

ORKUSTOFNUN  
Jarðhitadeild

ÁHRIF HRAUNKVIKUNNSKOTS Á EFNAINNIHALD DJÚPVATNS Í KRÖFLU

- FREKARI GUFUÖFLUN -

eftir

Stefán Arnórsson

ORKUSTOFNUN  
Jarðhitadeild

ÁHRIF HRAUNKVIKUNNSKOTS Á EFNAINNIHALD DJÚFVATNS Í KRÖFLU

- FRÉKARI GUFUÖFLUN -

eftir

Stefán Arnórsson

## INNGANGUR

Eins og áður hefur komið fram í skýrslu frá Orkustofnun frá því í júní, 1976, eftir Stefán Arnórsson og Gest Gíslason, varð vart við mikla aukningu á gasi í holu 3 í Kröflu, nokkru eftir að eldgosið braust út í gossprungunni við Leirhnúk í desember, 1975. Á sama tíma kom í ljós, að vatn frá holu 4 varð mjög súrt, en áður hafði holan sprengt af sér holulokann, svo ógerlegt var að ná sýnum af gasi og komast að því, hvort jafnmikið gas fylgdi rennslinu úr holu 4 og orðið hafði með holu 3. Athuganir á efnainnihaldi vatns og gufu úr þessum holum fyrir gos, sýndu að það var alveg sambærilegt við það, sem annars staðar var þekkt fyrir háhitavatn með lága seltu eins og í Námafjalli og á Nesjavöllum. Orsökkin fyrir hinni miklu gasaukningu var talin vera innskot af hraunkviku, sem hefur troðið sér inn í jarðhitakerfið. Hefur þetta innskot líklega myndast í sömu kvikuhrinunni og gosið varð. Þó er það ekki víst. Gæti verið um fleira en eitt innskot að ræða.

## EFNAJAFNVÆGI Í HÁHITAVATNI - RÖSKUN ÞEIRRA VEGNA KVIKUINNSKOTSINS

Nýjar athuganir hafa sýnt, að efnainnihald í djúpvatni á þeim háhitasvæðum, sem borað hefur verið í hér á landi, ræðst að miklu leyti af efnajafnvægjum við steintegundir í berginu. Þannig er djúpvatn á háhitasvæðum, sem ekki hefur soðið í uppstreymisrásum, mettað af kalki (kalsíti) og járnsúlfíði (pyrrhótíti) og sýrustig þess ákveðst af jónaskiptajafnvægjum, þannig að ákveðið innihald uppleystra efna og ákveðið hitastig ákveða sýrustig vatnsins. Við streymi kolsýru frá kvikuinnskotinu röskuðust öll þessi jafnvægi. Þannig er vatnið nú undirmettað af kalki og járnsúlfíði og sýrustig þess lægra en svarar til jónaskiptajafnvægisins. Greinilegt er, að dvalartími vatnsins í jarðhitageyminum eftir blöndun við kolsýru er ekki nægilegur til þess að jafnvægi náist að nýju. Út úr myndum 1-3 má lesa þær breytingar, sem orðið hafa fyrir áhrif kolsýruaukningarinnar.

ÁHRIF SUBU Í BERGGRUNNI OG Í BORHOLUM Á EFNAEIGINLEIKA VATNS OG  
GUFU GAGNVART TÆRINGU

Við suðu á djúpvatni, hvort heldur sem hún verður í berggrunni eða borholum, hækkar sýrustig (pH) vatnsins. Þetta ræðst af því að kolsýra og brennisteinsvetni, sem eru í vatninu, rjúka úr því og í gufunu, sem myndast. Þessi sýrustigshækkun hefur í för með sér aukningu á karbónati ( $\text{CO}_3^{--}$ ) og súlfíði ( $\text{S}^{--}$ ). Aukningin leiðir til yfirmettunar á kalki og járnsúlfíði og veldur einhverri útfellingu. Útfelling kalks getur þó verið takmörkuð við tiltölulega hátt hitastig, þar sem uppleysanleiki kalks fer vaxandi með lakkandi hita. Á hinn bóginn er útfelling járnsúlfíðs ekki takmörkuð við neitt ákveðið hitastig eftir að suða hefst, þar sem uppleysanleikinn minnkar með lakkandi hitastigi. Reynslan við nýtingu jarðgufu í Námafjalli og víðar hefur sýnt, að útfelling járnsúlfíðs innan á leiðslur myndar hlífðarskán, sem er hörð og binst rörinu vel og hindrar því frekari tæringu.

Þær breyttu aðstæður, sem orðið hafa fyrir áhrif kolsýruaukningarinnar, valda því að járnsúlfíð fellur ekki út, þegar vatnið sýður og er því ekki um það að ræða, að útfellingarkápa myndist, sem varni frekari tæringu. Djúpvatnið, sem nú er orðið undirmettað af járnsúlfíði fyrir áhrif kolsýruaukningarinnar í vatninu, leitast við að skola út jární svo mettun þ.e. jafnvægi, skapist að nýju. Þótt jafnframt útskolun járns yrði um einhverja útskolun súlfíðs að ræða, eyddist þetta súlfíð jafnharðan með breytingu yfir í bísúlfíð ( $\text{HS}^-$ ). Nálgun til jafnvægis verður því með útskolun járns eingögnu. Ekki verður séð að rekja megi hvort þessi útskolun járns verði í berggrunni eða fóðurrörum, eða hvorutveggja. Meðan svo er, verður að gera ráð fyrir því, að útskolun geti átt sér stað úr öllu því efni, sem vatnið kemst í snertingu við. Útskolun járns úr fóðurrörum táknar eðlilega tæringu.

Sú skýring hefur verið sett fram, að járnsúlfíðskánin, sem jafnan myndast innan á leiðslum, sem vatn og gufa streyma um, verði til fyrir efnahvörf milli brennisteinsvetnis og járns. Sé svo binst það járnstrax, sem losnar undir venjulegum kringumstæðum, þar sem háhitavatnið var mettað eða jafnvel yfirmettað fyrir. En þar sem kolsýruríka vatnið

í Kröflu er undirmettað af járnsúlfíði hefði efnahvarf af þessu tagi í för með sér útskolun járns, þ.e. tæringu. Eigi efnahvarf milli járns í leiðslum og brennisteinsvetnis sér stað, þar sem eingöngu streymir gufa, er ekki ástæða til að óttast tæringu, því uppleysanleiki járnsúlfíða í gufu er sem næst núll og getur járn því ekki farið í lausn. Hins ber þó að gæta, að gufa, sem skilin er frá háhitavatni, er aldrei 100% hrein og gefa aðeins beinar prófanir fullnægjandi svar við því, hvort gufa, sem skilin yrði frá hinu kolsýruríka vatni í Kröflu, verði tærandi á leiðslur eða ekki.

Hinn hái styrkur járns, sem mælt hefur í hinu kolsýruríka borholuvatni, stafar af útskolun þess úr bergi og/eða fódurrörum. Alla jafna er járn magn í háhitavatni mjög lítið eða af stærðargráðunni 0.01 ppm, ef dæma má eftir þeim takmörkuðu gögnum, sem fyrir hendi eru. Í háhitavatninu í Kröflu hefur nú hins vegar mælt um 25 ppm af járn. Hið lága járn magn takmarkar magn útfellinga af járnsúlfíði. Svertan í hinu kolsýruríka borholuvatni í Kröflu stafar af járnsúlfíð útfellingu og er hún svona mikil vegna þess að í vatninu er bæði mikið súlfíð og járn. Eins og áður er getið, minnkar uppleysanleiki járnsúlfíðs með lækandi hitastigi og er því eðlilegt að útfellingin verði þeim mun meir áberandi sem hitastig vatnsins er lægra. Vitneskja um uppleysanleika pýrrótits og annarra járnsúlfíða er það takmörkuð, að ekki er gerlegt að spá með neinni vissu um hitastig mettnar út frá mældu járn- og súlfíð magni í vatninu.

#### ÚTFELLINGAR KÍSILS ÚR NÚVERANDI KOLSÝRUVANTI

Lækkun sýrustigs á borholuvatninu, sem kolsýruaukningin er valdur að, breytir útfellingarmörkum til hins verra. Er rétt að miða við efsta ferilinn á mynd 4, í stað miðferilsins sem áður átti við. Útfellingar af járnsúlfíði stækka mjög yfirborð milli fastra efna og vatns og valda á þann hátt auknum hraða útfellinga. Miðað við 265 - 270°C kísilhita, eða hliðstætt því, sem fundist hefur í holum 6, 7 og 10, verður að gera ráð fyrir því, að kísilútfellingar byrji við nálægt 9 ata þrýsing (mynd 4). Svarar það til 175°C. Af þessum ástæðum sýnist

mér, að núverandi borholuvatn sé óhæft til nýtingar á lágþrýstiprep gufuveitu. Þá verður að prófa sig áfram með það með fyllstu varúð, hvort unnt sé að nýta borholur, sem vinna neðan við 9 ata þrýsting á holuloka meðan vatnið hefur núverandi samsetningu. Mikil hætta er á því, að kísilútfellingar í holutoppi og ventilsætum gerðu holuloka-búnaðinn óvirkan, þannig að ekki yrði unnt að loka holunni.

#### RÁÐLEGGINGAR VEGNA TÆRINGARHÆTTU

Hér að framan hefur verið gerð nokkur grein fyrir þeim breytingum jarðefnafræðilegum, sem orðið hafa á háhitavatninu í Kröflu fyrir áhrif kvikuinnskots og valdið því, að nú er hætta á, að vatnið sé alvarlega tærandi. Jarðefnafræðileg úttekt gefur aðeins skýringu á því, hverjar breytingar hafa orðið á vatninu, en metur ekki tæringarhættuna. Legg ég eindregið til, að leitað verði álits túrbínuframleiðenda og framleiðenda efnis í fódurrörum og gufuveitu um tæringarhættu af kolsýruvatninu. Sem leikmanni á sviði tæringa þykir mér einsýnt, að holuvatnið er alvarlega tærandi, þar sem það inniheldur 100 - 200 ppm af óbundinni kolsýru (mynd 5), en gjarnan er miðað við 0.2 ppm eða "ekkert". Útlit er fyrir, að þetta vatn verði ekki nýtt vegna þessa. Ég tel einnig nauðsynlegt að leitað verði álits tæringarsérfræðinga, annarra en framleiðenda efnis, um tæringarhættu.

#### RÁÐLEGGINGAR UM FRAMHALD BORANA

Verði álit tæringarsérfræðinga á þá leið, að núverandi vatn og gufa sé ónothæf vegna tæringarhættu fyrir allt það efni, sem til staðar er og aðgengilegt er að kaupa vegna kostnaðar, legg ég til að öllum borunum verði frestað, þar til athuganir sýna, að efnainnihald vatns og gufu hafi breyst í viðunandi horf fyrir það efni í fódurrörum og leiðslum, sem fært er að nota. Skiptir meginmáli í því sambandi að fylgjast sem best með breytingum á efnainnihaldi í borholum og koma á laggirnar náinni samvinnu þeirra aðila, sem annast jarðvísindalegar rannsóknir á borholunum og þeirra, sem taka skulu upp tæringarathuganir, og meta

tæringareiginleika vatns og gufu gagnvart því efni, sem er í gufuveitunni sem öðrum mannvirkjum.

Ég tel nauðsynlegt að vera viðbúinn því, að viðunandi ástand verði hvað tekur til tæringarhættu vorið 1977 og þanta þar með fódurrör og annað, sem til borana þarf. Við ákvörðun um áframhaldandi boranir 1977, þarf líka að taka tillit til mats jarðvísindamanna á framhaldi jarðhræringa. Slíkar hræringar geta valdið því, að fódurrör slitna og holur eyðileggist af þeim sökum. Slitnun á fódurröri getur enn fremur leitt til gufusprengingar, hliðstætt þeirri, sem varð í október, 1976.

Eigi jarðhræringar sér enn stað næsta vor og séu ekki nein merki um lát á þeim og nýting vatns og gufu ófær vegna tæringarhættu, legg ég til, að ekki verði borað 1977. Verði efnaeiginleikar vatns og gufu hins vegar viðunandi hvað viðkemur tæringu og jarðhræringahrinan um garð gengin að mati jarðvísindamanna, legg ég til, að boraðar verði 3 reynsluholur sumarið 1977. Vegna sveigjanleika til að laða sig að útkomu borana, tel ég þó óvarlegt að binda efniskaup við 3 holur, fremur 4-5. Skulu þessar holur staðsettar á grundvelli niðurstaða jarðhitafræðilegra athugana á svæðinu. Sýnist mér, að allt hnigi í þá átt að borað skuli uppi á brekkunni umhverfis holu 4.

Hér er orðið reynsluhola notað til þess að leggja áherslu á það viðhorf mitt, að sá framkvæmdamáti að vinna samhliða að borunum, byggingu gufuveitu og stöðvarhúss sé rangur, enda samræmist hann ekki á neinn hátt þeim vinnuaðferðum, sem reynslan hefur mótað og kennt um byggingu jarðgufuvirkjana. Reynsluhola er hönnuð sem vinnsluhola og að því stefnt í öllum undirbúningi, að hún geti nýst sem vinnsluhola. Ber að leggja áherslu á það, að borun fyrstu vinnsluhola, þ.e. reynsluhola, fela í sér öflun upplýsinga og niðurstöður þeirra veita vitneskju, sem leggja verður til grundvallar við lagningu gufuveitu og hönnun á ýmsum tækjabúnaði tilheyrandi stöðvarhúsi.

## EFTIRMÁLI

Að lokum vil ég láta í ljós efa minn á réttmæti þeirra tveggja sjónarmiða, sem mestu hafa ráðið við ákvarðanatöku um áframhaldandi framkvæmdir í Kröflu eftir að upphafleg tímaáætlun um framkvæmdahraða var gerð og ákvörðun um túrbínukaup tekin. Annað sjónarmiðið er þetta: Nauðsynlegt er að gera tilraun til þess að samræma staðsetningu borhola við lagningu gufuveitu og bortæknivandamál. Í stað þess tel ég, að staðsetning og dýpi borhola eigi aðeins að ráðast af jarðhitafræðilegum sjónarmiðum. Séu bortæknileg vandamál fyrir hendi, ber að leysa þau fyrst. Gufuveitu skal ekki byrja að leggja fyrir en að loknum borunum. Ofan nefnt sjónarmið má skoða sem tilraun til lausnar, eftir að ákvörðun hafði verið tekin um samhliða framkvæmdir við byggingu stöðvarhúss, gufuveitu og boranir. Hitt sjónarmiðið er þetta: Hin mikla fjárfesting í Kröflu réttlætir af hagkvæmniástæðum að halda áfram framkvæmdum, þar sem ekki liggur fyrir nein sönnun þess, að ógerlegt sé að standa við framkvæmdaáætlun af einhverjum ástæðum. Til þess að komast að niðurstöðu á grundvelli hagkvæmni, þarf vissulega að meta alla þætti, sem máli skipta, hvort sem þeir eru sannanlegir eða ekki. Hvað viðkemur gufuöflun, þá verður ekkert sannað í því efni, nema að borunum loknum. Hagkvæmnimatið til þessa hefur því naumast verið rétt.

Ég er þeirrar skoðunar, að hinn tiltölulega lélegi árangur borana á árinu 1976 stafi af því, að við staðsetningu borhola var að nokkru tekið tillit til þess hvar gufuveitan yrði lögð, að nokkru til bortæknilegra sjónarmiða og að nokkru til jarðhitafræðilegra niðurstaða. Auk þess var borað með tveim borum, þannig að við staðsetningu nýrra holu voru jarðhitafræðilegar upplýsingar af alltof skornum skammti til þess að þessi staðsetning teldist ekki meira eða minna óljós. Ég er þeirrar skoðunar, að vinnubrögð við gufuöflun í Kröflu komist ekki á réttan kjöl, fyrr en það sjónarmið er að fullu viðurkennt, að boranir skuli grundvallast á jarðhitafræði, bæði hvað viðkemur staðsetningu, dýpi og hraða borframkvæmda. Með þessum vinnubrögðum sé gufuöflun líka öruggust og ódýrust.





Kalsítmettunarstig í vatni í holu 3 í Kröflu fyrir og  
eftir gosið við Leirhnúk, 1975

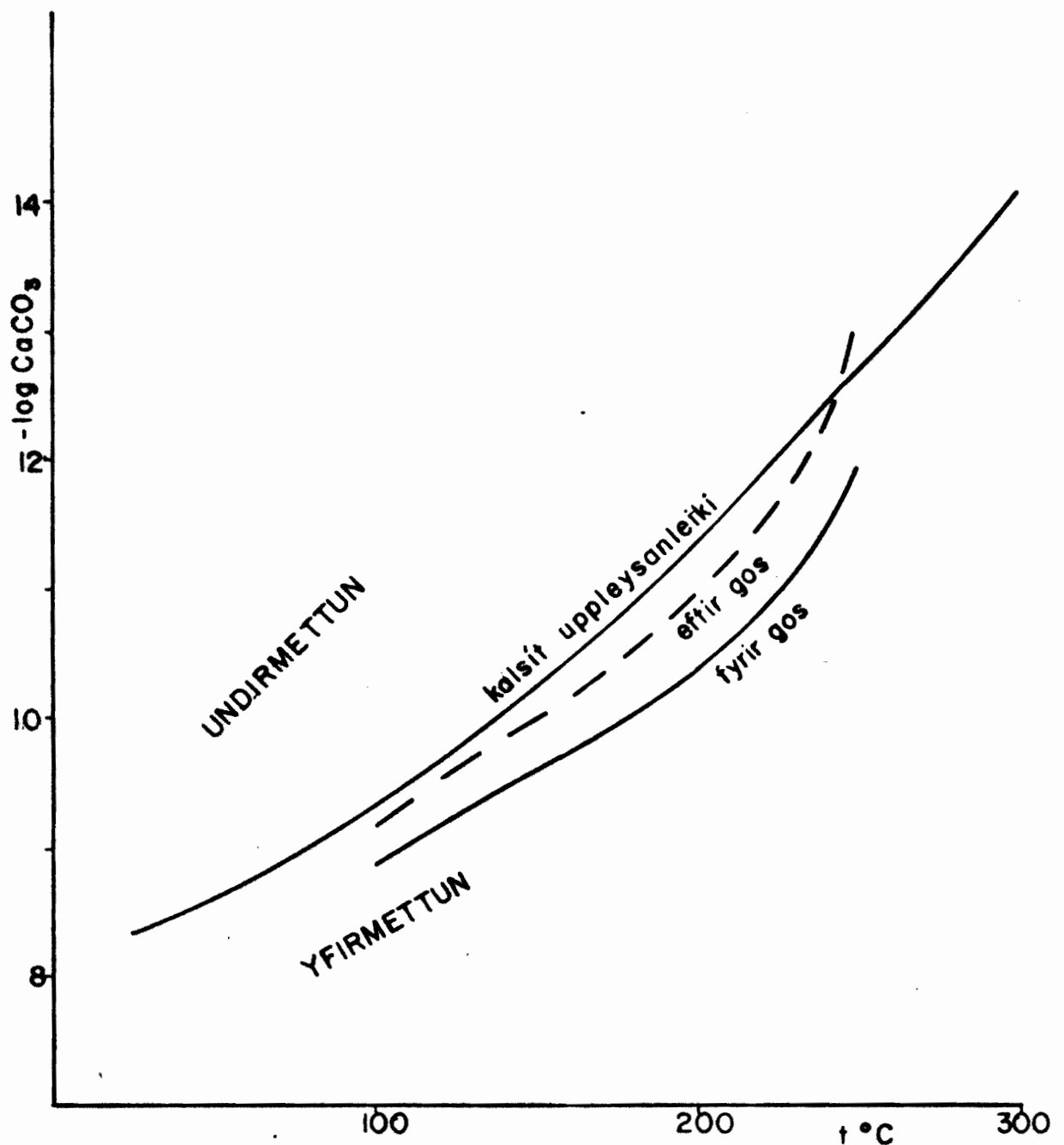
T264

Krafla

F 15122

MYND I

Ferlarnir sýna mettnarstig kalsíts fyrir og eftir gos.  
Gert er ráð fyrir eins þreps innrænni suðu og  
fullkominni aflöftun.





Járnsúlfið (pyrrhótít) mettnarstig í vatni í holu 3  
í Kröflu fyrir og eftir gosið við Leirhnúk, 1975

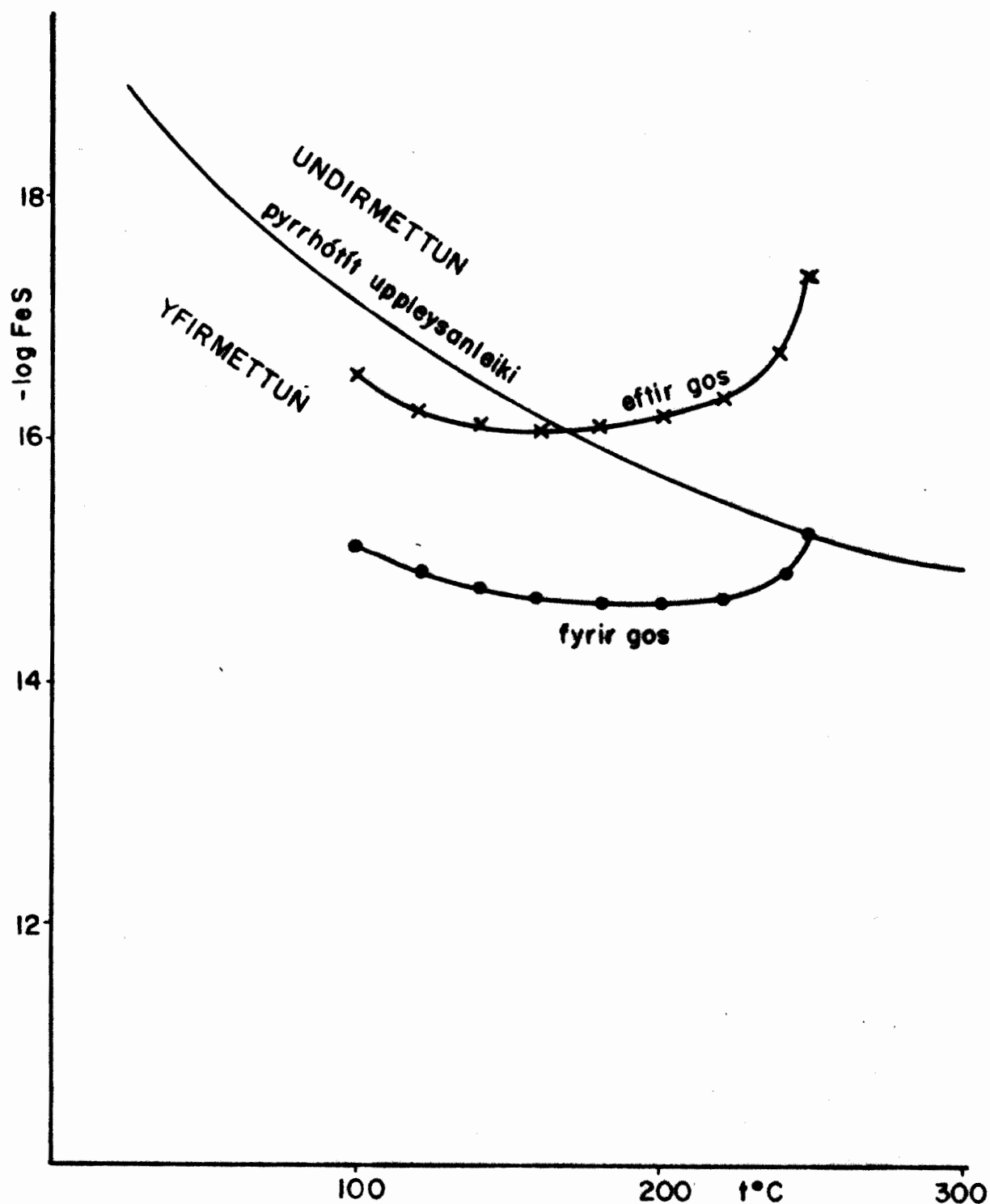
T 265

Krafla

F15123

MYND 2

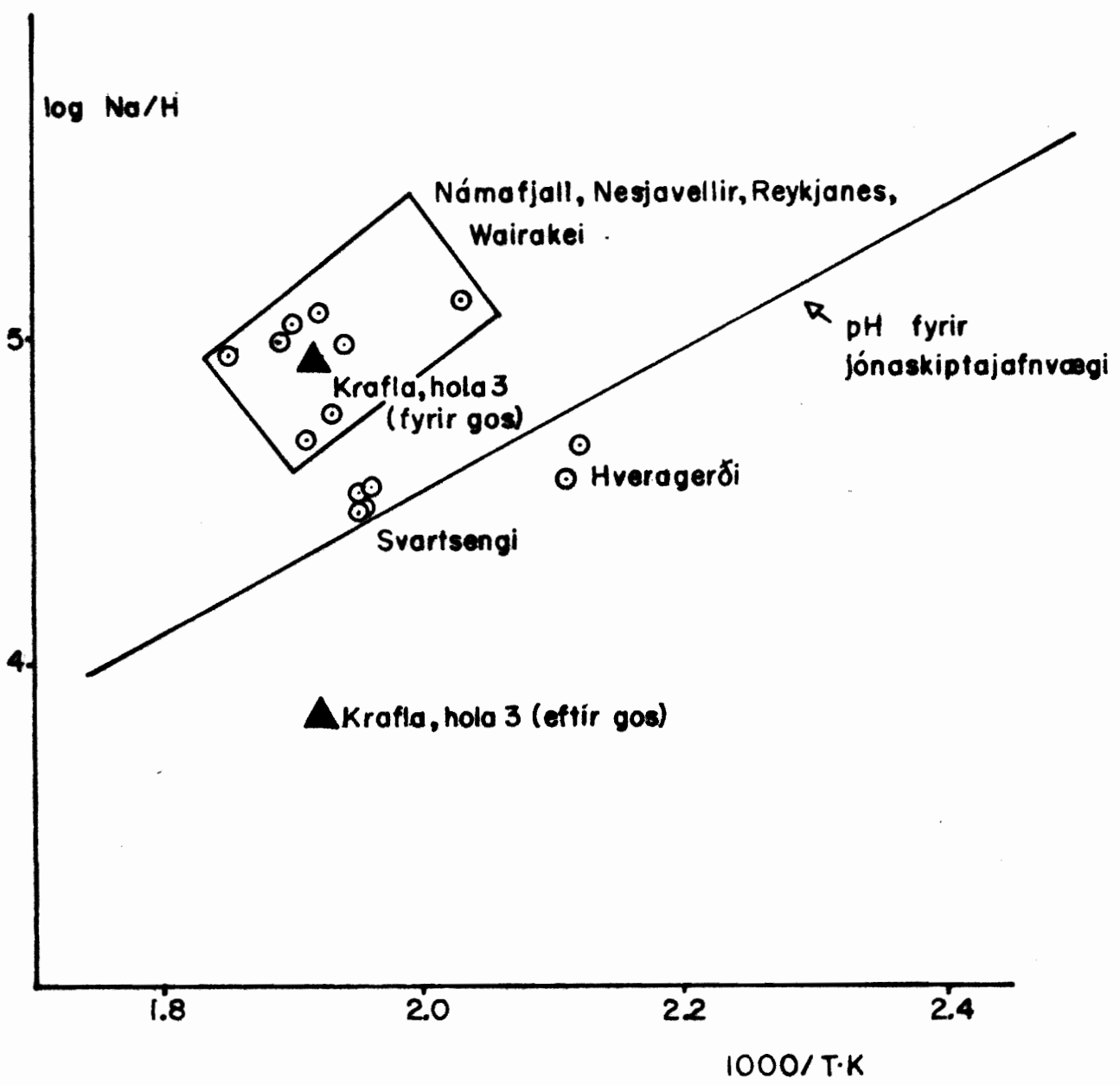
Gert er ráð fyrir pyrrhótítmettnun í upphafi og óbreyttum styrk járns. Ferlarnir sýna mettnarstig fyrir og eftir gos fyrir eins þreps linnræna suðu og fullkomna eflöftun.





MYND 3

Soðið og afloftað vatn kemur inn í borholu í Námafjalli, Nesjavöllum, Reykjanesi og Wairakei en svo ekki í Hveragerði og Svartsengi. Skýrir þetta frávik frá „jafnvægissýrustigi“.



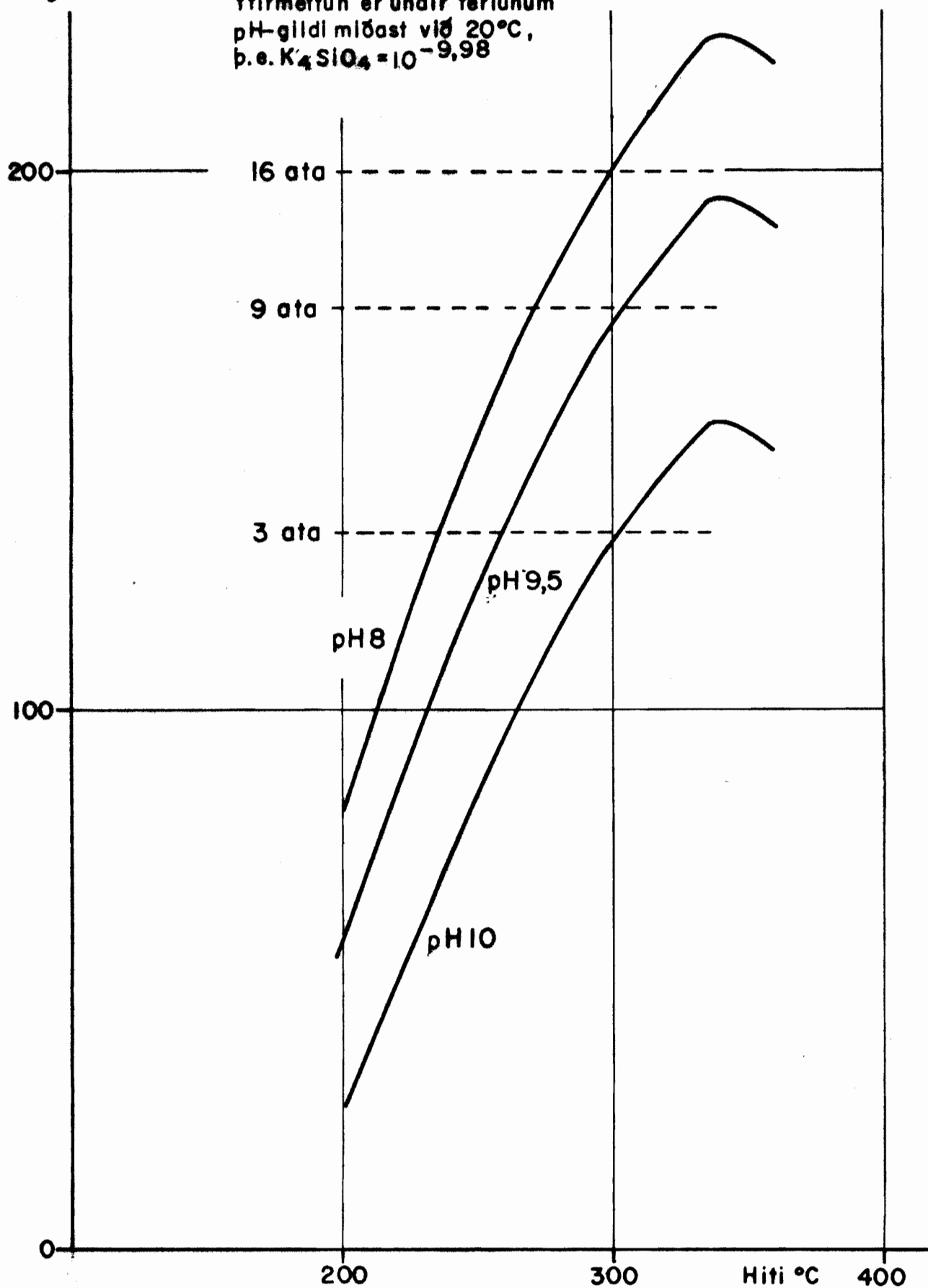


Samband óþalmettunar (kísilútfellinga) og innstreymis-  
hita í gufuborholur fyrir pH 8 9,5 og 10 á söðna vatninu

MYND 4

Hitastig  
óþalmettunar  
°C

Yflirmettun er undir ferlunum  
pH-gildi mældast við 20°C,  
þ.e.  $K_4SiO_4 = 10^{-9,98}$





Óbundin kolsýra ( $\text{CO}_2$  í ppm) í vatni frá  
borholum 3og6 fyrir mismunandi hitastig söðins vatns

MYND 5

## SKÝRINGAR

Gert er ráð fyrir hámarksafloftun.

Styrkur óbundinnar kolsýru væri hærri,  
ef fullkomin afloftun næst ekki.

