

UPPLEYSANLEIKI KVARZ Í HEITU VATNI OG UPPLÝSINGAR, SEM  
KÍSILSÝRUMAGN Í VATNINU GEFUR UM BOTNHITA Á LÁGHITASVÆÐ-  
UM OG HITASTIG Í BORHOLUM Á HÁHITASVÆÐUM.

Eftir  
Stefán Arnórsson

Uppleysanleiki kvarz í heitu vatni og upplýsingar, sem kísilsýrumagn í vatninu gefur um botnhita á lágheitsvæðum og hitastig í borholum á háheitsvæðum.

Niðurstöður um uppleysanleika kvarz eru ~~að mestu~~ fengnar frá tilraunum Kennedy's (1950) og Morey's et. al. (1962).

Uppleysanleiki kvarz í vatni eykst með hitastigi (myndir 1 og 2). Er aukningin hæg upp í 100–150°C, en síðan verður hún hraðari. Mjög langan tíma þarf til að leysa upp kvarz og ná jafnvægi, ef hitastig er lágt. Kísilsýra í upplausn í jafnvægi við kvarz er monomeric á forminu  $H_4SiO_4$ , sem er veik sýra, en við kólnun myndast polymeric kísilsýra. Ef hitinn er lágur (minna en 100°C) getur polymeric kísilsýra haldizt í upplausn svo mánuðum, ef ekki árum, skiptir, án þess að kvarz eða kísilgel falli út. Virðist útfelling raunar alltaf mjög hæg upp í 150°C. Þar af leiðir að kísilsýrumagn í heitum uppsprettum gefur nokkra hugmynd um hámarks hita, sem hvera- eða laugarvatn hefur náð á rennsli neðanjarðar. Þetta gildir þó aðeins hafi hitastig ekki farið mikið yfir 150°C. Sé hitastig vatnsins hins vegar nokkru meira en 150°C hefur nefnilega sýnt sig, að jafnvægi við kvarz næst tiltölulega fljótt. Ef hitastig í borholum er hátt (200–300°C) mætti því mæla hitastig vatnsins við innstreymið í holuna óbeint með því að ákvarða kísilsýrumagnið. Mahon (1966) hefur sýnt, að hitastig útreiknað frá kísilsýrumagni í borholum á Wairakei á Nýja Sjálandi ber venjulega mjög vel saman við beinar hitamælingar (innan skekkja hvoru tveggja mælinga).

Uppleysanleiki kvarz í vatni er að nokkru háður eðlisþyngd vatnsins (sem aftur er háð hita og þrýstingi). Er uppleysanleikinn heldur ~~meiri~~ <sup>meiri</sup>, þegar vatnsgufa er til staðar (sbr. myndir 1 og 2) og verður þetta einkum áberandi, þegar krítiski punkturinn nálgast. Sömuleiðis eykst uppleysanleikinn, þegar sýrustig (pH) er mjög hátt. Ef mælt sýrustig

er  $\text{pH} > 9.7$ , er ekki öruggt að áætla hærri hitastig á vatninu neðanjarðar eftir kísilsýrumagni. Er óhætt að segja, að hérlandis er helzt hætt á mjög háum sýrustigsgildum í vatni á lághitasvæðum, þar sem yfirborðshiti er ekki mjög hárt ( $40-50^{\circ}\text{C}$ ). Sýrustig mælt  $\text{pH} 9.6-9.8$  við  $25^{\circ}\text{C}$  úr borholum á háhitasvæðum mundi gróflega samsvara  $\text{pH} 8.5-9$  við  $200^{\circ}\text{C}$ , svo þess vegna má hafa fyllileg not af ákvörðun á kísilsýru til að fá vitneskju um hitastig á vatninu við innstreymið í holuna. ( $\text{pH}$  gildi á hreinu vatni lækkar eftir því sem hitastig eykst,  $25^{\circ}\text{C}$   $\text{pH}=7.0$ ,  $200^{\circ}\text{C}$   $\text{pH}=5.7$ ).

### Uppruni kísilsýru í heitu vatni á Íslandi

Þær bergtegundir, sem eru yfirgnæfandi hér á landi innihalda ekki kvarz. Aftur á móti er gler algengt og mætti ætla, að með tilliti til útskolunar kísils, að glerið hagaði sér svipað og ópal. Gæti því farið í upplausn við  $25^{\circ}\text{C}$  allt að  $110-140$  p.p.m  $\text{SiO}_2$ , en það er uppleysanleiki ópals við það hitastig. Einnig er líklegt að klofnun feldspata og jafnvel pyroxins, sem hefur í för með sér myndun leirsteina, valdi upplausn á nokkurri kísilsýru. Myndist kvarz ekki, er eins líklegt, að eyðing feldspata eða annarra frumsteina og myndun leirsteina stjórni að nokkru magni uppleysts kísils ekkert síður en ópal.

Eins og áður var dregið á myndast kvarz mjög treglega með útfellingu við lágt hitastig og geta jafnvel liðið mörg ár, áður en kísilsýrumólekúl hafa raðað sér svo upp að mynda kjarna, sem gerir vöxt kvarz gerlegan. Sé hitastig í heitum uppsprettum nálægt suðumarki er sennilegt, að kísilsýrumagn- ið í vatninu stjórni af uppleysanleika kvarz og mætti því nota ferilinn á mynd 1 til að fá upplýsingar um lágmarksbotn- hita. Hins vegar er miklu ólíklegra, að svo sé, ef hitastig er langt neðan við suðumark. Æskilegast væri að ganga úr skugga um hvort uppleysanleiki kvarz stjórni kísilmagninu í vatninu með því að athuga, hvort kvarz útfellingar finnist í berginu.

Gunnar Böðvarsson og Guðmundur Pálmason (1961) notuðu Kísilsýrumagn í heitum uppsprettum á lághitasvæðum til að fá upplýsingar um botnhita. Samband milli meðalhitastigs í laugum og hverum við kísilsýrumagn var þannig:

$T_{\text{botnhiti}} + 25 = \text{p.p.m SiO}_2$ . Samkvæmt þessari formúlu er miklu hærri kísill í vatninu, en uppleysanleiki kvarz gæti gefið við hvert hitastig. Gæti verið, að botnhiti alls staðar væri miklu hærri en yfirborðshiti gefur til kynna, eða jafnvægi við kvarz næðist ekki, þegar hitastig er nokkuð langt fyrir neðan  $100^{\circ}\text{C}$  og þykir seinni skýringin líklegri. (Við  $70^{\circ}\text{C}$  mundu leysast upp 33 p.p.m af kvarzi, en samkvæmt ofangreindri formúlu ætti kísilsýrumagnið í vatninu að vera 95 p.p.m). Guðmundur Sigvaldason (1963) hefur fundið kvarz í kjörnum úr borholum í Reykjavík og Hveragerði og dregur því þá ályktun (Sigvaldason 1966), að kísilsýrumagn í vatni djúpt á þessum jarðhitasvæðum stjórnist af uppleysanleika kvarz.

#### Óbein mæling á hitastigi í borholum á háhitasvæðum með ákvörðun á kísilsýrumagni í vatninu.

Nokkrum örðugleikum er bundið að safna sýnishornum úr borholum á háhitasvæðum, sem gefa frá sér blöndu af gufu og vatni. Sýnishornasöfnun úr holu N-3 við Námafjall 28. og 29. maí bendir til, að söfnun á "total" sýnishorni er ekki áreiðanleg, þar sem erfitt er að fá vatn og gufu í réttum hlutföllum gegnum einn stút á skiljunni. Virðist streyma sáralítil gufa og gas gegnum skiljuna, þegar gufustútur hennar er lokaður. Með þeim útbúnaði, sem nú er á holunni (tveir stútar á láréttu frárennslisröri til að festa skiljur og þrýstimæla á og ventill á milli þeirra) virðist bezt að taka sýnishorn við ca.  $2-10 \text{ kg/sm}^2$  þrýsting og safna vatni og gufu í sitt hvoru lagi. Þegar vatninu er safnað er tryggast að hafa gufuna blauta. Með tilliti til væntanlegrar gufuvirkjunar við Námafjall væri mjög æskilegt, að hliðstæður útbúnaður yrði á öllum holum sem holu N-3, áður en þær væru teknar í notkun og síðan eftir að notkun gufu hæfist, hliðstæðri aðstöðu á frárennslisröri við holuna, svo að ekki þurfi að stöðva rennslið, þegar sýnishorn yrðu tekin.

Með því að taka vatnssýnishorn á tveimur stöðum á láréttu frárennslisröri við þekktan mismunandi þrýsting og ákvarða magn einhvers órokgjarns efni í vatninu (t.d.  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{SO}_4^{--}$ ,  $\text{Cl}^-$  og uppleyst efni) má reikna út þyngdarhlutfall vatns og gufu við ákveðinn þrýsting og þar af leiðandi magn allra órokgjarnra efna í djúpvatninu við innstreymið í holuna. Ákvörðunin verður þó að vera nákvæm ( $\leq 1\%$ ), þar sem lítil skekkja veldur tiltölulega mikilli skekkju á útreikningi á þyngdarhlutfallinu. Með því að finna þannig út kísilsýrumagnið í vatninu við innstreymið í holuna má mæla hitastig óbeint með því að sjá frá mynd 2 hvaða hitastigi það kísilsýrumagn samsvarar. Með þessari óbeinu hitastigsmælingu er reiknað með, að útfelling kísils í holunni sé hverfandi miðað við heildarmagn kísilsýru, sem vatnið flytur með sér. Þessi óbeina hitastigsmæling virðist handhæg, tiltölulega nákvæm og ódýr.

Tilraunir Ellis og Mahon (1964, 1967) hafa sýnt, að hlutfallið Na/K lækkar reglulega eftir því sem hitastig eykst. Þess vegna mætti líklega nota þetta hlutfall til óbeinna hitamælinga. Þó fengust aðeins góðar niðurstöður, þegar um súrt gosberg var að ræða. Hlutfallið var tiltölulega hærra fyrir basískt gosberg og niðurstöðurnar ekki jafn góðar. Efnagreining á vatni frá holu N-3 við Námafjall gefur Na/K atóm hlutfall 11.8, sem samsvarar 210–215°C ef borið er saman við feril (súrt gosberg) Ellis og Mahon (1967). Gefur þessi ákvörðun greinilegra lægra hitastig en aðrar hitamælingar og getur ekki talizt áreiðanleg.

#### Óbein hitamæling á vatni við innstreymi í holu N-3, Námafjall.

Kólorímetrísk kísilákvörðun á vatnssýnishornum safnað við mismunandi þrýsting gaf 586 p.p.m  $\text{SiO}_2$  og 642 p.p.m  $\text{SiO}_2$  umreiknað fyrir kísilsýrumagn í djúpvatninu. Samsvarar það 266°C og 284°C á vatninu við innstreymið í holuna. Þessum niðurstöðum

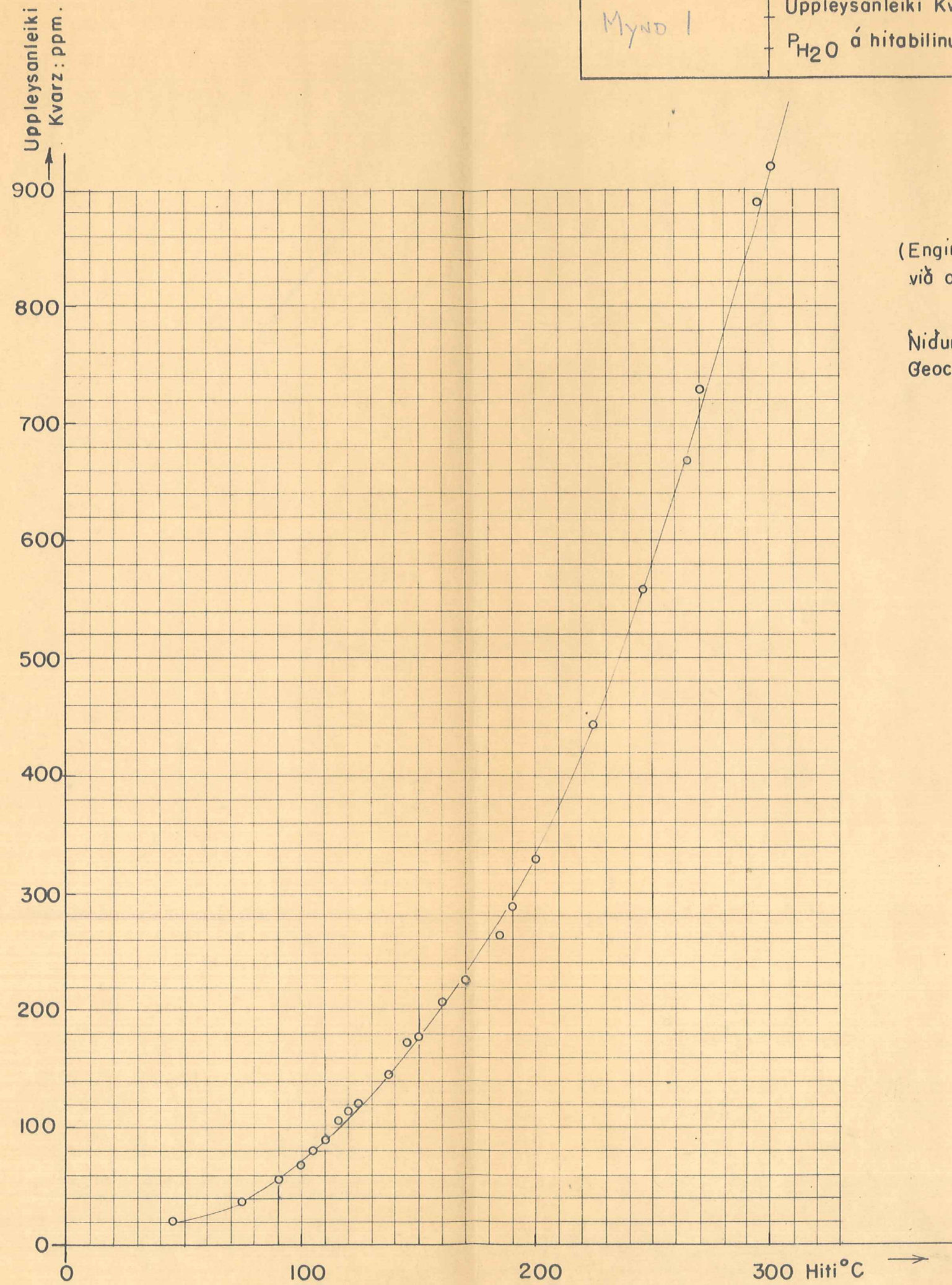
ber ekki vel saman og er talið, að truflun af hinu mikla magni  $H_2S$  í vatninu valdi nokkru þar um. Aftur á móti gaf gravímetrísk ákvörðun kísilsýru 581 p.p.m  $SiO_2$  og 602 p.p.m  $SiO_2$  umreiknað fyrir djúpvatnið, sem samsvarar  $265^\circ C$  og  $270^\circ C$ . Þessum niðurstöðum ber vel saman innbyrðis (skekka ca.  $\pm 3^\circ C$ ) og við hitamælingar gerðar á holunni rétt eftir að borun lauk 1966, en eru aftur á móti nokkuð hærri en útreiknað hitastig frá enthalpiu mælingum (Sveinbjörn Björnsson, skýrsla: Aflmælingar, Námafjall N-3, júní, 1968). Ekki er enn fengin skýring á þessum mun, en mögulegt virðist, að hann stafi af suðu vatnsins í berginu umhverfis innstreymið í holuna. Af ofangreindum niðurstöðum virðist nauðsynlegt að ákvarða kísilsýru gravimetrískt fyrir óbeinar hitamælingar.

#### Heimildarrit

1. G.C. Kennedy (1950): A portion of the system silica-water. Econ. Geol. 45, 629-653
2. G.W. Morey, R.O. Fournier, and J.J. Rowe (1962): The solubility of quartz in water in the temperature interval from  $25^\circ$  to  $300^\circ C$ . Geochim. Cosmochim. Acta, 26, 1029-1043.
3. W.A.J. Mahon (1966): Silica in hot water discharged from drillholes at Wairakei, New Zealand. New Zeal. J. Geol., 9, 135-144.
4. G. Böðvarsson and G. Pálmason (1961): Exploration of subsurface temperature in Iceland. Jökull 11.
5. G. Sigvaldason (1963): Epidote and related minerals in two deep geothermal drill holes, Reykjavík and Hveragerði, Iceland. U.S. Geol. Survey Prof. Paper 440-F, No. 200
6. G. Sigvaldason (1966): Chemistry of thermal waters and gases in Iceland, Bull. Volcanologique, XXIX, 589-604.

Mynd 1

Uppleysanleiki Kvarz í vatni við 1000 atm.

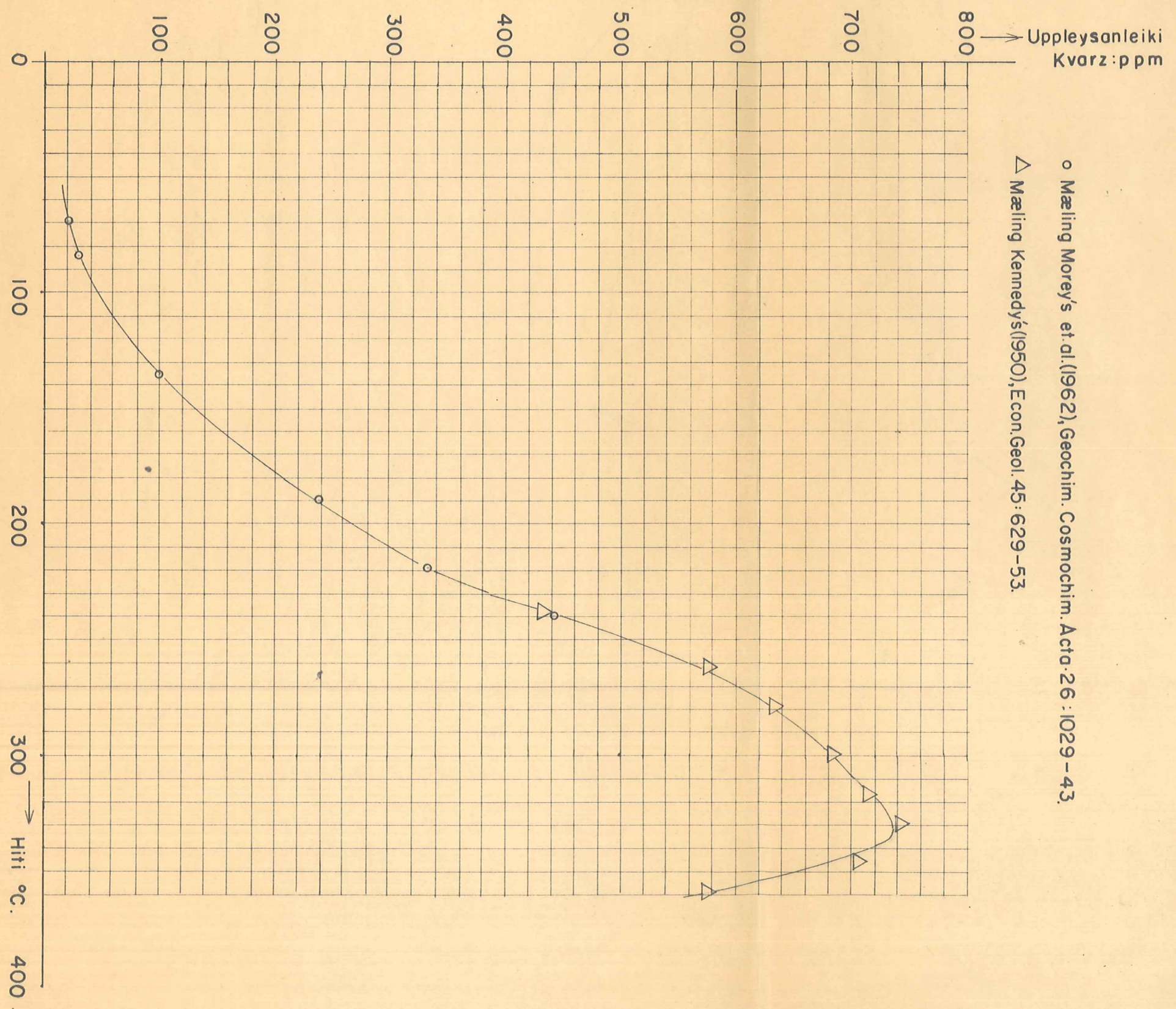
 $P_{H_2O}$  á hitabilinu 45–300°C.

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

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

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

MyND 2



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