð fyrir, að hann ráðist af jafnvægi (3.13).

TAFLA 3.1

Samsetning kvikugassýnis frá Surtsey 1965-02-21 (Sigvaldason & Elísson 1968)

Efni	H ₂ O	HCl	SO ₂	CO ₂	H ₂	CO	O ₂	N ₂ +Ar
Massa %	25,05	2,54	29,59	39,41	1,48	1,76	0,00	0,16

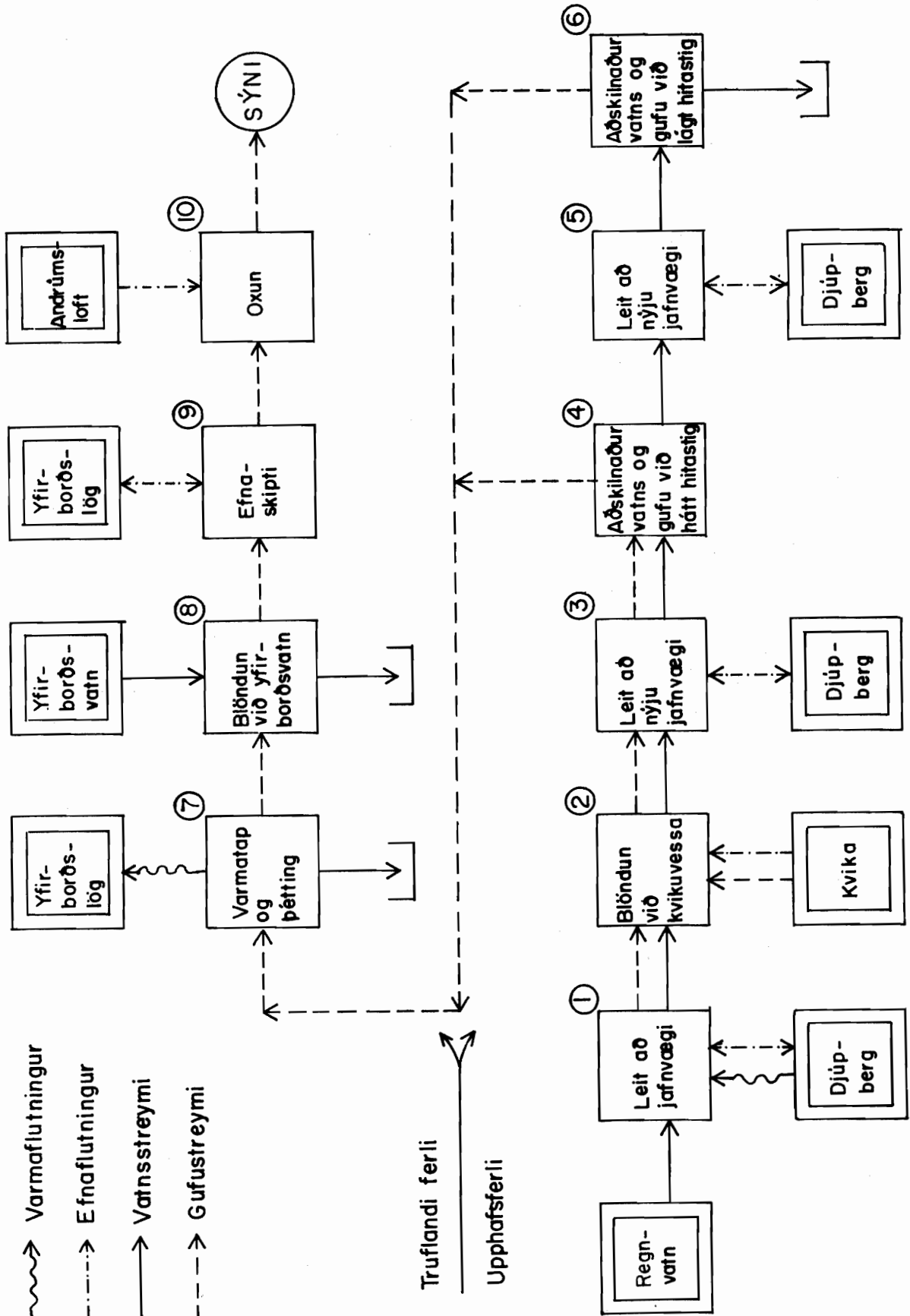
TAFLA 3.2

Na/Cl atómhlutföll í vatni frá mismunandi umhverfi

Uppruni vatns	Ráðandi breytiferli	Staðir	Na/Cl	Heimildir
Sjór		Heimshöf (meðaltal)	0,86	Culkin 1965
Regn		Ísland (meðaltal)	0,77	Bragi Árnason 1976
Regn	Efnaskipti við jarðveg og berg	Fljót heims (meðaltal)	1,3	Gibbs 1972
Jarðvatn		9 ár á Suðurlandi (meðaltal)	2,6	Halldór Ármannsson o.fl. 1973
Regn	Efnaskipti við jarðveg og berg	Reykjavík, Borgarfjörður (meðaltal) úr nokkrum hverum og borholum	5	Bragi Árnason 1976, Einar Gunnlaugsson 1980
Jarðvatn	Efnaskipti við berg (t° < 200°C)	Námafjall, Nesjavellir, Matsukawa	9-33	Kristján Samundsson o.fl. 1971, Jens Tómasson o.fl. 1974, Ellis & Mahon 1977
Jarðvatn	Efnaskipti við berg (t° > 200°C)	Reykjanes, Svartsengi, Vestmannaeyjar, Húsavík, Seltjarnarnes	0,86	Bragi Árnason 1976, Trausti Hauksson 1980 b
Jarðvatn	Skolun úr sjávarsetlögum	Krafla, holur KW-2, KG-8, KJ-9 KJ-11 (efri hluta æðar)	10-15	Trausti Hauksson 1980 a
Jarðvatn	Blöndun við kvikugas	Krafla, hola KG-12	0,002	---"---
Jarðvatn	Efnaskipti við berg, blöndun við kvikugas	Krafla, holu KW-1, KJ-6, KJ-7 KG-10, KJ-11 (neðri hluta æðar)	0,8-4,3	---"---

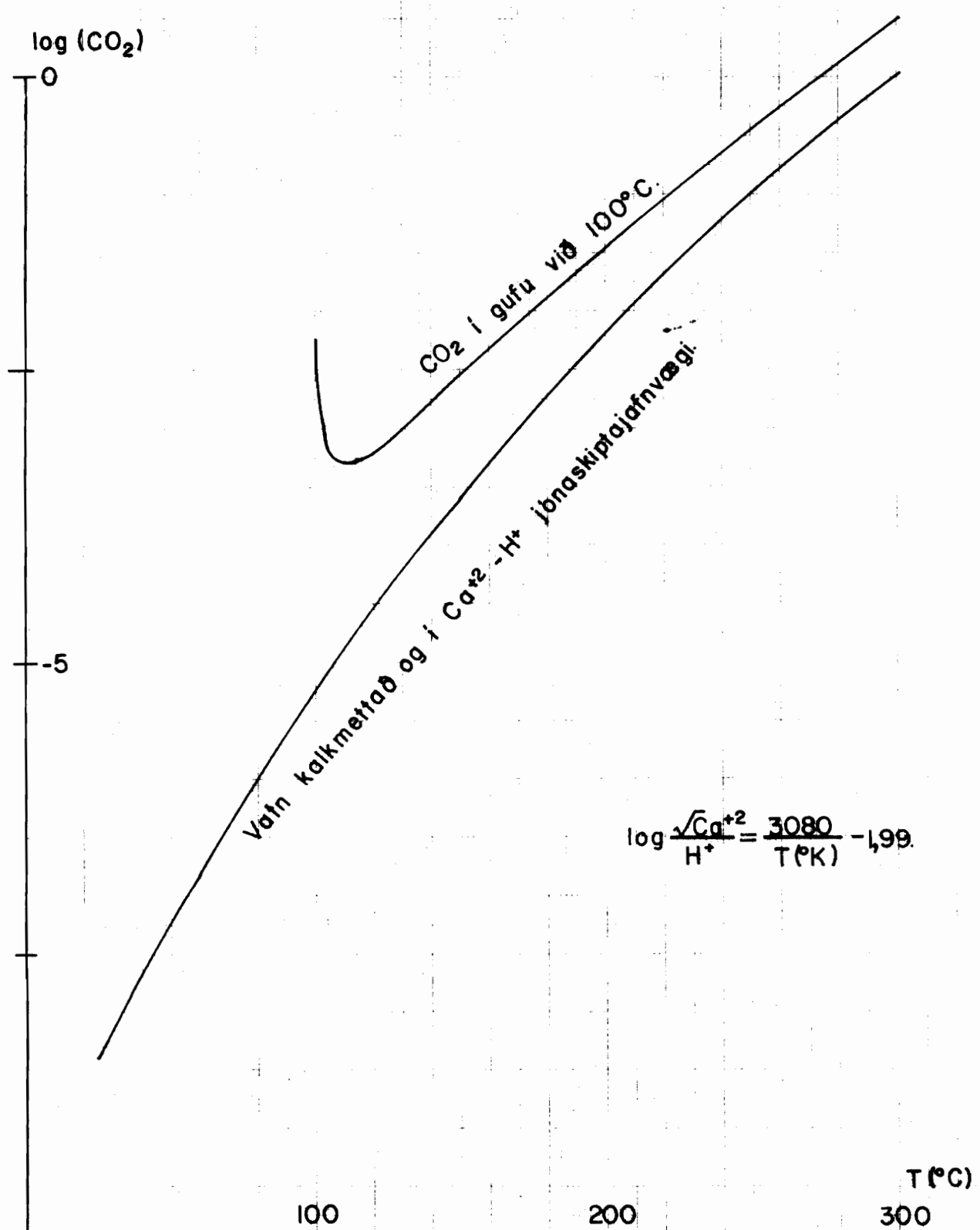


Mynd 3.1





Mynd 3.2





ORKUSTOFNUN

KRAFLA

Leysni rokjarnra efna í vatni
á hitastigsbilinu 100 - 370°C

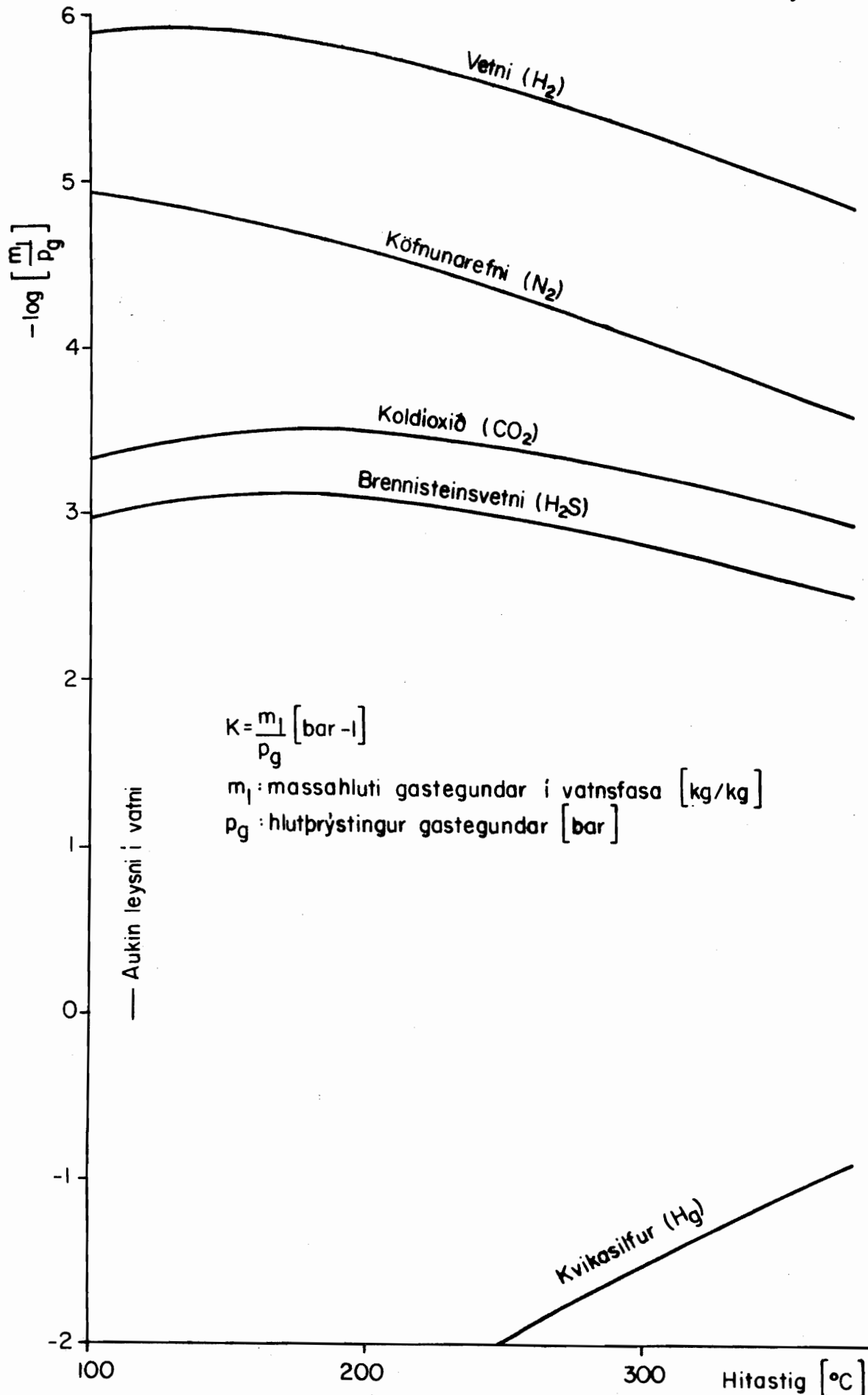
HÁ/EBF (endurteikn)

'78.II.03. ('80.09.01.)

Jarðefnafræði.

F-1782I

Mynd 3.3





ORKUSTOFNUN

KRAFLA

Radon í vatns-gufublöndu við 250°C.

Viðmiðun er kyrrstæður vatnsfasi

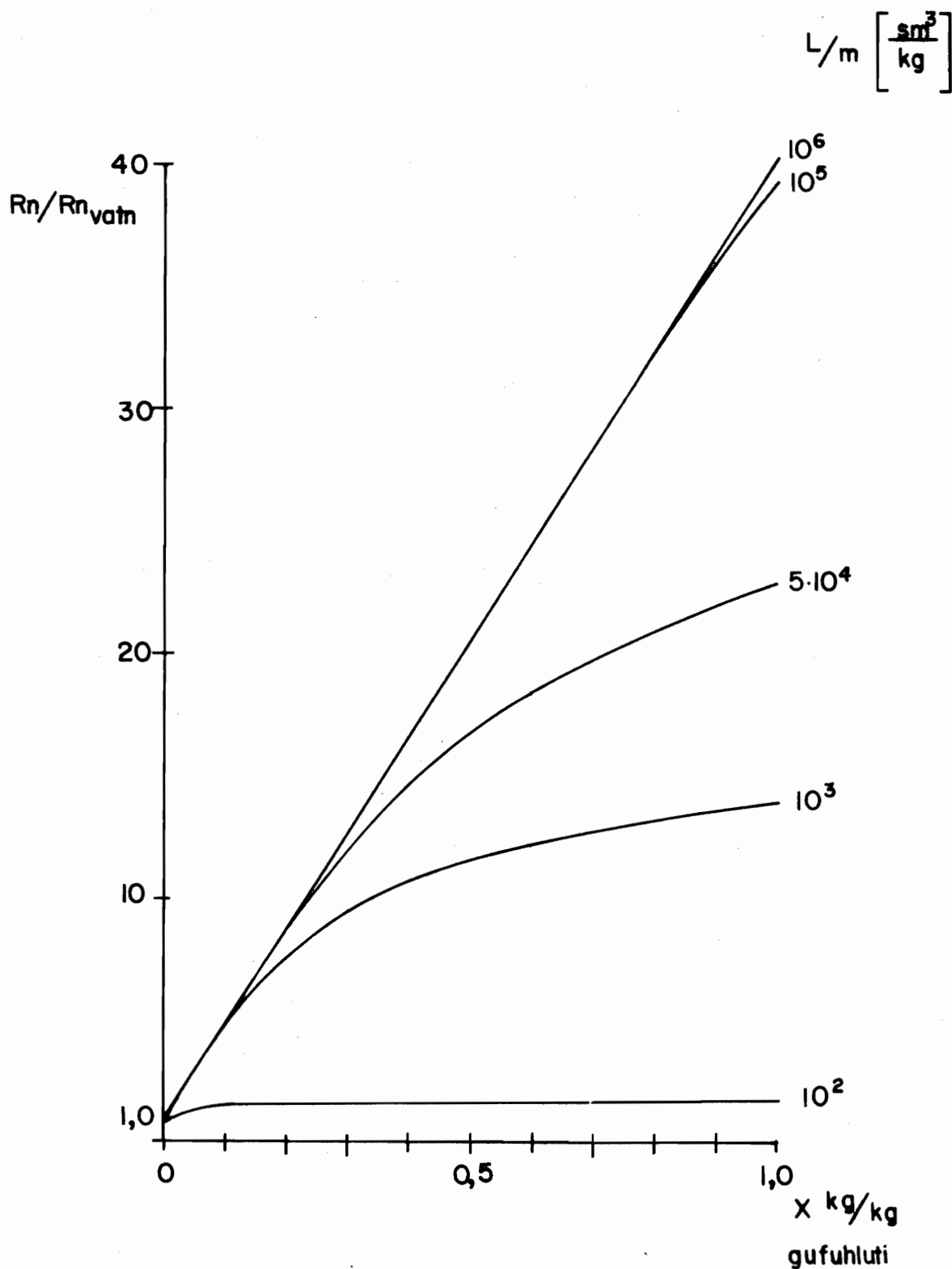
80.05.19.

TH./EBF.

J-Ým. Efnafr.

F-1965I.

Mynd 3.4





ORKUSTOFNUN

KRAFLA

Stöðugleikasvið kvikasilfursspesia

við 25°C og 1 atm þrýsting.

(Frá McNerney and Buseck 1973)

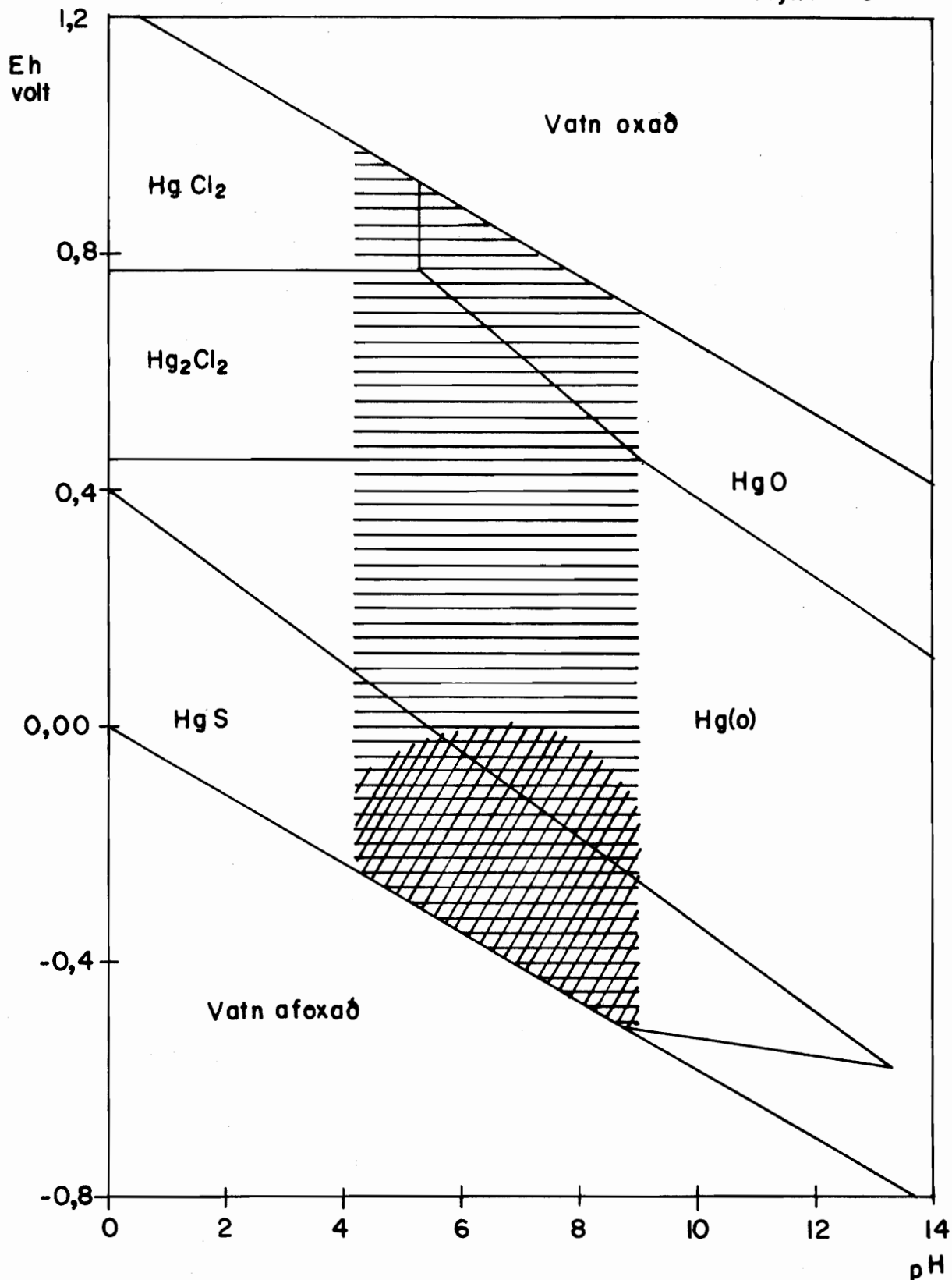
80.05.19.

HÁ/EBF

J-Ým. Efnifr.

F-19652.

Mynd 3.5



Einstrikaða svæðið táknar venjuleg mörk Eh og pH

i náttúrunni en tvístrikaða svæðið líkleg mörk i háhitavatni.

(Cl=36ppm og SQ=96ppm, sjá Hem 1970)



ORKUSTOFNUN

KRAFLA

Jafnvægisstyrkur kvikasilfurs
miðaður við jöfnu (3.13)

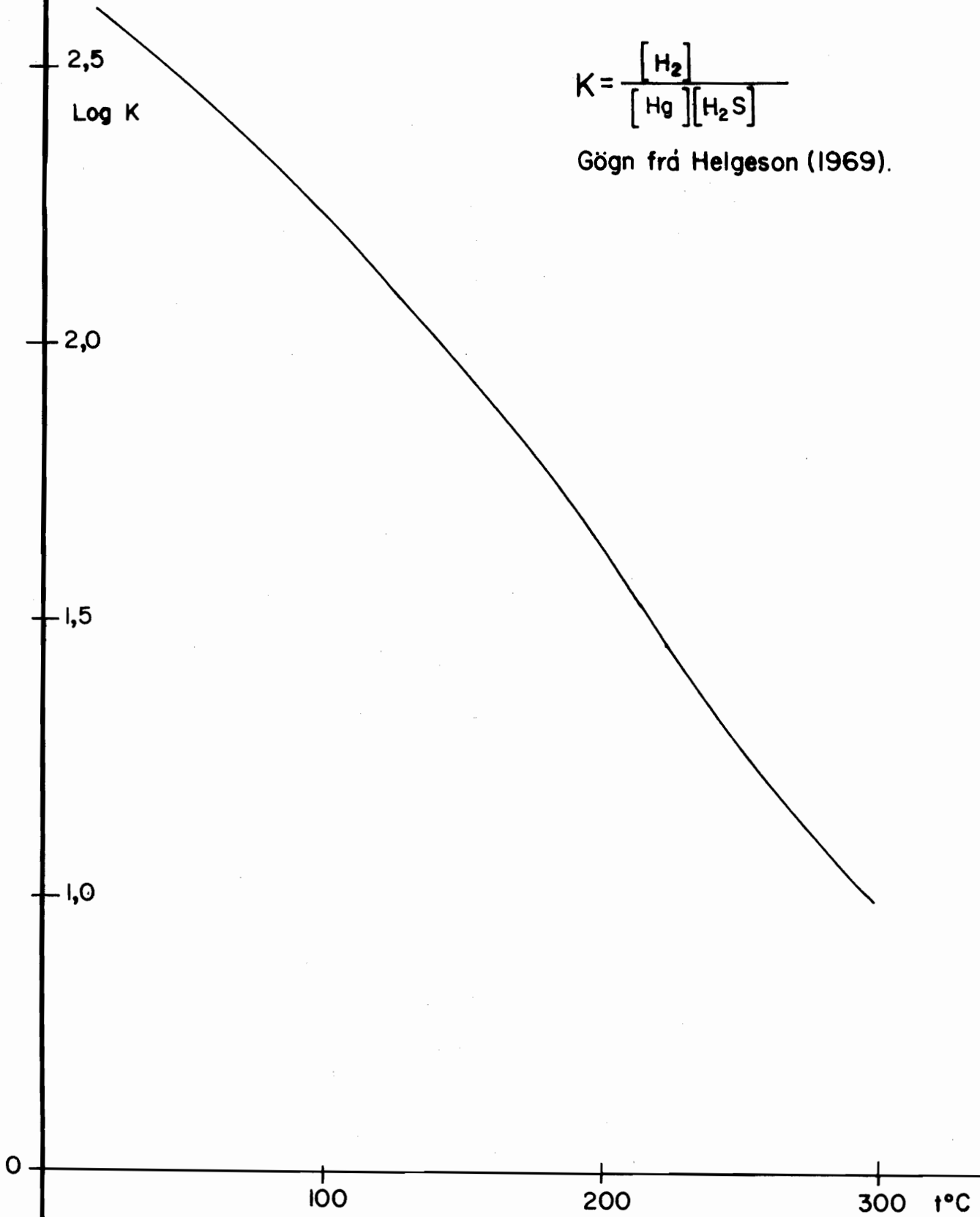
80.05.19.

TH/HÁ/EBF.

J-Ým. Jarðefnafr.

F-19653.

Mynd 3.6



4 NIÐURSTÖÐUR MÆLINGA OG SAMANBURÐUR VIÐ ELDRI NIÐURSTÖÐUR

Niðurstöður allra mælinga, sem gerðar voru í sambandi við þessa rannsókn, eru skráðar í töflu 4.1, niðurstöður ákvarðana frá árunum 1871-1970 í töflu 4.2 og frá árunum 1976-1978 í töflu 4.3. Staðsetning mælipunkta er sýnd á mynd 1.1. Litlar breytingar virðast hafa orðið á gassamsetningu gufu frá Kröflusvæðinu á tímabilinu 1871-1970. Eftir 1975 hefur orðið gríðarleg aukning gasstyrks í gufu, að langmestu leyti koldíoxíðaukning. Ekki er unnt að tímasetja slíka aukningu í gufu gufuaugna, en athuganir á holu KG-3 sýna, að þar varð samsvarandi aukning á gasstyrk í gufu milli janúar og mars 1976 (Gestur Gíslason og Stefán Arnórsson 1976). Má ætla, að aukning gasstyrks í gufu gufuaugna hafi orðið á svipuðum tíma, e.t.v. eitthvað seinna. Einna samfelldastar upplýsingar um heildarstyrk koldíoxíðs eru til um stað G-12, og eru breytingar þar sýndar á mynd 4.1.

Sé um að ræða innspýtingu kvikugass með svipaða samsetningu og skráð er í töflu 3.1, hefur það breyst mikið, áður en það nær yfirborði, því að ella hefði vetnis/koldíoxíðhlutfall síður en svo átt að lækka. Árið 1978 er þó samsetning gass frá stað G-5 lík þeirri, sem þekkt var á svæðinu fyrr á árum. Þá er og minni gasstyrkur í gufunni þar en í nærliggjandi gufuaugum. Í töflu 4.4 eru sýndar þær breytingar, sem orðið hafa milli árunna 1978 og 1979. Yfirleitt hefur orðið aukning gasstyrks í gufu, og þá á styrk koldíoxíðs og brennisteinsvetnis (1,9 og 1,7 föld að meðaltali), en vetnisstyrkur minnkaði nema á G-12 og G-5. Því virðist sem gas úr kviku streymi enn til yfirborðs.

Eini staðurinn, þar sem marktæk minnkun varð á gasstyrk í gufu, er G-4. Þessi staður sker sig úr öðrum fyrir umbrot (1975). Stefán Arnórsson (Kristján Sæmundsson o.fl. 1971) telur, að þar hafi verið til staðar annaðhvort niðurstreymandi, soðið vatn eða ofgnótt soðins vatns vegna dræms uppstreymis. Níels Óskarsson (1980) telur gufuauga þetta á mörkum þess svæðis, sem verður fyrir kvikuáhrifum, þar sem það tók tiltölulega hægt við sér, og gassamsetning þar hefur sveiflast aftur til fyrri samsetningar á köflum. Í þessu tilviki gæti verið um slíka tímabundna niðursveiflu að ræða. En vel má hugsa sér, að þessi staður tæki fyrst við sér, ef um minnkun gasstyrks í gufu á svæðinu yrði að ræða. Hin mikla minnkun vetnisstyrks á G-4 styður slíka túlkun. Sér-

staða G-5 var rædd hér að ofan. Gasaukning þar gæti stafað af því, að kvikugasi hefði tekist að brjóta sér leið þangað. Hins vegar gæti sú aukning, sem þar varð, allt eins stafað af hitnun, og bendir minnkun brennisteinsvetnis og aukning vetnis til þess að svo hafi verið. Hitnun gæti líka hafa valdið aukningu gasstyrks í gufu á G-6, en líkur eru til, að þar komi upp gufa úr efri hluta jarðhitakerfisins á núverandi borsvæði, en í honum hefur á sama tíma mælst hitastigshækkun (Benedikt Steingrímsson, persónulegar upplýsingar), sem einnig hefur komið fram í kísilhita.

Sé gert ráð fyrir jarðhitavatni í jafnvægi við berg, er unnt að meta hitastig frá koldíoxíðstyrk skv. mynd 3.2. Slíkt hitastig hefur verið metið fyrir G-5 og G-6 á hinum mismunandi sýnatökutímum, og er það skráð í töflu 4.5. Til samanburðar eru sýndar breytingar á mældu hitastigi og kísilhita úr holu KG-8, sem dregur inn vökva úr efri hluta jarðhitakerfisins.

Gassaga svæðisins er því sennilega á þá lund, að fram til ársloka 1975 ríkir jafnvægi í jarðhitakerfinu, og litlar sem engar breytingar verða á gassamsetningu. Við kvikuinnskotið í árslok 1975 verður þrýstingslækkun, og kvikugas streymir inn í jarðhitakerfið. Allt bendir til þess, að gas þetta breyttist mikið, áður en það nær yfirborði í gufuaugum, og að langur tími líði áður en gasstyrkur gufu þeirra nær hámarki. G-4 er væntanlega í jaðri þess svæðis, sem kvikugas streymir í, og líklega eru G-6 og G-5 (ásamt e.t.v G-8 og G-9) á svæðum, sem lítið kvikugas hefur komist að. Á þessum síðartöldu stöðum hafa síðari kvikuinnskot e.t.v. valdið nokkurri hitnun. Mest kvikugasstreymi virðist vera á svæðinu kringum Víti og í norðanverðu Hveragili.

Mæld gildi í rannsóknnum á gasi í gufuaugum á Kröflusvæði 1978.08.31-09.19

Staður nr.	Dags.	Rúmmálsamsetning gass							Styrkur í gufu					Flatarm. (A) m ²	Gufumagn, ef G4 = 1	Svæði
		CO ₂ %	H ₂ S %	H ₂ %	CH ₄ %	O ₂ %	Rest (N ₂ +Ar) %	CO ₂ mg/kg	H ₂ S mg/kg	Cl mg/kg	Na mg/kg	Hg µg/kg	Rn dpm/kg			
G-1	79-08-31	97,80	0,58	0,92	0,02	0,20	0,48	319200	2620	6,9	1,11	2,9	69186	200	0,6	Krafla Víti
G-12	79-09-03	97,66	1,13	0,73	0,02	0,23	0,23	217900	3840	3,8	7,98	10,4	114157	150	0,3	---
G-16	79-09-03	97,16	1,36	1,22	0,00	0,10	0,16	112400	1729	1,5	1,73	10	24188	20	2,0	Krafla Hveragil
G-2	79-09-13	98,41	0,85	0,10	0,02	0,22	0,40	84100	925	0	16,4		110936	150	0,3	---
G-17	79-09-06	99,28	0,23	0,02	0,00	0,15	0,32	118500	173	3,8	2,36	12,7	83257	100	0,2	---
G-3	79-09-15	93,42	1,47	0,03	0,00	0,95	4,13	81132	1590	3,2	4,30	4,4	251937	200	0,9	---
G-4	79-08-31	93,80	1,24	0,20	0,00	0,86	3,90	42980	685	2,4	2,06	4,3	106120	200	1,0	Krafla S-V hlíðar
G-10	79-09-17	98,82	0,79	0,15	0,00	0,16	0,08	120600	1224	48	78,6	6,1	115539	10	0,06	---
G-7	79-09-04	78,35	0,68	0,00	0,00	4,84	16,13	178800	2710	41	20,3	6,8	244820	150	0,5	---
G-24	79-09-18	71,32	0,00	0,00	0,00	6,11	22,57	597000	2,7	2,0	3,64		484911	1	0,0001	Krafla Grænagil
G-22	79-09-13	96,08	1,01	0,00	0,00	0,66	2,25	191000	3170	1,3	6,08	9,3	287616	20	0,1	Krafla S-A hlíðar
G-9	79-09-07	98,48	1,13	0,19	0,02	0,12	0,06	119600	1927	2,6	20,1	11,9	146214	100	0,3	---
G-8	79-09-18	93,81	2,94	0,67	0,25	0,52	1,81	38200	1390	12	12,8	9	131235	30	0,1	---
G-18	79-09-07	92,60	0,00	6,52	0,04	0,44	0,40	11380	0,0	2,4	2,03	11,5	70347	50	0,7	---
G-5	79-09-07	84,40	4,63	10,97	0,06	0,58	(-0,64)	9315	695	0,7	6,45		108380	50	0,2	---
G-23	79-09-14	95,13	1,24	2,12	0,08	0,36	1,07	79100	1057	2,0	13,8	5,0	194213	2	0,001	Hrafntinnuhryggur
G-6	79-08-31	92,60	0,62	0,39	0,18	1,20	5,01	9360	51	7,0	2,02	2,8	75294	10	0,01	Krafla Leirbotnar
G-19	79-09-12	98,55	0,45	0,69	0,05	0,21	0,05	179800	1000	6,2	15,8	4,3	113634	10	0,01	Leirhnúkur S
G-13	79-09-01	94,84	1,28	2,07	0,08	0,40	1,37	15600	274	0	1,33	2,9	56326	30	0,05	---
G-20	79-09-12	97,29	0,90	1,41	0,09	0,11	0,20	70400	848	0	0,84	1,9	102538	10	0,2	---
G-25	79-09-19	86,97	3,73	5,59	0,11	0,86	2,74	50800	2673	2,8	5,18	1,6	28829	180	2,5	---
G-14	79-09-01	97,86	1,40	0,27	0,02	0,24	0,21	41200	638	2,3	0,94	4,0	44686	250	2	---
G-15	79-09-01	96,50	0,41	0,28	0,04	0,31	2,46	78800	384	0,7	1,63	24,1	122336	2	0,005	---
G-21	79-09-12	40,11	0,34	0,48	0,31	12,32	46,48	37300	560	1,9	1,68	5,9	69787	10	0,3	Leirhn.N.gosst. '75

Niðurstöður greininga gass úr gufuaugum á Kröflusvæði 1871-1970

-28-

Dags.	Rúmmálsamsetning gass										lítrar gass kg gufu	Stað- setning	Heimild
	Nr. sýnis	CO ₂ %	H ₂ S %	H ₂ %	O ₂ %	CH ₄ %	N ₂ %	Rest %					
1871 / I	68,80	5,89	15,59	-	-	-	-	9,72	-	-	Sennil. suður- hlíðar Kröflu	Christensen 1889	
1871 / II	63,52	13,94	11,71	-	-	-	-	10,83	-	-	---	---	
1871 / III	71,99	14,55	9,30	-	-	-	-	4,16	-	-			
1906-06-22/1	80,9	12,6	3,5	-	-	-	-	3,0	-	-	Austan Vítis (G-12)	Thorkelsson 1910	
1906-06-22/2	73,5	13,9	9,3	-	-	-	-	3,3	-	-	---	---	
1950-07-24/1	54,3	17,5	25,4	-	0,3	-	-	2,5	6,90	-	Við Litla Víti (G-3)	Jaróboranir ríkisins 1951	
1950-07-24/2	66,9	15,8	15,2	-	-	-	-	2,1	6,00	-	Austan Vítis (G-12)	---	
1951-07-26/1	77,7	8,5	8,1	-	0,1	-	-	5,7	1,20	-	Leirhnúkur	---	
1970-08/00122	92,0	5,5	1,3	0,0	0,2	0,7	-	-	-	-	Krafla 1500 m suðvestar (G-4)	Kristján Sæmundss. o.fl. 1971	
1970-08-00123	65,5	8,4	23,4	0,0	0,2	3,2	-	-	-	-	Krafla Hveragil (G-16)	---	
1970-08/00124	63,9	3,2	26,9	0,0	0,1	6,2	-	-	-	-	Krafla, austan Vítis (G-12)	---	
1970-08/00126	76,9	10,0	11,5	0,0	0,3	1,4	-	-	-	-	Krafla, norðan Vítis (G-1)	---	
1970-08/00125	66,4	6,6	8,7	1,6	0,8	14,9	-	-	-	-	Leirhnúkur	---	

TAFLA 4.3

Niðurstöður nokkurra gasgreininga frá Kröflusvæði 1976-1978

Dags./nr. sýnis	Rúmmálssamsetning gass							Gasstyrkur gufu			Stað- setning	Heimild	
	CO ₂ %	H ₂ S %	H ₂ %	O ₂ %	CH ₄ %	N ₂ %	Rest %	mól H ₂ O/mólgas	CO ₂ mg/kg	H ₂ S mg/kg			Rn dpm/kg
1976-01-25	94,8	0,7	-	0,2	-	4,4	-					G-6	Niels Óskarsson 1978
1976-01-26	97,3	0,7	-	1,0	0,6	0,6	-					G-6	"
1976-09-16	92,9	0,5	0,6	0,8	-	5,2	-					G-6	"
1976-01-25	85,1	1,9	2,7	2,6	-	7,7	-					G-4	"
1976-05-13	95,8	2,0	0,2	1,4	-	0,6	-					G-4	"
1977-09-13	96,5	0,9	0,2	1,0	0,4	1,0	-	163,9	14400 ¹⁾	104 ¹⁾		G-4	"
1978-01-08	97,7	1,1	0,1	0,3	-	0,9	-					G-4	"
1976-07-17	94,0	1,5	1,3	1,9	-	1,3	-					G-12	"
1977-09-12	97,3	0,7	0,2	0,34	0,14	0,62	-	25,38	93600 ¹⁾	521 ¹⁾		G-12	"
1977-10-28	97,5	1,5	0,1	0,4	-	0,5	-	39,95	59900 ¹⁾	710 ¹⁾		G-12	"
1978-01-08	97,4	1,1	0,1	0,4	0,4	0,6	-					G-12	"
1976-07-16	97,0	0,5	0,7	0,7	-	1,1	-					G-12	"
1977-09-10	74,2	1,7	20,3	1,0	0,1	2,5	-	48,52	37400 ¹⁾	662 ¹⁾		G-12	Leirhn.millir G-14,0g G-25
1977-10-28	88,9	1,5	6,6	1,2	0,3	1,5	-	86,42	25100 ¹⁾	327 ¹⁾		G-12	"
1978-01-08	95,5	0,9	0,4	1,0	0,3	1,9	-					G-12	"
1977-06-16											18800	G-4	Egill Hauksson 1977
1977-06-17											47800	G-4	"
1977-08-16											73000	G-4	"
1977-06-16											26800	G-12	"
1977-08-16											21600	G-12	"
1978-08/1078	98,4	0,7	-	-	-	-	0,9		239600	1490		G-1	Gestur Gíslason o.fl. 1978
1978-08/1075	98,1	1,4	0,3	0,0	-	-	0,2		24100	397		G-2	"
1978-08/1072	97,5	1,6	-	0,3	-	-	0,6		50300	702		G-3	"
1978-07/1071	96,2	1,3	2,1	0,7	-	-	-0,3		58100	710		G-4	"
1978-07/1063	47,7	4,4	7,0	7,6	0,9	-	32,4		6742	1121		G-5	"
1977-12/1210	31,8	0,4	0,7	14,0	-	-	53,1		1820	54,1		G-6	"
1978-07/1068	98,5	1,1	0,3	-	-	-	0,1		84000	863		G-7	"
1978-07/1064	95,7	2,8	1,3	0,2	0,2	-	-0,2		39300	977		G-8	"
1978-07/1066	97,2	1,2	0,4	0,6	-	-	0,6		123200	1280		G-9	"
1978-07/1069	98,5	1,1	0,3	-	-	-	0,1		89000	804		G-10	"
1978-08/1074	95,8	2,8	-	0,3	-	-	0,9		64800	1160		G-11	"
1978-08/1077	97,1	1,8	0,4	0,4	-	-	0,3		125100	1920		G-12	"

1) Reiknað úr frá mól H₂O/mól gas miðað við 20°C

TAFLA 4.4

Breytingar á styrk koldíoxíðs, brennisteinsvetnis og vetnis í gufuaugum á Kröflusvæði frá 1978 til 1979

Staður	CO ₂		H ₂ S		H ₂	
	Hlutfall (1979/1978)	Mismunur (1979-1978) mg/kg	Hlutfall (1979/1978)	Mismunur (1979-1978) mg/kg	Hlutfall (1979/1978)	Mismunur (1979-1978) mg/kg
G-1	1,33	79650	1,76	1130		
G-2	3,49	60000	2,33	528	0,55	-3,15
G-3	1,61	30830	2,26	888		
G-4	0,74	-15120	0,96	-25	0,07	-53,4
G-5	1,38	2573	0,62	-426	1,22	10,0
G-6	5,14	7536	0,94	-3,1	1,00	0,0
G-7	2,13	94770	3,14	1847	0,00	-11,6
G-8	0,97	-1100	1,42	413	0,51	-11,9
G-9	0,97	-3630	1,51	650	0,46	-12,5
G-10	1,36	31600	1,52	416	0,68	-3,98
G-12	1,74	92770	2,00	1920	4,9	91,6

TAFLA 4.5

Koldíoxíðhiti á G-5 og G-6, og mældur hiti og kísilhiti í borholu KG-8, 1977-1980

Staður	Ár	Koldíoxíðhiti °C	Mældur hiti °C (vegið meðaltal 600-1200 m dýpi)	Kísilhiti
G-5	1978	230		
G-5	1979	240		
G-6	1977	215		
G-6	1979	240		
Borhola KG-8	1978		205	217
Borhola KG-8	1979/1980		220	228



ORKUSTOFNUN

KRAFLA

Breytingar á gasstyrk gufu
frá gufusvæði austan Vitis (G 12).

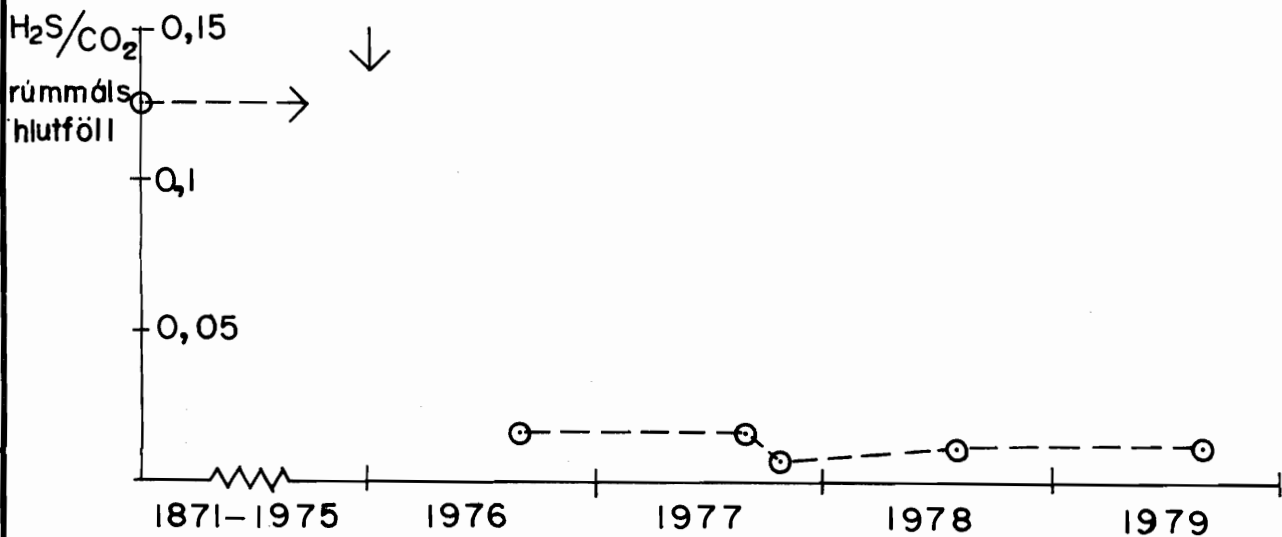
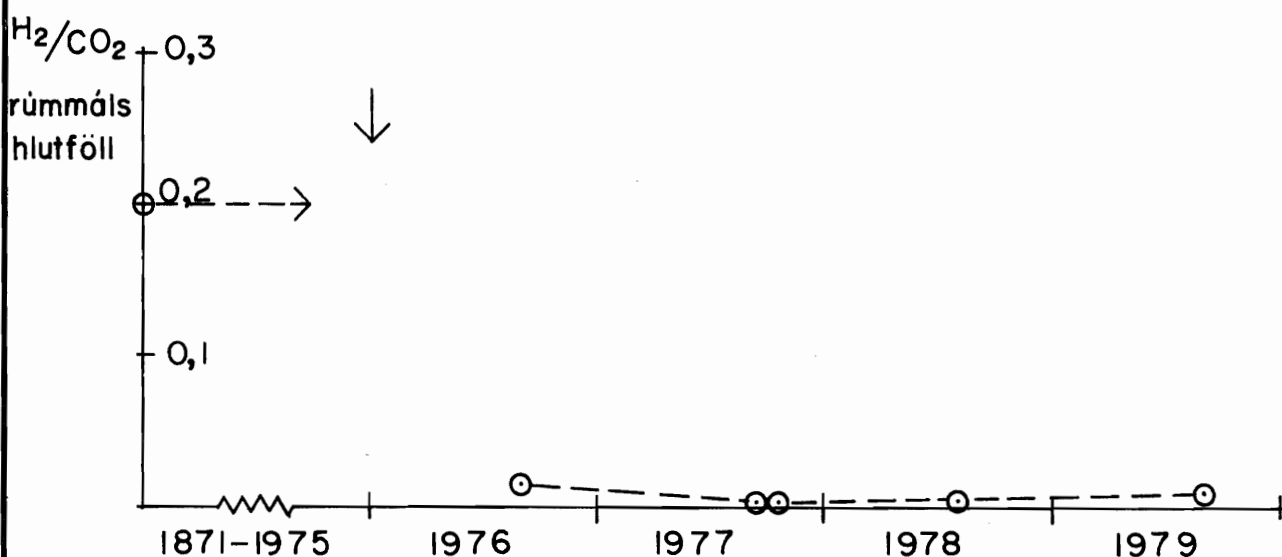
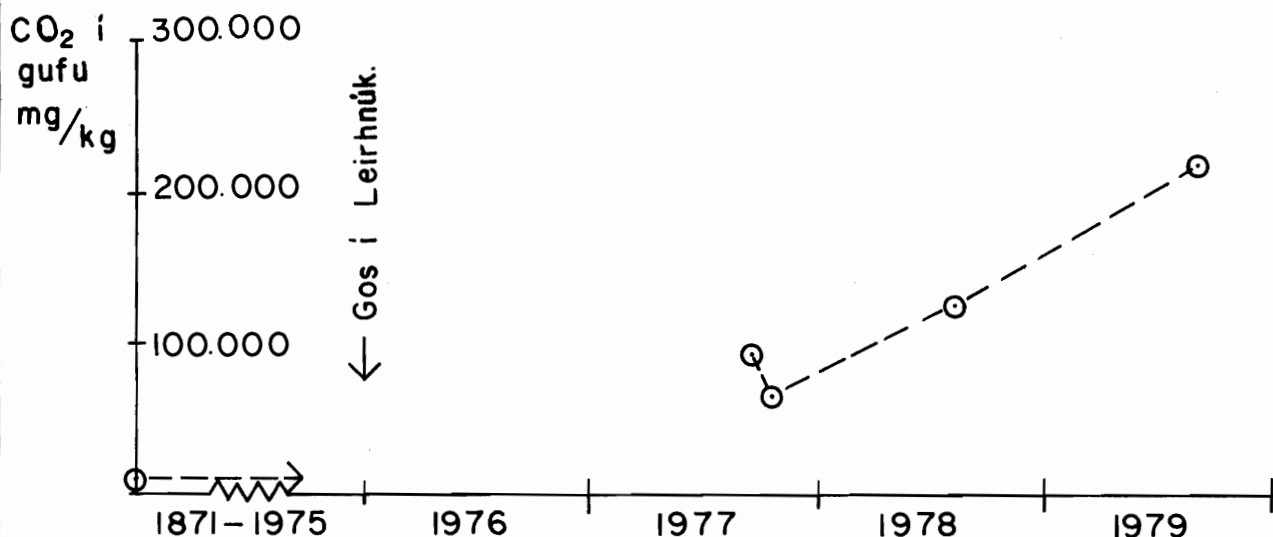
80.05.19.

TH/H'A/EBF

Krafla efnufr.

F-19654.

Mynd 4.1.



5 TÚLKUN GAGNA

5.1 Natríum/klór hlutfall

Í kafla 3.3 eru líkur leiddar að því, að jarðgufa sé komin úr jarðhita- vatni í jafnvægi við berg við hitastig hærra en 200°C án íblöndunar kviku- gass, ef natríum/klór hlutfall er hærra en níu. Lægri gildi útiloka ekki slíkan uppruna, hafi gufan komist í snertingu við ungt grunnvatn á leið sinni til yfirborðs. Það er helst til marks um snertingu við slíkt vatn, að brennisteinsvetni oxast þá gjarnan í súlfat, og er styrkur þess lítill. Sjáanleg merki um slíkt grunnvatn voru á stöðum G-17 og G-18, og styður lágur brennisteinsvetnisstyrkur þá athugun. Svipað gildir e.t.v um G-24, en skv. radonniðurstöðum hefur gufan streymt þar um mjög laus (lek) jarð- lög nálægt yfirborði og náð þar að blandast andrúmslofti, sem hefði getað valdið oxun brennisteinsvetnis.

Natríum/klór hlutfall á athugunarstöðunum er skráð á mynd 5.1. Skv. því er gufan á stöðum G-5, G-9, G-23 og G-2 ættuð frá vatni í jafnvægi við berg, og á G-22 er væntanlega um litla íblöndun kvikugass að ræða. Á öðrum stöðum ræður samspil skólunar úr bergi og innspýtingar gasa úr kviku natríum/klór hlutfalli, þó að um einhver grunnvatnsáhrif kunni að vera að ræða sums staðar. Hlutfallið er lægst í gufu frá G-1 og bendir það til mikilla kvikuáhrifa og ójafnvægis.

5.2 Aðalgastegundir

Eins og minnst er á í kafla 5.1 getur brennisteinsvetni oxast í súlfat, þar sem grunnvatnsáhrif eru mikil. Ekki er sama hætta á, að koldíoxíð eyðist úr gufunni á svipaðan hátt. Því þótti ráðlegra að nota hlutföll við koldíoxíð fremur en brennisteinsvetni til túlkunar á afgösun og rennsli. Þar sem koldíoxíð er alls staðar ráðandi gastegund er könnun á styrk þess látin nægja sem vísbending um heildargasstyrk.

Dreifing koldíoxíðstyrks er sýnd á mynd 5.2 og vetnis/koldíoxíð hlutfalls á mynd 5.3. Gasstyrkur gufu er í hámarki á tveimur stöðum, þ.e. norðan Vítis (G-1), og í Grænagili (G-24). Í Leirhnúk er gasstyrkur gufu mestur syðst (við Hrekk, G-19). Gasið úr G-24 virðist hafa orðið fyrir trufl- andi ferlum (sbr. mynd 3.1) svo sem grunnvatnsblöndun og oxun og losað

síð sig við brennisteinsvetni og vetni á leiðinni. Lítið gufustreymi og þétting gufu gætu og skýrt tiltölulega mikinn gasstyrk gufu þar.

G-1, G-12 og G-16 eru á þremur sprungum, sem liggja norður-suður gegnum gamla borsvæðið (sjá mynd 5.2). G-1 er í sprengigíg á yngstu sprungunni, sem liggur um Víti. Sprunga þessi er trúlega yngst og var síðast virk í Mývatnseldum 1724. G-12 er í sprengigíg rétt austan Vítis og G-16 í miðju Hveragili, sem er sprengigígaröð. Sprengigígarnir austan Vítis og í Hveragili eru myndaðir á nútíma, en í eldvirkni fyrir Mývatnselda. Hinn mikla gasstyrk gufu frá G-1 má skýra þannig, að yngsta sprungan sé dýpri og í beinni tengslum við kvikuþróna undir svæðinu en þær eldri og austari, þar sem gasstyrkur gufu er minni. Sprungurnar liggja eins og fyrr segir gegnum gamla borsvæðið og er hugsanlegt, að hinn mikli gasstyrkur í gufu úr holu KG-10 (Trausti Hauksson 1980a) sé til kominn vegna nálægðar hennar við Vítissprunguna.

Í 4. kafla er bent á, að gasinnspýting úr kviku hafi ekki náð til G-5 og svæðisins þar í kring, þar sem ekki hafa orðið miklar breytingar á gassamsetningu frá fyrri tíð. Þau natrium/klór hlutföll, sem sagt var frá í kafla 5.1, styðja þessa ályktun. Þetta er skýranlegt með því, að G-5 liggja á sprungu, er hafi verið virk fyrir nútíma og sé nú ekki í beinum tengslum við kvikuþróna. Grænegil er sprengigígur eldri en frá nútíma og liggur væntanlega á sömu sprungu. Gufuaugu G-22, G-9 og G-8 eru á misgengi, er liggur austur-vestur í suðurhlíðum Kröflu. Gasstyrkur í gufu frá þeim lækkar, er austar dregur og bendir til þess, að misgengið tengi virku sprungurnar við Hveragil og Grænegilssprunguna.

Vetnis-koldíoxíðhlutfallið segir okkur mikið um suðuástand jarðgufunnar eins og skýrt er í 3. kafla. Lækkandi hlutfall bendir til útstreymis frá uppstreymismiðju, og á mynd 5.3 má greina þrjá slíkar miðjur, þ.e. við Leirhnúk, í Hveragili og nálægt G-5 í suðausturhlíðum Kröflu (Grænegilssprungan). Hrafninnuhryggur liggur á ennþá eldri sprungu og er gufa frá G-23 trúlega komin frá vatni í jafnvægi við berg samkvæmt natrium/klór hlutfalli.

5.3 Radon

Þar sem radon er kemískt óvirkt er styrkur þess háður ýmsum eðliseiginleikum jarðhitavökvans og umhverfis hans, svo sem rennslisvegalengd og krafti, lekt bergs og fasaástandi rennslis, en þetta er skýrt í kafla 3.4. Dreifing radons er sýnd á mynd 5.4. Lægstur styrkur mælist á G-16, G-1 og G-5 en hæstur á G-24, G-7 og G-22. Á mynd 3.4 er sýnt samband gufuhluta, rennsliskrafts og vegalengdar annars vegar og radonstyrks hins vegar. Með þessa mynd og niðurstöður úr kafla 5.1 og 5.2 í huga, teljum við, að lágur radonstyrkur í Hveragili og nágrenni stafi af kröftugu rennslis og háu gufuhlutfalli í uppstreymissprungunum, lágur styrkur í gufu frá G-5 orsakist af lágu gufuhlutfalli rennslis í sprungu þeirri, er fæðir gufusvæðið, og hár styrkur í G-24 og nágrenni sé vegna mjög kraftlítills rennslis þar undir. Sömuleiðis bendir hár styrkur á G-23 við Hrafninnuhrygg til kraftlítills streymis.

Í kafla 3.4 eru líkur leiddar að því, að fljótandi kvika geti gefið af sér radon í miklu magni. Áður í þessum kafla var staðhæft, að mest kvikuáhrif séu merkjanleg í gufu frá Hveragili og nágrenni Vítis. Þar mælist þó lítið radon, sem bendir til þess, að áhrif innspýtingar þess hafi fjarað út vegna klöfnunar, en helmingunartími radons er 3,8 dagar.

5.4 Kvikasilfur

Við suðu verður kvikasilfur fremur eftir í vatnsfasa en aðrar þær tegundir, er hér hafa verið ræddar (sjá mynd 3.3). Því má búast við tiltölulega miklum kvikasilfurstyrk, þar sem jafnvægi ríkir milli vatns og bergs en litlum í soðinni gufu. Kvikúáhrif geta þó raskað slíkri mynd. Dreifing kvikasilfurstyrks er sýnd á mynd 5.5, og reynist hann tiltölulega mikill þar, sem há natrium/klór hlutföll fengust, og vatn er álitid vera í jafnvægi við berg. Gerð var tilraun til margfaldrar línulegrar nálgunar í þrepum (stepwise multiple linear regression) til að útiloka aðra þætti, er hefðu áhrif á kvikasilfurstyrk. Ekki reyndis marktæk fylgni milli kvikasilfurstyrks og styrks annarra efna, sem könnuð voru.

Þó að niðurstöður séu þannig óljósar styðja þær ofangreinda hugmynd um mikinn kvikasilfurstyrk, þar sem vatn er í jafnvægi við berg, því að hæstu leifagildi (residuals) utan G-15, fengust fyrir gufu frá G-8 og G-18.

TAFLA 5.1

Koldíoxíðhiti í nokkrum gufuaugum í suðurhlíðum Kröflu og Hrafninnuhrygg

Staður	G-5	G-18	G-8	G-9	G-22	G-2	G-23
Koldíoxíðhiti °C	240	250	290	> 300	> 300	> 300	> 300



ORKUSTOFNUN

KRAFLA

Na/Cl hlutfall í gufu gufuaugna á Kröflusvæði

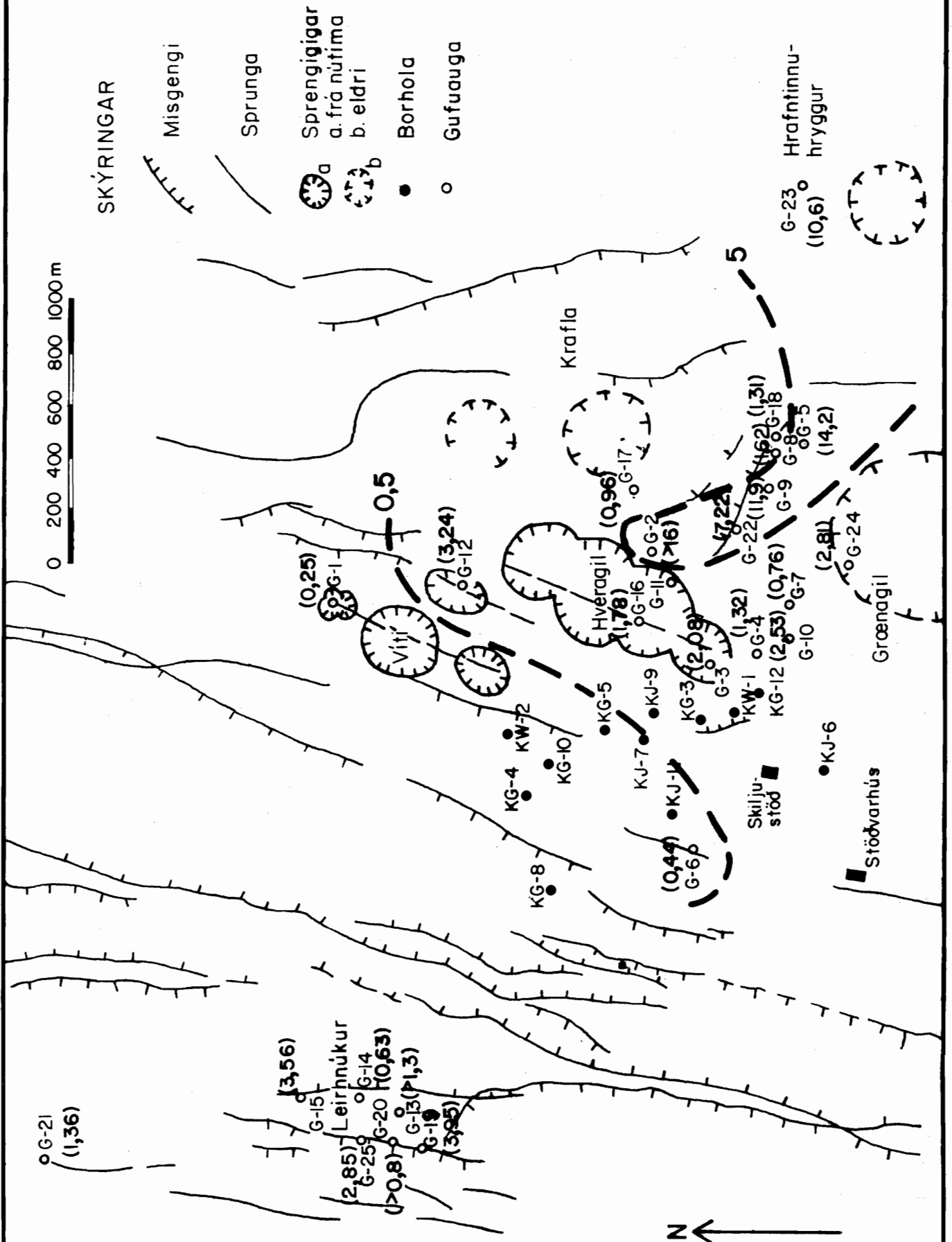
80.05.19.

TH/HA/EBF

Krafla. Efnatr.

F-19655

Mynd 5.1





ORKUSTOFNUN

KRAFLA

Koldíoxíðstyrkur (g/kg) gufu gufuaugna

Kröflusvoedis

80-05-19

TH,HA./Sy.J.

Efnafr. Krafla

F19656

Mynd 5.2

SKÝRINGAR

Misgengi

Sprungu

Sprengigígur
a. frá nútíma
b. eldri

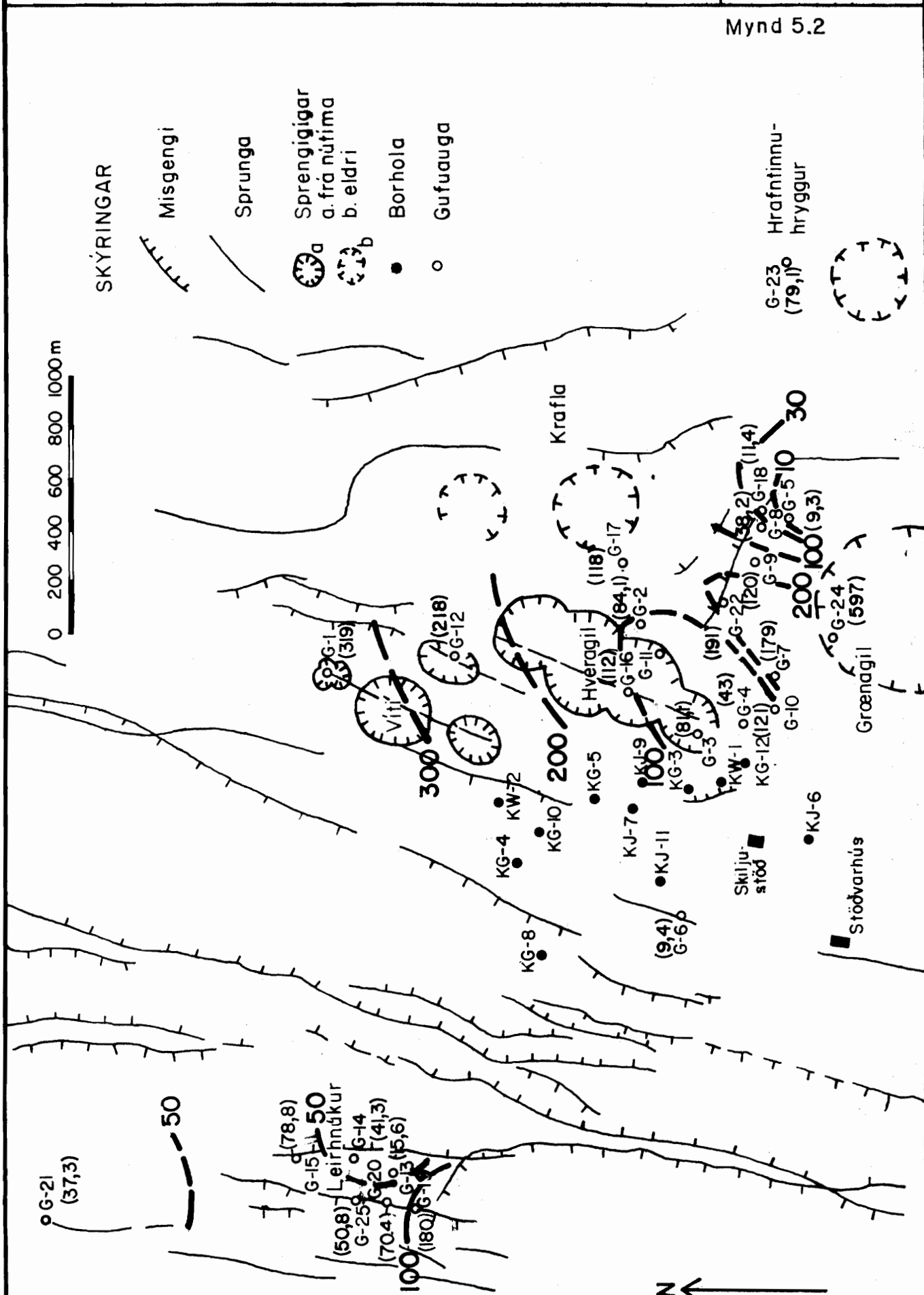
Borhola

Gufuauga

Hrafninnu-
hryggur

G-23
(79,1)

0 200 400 600 800 1000 m





ORKUSTOFNUN

KRAFLA

Hlutfallið H_2/CO_2 ($\times 10^6$) í gufu
gufuaugna Kröflusvæðis

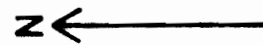
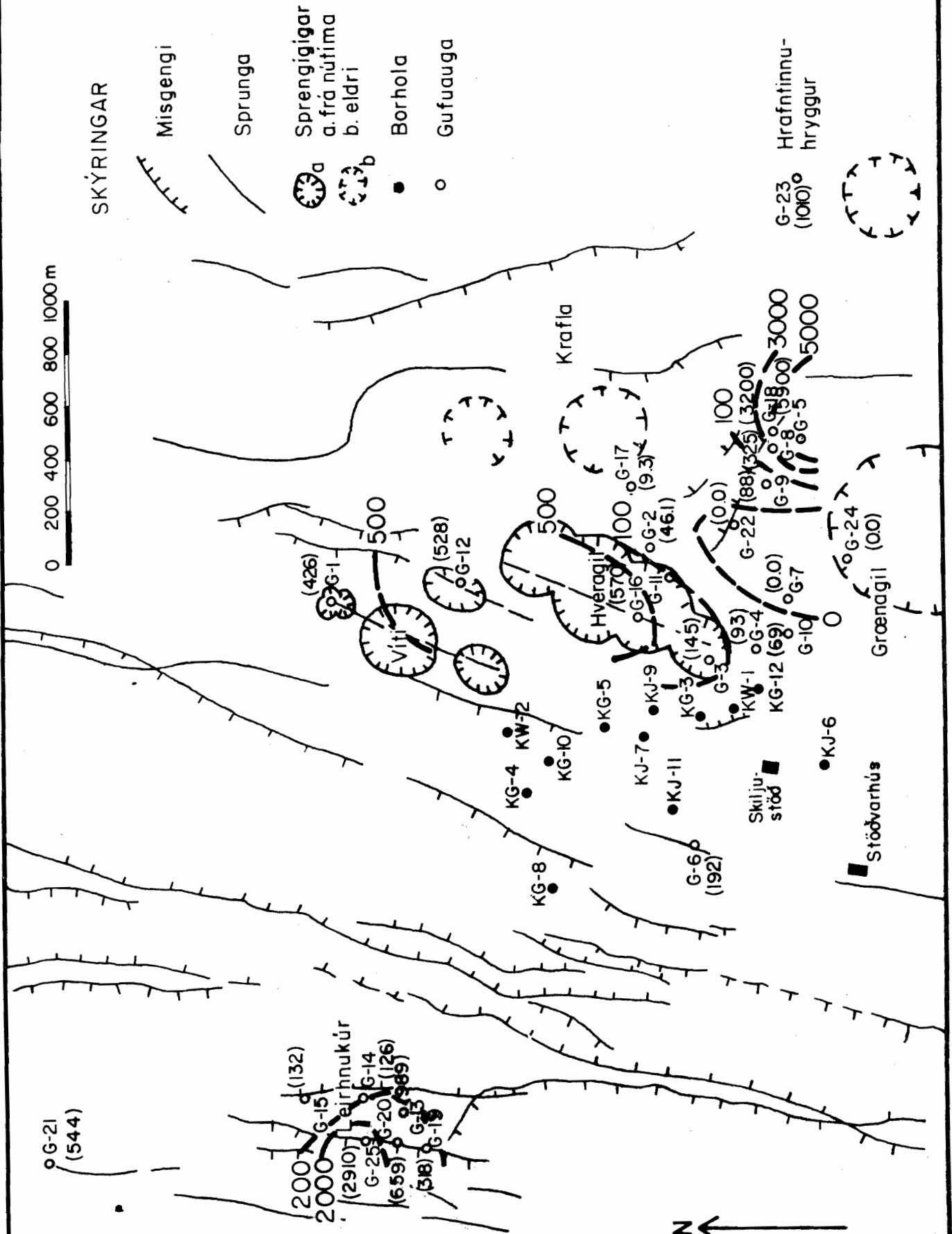
80.05.19

TH-HÁ / A'A

Efnafr.

F19657

Mynd 5.3





ORKUSTOFNUN
KRAFLA
 Radonstyrkur (dpm/g) í gufu gufuaugna
 Kröflusvæðis

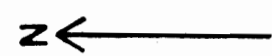
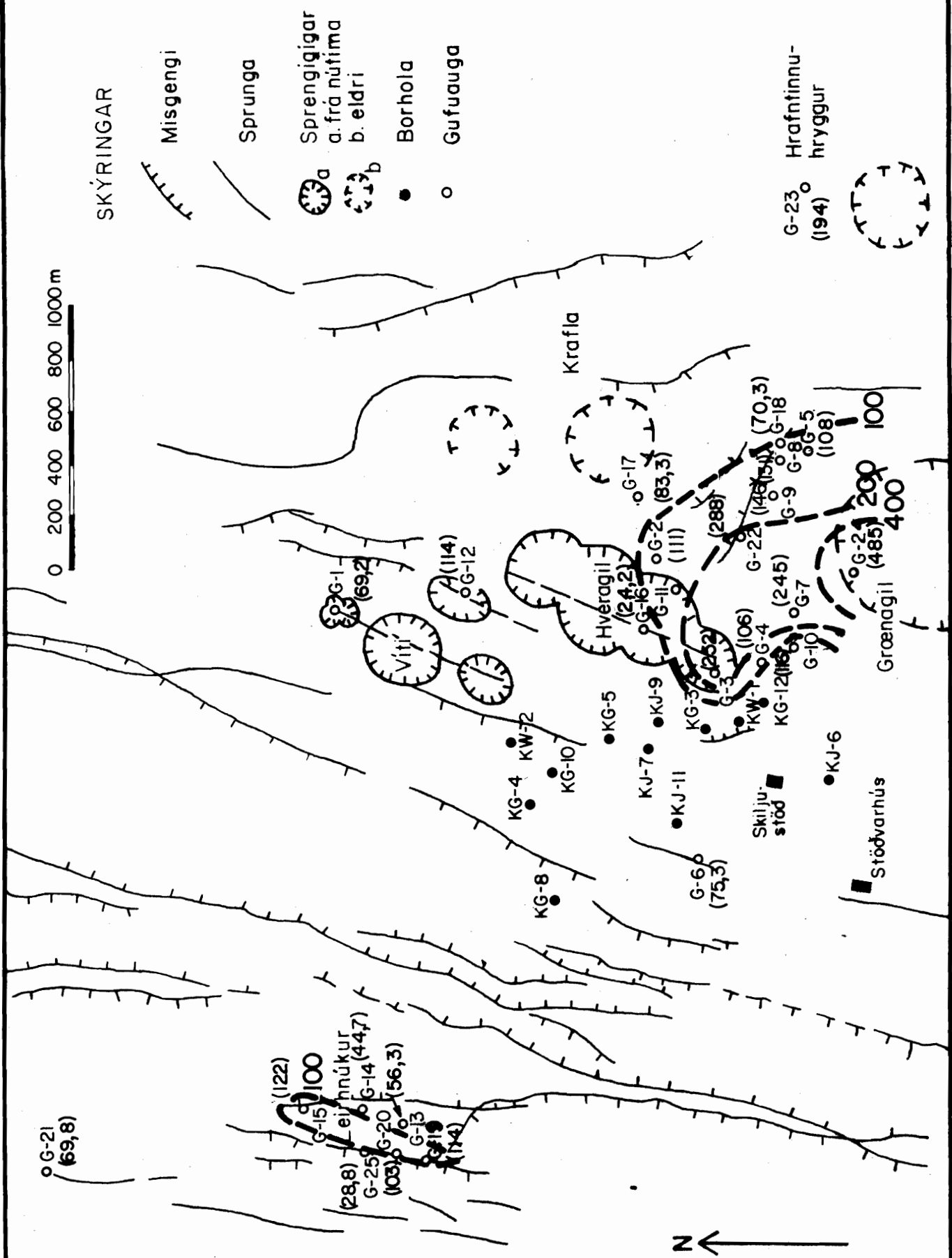
80-05-19

TH, HA./Sy.J

Efnafr. Krafla

F 19658

Mynd 5,4





ORKUSTOFNUN

KRAFLA

Kvikasilfurstyrkur í gufu ($\mu\text{g}/\text{kg}$)
frá gufuaugum Kröflusvæðis.

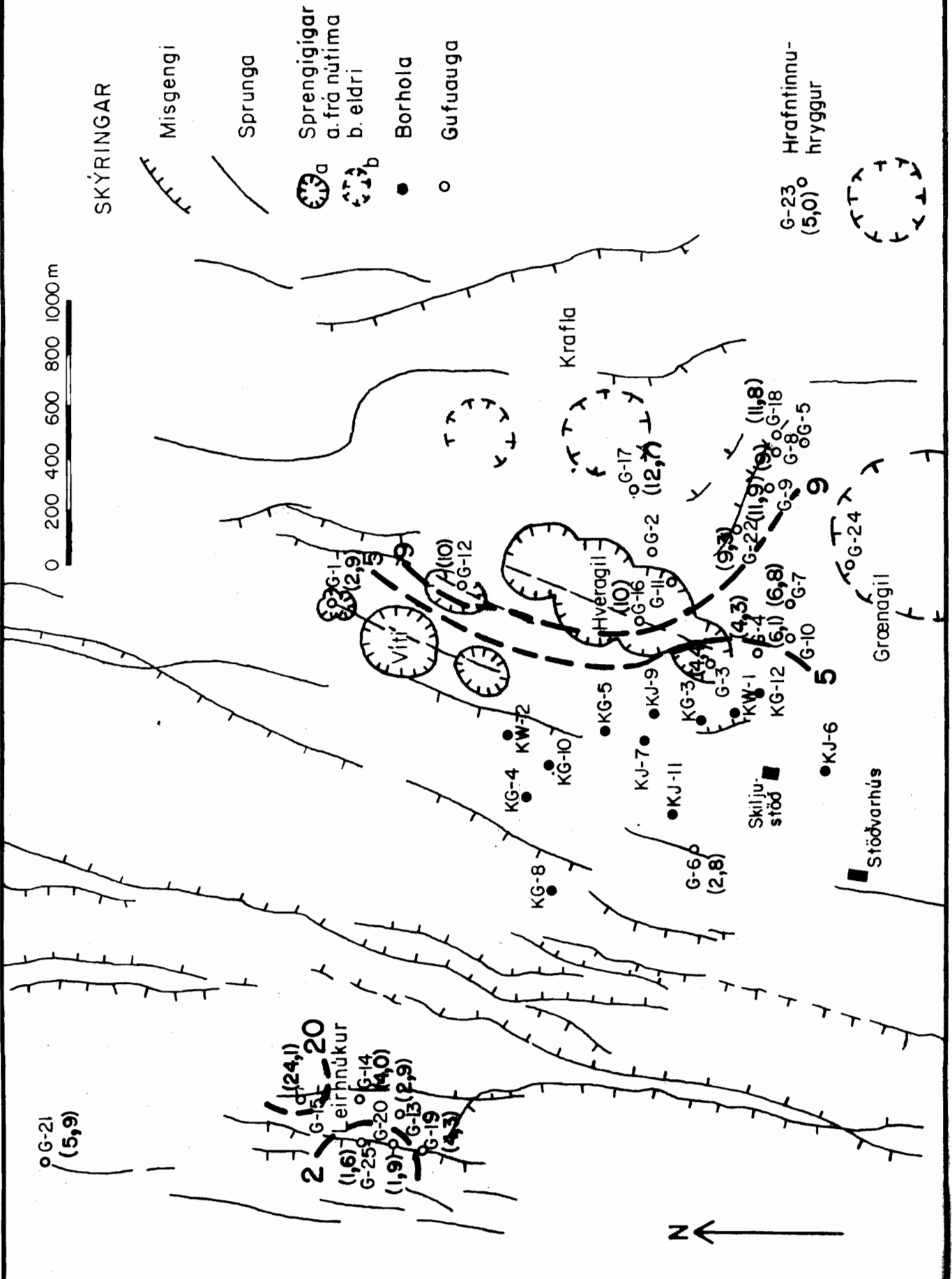
80.05.19.

TH/HA/EBF

Krafla. Efnifr.

F-19659.

Mynd 5.5



6 ÁLYKTANIR

Á myndum 6.1 og 6.2 er gerð tilraun til að sýna streymisleiðir vatns, gufu og gass út frá þeim gögnum, sem aflað hefur verið í þessari rannsókn, eldri gögnum um gas í gufuaugum og gögnum frá rannsókn borhola á Kröflusvæði. Þrjú aðal uppstreymissvæði koma fram. Tvö þeirra eru í nánnum tengslum við kviku og berst þar vatnsgufublanda og kvikugas til yfirborðs. Þetta eru svæðin við Leirhnúk og Hveragil. Síðarnefnda svæðið er í námunda við gamla vinnslusvæðið og skýrir það þá vinnsluferfiðleika, er þar hafa komið fram. Þriðja svæðið er suðaustan í Kröfluhlíðum. Það virðist tengt sprungu, sem ekki er í beinu sambandi við kvikuþróna og hefur e.t.v. myndast í hrinum fyrir nútíma. Margt bendir til, að þar sé um vatnskerfi (eingöngu vatnsfasi í jafnvægi við berg) að ræða og hitastig þess sé yfir 240°C. Vænlegt er að reyna vinnslu nálægt þessu uppstreymi og er vinnslusvæðið merkt inn á myndir 6.1 og 6.2. Vinnslusvæðið er innan lágviðnámssvæðis á 600 m dýpi skv. Schlumberger-viðnámsmælingum og kemur fram sem staðbundið lágviðnámssvæði skv. viðnámsmælingum með fjórpól (Freyr Þórarinsson 1980).



ORKUSTOFNUN

KRAFLA

Vegir jarðgufu á Kröflusvæði skv. gassamsetningu gufu úr gufuaugum.

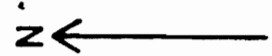
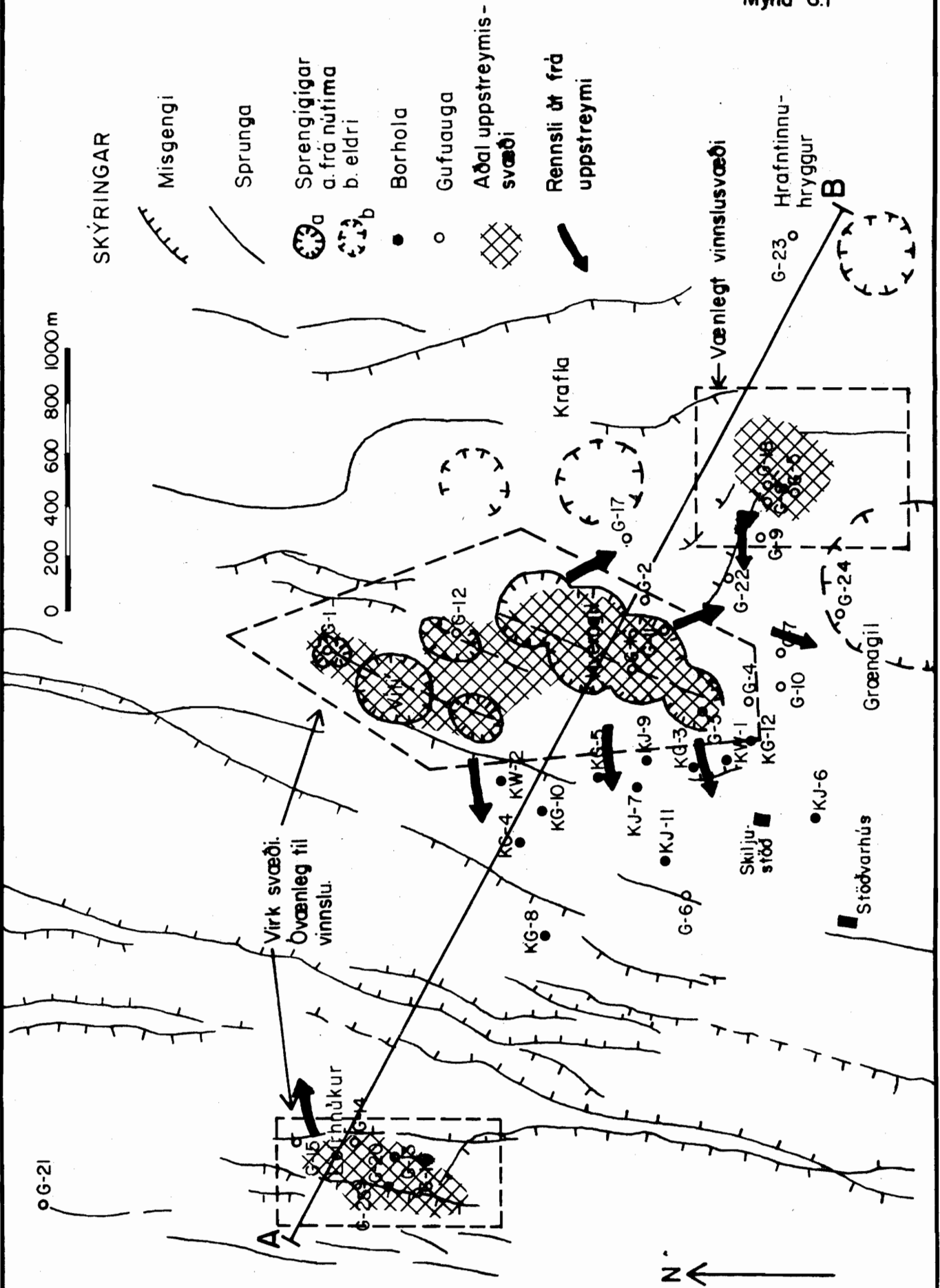
'80.05.19. (8009.01)
TH/HÁ/EBF (Endurtöku)
Efnaf. Krafla
F-19660

Mynd 6.1



SKÝRINGAR

- Misgengi
- Sprungu
- Sprengigigar
a. frá nútíma
b. eldri
- Borhola
- Gufuauga
- Aðal uppstreymis-
svæði
- Rennsli út frá
uppstreymi





ORKUSTOFNUN

Þversnið er sýnir rennslisleiðir á Kröflusvæðinu,
byggt á gassamsetningu gufu úr gufuaugum

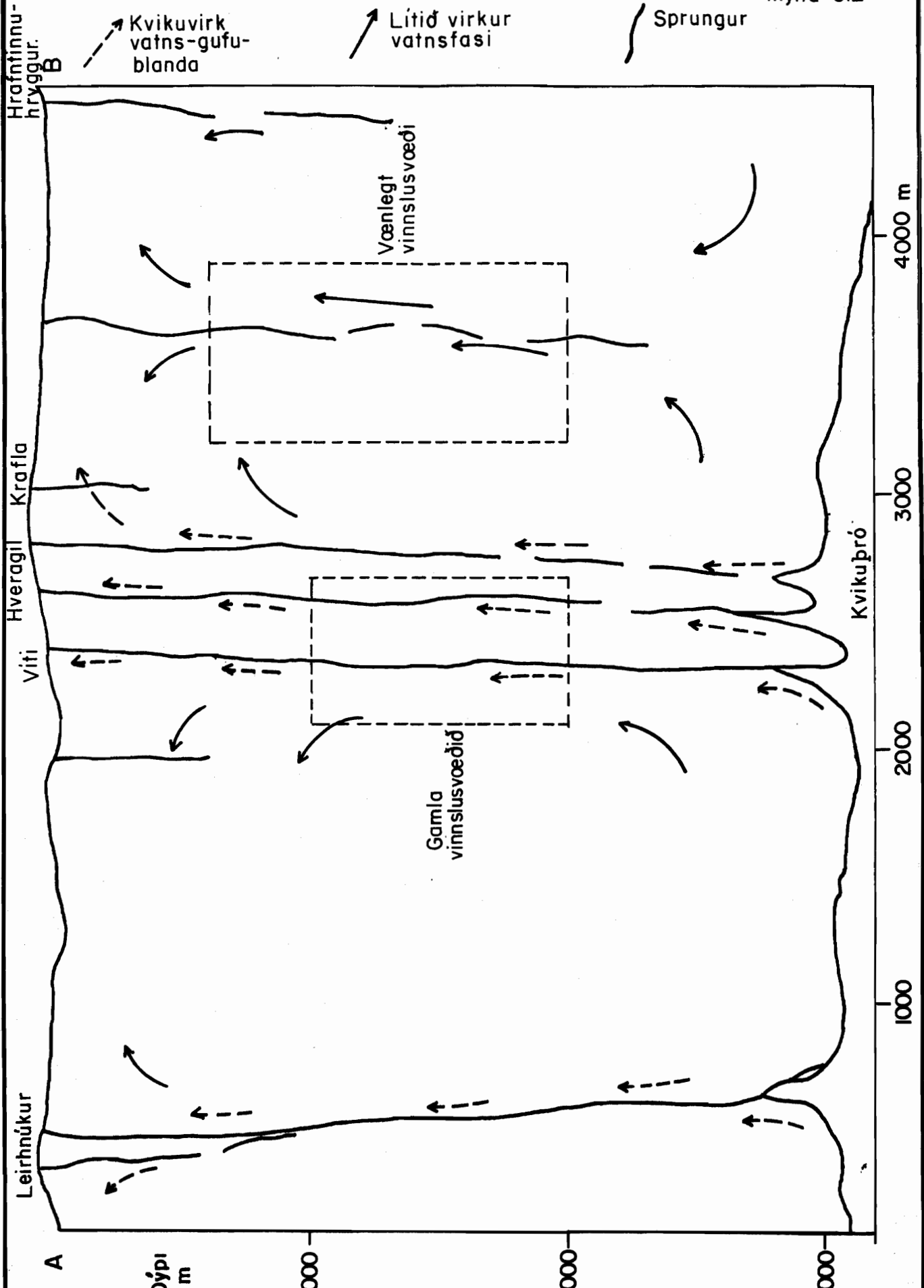
80-05-19

T.H./Sy.J.

Efnafr. Krafla

F19661

Mynd 6.2



7 FREKARI RANNSÓKNIR

Í stórum dráttum má segja, að rannsókn á gufu úr gufuaugum á Kröflusvæði með staðsetningu nýrra borsvæða að markmiði sé lokið. Þó væri æskilegt að reyna að ná fleiri sýnum frá jöðrum háhitasvæðisins, þar sem aðstæður leyfðu ekki sýnatöku í þeim athugunum sem hér er lýst, þ.e. suður af G-5, norðaustur af G-17 og suðvestur af Leirhnúk. Einnig væri æskilegt að endurtaka sýnatöku á stað G-24. Gufuaugu gætu og reynst öruggari staðir til sýnatöku en borholur til að fylgjast með gasmagni á svæðinu, t.d. skal bent á G-12 sem ákjósanlegan stað. Fróðlegt gæti verið að fá upplýsingar um ísótópasamsetningu (t.d. D og ^{18}O) gufu frá nokkrum þessara staða til að fá nánari upplýsingar um uppruna og streymi. Að lokum gæti verið fróðlegt að fylgjast með gassamsetningu gufuaugna í námunda við borholur, þegar borun er lokið, og kanna, hver áhrif vinnslu verða.

HEIMILDASKRÁ

Ármannsson, H., Gíslason, G. & Hauksson, T. 1980: Magmatic gases in well fluids aid the mapping of the flow pattern in a geothermal system. Orkustofnun, handrit.

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

Christensen, O.T. 1889: Tidskrift for Physik og Chemie, 10, 225.

Culkin, F. 1965: The major constituents of sea water. Í: Riley, J.P. & Skirrow, G. (Editors), Chemical Oceanography, Vol. 1, 1st edition, 121-161.

Einar Gunnlaugsson 1980: Borgarfjörður. Efnafræði jarðhitavatns. Orkustofnun, OS80020/JHD11, 58 s.

Ellis, A.J. & Mahon, W.A.J. 1977: Chemistry and geothermal systems, New York, Academic Press, 392 s.

Freyr Þórarinnsson 1980: Krafla. Viðnámsmælingar með fjórpól sumarið 1979. Orkustofnun, OS80013/JHD07, 54 s.

Gestur Gíslason & Stefán Arnórsson 1976: Framvinduskýrsla um breytingar á rennsli og efnainnihaldi í borholum 3 og 4 í Kröflu. Orkustofnun, OS-JHD-7640, 9 s.

Gestur Gíslason, Halldór Ármannsson & Trausti Hauksson 1978: Krafla. Hitaástand og gastegundir í jarðhitakerfinu. Orkustofnun OS-JHD-7846, 45 s.

Gibbs, R.J. 1972: Water chemistry of the Amason River. Geochim. Cosmochim. Acta, 36, 1061-1066.

Giggenbach, W. 1971: Optical spectra in high alkaline sulfide solutions and the second dissociation constant of hydrogen sulphide. Inorg. Chemistry, 10, 1333-1338.

Guðmundur E. Sigvaldason & Gunnlaugur Elísson 1968: sjá Sigvaldason, G.E. & Elísson, G. 1968.

- Halldór Ármannsson, Helgi F. Magnússon, Pétur Sigurðsson og Sigurjón Rist: Efnarannsókn vatns. Vatnasvið Hvítár-Ölfusár. Einnig Þjórsá við Urriðafoss 1972. Orkustofnun-Vatnamælingar, Rannsóknastofnun iðnaðarins, 8 s.
- Halldór Ármannsson, Gestur Gíslason & Trausti Hauksson 1980: sjá Ármannsson, H., Gíslason, G. & Hauksson, T. 1980.
- Helgeson, H.C. 1969: Thermodynamics of hydrothermal systems at elevated temperatures. Am. J. Sci., 267, 729-804.
- Hem, J.D. 1970: Chemical behaviour of H_g in aqueous media: U.S. Geol. Survey Prof. Paper, 713, 10-24.
- Jarðboranir ríkisins 1951: Efnagreiningar á hverum og laugum, 88 s.
- Jens Tómasson, Karl Grönvold, Hrefna Kristmannsdóttir & Þorsteinn Thorsteinsson 1974: Nesjavellir. Hóla 5. Orkustofnun, OS-JHD-7423, 22 s.
- Jón Ólafsson 1974: sjá Ólafsson, J. 1974.
- Kolthoff, I.M. & Sandell, E.B. 1952: Textbook of quantitative inorganic chemistry, 3rd edition, New York, MacMillan & Co. 759 s.
- Kristján Sæmundsson, Guðmundur Guðmundsson, Guðmundur Pálmason, Karl Grönvold, Karl Ragnars & Stefán Arnórsson 1971: Námafjall-Krafla. Áfangaskýrsla um rannsókn jarðhitasvæðisins, Orkustofnun, 81 s.
- McNerney, J.J. & Buseck, P.R. 1973: Geochemical exploration using mercury vapor, Econ. Geol., 68, 1313-1320.
- Niels Óskarsson 1978: Effect of magmatic activity on fumarole gas composition in the Námafjall-Krafla volcanic center, N-Iceland. Nordic Volcanological Institute, 78 03, 20 s.
- Ólafsson, J. 1974: Determination of nanogram quantities of mercury in sea water. Anal. Chim. Acta, 68, 207-211.

- Sigvaldason, G.E. & Elísson, G. 1968: Collection and analysis of volcanic gases at Surtsey, Iceland. Geochim. Cosmochim. Acta, 32, 797-805.
- Stefán Arnórsson 1969: A geochemical study of selected elements in thermal waters of Iceland. Ph.D. ritgerð, Royal School of Mines, Imperial College, London, 353 s.
- Stefán Arnórsson 1978: Framvinduskýrsla um efnafræði útfellinga í borholum við Kröflu. Orkustofnun, OS-JHD-7832, 22 s.
- Stoker, A.K. & Kruger, P. 1976: Radon in Geothermal Reservoirs. Second United Nations Symposium on Development and Use of Geothermal Resources. San Francisco, maí 1975, Proceedings, Vol. 3, Sec. VII, 1797-1804.
- Thorkelsson, T. 1910: The hot springs of Iceland. Det Kongelige Danske Videnskabernes Selskabs Skrifter 7. Række, Naturvidenskaber og Matematisk Afdeling VIII. 4, Köbenhavn, 181-264.
- Trausti Hauksson 1979: Holubríf nr. 11. Orkustofnun, Jarðhitadeild, 3 s.
- Trausti Hauksson 1980 a: Krafla, reiknuð efnasamsetning vatns og gufu í borholum. Orkustofnun, OS80018/JHD10, 29 s.
- Trausti Hauksson 1980 b: Svartsengi. Efnasamsetning heits grunnvatns og hitaveituvatns. Orkustofnun OS80023/JHD12, 38 s.