

ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

JARDEFNAFRÆÐIATHUGANIR Á VATNI ÚR BORHOLUM Á HÁHITASVÆÐUM

Eftir

Stefán Arnórsson

September 1968

ORKUSTOFNUN
JARDHITAEFELD

JARDEFNATHREYFINGANIR Á MATNI OG BERHOLMUM Á HÁHITUNUM

Eftir

Stefán Arnórsson

September 1968

JARÐEFNAFRÆÐIATHUGANIR Á VATNI ÚR BORHOLUM Á HÁHITASVÆÐUM.

Tilgangur þeirra jarðefnafræðiathugana á vatni úr borholum á háhitasvæðum, sem hér er fjallað um, er að leiða í ljós hvert gagn megi hafa af þeim til óbeinna hitamslinga á vatni við innstreymi í holurnar, til að segja til um mögulegar útfellingar í þeim og pípum, og að lokum rennsli vatns í berginu á ákveðnum jarðhitasvæðum.

Almennt um efnasamsetningu vatns úr borholum á háhitasvæðum.

Í töflu 1 eru dregnar saman nokkrar helztu efnagreiningar, sem til eru af vatni úr borholum af háhitasvæðum og efnasamsetning djúpvatnsins reiknuð, þarð sem það er gerlagt. Hér verður fyrst og fremst rætt um efnasamsetningu vatns frá jarðhitasvæðinu við Kámafjall, en aðeins minnst á vatn frá öðrum svæðum til samanburðar. Líkill galli er á öllum eldri efnagreiningum, að ekki er vitað við hvaða þrýsting sýnishornunum hefur verið safnað og því ekki gerlegt að leiðrétta fyrir gufutapi og reikna út efnasamsetningu djúpvatnsins. Ákveðnar tillögur um aðferðir til að safna vatni og þéttivatni úr borholum á háhitasvæðum eru settar fram í skýrslu til jarðhitadeildar, Uppleysanleiki kvarz í heitu vatni... eftir Stefán Arnórsson, júní 1968.

Sýrustig (pH): Þegar borið er saman mælt sýrustig í heitu vatni á Íslandi við sýrustig í heitu vatni á jarðhitasvæðum í öðrum löndum kemur í ljós, að oftast er sýrustig í heitu vatni héraendis allmiklu herra en annars staðar (pH 9-10 í stað 7-8). Vitað er, að ionaskipti milli jarðvatns og eldfjallaglers og ýmissa leirsteina eins og montmorilloníts valda því, að sýrustig jarðvatnsins hækkar. Líkið magn af fersku gleri og hversu montmorillonít er algengt í umlynduðu bergi héraendis geti því e.t.v. skýrt hið háa sýrustig heits vatns. Þegar gler og leirsteinar taka upp vetnisiona og í upplausn fara ýmsir kationar, sennilega mestmegnis Na^+ , hækkar sýrustig vatnsins eðlilega. Þetta háa sýrustig hefur allmikil áhrif á efnasamsetningu vatnsins. Uppleysanleiki kalsíum karbónats (CaCO_3) minnkar og þar af leiðandi er myndun þess í berginu líklegri. Þá eykst uppleysanleiki kvarz og ópals ef pH er herra en 9.8 og verður því kísilsýrumagnið í vatninu herra fyrir hvert ákveðið hitastig

en ella. Frá hagnýtu sjónarmiði eru kostir við hátt sýrustig einkum þeir, að uppleysanleiki járns minnkar mikið og þar af leiðandi toring á pípum. Einnig er nokkur skyldleiki milli sýrustigs og súrefnisstigs (Eh, redox potential), þannig að súrefnisstig vatns lakkar eftir því sem sýrustig hokkar en súrefnisstig vatns hefur mjög mikil áhrif á toringu á járni.

Klóríð: Hið klóríðsnauda vatn úr borholum A-1 og N-3 við Námafjall stingur mjög í stúf við miklu herra klóríðmagn í djúpvatni í Hveragerði, Krýsuvík og á Reykjanesi. Á Nesjavöllum hefur einnig fundist klórónautt djúpvatn svipað því við Námafjall. Sú skýring hefur verið sett fram, að hið lága klóríðmagn á þessum svæðum stafi af því, að hiti sé svo hár, að vatnið sé við suðu í berginu og að það vatn sem streymir inn í holurnar sé þéttivatn, sem hefur streymt upp sem gufa úr enn dýpri jarðlögum. Vatnsgufa mun ekki skola klóríði úr berginu. Þessi skýring þykir ekki allskostar fullnægjandi, þar sem blanda af vatni og gufu virðist vera a.m.k. á 300-700m dýpi við Námafjall og vatnið er a.m.k. í jafnvagi við kvarz og sennilega kalsíum karbónat líka. Tilraunir Ellis og Mahon (1964, 1967) hafa auk þess sýnt, að um 80% af öllu klóríði í basalti þvast út á 72kist. við 360°C. A.m.k. við Námafjall hefur sýnt sig, að þetta klóríðsnauda vatn inniheldur geymslega mikið magn af brennisteinsvetni (H_2S) og er bikarbónat, súlfat og brennisteinsvetni yfirgnafandi aníonar, sem vege upp á móti þeim kationum, sem eru í upplausn. Ef magn kationanna í upplausn stjórnað af uppleysanleika þessara steintegunda, sem verða til er bergið ummyndast, ákveður sé uppleysanleiki óbeint heildarmagn aníona, sem geta farið og haldist í upplausn. Hið mikla magn brennisteinsvetnis, sem er til staðar, geti þannig haft nokkur áhrif á, hversu mikið klóríð fer í upplausn, ef það skolast auðveldlega út úr berginu eða væri það af magmatískum uppruna og blandaðist jarðvatni í efri jarðlögum. Með núverandi þekkingu mætti átla, að klórónautt djúpvatn með mikið magn brennisteinsvetnis bendi á háan hita. Hins vegar, ef tiltölulega klóríðríkt vatn streymir inn í grunmar borholur, mætti búast við, að hiti á meira dýpi sé lægri heldur en í fyrra tilfallinu. Reykjanesvæðið verður þó að teljast til undantekninga, þar sem sjór mun streyma inn í heitt berg þar.

Óbein mæling á hita með ákvörðun á kísilsýrumagni og Na/K hlutfalli í vatninu.

Í skýrslu til jarðhitadeildar, Uppleysanleiki kvarz í heitu vatni... eftir Stefán Arnórsson (júní 1968) var fjallað nokkuð um möguleika á að

mala hita í borholum á háhitasvaðum með ákvörðun á kísilsýrumagná í vatninu. Hingað til hefur flestum sýnishornum úr borholum á háhitasvaðum verið safnað, án þess að geta hversu efnasamsetning djúpvatnsins breyttist við suðu um leið og það streymir upp holuna. Er það miður, því að takmarkað gagn er af efnagreiningunum, ef ekki er hægt að reikna út efnasamsetningu djúpvatnsins.

Í töflu 2 er borinn saman mældur hiti í borholum af nokkrum háhitasvaðum við útreiknaðan hita frá kísilsýrumagná í vatninu og Na/K hlutfalli.

Tafla 2

borhola	sýnish. safnað	efnagr. af:	mældur hiti	hitá reikn. út frá SiO ₂ magni	hitá reikn. út frá Na/K	dýpt holu
Námáfjall N-1	21/2/64	R.I.	217	±217	200	342m
Námáfjall N-1	10/8/65	R.I.		±219	166	
Námáfjall N-3	24/1/67	R.I.	ca.268	±266	214	ca.670m
Námáfjall N-3	8/10/67	R.I.		±262	208	
Námáfjall N-3	28/5/68	S.A.		268	290	
Námáfjall N-3	19/7/68	S.A.	ca.280 ^x	264	282	
Hverag. G-8	22/8/68	S.A.	208	217 ²¹²	176	ca.290m
Krýsuvík 14	9/10/58	R. U.S. Surv.	ca.230	216	198	ca.1200m
Krýsuvík 14	15/9/68	S.A.		233		
Reykjanes 1	6/6/68	S.A.	185	234	177	162m
Reykjanes 2	18/9/68	S.A.	225	211 ^{xx}		ca.300m

x hiti mældur á 570m dýpi 266°C. Með sömu hitaaukn. og mæling frá 24/1/67 gefur atti að vera 280°C í 670m.

xx of lágt gildi, þar sem ekki náðist gott sýnishorn. Það var greinilega útþynnt, sennilega vegna þess, að holan blés ekki nógu lengi til að hreinsa sig, áður en sýnishornið var tekið.

Þer niðurstöðunum samþulega vel saman nema hvað Na/K hlutfall gefur lagri hita og kísilsýrumagn hærri í holunum, sem eru grunnar (Hveragerði G-8, Reykjanes 1).

Þess skal getið, að tilraunir Ellis og Lahon (1964, 1967) gáfu reglulega breytingu á Na/K hlutfalli með hita fyrir súrt berg, en öllu lélegra samband og í heildina hærri gildi fyrir basalt. Guðmundur Sigvaldason (1965) hefur einnig bent á, að leirsteinar eins og montmorillonít tekju líklega upp K⁺ úr vatni, sem streymir upp úr dýpri jarðlögum, þar sem montmorillonít finnst ekki og getur þannig valdið því, að Na/K hlutfall hækkar, án þess að hiti lækki. Nú er vitað, að montmorillonít er algengasta sekúndera steinteg-

undin, sem myndast við ummyndun á bergi á jarðhitasvæðum niður á 200-500m dýpi. Þar fyrir neðan tekur klórít þess þess. Þapist K^+ úr heitu vatni á þann hátt, sem að ofan greinir, má búast við, að Na/K hlutfall í vatni sé herra í grunnum borholum við ákveðið hitastig heldur en þeim, sem ná niður úr montmorillonít ummynduninni.

Ekki er gerlegt að segja, hvort frávik mælds hita og hita reiknuðum út frá Na/K hlutfalli stafi af skekkju á ákvörðun Na^+ og K^+ í eldri efnagreiningum eða af jarðefnafræðilegum ástoðum. Leð tilliti til tilrauna Ellis og Mahon (1964, 1967) er hugsanlegt, að K^+ magn í basalti, sem getur verið mjög lágt, geti haft einhver áhrif á Na/K hlutfall í vatni ásamt hita og montmorilloníti. Þitt hefur margra ára reynsla sýnt, að breyting á Na/K hlutfalli innan ákveðins jarðhitasvæðis gefur góðar upplýsingar um rennsli heits vatns á því svæði. Þó er nauðsynlegt að hafa nokkrar borholur vel dreifðar til að geta gefið þess háttar upplýsingar. Aðeins í Hveragerði hefur verið borað regilega mikið til að geta gefið upplýsingar um rennsli heits vatns á þennan hátt. Þýnir sig, að uppstreymi heitasta vatnsins er efst (nyrst) á boraða svæðinu, en það smákölnar, þegar neðar dregur (Guðm. Sigvaldason, Persónulegar upplýsingar).

Útfellingar á kísil og kalsíum-karbónati í borholum, pípum og berginu umhverfis holurnar.

Reynsla af jarðhitasvæðunum við Lámafjall og í Hveragerði hefur leitt í ljós, að allmikil kísilútfelling á sér stað í pípum og sér í lagi ventlum á fyrarnefnda svæðinu en ekki því síðarnefnda. Útfelling kísils í pípum og ventlum er án efa fyrst og fremst háð magni kísils í djúpvatrinu og þar af leiðandi hita þess við innstreymið í holuna svo og þeim þrýstingi (og hita), sem vatn er skilið frá gufu.

Úr vatni, sem er mjög yfirmettað Ca af kísil með tilliti til uppleysanleika kvarz, fellur hann út sem ópál en ekki kvarz. Ópál er miklu leysanlegra í vatni en kvarz (mynd 1). Allt bendir til þess, að kísilsýrumagn í djúpvatni stjórnist af uppleysanleika kvarz, en kísill í pípum fellur aftur á móti út sem ópál og má því aðeins búast við útfellingu kísils (myndun ópals), ef vatnið verður yfirmettað með tilliti til uppleysanleika þess við gufutap og kölnun á vatninu, er það sýður á leið sinni upp holuna. Þetta skal skýrt nánar með dæmi: $260^{\circ}C$ heitt djúpvatn ætti að innihalda um 540 ppm. af uppleysum kísil, ef vatnið er í jafnvægi við kvarz og gufu. Magn kísilsins í vatninu eykst svo, þegar

vatnið sýður á leið sinni upp holuna og kólnar jafnframt með adiabætískri útpennslu. Ef gufa myndast við konstant enthalpy, geti magn kísils í vatninu orðið allt að 795 ppm. við 100°C , ef ekkert af honum félli út. Af mynd 1 sést, að neðan við u.þ.b. 160°C verður upplausnin meira og meira yfirmettuð með tilliti til uppleysanleika ópals. Ef vatn, sem er 260°C við innstreymið í holuna, væri skilið frá gufu við minni þrýsting en sem samsvarar 160°C mætti búast við útfellingu kísils í pípu og ventlum holunnar. Væri innstreymishiti 300°C mætti búast við útfellingu, þegar vatnið hefur kólnað niður í $190\text{-}200^{\circ}\text{C}$ við konstant enthalpy. Ef innstreymishiti er 210°C verður upplausnin rétt aðeins mettuð af ópali, ef vatnið er kelt adiabætískt niður í 100°C . Ef reiknað er með, að vatn sé skilið frá gufu við þrýsting, sem samsvarar $150\text{-}160^{\circ}\text{C}$ má áætla sannkvæmt ofangreindu, að útfellingar á kísil séu hverfandi, ef innstreymishiti í holuna er nokkru lægri en 250°C , en fyrir ofan 260°C má búast við kísilútfellingum í pípu og ventlum og mætti etla, að þar mundu aukast mikið með hækkingu hita, þar sem uppleysanleiki kvarz og þar af leiðandi magn kísilsýru í djúpvatninu eykst hratt með auknum hita á þessu hitabili.

Hversu mikill kísill geti fallið út á ákveðnum tíma er erfitt, ef ekki ógerlegt að segja til um. Ekki er við því að búast eins og efnagreiningar sýna, að jafnvægi náist milli ópals og kísilmagns í vatninu. Tilraunir hafa þó sýnt, að útfelling á kísil, hvort heldur sem er ópali eða kvarz örfast mjög af suðu og „turbulent“ straumum í vatni. Þess vegna er talið í samræmi við reynslu á holi 1-3 við Nánafjall, að þar sem þrýstingsfall er mest og suða því ákrefust eins og í ventlum veður kísilútfelling mest. Kísilútfelling í berginu umhverfis borholur og neðst í þeim er afar ólíkleg.

Athugun á 3 sýnishornum safnað 28/5 og 19/7 1968 úr holi 1-3 við Nánafjall sýnir, að vatnið er mettað með tilliti til uppleysanleika kalsíum karbónats. Útreikningar að þessu lútandi eru auðveldast framkvæmdir með því að reikna út magn Ca^{++} , sem getur haldist í upplausn fyrir mælt magn karbónats og sýrustig og bera það saman við mælt magn Ca^{++} . Niðurstöður eru sýndar í töflu 3. Ca^{++} í þessum sýnishornum er ákvarðað með atomic absorption teki (skekka minni en 5%), en karbónat og bikarbónat með mælingu á sýrustigi (pH) á staðnum og titreringu á öllu karbónati með 0.1N saltsýru með leiðréttingu fyrir truflunum, sem kísilsýra og aðrar veikar sýrur valda. Hlutfallslegt magn karbónats og bikarbónats er síðan fundið út frá þekktu sýrustigi og ioniskum styrkleika upplausnarinnar. Við hið háa sýrustig, sem er á vatninu, veldur skekkja í ákvörðun þess

Tafla 3

sýnish. safnað	CO ₃ ⁻⁻ ppm.	Ca ⁺⁺ ppm.	Ca ⁺⁺ (mol) molt	Ca ⁺⁺ (mol) reikn. f. mettaða uppl. af CaCO ₃	upplausn
28/5/68	19.0	1.3	10 ^{-4.5}	10 ^{-4.3}	mettuð
19/7/68	13.6	2.0	10 ^{-4.3}	10 ^{-4.35}	aðeins yfir mettuð
19/7/68	10.1	1.7	10 ^{-4.37}	10 ^{-4.22}	nokkuð undir mettuð

mestu um skekkju á útreiknuðu Ca⁺⁺. Skekkja í pH mælingu, sem nemur ±0.1 veldur skekkju í útreiknuðu Ca⁺⁺ sem nemur ca. 10^{-0.1} mol eða 0.3ppm. Þá sést enn fremur af tölunum í töflu 3, að magn Ca⁺⁺ sveiflast miklu meira en skekkja í ákvörðun þess gæti valdið og að magn karbónats lækkar yfirleitt, þegar Ca⁺⁺ hækkar. Virðist mögulegt að tálka þessar niðurstöður þannig, að hið breytilega magn á karbónati stafli af sveiflum í þrýstingi CO₂. Þýðir það, að einhverjar kalsíum karbónat útfellingar eiga sér stað í holunni og/eða pípum við hana.

Það er mjög erfitt, ef ekki ógerlegt, að segja til um hvort útfellingar á kalsíum karbónati séu líklegar neðst í holunni eða berginu umhverfis hana. Í fyrsta lagi lækkar sýrustig vatns með auknum hita og við suðu sleppa úr því veikar sýrur eins og CO₂ og H₂S. Til þess að finna út hvort djúpvatnið væri mettað af kalsíum karbónati væri sennilega best að safna djúpsýnishorni og leiðrétta pH mælingu fyrir hita eingöngu. Í þessu tilfalli verður líka vafalaust að reikna með þrýstingi CO₂ sem breytistærð, en með lækkanði þrýstingi þess minnkar uppleysanleiki kalsíum karbónats. Ef djúpvatnið er mettað af kalsíum karbónati mætti búast við útfellingu þess alls staðar í holunni og pípum frá henni, en ef það er undirmettað mundi útfelling, ef nokkur er, aðeins eiga sér stað ofarlega í holunni.

Nokkuð er hægt að segja til um líkur á mikilli eða lítilli útfellingu af kalsíum karbónati eftir því um hvaða bergtegund heita vatnið hefur streymt. Þar sem um sjávarset er að ræða, er magn Ca⁺⁺ alltaf miklu herra en í vatni, sem hefur streymt um basalt og líparít, sennilega vegna þess hversu auðveldara er að skola út miklu meira magni Ca⁺⁺ úr setinu, en ekki vegna lítills magns af karbónati. Í sjávarseti eru afgerandi útfellingar kalsíum karbónats því miklu líklegri en í basalti eða líparíti. Vandamál af slíkum útfellingum gæti því orðið á svæðum eins og Reykjanesi og syðri hluta svæðisins í Hveragerði.

Ákvörðun á karbónati og líkarbónati með útreikningi frá „alkaliteti“ vatnsins er mikur áreiðanleg fyrir hveravatn og gagnslaust til þeirra útreikninga, sem fjallað var um hér að ofan.

Brennisteinskis myndast oft sem svört og stundum bronzlitað skín innan á pípum í borholum við Kámafjall og Hveragerði. Þessi brennisteinskis hlýtur að hafa myndast með efnaskiptum milli H_2S í vatni og gufu og járns í pípum eða með beinni útfellingu úr vatninu. Í náinni framtíð verður vonandi högt að skera úr um þessa tvo möguleika út frá sporefnasamsetningu brennisteinskissins. Myndun slíkrar skónar af brennisteinskis hlýtur að stöðva tæringu svo lengi sem skánin er samfelld, þar sem brennisteinskis er í jafnvægi við vatn við þann hita og magna brennisteins, sem um ræðir.

Loks má geta þess, að gufa eða vatn, sem streymir inn í borholur af miklum krafti, geta brotið mola úr berginu, sem o.t.v. geta stíflað holuna. Þegar Sigurður Benediktsson og Karl Magnars athuguðu skiljuna á holu K-3 við Kámafjall 28/5/68 kom í ljós, að þar hafði sest til talsvört magn af bergi, sem að mestu hafði ummyndast í klórít að því er virtist.

Sporefni:

Hokkur sporefni hafa verið ákvörðuð í vatni frá 3 borholum á Káhitavæðum, en efnagreiningun úr öðrum 2 er enn ekki fyllileg lokið. Þau efni, sem hafa fundist, eru skráð í töflum 4 og 5. Auk þessara sporefna

Tafla 4

Borhola	Sýnish. safnað	Mo	Pb	Zn	Fe	V
Kámafj. K-3 A	28/5/68	6.8	134.0	27.0	1450.0	60.4
Kámafj. K-3 B	28/5/68	-2.0	131.0	-2.0	21.4	39.4
Kámafj. K-3 C	28/5/68 ^x	-2.0	34.2 ⁺	6.5	131.0	42.0
Hverag. G-8	22/8/68	4.8	-2.0	11.5	482.0	39.0
Reykjnes 1	6/6/68	760.0	-10.0	-10.0	59.0	-5.0

x sýnishorn var geymt í einn mánuð, áður en það var efnagreint.

+ Pb tapast úr sýnishorninu við geymslu.

Magn sporefnanna er reiknað í ppb. (microgröm/lítra. Efni ákvörðuð með Röntgen fluorescence tæki. Samkvæmi ca. 2-10%.

Tafla 5

Borhola	Sýnish. safnað	Ge	Ga	Mo	Ti	Cr	Ni
Kámafj. K-3 A	28/5/68	97.0	7.3	6.9	50.8	+100.0	18.0
Kámafj. K-3 B	28/5/68	52.0	0.7	1.6	1.4	-2.0	-0.5
Kámafj. K-3 C	28/5/68	56.0 ^x	1.7	2.8	5.4	15.9	-0.5

Tafla 5 rsh.

Borhola	sýnish. safnað	Ge	Ga	Lo	Ti	Cr	Ni
Hverag. G-8	22/8/68	51.0	3.0	6.0	2.2	+100.0	40.8
Reykjanes 1	6/6/68	-2.5	3.8	+100.0	-10.0	-10.0	-2.5

Magn sporefnann er reiknað í ppb. (microgröm/líttra). Efni ákvörðuð með emission spectrograph tæki. Samkvæmni ca. 15%.

var leitað að Bi, Cd og Co, en þau fundust ekki (minna en 1 ppb.). Niðurstöðum á sýnishornum A, B og C frá Kánafjalli ber mjög illa saman (miklu verr en öðrum sýnishornum, sem hafa verið tekin tvö saman úr einstökum hverum eða borholum. Vafalaust hefur sýnishorn A og C að einhverju leiti óhreinast af úthvotti úr pípum og/eða ögnum, sem hafa brotnað úr pípum og bergi við innstreymið í holuna. Þendir hið mikla magn Cr, Ni og Fe eindregið til þess. Hér verður söðins dregið á nokkrar hugmyndir varðandi magn Ge í heitu vatni almenn og hverjar upplýsingar breyting á magni þess gæti sagt til um rennsli heits vatns í bergi umhverfis borholur. Á það skal bent, að þessar hugmyndir eru enn á frumstigi og eiga langt í land með að gefa hagnýtar niðurstöður.

Á mynd 4 sést, að greinlegt samband er milli Ge og SiO_2 í heitu vatni á Íslandi. Sambandið er þó mismunandi eftir einstökum jarðhitasvaðum. Á þeim svæðum, sem berggrunnurinn er tiltölulega gamall (Tertíer) og bergið sennilega meira ummyndað en annars staðar og þar sem miklu vatni er dælt úr borholum (Lorðurland, Reykóslar á Barðaströnd, Reykjavík, Selfoss) er tiltölulega minna Ge en t.d. á Suðurlandsundirlendi miðað við sama SiO_2 magn. Hlutfallið Ge/ SiO_2 í vatni er gróflega 25 sinnum herra en í basalti (Ge í basalti ca. 1.5ppm.). Á jarðhitasvaðum eins og í Reykholtssdal, þar sem heildarrennsli er nú nálægt 300l/sek tæki gróflega 100,000 ár að skola öllu Ge úr 1km^3 af bergi miðað við núverandi Ge magn og óbreytt rennsli. Það virðist því möguleg skýring, að hið tiltölulega lága Ge/ SiO_2 hlutfall í vatni á þessu svæði svo og í Reykjavík stafi af því, að talsverður hluti upphaflegs Ge hafi þvegizt út úr berginu. Þess skyldi líka gætt, að varla mun snerting vatns og bergs meiri en svo, að tiltölulega lítill hluti, segjum 1/4, af öllu Ge í berginu gæti gengið í upplausn. Með því að fylgjast með mögulegri breytingu Ge í borholum með tíma, mætti e.t.v. gefa einhverjar upplýsingar um aðrennslisrásir að borholunni, minnkandi snertingu milli vatns og bergs vegna útfellinga kalsíum karbónats.

Ekki þykir tímabært að ræða hvaða upplýsingar efnasamsetning vatnsins geti gefið um rennsli heits vatns á jarðhitasvæðinu við Hámafjall. Þegar efnagreiningar af vatni úr holum 1-4 og 1-5 liggja fyrir ætti að vera gerlegt að segja til um hvar varu helzt auknar líkur á árangursríkri borun í nágrenni þeirra hola, sem þegar hafa verið boraðar eða hvort dýpt holanna skipti megin máli.

Heimildarrit:

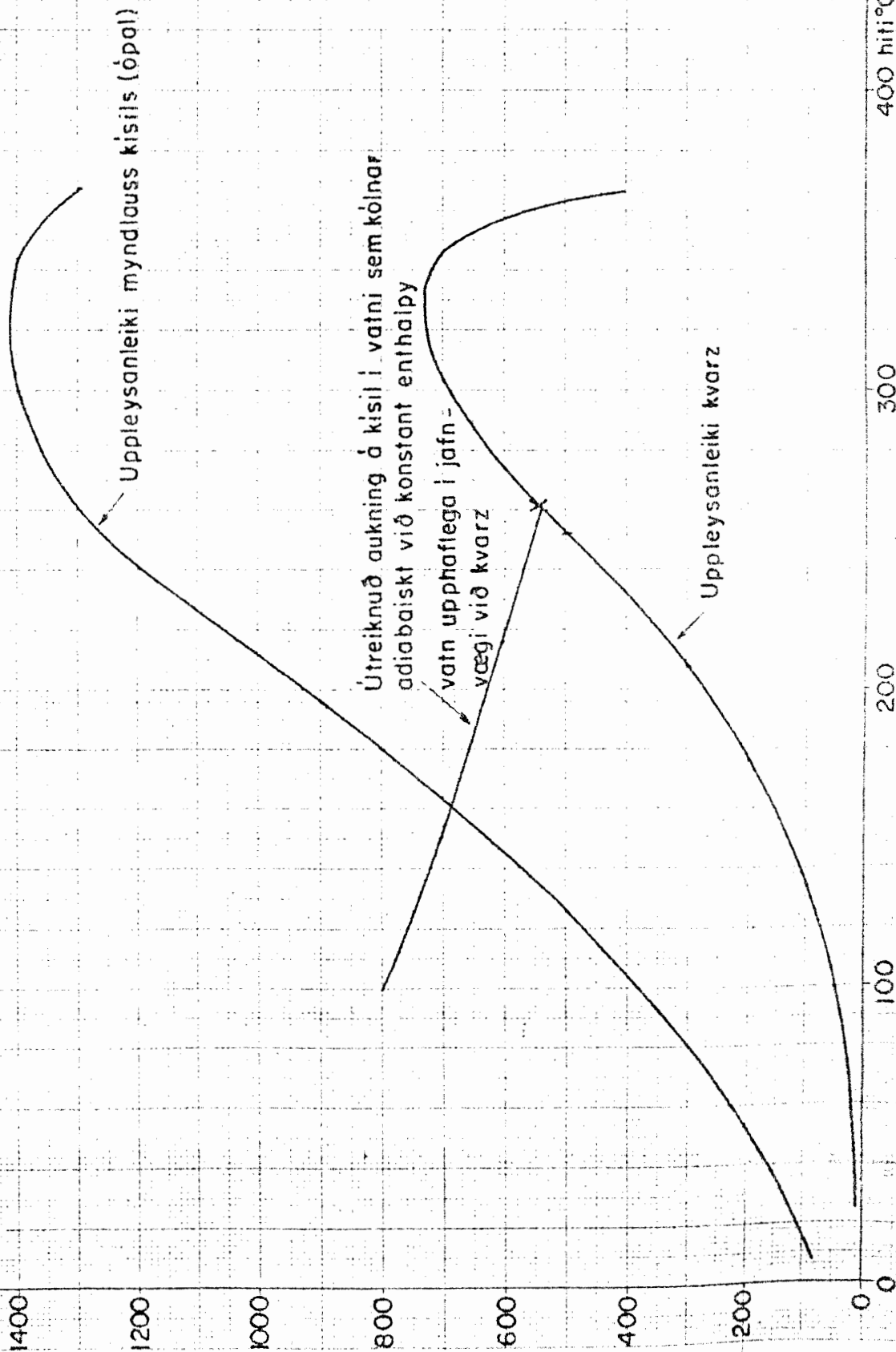
1. A.J. Ellis and W.A.J. Mahon, 1964. Natural hydrothermal systems and experimental hot water/rock interactions. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 28, 1323-57.
2. A.J. Ellis and W.A.J. Mahon, 1967. Natural hydrothermal systems and experimental hot water/rock interactions (Part II). *Geochim. Cosmochim. Acta*, 31, 519-38.
3. Guðm. Sigvaldason í skýrslu til jarðhitadeildar eftir Kristján Samundsson, Sveinbjörn Björnsson, Guðm. Sigvaldason, Gunnlaug Elisson og Halldór Kjartansson. Rannsókn á jarðhita í Reykholtssdal, ágúst 1966.
4. Stefán Arnórsson, 1968. Upplýsanleiki kvarz í heitu vatni og upplýsingar, sem kísilsýrumagn í vatninu gefur um botnhita á lághitasvæðum og hitastig í borholum á háhitasvæðum, júní 1968. (skýrsla til jarðhitadeildar).

Upplýsanleiki kvarz og ópals
á hitabilinu 25-360°C

Mynd 1

Tekið úr grein R.O. Fournier og J.J. Rowe,
Am. J. Sci., 264, 685-697.

SiO₂
ppm



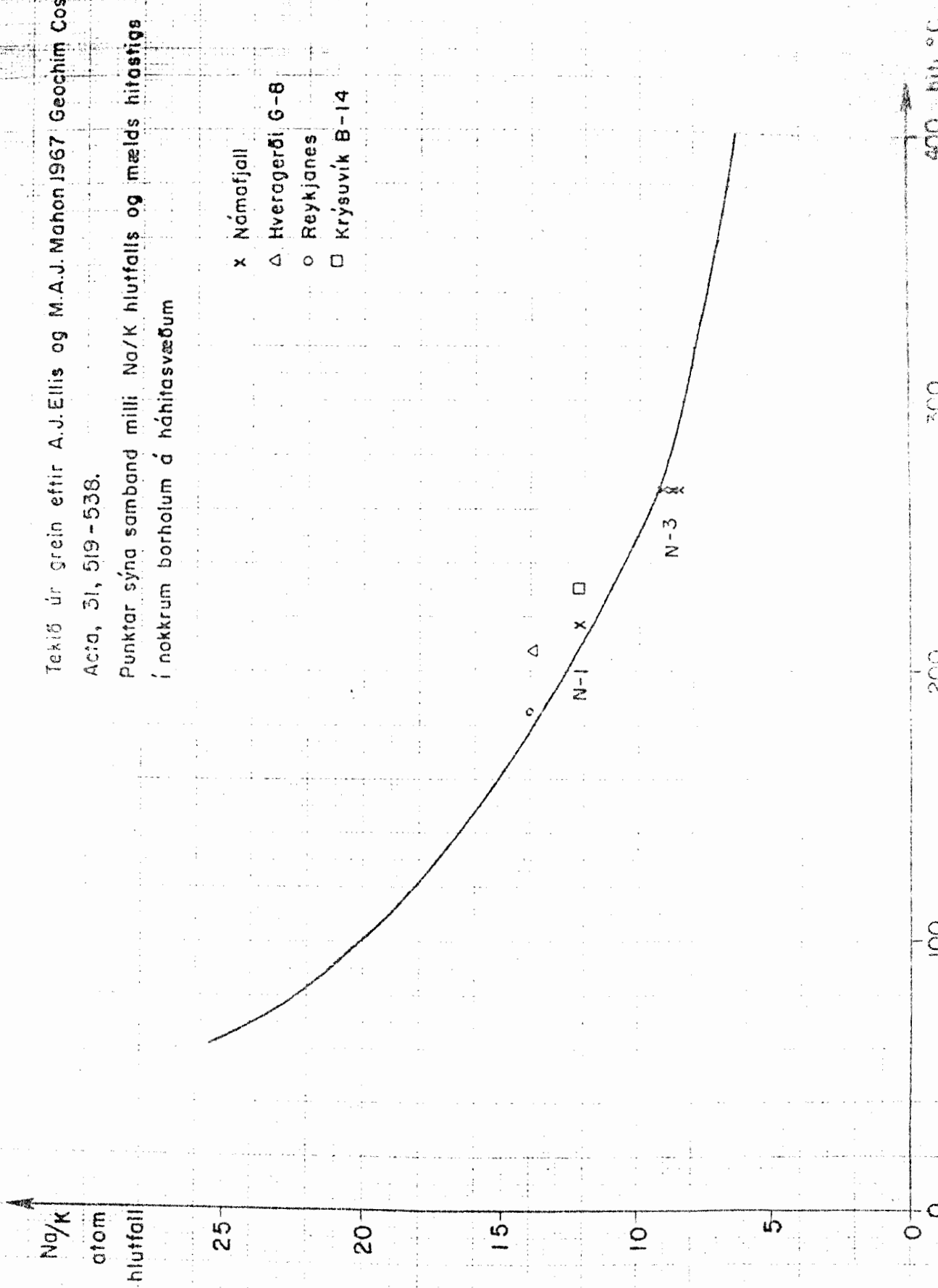
Mynd 2

SAMBAND NA/K OG HITA
í heitu vatni.

Teknið úr grein eftir A.J.Ellis og M.A.J.Mahon 1967 Geochim Cosmochim
Acta, 31, 519-538.

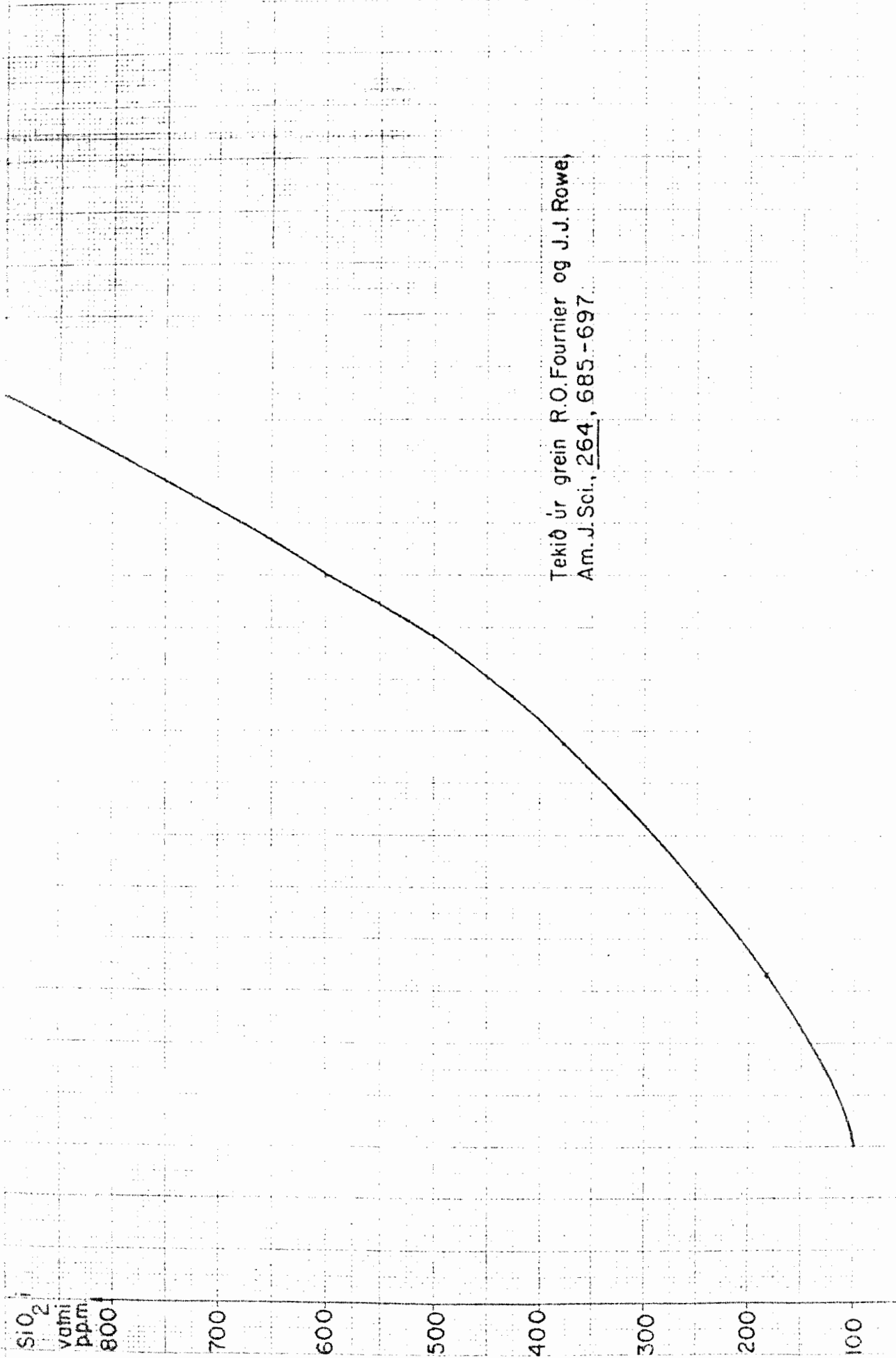
Punktur sýna samband milli Na/K hlutfalls og mælds hitastigs
í nokkrum borholum á háhitasvæðum

- x Námafjall
- △ Hveragerði G-8
- Reykjanes
- Krýsuvík B-14



Mynd 3

Samband hita og kísilsýru í vatni, sem
hefur sðið adiabaiskt niður í 100°C (1 atm) Nr. 8561

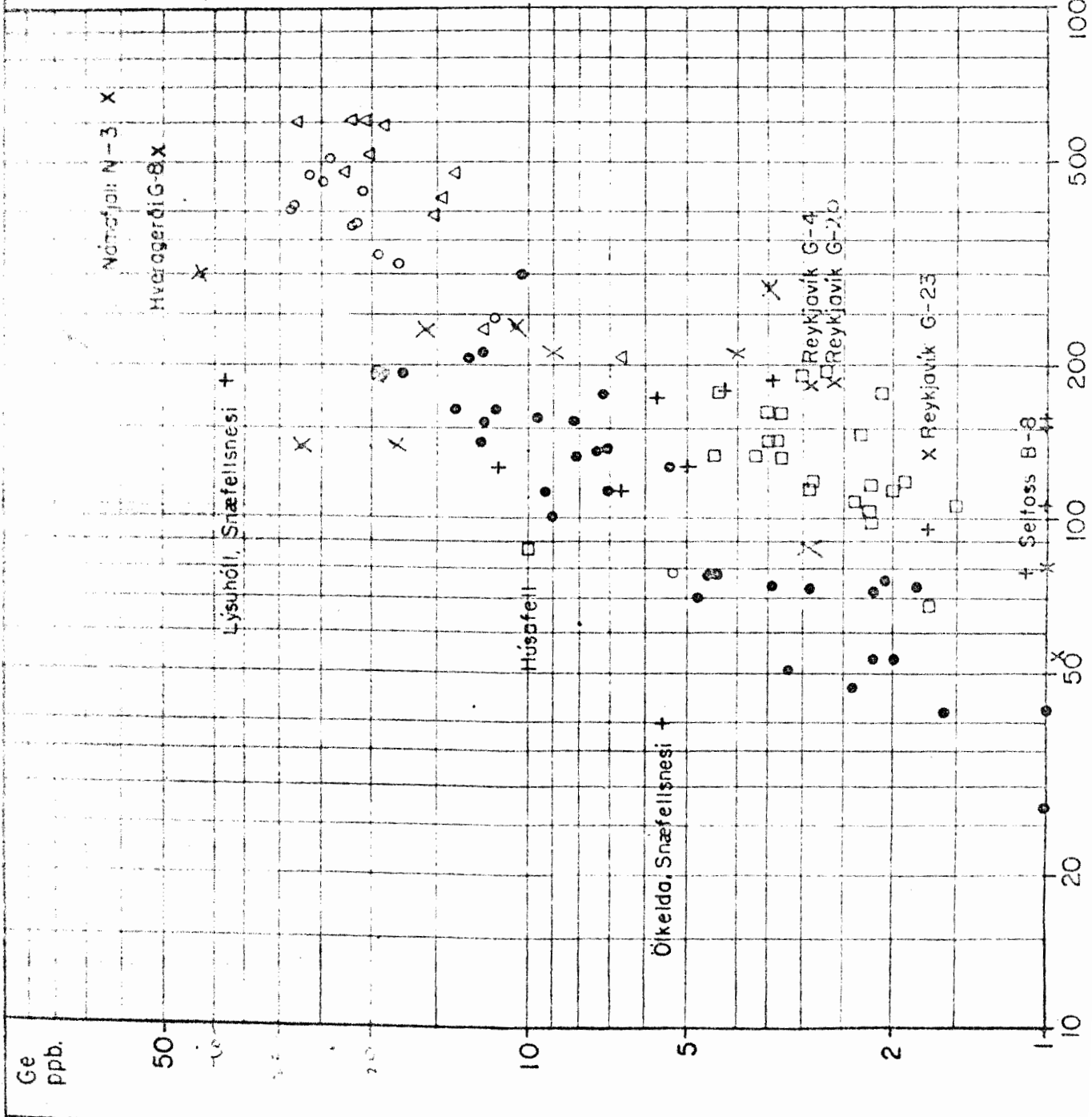


Mynd 4

SAMBAND MILLI Ge og SiO₂
í heitu vatni.

SKÝRINGAR

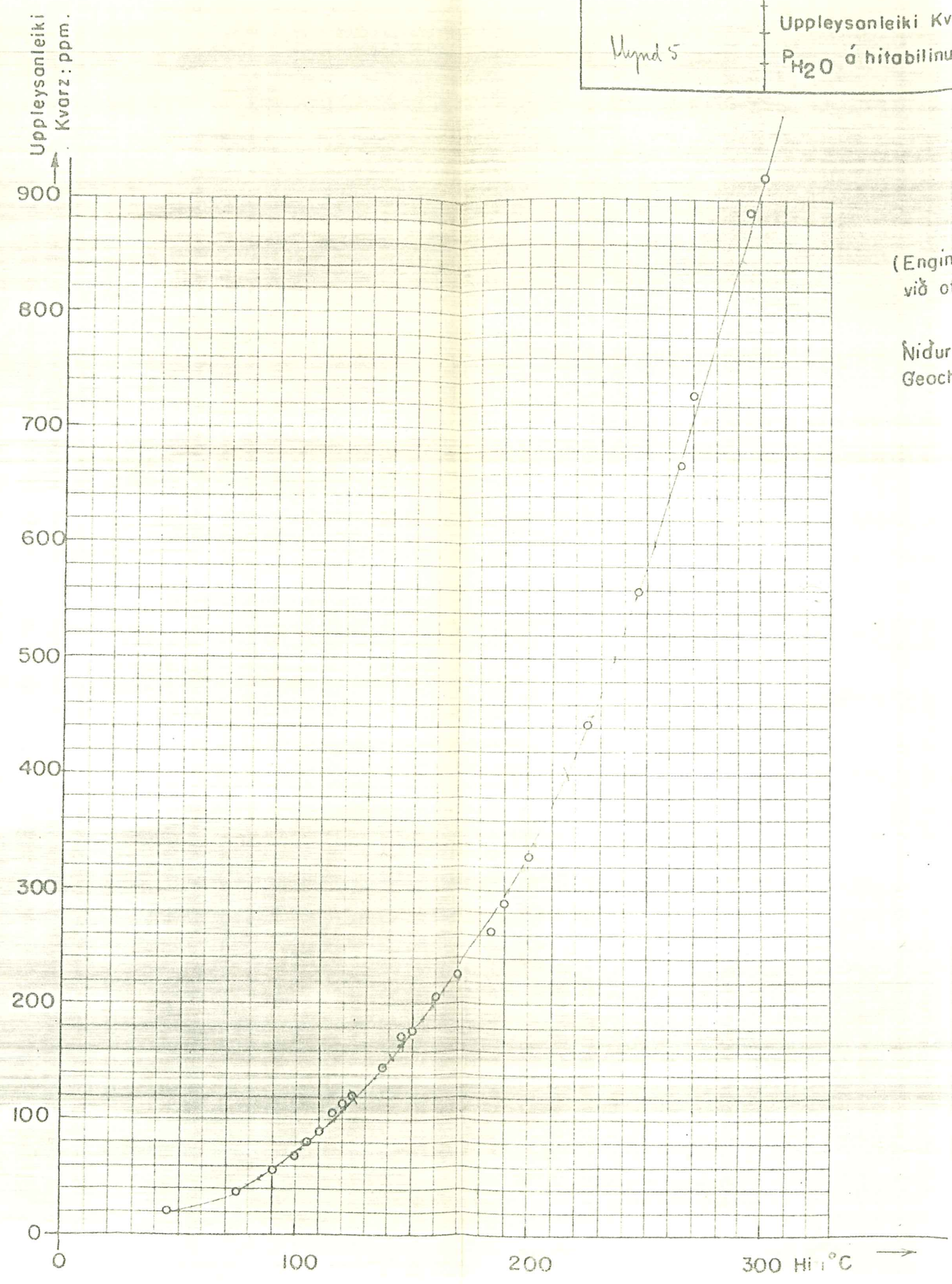
- Geysissvæði.
- △ Hveravellir á Kili.
- Suðurlandsundirflendi.
- + Norðurland, Snæfellsnes, Reykhólar á Barðaströnd.
- Reykhólsdalur og nágrenni.



Uynd 5

Uppleysonleiki Kvarz í vatni við 1000 atm.

P_{H_2O} á hitabilinu 45-300°C.

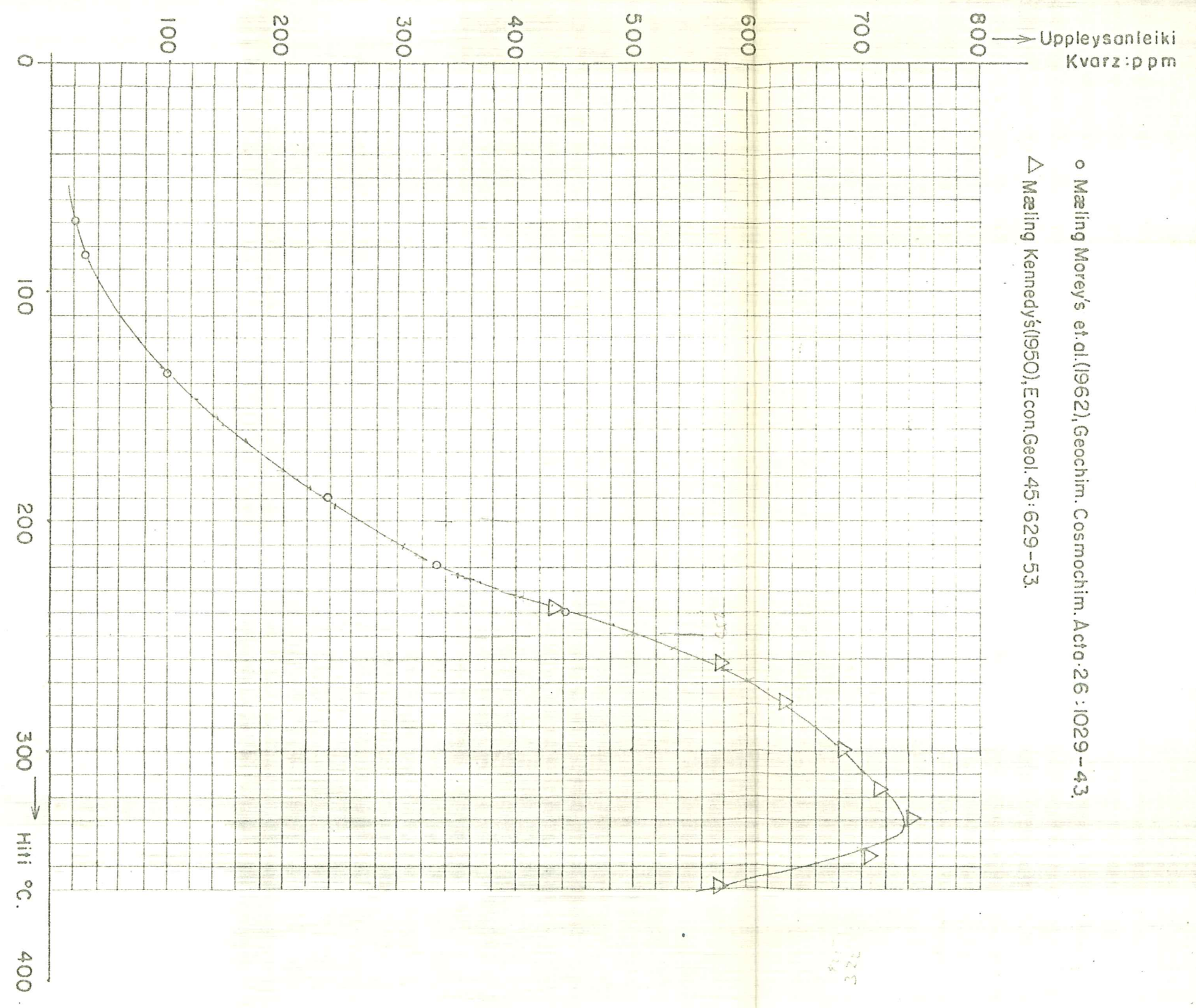


(Engin vatnsgufa er til staðar á þessu hitabili við ofangreindan þrýsting.)

Niðurstöður fengnar frá Morey et.al.(1962), Geochim. Cosmochim. Acta 26: 1029-43.

Mynd 6

Uppleysanleiki Kvarz í vatni á hitabilinu
 69-360°C, eftir 3-fasa ferlinum; gufa, vatn, kvarz.



○ Mæling Morey's et al. (1962), Geochim. Cosmochim. Acta 26: 1029-43.
 △ Mæling Kennedy's (1950), Econ. Geol. 45: 629-53.

325
 315