



Krafla í gufuaugum (handrit)

Halldór Ármannsson, Trausti Hauksson

Greinargerð HÁ-TH-80/02

ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild
1980-06-04

Greinargerð
HA-TH-80/02
bb

K R A F L A

Gas í gufuaugum (handrit)

Halldór Ármannsson
Trausti Hauksson

DE GREINARGERASAFN

KRAFLA

Gas í gufuaugum

Agríp

Koldíoxíð, brennisteinsvetni, vetni, metan, súrefni, natríum, klóríð, kvikasílfur og radon voru ákvörðuð í 24 gufusýnum, sem safnað var úr gufuaugum á Kröflusvæði 1979-08-31 - 09-19.

Niðurstöður benda til þriggja uppstreymissvæða. Á tveimur þeirra, þ.e. Vítis- Hveragils- og Leirhnúkssvæðum hefur gufa blandast kvikugösum í töluverðum mæli, og er því illnýtanleg til vinnslu fyrir Kröfluvirkjun við núverandi aðstæður.

Gufa úr suðurhliðum Kröflu hefur orðið fyrir miklu minni áhrifum frá kvikugösum og ætti að vera nýtanleg fyrir virkjunina. Gassamsetning á svæði, sem teygir sig í austur allt að Hrafnntinnuhrygg, bendir til vatnskerfis, sem er heitara en 240°C.

KRAFLA

Gas í gufuaugum

1. Inngangur

Í skýrslu Gests Gíslasonar o.fl. (1978) er sagt frá frumniðurstöðum athugana á gasi úr gufuaugum á Kröflusvæði. Kom þar í ljós, að styrk og samsetningu þess í gufu í Hveragili og í neðri hluta æðum núverandi borsvæðis í Kröflu svipar mjög saman. Var sú niðurstaða túlkuð á þann veg, að í Hveragili væri yfirborðsútstreymi neðri hluta jarðhitakerfisins á þessu svæði. Umrædd gufa virðist hafa orðið fyrir töluverðum kvikuáhrifum, og samanburður við fyrri athuganir (Christensen 1899, Thorkelsson 1910, Jarðboranir ríkisins 1951, Kristján Sæmundsson o.fl. 1971) leiðir í ljós miklar breytingar á styrk og samsetningu.

Austasta sýnið í 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 eru óæskileg fyrir vinnslueiginleika gufu, og má rekja til þeirra tæringu og útfellingar. Því væri mikil bót að því að finna á Kröflusvæðinu vinnslusvæði, sem væri að mestu laus við þau. Af þessum ástæðum þótti fýsilegt að gera ítarlegri könnun á gasi gufuaugna Kröflusvæðisins. Við efnaathuganir á borholum í Kröflu hafa verið gerðar tilraunir með notkun styrks

kvikasilfurs og radons í gufunni til rannsókna á eiginleikum hennar. Hafa tilraunir þessar þótt gefa nokkuð góða raun og úr þeim hafa fengist upplýsingar um rennsli, suðu o.fl. Þótti því áhugavert að fá upplýsingar um þessi efni í yfirborðsgufu. Til góðrar túlkunar á niðurstöðum gasgreininga er æskilegt, að upplýsingar um vatnsblöndun gufunnar liggi fyrir. Til könnunar á því er yfirleitt notuð mæling annaðhvort á styrk natriums eða klóríðs. Þessar mælingar gefa þó ekki til kynna blöndun við yfirborðsvatn, heldur eingöngu jarðhitavatn. Við rannsóknir á holu KG-12 hefur komið í ljós, að ofgnótt klóríðs getur verið í gufu á svæðinu (Trausti Hauksson 1979) og vitnar hún um ótvíræð kvikuáhrif. Var ákveðið að mæla bæði natrium og klóríð í gufunni, en nota natriumstyrk til að fá hugmynd um vatnsblöndun en klóríðstyrk einnig til könnunar á kvikuáhrifum. Hlutfall natrium og klóríðstyrks getur og veitt mikilvægar upplýsingar um jafnvægis- og hitaástand jarðhitakerfis.

2. Aðferðir

2.1.Söfnun. Plasttrekt var sett yfir álitlegt gufuúttstreymi og leir settur að til þéttingar. Safnað var á lofttæmda flösku, sem í var vegið magn natriumhýdroxíðlausnar (40% w/w) til ákvörðunar heildarstyrks koldíoxíðs og brennisteinsvetnis í gufu; á saltlausnarfyllta gastúbu til ákvörðunar rúmmáls- hlutfalla aðalgastegunda; í mæliglas, sem í var þekkt rúmmál zinkasetatlausnar, til ákvörðunar natriums og klóríðs.

Einnig var safnað í sérstaka lofttæmda flösku til radonákvörðunar, og á mæliglas með þekktu rúmmáli saltpéturssúrrar kalíumpermanganatlausnar í, til ákvörðunar kvikasilfurs.

2.2. Efnagreiningar. Til ákvörðunar heildarstyrks köldíoxíðs var natriumhydroxíðlausnin vegin, pH þynntrar lausnar af henni stillt á 8,20, hún titruð með 0,1N saltsýru að pH 3,80, og leiðrétt fyrir styrk brennisteinsvetnis, sem ákvarðaður var með titrun með kvikasilfursasetati með dithizon-indikator (Arnórsson 1969). Rúmmálshlutföll aðalgastegunda voru ákvörðuð með Tutwiler og Orsatáhöldum; (Kothoff & Sandell 1953). Natrium var ákvarðað með atomisogs- aðferð, og klóríð með óbeinni atómisogs- aðferð, þar sem þekktu magni silfurjónar er bætt í sausnina eftir eyðingu súlfíðs, og styrkur silfurs eftir silfurklóríðfellingu mældur. Styrkur radons er mældur sem γ -virkni, eftir hreinsun hugsanlegra truflanavalda úr sýninu (Egill Hauksson 1977). Við ákvörðun kvikasilfurs var brúnsteini og permanganati fyrst eytt með ascorbinsýru, kvikasilfur síðan afoxað með tinklóríði í fritt kvikasilfur, sem safnað er á gull, losað af því með hitun, og ákvarðað með logalausni atómisogi (Ólafsson 1974).

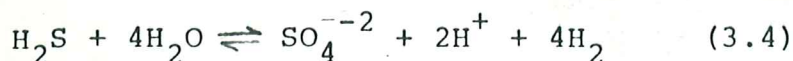
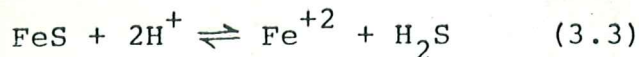
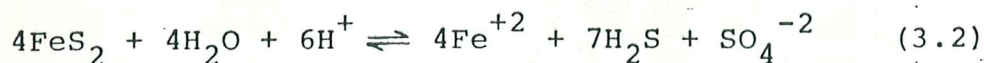
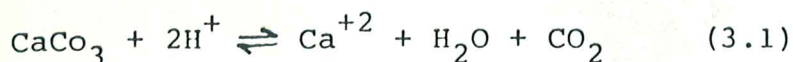
2.3. Mat á gufustreymi. Gufumagn á sýnatökustað nr. G-4 var metið og kallað 1. Magn á öðrum stöðum var metið á sama hátt og minni notað til að gefa þeim tölur í samræmi við þá viðmiðun. Flatarmál hvers uppstreymisstaðar var stikað.

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 nást efna- og hitajafnvægi milli bergs og vatns. Efnasamsetning ræðst þá af efnajafnvægis föstum 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 mettun með tilliti til ýmissa steinda t.d. kalsíts, pýríts, pýrrhótíts, magnetíts og epídóts.

3.2. Aðalgös. Styrkur koldíoxíðs, brennisteinsvetnis og vetnis ræðst af hitastigi og ríkjandi steindajafnvægjum. Þau, sem helst eru talin koma við sögu, eru:



Styrkur koldíoxíðs stjórnast af jafnvægi (3.1), en styrkur kalsíums, og sýrustig, eru háð jónskiptahvörfum við steindir eins og t.d. montmorillonit. Leidd hafa verið út vensl milli hitastigs og hlutfallsins $\sqrt{\text{Ca}^{+2}/\text{H}^+}$ í jarðhitavatni, og með notkun jafnvægisfesta hvarfs (3.1) (Helgeson 1969) milli hitastigs og jafnvægisstyrks koldíoxíðs (Mynd 3.2) (Stefán Arnórsson 1978). Styrkur vetnis og brennisteinsvetnis er talinn ákvarðast af jafnvægjum (3.2), (3.3) og (3.4). Þó fást ávallt hærri gildi fyrir hlutfallið $\text{H}_2/\text{H}_2\text{S}$ úr jafnvægisreikningum, þar sem jafnvægisfastar Helgesons (1969) eru notaðir, en úr mælingum á jarðhitavatni.

Gasstyrkur eykst í öfugu hlutfalli við gufuhluta og getur meðalgasríkt vatn soðið af sér mjög gasríka gufu. Sé gufa ættuð úr vatns- gufublöndu breytist gasstyrkur hennar minna við þrýstingslækkun og suðu. Við þrepasuðu kemur fram gasnauð gufa í síðari þrepum, einkum hvað varðar 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 gjarnan mikið kæld og streymir inn í þau kalt yfirborðsvatn, sem er mettað af andrúmslofti

og hefur að geyma rotnandi lífverur. Kæling og þétting gufu hafa viðlíka áhrif og suða, þ.e. gasstyrkur eykst og hin leysnari gös vilja skolast úr. Blöndun við yfirborðsvatn hefur í för með sér frekari losun hinna leysnari gasa úr gufunni, og enn fremur oft aukningu styrks metans, köfnunarefnis og súrefnis. Súrefni getur valdið oxun brennisteinsvetnis og kvikasilfurs. Við kvikuinnskot og brýstingslökkun rjúka gastegundir úr kviku inn í vatnskerfi. Í töflu 3.1 er skráð efnasamsetning kvikugass, sem náðist úr gíg í Surtseyjargosinu (Sigvaldason & Elisson 1968). Slík vatnsgufa er mjög heit og getur hækkað vatnshitastig í jarðhitakerfi verulega og jafnvel hleypt kerfinu í suðu. Íblöndun kvikugasa raskar verulega ríkjandi efnajafnvæggjum. Súru gösin (HCl, SO₂ og CO₂) lækka sýrustig, en á móti kemur skolun koldíoxíðs og brennisteinsvetnis úr bergi. Brennisteinsdíoxíð oxast í sulfat, þ.e. $2\text{H}^+ + \text{SO}_2 + 2\text{epidót} \rightleftharpoons 2\text{prehnít} + \text{SO}_4^{-2} + 2\text{Fe}^{+2}$ (3.5), og eykst þá styrkur tvígilds járns í vatninu um leið. Vetni hvarfast síður við berg, en getur haft áhrif á kvikasilfurstyrk (sbr. 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 þar af upphaflegum styrk (G_O) og varmainnihaldi (H_O), ásamt varmainnihaldi vatns (H_W) og gufu (H_S) eftir suðu.

$$G \approx \frac{G_O}{x} = \frac{H_S - H_W}{H_O - H_W} \cdot G_O, \text{ þar sem } x = \text{gufuhluti.} \quad (3.6)$$

3.3. Natrium/klór hlutfall. Í töflu 3.2 eru skráð natrium/klór hlutföll vatns úr ýmis konar umhverfi. Við gufun natriumklórið-vatnslausna fylgir örlítill hluti natriums og klóriðs gufunni, en hlutfallið milli þeirra raskast lítið. Af þessum sökum er tiltölulega lítill munur á natrium/klór hlutfalli sjávar og nýfallins regns. Í jarðvegi og bergi er yfirleitt ofgnótt natriums miðað við klór og hækkar því natrium/klór hlutfall vatns eftir snertingu við slíkt. Sú hækkun er hitastigsháð. Í háhitavatni hafa mælt 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 (Ármannsson o.fl. 1980). Með kvikugösum, sem streyma inn í jarðhitakerfi, berst ofgnótt klórs (sem HCl, sbr. töflu 3.1) miðað við natrium. Lækkar þá natrium/klór hlutfall verulega eins og fram kemur í þurri gufu frá holu KG-12, sem talin er draga inn gös úr grennd við kviku (Ármannsson o.fl. 1980). Natrium/klór hlutfall í vökva þeirra hola, sem draga inn vatns-gufublöndu, og orðið hafa fyrir kvikuáhrifum (Ármannsson o.fl. 1980), er á milli þessara öfga, en rekja má það til mótverkandi áhrifa efnaskipta við berg og klórinnspýtingar úr kviku. Sé lítið til gufuaugna, má telja víst, að uppruni gufu sé jarðhitavökvi í jafnvægi við berg, ef Na/Cl hlutfall er > 9 , og að þá séu kvikuáhrif lítil. Lægri gildi benda oft til kvikuáhrifa, en má þó í sumum tilvikum rekja til áhrifa nýfallins regns.

3.4. Radon. Radonstyrkur í jarðhitavatni er háður radíumstyrk bergsins, snertifleti og snertitíma. Hugsum oss bergsprungu að vidd b , sem vatn eða gufa flæðir um, og lag að þykkt s , sem skilar út í rennsli öllu því radoni, sem myndast við klofnur radíums. Þá má sýna fram á, að styrkur radons í rennsli (dpm/kg) eftir vegalengd, L , sé:

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

E : útgeislun radons úr bergi, dpm/m³

λ_{Rn} : tímafasti radonklofnunar, s⁻¹

m : rennsli, kg/m²s

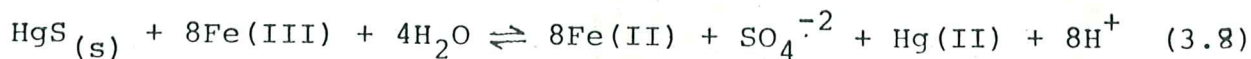
v_f : eðlisrúmmál (m³/kg)

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. fjörftiufaldur 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 að radonstyrkur eykst með lengd sprungu.

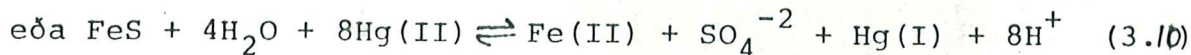
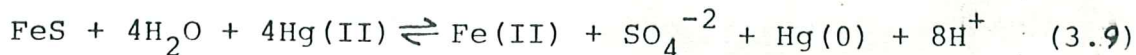
Við afgösun kviku kemst mikill fljótandi bergmassi í snertingu við gasfasa. Radon-222, sem myndast stöðugt sem milli-efni í ²³⁸U keðjunni, leitar í gasfasa, og berst í miklu magni

upp í jarðhitakerfið. Helmingunartími radons er 3,8 dagar og áhrif slíkrar innspýtingar því skammvinn.

3.5. Kvikasilfur. Kvikasilfur kemur fyrir í náttúrunni á þremur oxunarstigum, þ.e. Hg(II), Hg(I) og Hg(0). Stöðugleikaskið kvikasilfurspesía í vatnslausn við 25°C og 1 atmþrýsting 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.



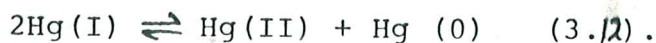
Önnur súlfíð, t.d. FeS geta afoxað Hg(II) í Hg(0) eða Hg(I).



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 hefa gösin H₂ og H₂S áhrif vegna hvarfsins.



Ekki er öll sagan sögð, þar sem kvikasilfur á til að ganga inn í anjónakomplex (karbónat, súlfíð, sulfat, klór). Bikarbonatríkt vatn eykur leysni málmsúlfíða vegna sýringar. Hins vegar sogast slíkir komplex gjarnan á svífefni í grunnvatni einkum við pH4-7. 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).

4. Niðurstöður mælinga og samanburður við eldri ákvarðanir.

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. Litlar breytingar virðast hafa orðið á gassamsetningu gufu frá Kröflusvæðinu frá 1871 - 1970. Eftir 1975 hefur orðið gríðarleg gasaukning, að langmestu leyti koldíoxíðaukning. Ekki er unnt að tímasetja slíka aukningu í gufu gufuaugna, en athuganir á holu KG-3, Kröflu, sýna, að þar varð samsvarandi gasaukning milli janúar og marz 1976 (Gestur Gíslason og Stefán Arnórsson 1976). Má ætla, að aukning í gufuaugum 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/koldíoxíðhlurfall 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 árána 1978 og 1979. Yfirleitt hefur orðið gasaukning, og þá

á koldíoxíði og brennisteinsvetni (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 gasminnkun varð, er G-4. Þessi staður skar sig úr öðrum fyrir umbrot. Stefán Arnórsson (í Kristján Sæmundsson o.fl. 1971) telur, að þar hafi verið til staðar annaðhvort niðurstreymandi, soðið vatn eða ofgnótt soðins vatns ís vegna dræms uppstreymis. Niels Óskarsson (1978) telur gufuga 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 gasminnkun á svæðinu yrði að ræða. Hin mikla vetnisminnkun á G-4 styður slíka túlkun. Sérstaða G-5 var rædd hér að ofan. Gasaukning þar gæti stafað af því, að kvikugösum hefði tekizt 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 gasaukningu á G-6, en líkur eru til, að þar komi upp gufa úr efri hluta jarðhitakerfisins á núverandi borsvæði, en þar hefur mælst hitastigshækkun á sama tíma (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 ríki jafnvægi í jarðhitakerfinu, og litlar sem engar breytingar verði á gassamsetningu. Við kvikuinnskotið í árslok 1975 verður brýstingslækkun, og kvikugös streyma inn í jarðhitakerfið. Allt bendir til þess, að gas þetta breyttist mikið, áður en það nær yfirborði í gufuaugum, og líður langur tími, 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 kvikugasastreymi virðist vera á svæðinu kringum Víti og í norðanverðu Hveragili.

5. Túlkun gagna.

5.1. Natrium/klór hlutfall. Í kafla 3.3 eru líkur leiddar að því, að jarðgufa sé komin úr jarðhitavatni í jafnvægi við berg við hitastig hærra en 200°C án íblöndunar kvikugasa, ef natrium/klór hlutfall er hærra en níu. Lægri gildi útiloka ekki slíkan apruna, 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 sulfat, 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) jarðlög nálægt yfirborði og náð þar að blandast andrúmslofti, sem hefði getað valdið oxun brennisteinsvetnis. Natrium/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 kvikugasa að ræða. Á öðrum stöðum ræður samspil skolunar úr bergi og innspýtingar gasa úr kviku natrium/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. Aðalgös. Eins og minnst er á í kafla 5.1 getur brennisteinsvetni oxast í sulfat, þar sem grunnvatnsáhrif eru mikil. Ekki er sama hætta á, að koldíoxíð eyðist úr gufunni á svipaðan hátt. Því þótti ráðleggra 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 er í hámarki á tveimur stöðum, þ.e. norðan Vítis (G-1), og í Grænagili (G-24). Í Leirhnúk er gasstyrkur mestur syðst (við Hrekk, G-19). Gasið úr G-24 virðist hafa orðið fyrir truflandi ferlum (sbr. mynd 3.1) svo sem grunnvatnsblöndun og oxun og losað sig við brennisteinsvetni og vetni á leiðinni. Lítið gufustreymi og þétting gufu gætu og skýrt tiltölulega mikinn gasstyrk þar.

G-1, G-12 og G-16 eru á þremur sprungum, sem liggja norður-suður gegnum gamla borsvæðið og sjást sprungurnar á mynd 5.2.

G-1 er eldissprengigíg á yngsta 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 í 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 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. Grænagil 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 suðurhliðum Kröflu. Gasstyrkur í gufu frá þeim lækkar, er austar dregur og bendir til þess, að misgengið tengi virku sprungurnar við Hveragil og Grænagilssprunguna.

Vetnis-koldíoxíðhlutfallið segir okkur mikið um suðuástand jarðgufunnar eins og skýrt er í 3. kafla. Lökkandi hlutfall bendir til útstreymis frá uppstreymismiðju, og á mynd 5.3 má greina þrjár slíkar miðjur; þ.e. við Leirhnúk, í Hveragili og nálægt G-5 í suðausturhliðum Kröflu (Grænagilssprungan). Hrafninnuhryggur liggur á ennþá eldri sprungu og er gufa frá G-23 trúlega komin frá vatni í jafnvægi við berg s.kv. 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 í G-16, G-1 og G-5 en hæstur í 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 rennsli 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 í G-23 við Hrafninnuhrygg til kraftlítills streymis. Í kafla 3.4 eru líkur leiddar að því, að fljótandi kvika geti gefið radon af sér í miklu magni. Áður í þessum kafla var staðhæft, að mest kvikuáhrif séu merkjanleg í gufu frá Hveragili og nágrenni ~~Vitis~~. Þar mælist þó lítið radon, sem bendir til þess, að áhrif innspýtingar radons hafi fjarað út vegna klofnunar. Helmingunartími radons er 3,8 dagar og kvikuáhrif því líklegast miklu eldri en það.

5.4. Kvikasilfur. Við suðu verður kvikasilfur fremur eftir í vatnsfasa en önnur þau gös, er hér hafa verið rædd (sjá mynd 3.3). Því má búast við tiltölulega miklum kvikasilfurstyrk, þar sem jafnvægi ríkir milli vatns og bergs en litlum í soðinni gufu. Kvikuáhrif 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 álitið 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 reyndist 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.

6. Alyktanir.

Á myndum 6.1 og 6.2 er gerð tilraun til að sýna streymisleiðir vatns, gufu og gasa með hliðsjón af 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 nánum tengslum við kviku og bera vatnsgufublöndu og kvikugös til yfirborðs. Þetta eru svæðin við Leirhnúk og við Víti og Hveragil. Síðar nefnda svæðið er í námunda við gamla vinnslusvæðið og skýrir það þá vinnsluerfiðleika, 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 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 600m dýpi skv. Schlumberger-viðnámsmælingum og kemur fram sem staðbundið lágviðnámssvæði skv. viðnámsmælingum með fjórpól (Freyr Þórarinsson 1980).

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 jaðarsýnum, þar sem aðstæður leyfðu ekki sýnatöku í þetta sinn, 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, til að fylgjast með gasmagni á svæðinu en borholur, 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. Þess má geta, að P. Torssänder tók sýni til brennisteinsísótópagreininga á nokkrum sömu staða á sama tíma og þessi rannsókn var gerð, og mun hann láta niðurstöður þeirra í té, þegar þær liggja fyrir. Að lokum gæti verið fróðlegt að fylgjast með gassamsetningu gufuaugna í námunda við borholur, þegar borun er lokið, og kanna, hver áhrif vinnslu verða.

Heimildir.

- Armannsson, H., Gíslason, G & Hauksson, T. 1980: Magmatic gases in well fluids aid the mapping of the flow pattern in a geothermal system. Orkustofnun, handrit.
- Arnason, B. 1976: Groundwater systems in Iceland traced by deuterium. Vísindafélag Íslendinga, XLII, 236s.
- Arnórsson, S. 1969: A geochemical study of selected elements in thermal waters of Iceland. Ph.D. ritgerð. Royal School of Mines, Imperial College, London, 353s.
- Bragi Arnason 1976; Sjá Arnason, B. 1976.
- Christensen, O.T. 1889: Tidsskrift for Physik og Chemie, 10, 225.
- Culkin, F. 1965: The major constituents of sea water. In Riley, J.P. & Skirrow, G. (Editors), Chemical Oceanography, Vol. 1, 1st Edition, 121-161.
- Egill Hauksson 1977. Bréf, skýrsla.
- Einar Gunnlaugsson 1980: Borgarfjörður. Efnafraði jarðhitavats. Orkustofnun, OS80 0020/JHD 11.
- Ellis, A.J. & Mahon, W.A.J. 1977: Chemistry and geothermal systems. Academic Press, New York, 392s.
- Freyr Þórarinnsson 1980: Krafla. Viðnámsmælingar með fjórpól sumarið 1979. Orkustofnun, OS80 0013/JHD 07.
- Gestur Gíslason og Stefán Arnórsson 1976: Framvinduskýrsla um breytingar á rennsli og efnainnihaldi í borholum 3 og 4 í Kröflu. Orkustofnun, OS-JHD-7640, 9s.
- Gestur Gíslason, Halldór Ármannsson & Trausti Hauksson 1978: Krafla. Hitaástand og gastegundir í jarðhitakerfinu. Orkustofnun, OS-JHD-7846, 45s.

- Gibbs, R.J. 1972: Water chemistry of the Amazon River. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 36, 1061-1066.
- Guðmundur E. Sigvaldason & Gunnlaugur Elísson 1968; Sjá Sigvaldason, G.E. & Elísson, G. 1968.
- Halldór Ármannsson, Helgi F. Magnússon, Pétur Sigurðsson og Sigurjón Rist 1973: Efnarannsókn vatns. Vatnasvið Hvitár-Ölfusár. Einnig Þjórsá við Urriðafoss. 1972. Orkustofnun-Vatnamælingar, Rannsóknastofnun iðnaðarins, 8s.
- Halldór Ármannsson, Gestur Gíslason og 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 Hg in aqueous media: U.S. Geol. Survey Prof. Paper, 713, 19-24.
- Jarðboranir ríkisins 1951: Efnagreiningar á hverum og laugum, 88s.
- Jens Tómasson, Karl Grönvold, Hrefna Kristmannsdóttir og Þorsteinn Thorsteinsson 1974: Nesjavellir. Hóla 5. Orkustofnun, OS-JHD-7423.
- Jón Ólafsson 1974; Sjá Ólafsson, J. 1974.
- Kolthoff, I.M. & Sandell, E.B. 1952: Textbook of quantitative inorganic chemistry, 3rd Edition, MacMillan & Co., New York, 759s.
- Kristján Sæmundsson, Guðmundur Guðmundsson, Guðmundur Pálmason, Karl Grönvold, Karl Ragnars & Stefán Arnórsson 1971: Námafjall-Krafla. Áfangaskýrsla um rannsókn jarðhitasvæðisins, 81s.

McNerney, J.J. & Buseck, P.R. 1973: Geochemical exploration using mercury vapor, *Econ. Geol.*, 68, 1313-1320.

Niels Óskarsson 1978; Sjá Óskarsson, N. 1978.

Ólafsson, J. 1974: Determination of nanogram quantities of mercury in sea water. *Anal. Chim. Acta* 68, 207-211.

Óskarsson, N. 1978: Effect of magmatic activity on fumarole ~~gas composition~~ in the Námafjall-Krafla volcanic center, N-Iceland. Nordic Volcanological Institute, 78 03, 20s.

Sigvaldason, G.E. & Elisson, G. 1968: Collection and analysis of volcanic gases at Surtsey, Iceland. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 32, 797-805.

Stefán Arnórsson 1969; Sjá Arnórsson, S. 1969.

Stefán Arnórsson 1978: Framvinduskýrsla um efnafræði útfellinga í borholum við Kröflu. Orkustofnun, OS-JHD-7832, 22s.

Thorkelsson, T. 1910: The hot springs of Iceland. *Det Kongelige Danske Videnskabernes Selskabs Skrifter* 7. Række, Naturvidenskaber og matematisk Afdeling VIII. 4. København, 181-264.

Trausti Hauksson 1979: Holubréf nr. 11. Orkustofnun, jarðhitadeild, 3s.

Trausti Hauksson 1980 a: Krafla, reiknuð efnasamsetning djúpvökva. Orkustofnun, í undirbúningi.

Trausti Hauksson 1980 b: Svartsengi. Efnasamsetning djúpvökva og hitaveituvatns. Orkustofnun, í undirbúningi.

Þorkell Þorkelsson 1910; Sjá Thorkelsson, T. 1910.

Tafla 3.1 Samsetning kvikugassýnis frá Surtsey 1965-02-21 (Sigvaldason & Elísson 1968)

| Efni | H ₂ O | Cl | SO ₂ | CO ₂ | H ₂ | CO | N ₂ +Ar |
|---------|------------------|------|-----------------|-----------------|----------------|------|--------------------|
| Massa % | 25,05 | 2,54 | 29,59 | 39,41 | 1,48 | 1,76 | 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 | Arnason 1976 |
| Regn | Efnaskipti við jarðveg og berg | Fljót heims (meðaltal) | 1,3 | Gibbs 1972 |
| Jarðvatn | Efnaskipti við jarðveg og berg | 9 ár á Suðurlandi (meðaltal) | 2,6 | Halldór Armannsson o.fl. 1973 |
| Jarðvatn | Efnaskipti við berg (t° < 200°C) | Reykjavík, Borgarfjörður (meðaltal) | | Arnason 1976, Einar Gunnlaugsson 1980 |
| Jarðvatn | Efnaskipti við berg (t° > 200°C) | Námafjall, Nesjavellir, Matsukawa | 5 | Kristján Sæmundsson o.fl. 1971, Jens Tómasson o.fl. 1974, Ellis&Mahon 1977 |
| Jarðvatn | Skolun úr sjávarsetlögum | Reykjanes, Svartsengi, Vestmannaeyjar, Húsavík, Seltjarnarnes | 9-33 | Arnason 1976, Trausti Hauksson 1980 b |
| Jarðvatn | Efnaskipti við berg (t° > 200°C) | Krafla, holur KW-2, KG-8, KJ-9, KJ-11 (efri hluta æðar) | 0,86 | Trausti Hauksson 1980 a |
| Jarðvatn | Blöndun við kvikugös | Krafla, hola KG-12 | 0,002 | --- |
| Jarðvatn | Efnaskipti við berg, blöndun við kvikugös | Krafla, holur KW-1, KJ-6, KJ-7, KG-10, KJ-11 (neðri hluta æðar) | 0,8-4,3 | --- |

Tafla 4.1. Mæld gildi í rannsóknum á gasi í gufuaugum á Kröflusvæði 1978-08:31-09.19

| Staður nr. | Dags. | Rúmmálssamsetning 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 mg/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 | 69185 | 200 | 0,6 | Krafla Viti |
| 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 | 251927 | 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 hliðar |
| 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 | | ---" |
| 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 | | Krafla Gr... |
| 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 hliðar |
| 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 | 44656 | 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.Gosstöð '75 |

Tafla 4.2. Niðurstóður greininga gass úr gufuaugum á Kröflusvæði 1871 - 1970.

| Dags. Nr. sýnis | Rúmmálsamsetning gass | | | | | | | lítrar gass kg gufu | Stað- setning | Heimild |
|--------------------|-----------------------|--------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|--------|------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| | 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 hliðar 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 1500m suðvestar (G-4) | Kristján Sam- undss.o.fl.1971 |
| 1970-08/00123 | 65,5 | 8,4 | 23,4 | 0,0 | 0,2 | 3,2 | - | - | Krafla Hvera- gil (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 Óskarss. 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-1 | --- |
| 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 | - | | | | | Leirhn.mill G-14ogG-25 | --- |
| 1977-09-10 | 74,2 | 1,7 | 20,3 | 1,0 | 0,1 | 2,5 | - | 48,52 | 37400 ¹⁾ | 662 ¹⁾ | | --- | --- |
| 1977-10-28 | 88,9 | 1,5 | 6,6 | 1,2 | 0,3 | 1,5 | - | 86,42 | 25100 ¹⁾ | 327 ¹⁾ | | --- | --- |
| 1978-01-08 | 95,5 | 0,9 | 0,4 | 1,0 | 0,3 | 1,9 | - | | | | | --- | --- |
| 1977-06-16 | | | | | | | | | | | 18800 | --- | 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 Gíslas.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-1 | --- |
| 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 út 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 | |
|--------|-----------------|--------------------|------------------|--------------------|----------------|--------------------|
| | 1979/1978 | 1979-1978 mg/kg | 1979/1978 | 1979-1978 mg/kg | 1979/1978 | 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 (vegjið meðalt. 600-1200m dýpi) | Kísilhiti °C |
|--------------|-----------|---------------------|--|-----------------|
| 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 |

Tafla 5.1. Koldíoxíðhiti í nokkrum gufuaugum í suðurhlíðum Kröflu og Hrafninnuhrygg

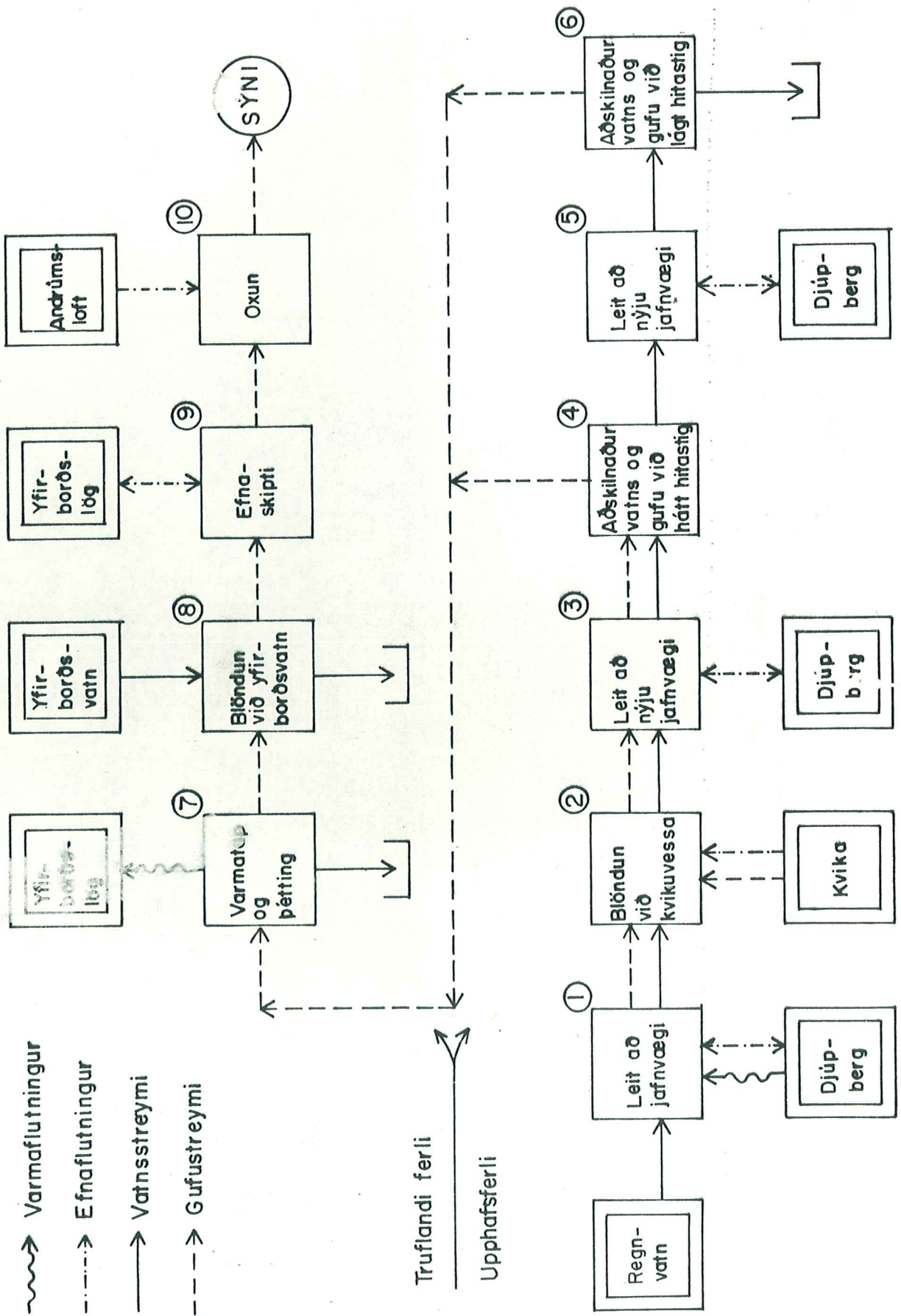
| Staður | G-5 | G-18 | G-8 | G-9 | G-22 | G-2 | G-23 |
|-------------------|-----|------|-----|-------|-------|-------|-------|
| *Koldíoxíðhiti °C | 240 | 250 | 290 | > 300 | > 300 | > 300 | > 300 |



Helstu ferli sem áhrif hafa á gufu frá upphafsástandi til yfirborðs.

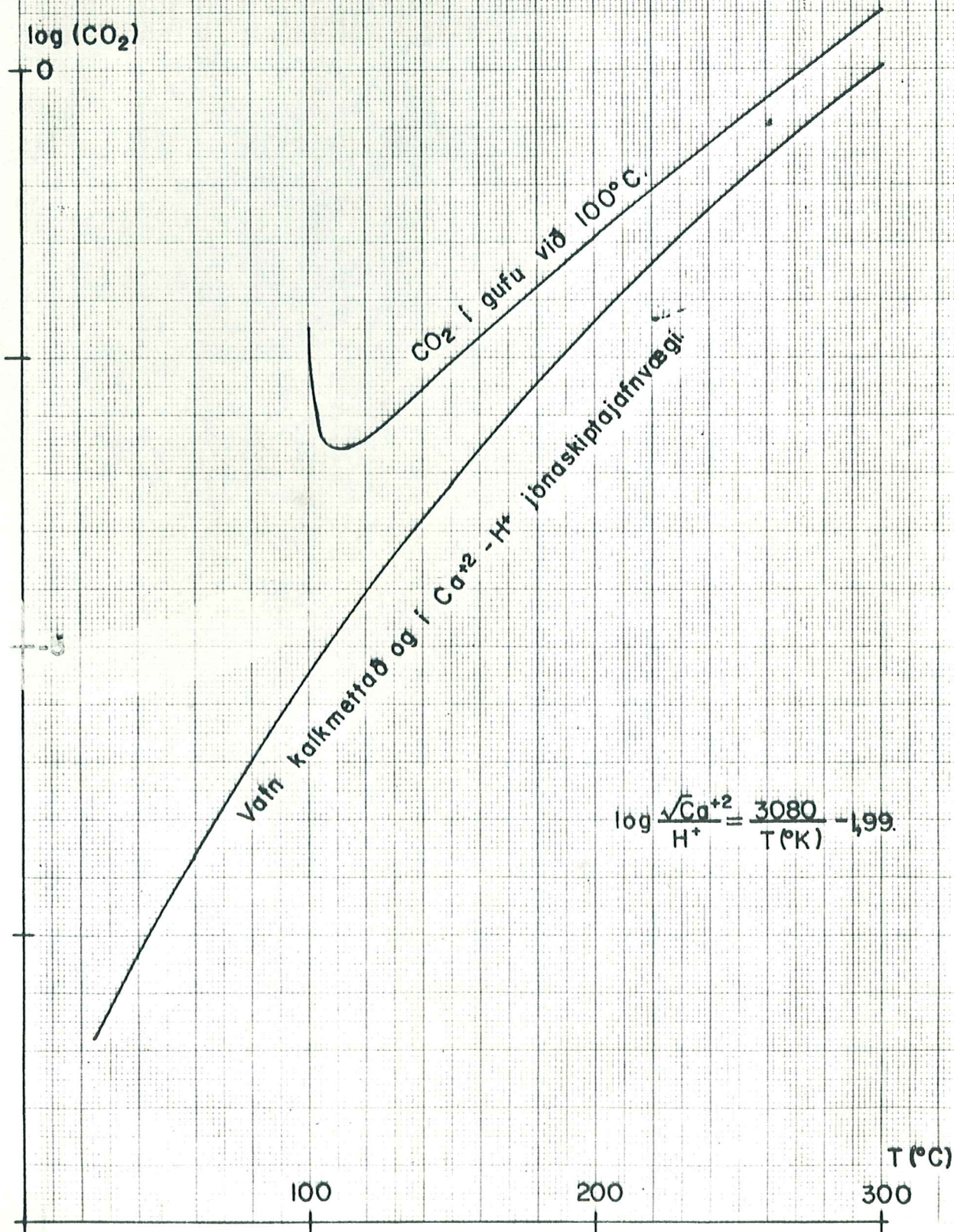
80.05.19.
TH/EBF
J-Ým. Efnafr.
F-19650

Mynd 3.1.



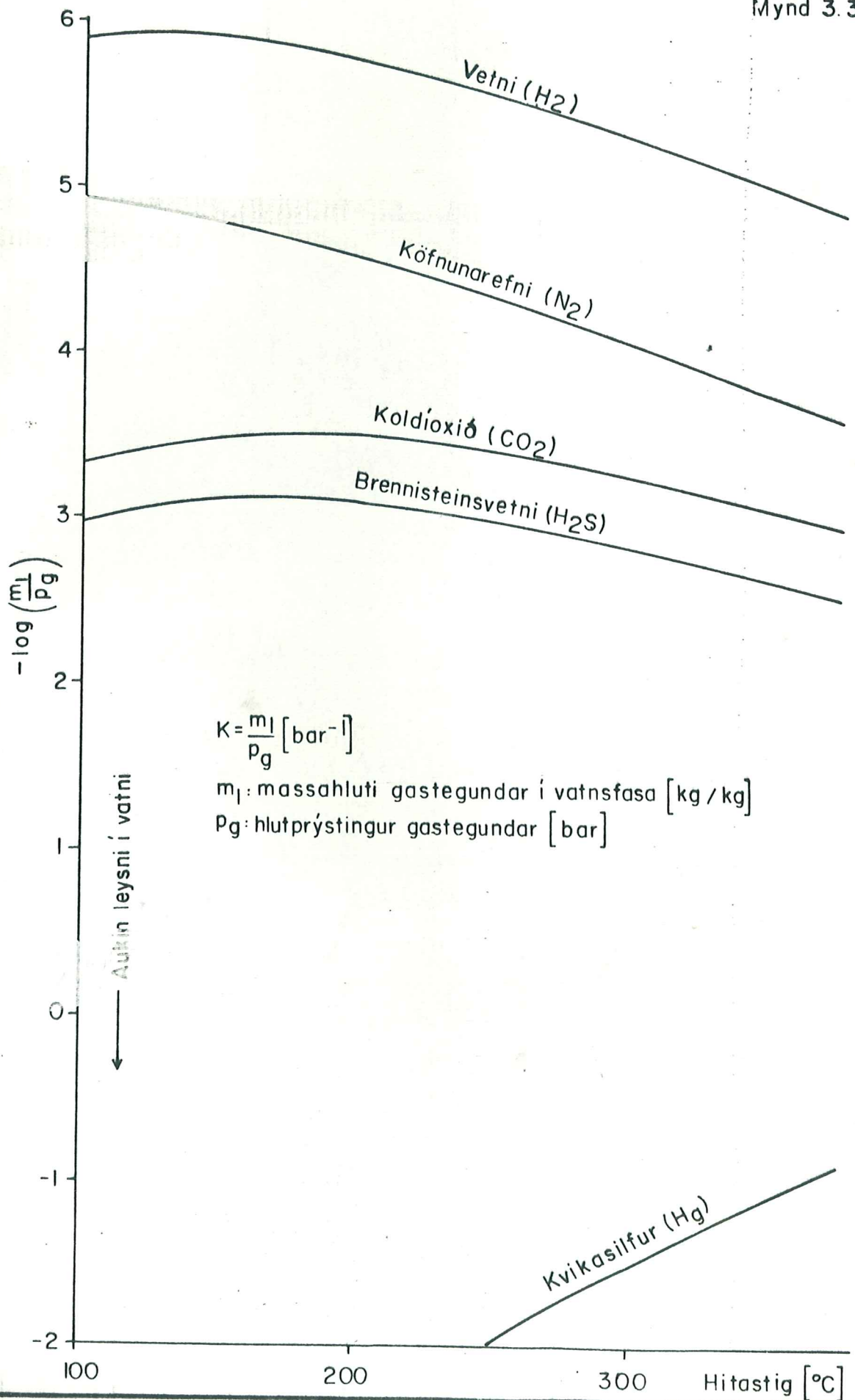


Mynd 3.2.





Mynd 3.3

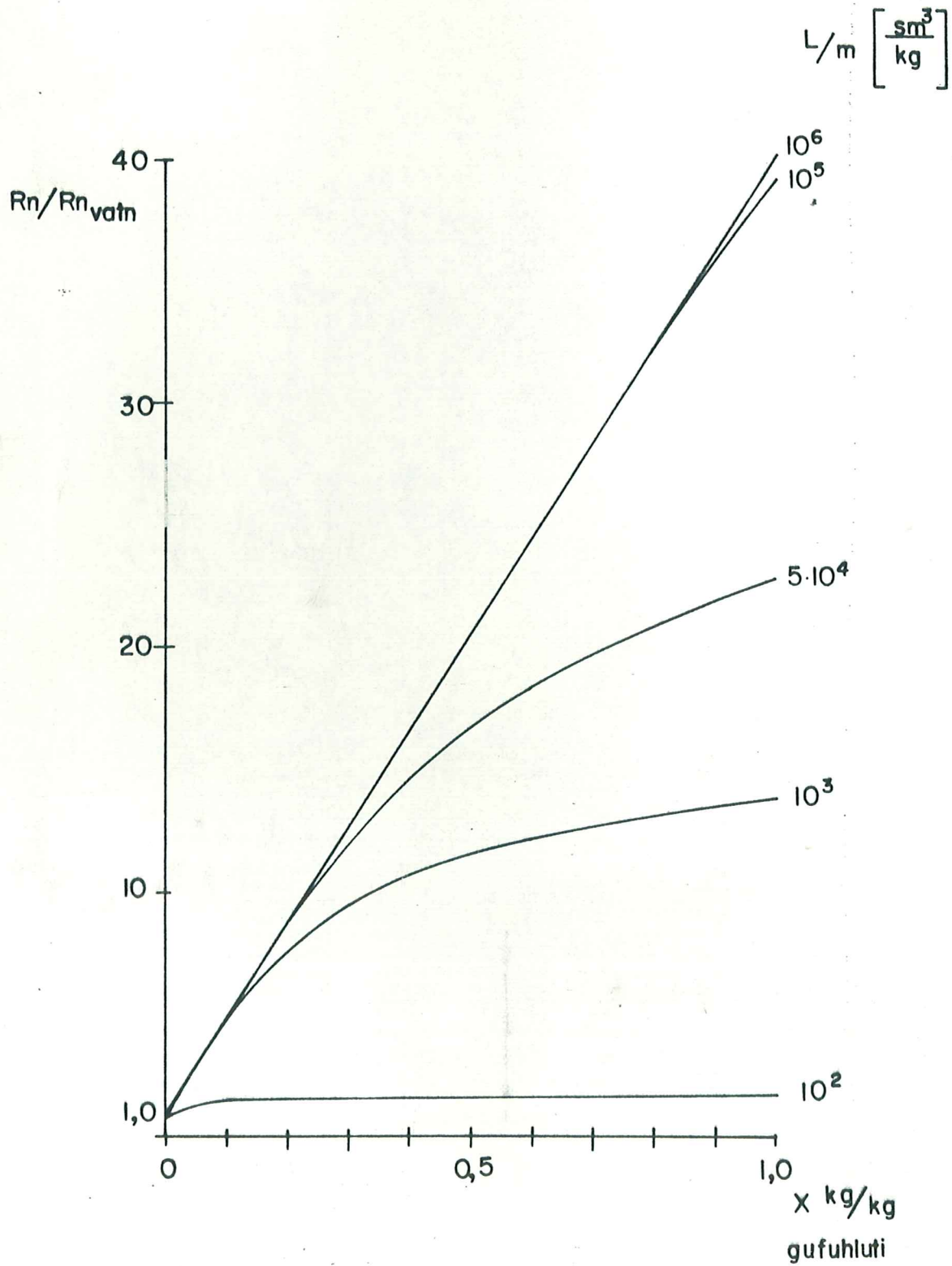




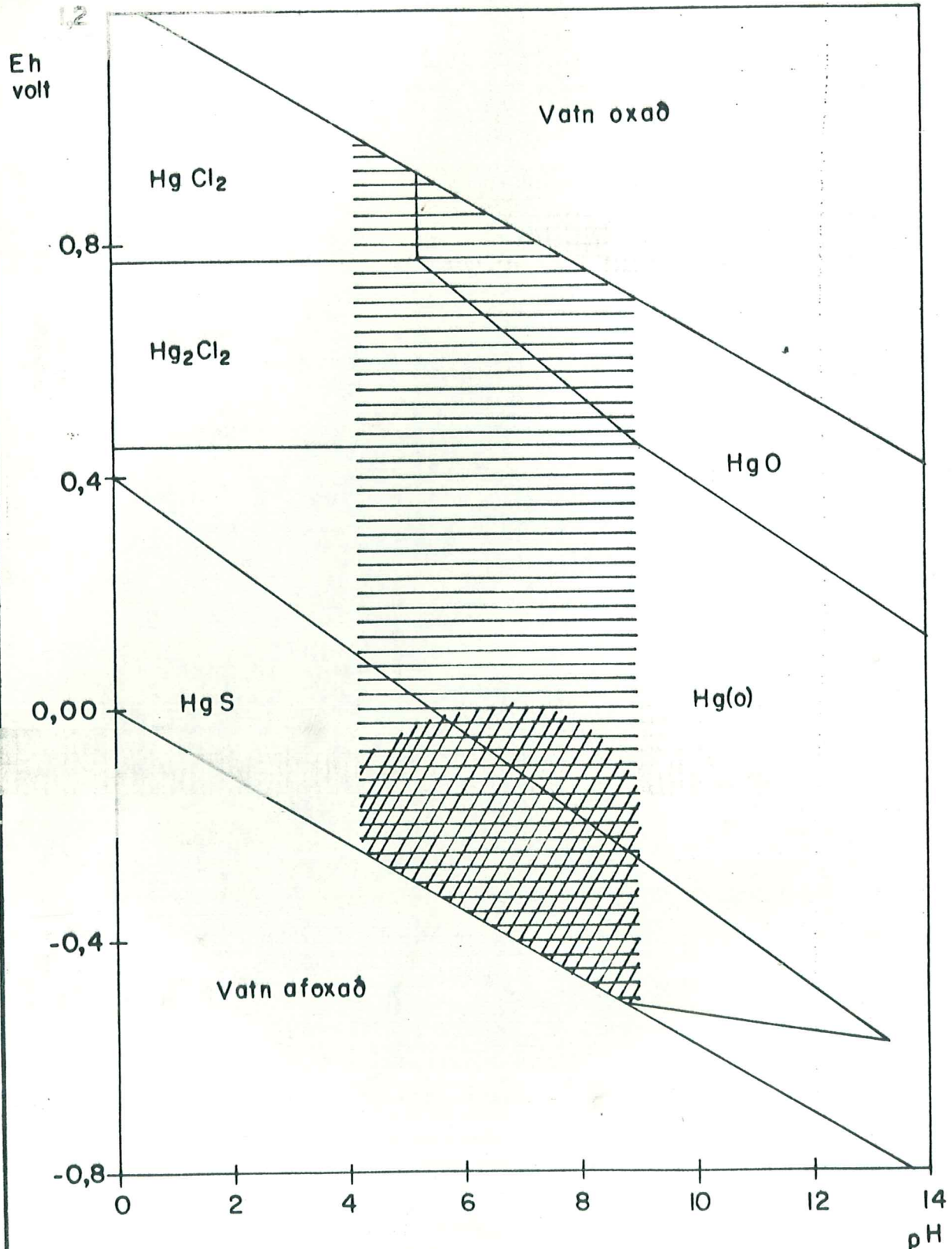
Radon í vatns-gufublöndu við 250°C.

Viðmiðun er kyrrstæður vatnsfasi.

Mynd 3.4.



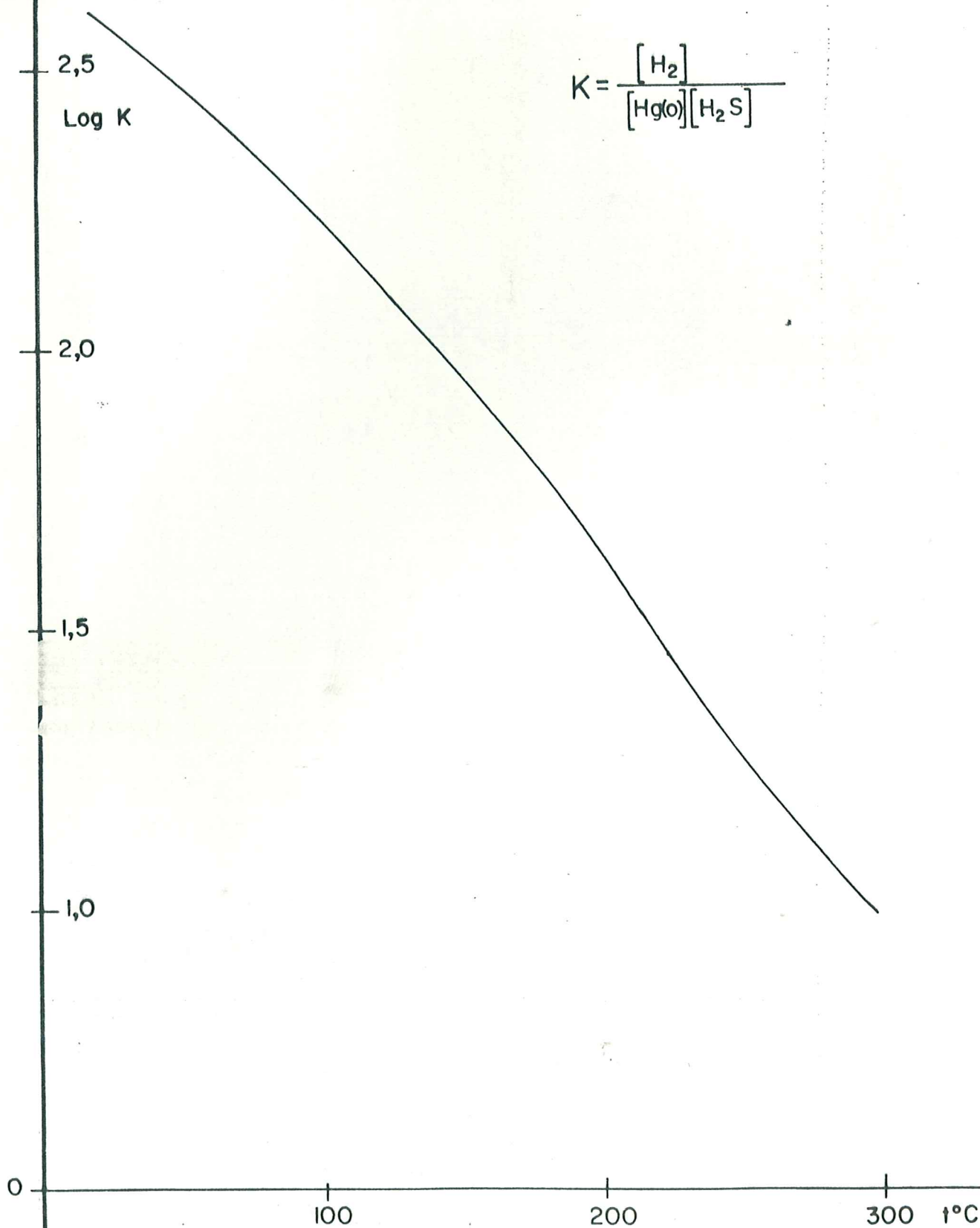
Mynd 3.5.



Einstrikaða svæðið táknar venjuleg mörk Eh og pH
i náttúrunni en tvistrikaða svæðið líkleg mörk i háhitavatni.
(Cl=36ppm og SO₄=96ppm, sjá Hem 1970)

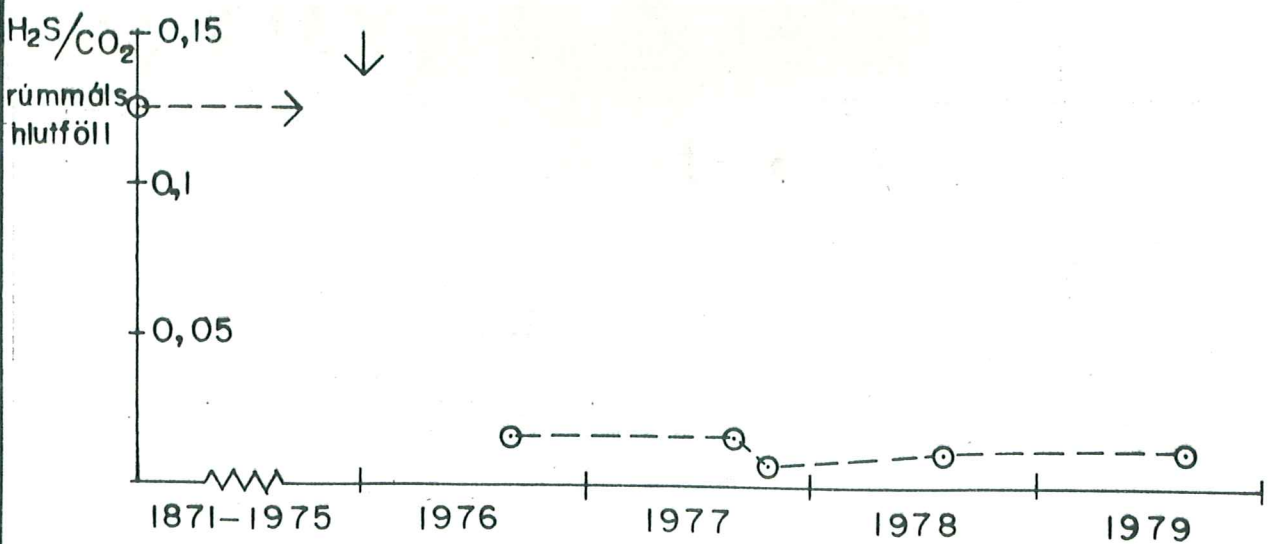
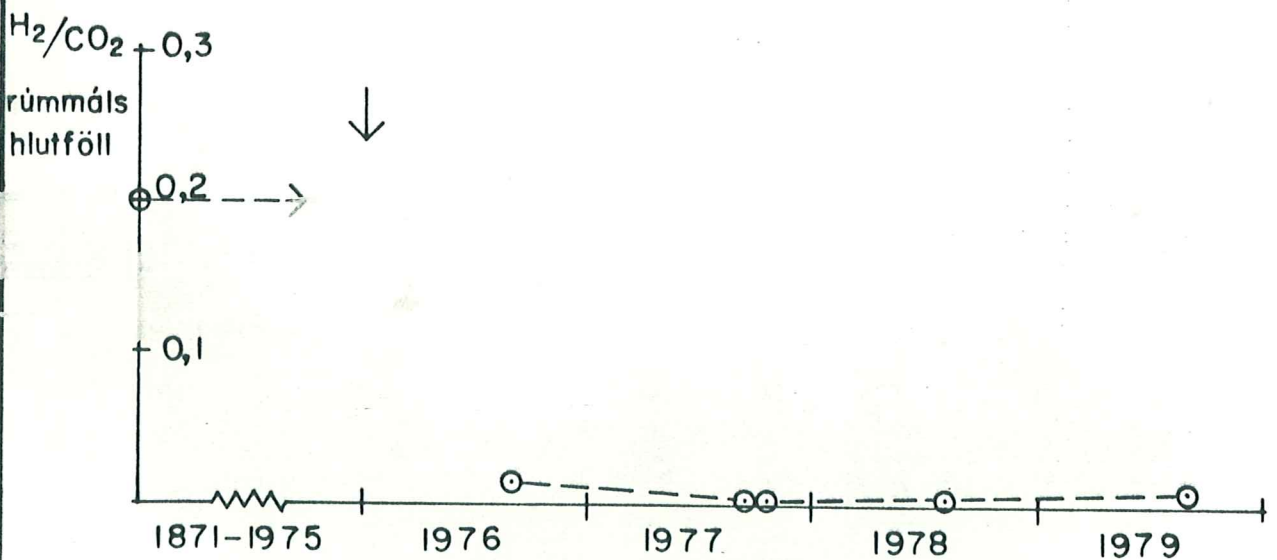
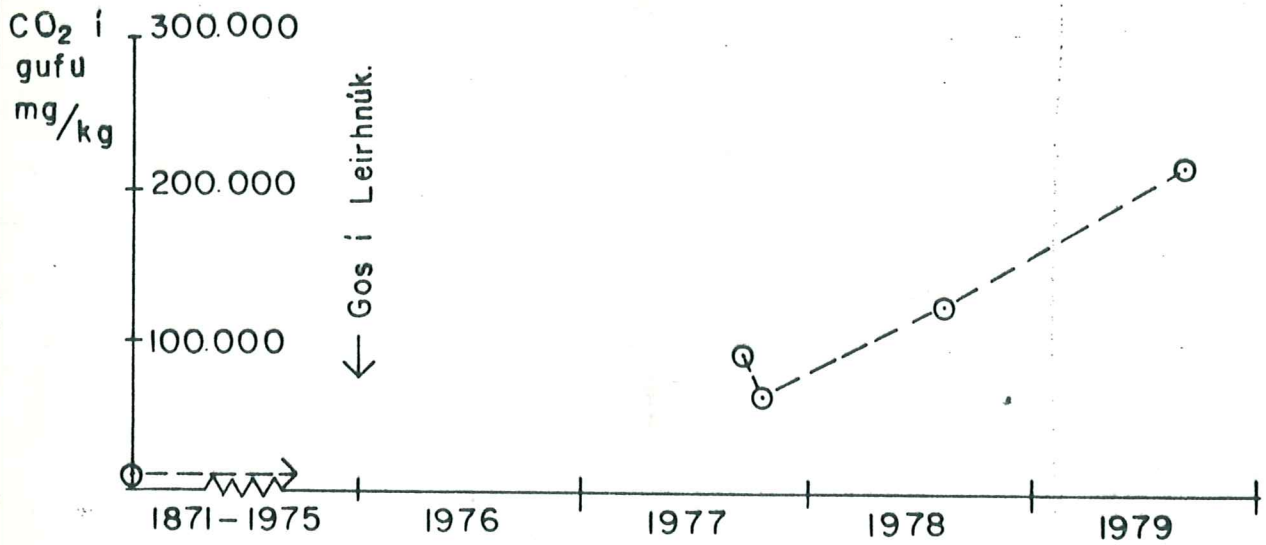


Mynd 3.6.





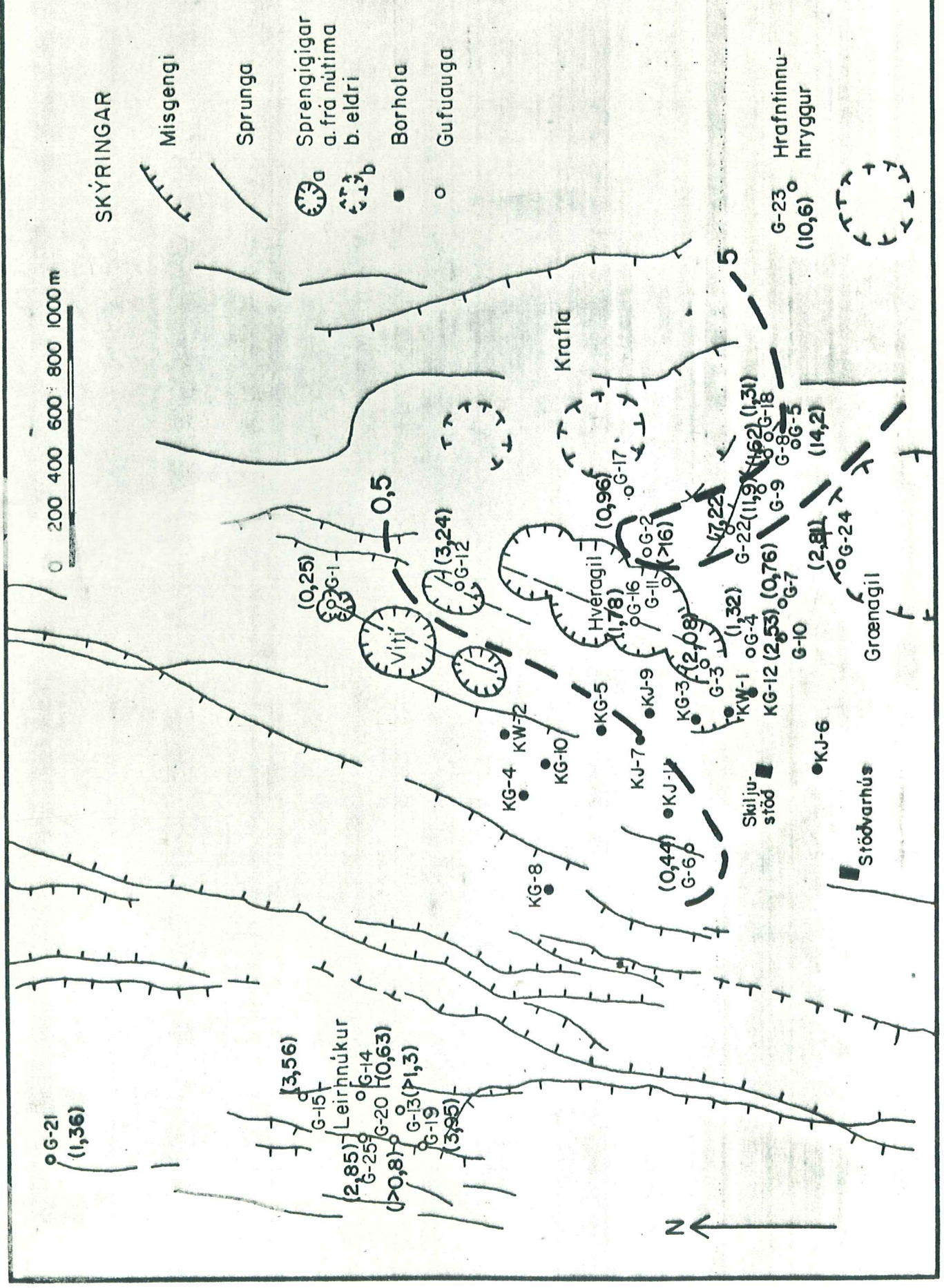
Mynd 4.1.



Na/Cl hlutfall í gufu gufuaugna á Kröflusvæði.

TH/HA/EBF
Krafla. Efnifr.
F-19655

Mynd 5.1.

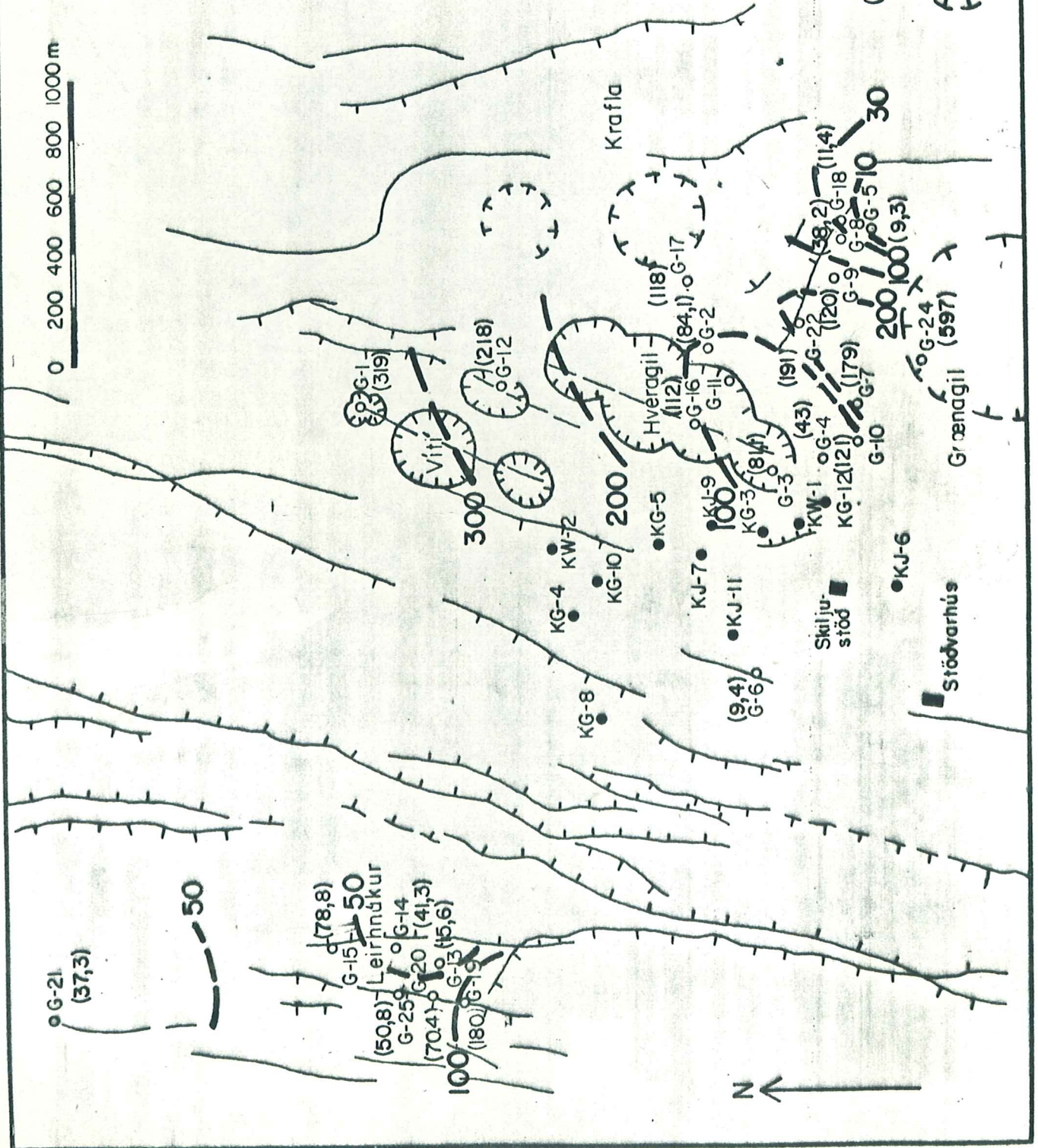




SKÝRINGAR

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

G-23 Hrafninnu-
(79,1) hryggur





ORKUSTOFNUN

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

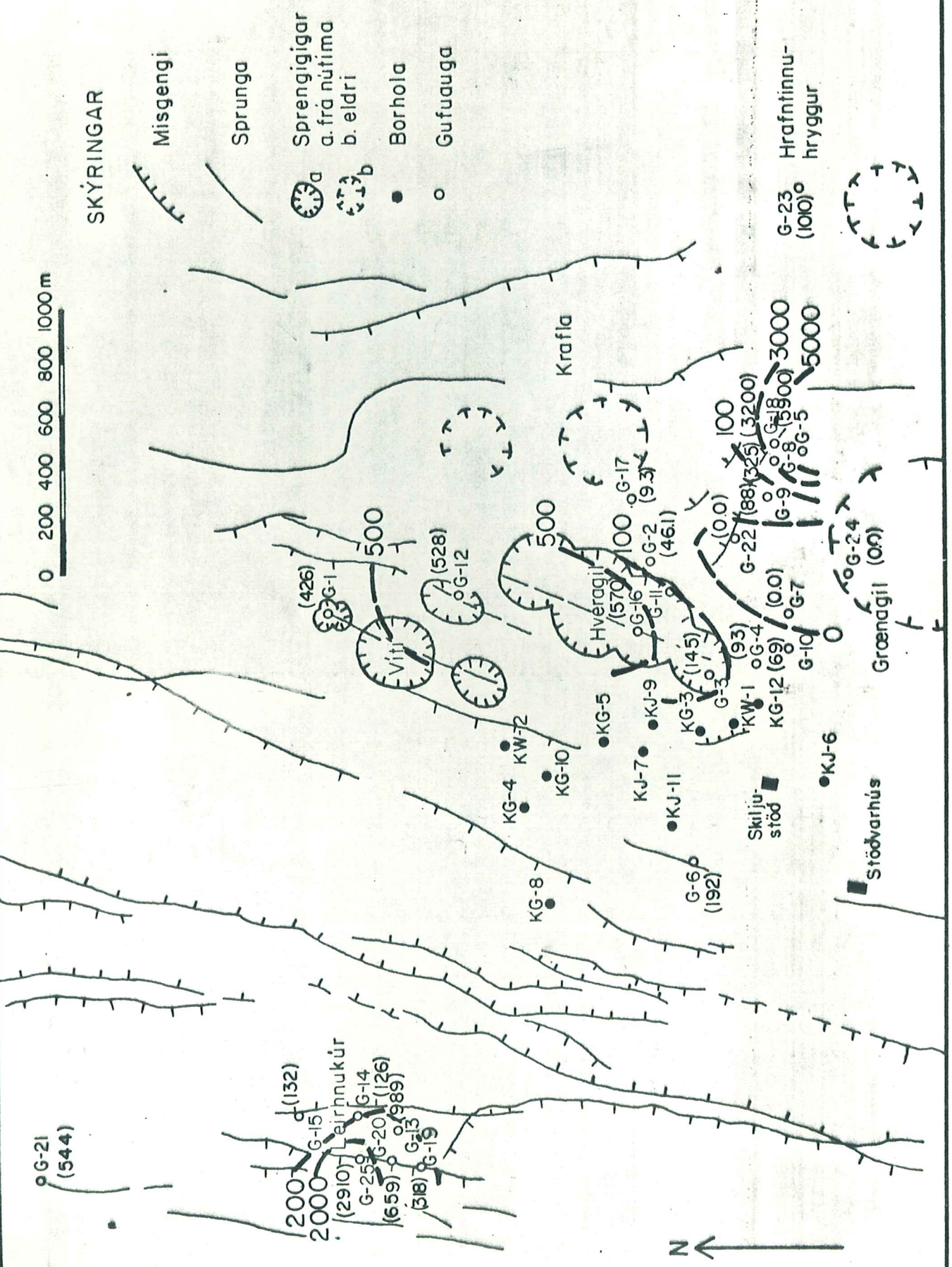
80.05.19

TH-HÁ / A'A

Efnafr.

F 19657

Mynd 5.3



Radonstyrkur (dpm/g) í gufu gufuaugna Kröflusvæðis

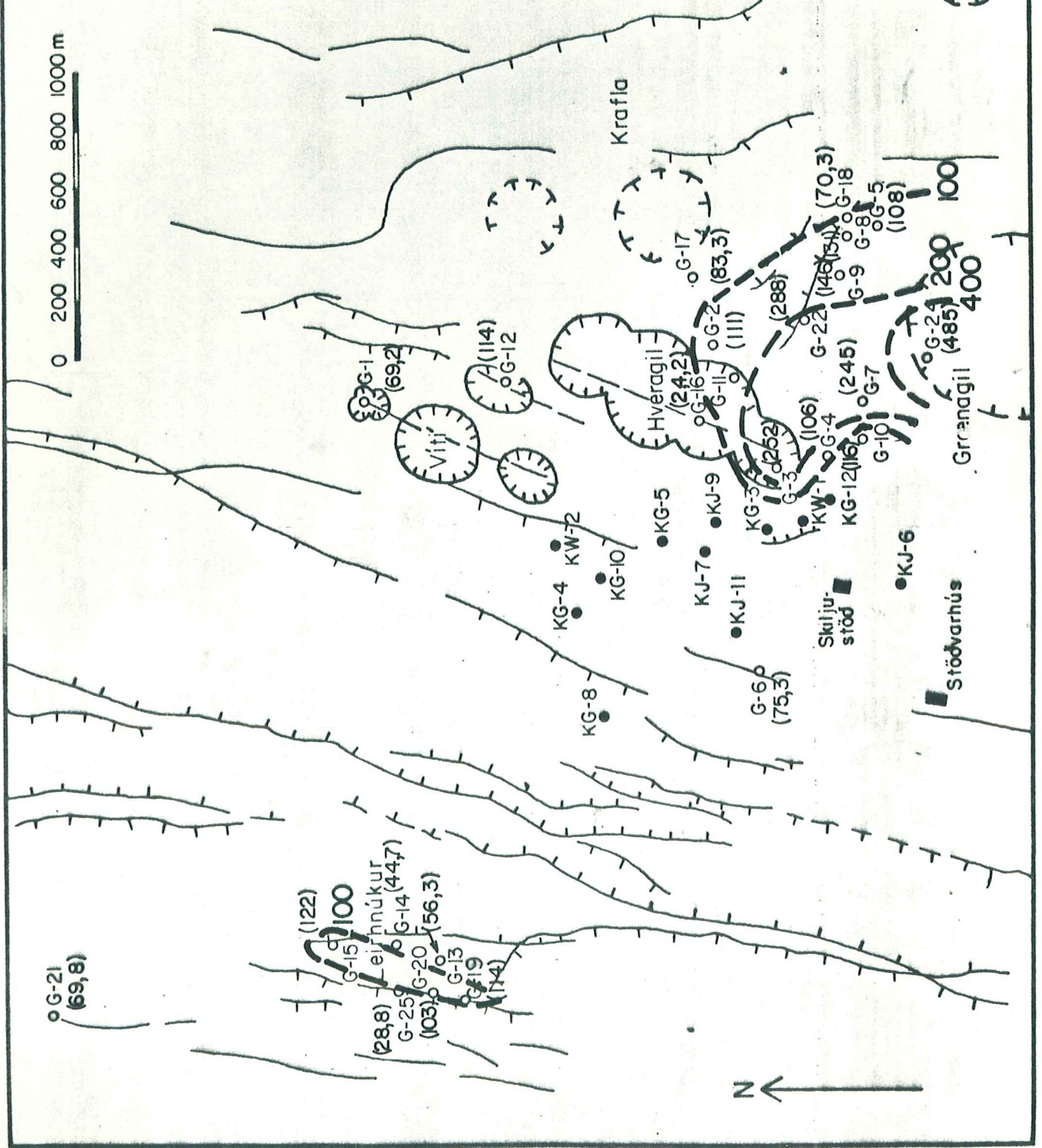
Mynd 5,4

SKÝRINGAR

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

Hrafninnu-
hryggur
G-23
(194)

0 200 400 600 800 1000 m





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

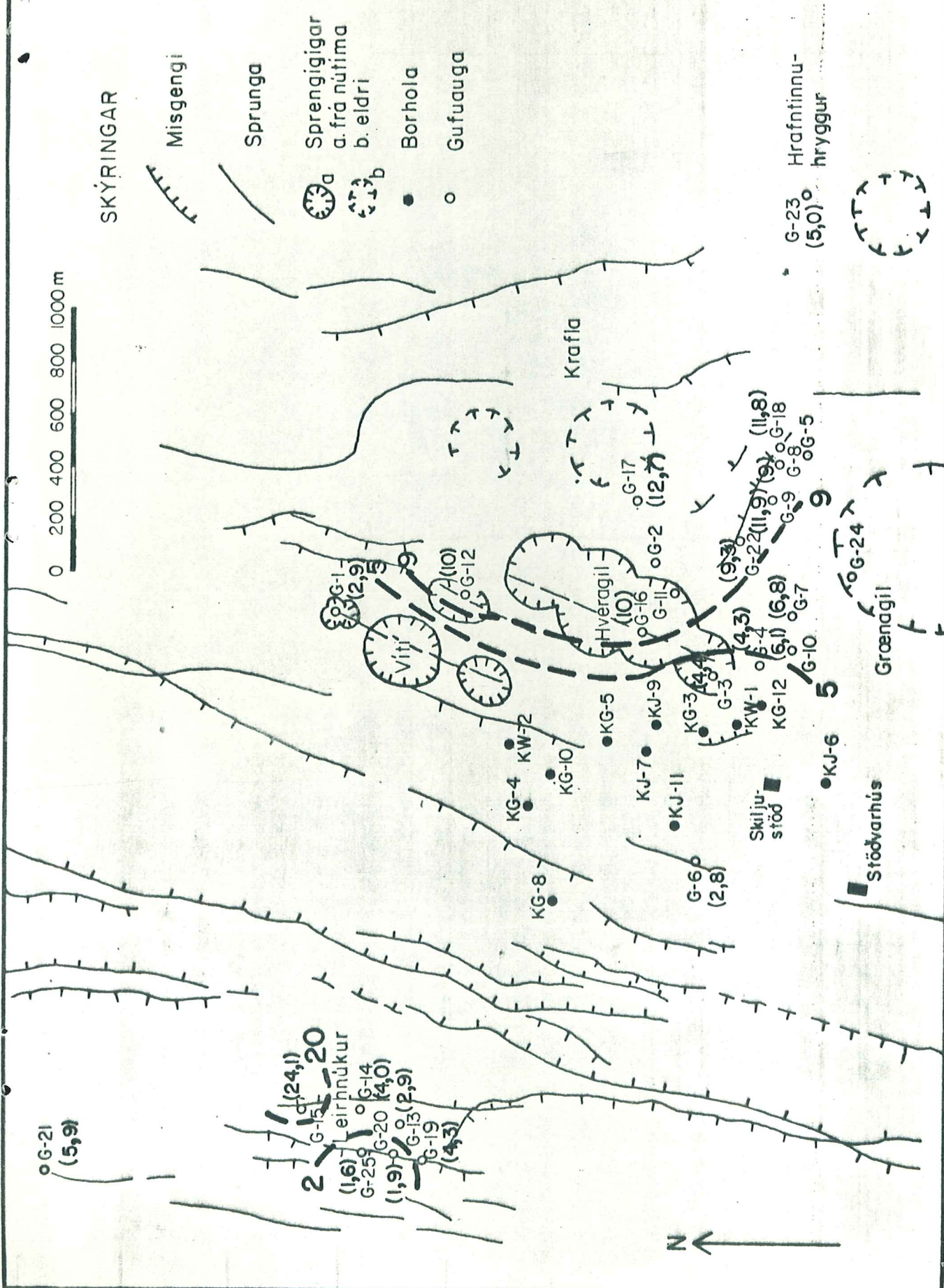
80.05.19.

TH/HA/EBF

Krafla. Efnafr.

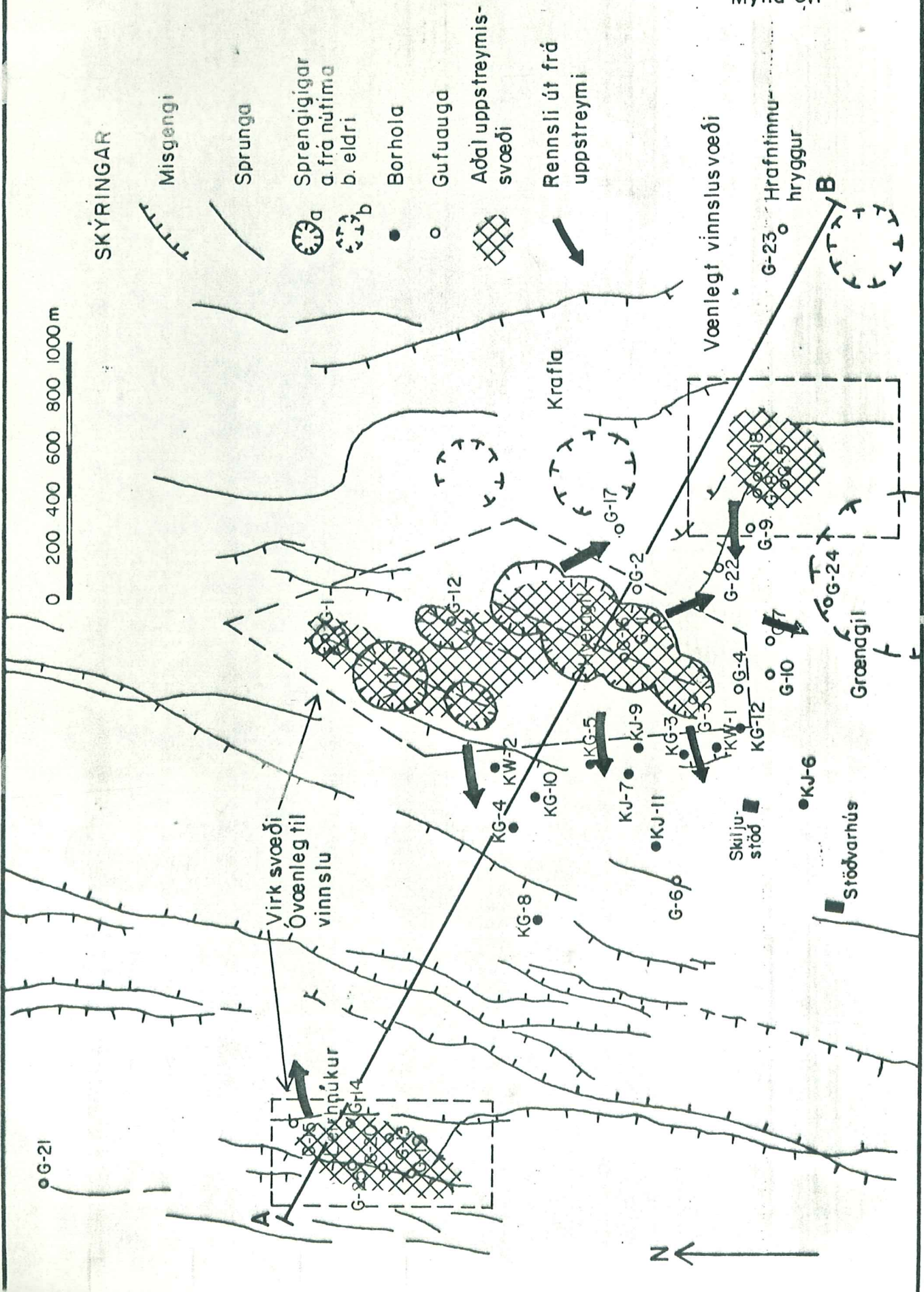
F-19659.

Mynd 5.5.





Mynd 6.1





ORKUSTOFNUN

Þversnið er sýnir rennslisleiðir á Kröflusvoeðinu.
Byggt á gassamsetningu gufu úr gufuaugum

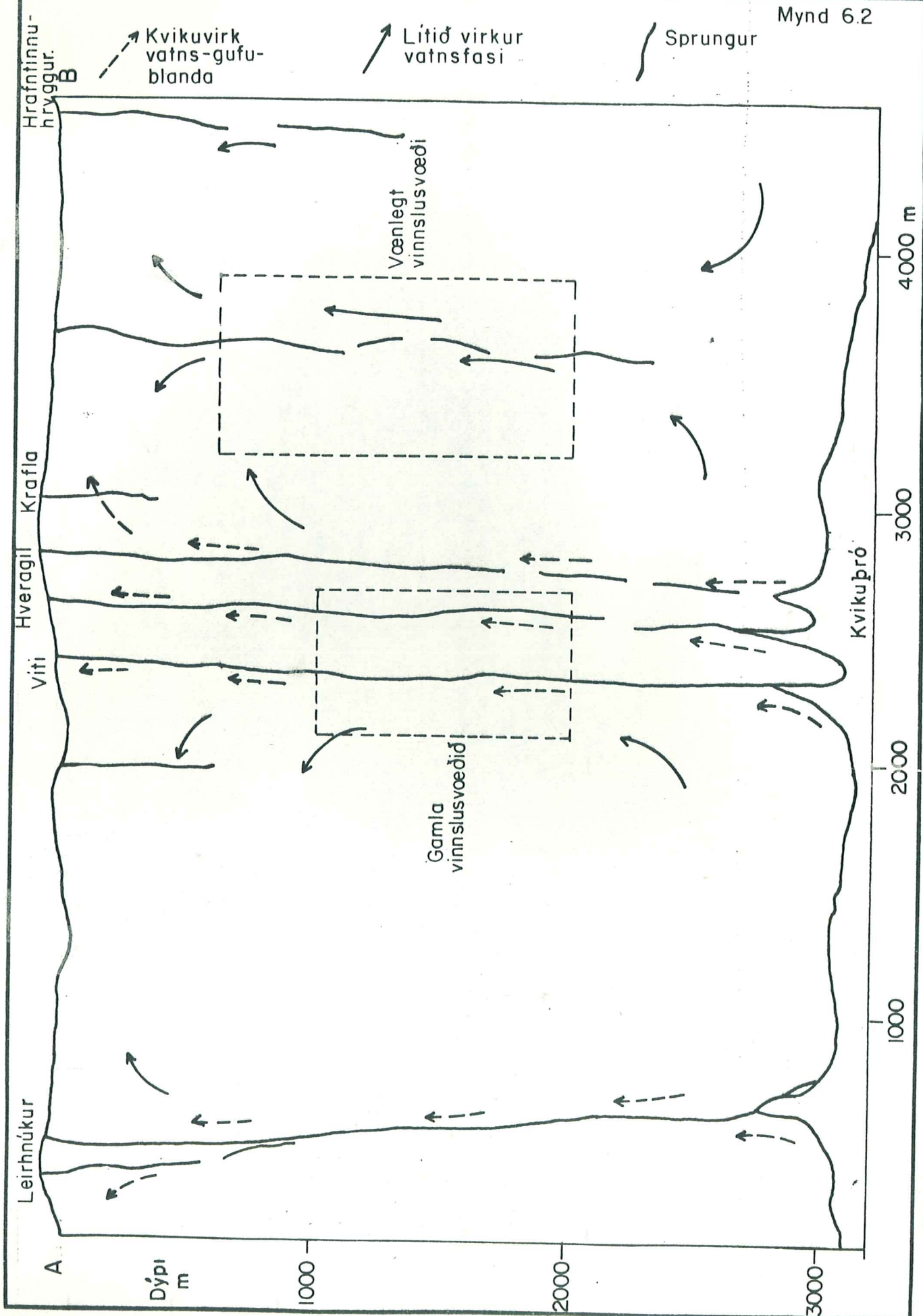
80-05-19

T.H./Sy.J.

Efnafr. Krafla

F19661

Mynd 6.2



Hrafninnu-hryggur.

B

Kvikuvirk vatns-gufublanda

Litið virkur vatnsfasi

Sprungur

Vaenlegt vinnslusvoeði

Hveragil Krafla

Viti

Leirhnúkur

A

Dýpi m

1000

2000

3000

1000

2000

3000

4000 m

Kvikubró

Gamla vinnslusvoeðið