

ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

Guðm. G.

KRÍSUVÍKURSVÆÐI
áfangaskýrsla

eftir

Guðmund Guðmundsson
og
Stefán Arnórsson

Júlí 1972.

ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

KRÍSUVÍKURSVÆÐI
áfangaskýrsla

Eftir

Guðmund Guðmundsson
og
Stefán Arnórsson

Júlí 1972.

0. Formáli.

Í meðfylgjandi skýrslu er ágríp af djúprannsókn og framhaldi frumrannsóknar, er varðar borun rannsóknarholu sumarið 1972. Nánar er fjallað um jarðfræðidjúprannsókn í skýrslu jarðhita-deildar: Krísuvíkuraátlun 1970-71 - Framvinduskýrsla um jarðfræðiathuganir sumarvinnumanna á yfirborði og í borholum, jan. 1972.

Athugun á könnun rannsóknarholu á háhitasvæðum er í höndum Sveinbjörns Björnssonar og er því ekki fjallað um þar hér.

Borunin 1972 er framhald djúprannsóknar, sem hófst 1971. Heildarskýrsla um rannsókn svæðisins verður gefin út að henni lokinni.

Í sumar er unnið að rafleiðnimælingum niður á meira dýpi en áður. Verður stuðzt við þar auk þeirra niðurstaðna, sem hér er fjallað um, þegar næsta rannsóknarhola verður staðsett.

1. Ágrip af niðurstöðum rannsókna.

1.1 Hfti í borholum

Til þessa hafa allar borholur á Krísuvíkursvæði verið staðsettar nálægt jarðhita á yfirborði, að einni undantekinni, H-7 við Djúpavatn. Holan við Djúpavatn er 535 m djúp og mældist 152°C í botni 07.06.72. Vex hitinn niður holuna, mest á bilinu 200-400 m, en lítið á bilinu 400-500 m, en aftur meira í botni.

Það er sameiginlegt hitaferlunum í öllum öðrum djúpum holum á Krísuvíkursvæði, að hámarkshiti er ekki í botni holanna. Er hámarkshitinn því hærri sem djúpra er á hann, en kólnunin þar fyrir neðan nemur nokkrum tugum gráða (myndir 1-4).

Hitaferlar í borholum sýna ljóslega, að uppstreymi er ekki undir jarðhita á yfirborði. Hlýtur því að vera um skástreymi að ræða, dreifingu vatns í láréttum lögum nálægt yfirborði út frá uppstreymi eða upphitun af völdum ummyndunar.

1.2 Rafleiðnimælingar.

Sumarið 1972 var bætt við rafleiðnimælingum á Krísuvíkursvæði, flestum norð-vestur af Trölladyngju. Hefur því verið teiknað nýtt jarðviðnámskort á 600 m dýpi, mynd 5. Kortið sýnir samfellt svæði um 30 km² innan við 20Ωm.

Á Reykjanesi eru aðstæður allt aðrar vegna jarðsjós, svo að Námafjalls-Kröflu svæðið er hið eina sem við getum borið niðurstöður rafleiðnimælinganna saman við. Þar eru tvö aðskilin svæði með viðnám innan við 20Ωm, um 5 km² við Námafjall og 10 km² við Kröflu og Leirhnúk.

Niðurstöður rannsóknarborana benda eindregið til að megin-drættir viðnámskortsins séu tengdir jarðhita. Mesta selta, um 1000 ppm Cl⁻, var í holu 6 við Trölladyngju en þar var einnig heitast, sbr. myndir 1-4. Blettir með viðnám innan við 10Ωm eru um 1/5 af flatarmáli svæðis innan við 20Ωm. Er það líklega heldur lægra hlutfall en við Námafjall, en munurinn er ekki meiri en svo að hann gæti stafað af ónákvæmni í ákvörðun jafnviðnámslína. Allar borholur niður á nokkur hundruð metra dýpi innan 10Ωm jafnviðnámslínunnar ná 200°C hita eða meira. Hæsti hiti í holu 5 skammt utan við þessa línu er 181°C en hiti á 535 m dýpi við Djúpavatn, miðsvæðis innan 20Ωm línunnar og um 1 km frá 10Ωm línunni, er 152°C. Mikil ummyndun kom fram í þeim hluta Djúpavatnsholunnar sem sýni náðist af.

Ofangreindar niðurstöður benda því til að 20Ωm línan veiti allgóða hugmynd um útbreiðslu jarðhita á 200-600 m dýpi. Það dregur úr notagildi rafleiðnimælinga til nákvæmari kortlagningar hitabreytinga að miklar hita- og viðnámsbreytingar geta orðið í lárétta stefnu undir 1800 m langri línu.

1.3 Selta og kísilhiti.

Allmikil gögn liggja nú fyrir um efnasamsetningu á heitu uppsprettuvatni í Krísvík og úr borholum af mismunandi dýpi. Algengast er að efnasamsetning vatns úr borholum sé svipuð innan hvers jarðhitasvæðis. En í Krísvík er seltan mjög breytileg. Það er því augljóst að heitt vatn í uppsprettum og borholum er ekki af einu og sama kerfinu.

Það vatn, sem er minnst salt (H-3 og H-5 í Krísvík) er vel hæft til beinnar hitaveitunotkunar, en saltasta vatnið er hins vegar óhæft til beinnar neyzlu (H-6 og gamla holan í Krísvík).

Gott samband er á milli kísilhita í heita vatninu af öllu Krísvíkursvæði og logarithma af klóríðinnihaldi vatnsins. Þetta samband má skýra með endurtekinni blöndun þannig að heitt salt vatn blandist nokkru kaldara fersku vatni, síðan blandist þessi blanda aftur nokkru kaldara fersku vatni og svo koll af kolli. Eðlilegt virðist að telja þessa blöndun eiga sér stað, þegar heitt salt vatn kemur inn í jarðhita-kerfið að neðan og ferskt vatn að ofan.

Sé ofangreind skýring á seltu rétt, stafar hámarkshiti í einstökum borholum ekki af ummyndun, en kísilhiti og hiti í djúpum borholum fylgjast að. Eðlilegast er að gera ráð fyrir einu uppstreymissvæði fremur en mörgum, þar sem vatnið þyrfti að hafa sömu seltu í þeim öllum.

1.4 Ummyndun.

Á síðasta ári var rannsökuð ummyndun í borholum 5 (við Kleifarvatn) og 6 (við Trölladyngju). Ummyndun er áberandi meiri í borholu 5 en borholu 6 og bendir það til þess, að annaðhvort sé vatnsrennsli um bergið meira við Kleifarvatn eða, að jarðhitinn þar sé eldri. Epidót hefur ekki fundist eins og á öðrum háhitasvæðum, en ákveðinn lágmarkshita þarf til þess að mynda steintegund

þessa, e.t.v. 250°C. Wairakít í borholu 5 bendir til þess, að hiti í bergi hafi verið meiri við Kleifarvatn en nú, eða a.m.k. 200-250°C. Aftur á móti eru þeir zeólítar (heulandít, analsím), sem finnast í borholu 6 við Trölladýngju taldir myndaðir við lægri hita en wairakít. Klórít kemur fyrst fram á um 100 m dýpi við Kleifarvatn en ekki fyrr en á 500 m dýpi í Trölladýngju. Þetta styður þá ályktun af dreifingu zeólíta, að hærri hiti hafi verið við Kleifarvatn en nú er.

1.5 Varmi frá ummyndun.

Þegar gler og þurrar steintegundir storkubergs mynda jarðhita-steintegundir við ummyndun losnar varmi, sem nemur nokkrum tugum hitaeininga á hvert gramm. Ellis hefur áætlað, að við afglerjun súrs gosbergs í Taupo eldstöðvabeltinu á Nýja Sjálandi myndist 50-100 hitaeiningar úr hverju grammi bergs.

Stærð Krísvíkursvæðisins með minna en 200m viðnám á um það bil 600 m dýpi er nálægt 30 km². Sé gert ráð fyrir því, að varmastraumurinn úr djúpum jarðlögum sé $2,4 \times 10^{-6}$ kal/cm² sek. (samsvarar hitastigli 60°C/km og varmaleiðnistuðli basalts), nægir þessi varmi til þess að hita 3,6 l/sek í 200°C úr svæðinu og nemur það um 2×10^{13} kal á ári. Sé reiknað með því, að við ummyndun á hverju grammi bergs á Krísvíkursvæði losni 50 kal og ummyndun sé 10% af bergi niður á 2,5 km á 30 km² svæði, myndast samtals $7,5 \times 10^{17}$ kal við þessa ummyndun. Þetta varmamagn samsvarar 12 l/sek rennsli af 200°C heitu vatni í 10.000 ár. Ef aldur jarðhitasvæðisins er af stærðargráðunni 10⁴-10⁵ ár, er ljóst að varmi frá ummyndun skiptir máli fyrir jarðhitasvæðið miðað við varma sem leiðist úr dýpri jarðlögum.

2. Framhald rannsókna.

2.1 Líkön af jarðhitasvæðinu.

Eftir rannsóknir og boranir sem búið er að framkvæma um mitt ár 1972 þekkjum við megindrætti útbreiðslu hitans ofan við 600 m á Krísvíkursvæðinu. Þetta reyndist þó fela í sér minni vitneskju um álitlega vinnslustaði en hliðstæð þekking við Námafjall og Reykjanes þar sem hiti vex stöðugt niður á við. Sá massi af heitu bergi sem fundizt hefur með borunum og viðnámsmælingum stendur ekki undir mikilli orkuvinnslu ef hitastigið þarf að vera yfir 200°C. Samkvæmt borunum er þykkt þessara laga varla meiri en 200-300 m nema við Trölladyngju þar sem hitinn er 260°C á 600 m og 218°C á botni (843 m). Ef 5% af rúmmálinu er vatn eru þarna um 10⁸ tonn af vatni dreifð undir 7 ferkílómetra svæði. Vinnsla 500 l/s í eitt ár myndi því svara til u.þ.b. 20% af rúmmáli heitasta vatnsins. Þetta er aðeins lauslegt mat á orkuforða, en sýnir fullvel að orka af Krísvíkursvæði verður aðeins notuð til stóriðju ef berg með háan hita finnst á meira dýpi en tekist hefur til þessa. Við teljum líklegt að slíkt berg sé fyrir hendi, en það torveldar að sjálfsögðu leitina að hiti ofan og neðan við 600 m dýpi skuli ekki fylgjast betur að.

Við höfum sett fram 3 líkön til að skýra hitaferla og uppruna jarðhitans. Næstu boranir og aðrar rannsóknir munu miða að því að gera upp á milli þeirra. Verður þeirra nú getið í sömu röð og við teljum líkur þeirra á að standast fyrirhugaðar prófanir.

1. Keilugangar. Þetta líkan gerir ráð fyrir einum hitagjafa á nokkurra km dýpi um miðbik svæðisins. Þaðan streymi svo vatn eftir keilugöngum í átt til yfirborðs á ská út frá miðjunni.

Keilugangar koma í ljós við rof fornra megineldstöðva og vitnum við til rits Haralds Sigurðssonar, "Geology of the Setberg area".

Þetta líkan er í góðu samræmi við hitaferla í borholum, niðurstöður viðnámsmælinga og dreifingu hita á yfirborði. Auðveldara er að skýra samband seltu og kísilhita með þessu líkani en hinum tveimur, sbr. 1.1. Hvergi hefur verið staðfest með borunum á Íslandi að háhitasvæði sé tengt keilugöngum.

2. Aðskilin uppstreymissvæði.

Þarna er gert ráð fyrir þremur uppstreymissvæðum, við Sveifluháls upp af Krísuvík, Trölladyngju og Köldunámur. Heitt vatn dreifist eftir láréttum lögum á tiltölulega litlu dýpi út frá uppstreymissvæðunum. Hafa holurnar skorið þessi lög, en ekki hitt á sjálfa uppstreymisstaðina.

Þetta líkan virðist ekki í ósamræmi við neinar niðurstöður sem fengist hafa til þessa, en það er varla heldur neitt sem styður hana á svipaðan hátt og viðnámskortíð virðist styðja keilugangalíkanið. Þetta líkan krefst engrar sérstakrar geometrískrar lögunar af jafnviðnámslínunum.

Borholurnar fyrir ofan Hveragerði hafa svipaða hitaferla og holur 5 og 6 á Krísuvíkursvæði, og á Nesjavöllum virðist borað niður í uppstreymissvæði. Samkvæmt þessu líkani er uppstreymissvæða helzt að leita í Sveifluhálsi í námunda við Hveradal eða NA frá holu 6 við Trölladyngju.

3. Upphitun við ummyndun.

Samkvæmt þessu líkani streymir vatn um 150°C upp af miklu dýpi og hitnar á vissu dýpi við ummyndun á fersku basaltgleri.

Það styður þessa kenningu að heitustu svæðin eru öll á stöðum þar sem mikið basaltgler er nýmyndað. Hún er einnig í góðu samræmi við þá niðurstöðu segulmælinga að lítið samband virðist milli jarðhitaummyndunar á Krísuvíkursvæði og styrkleika segulsviðs því að gler er lítið segulmagnað. Ef hiti yfir 200°C er eingöngu bundinn ummyndun á litlu dýpi er svæðið óhæft til stórfelldrar orkuvinnslu við hátt hitastig, en gæti engu að síður boðið upp á mikinn vatnsforða til hitaveitu.

2.2. Næstu rannsóknarboranir.

Æskilegt væri að næsta rannsóknarhola útiloki tvö af líkönunum hér að framan og gafi svo ótvíræða mynd af upptökum jarðhita á Krísvíkursvæði að unnt væri að benda á álitlegt svæði til orkuvinnslu. Því miður getum við engan borstað nefnt þannig að nær öruggt sé að vel heppnað hola á honum skili öllum þessum árangri. Hvar sem næst verður borað eru talsverðar líkur á að við sitjum uppi með tvö frambærileg líkön og getum ekki bent á neitt vænlegt vinnslusvæði fyrr en búið er að bora eina rannsóknarholu í viðbót til að útiloka annað þeirra.

Engin ein hola getur útilokað bæði keiluganga og aðskilin uppstreymissvæði. Tillögur okkar miða því að útilokun upphitunar við ummyndun og annaðhvort keiluganga eða aðskilinna lóðréttu uppstreymissvæða. Hvort sem reynt verður er um fleiri en einn hugsanlegan borstað að ræða. Borholurnar sem fyrir eru auðveldar valið og mælum við ekki með að leita að lóðréttu uppstreymi eða keilugöngum við Köldunámur þar sem engin hola er fyrir. Borstaður tæki því mið af uppstreymissvæðunum við Sveifluháls eða Trölladyngju. Hér á eftir verður miðað við 1100 m djúpa holu. Hugsanlegir borstaðir eru sýndir á mynd 5.

Sveifluháls. Holar í Hveradölum sem hitnaði í botn og næði meiri hita en holurnar við Seltún yrði til þess að gert yrði ráð fyrir lóðréttu uppstreymi á aðskildum svæðum. Yrði hins vegar hitaferillinn svipaður og í Seltúni sætum við uppi með hin líkönin tvö. Holan gæfi þá sennilega tiltölulega litla nýja vitneskju aðra en að útiloka lóðrétt uppstreymi því að hún er skammt frá öðrum holum og staðurinn ekki álitlegur til hitaveituvinnslu ef annaðhvort hinna líkananna verður ofan á.

Holar fyrir vestan Sveifluháls sem næði hærra hitastigi en mældist við Seltún og fari gegnum hámarkshita á meira dýpi yrði til þess að við hættum bæði við hugmyndina um aðskilda

uppstreymisstaði og upphitun við ummyndun. Einnig myndum við hallast að keilugangahugmyndinni ef hitinn færi greinilega vaxandi niður að 800-1000 m og yrði hærri en í Seltúni þótt ekki væri farið í gegnum hámarkið. Keilugangarnir yrðu hins vegar afskrifaðir ef hitinn yrði svipaður eða lægri en í Seltúni eða farið gegnum hámarkshita á litlu dýpi.

Meira uppstreymi virðist vera til yfirborðs við Sveifluháls en Trölladyngju eða Köldunámur. Bendir það til að vænlegast sé að bora í keiluganga sem flytja vatn að því uppstreymisvæði. Að vísu er heitasta hola sem boruð hefur verið til þessa við Trölladyngju, en samkvæmt keilugangalíkaninu stafar það af því að þar er borað gegnum uppstreymisrásirnar á mestu dýpi fremur en að þar sé meiri hita að vanta en af borun annars staðar er skæri gangana á svipuðu dýpi.

Lögun viðnámskortsins bendir til að sérstaks uppstreymisvæðis af miklu dýpi við Trölladyngju sé helzt að leita í norðaustur frá holu 6. Þó þarf að hafa í huga að fjalllendi hindrar mælingar og borun suður af fletinum sem talinn er liggja innan 100m jafnvíðnámslínunnar. Við sýnum hugsanlegan borstað um 1 km norðaustur af holu 6. Hann er að flestu hliðstæður við borstaðinn í Sveifluhálsi, en staðsetningin nokkru ótryggari.

Val milli mælistaðanna.

Fyrri hluta sumars 1972 verður reynt að mæla viðnám niður á meira dýpi en 600 m á Krísvíkursvæði. Ef þær mælingar sýna að viðnám á 1-2 km dýpi sé lægst á svæðum <100 á núverandi viðnámskortti ætti að bora í Sveifluháls eða við Trölladyngju. Við val milli þessara staða mætti hafa hliðsjón af á hvorum þeirra væri hagkvæmara að finna vinnslusvæði. Sýni mælingarnar hins vegar lægra viðnám á miklu dýpi við miðju svæðisins verður borað fyrir vestan Sveifluháls.

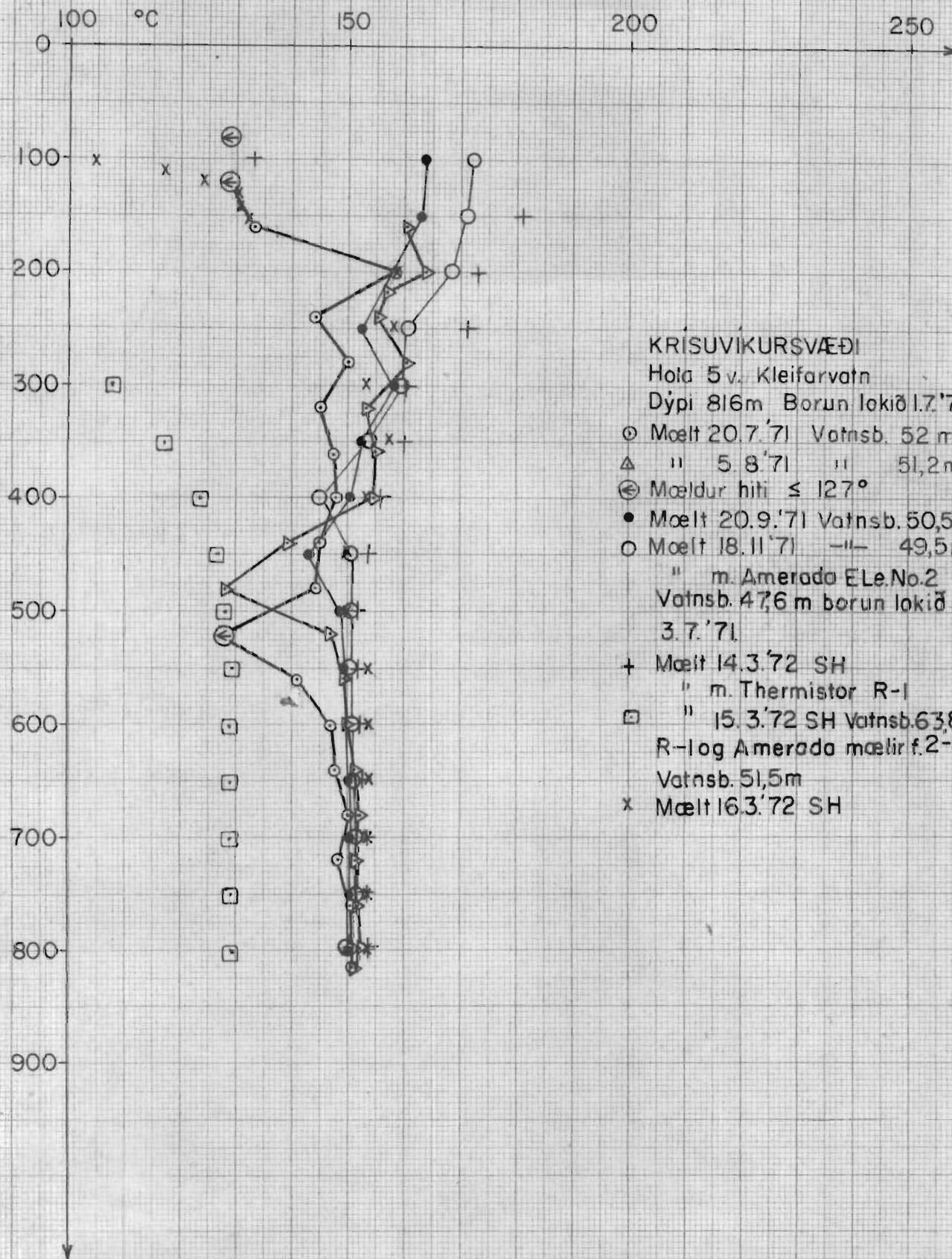
Ef ekki tekst að afla samilega áreiðanlegrar vitneskju um viðnám á 1000 m dýpi eða túlkun mælinganna veitir litlar upplýsingar um dreifingu hitans á miklu dýpi leggjum við til að borað verði fyrir vestan Sveifluháls. Miðað við núverandi þekkingu teljum við hærri líkur á að hola þar leysi að miklu leyti gátuna um upptök jarðhitasá Krísuvíkursvæði og minni hættu á að hún bæti litlu við þekkingu okkar á svæðinu en hola norðaustur af Trölladyngju eða austan í Sveifluhálsi.

Að einu leyti er þó hola vestan Sveifluháls áhættusamari en hinar. Ef borun mistekst svo að ekki næðist nema 700 m dýpi myndi það draga miklu meira úr gildi holu vestan Sveifluháls en holu sem reynt væri að bora beint ofan í lóðrétt uppstreymi.

Krísuvíkursvæði H5
Hitamælingar

~~Mynd 4.1~~

Mynd I.



KRÍSUVÍKURSVÆÐI

Hola 5 v. Kleifarvatn

Dýpi 816m Borun lokið 1.7.'71

○ Mælt 20.7.'71 Vatnsb. 52 m

△ " 5.8.'71 " 51,2 m

⊖ Mældur hiti ≤ 127°

● Mælt 20.9.'71 Vatnsb. 50,5 m

○ Mælt 18.11.'71 " 49,5 m

" m. Amerada ELe.No.2

Vatnsb. 47,6 m borun lokið

3.7.'71

+ Mælt 14.3.'72 SH

" m. Thermistor R-1

□ " 15.3.'72 SH Vatnsb. 63,8 m

R-log Amerada mælir f. 2-80

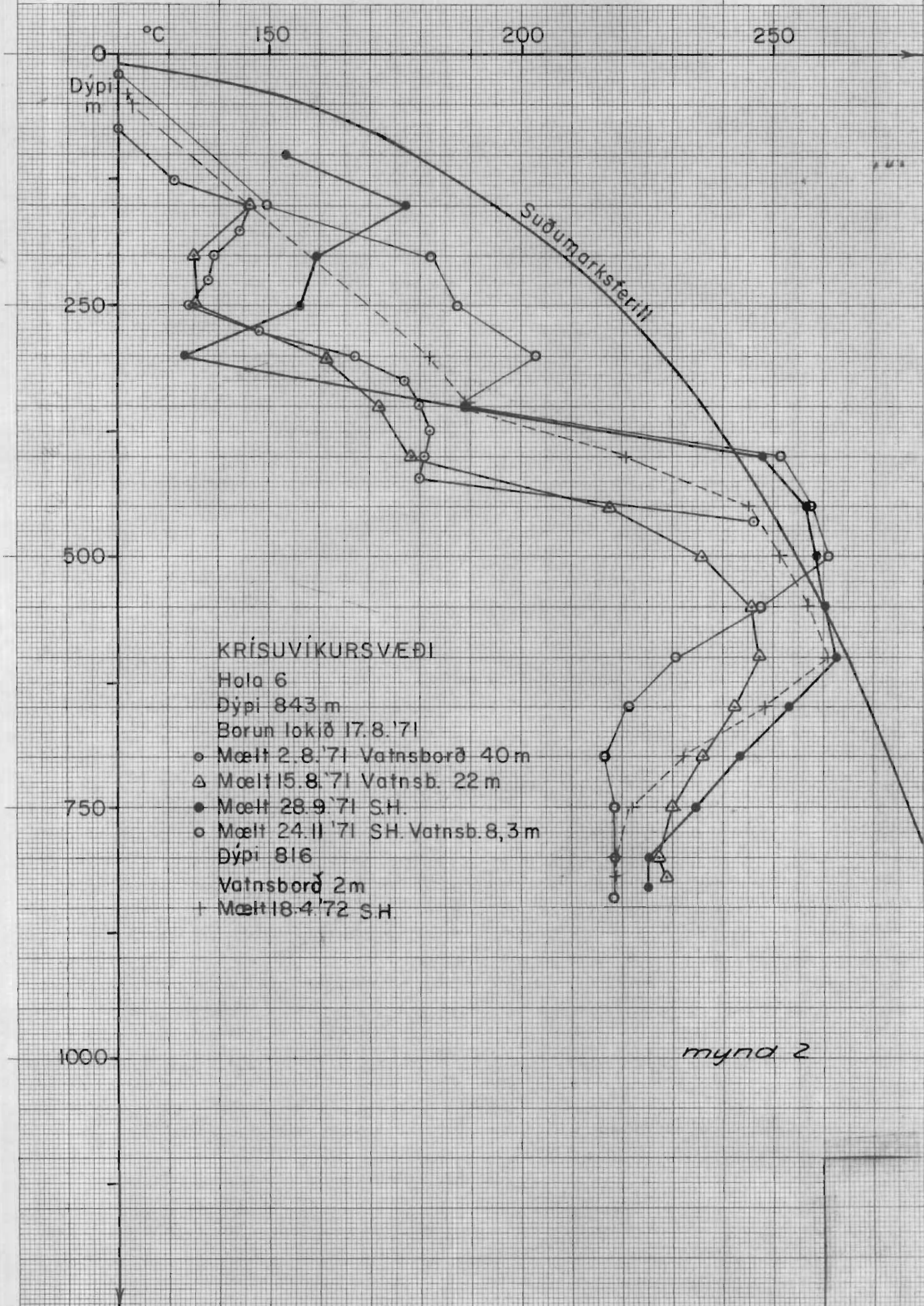
Vatnsb. 51,5 m

x Mælt 16.3.'72 SH

73 25 01 - 523 A4 - 1 x 1 mm

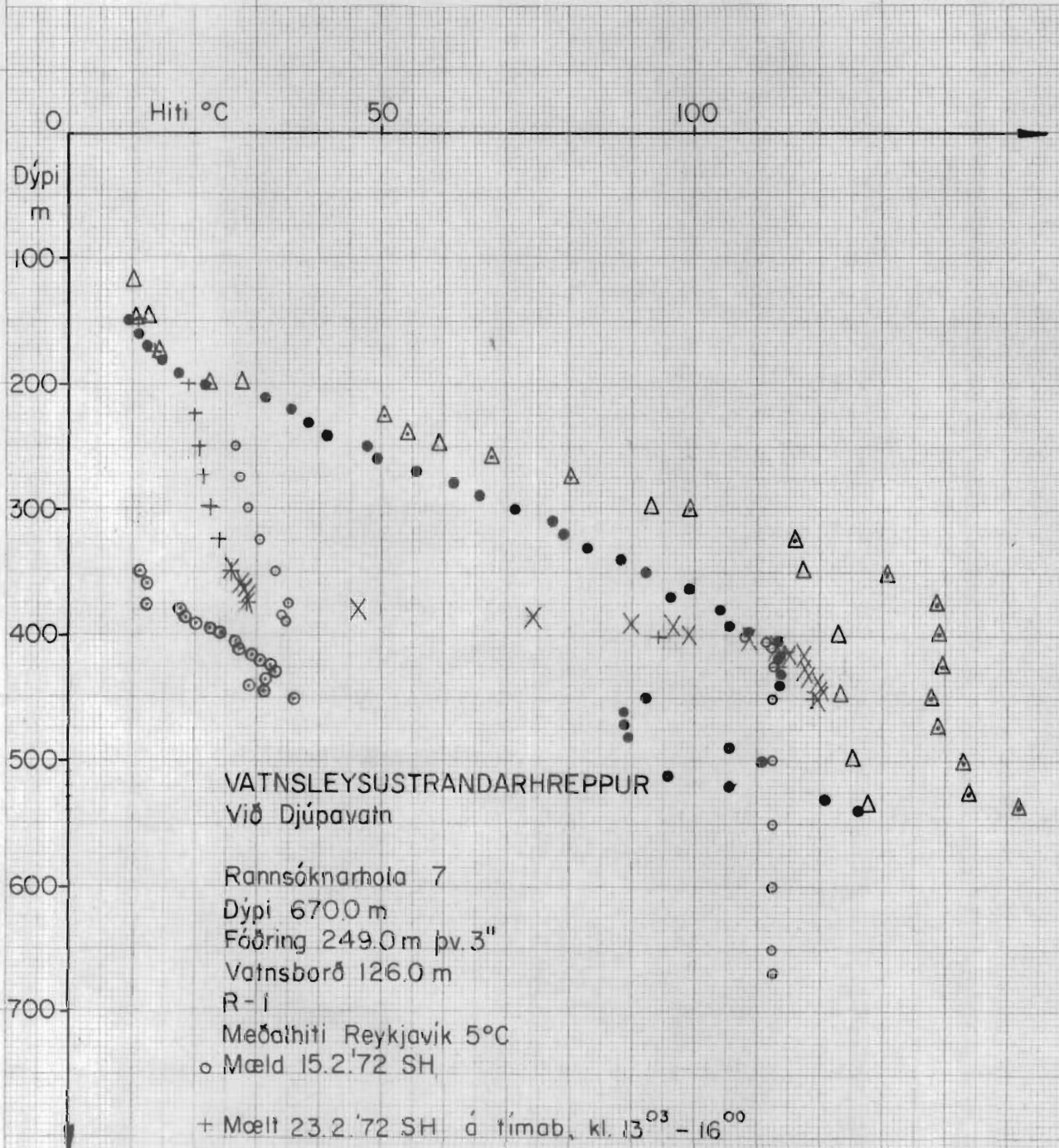
~~Mynd 3.2~~

Krísuvíkursvæði H6
Hitamælingar



732501 - 523 A4 - 1 x 1 mm

HITAMÆLINGAR Í BORHOLUM



VATNSLEYSUSTRANDARHREPPUR
Við Djúpavatn

Rannsóknarhola 7

Dýpi 670,0 m

Fóðring 249,0 m þv. 3"

Vatnsborð 126,0 m

R-1

Meðalhiti Reykjavík 5°C

○ Mæld 15.2.'72 SH

+ Mælt 23.2.'72 SH á tímab. kl. 13⁰³ - 16⁰⁰

X Mælt 23.2.'72 SH

◊ Mælt 23.2.'72 SH Doelt frá kl. 17¹⁵ - 18⁴⁵
R-1 Dýpi 560 (stytti í 536)

● Mælt 9.3.'72 SH Vatnsborð 126,0 m
R-1 Dýpi 535

△ Mælt 13.4.'72 SH Vatnsborð 117,8 m
R-1 Thermistor, Amerada.

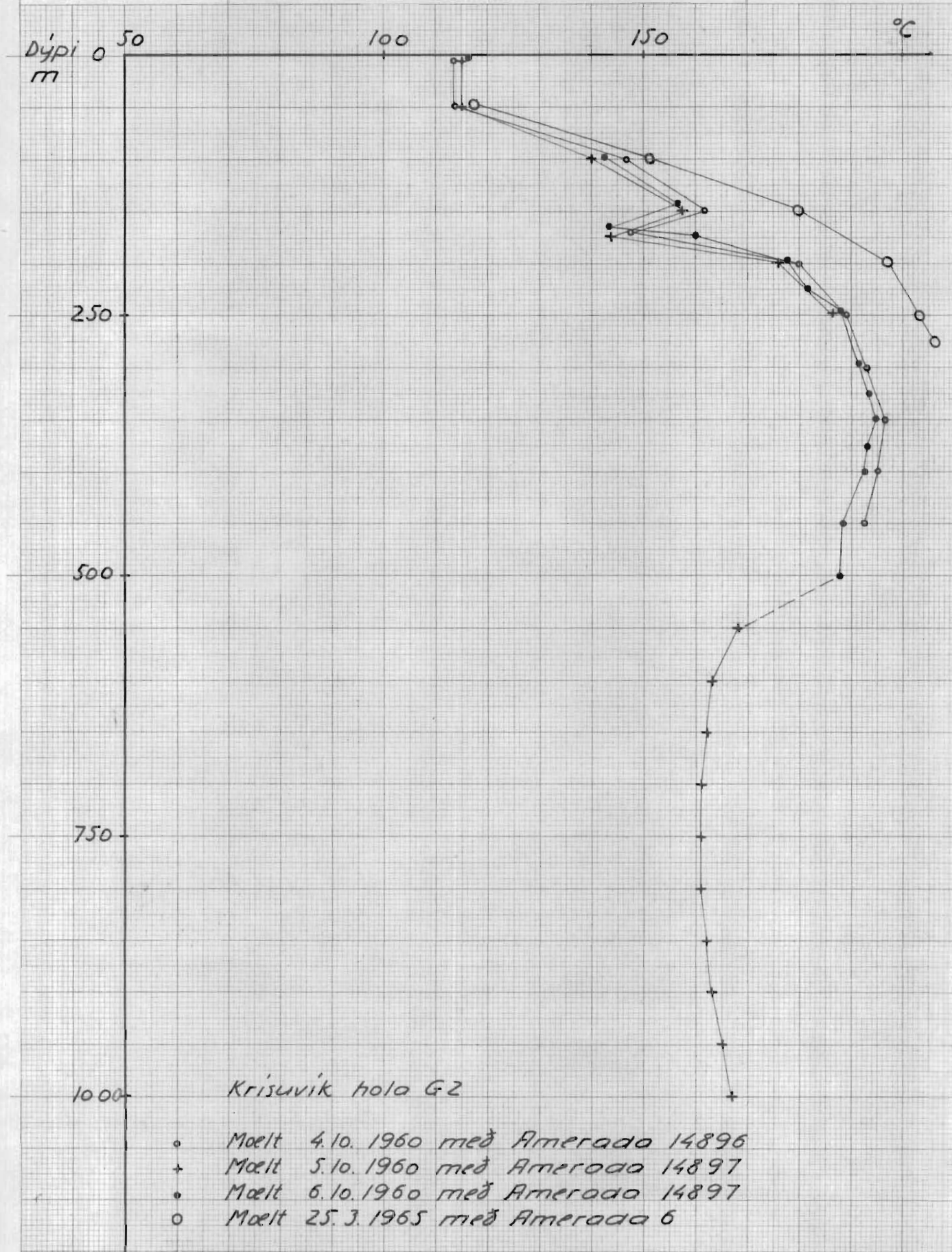
△ Mælt 7.6.'72 SH kl. 14⁵⁸ komið í dýpi 535

mynd 3

20.7. '72

mynd 4

Krisuvíkursvæði G2
hitamælingar



1000




Krisuvík hola G2

- Mælt 4.10. 1960 með Amerada 14896
- Mælt 5.10. 1960 með Amerada 14897
- Mælt 6.10. 1960 með Amerada 14897
- Mælt 25.3. 1965 með Amerada 6

SIS 73 25 01 - 523 A4 - 1 x 1 mm

Skýringar

- fyrirhugaðar borholur
- borholur
- viðnámsmæling

-  < 10 Ωm
-  < 20 Ωm
-  < 40 Ωm

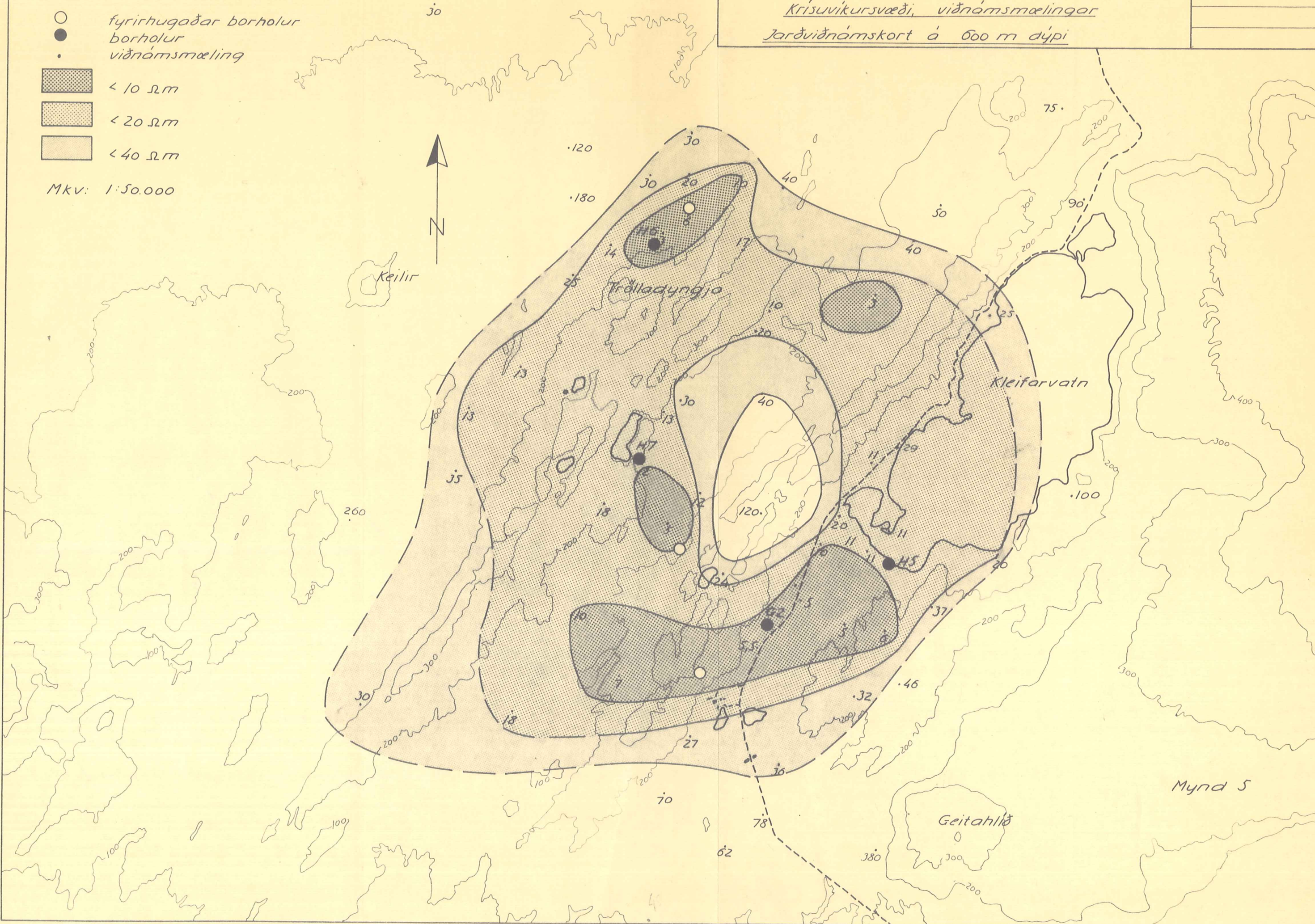
Mkv: 1:50.000



ORKUSTOFNUN

18.7.72 RK

Krisuvíkursvæði, viðnámsmælingar
Jarðviðnámskort á 600 m dýpi



Mynd 5