

# KRÍSUVÍKURSVÆÐI

HEILDARSKÝRSLA UM RANNSÓKN JARÐHITANS



ORKUSTOFNUN  
Jarðhitadeild

K R Í S U V Í K U R S V Æ Ð I

Heildarskýrsla um rannsókn  
jarðhitans

OSJHD7554

Nóvember 1975



Austurháls (Sveifluháls) horft til norðurs.

Ljósm. ORKUSTOFNUN S.H.



Vesturháls og Austurháls, horft til suðurs.

Ljósm. ORKUSTOFNUN S.H.

## FORMÁLI

Skýrsla þessi greinir frá meginniðurstöðum rannsókna á jarðhita Krísuvíkursvæðisins, sem unnar voru á árunum 1970 til 1973. Fjöldi sérfræðinga og annarra starfsmanna Orkustofnunar hefur tekið þátt í rannsóknunum og er þessi skýrsla samin af 9 þeirra, en við hvern kafla er sett fangamark þess, er hann hefur ritað. Rannsóknunum var stjórnað af Stefáni Arnórssyni (SA) og Guðmundi Guðmundssyni (GG), en Stefán G. Sigurmundsson (SGS) hafði alla umsjón með borunum. Auk þeirra rituðu skýrsluna Axel Björnsson (AB), Einar Gunnlaugsson (EG), Gestur Gíslason (GeG), Jón Jónsson (JJ), Páll Einarsson (PE) og Sveinbjörn Björnsson (SvB).

Tilgangur þessarar lokaskýrslu er þríþættur, eða nánar tiltekið:

- (1) að greina frá niðurstöðum, varðveita gögn og túlka þau,
- (2) að benda á vinnslueiginleika Krísuvíkursvæðisins og
- (3) að gera tillögur um frekari rannsóknir, sem beindust að því að afla betri vitneskju um vinnslueiginleika svæðisins í heild og einstaka hluta þess.

Mikill meiri hluti skýrslunnar fjallar um lið (1). Til þess að gera helstu niðurstöður aðgengilegar þeim, sem ekki hafa faglega þekkingu á jarðhitarannsóknum eða vissum þáttum þeirra, hefur verið gerð samantekt á helstu atriðum skýrslunnar í fyrsta kafla hennar: Helstu niðurstöður. Þáttum (2) og (3) eru einnig gerð sérstök skil í þessum kafla, en ekki fjallað um þau sérstaklega annars staðar.

Með þeim umfangsmiklu rannsóknum, sem nú hafa verið unnar á Krísuvíkursvæðinu, mætti ætla, að ekki þyrfti frekari rannsókna við, fyrr en kæmi að borun fyrstu vinnsluhola og þá með ákvörðun um nýtingu að bakhjarli. Því miður er þessu ekki þannig varið og veldur því sá eiginleiki jarðhitasvæðisins, að allar djúpar borholur hafa farið í "gegnum" hitann og í botni

holanna er hann aðeins 150–220°C. Rannsóknarholurnar ná niður á um 900 metra dýpi og vegna hinna viðsnúnu hitaferla í þeim, er ekki unnt að gera sér grein fyrir því, hvernig hiti gæti reynst niður á um 2000 metra dýpi, sem er líklegt dýpi fyrir vinnsluholur á háhitasvæðum. Hiti á meira en 1000 metra dýpi hefur afgerandi áhrif á vinnslueiginleika svæðisins. Þess vegna er talið, að rannsókn svæðisins að fyrstu vinnsluborunum sé ekki lokið, fyrr en boraðar hafa verið ein eða tvær holur niður á um 2000 metra dýpi.

EFNISYFIRLIT

	Bls.
0. FORMÁLI (SA) .....	i
1. HELSTU NIÐURSTÖÐUR (SA) .....	1
1.1 Framvinda rannsóknanna .....	1
1.2 Árangur rannsóknanna .....	2
2. ÁGRIP AF JARÐFRÆÐI (JJ) .....	9
2.1 Inngangur .....	9
2.2 Jarðhitastaðir .....	10
2.3 Ummýndað berg .....	12
3. MÆLINGAR Á SMÁSKJÁLFTUM (SVB) .....	15
4. JARÐSVEIFLUMÆLINGAR (PE) .....	19
5. VIÐNÁMSMÆLINGAR .....	23
5.1 Viðnámsmælingar með Schlumbergeraðferð (GG) .....	23
5.2 Viðnámsmælingar og jarðhiti (GG) .....	25
5.3 Djúpar viðnámsmælingar með tvíþól- og raf- segulsviðsaðferðum (AB) .....	26
6. SEGUL- OG ÞYNGDARMÆLINGAR (GG) .....	31
6.1 Segulmælingar .....	31
6.2 Þyngdarmælingar .....	32
7. SAMSETNING VATNS (SA) .....	35
8. UMMYNDUN (GeG) .....	39
8.1 Inngangur .....	39
8.2 Ummýndun í einstökum holum .....	39
8.3 Umræða .....	41

	Bl.s.
9. JARÐLAGASNIÐ (EG) .....	43
9.1 Forsendur .....	43
9.2 Einstök jarðlagasnið .....	43
9.3 Borhraði í mismunandi myndunum .....	47
10. HITAFERLAR OG RENNSLISLÍKÖN AF JARÐHITA- SVÆÐINU (SA) .....	49
11. VATNSÆÐAR (SA) .....	53
12. BORVERK (SGS) .....	57
12.1 Fyrri boranir á svæðinu .....	57
12.2 Boranir 1971 .....	57
12.3 Gangur borana 1971 .....	59
12.4 Viðgerð holu 7 .....	62
12.5 Borun 1972 .....	62
12.6 Dreifing vinnustunda eftir verkþáttum ..	64
13. KOSTNAÐUR (SGS) .....	69
13.1 Kostnaður 1970 .....	69
13.2 Kostnaður 1971 .....	69
13.3 Kostnaður 1972-73 .....	70
13.4 Heildaryfirlit um kostnað rannsóknar- verksins 1970-1973 .....	71

MYNDASKRÁ

Mynd 2.1	Jarðfræðikort af Krísuvíkursvæði	Fnr. 9851	A-2
Mynd 3.1	Staðsetning skjálfta 1968	J.G.R.	
Mynd 3.2	Lóðrétt snið af dreifingu skjálfta 1968	J.G.R.	
Mynd 3.3	Staðsetning skjálfta 1971	J.G.R.	
Mynd 3.4	Hreyfingarstefna skjálfta	J.G.R.	
Mynd 4.1	Jarðsveiflumælingar, skotpunktur og stefna prófíla		
Mynd 4.2	Jarðsveiflumælingar, tímatafir		
Myndir 4.3 - 4.6	Jarðsveiflumælingar prófílar		
Mynd 5.1	Staðsetning viðnámsmælinga	Fnr. 12508	A-3
Mynd 5.2	Eðlisviðnám á 600 m dýpi	Fnr. 12654	A-3
Mynd 5.3	Viðnámsmælingar, staðsetning	Fnr. 12509	A-3
Mynd 5.4	Viðnámsmælingar, tvíþóll	Fnr. 11534	A-3
Mynd 5.5	Viðnámsmælingar, MT	Fnr. 12505	A-4
Mynd 5.6	Viðnámsmælingar, MT	Fnr. 12506	A-3
Mynd 5.7	Viðnámsmælingar, MT-snið	Fnr. 12504	A-4
Mynd 5.8	Viðnámsmælingar, skjálftar, P-hraði	Fnr. 12507	A-3
Mynd 6.1	Segulsvið í Krísuvík	Fnr. 9034	A-1
Mynd 6.2	Krísuvík, staðsetning segullína	Fnr. 9936	A-3
Mynd 6.3	Krísuvík, segulmælingar 1970	Fnr. 9935	A-2
Mynd 6.4	Krísuvíkursvæði Bougueranomaliu mæligildi	Fnr. 8105	A-1
Mynd 6.5	Reykjanes. Þyngdarmælingar. Bougueranomaliur	Fnr. 9931	A-1
Mynd 7.1	Samband hita og seltu vatns af Krísuvíkur svæði	Fnr. 12791	A-4
Mynd 7.2	Samanburður á kísilhita og Na-K-Ca- hita í heitu vatni af Krísuvíkur svæði	Fnr. 12794	A-4



Mynd	7.3	Samband C1 og B í vatni úr djúpum holum af Krísuvíkursvæði	Fnr. 12793	A-4
Mynd	8.1	H.5. Dreifing ummyndunar	Fnr. 11803	A-4
Mynd	8.2	H.6. Dreifing ummyndunar	Fnr. 11804	A-4
Mynd	8.3	H.8. Dreifing ummyndunar	Fnr. 11805	A-4
Mynd	8.4	Dreifing ummyndunar steintegunda á nokkrum jarðhitasvæðum	Fnr. 11806	A-4
Mynd	9.1	H.5. Jarðlagasnið og meðalborhraði	Fnr. 13387	A-2
Mynd	9.2	H.6. Jarðlagasnið og meðalborhraði	Fnr. 13388	A-2
Mynd	9.3	H.7. Jarðlagasnið og meðalborhraði	Fnr. 13389	A-2
Mynd	9.4	H.8. Jarðlagasnið og meðalborhraði	Fnr. 13390	A-2
Mynd	9.5	Snið af holum H.1, H.2, H.4 og H.5	Fnr. 13383	A-4
Mynd	9.6	Snið af holum H.2, H.8 og H.7	Fnr. 13384	A-4
Mynd	9.7	Jarðlagasnið og meðalborhraði jarðmyndana	Fnr. 13385	A-2
Mynd	9.8	Jarðlagasnið og meðalborhraði jarðmyndana	Fnr. 13386	A-2
Mynd	10.1	Hiti í djúpum borholum á Krísuvíkursvæði	Fnr. 12791	A-4
Mynd	12.1	Staðsetning borhola	Fnr. 12837	A-4
Mynd	12.2	H.5. Gangur borunar	Fnr. 10384	A-3
Mynd	12.3	H.6. Gangur borunar	Fnr. 10385	A-3
Mynd	12.4	H.7. Gangur borunar	Fnr. 10386	A-3
Mynd	12.5	H.8. Gangur borunar	Fnr. 10994	A-3

## 1. HELSTU NIÐURSTÖÐUR

### 1.1 Framvinda rannsókna

Kerfisbundin rannsókn Krísuvíkursvæðisins hófst árið 1970 í kjölfar 5 ára áætlunar, sem Orkustofnun gerði um rannsókn háhitasvæða. Kom út skýrsla með ítarlegri vinnu- og kostnaðaráætlun fyrir rannsókn svæðisins í janúar 1970 (Krísuvíkuráætlun 1970-71 - frumrannsókn, rannsóknarboranir og djúprannsókn). Í skýrslunni var einnig verklýsing á grönnum 800 metra djúpum rannsóknarholum og samantekt á öllum rannsóknum og borunum, sem áður höfðu farið fram á svæðinu. Þessar fyrri rannsóknir veittu ýmsar verðmætar upplýsingar, þótt þær væru fremur sundurleitar. Meðan á frumrannsókn stóð sumarið 1970 voru ennfremur skrifaðar tvær stuttar skýrslur um framvindu rannsóknarinnar (Krísuvíkuráætlun 1970-72 - staðsetning rannsóknarborhola og áætlun um rannsóknir og boranir). Árið 1971 hófust rannsóknarboranir og voru boraðar 3 holur, við Kleifarvatn, norðan undir Trölladyngju og við Djúpa- vatn. Ein hola til viðbótar var svo boruð vestan undir Sveifluhálsi í lok árs 1972 og byrjun árs 1973. Í maí 1971 kom út heildarskýrsla um frumrannsókn svæðisins (Frumrannsókn jarðhita á Krísuvíkursvæði). Framvinduskýrsla um borun fyrstu þriggja holanna kom út í janúar 1972. (Krísuvíkuráætlun 1970-72 - framvinduskýrsla um jarðfræðiathuganir sumarvinnumanna á yfirborði og í borholum).

Á árinu 1970 var segulmælingum lokið, svo og athugun á efnainnihaldi hveragass og efnum í vatni í uppsprettum og þeim borholum, sem fyrir voru á svæðinu. Jarðfræðivinnu lauk árið 1971, svo og þeim þætti smáskjálftaathugana, þyngdarmælinga og jarðsveiflumælinga, sem þessi skýrsla byggir á. Viðnámsmælingum lauk hins vegar ekki fyrr en 1973 og stafaði það að nokkru af endurtekningum á mælingum, sem voru gerðar vegna endurbóta á mælingaraðferðum. Tvíþólmælingar voru gerðar sumrin 1972 og 1973 til þess að kanna viðnám jarðлага niður á nokkurra kílómetra dýpi.

Tilgangurinn með borun grannra 800 metra djúpra rannsóknarhola var sá að höggva á rannsóknarkostnað fyrstu rannsóknarborana en um leið fórna nokkurri upplýsingaöflun, sem gæti fengist með borun víðari hola, nefnilega afkastagetu holanna. Reynslan leiddi í ljós, að þessar grönnu holur voru ekki eins ódýrar í borun og áætlað hafði verið. Kom það meðal annars til af því, að erfitt reyndist að þétta leka í holunum tímabundið meðan á borun stóð og hafði það í för með sér tafsamar og kostnaðarsamar steypingar.

Beinn kostnaður við rannsóknarboranirnar nam 17,9 Mkr. Síðan 1971 hefur borleiga hækkað um 170%, útseld laun hjá JBR hækkað um 260% og efniskostnaður meira en þrefaldast, svo lauslega er áætlað, að þessar boranir munu kosta um 50 Mkr á núverandi verðlagi.

9 sérfræðingar á jarðhitadeild hafa haft afskipti af rannsókn Krísuvíkursvæðisins auk fjölda sumarvinnumanna og bormanna. Áætlað hefur verið, að framlag sérfræðinganna samsvari eitthvað um 60-70 mánaða vinnu, en framlag sumarvinnumanna 40-50 mánaða vinnu. Heildarkostnaður við starfslið vegna rannsóknarinnar er á þessum grundvelli metinn á kr. 22.000 miðað við núverandi verðlag. Heildarkostnaður við rannsóknina er þannig metinn á 72 Mkr.

## 1.2 Árangur rannsókna

### Yfirborðsjarðhiti, stærð svæðis

Yfirborðsjarðhita á Krísuvíkursvæði er fyrst og fremst að finna sunnan Kleifarvatns, í Sveifluhálsi vestan Seltúns og í Sogum og norðan við Trölladyngju. Vegna dreifingar jarðhitans lá ekki ljóst fyrir, hvort um eitt eða tvö jarðhitakerfi var að ræða, annað í nágrenni Trölladyngju og hitt í umhverfi Seltúns. Viðnámsmælingar hafa sýnt, svo ekki verður um villst, að um eitt samhangandi jarðhitakerfi eða svæði er að ræða og hefur það jafnan verið nefnt Krísuvíkursvæði. Á nokkur hundruð metra dýpi er samfelld lág viðnám á um 40 ferkílómetra svæði, og hafa hitamælingar í borholum staðfest, að sá hiti, sem samsvarar þessu lága viðnámi er um og yfir 200°C. Geymir þetta jarðhitasvæði

því geysilegt magn af heitu vatni, þótt ekki sé hitinn mjög hár af háhitavatni að vera, að minnsta kosti í efstu 1000 metrunum. Vatnsfordinn í 1000 metra þykku lagi samsvarar um 1400 lítra rennsli á sekúndu í 100 ár. Þessi tala gefur nokkra hugmynd um stærð svæðisins, en hana má ekki taka sem mat á afkastagetu þess.

### Segulsvið

Segulkort, sem gert var af svæðinu sýndi enga lögð í segulsviðinu yfir jarðhitasvæðinu eins og oftast vill verða á háhitasvæðum. Talið er, að segullægðin verði til við eyðingu magnetíts í upprunaberginu fyrir áhrif heita vatnsins. Astæðan fyrir vöntun á segullægð á Krísuvíkursvæði er talin vera sú, að þar séu hvergi fyrir hendi nógu stórir og vel markaðir uppstreymistappar, að nægileg samfelld eyðing á magníti hafi átt sér stað til þess að framkalla segullægð.

### Hitaferlar

Eitt megineinkenni jarðhitasvæðisins eru viðsnúnir hitaferlar í öllum þeim borholum, 5 talsins, sem eru dýpri en 800 metrar. Þessi niðurstaða hefur án efa valdið mestum örðugleikum við mat á vinnslueiginleikum svæðisins. Hæsti hiti, sem mælst hefur á svæðinu er  $262^{\circ}\text{C}$  á um 500 metra dýpi í holu 6 við Trölladyngju. Í öðrum djúpum holum (800-1000m) á svæðinu er hæsti mældur hiti á bilinu  $183-222^{\circ}\text{C}$ . Í botni þessara djúpu kola er hitinn á bilinu  $153-218^{\circ}\text{C}$ . Svo virðist sem samband sé á milli hámarkshitans í djúpu holunum og dýpis niður á þennan hita, þannig að hæstur hiti kemur fram þar sem dýpst er niður á hámarkshita. Á milli móbergshálsanna, Sveifluháls og Vesturháls, virðist liggja um 200-300 metra lag af köldu fersku grunnvatni ofan á heita vatni jarðhitakerfisins, eftir því sem dæma má af niðurstöðum úr borholum 7 og 8, sem eru við Djúpavatn og vestan undir Sveifluhálsi. Mjög hár hitastigull, eða allt að  $90^{\circ}\text{C}/100$  metra er neðst í köldu linsunni. Kalda lagið ofan á jarðhitakerfinu er talið vera vísbending um óverulegt uppstreymi heits vatns á þessum hluta svæðisins. Áberandi er, að neðan hámarkshita í öllum djúpu holunum, er hiti mjög jafn allt niður í botn kolanna. Venjulega mundi svo jafn hiti á mismunandi dýpi í berggrunni vera túlkaður með lóðréttu vatnsstreymi og kemur til álita, að á

Krísuvíkursvæðinu geti bæði verið um uppstreymi eða niðurstreymi að ræða.

### Ummyndun

Ummyndun og dreifing ummyndunarsteina svipar í mörgu til ummyndunar á öðrum háhitasvæðum, sem borað hefur verið í og ummyndunar í fornum rofnum háhitasvæðum í kvarteru og tertíeru bergi. Þó er áberandi, að zeólíta vantar í ummyndaða bergið næst yfirborði og ummyndunarsteindir eins og klórít koma fyrst fram á óvenjulega litlu dýpi. Jafnan finnast margar tegundir zeólíta í ummynduðu bergi í borholum á öðrum háhitasvæðum niður á nokkur hundruð metra dýpi og er tilvera þeirra merki um tiltölulega lágan hita eins og alltaf verður efst í uppstreymisrásum háhitasvæðum vegna suðu í berginu. Má því segja, að í heild passi ummyndun á Krísuvíkursvæðinu illa saman við núverandi hitaástand og beri merki um hærri hita. Á þetta einkum við um holu 5 við Kleifarvatn, en ekki svo mjög um holu 6 við Trölladyngju eða holu 8 vestan undir Sveifluhálsi. Því er varla til að dreifa, að svo mikið rof hafi átt sér stað að zeólítlagið hafi eyðst ofan af þar sem hola 5 er nú. Hefur sú skýring komið fram, að núverandi ummyndun, sem hola 5 fer í gegnum, hafi myndast meðan jökull ísaldar lá enn yfir svæðinu og farg hans hefur valdið því, að hiti hefur ef til vill verið nálægt 200°C efst í berggrunninum.

### Efni í vatni

Krísuvíkursvæðið er að því leyti frábrugðið öðrum háhitasvæðum, að efnainnihald djúpvatnsins er mjög breytilegt. Þennan breytileika má skýra með blöndun heits tiltölulega salts vatns við ferskt vatn. Blöndunin mun tæplega vera yfirborðsfyrirbæri, þannig að hún hafi átt sér stað efst í uppstreymisrásum, heldur dýpra í kerfinu. Virðist sem ferska vatnið hafi náð að hitna verulega, áður en blöndunin átti sér stað. Blöndun sem þessi er talin eiga skilt við þá eiginleika jarðhitasvæðisins, að það skuli ekki einkennast af ákveðnum og vel afmörkuðum uppstreymistappa.

### Líkan af svæðinu

Þrjár skýringar hafa verið settar fram til þess að skýra hina viðsnúnu hitaferla í öllum djúpu holunum og eru þær þessar:

- (1) Uppstreymi á miklu dýpi undir svæðinu miðju og þaðan skástreymi í átt til yfirborðs til allra hliða, meira eða minna.
- (2) Aðskilin uppstreymissvæði, líklega eitt undir Sveifluhálsi og annað undir Trölladyngju, og lárétt streymi út frá þeim á tiltölulega litlu dýpi. Leiddi lárétta streymið til myndunar á svepplaga massa af heitu vatni og bergi ofan á uppstreyminu.
- (3) Dvínandi hitagjafi undir svæðinu án verulega minnkaðs rennslis inn í það neðan frá. Þetta mundi leiða til lækunar á hita vatnsins í rötum jarðhitakerfisins og auka líkur á kólnun ofan frá.

Skýring (1) var fyrst sett fram, eftir að komið hafði í ljós að borholurnar við Kleifarvatn og Trölladyngju fóru í gegnum hámarkshitann. Skýrði hún hina viðsnúnu hitaferla og megindrættina í dreifingu jarðhitans á yfirborði og tók auk þess nokkurt tillit til hinnar hringlaga lögunar viðnámslægðarinnar, sem afmarkar jarðhitasvæðið. Studdist þessi skýring við þekkingu á jarðfræðistrúktúr, sem gjarnan einkennir megineldstöðvar, en þessi strúktúr samanstendur af allstöru innskoti undir megineldstöðinni miðri og hallandi keilugöngum frá efsta hluta hennar, en slíkir keilugangar gætu auðveldlega myndað rásir fyrir heitt vatn. Þessi skýring var lögð fyrir róða, þegar í ljós kom, að borhola 8, sem er vestan undir Sveifluhálsi og vel inni á jarðhitasvæðinu eða öllu heldur viðnámslægðinni, fór í gegnum hámarkshita og það á um 400 metra dýpi.

Með núverandi vitneskju verður ekki úr því skorið, hvort skýringar (2) eða (3) eigi fremur við um Krísuvíkursvæðið, eða hvort einhverjir aðrir þættir ráði hinum viðsnúnu hitaferlum. Skýring (3) þróaðist ekki fyrr en nokkru eftir að borun lauk með nokkuð ítarlegri úttekt á ummyndun, efnainnihaldi vatnsins og djúpum viðnámsmælingum, sem sýndu hátt eðlisviðnám á nokkra kílómetra dýpi. Þetta háa viðnám getur stafað af lágum hita eða litlum poruhluta bergsins á þessu mikla dýpi. Stafi það af lágum hita, styður það hugmyndina um dvínandi hitagjafa. Vert er að nefna það, að umrætt viðnám undir Krísuvíkursvæðinu er svipað og hefur mælst á nokkrum stöðum í tertíeru basaltmynduninni og miklu herra en mælst hefur í gosbeltinu annars staðar, hvort heldur sem er innan eða utan háhitasvæða. Virðist því sem skýring (3) falli betur í heildina að þeim túlkunum, sem

gerðar hafa verið á hinum ýmsu athugunum á jarðhitasvæðinu heildur en skýring (2) um aðskilin uppstreymissvæði. Niðurstöðurnar og tálkanirnar, er þetta varðar eru þó miklu fremur uppástunga en vísu hvað tekur til skýringar á hinum viðsnúnu hitaferlum.

### Vinnslueiginleikar

Vinnslueiginleikar Krísuvíkursvæðisins voru geysilega mismunandi eftir því, hvort skýring (2) eða (3) ættu betur við. Reyndist skýring (3) rétt hefði jarðhitasvæðið að geyma geysilegt magn af vatni með hita um og aðeins yfir 200°C og væri því vart nýtanlegt fyrir raforkuframleiðslu eða iðnað, sem þyrfti háprýsta gufu. Hins vegar er líklegt, að svæðið væri hentugt til hitaveitunotkunar eða iðnaðar, sem þyrfti heitt vatn eða lágprýsta gufu. Reyndist skýring (2) hins vegar passa betur fyrir svæðið má gera ráð fyrir því, að með 2000-3000 metra djúpum borunum mætti fá nægilega heitt vatn inn í borholur fyrir framleiðslu á háprýstri gufu.

### Hitaveitunotkun

Efnainnihald heita vatnsins er slíkt, að bein notkun þess til húshitunar kemur vart til greina. Þó virðist mögulegt að blanda heita vatninu beint saman við kalt vatn til þess að fá notkæft vatn til húshitunar. Gildir þetta þó aðeins um vatn á hluta jarðhitasvæðisins einkum þess hluta, sem liggur á milli Sveifluháls og Vesturháls. Frá sjónarkóli landfræðilegu og leiðslustæðis fyrir hitaveitulögn virðist þessi hluti Krísuvíkursvæðisins einnig æskilegastur fyrir hitaveitunýtingu.

### Afl vinnsluhola

Þar sem rannsóknarholurnar voru hannaðar á þann veg, að ekki var unnt að láta þær blása verður ekki sagt neitt með vissu um væntanlegt afl vinnsluhola. Þó lentu allar rannsóknarholurnar í allmörgum og stórum vatsæðum á nýtanlegu dýpi, eða neðan um 200 metra, þannig að heildarskoltap var yfir 50 l/sek og gefur það jákvæða vísbendingu um afl vinnsluhola. Vatnsborðið í rannsóknarholunum var niður á um 50 metra dýpi, nema í holu 6 við Trölladyngju, þar sem það var hærra og fór hola um síðir í blástur af sjálfsdáðum. Ekki verður um það sagt með núverandi upplýsingum, hvort þetta lága vatnsborð hefur áhrif á afl

vinnsluhola, en þar sem hiti er tiltölulega lágur og suða hefst því ekki fyrr en mjög ofarlega í holunum, er hugsanlegt, að þetta lága vatnsborð geti dregið nokkuð úr rennsli til yfirborðs.

### Djúpborun

Talið er nauðsynlegt að bora eina til tvær 2000 metra djúpar rannsóknarholur í Krísuvíkursvæðið, áður en unnt er að gefa nægilega ákveðna umsögn um vinnsloeiginleika svæðisins, að unnt sé að stefna að eða taka ákvörðun um ákveðna nýtingu þess. Með þessari djúpborun væri stefnt að því að skera úr um, hvort skýringar (2) eða (3) hér að ofan ættu betur við og segja um leið fyrir um, hvort þetta svæði hentaði fyrir vinnslu á háþrýstri gufu til raforkuframleiðslu eða iðnaðar með því að bora nógu djúpar vinnsluholur.

Líklegast er talið, að þessum djúpu holum yrði valinn staður inni á öðrum lága viðnámsblettinum á jarðhitasvæðinu og milli Sveifluháls og Vesturháls. Við nákvæma staðsetningu þarf að taka tillit til landslags, kostnaðar við öflun skolvatns og vegagerðar að borstað og náttúruverndarsjónarmiða.

### Affallsvatn

Hinir ýmsu hlutar Krísuvíkursvæðisins liggja ekki allir jafnvel við gagnvart losun affallsvatns, hvað tekur til hugsanlegra skaðlegra áhrifa á grunnvatn og umhverfisþjöll. Enn sem komið er, hafa engar athuganir verið gerðar í þessu skyni.





## 2. ÁGRIP AF JARÐFRÆÐI

### 2.1 Inngangur

Mörk þess svæðis, sem hér er nefnt Krísuvíkursvæði eru dregin með tilliti til jarðhita, sem vart verður í yfirborði lands eða í vötnum (Kleifarvatn, Grænavatn).

Sé sú lína dregin frjállega kemur í ljós að hún afmarkar svæði, sem í grófum dráttum er hringlaga að því fráskildu að hita-  
svæði norðaustan við Sandfell verður utan þeirra línu. Bendir það raunar til þess að í dýpri jarðlögum sé hitasvæðið miklu stærra.

Það sem setur svip á landslagið á þessu svæði eru umfram allt hálsarnir eða Móhálsar eins og þeir eru einu nafni nefndir en það eru Sveifluháls og Vesturháls eða Núpshlíðarháls. Ekki virðast þeir þó vera elsta bergmyndun á þessu svæði en talsverðar líkur fyrir, að báðir séu þeir ofan á fornum grágrýtishraunum, sem runnið hafa á hlýskeyði fyrir síðustu ísöld eða áður. Grágrýtið sunnan við Krísuvík virðist liggja inn undir Sveifluháls. Það er urið af jöklum ísaldarinnar, en ekki er vitað um slíkt berg aftur, fyrr en kemur vestur að Slögu norðan við Ísólfskála. Sýnist það hverfa inn undir móbergsfjöllin þar. Almennt er nú viðurkennt að hálsarnir, sem eru móbergshryggir, séu myndaðir við sprungugos, sem orðið hafa undir jöklum. Vegna snöggrar kælingar hafa gosefnin storknað sem gler (móberg) en innan um það ægir öllu saman, blágrýtismolum, lagskiptum sandi og jafnvel leir, bólstrabergi og jökulruðningi. Svo er að sjá sem Sveifluháls hafi myndast í nokkrum sprungugosum og væntanlega á nokkuð mismunandi tímum. Telja má visst, að meginhluti hans hafi myndast á síðustu ísöld. Eftir það hafa orðið nokkur gos hér og þar á hálsinum, utan í honum og austan við hann. Kunnastar þeirra gosstöðva eru Grænavatn og Gestsstaðavatn. Fleiri gígir eru þar í kring, en Grænavatn sker sig úr í því að hraun það er væntanlega hefur í lok gossins fyllt gíginn hefur brotnað

og hrpað niður í hann að gosinu loknu. Það lítið, sem komið hefur af hrauni í þessum gosum er mjög svipað að útliti. Vesturháls er byggður upp á sama hátt og undir sömu skilyrðum það er séð verður. Um aldurshlutföll hálsanna beggja er ekki vitað en gos hafa orðið austan í Vesturhálsi eftir að aðalhálsinn var orðinn til og smágos hafa orðið á honum á mörgum stöðum á nútíma og mikil gos vestan í honum norðanverðum og norðan við hann.

Mörg misgengi og sprungur liggja eftir báðum hálsunum endilöngum. Sumar sprungurnar á Vesturhálsi hafa spúð hrauni. Dalurinn milli Sveifluháls og Vesturháls nefnist Móhálsadalur. Allur er dalbotninn þakinn hraunum og margar eru þar eldstöðvar. Flest eru það gossprungur en tvær dyngjur eru þar líka. Sunnan-til í dalnum hefur gos orðið á sögulegum tíma, Ögmundarhraun. Vestan við Vesturháls taka aftur við miklir hraunflákar, sem eins og áður nefnd hraun ná frá Faxaflóa og til hafs sunnan á nesinu. Fjöldi eldstöðva er þar og jarðhiti víða eins og síðar verður sagt.

Varðandi jarðfræði þessa svæðis í heild vísast að öðru leyti til fyrri skýrslu jarðhitadeildar: Frumrannsókn jarðhita á Krísuvíkursvæði. Maí 1971.

## 2.2 Jarðhitastaðir

Verða nú taldir þeir staðir á þessu svæði, þar sem vitað er um jarðhita á yfirborði. Austurengjahverir í Krísuvík eru á línu austan við Stóra Lambafell. Syðstur þeirra er gufu- og leirhver mikill, sem upp kom í jarðskjálftum 1924 og núna er venjulega nefndur Austurengjahver, en var áður nefndur Nýihver eða Stórihver. Hveradalur í Sveifluhálsi ofan við núverandi byggð í Krísuvík er annað aðalhverasvæðið í Krísuvík. Seltún er það svæði, sem mest hefur verið borað á í seinni tíð. Auk þess er hverinn Þínir uppi á öxlinni suðvestur af Seltúni. Hann var öflugur gufuhver þar til fyrir fáum árum, að hann breyttist í hitaskellu. Fjöldamörg gufuaugu eru utan í austurhlíð Sveifluháls vestan og ofan við Seltún og eins á mótum hlíðar og sléttu milli Seltúns og Irpuhóls. Heitt vatn kemur svo fram á sléttunni milli Irpuhóls og Bleikhóls, og einnig er volg smálinð

vestan í Stóra Lambafelli og volg smálaug á Austurengjum. Á fyrstnefnda staðnum er gömul sundlaug. Eru þetta einu staðirnir á svæðinu, þar sem vitað er um laugavatn. Við suðurenda Kleifarvatns er allstór leirhver í svonefndum Hvömmum. Í Kleifarvatni eru hverir, bæði beint austur af Lambatanga og eins norður af Geithöfða, en auk þess er hver í því út af Syðra Stapa, nálægt því svæði, þar sem vatnið er dýpst, en þar er það um 97 m djúpt.

Uppi á Sveifluhálsi eru leirhverir í dalnum, sem gengur norður frá Hveradal. Sá nyrsti þeirra er hérumbil beint í vestur frá Seltúni norðvestan undir Hatti, en það er móbergshnúkur sá, er hæst ber vestur af Seltúni. Leirhverir og gufuaugu eru svo vestan til á hálsinum suðvestur af Arnarvatni á mjög afmörkuðu svæði og nokkur gufuaugu og smá leirpyttir vestan í Hettu. Loks skal svo nefna gufuaugu með brennisteinsútfellingum í hrauninu beint vestur af Köldunámum, en þar eru gömul jarðhitaskella vestan í Sveifluhálsi norðvestanverðum. Þessi gufuhver hefur verið nefndur Leynihver. Smá volgra er svo vestan í Sveifluhálsi gegnt Traðarfjöllum í gili norðaustur af Slögu. Verður svo ekki vart jarðhita fyrr en í Sogum vestur og norður af Djúpavatni, og er þá komið á þann hluta svæðisins, sem kenndur er við Trölladyngju. Í Sogum er jarðhiti á tveim stöðum: Í suðurvanga gils þess, er liggur til vesturs úr Sogum, og lítið eitt sunnar. Fyrri staðurinn er gufuauga í mjög ummynduðum kletti, en hin síðari eru tveir litlir leirhverir í grasi gróinni hlíð, sem snýr móti vestri skammt sunnan við áðurnefnt gil. Norðan undir Trölladyngju er Eldborg, og báðum megin við hana og í henni eru gufuaugu, bæði í hrauninu og eins í móbergsrana, sem raunar er norðurhornið á Trölladyngju.

Lambafell er spölkorn norðan við Eldborg. Í því eru gufuaugu og allmikill hiti og ummyndun. Vestur af Trölladyngju er Oddafell og í því töluverður hiti, því sem næst beint í vestur frá Sogum. Gufuaugu eru þar, mikil ummyndun og heitur leir.

Örskammt sunnan og austan við suðurenda Oddafells er Hverinn eini, en hann var um langt skeið einn mesti gufuhver á öllu suðvesturlandi.

Loks er hitasvæði við norðvesturhornið á Sandfelli um

4.5 km sunnar. Þar eru allmörg gufuaugu í hrauninu á svæði, sem er um 150 x 50 m og hefur þar mælst um 80°C.

### 2.3 Ummyndað berg

Víða er berg á Krísuvíkursvæðinu myndbreytt fyrir áhrif jarðhita. Tvö svæði, utan hinna eiginlegu hverasvæða, skera sig þó út hvað þetta snertir, en þau eru skarðið milli Stóra og Litla Lambafells í Krísuvík og Soga sunnan og suð-austan við Trölladyngju. Austan við Austurengjar má heita, að ummyndun sé horfin, og lítið verður hennar vart á landi þar norður af, en syðst í Kleifarvatni, norður af Geithöfða, er mikil ummyndun, enda eru þar hverir, eins og áður er sagt.

Í Hvömmum og Hvammholti er mikil ummyndun og er líklegt, að svo sé óslitið suður á svæðið kringum Lambafell og Austurengjahveri. Vestur af Austurengjahver er einnig töluverð ummyndun, við Grænavatn er hún hins vegar orðin óveruleg. Austan í Sveifluhálsi, vestur af gróðurhúsunum er allmikil ummyndun, sem nær hámarki í hitaskellu, með gufuaugum neðst í hlíðinni. Þessi ummyndun liggur svo á belti um hálsinn þveran sunnan við Hettu yfir á hverasvæðið þar vestur af. Mikil ummyndun er á því svæði og næsta nágrenni þess. Í Hveradalnum og austan við hann er geysimikil ummyndun og má heita, að hún máí óslitið yfir í Seltún. Sérstaklega er ummyndunin áberandi á öxlinni austan við Hveradal, og sést hún langt að. Í Seltúni og norðaustur af Irpuhól er mjög mikil ummyndun og Bleikhóll dregur nafn af mikilli ummyndun. Í hlíðinni upp af Seltúni er ummyndun á víð og dreif og sums staðar mikil, enda eru þar gufuaugu. Hverinn Pínir var á öxlinni suður af Seltúni, en hann er fyrir fáum árum horfinn að heita má, en eftir er aðeins hitaskella og mikil ummyndun. Leirhverinn stóri við holu 14 hvarf sem slíkur um miðjan mars 1971.

Fremur lítil ummyndun er út frá gufuhvernum vestur af Arnarvatni, en á svæðinu norðaustur af Slögu er allveruleg ummyndun, sem nær norður á móts við suðurenda Traðarfjalla, en einnig þar er veruleg ummyndun. Mjög mikil ummyndun er vestan Sveifluhálsi nokkuð norðar, eða því sem næst við Hofmannaföt. Í suðurenda Hrótafells er og ummyndun og eins norðaustur af

Djúpavatni. Þessar staðreyndir eru sá jarðfræðilegi grundvöllur fyrir þeirri skoðun, að Krísuvíkur- og Trölladyngjusvæðin séu í raun rétttri eitt og sama jarðhitasvæðið, og hefur því verið valið nafnið Krísuvíkursvæði.

Lítið eitt norðan við Hofmannaflöt eru Köldunámur, en það er augljóslega gömul hitaskella, og mikil ummyndun þar. Nafnið bendir til, að brennisteinn-hafi þar verið numinn eina tíð. Í hrauninu þar beint vestur af er gufuhver, sem hér hefur verið nefndur Leynihver. Vera má, að hér sé um tilfærslu á hitauppreyminni að ræða. Brennisteinsútfellingar eru við Leynihver.

Nokkurrar ummyndunar verður vart í gígum Hrútaggjárdyngjunnar, en fremur er það óverulegt, og má vel vera, að það stafi frá gufuútspreyminni að gosunum loknum fremur en frá jarðhita í venjulegum skilningi þess orðs. Ein sú allra mesta ummyndun á Krísuvíkursvæðinu öllu er í svonefndum Sogum, en það er skarð í Vesturháls sunnan við Trölladyngju og Grænudyngju og rétt norðan við Djúpavatn. Vatnaskil eru austast í skarðinu og lítill lækur rennur vestur úr því, niður um Höskuldarvelli og hverfur loks í hraun í Sóleyjarkrika. Í Sogum eru margra metra þykk lög úr hveraleir og allt berg, sem sér í báðum megin í skarðinu, er gersamlega sundursoðið af jarðhita.

Í Oddafelli gegnt Sogum er og mikil ummyndun, enda er þar jarðhiti ennþá, og yfir 60° hiti hefur þar mælst í leir uppi á fellinu. Eins og áður er getið, eru gufuaugu í Sogum sjálfum og leirhverir nokkru sunnan við lækinn, sem úr þeim rennur. Eru þeir í grasi gróinni brekku, sem snýr móti vestri.

Í móbergstanga, sem gengur til norðurs út frá Trölladyngju, eru gufuaugu, nokkur ummyndun og hár hiti. Gufuaugun eru svo á línu gegnum Eldborg í áttina til Lambafells. Þar eru gufuaugu, heitur leir og veruleg ummyndun. Ætla má, að samfelld ummyndun tengi þessa staði saman undir hraunþekjunni, sem er of ung til þess að vera ummynduð. Sama máli gegnir um svæðið milli Soga og Oddafells. Við suðausturenda Oddafells er Hverinn eini, sem áður er getið, og kringum hann ummyndað svæði, en ekki er það stórt.

Nokkur ummyndun er svo suður af Grænavatni á Vesturhálsi

og á nokkrum stöðum sunnar í hálsinum. Loks er ummyndað svæði kringum gufuaugun austan undir Sandfelli.

Gera má ráð fyrir, að ummyndunar gæti víðar en hér hefur verið talið, en tæplega er þar um stór svæði eða verulega ummyndun að ræða.

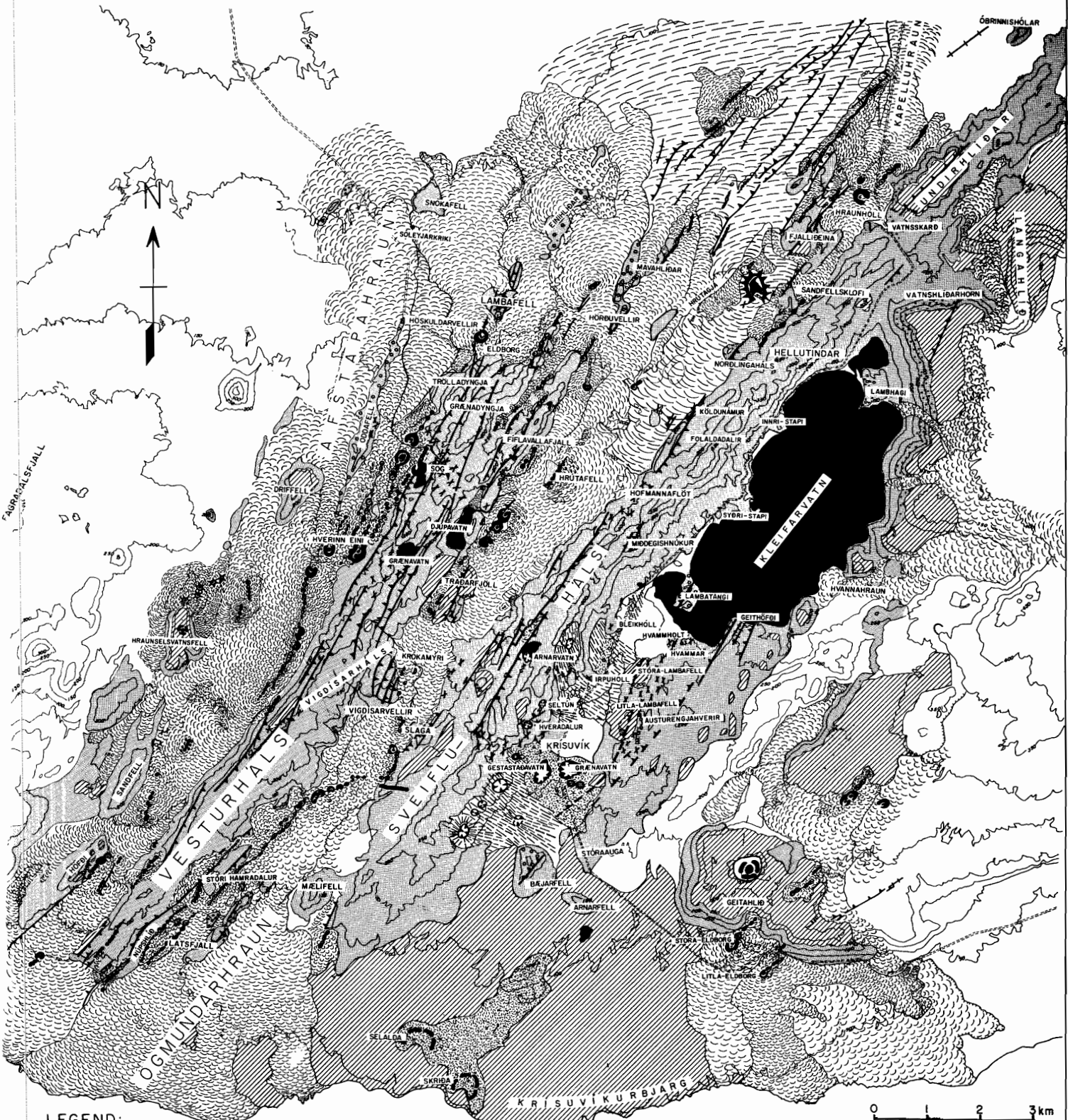
Tilvitnanir:

Bárðarson, G. (1929)

Geologisk Kort over Reykjanes-Halvöen  
Rep. of the 18 Scandinav. Naturalist Congr.  
Copenh. 26-31 Aug. 1929.

Imsland, P. (1973)

Um jarðfræði Sveifluháls.  
Háskóli Íslands. Verkfr. og raunvísanadeild.



LEGEND:

- |  |  |  |  |
|--|--|--|--|
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

0 1 2 3 km



### 3. MÆLINGAR Á SMÁSKJÁLFTUM

Við yfirlitsmælingar á skjálftavirkni á árunum 1967-1970 kom í ljós, að smáskjálftar voru algengir í virku gosbeltunum en tíðastir voru þeir á háhitasvæðum innan gosbeltanna. Nákvæmari athugun, sem gerð var sumarið 1968 á Krísuvíkursvæði og Hengilssvæði sýndi, að þar voru skjálftar tíðastir innan marka, sem dregin voru á 1-6 km dýpi en langflestir urðu skjálftarnir á 2-4 km dýpi undir Hengilssvæði og 2.5-4.5 km dýpi undir Krísuvíkursvæði. Á báðum svæðum eru skjálftarnir því tíðastir í efra borði lags 3, sem talið er mun þéttara en efri berglög og hugsanlega 350-400°C heitt. Myndir 3.1 og 3.2 sýna niðurstöður af Krísuvíkursvæði. Skjálftamælar voru í hornpunktum þríhyrnings, sem teiknaður er á mynd 3.1, vestan Sveifluháls og sunnan Djúpa vatns. Tölur á mynd 3.1 tákna stað og dýpi skjálfta í km. Innbyrðis óvissa í stað og dýpi er um 600 m. Gráskyggð svæði eru ummerki jarðhita. Borholur í Seltúni austan við Sveifluháls eru sýndar sem hringar. Á mynd 3.2 er sýnd dreifing skjálftanna í lóðréttum sniðum í A-V og N-S stefnu. Til hægri er sýnd lagskipting bergs á svæðinu. Mest er um skjálfta í efra borði lags 3 undir suðurenda Kleifarvatns og undir Sveifluhálsi frá suðurenda vatnsins til suðvesturs, suður undir Krísuvíkurbæ. Nær engir skjálftar mælast á þessu tímabili á Trölladyngjusvæði, en þar höfðu verið skjálftar sumarið 1967. Sumarið 1971 setti leiðangur frá Lamontstofnun upp 13 skjálftamæla á Krísuvíkursvæði. Mynd 3.3 sýnir skjálftamæla sem þríhyrninga og skjálfta sem ferninga. Líkt og sumarið 1968 voru skjálftar tíðir undir suðurhluta Kleifarvatns og sunnanverðum Sveifluhálsi en nú teygði skjálftasvæðið sig mun lengra vestur en 1968. Skjálftarnir liggja á um 5 km breiðu svæði með stefnu N 70° A. Samskonar mælingar á Reykjanesi sumarið eftir, bentu til þess, að svæði þetta næði vestur eftir öllum skaganum um Svartsengi og þaðan um Eldvörp út á Reykjanes. Skjálftarnir á Krísuvíkursvæði voru flestir líkt og fyrr á 2.5-5 km dýpi en einstaka

skjálftar voru á allt að 9 km dýpi og þá undir miðju svæðinu. Eru þeir sýndir sem dökkir ferningar á mynd 3.3.

Austan Kleifarvatns mældust nær engir skjálftar líkt og undanfarin sumur.

Athugun á hreyfingarstefnu skjálftanna sýndi, að misgengi sem skjálftunum ollu, voru oftast lárétt víxlengi, ýmist með vinstri eða hægri hreyfingarstefnu en nokkuð var einnig um venjuleg misgengi með norðaustlæga strikstefnu (Mynd 3.4). Stefna minnsta bergþrýstings var að jafnaði lárétt og norðvestlæg en mesti bergþrýstingur var ýmist láréttur og norðaustlægur eða lóðréttur eða með stefnu þar á milli.

Haustið 1971 komu Orkustofnun og Raunvísindastofnun upp sex varanlegum skjálftastöðvum á Reykjanesskaga til að fylgjast með skjálftavirkni á skaganum í heild yfir langan tíma. Seinni hluta ársins 1971 og árið 1972 einkenndist skjálftavirknin af hrinum, sem komu með nokkurra vikna millibili og áttu ýmist upptök sín á Reykjanessvæði eða Krísuvíkursvæði. Fyrri hluta 1973 voru skjálftar mun færri þar til 15. sept., að skjálfti rúmlega 5 stig að stærð varð við Núpshlíðarháls og tveimur dögum síðar álíka stór skjálfti vestast í Fagradalsfjalli norðaustur af Grindavík. Þessum skjálftum fylgdi urmull af smærri skjálftum og færðust upptökin á 4 dögum vestur á Reykjanes og austur að Kleifarvatni. Upptökin mörkuðu enn sama svæðið og áður hafði komið fram í minni hrinum og dreifingu stakra skjálfta. Úrvinnsla gagna stendur enn yfir en ljóst er, að skjálftasvæðið á Reykjanesskaga er mjótt belti, sem þræðir helstu gíga og háhitasvæði á skaganum frá Reykjanesi að Kleifarvatni. Framhald þessa beltis liggur eftir Reykjaneshrygg um Eldey og Eldeyjarboða. Austan Kleifarvatns virðist ástand bergsins breytast. Þar mæl-ast nær engar hrinur, fyrr en kemur austur og norður á Hellisheiði. Bergið virðist sterkara og lætur ekki undan átökum nema í stórum skjálftum. Síðasti stór skjálfti á þessu svæði varð í desember 1968. Stærð hans var talin um 6 stig og upptök líklega nálægt Brennisteinsfjöllum. Þessar mælingar um lengri tíma hafa staðfest, að skjálftar eru einna tíðastir á háhitasvæðunum á Reykjanesi, við Svartsengi og Krísuvík. Skjálftar á beltinu sem tengir háhitasvæðin eru frekar stakir skjálftar en hrinur,

en hver þeirra er fremur stærri og því er orka, sem þar losnar á lengri tíma líklega svipuð og orka, sem hrinur á háhitasvæðunum losa. Orsök skjálftanna virðist fremur vera spennan á öllum skaganum en staðbundin spennan á hitasvæðunum. Berg háhitasvæðanna er hins vegar veikara og lætur oftast undan ytra álagi. Líklegt er, að þar valdi vatn í berginu og ummyndun sem því fylgir.

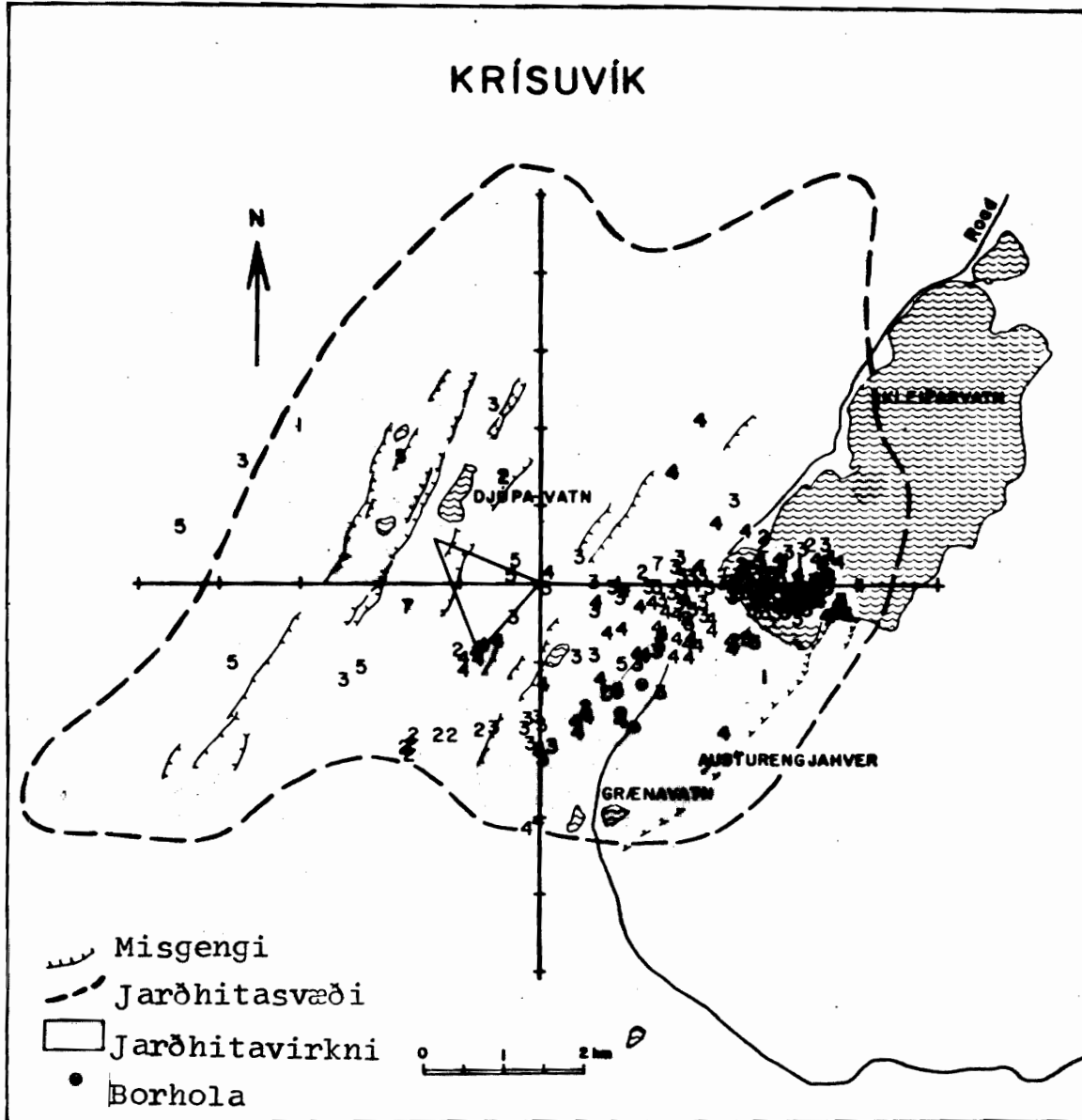
Dreifing skjálfta á Krísuvíkursvæði bendir til þess, að vatn komist þar niður að efra borði lags 3 í 2.5-5 km dýpi. Skjálftarnir sýna hvar nýlegra brota og sprungna er að vænta. Dreifing þeirra getur verið nokkuð breytileg frá degi til dags en helst þó innan ákveðins svæðis, ef lítið er á lengri tíma. Ef þessi túlkun skjálftamælinga er rétt mætti búast við sprungnu bergi og háum hita á 2.5-5 km dýpi undir suðurenda Kleifarvatns og Sveifluhálsi suðvestur af vatninu. Vegna niðurstreymis kaldara vatns um efri lög yrði erfitt að ganga úr skugga um, hvort þarna er að finna virkjanlegan háhita, nema með rannsóknarborun niður á 3-4 km.

#### Heimildarit:

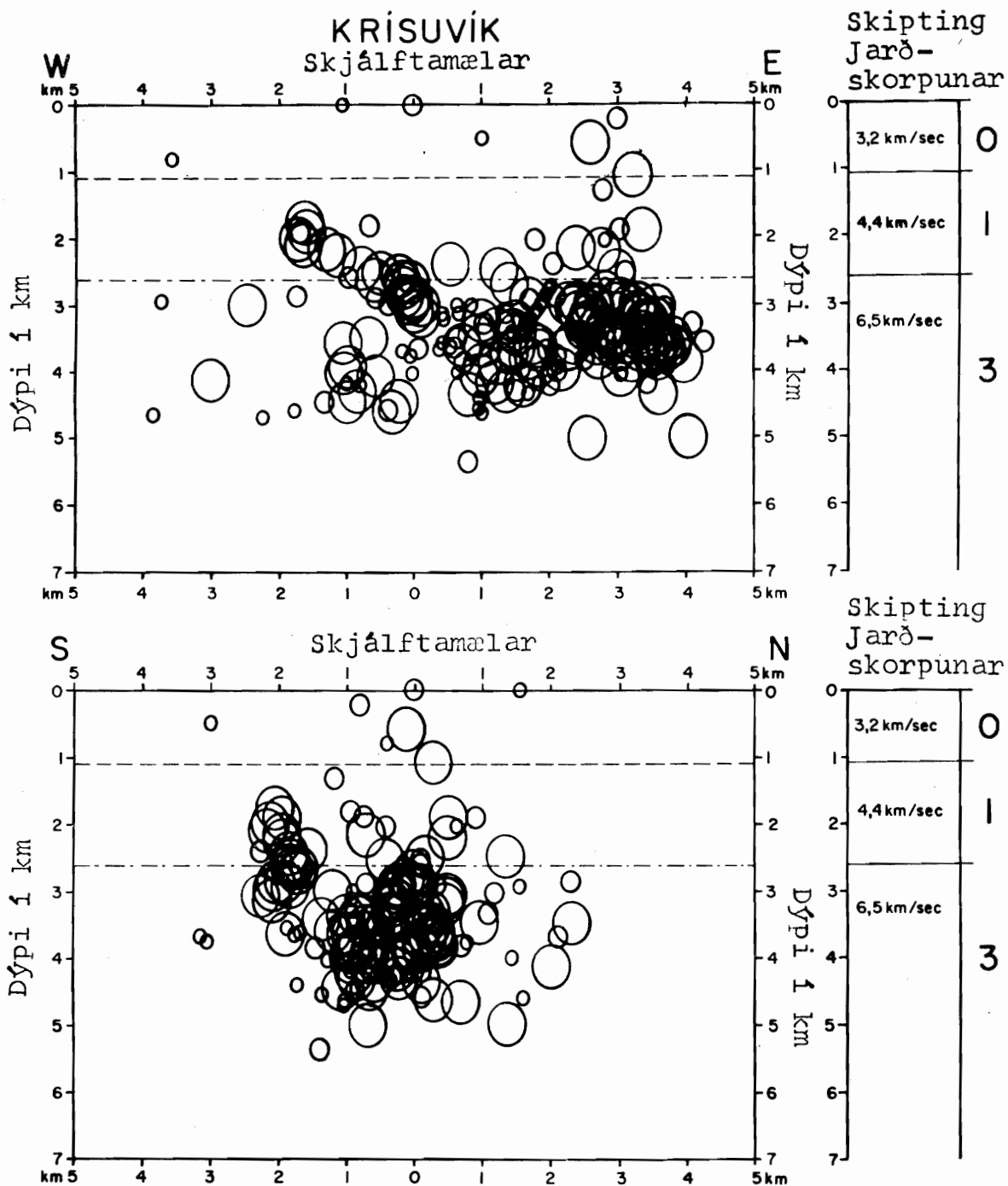
- P.L. Ward, G. Pálmason, C. Drake, 1969: Microearthquake Survey and the Mid-Atlantic Ridge in Iceland  
JGR 74, 665-684
- P.L. Ward, S. Björnsson, 1971: Microearthquakes, swarms and the geothermal areas of Iceland  
JGR 76, 3953-
- F.W. Klein, P. Einarsson, M. Wyss, 1973: Microearthquakes on the Mid-Atlantic Plate Boundary on the Reykjanes Peninsula in Iceland  
JGR 78, 5084-5099
- S. Björnsson, P. Einarsson, 1974: Seismicity of Iceland. I Geodynamics of Iceland and the North Atlantic Area, 225-239, D. Reidel, Holland



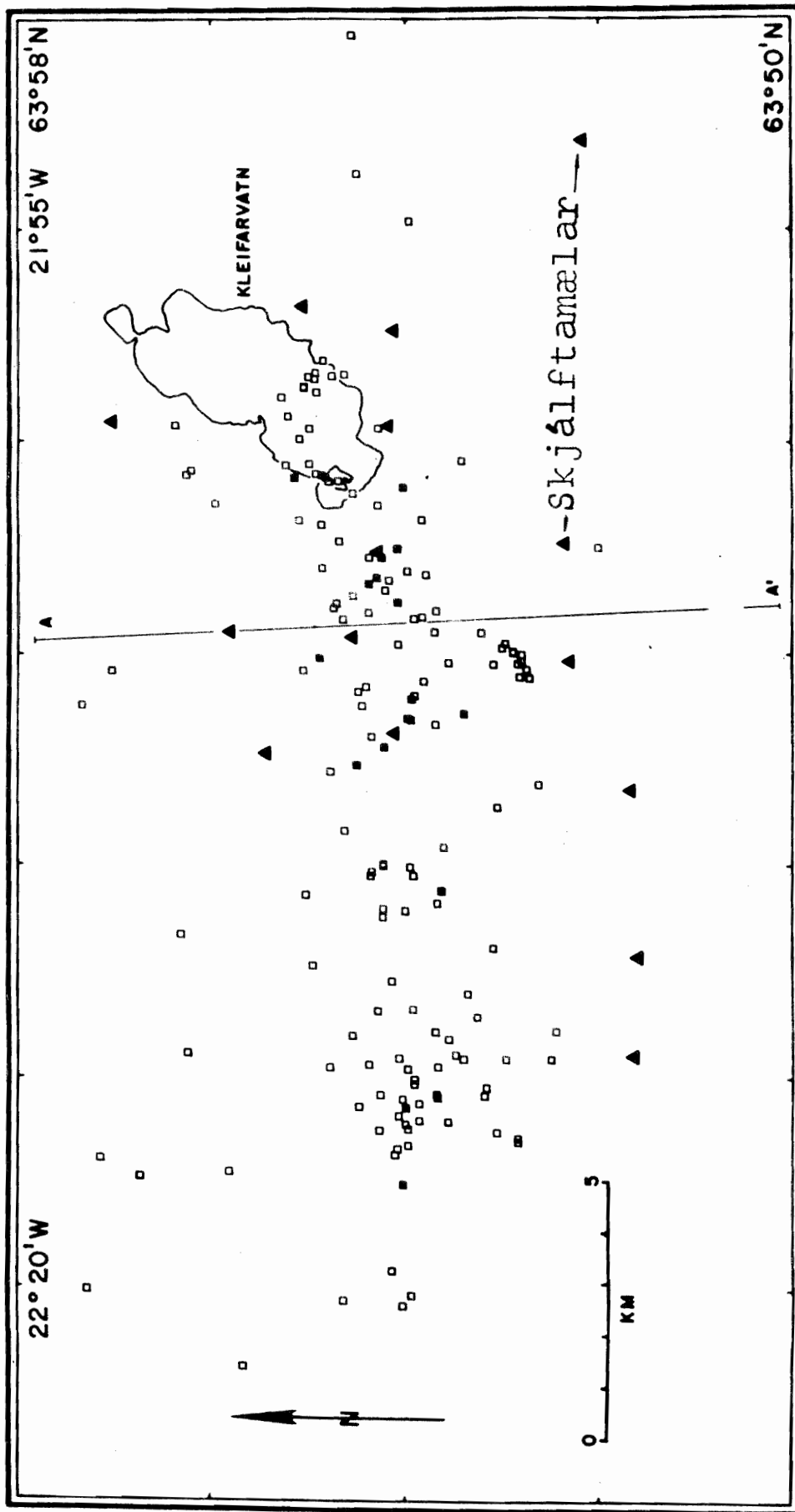
Mynd 3.1



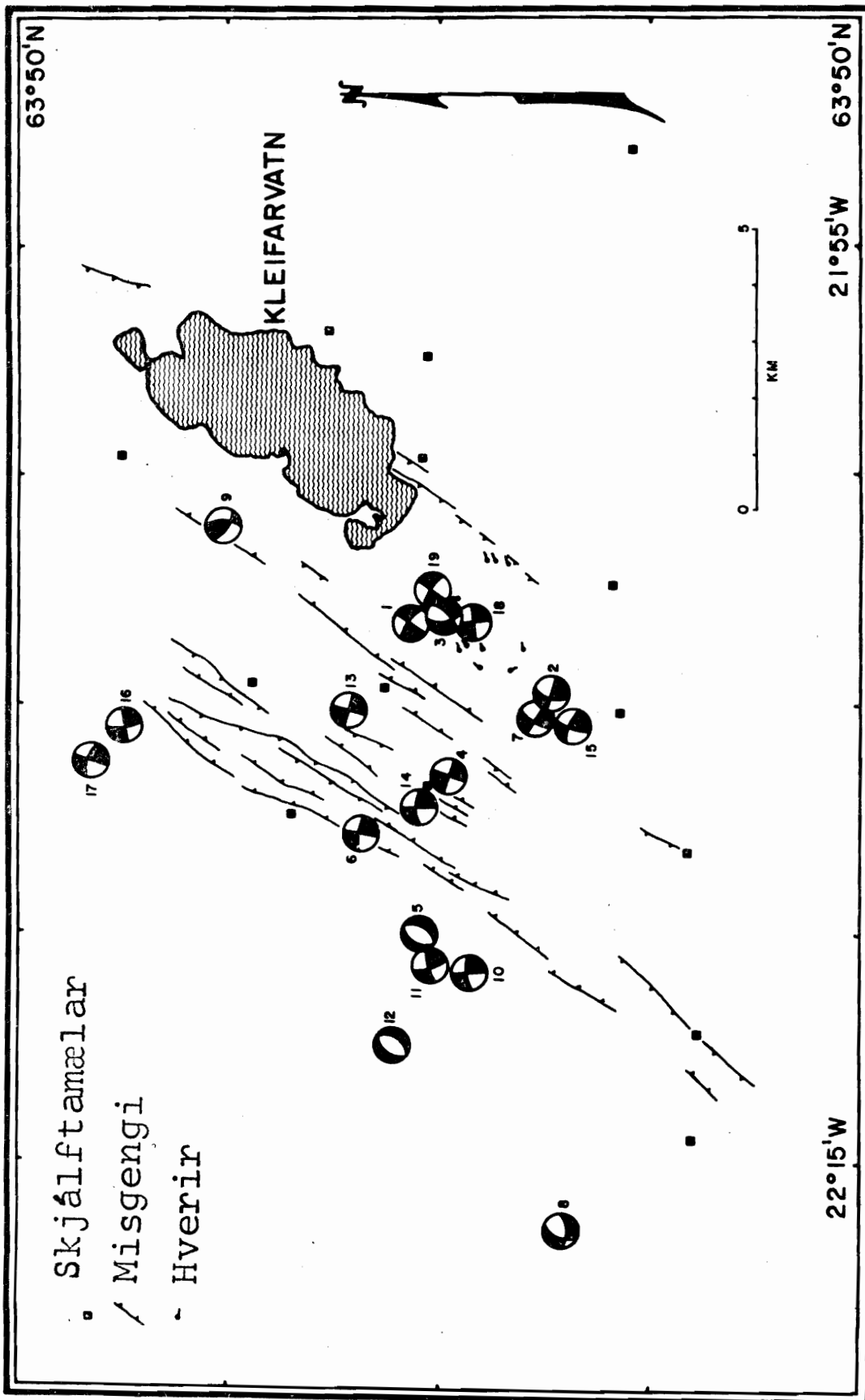
Mynd 3.2



Mynd 3.3



Mynd 3.4





#### 4. JARÐSVEIFLUMÆLINGAR

Jarðsveiflumælingar voru gerðar á Krísuvíkursvæði sumarið 1971. Mælingar þessar voru tvíþættar:

A: Sprengt var í Grænavatni, í Kleifarvatni við Lambatanga, í Kleifarvatni við Lambhaga og í Djúpavatni. Tekið var við sveiflunum á sjö prófílum milli sprengistaða (mynd 4.1). Sprengingar komu fram á skjálftamælum Lamont jarðfræðistofnunarinnar og voru þær upptökur einnig notaðar við túlkun á niðurstöðum mælinganna. Með þessum mælingum reyndist unnt að ákvarða P hraða í tveimur efstu jarðlögum og þykkt efsta lags.

B: Sprengt var í sjó við Reykjanes, sprengistaður sá sami og á línum 44 og 46b hjá GP (hnit:  $63^{\circ}50'1''$  N,  $22^{\circ}42'9''$  W), og tekið við sveiflunum á fimmtán stöðum á Krísuvíkursvæði. Að fengnum upplýsingum úr lið A er unnt út frá þessum mælingum að ákvarða þykkt jarðlaga ofan á lagi 3 á Krísuvíkursvæði.

Niðurstöður:

A: 1. Prófíll KS-KN (sprengt í Kleifarvatni við Lambatanga, móttökustaðir meðfram vegi milli Sveifluháls og Kleifarvatns) og prófíll KN-KS (sprengt í Kleifarvatni við Lambhaga, móttökustaðir eins og á prófíl KS-KN). Hraði í yfirborðslagi við Lambatanga er 1.9 km/sek og þykkt þess er rúmlega 200 m. Yfirborðshraði við Lambhaga er ekki vel ákvarðaður, en er sennilega um 2.1 km/sek og varla hærri. Þykkt yfirborðslags er þá 200 m. Næsta lag hefur hraða 3.4 km/sek. Líkur eru til að þetta lag nái allt upp undir yfirborð norðan við Syðri-Stapa.

2. Prófíll KS-G (sprengt í Kleifarvatni við Lambatanga, móttökustaðir meðfram þjóðvegi milli Kleifarvatns og Grænavatns) og prófíll G-KN (sprengt í Grænavatni, móttökustaðir meðfram þjóðvegi milli Grænavatns og norðurenda Kleifarvatns): Við Grænavatn er hraði í yfirborðslagi 2.5 km/sek og er þykkt þess tæplega 300 m. Hraði í næsta lagi er 4.2 km/sek.

Síðustu punktar á prófíl G-KN falla undir línu á ferðatíma

grafinu. Ef þessir punktar svara til sérstaks lags, þá er hraði í því um 5 km/sek. Þar sem þessi prófíll er ekki viðsnúinn alla leið, er ekki hægt að staðfesta þetta.

3. Prófíll D-KN (sprengt í Djúpavatni, móttökustaðir meðfram slóða milli Djúpavatns og Vatnsskarðs), prófíll D-G (sprengt í Djúpavatni, móttökustaðir meðfram slóða milli Djúpavatns og Slögu, einnig nálægt Grænavatni) og prófíll G-D (sprengt í Grænavatni, móttökustaðir milli Grænavatns og Djúpavatns eins og á prófíl D-G): Yfirborðslag við Djúpavatn hefur hraða 2.6 km/sek og er rúmlega 400 m þykkt. Hraði í næsta lagi er 4.0 km/sek.

Á prófíl D-G sýna upptökupunktur í Sveifluhálsi við Slögu tímátöf ef miðað er við stöðvar D1, D2, og D3 og gert ráð fyrir hraða 4.0 km/sek undir yfirborðslagi. Þetta gæti bent til þess að yfirborðslag í Sveifluhálsi við Slögu sé þykkara en annars staðar eða allt að 700 m þykkt.

Ef litið er á ferðatímagröf fyrir prófíla D-KN og D-G sést, að ferðatímar til stöðva A1, A2 og sérstaklega til A3 eru óvenju stuttir miðað við ferðatíma til staða austan og sunnan við Djúpavatn. Til dæmis svarar ferðatími Djúpavatn - A3 til meðalhraða 5.0 km/sek á þeirri leið. Fyrsta P bylgja kemur að A3 0.35 sek of snemma miðað við prófíl D-G sem liggur aðeins u.þ.b. 800 m austan við A3. Á A1 og A2 kemur P bylgja 0.14 sek of snemma miðað við Djúpavatnsprófíla. Þessar takmörkuðu upplýsingar er erfitt að túlka, en augljóst er að svæðið kringum Djúpavatn er flókið að uppbyggingu og inniheldur háhraða berg nálægt yfirborði. Þessar óreglur koma ekki fram á prófílum frá Djúpavatni til austurs eða suðurs eða á prófíl G-D.

B: Á mynd 4.2 eru merktar tímatafir sem P bylgja verður fyrir við að fara gegnum lög sem liggja ofan á lagi 3 á Krísuvíkursvæði. Út frá tímátöfum má reikna þykkt þessara laga ef hraði í þeim og þykkt efsta lags eru þekkt.

Við suðurenda Kleifarvatns mældist mjög stutt tímátöf 0.45 sek. Svarar hún til 2.1 km dýpis niður á lag 3. Tímátöf lengist þegar haldið er til vesturs og suðurs. Við Seltún svarar hún til 2.8 km dýpis niður á lag 3.

Við Djúpavatn er dýpi 3.4 km niður á lag 3, við Hofmannaflöt er dýpi 3.0 km. Á kortinu virðist sem tímatöf stýttist ef haldið er í norð-vestur frá Djúpavatni. Þar sem yfirborðslög virðast mjög óregluleg á þessu svæði, er ekki víst að þessi stytting þýði að lag 3 komi raunverulega nær yfirborði.

# KRÍSUVÍKURSVÆÐI

## Skjálftamælingar 1971



→ Skotpunktur og stefna  
próffls

● Lamont skjálftamælir

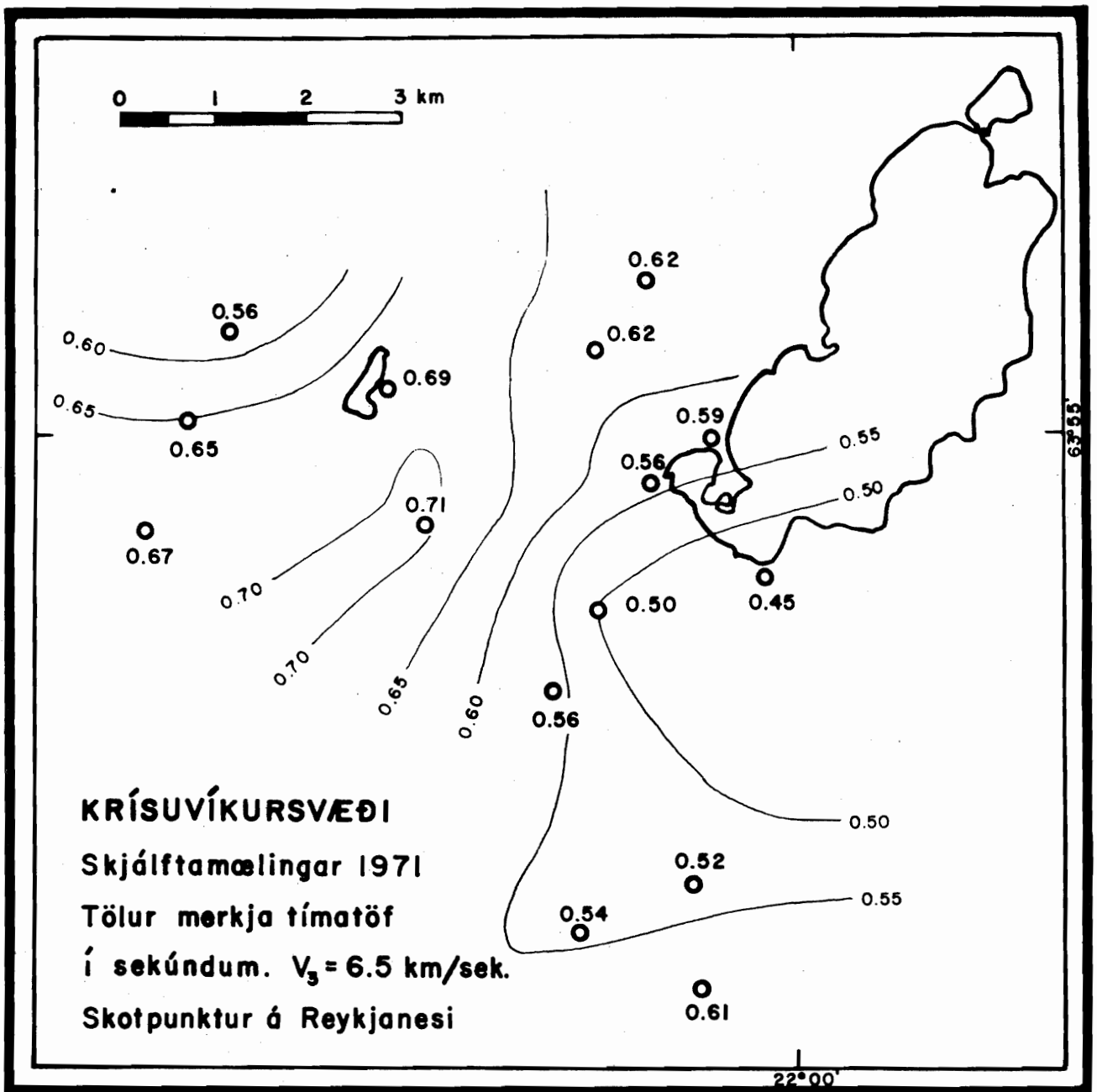


Mynd I

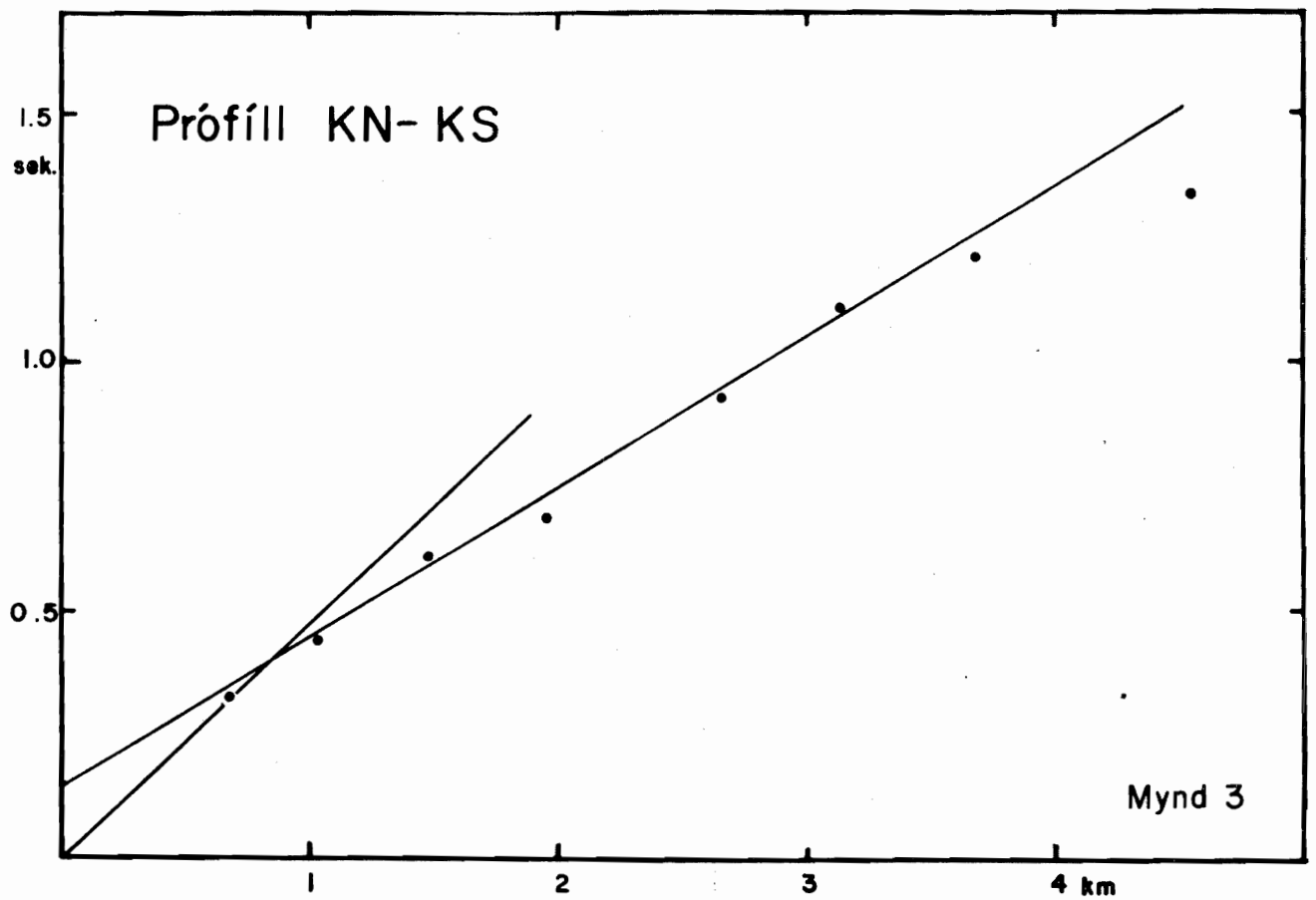
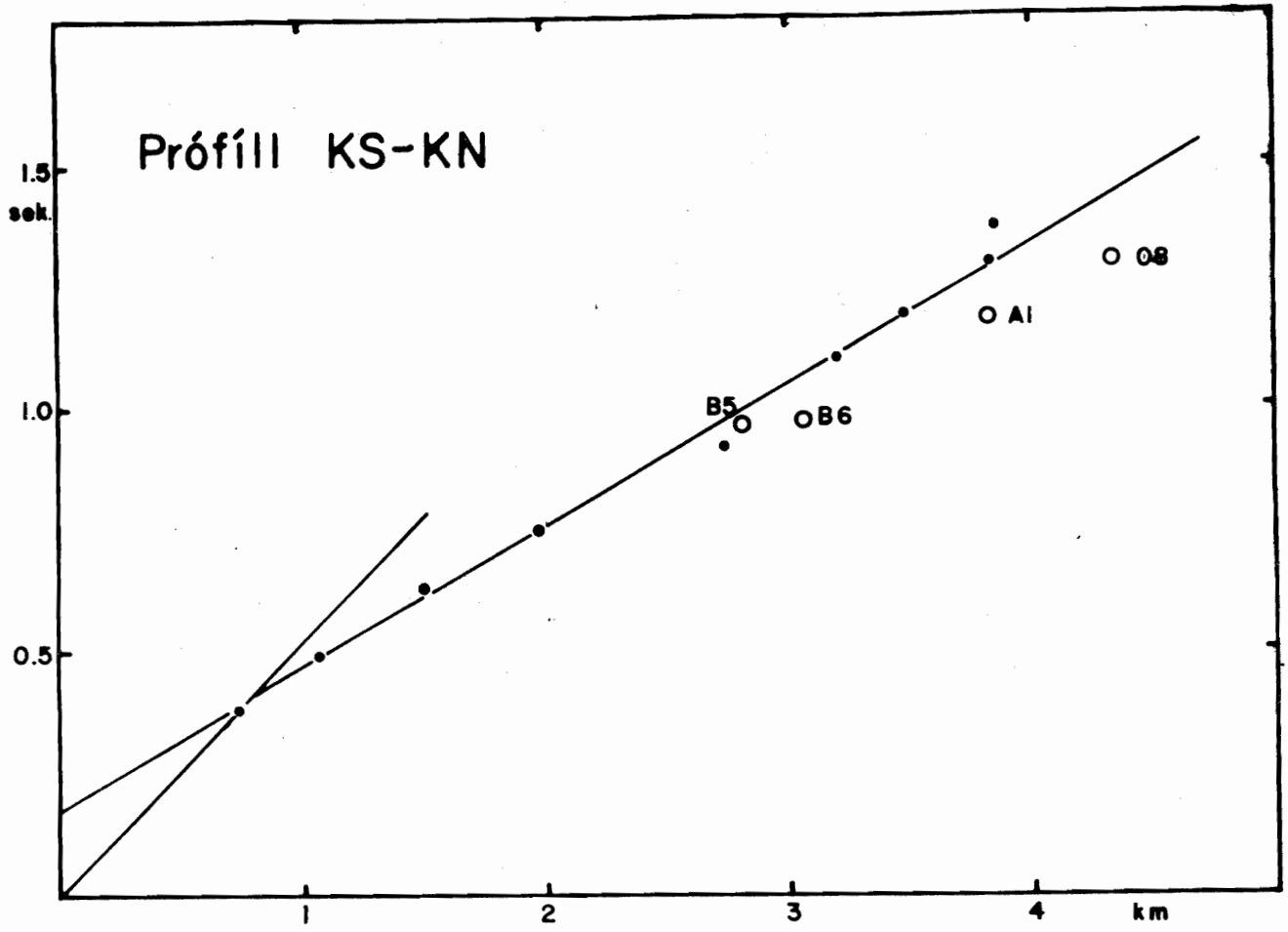
22°10'

22°00'

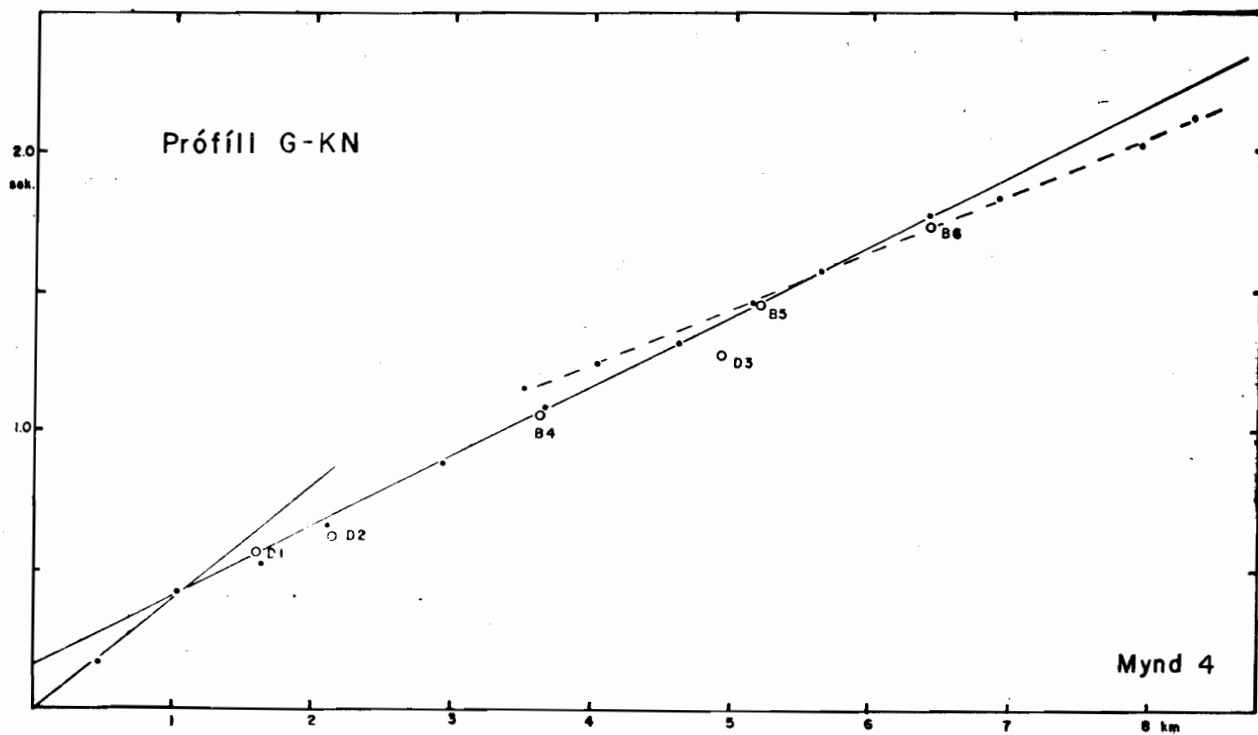
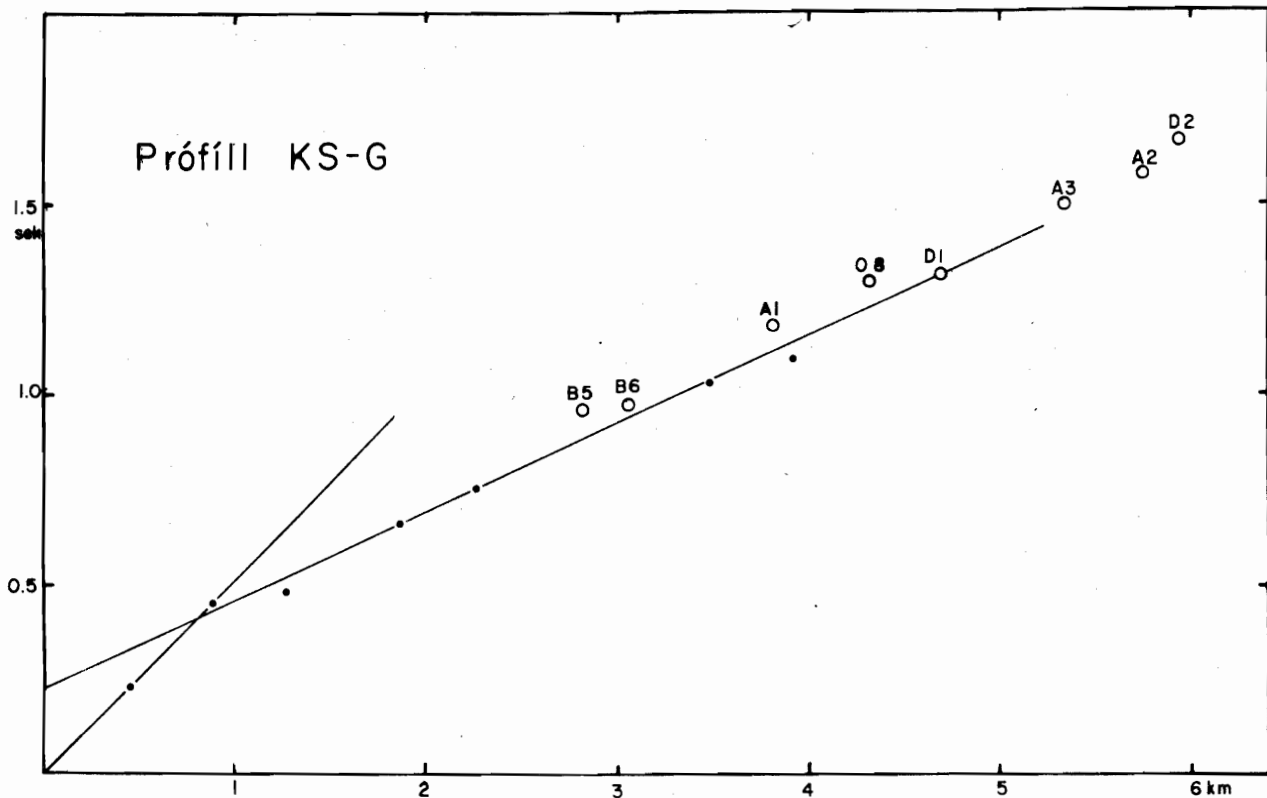
63°55'



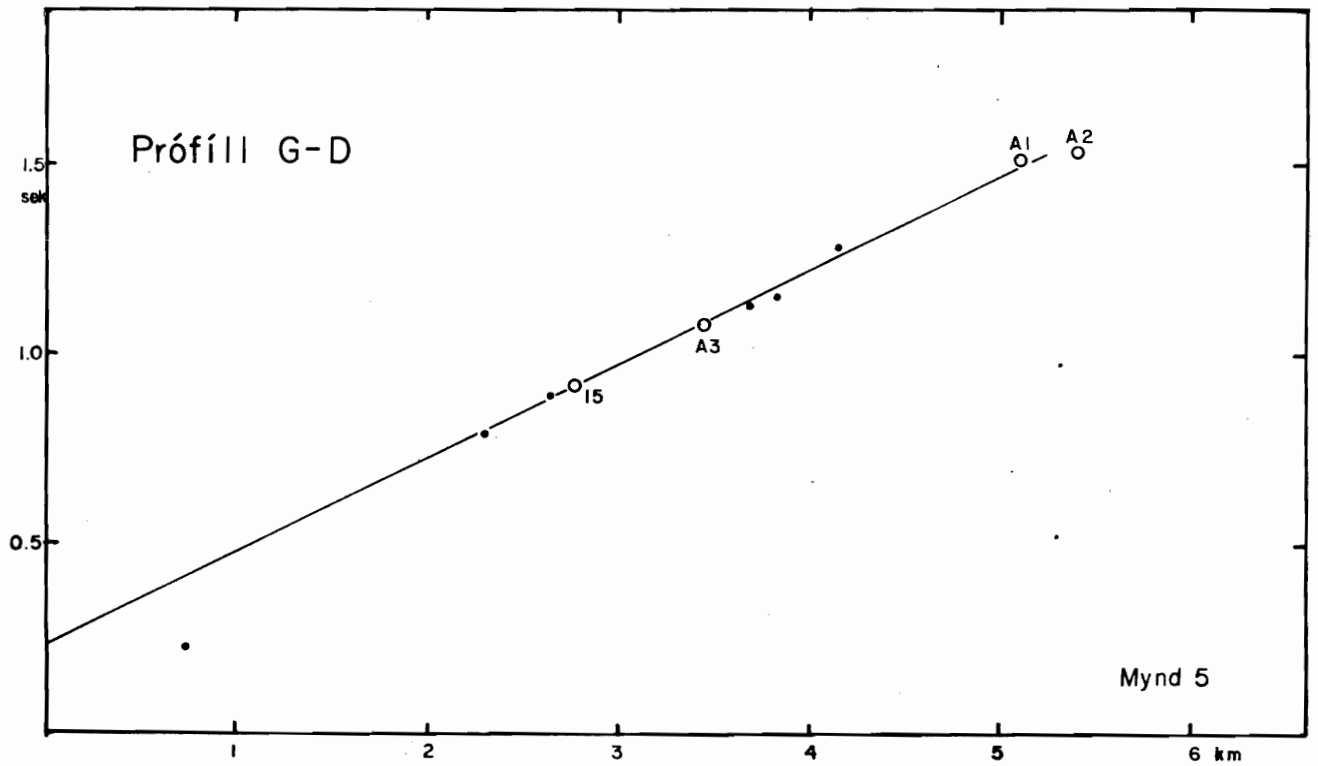
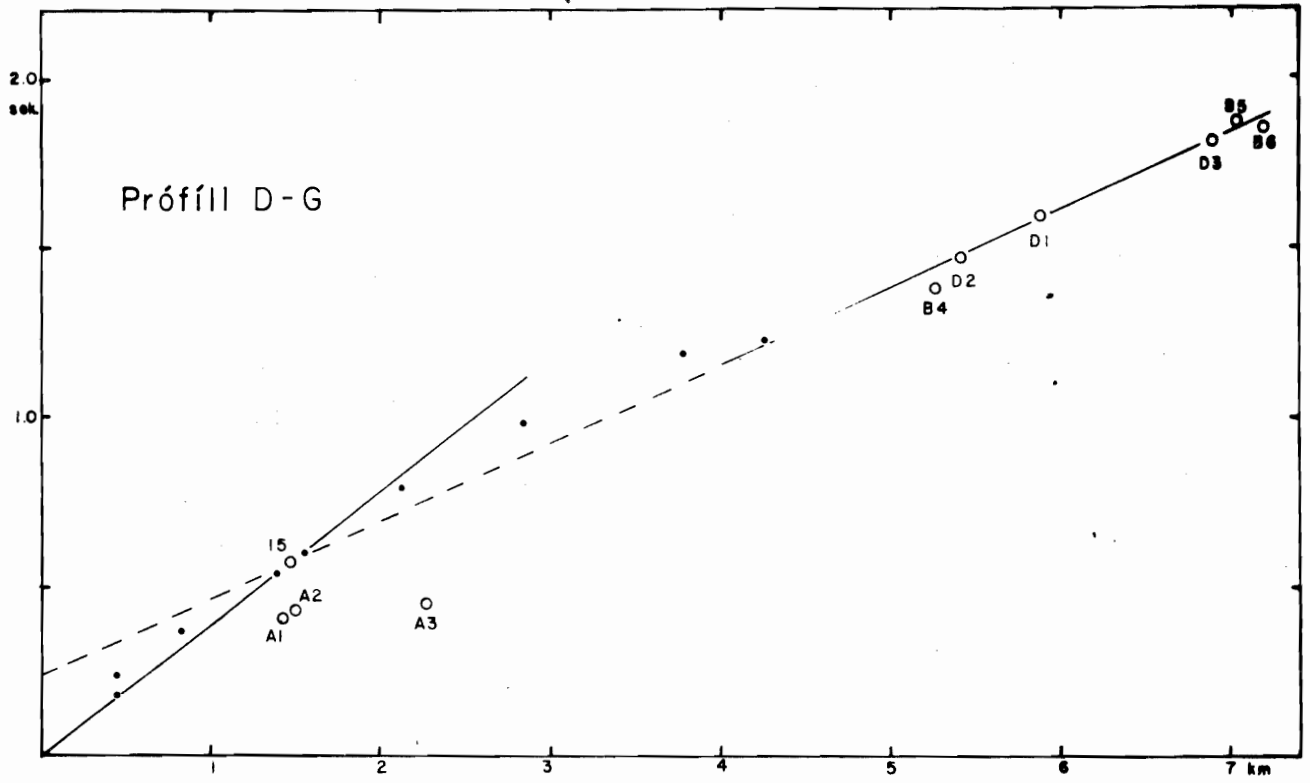
Mynd 2



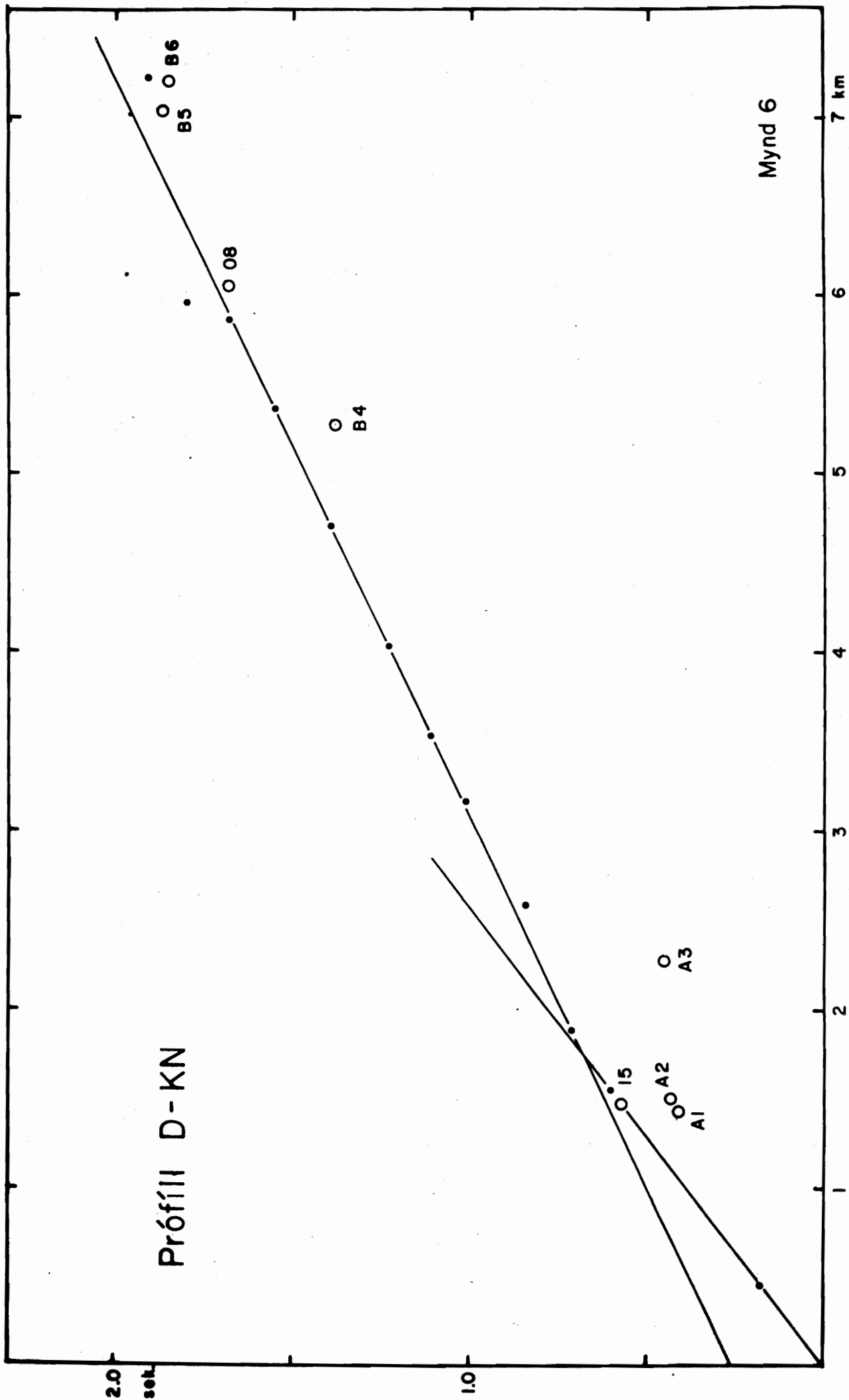
Mynd 3



Mynd 4







## 5. VIÐNÁMSMÆLINGAR

### 5.1 Viðnámsmælingar með Schlumberger aðferð

Árin 1969-1972 voru gerðar samtals 82 dýptarmælingar með svokölluðum jafnstraumstækjum þar sem skipt var um straumstefnu með 10 sekúndna millibili. Sömu tæki voru notuð allan tímann. Miðpunktur mælilína eru sýndir á mynd 5.1, stefna var oftast NA-SV. Þrjú fyrstu árin var straumarmur oftast 900 m í hvora átt, en styttri í nokkrum mælingum. Sumarið 1972 voru gerðar 14 mælingar (D64-D77), og var þá straumarmur oftast yfir 1 km; lengstur 2400 m.

Mynd 5.2 sýnir jafnviðnámskort á 600 m dýpi. Mikið vantar á að kortin séu eins nákvæm og fjöldi mælinga gæti bent til. Þrjár meginástæður ónákvæmninnar eru eftirfarandi:

1. Á Kleifarvatni og í fjallendinu var ekki hægt að mæla.
2. Miklar framfarir urðu í notkun mælitækjanna tímabilið sem mælingar stóðu yfir. Eldri mælingar eru mjög ónákvæmar við mat á viðnámi á 600 m dýpi á stöðum þar sem viðnám er lágt.
3. Túlkun viðnámsmælinga er ekki einhlít, þ.e.a.s. margs konar dreifing á viðnámi í jarðlögum getur leitt til sömu mælistöðu. Við mat á breytingu viðnáms með dýpi við hverja mælingu er gert ráð fyrir láréttum jafnviðnámslögum, óendanlega víðáttumiklum. Þetta er að sjálfsögðu ekki rétt og munurinn á líkani og raunveruleika er sennilega víða svo mikill að það veldur verulegri skekkju.

Viðnámskortid sýnir fleti með  $10\Omega$  m,  $10-30\Omega$  m og  $30-50\Omega$  m. Önnur svæði hafa óþekkt eða herra viðnám. Utan  $50\Omega$  m jafnviðnámslínunnar eru mælingar með herra viðnám og eru skyggðu fletirnir samilegur mælikvarði á útbreiðslu jarðhitasvæðisins.

Lægsta viðnám á 600 m dýpi mældist á mjóu belt, um 6 km löngu, báðum megin við Sveifluháls og nokkru styttri ræmu NA með Trölladyngju. Þessi svæði virðast ná skamt út frá fjöll-

unum nema við suðurenda Kleifarvatns og á móts við Köldunámur. Mæling 43 við Arnarvatn á Sveifluhálsi er of stutt til að sýna viðnám á þessu dýpi, en bendir til að það sé lágt. Mæling 44 norðar á hálsinum er of ónákvæm til að veita neinar upplýsingar um viðnám á þessu dýpi.

Dípólmælingar benda eindregið til að lágviðnámssvæðið sé einnig undir Sveifluhálsi, en þær eiga við meira dýpi en kortið á mynd 5.2.

Við skulum nú huga nánar að einstökum mælingum og þá einkum D64-D77 sem voru gerðar sumarið 1972 og eru að jafnaði lengri og nákvæmari en eldri mælingar.

Austan Sveifluháls eru 4 mælingar frá árinu 1972. Lengst þeirra varð D64, straumarmur 2.4 km. Þessi mæling sýnir 10Ωm viðnám á 6 m dýpi og fer viðnámið í 5-6Ωm. Síðan fer viðnámið vaxandi með dýpi, lagskipti eru við 300 m, en þau eru óglögg. Á 600 m dýpi er viðnámið greinilega komið yfir 10Ωm. Mælingar D40 og D18 lengra ASA frá hálsinum sýna svipað viðnám á litlu dýpi og mæling D64 og þar hækkar viðnám einnig í 300 - 400 m dýpi. Þessi viðnámshækkun er miklu meiri en svo að hún verði skýrð með hækkun hita af stærðargráðunni 20°C. Þarna þarf hreyfingu á ummyndun eða vatnsinnihaldi bergsins. Samkvæmt jarðsveiflumælingum eru yfirborðslög um 200 m þykk við Lambatanga. Þau lagskipti virðast ekki koma fram í rafleiðnimælingum á þeim slóðum, en viðnámshækkunin á 300 - 400 m dýpi í mælingum D18, D40 og D68 gætu vel stafað af því að þar sé komið í þéttari lög.

Í mælingum D67, D33, D5 og D53 við Kleifarvatn fellur viðnám úr 200 - 400Ωm í 10 - 20Ωm á 70 m dýpi við mælingu D53, 80 m við D5, 150 m dýpi við D33 og 170 m dýpi við D67. Þarna eru líklega alls staðar sömu lagskiptin á ferðinni. Mikil breyting verður á ummyndun við 94 m í borholu 5, sbr. kafla 8. Munurinn á dýpinu er varla meiri en svo að þetta gætu verið sömu skil og koma fram við rafleiðnimælingarnar. Ber því vel saman að viðnám lækki þar sem ummyndun eykst.

Víkjum nú vestur fyrir Sveifluháls. Við mælingu 65 virðist nokkuð greinilegt að viðnám hækki úr 5-6Ωm í 10Ωm eða meira á 500 - 700 m dýpi. Samsvarandi hækkun kemur hvergi

fram annars staðar á svæðinu milli hálsanna. Stafar það sjálf-sagt af því að mælingar eru of stuttar og ónákvæmar til að sýna vel hvar viðnámið fer að hækka, því að ugglaut hækkar það aftur með dýpi þar sem það fer að ráði niður fyrir 100 m, sbr. kafla 5.3. Mæling 76 var með 1500 m straumarm og virðist nákvæm. Þar fer viðnám úr 30000-90000 Ωm í 10 m á bilinu milli 70 og 800 m dýpis. Síðan virðist viðnám enn lækka við 1200 m.

Milli hálsanna er víða mælt á hrauni. Þar sem viðnám hrauna ofan vatnsborðs er um og yfir 10000 Ωm en viðnám komið í 200 m eða minna á fárra hundruð metra dýpi verður bratti viðnámslínuritsins svo mikill að lagskipti koma illa fram. Við Djúpavatn nær yfirborðslag með hljóðhraðann 2.6 km/sek niður á rúmlega 400 m dýpi. Í mælingu 61 skammt frá vatninu eru óljós viðnámsskil kringum 500 m dýpi og viðnám lægra neðan við skilin, < 12 Ωm.

Engin nákvæm löng mæling er á ræmunni af Trölladyngju þar sem viðnám er undir 10 Ωm. Í mælingu 69 með 1500 m straumarm hækkar viðnám á u.p.b. 800 m dýpi, en e.t.v. eru þar lárétt skil en ekki lóðrétt að verki.

## 5.2 Viðnámsmælingar og jarðhiti

Með því að tengja saman enda 400 m jafnviðnámslínunnar fyrir austan Kleifarvatn og vestan Sveifluháls og gera ráð fyrir að ómældu svæðin á fjöllumunum séu hluti af lágviðnáms-svæðinu verður það um 70 km<sup>2</sup> og má þar allstaðar búast við 100-200°C hita á 200-1000 m dýpi. Einn hundradasti af því rúmmáli svarar til um 20 ára rennslis 1000 l/sek. Þarna er því mikill forði af heitu vatni jafnvel þótt ekki væri gert ráð fyrir neinni endurnýjun af meira dýpi við vinnslu.

Gufuborsholan G2 við Seltún og Wabco holurnar við suður-enda Kleifarvatns og Ketil eru allar við jaðar þess svæðis sem hefur lögst viðnám skv. niðurstöðum dípól- og Schlumbergermælinga. Lega Wabco holunnar við Trölladyngju gæti vel verið hliðstæð, en þar höfum við minni vitneskju um viðnám undir fjalllendinu en við Sveifluháls. Allar þessar holur hafa viðsnúna hitaferla og hitastigull í botni þeirra bendir ekki til

að skammt sé í vatnsæðar með  $250^{\circ}\text{C}$  eða meiri hita.

Samkvæmt þeim mælingum sem nú liggja fyrir hefur ekkert álitlegt svæði fundist til raforkuvinnslu úr 1000-1500 m djúpum holum, með svipaðri tækni og fyrirhuguð er við Kröflu. Slíkt svæði gæti þó verið á Sveifluhálsi skv. rafleiðnimælingum. Mætti prófa það með holu við Arnarvatn og væri æskilegt, að hún gæti orðið 2000 m djúp.

Vinnsluholur við Námaskarð eru miklu nær miðju virkasta svæðisins en holurnar sem boraðar hafa verið á Krísuvíkursvæðinu ef við gerum ráð fyrir að lágviðnámsvæðið nái undir Sveifluháls og fylgi miklum jarðhita. Virkasta svæðið við Námafjall hefur svipaða útbreiðslu í allar áttir. Þvermál þess er svipað og fjarlægðin milli 100 m jafnviðnámslínanna þvert yfir Sveifluháls. Svæðið við Sveifluháls nær hins vegar lengra í NA-SV svo að heildarflatarmál þess er mun stærra en Námafjallssvæðisins.

Ofangreindur samanburður er settur hér fram til að leggja áherslu á þá skoðun að könnun svæðisins á því dýpi sem mælingar okkar og Wabcoholur veita samilega vitneskju um er ekki lokið fyrr en borað hefur verið nær miðju Sveifluhálssvæðisins. Jarðfræði Námafjalls- og Krísuvíkursvæða er talsvert ólík og borholur á svæðunum á hliðstæðum stöðum með tilliti til rafleiðni gætu vel reynst mjög ólíkar.

### 5.3 Djúpar viðnámsmælingar með tvípól- og rafsegulsviðsaðferðum

Vorið 1972 bauð John F. Hermance, Brown-háskóla, jarðhita-deild Orkustofnunar rafleiðnimælitæki sín til láns í eitt sumar. Hermance hafði gert ýmsar viðnámsmælingar á Íslandi árin áður en hafði ekki aðstöðu til að halda þeim áfram 1972. Jarðhita-deild þáði boðið og var ákveðið, að Axel Björnsson skyldi reyna tækin um sumarið í Krísuvík og víðar á suðvesturlandi. Tæki þessi voru tvenns konar: tvípólmælitæki og tæki til mælinga segulsviðs og jarðstrauma (magnetotelluric eða MT-tæki). Tvípólmælingar eru mjög áþekkar venjulegum viðnámsmælingum með Shlumbergersniði. Sendur er jafnstraumur um tvö skaut út í jörðina og skipt um stefnu með 10-30 sek millibili. Spennan,

sem myndast í jörðinni, er síðan mæld með spennumæli tengdum við tvö önnur skaut. Út frá straum og spennumælingu er viðnámið reiknað. Geta skautin haft margvíslega afstöðu hvors til annars og var framan af einkum notuð línuuppsetning (polar-dipole) en síðan miðbaugs eða samsíða-uppsetning (equatorial-dipole). Sjá t.d. Keller og Frischkrecht (1966) til nánari skýringar.

Í MT-aðferðinni eru sveiflur í segulsviði jarðar svo og rafsviðssveiflur sem þær valda í jörðinni mældar samtímis á einum stað og sýndarviðnám reiknað út úr hlutfalli stærðar sveiflanna. Sveiflur með lága tíðni komast dýpra en hátíðni-sveiflur vegna skinnverkunar (skin-effect) jarðar. Má þannig fá upplýsingar um leiðni, sem fall af dýpi, með því að mæla sveiflur með mismunandi tíðni. Einnig má fá nokkrar upplýsingar um breytingar í viðnámi jarðar frá einum stað til annars með því að bera saman stærð sveiflna í jarðspennu á hverjum stað. Rafsviðssveiflurnar eru stærri, þar sem viðnám er hærri. Þessi aðferð er kölluð jarðstraumaaðferð (telluric-method). Með henni fæst ekki vitneskja um raunverulega stærð viðnámsins þar sem segulsvið er ekki mælt.

Sumarið 1972 voru ofan nefndar mæliaðferðir reyndar á Krísuvíkursvæðinu. Tvíþóltækin voru notuð bæði við lengdar- og dýptarmælingar, MT-mælistöð var sett upp á milli Sveifluháls og Vesturháls og rafsvið var mælt á allmörgum stöðum samtímis mælingum á MT-mælistaðnum. Staðsetning mælinganna er sýnd á mynd 5.3.

Tvær lengdarmælingar með samsíða tvíþóluuppsetningu voru framkvæmdar önnur vestan undir Sveifluhálsi með 600 m á milli sendis og móttakara hin með 1400 m á milli tvíþóla þannig að sendir og móttakari voru sitt hvoru megin Sveifluháls. Báðar mælingarnar voru um 8 km langar og er staðsetning þeirra sýnd á mynd 5.3. Tölurnar við mælipunktana tákna mælt sýndarviðnám á viðkomandi dýpi (600 eða 1400 m). Niðurstöður mælingarinnar með 600 m þólabili koma vel heim og saman við eðlisviðnám á 600 m dýpi á mynd 5.2., sem byggt er á Schlumbergermælingum. Viðnámið er hæst nyrst á línunni, um 100 Ω m, en lækkar til suðurs niður fyrir 100 Ω m. Aftur á móti er athyglisvert að dýpri lengdarmælingin (1400 m) sýnir lágt sýndarviðnám undir

endilöngum Sveifluhálsi eða 5-80m. Þetta gæti bent til þess, að uppstreymisrás heits vatns sé undir hálsinum og vatnið streymi síðan út frá honum á fárra hundruð metra dýpi (samanber viðsnúna hitaferla). Úr þessu mætti skera með holu uppi á hálsinum t.d. við Arnarvatn (sjá kafla um Schlumbergermælingar). Gerðar voru nokkrar tvíþóldýptarmælingar en flestar voru þær stuttar og líta má á þær sem æfingu á ný tæki nema mælingu DD1 (sjá mynd 5.3.) sem gerð var 1972 og náði út í 2 km. Sú mæling var framlengd 1973 út í 4.8 km og eru niðurstöðurnar sýndar á mynd 5.4. Viðnám er mjög hátt á yfirborðinu í köldum þurrum hraunum eða um 20.0000m, en fellur hratt og er um 50m á um það bil 100-200 m dýpi. Þar fer viðnámið aftur vaxandi og er um 200m neðan 300 m og niður á um það bil 2-3 km dýpi.

Á milli Sveifluháls og Vesturháls var sett upp MT-mælistöð og voru sveiflur með sveiflutíma á bilinu frá 6 s og upp í ca. 3 t skráðar þar og sýndarviðnám reiknað (Cagniardestimates). Mæliniðurstöður sjást á myndum 5.5 og 5.6. Mynd 5.5 sýnir einstök viðnámsgildi, sem fall af sveiflutíma. Svartir punktar tákna sýndarviðnám reiknað út úr x-þætti (segul-norður-suður) rafsviðs og Y-þætti segulsviðs (segul-austur-vestur), en opnir hringir tákna viðnám reiknað úr hinum þáttunum. Reiknað er með láréttri lagskiptingu við útreikningana og eru slík sýndarviðnámsgildi oftast nefnd eftir Cagniard (Cagniard-estimates). Á svæðum með breytilegu viðnámi í lárétta stefnu fást mismunandi Cagniard viðnám fyrir hvorn mældan þátt einkum ef mælt er hornrétt á og samsíða leiðnibreytingunni. Hér hefur enn ekki verið reynt að túlka niðurstöður með tvívíðu eða þrívíðu líkani en unnið er að því af R. Thayer við Brown háskóla og er niðurstaða frá honum að vænta sumarið 1975.

Hinn litli munur á Cagniard-gildum í mismunandi áttir réttlætir að túlka niðurstöðurnar, að minnsta kosti sem fyrstu nálgun, með láréttri lagskiptingu. Þetta sést betur á mynd 5.6, þar sem reiknuð hafa verið meðalfrávik sýndarviðnáms fyrir nokkur tíðnisvið. Mælingarnar eru túlkaðar með því að bera saman mældar niðurstöður og útreiknaða ferla fyrir mismunandi líkön. Númeraðir ferlar (no. 4,5,6 og 7) á myndum 5.5 og 5.6 gilda fyrir þau líkön er einna helst koma heim og saman við

mælingarnar. Að sjálfsögðu er ekki unnt að finna einhlíta túlkun frekar en í Schlumbergermælingum. Mynd 5.7 sýnir snið með viðkomandi lagskiptingu. Voru niðurstöður tvíþólmælingar DD<sub>1</sub> af mynd 5.4 notaðar til að ákveða gerð efstu laganna, en þykkt og leiðni neðri laganna breytt þangað til samileg samsvörun náðist við mæld gild. Neðan við lágviðnámslög, ca. 400 m, á 100-200 m dýpi tekur við lag með 200 m, sem nær niður á um það bil 2.5 km. Þar neðan við er sennilega annað lágviðnámslag um 1 km að þykkt og síðan hátt viðnám, um 300 m niður á mikið dýpi. Nákvæmari úrvinnsla gagnanna, sem R. Thayer vinnur nú að, bendir til þess að á 3-15 km dýpi sé viðnám um 200 m en neðan 15 km sé það um 60-70 m. Á mynd 5.8 hefur viðnámsnið verið teiknað upp og til samanburðar hljóðhraði P-bylgju, samkvæmt mælingum Guðmundar Pálmasonar (1971) svo og fjöldi smáskjálfta tímabilið 27. ágúst til 9. september 1971 á mismunandi dýpi samkvæmt mælingum F. Klein, Páls Einarssonar og M. Wyss (1973). Vitað var, að smáskjálftar eru tíðastir efst í lagi 3, en hér sést einnig, að á mörkum lags 1 og lags 3 (lag 2 sést ekki undir Krísuvík) eru örar breytingar í viðnámi. Vel ofan markanna er það 200 m en 200-300 m neðan þeirra í lagi 3. Á mörkunum er lágviðnámslag en óljóst hversu þykkt það er eða hve hátt viðnámið er nákvæmlega. Einkum er hið háa viðnám í lagi 3 athyglisvert. Líkar hafa verið leiddar að því að viðnám í lagi 3 sé um 300 m utan gosbelta á Íslandi en nálægt 100 m innan þeirra (Axel Björnsson, 1975) að minnsta kosti á Þingvöllum og í gosbeltinu norðaustan lands, austan Námafjalls. Samkvæmt því er viðnám í lagi 3 undir Krísuvík á milli Vesturháls og Sveifluháls líkara því sem gerist utan gosbelta en innan.

Samanburðarmælingar rafsviðssveifla (telluric-method) á mismunandi stöðum voru varla nógu margar og náðu yfir of þröngt tíðnisvið til að verulegar upplýsingar fengjust með þeim. Þó er R. Thayer að vinna úr því er gert var, og eru niðurstöður hans væntanlegar sumarið 1975.

#### Tilvitnanir:

Guðmundur Pálmason, 1971. Crustal Structure of Iceland from



explosion Seismology. Societas Scientiarum Icelandica, Reykjavík.

Klein, F., Páll Einarsson, M. Wyss, 1973. Microearthquakes on the Mid-Atlantic plate boundary on the Reykjanes peninsula Iceland. J. Geophys. Research, 78, 5084-5099.

Axel Björnsson, 1975. Electrical resistivity of layer 3 in the Icelandic Crust. Greinar V, Societas Scientiarum Icelandica, Reykjavík.

Keller, G.V. and F.C. Frischknecht, 1966. Electrical methods in geophysical prospecting. Pergamon Press, Oxford.



ORKUSTOFNUN  
Jarðhitadeild

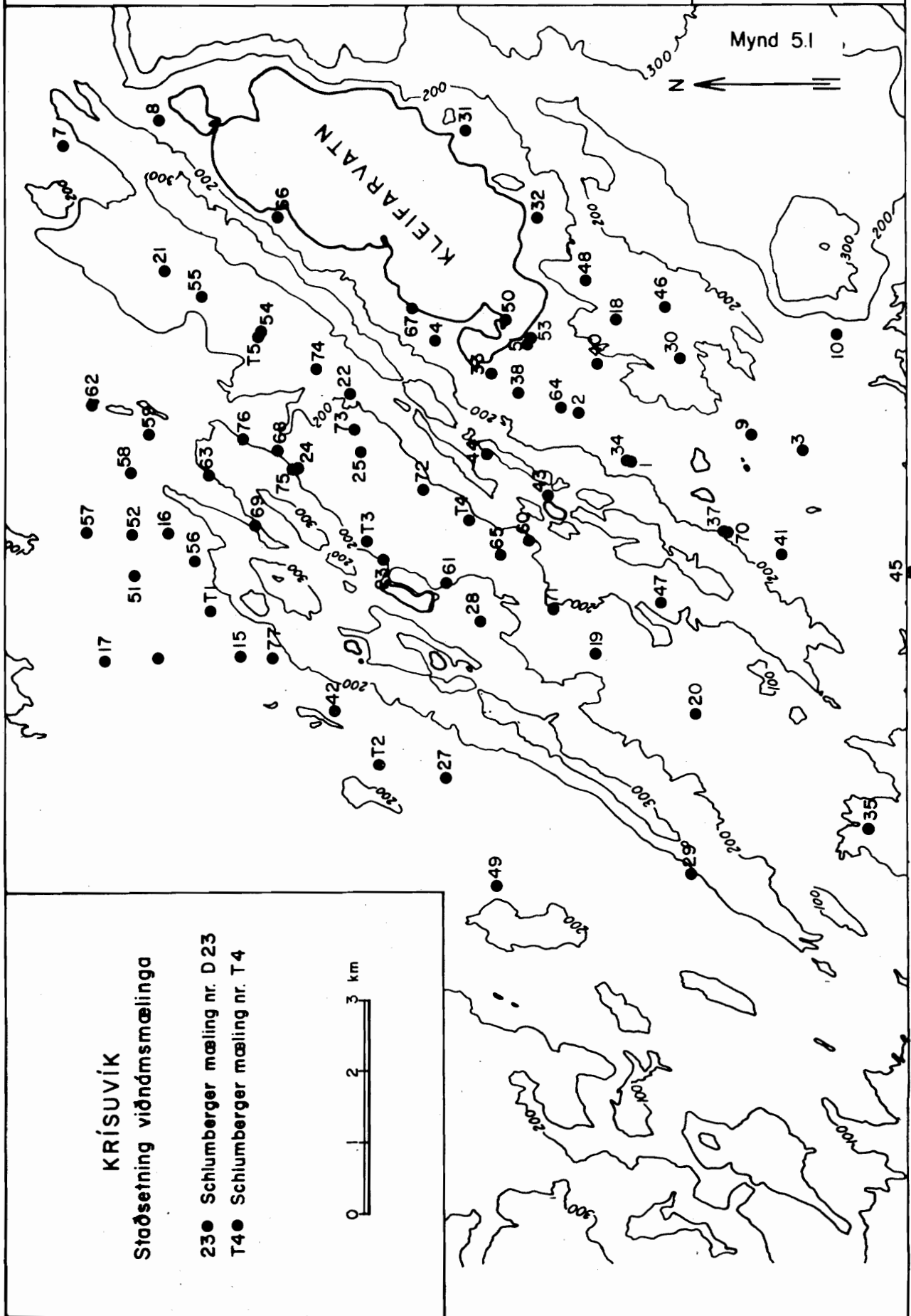
KRÍSUVÍK  
Staðsetning viðnámsmælinga

5.4 '75 A.B/H.O

Tnr. 237 Tnr.1211

J-Krísuv. J-Viðnám.

Fnr. 12508

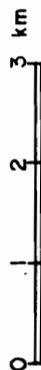


KRÍSUVÍK

Staðsetning viðnámsmælinga

23● Schlumberger mæling nr. D 23

T4● Schlumberger mæling nr. T 4





ORKUSTOFNUN  
Jarðhitadeild

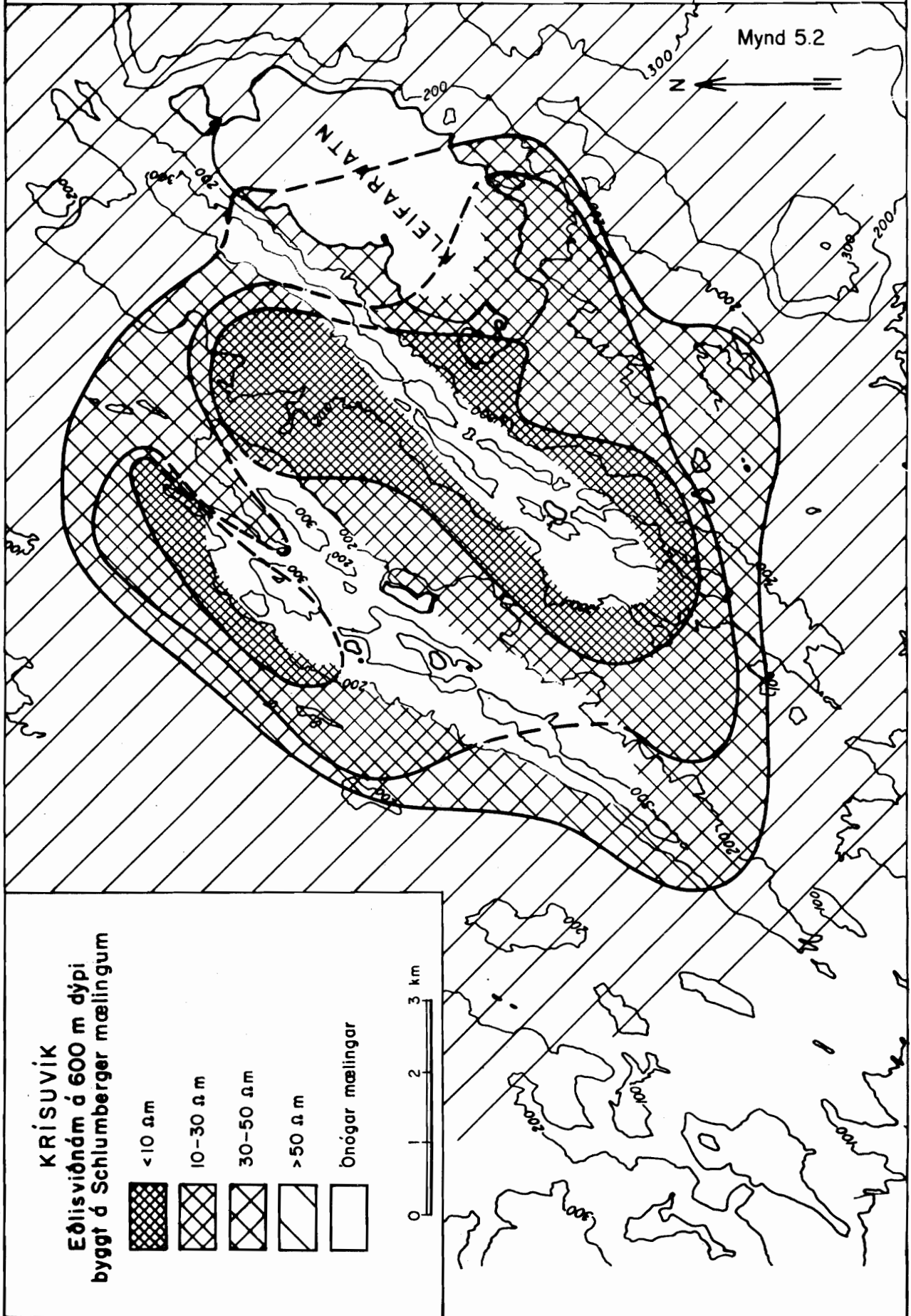
KRÍSUVÍK  
Eðlisviðnám á 600 m dýpi

5.4 '75 AB/HO

Tnr. 239 Tnr. 1242

J-Krísuv. J-Viðnám.

Fnr. 12654





ORKUSTOFNUN  
Jarðhitadeild

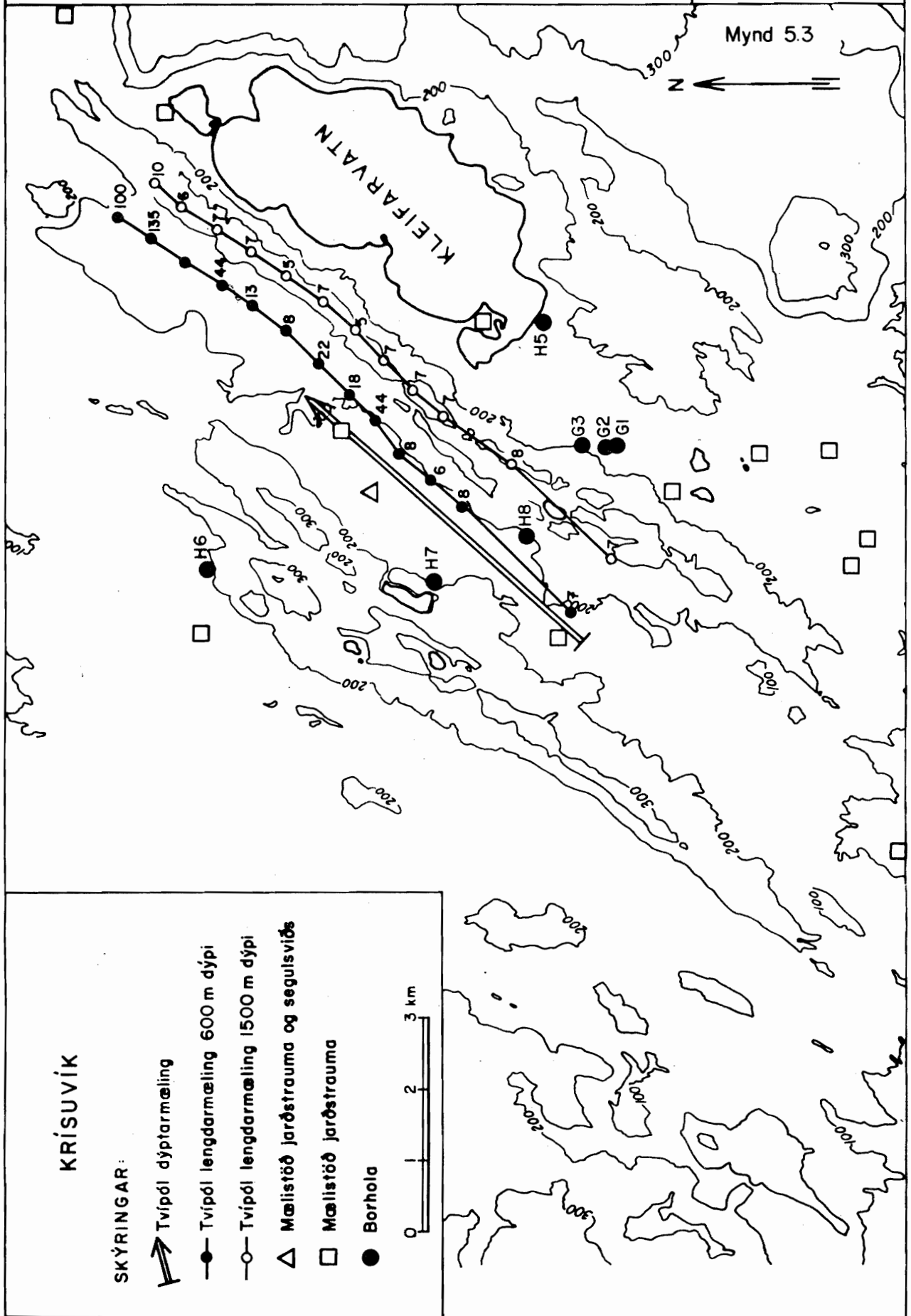
KRÍSUVÍK  
Viðnámsmæling

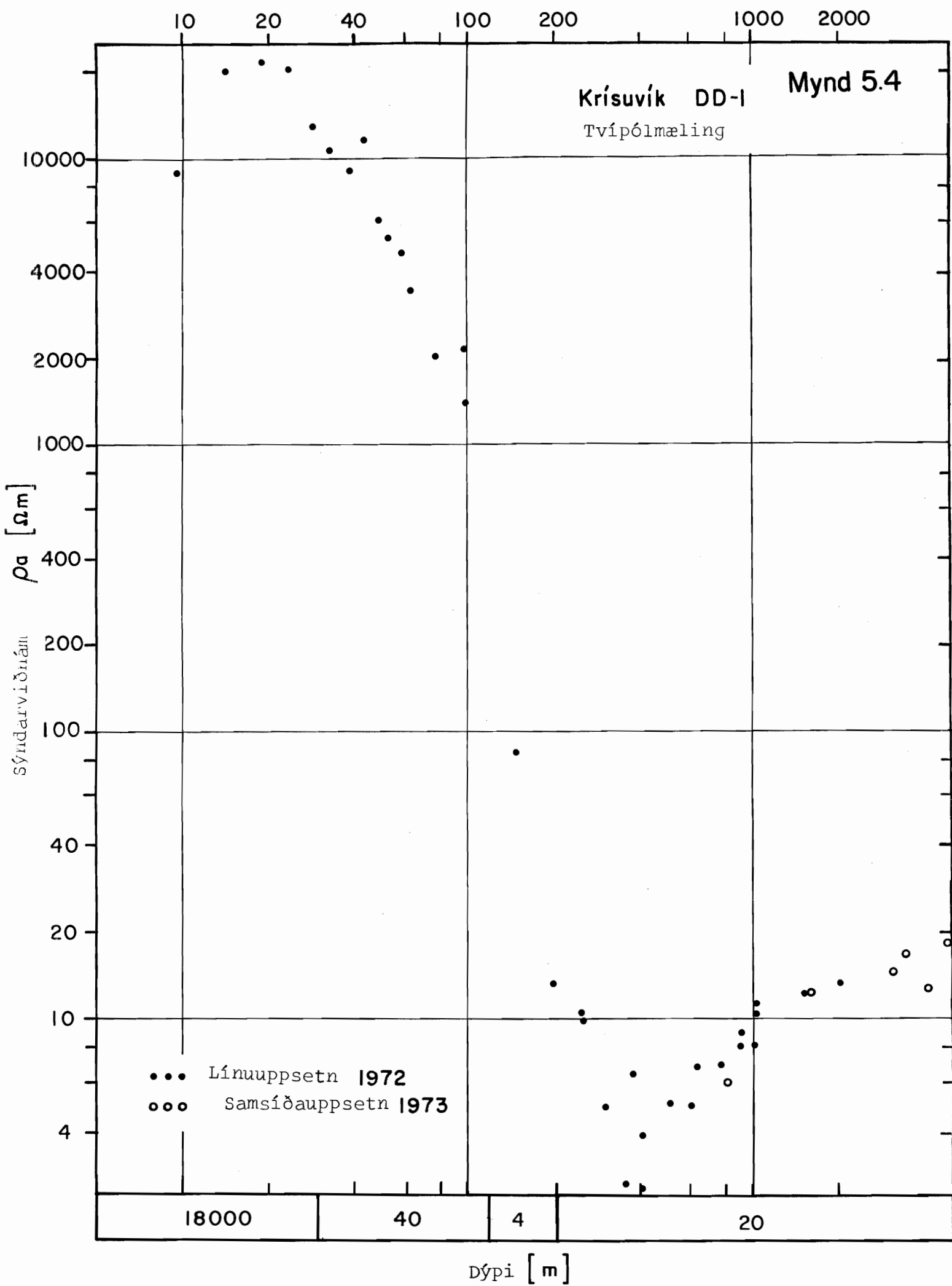
5.4 '75 AB/HO

Tnr. 238 Tnr. 1212

J-Krísuvík J-Viðndm

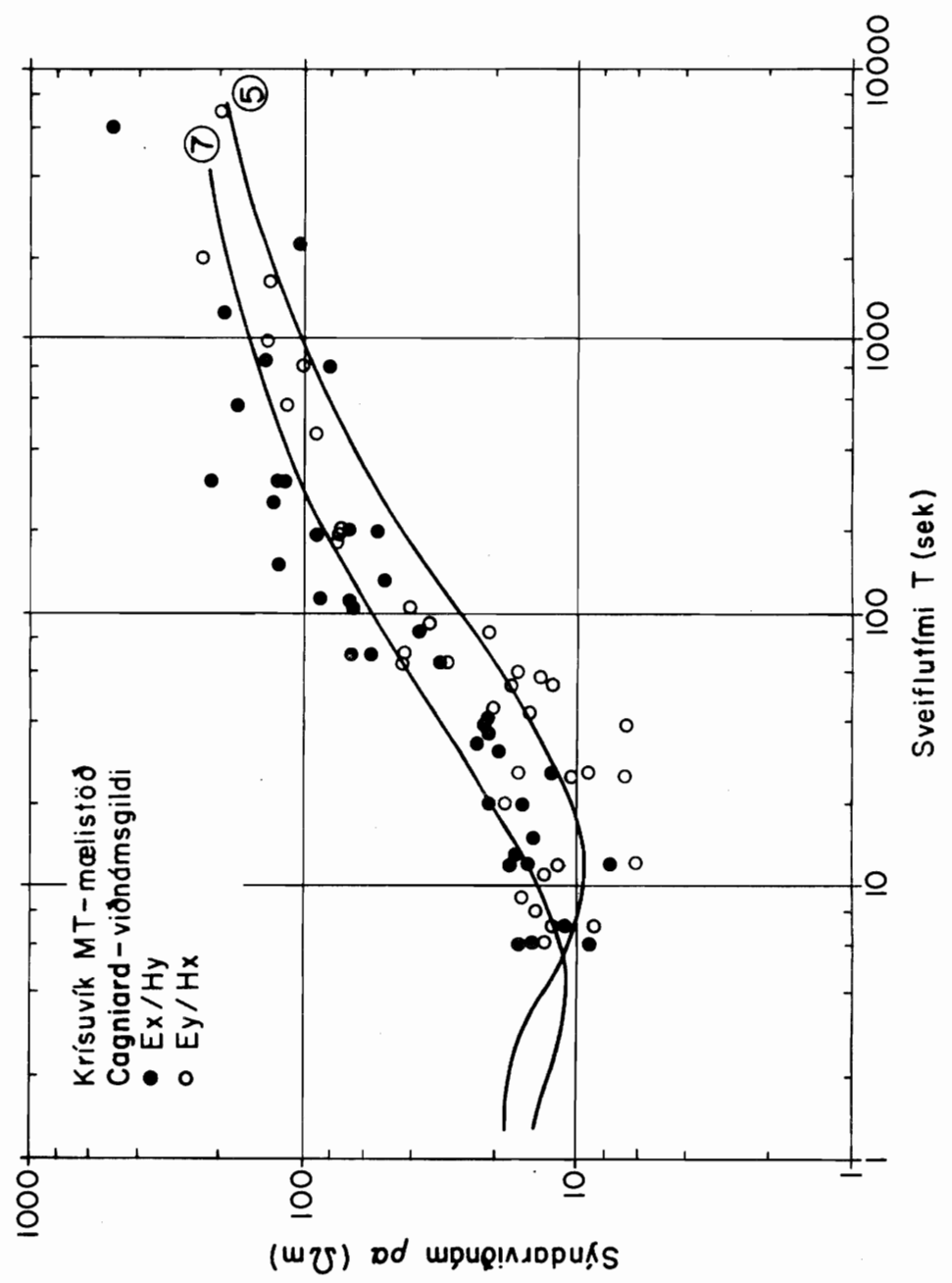
Fnr. 12509





27.2 '75 AB/HO  
 Tnr. 234 Tnr. 1208  
 J-Krísuv. J-Viðnam  
 Fnr. 12505

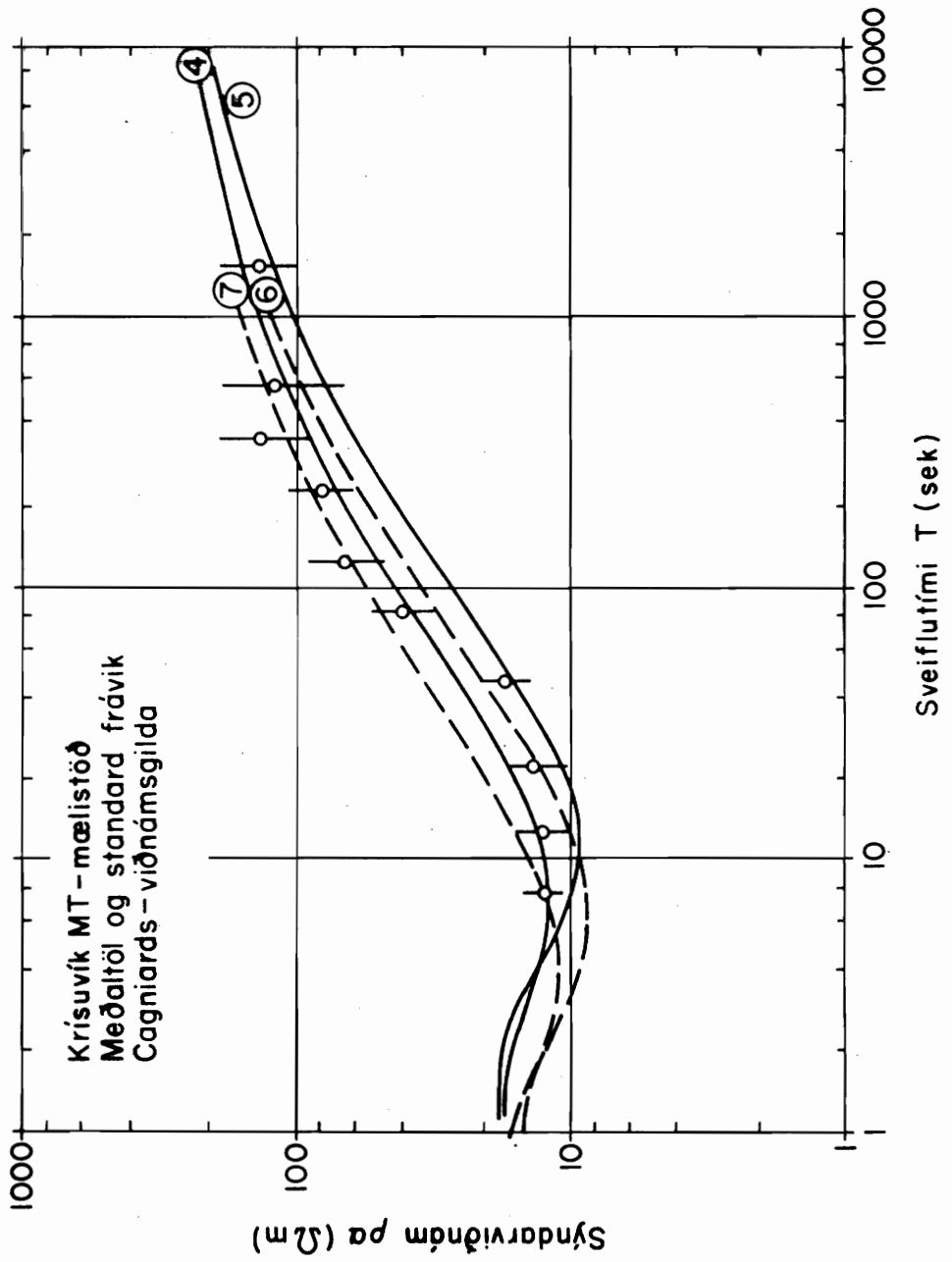
ORKUSTOFNUN  
 KRÍSUVIK  
 Viðnámsmælingar



Mynd 5.5

27.2.75 AB/HO  
 Tnr. 235 Tnr. 1209  
 J-Krísuvík J-Viðnám.  
 Fr. 12506

ORKUSTOFNUN  
 KRÍSUVÍK  
 Viðnámsmælingar

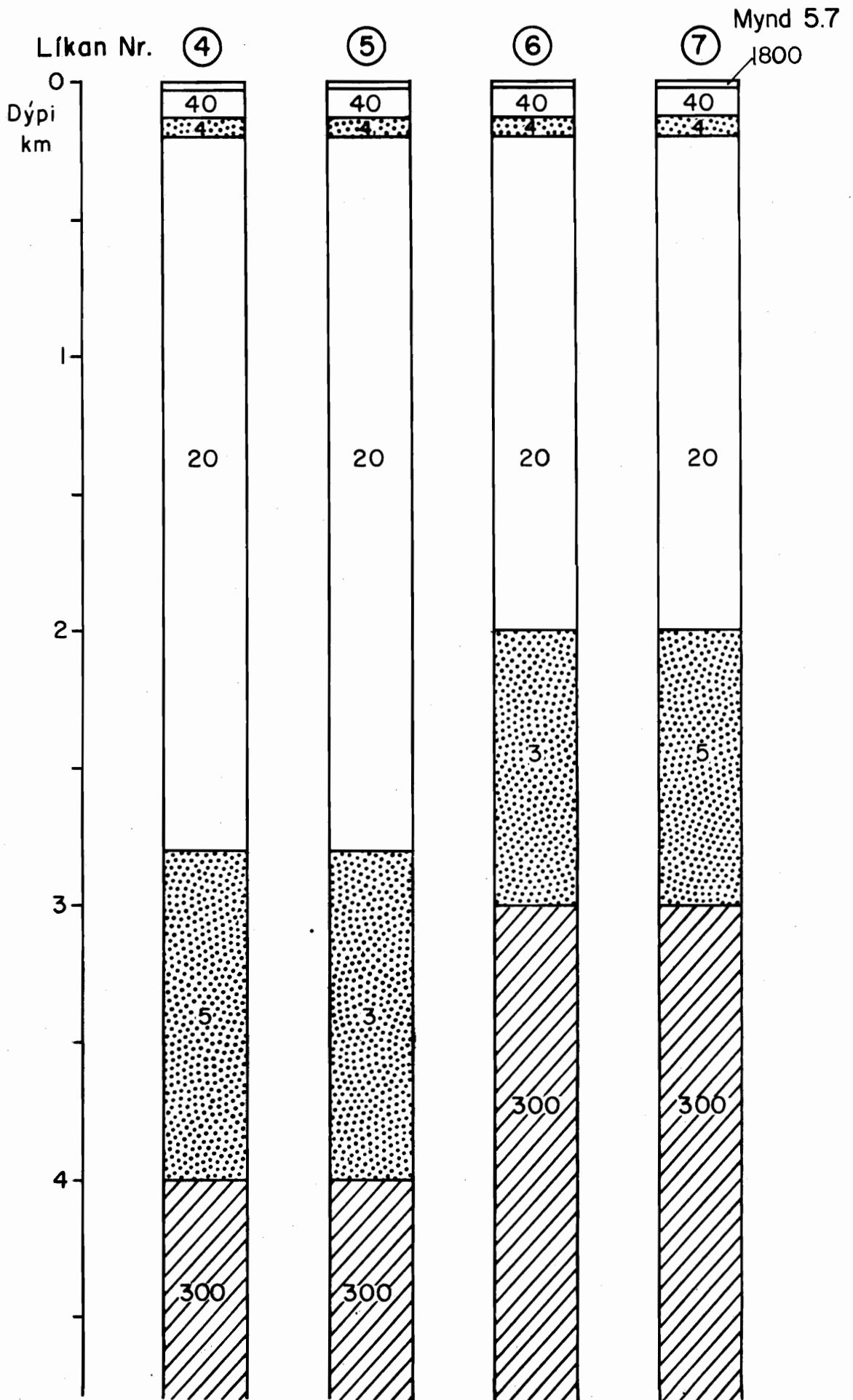


Mynd 5.6



KRÍSUVÍK

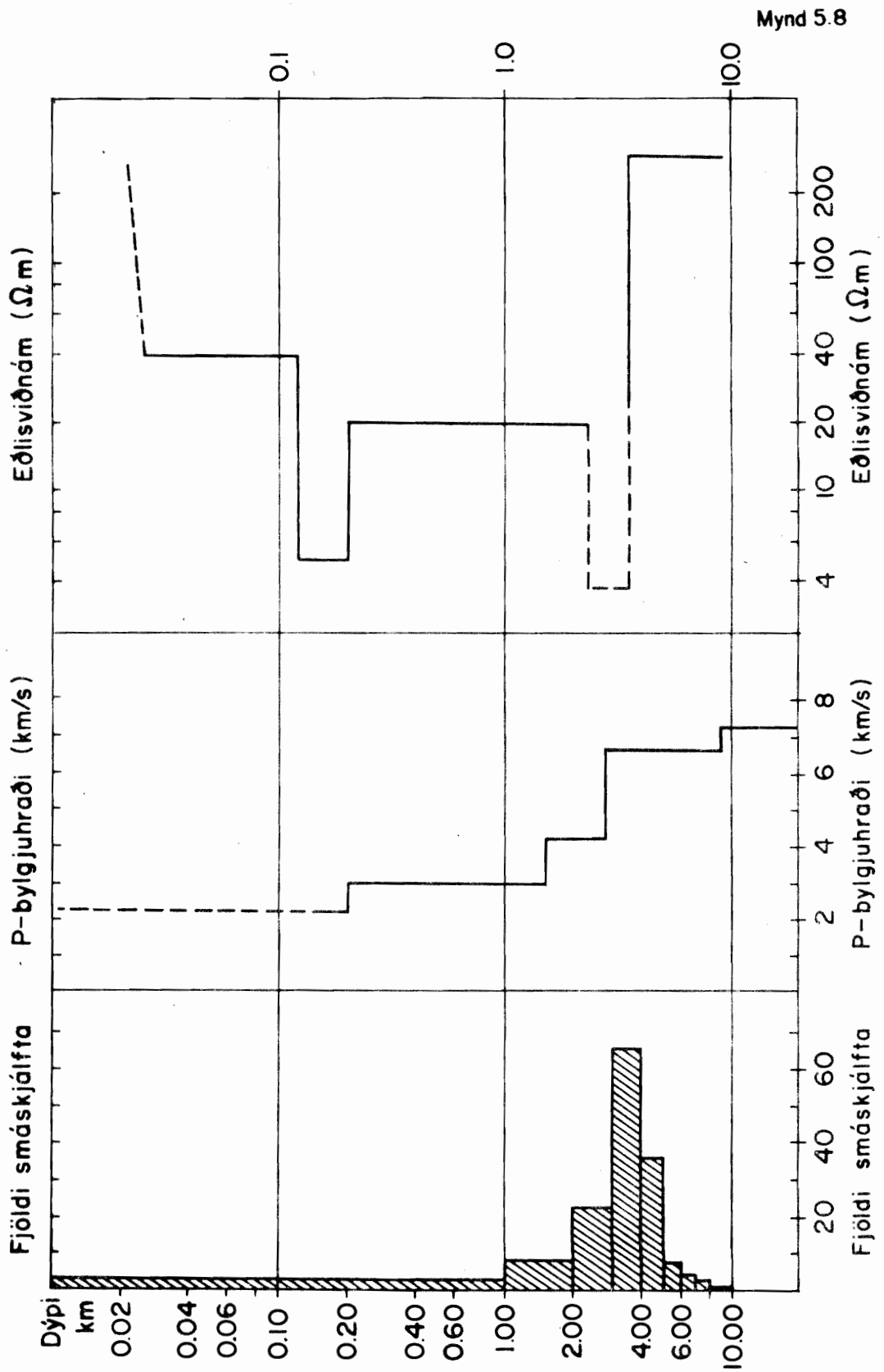
Viðnámsmælingar  
Tölurnar tákna eðlisviðnámi  $\Omega_m$





282 75 AB/HO  
 Tr. 236 Tr. 1210  
 J-Krisuv. J-Viðnam.  
 Fr. 12507

ORKUSTOFNUN  
 KRÍSUVÍK  
 Viðnámsmælingar



Mynd 5.8

## 6. SEGUL- OG FYNGDARMÆLINGAR

### 6.1 Segulmælingar

Raunvísindastofnun háskólans gaf út segulkort af Suðvesturlandi árið 1970. Mælingarnar voru gerðar úr 900 m hæð. Kortíð er í mælikvarða 1:250.000 og 500 γ milli jafnsegullína.

Krísuvíkursvæðið er á segulhæð, 10-20 km breiðri, sem liggur eftir Reykjaneskaga sunnanverðum frá Reykjanesi að Skálafelli, en beygir þar og tekur norðlægari stefnu. Þetta er framhald af segulhæð á miðju Mið-Atlandshafshryggisins. Yngstu gos á svæðinu eru á þessu beltí.

Á vegum jarðhitadeildar gerði Raunvísindastofnun einnig nákvæmari flugsegulmælingar af Krísuvíkursvæðinu og var þá flogið í u.þ.b. 300 m hæð. Segulkort eftir þeim mælingum er sýnt á mynd 6.1.

Sumarið 1970 voru mældar línur á jörðu með 10-30 skref milli mælipunkta víðs vegar um svæðið. Staðsetning þeirra er sýnd á mynd 6.2 og niðurstöður á mynd 6.3. Allar mælingar, sem hér er fjallað um, voru gerðar með prótónumæli og sýna heildarsvið.

Á Reykjanesi og við Námafjall og Kröflu voru gerðar mælingar hliðstæðar þeim sem jarðhitadeild stóð fyrir á Krísuvíkursvæðinu. Komu þar fram stórar segullægðir, sem stafa af eyðingu magnetíts við ummyndun frá jarðhita. Engin víðáttumikil segullægð af því tagi kemur fram á Krísuvíkursvæði þrátt fyrir útbreidda ummyndun á yfirborði. Ekki verður séð neitt samræmi milli segulkortsins á mynd 6.1 og ummyndunar á yfirborði sem sýnd er á mynd 1.1. Segullægðin á vesturhlið kortsins sem nær á móts við Grænavatn er fyrir sunnan hina stórfelldu ummyndun við Sog.

Segulkortið bendir til að svæðið þar sem mikil ummyndun hefur orðið á magnetíti í efstu 500-1000 m sé miklu víðáttu-

minna en svæðið þar sem viðnám er lágt á þessu dýpi. Á Námafjallssvæðinu fellur þetta ágætlega saman og samsílega á Reykjanesi. Þetta stafar annaðhvort af því að lítið sé um magnetít eða samfellda ummyndun á Krísuvíkursvæðinu. Við Brennisteinsfjöll, um 10 km austur af norðurenda Kleifarvatns, er stór segullægð og virðist líklegt að hún stafi af jarðhitaummyndun.

Mælilína 11 (mynd 6.3) liggur eftir Austurhálsi. Þar er greinilega lítið um sterksegulmagnað berg í efstu hundrað metrum. Óljóst er hvort ummyndunin upp af Krísuvík norður af punkti E veldur einhverri segullægð.

Mælilínur 10 og 12 liggja yfir belti þar sem ummyndun er sýnd á yfirborði. Á línu 12 kemur fram um 300 m belti með svið 52000 $\gamma$  sem fellur saman við ummyndunina. Sé þarna um segullægð frá ummyndun að ræða er hún veik og bendir til veikrar segulmögnunar. Austur af Engjahver er segulhæð með svið 53000 $\gamma$  á mynd 6.1. Línurnar sem ná út á þetta svæði sýna að þar nær sterksegulmagnað berg upp undir yfirborð.

Þær niðurstöður sem nú liggja fyrir þykja mér benda til þess að tiltölulega lítið sé af hraunum og bólstrabergi í efstu 500-1000 m á slóðum jarðhita og ummyndunar á Krísuvíkursvæði, en basaltsins gæti meira þegar neðar dregur.

## 6.2 Þyngdarmælingar

Jarðhitadeild hefur gert þyngdarmælingar á Krísuvíkursvæðinu og eru þær sýndar á mynd 6.4. Einnig hefur verið unnið að heildarrannsókn á þyngdarsviði á öllu landinu. Þeim rannsóknum er ekki lokið, en mælingar frá Suðvesturlandi eru sýndar á mynd 6.5. Bæði kortin sýna Bougeranomalíur.

Á Íslandi fellur Bougeranomalían inn að miðju landsins vegna flotjafnvægis og gætir þeirrar breytingar verulega á svæðinu sem sýnt er á síðari myndinni. Lækkunin er að miðju landsins er ekki alls kostar regluleg, en er af stærðargráðunni 0.7 mgal/km. Hæstu gildin, tæp 70 mgal á þeim mælikvarða sem notaður er á kortinu, eru á Reykjaneskaganum. Sviðið hækkar mjög hratt milli 50 og 60 mgal, u.þ.b. 1.5 mgal/km.

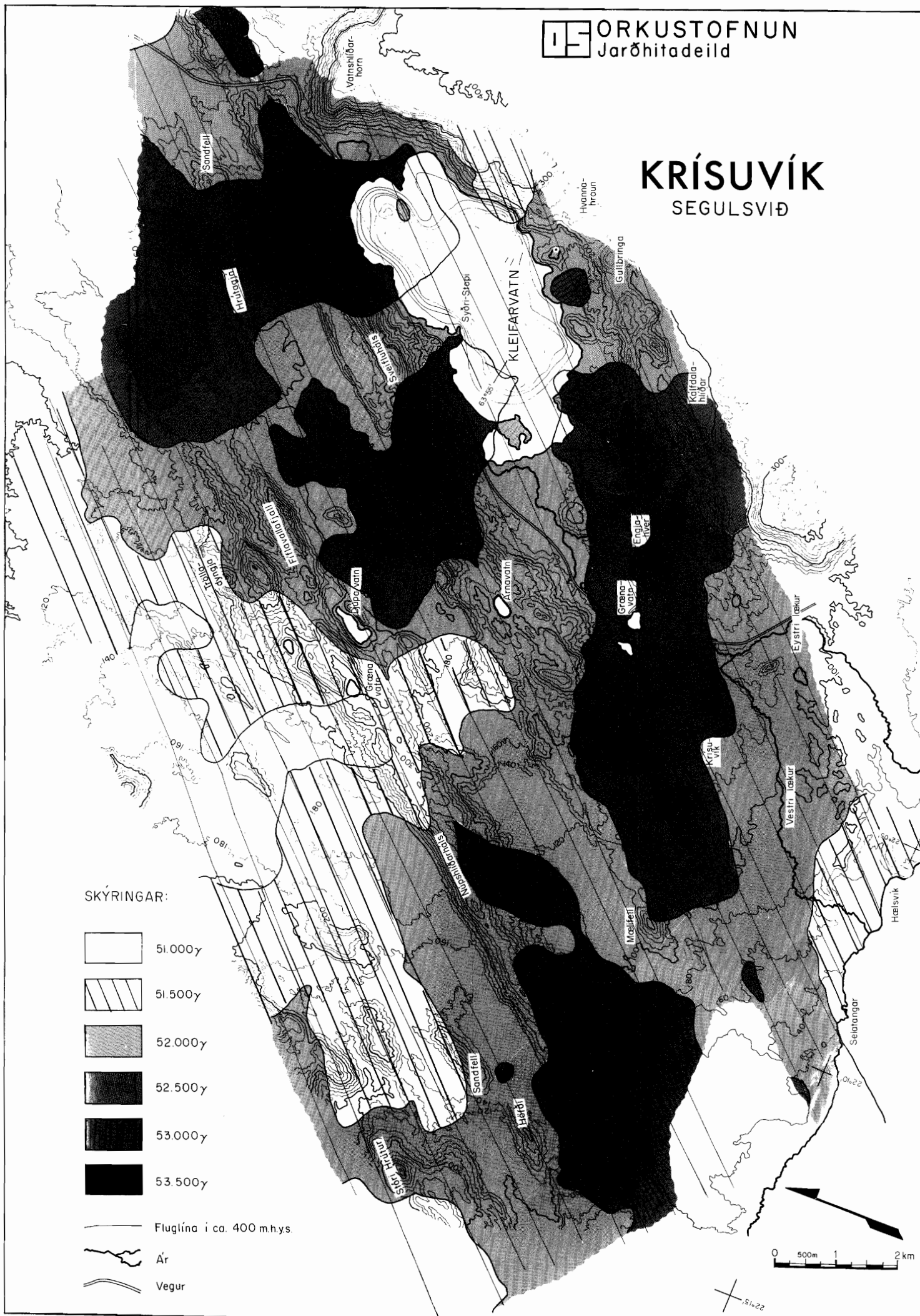
Þessi bröttu skil eru skammt fyrir austan jarðhitasvæðin við Kleifarvatn og Trölladyngju, og liggja jafnþyngdarlínurnar u.p.b. í N-S. Þarna eru einhver eðlisþyngdarskil sem liggja mun ofar en þau sem valda aðalflotjafnvægisfrávikinu. Það er óljósara hvað eðlisþyngdarhækkunin, sem jarðhitasvæðið er á, nær langt til vesturs.

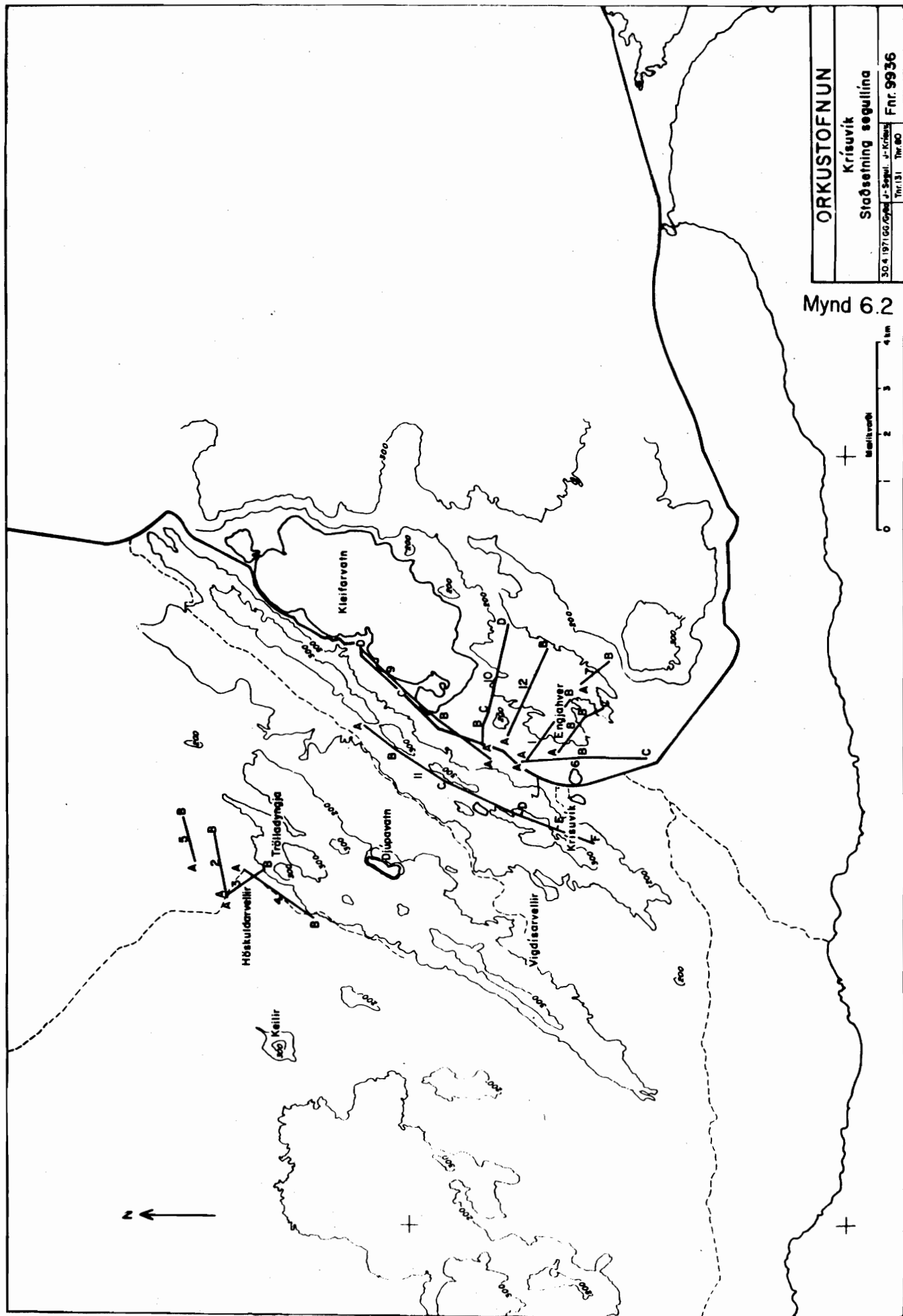
Heildarúrvinnsla þyngdarmælinganna og jarðsveiflumælingar á Krísvíkursvæði myndu bæta stórum möguleika okkar á að skýra orsök þessa stalls í þyngdarsviðinu.



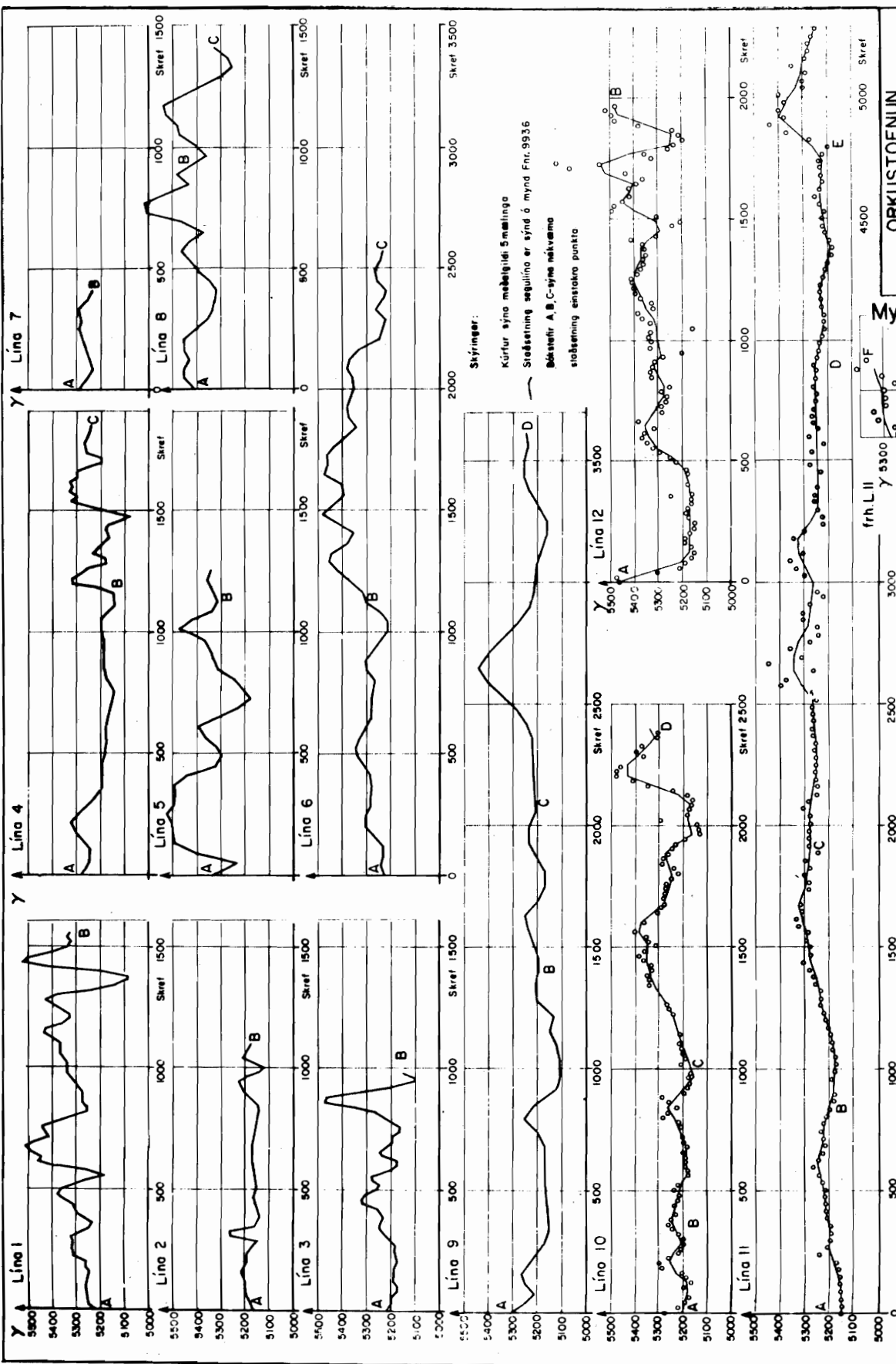
# KRÍSUVÍK

## SEGULSVIÐ





Mynd 6.2



Skýringar:  
 Kúrur sína meðalíðir 5 málinga  
 Stærðsetning segulíno er sýnd á mynd Fnr. 9936  
 Sérstakir A, B, C-sýna nákvæma  
 staðsetning einstakra punkta

frh. L. II Y 3300 3200 3100 3000

of

5500 Skref

ORKUSTOFNUN

KRÍSUVÍK

Segulmálningar 1970

294.7/66/77

J-Sept. 130 J-Kris. T. 79

FNR. 9 9 3 5

Mynd 6.3



9.1067 S.Þ.S./O.M.  
 Tr. 65 Tr. 8  
 J.-Krauv. J.-Byngd.  
 Fnr. 8105

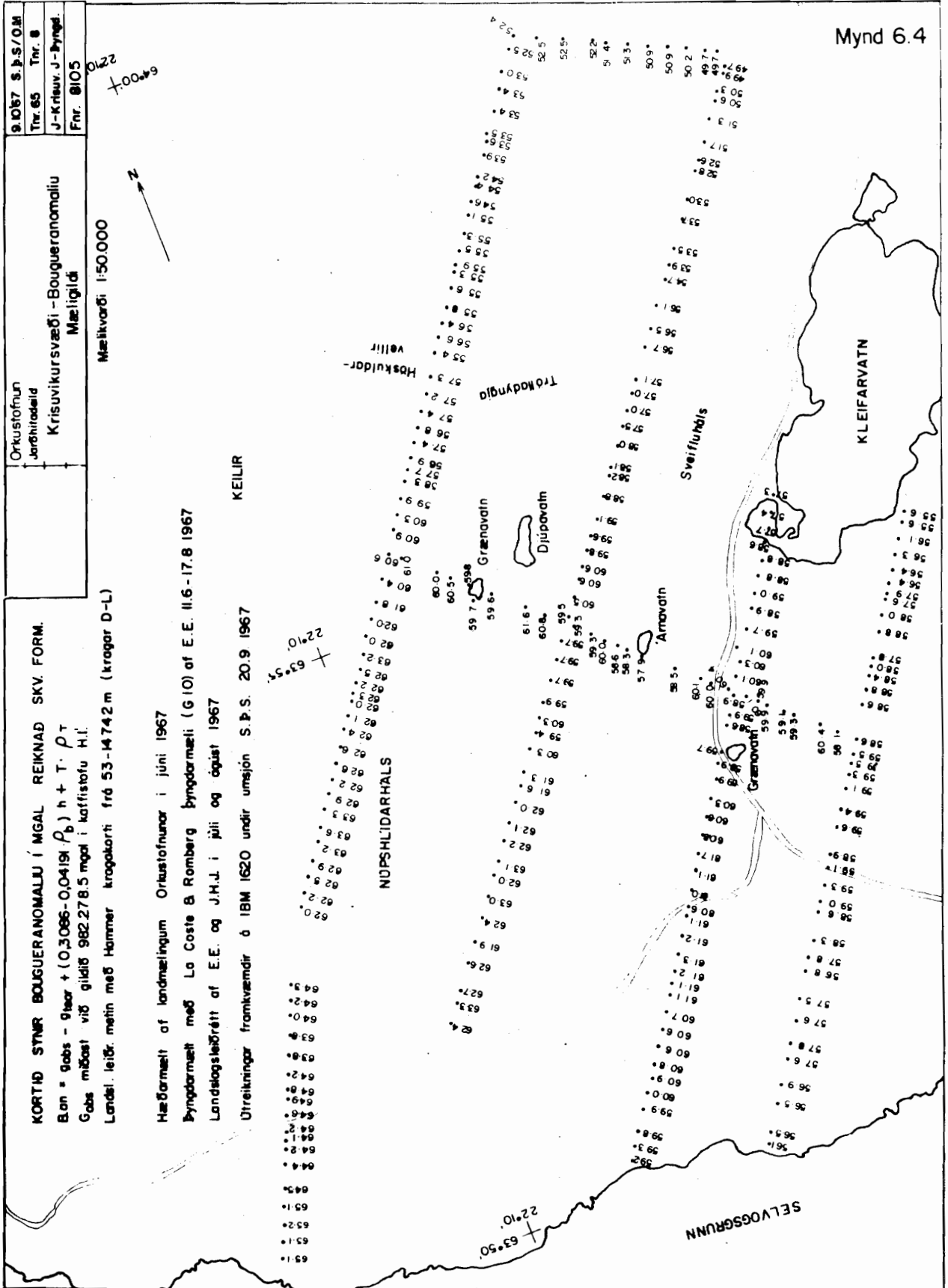
Orkustofnun  
 Jarðhitadeild  
 Krisuvíkursvæði - Bougueranomáliu  
 Mæligildi

Mælikvæði 1:50.000

KORTIÐ STYR BOUGUERANOMALJU Í MGAL REIKNAD SKV. FORM.  
 $B_{an} = g_{obs} - g_{teor} + (0,3066 - 0,0419 \rho_b) h + T \cdot \rho_T$   
 Gabs málst við gildið 982,278,5 mgal í kaffistofu H.I.  
 Landsl. leiðr. metin með Hammer krogatorni frd 53-1474,2 m (kragar D-L)

Hæðarmælt af landmælingum Orkustofnunar í júní 1967  
 Byngdarmælt með Lo Coste B Romberg byngdarmæli (G 10) af E.E. 11.6-17.8 1967  
 Landslagsleiðrétt af E.E. og J.H.J. í júlí og ágúst 1967  
 Útreikningar framkvæmdir á IBM 1620 undir umsjón S.Þ.S. 20.9 1967

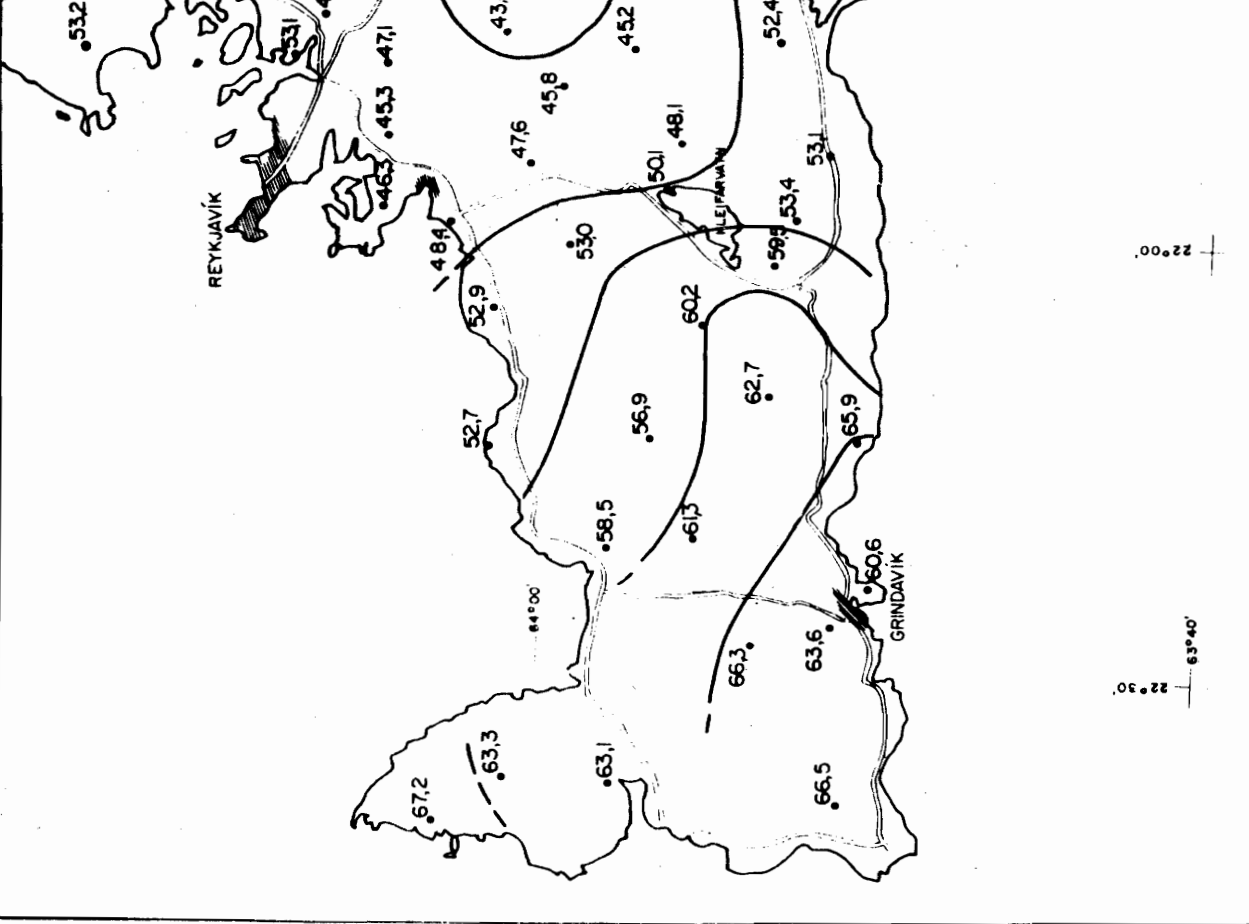
KEILIR



Mynd 6.4

13.4.71 GG / PJ  
 Th. 79. Th. 15  
 J- Reykjan. J-Þyngd  
 Fr. 9931

ORKUSTOFNUN  
 Reykjanes  
 Þyngdarmælingar. Bouganomaliur.



Mynd 6.5

## 7. SAMSETNING VATNS

Jarðhitasvæði það, sem hér um ræðir, er verulega frábrugðið öðrum jarðhitasvæðum, sem borað hefur verið í á Íslandi að því leyti, hver efnainnihald vatnsins er breytilegt (tafla 7.1). Á þetta við um háhitasvæði sem lághitasvæði. Venjulega er efnainnihald vatns, sem kemur inn í borholur á sama svæði, mjög svipað eins og t.d. við Námafjall, í Hveragerði, í Svartsengi, á Reykjanesi, í Reykjavík og við Reyki í Mosfellssveit. Ef til vill gefur samanburðurinn milli þessara svæða og Krísuvíkursvæðisins ekki að öllu leyti rétta mynd, þar sem borholur á Krísuvíkursvæðinu eru miklu dreifðari en á hinum svæðunum. Þó fer ekki á milli mála, að spönn í styrk ýmissa efna svo sem klóríðs, sem nemur um 20-1100 ppm, er óvenjulega mikil fyrir vatn af einu jarðhitasvæði. Talið er, að hið breytilega efnainnihald vatnsins stafi af streymi fersks grunnvatns niður í svæðið og blöndun við heitara og saltara vatn, en seltan er talin stafa af íblöndun sjávar, í litlum mæli þó. Virðist allt benda til þess, að ferska vatnið nái stundum að hitna verulega, áður en blöndun á sér stað. Á grundvelli þessarar skýringar mætti ætla, að Krísuvíkursvæðið sé frábrugðið öðrum háhitasvæðum, sem borað hefur verið í hér á landi, hvað tekur til vatnsrennslis í því. Yfirleitt einkennast háhitasvæði af uppstreymistöppum, sem ná til yfirborðs og eru um hverfandi blöndun að ræða við kalt grunnvatn í þessum töppum.

Í þeim djúpum borholum á Krísuvíkursvæði, sem eru staðsettar fjarri yfirborðsjarðhita, þ.e. H.7 við Djúpavatn og H.8 vestan undir Sveifluhálsi, kemur greinilega fram ferskt og jafnframt tiltölulega kalt vatn, sem liggur ofan á hinu heita og tiltölulega salta vatni jarðhitakerfisins (sjá töflu 7.1 og mynd 10.1). Aftur á móti er seltan nokkuð svipuð á hvaða dýpi sem er í H.1, H.2, H.5 og H.6, en allar þessar holur eru boraðar við eða mjög nálægt yfirborðsjarðhita. Virðist því ljóst, þegar tekið er mið af seltu vatnsins og hitaferlum í borholum (sjá mynd 10.1), að yfirborðsjarðhiti markar samilega

vel lóðrétta uppstreymistappa niður á um nokkur hundruð metra dýpi, en þar fyrir neðan er ekki vitað með nokkurri vissu um hvernig grunnvatnsrennsli er háttað.

Svo virðist sem samband sé á milli kísilhita/mælds hita og seltu heita vatnsins, en klóríðstyrkur þess er notaður sem mælikvarði á seltuna (mynd 7.1). Þannig er heitasta vatnið saltast. Þetta samband getur ekki talist glögg. Þó er talið, að það sé raunhæft. Vatn af litlu dýpi úr H.6, sem hefur að geyma klóríðríkasta vatnið, hefur bæði mældan hita og kísilhita, sem fellur út úr umræddu sambandi hita og seltu, þannig að hitinn er tiltölulega lágur miðað við seltu. Þetta má skýra með suðu í berginu við H.6 og samfara kólnun á vatninu og útfellingu kísils, sem lækkar kísilhitann. Raunhæft er að skýra þetta frávik með suðu, af því að hitinn í holunni niður á um 500 metra dýpi fylgir suðumarkafferlinum. Þeir punktar á mynd 7.1, sem samsvara 411, 401 og minna en 50 ppm af klóríði sýna allir mikinn mun hvað varðar kísilhita og mældan hita. Hér er talið, að blöndun á heitu tiltölulega söltu vatni nálægt yfirborði við kalt grunnvatn ráði þessum mun, en blöndunin veldur yfirmettun á kísil og gerir of háan kísilhita miðað við hita blöndunnar. Umræddir punktar á mynd 7.1 samsvara sýnum úr volgum uppsprettum og grunnum borholum í Seltúni, en vitað er um heitara og tiltölulega salt vatn á þessum hluta svæðisins, en það kemur fram í holu 14, þeirri holu, sem lengst hefur blásið í Krísuvík.

Ekki má skilja samband hita og seltu, eins og það er sett fram á mynd 7.1 á þann veg, að um hlutfallslegt eða lógaritmískt samband sé að ræða. Hins vegar er klóríðsnaudu vatni og klóríðríku vatni gefið jafnt vægi á slíku línuriti.

Heildarsvið línuritsins á mynd 7.1 má skýra með margþættri blöndun, en með slíkri blöndun er átt við mismikla upphitun á fersku og upphaflega köldu grunnvatni, áður en það blandast hinu saltara vatni, og/eða síendurtekinni blöndun við heitara vatn. Línurnar 2 á mynd 7.1 sýna samband hita og seltu á blöndu, sem fæst við þynningu á 260°C vatni með 1100 ppm klóríð við kalt, ferskt vatn annars vegar (5°C, 10 ppm klóríð) og heitt, ferskt vatn hins vegar (150°C, 100 ppm klóríð).

Sæmilegt samband er á milli kísilhita og hita fundnum út frá natríum, kalí og kalsíum innihaldi vatnsins. Þannig mundi þessi katjóna "jarðhitamælir" leiða til sömu niðurstöðu og kísilhitinn gerir um samband hita og seltu. Kísilhiti fenginn út frá jafnvægi við kvars er ætíð hærri en fæst út frá katjóna-jarðhitamælingum, en kísilhitinn er hins vegar ætíð lægri ef miðað er við jafnvægi við kalsedón, eins og gert er fyrir vatn kaldara en 180°C. Þar sem kísilhiti er miðaður við jafnvægi við kvars ber honum betur saman við mældan hita í djúpu holunum en katjónahitanum. Þessu er öfugt farið, þegar kísilhitinn er fenginn út frá jafnvægi við kalsedón. Þá ber katjónahitanum betur saman við mældan hita í djúpum holum.

Athyglisvert er, að styrkur bórs er hæstur í ósaltasta vatninu úr djúpum borholum. Í sjó er styrkur bórs nálægt 4.6 ppm, en nálægt 0 í köldu grunnvatni. Stafi seltan í heita vatninu á Krísuvíkursvæði af íblöndun sjávar, væri við því að búast, að bórstyrkur heita vatnsins væri alltaf mjög svipaður, færi þó eitthvað vaxandi með seltu, nema aðrir þættir hefðu áhrif á útskolunarhraða bórs úr berginu. Athugun á ummyndun sýnir að hún er mest í H.5 við Kleifarvatn, en sú hola hefur einmitt að geyma ósaltasta og bórríkasta vatnið á jarðhitasvæðinu. Hugsanlegt virðist, að auðveldara verði að skola bóri út úr bergi, eftir því sem það ummyndast meira og sé það ástæðan fyrir hinu tiltölulega háa styrk þessa efnis í vatninu í H.5. Sé þetta rétt skýring, er styrkur bórs í heita vatninu mælikvarði á stig ummyndunar. Samkvæmt þeirri reglu, að hlutfallið Cl/B í heita vatni sé jafnt í hverju vatnskerfi, eins og kemur t.d. fram á Suðurlandsundirlendi, benda niðurstöður á Krísuvíkursvæði til þess, að þar sé um fleira en eitt vatnskerfi að ræða. Fyrir hverja af hinum 3 djúpu rannsóknarholum er Cl/B hlutfallið tiltölulega jafnt, þótt styrkur hvers efnis um sig sé nokkuð breytilegur. Greinilegt er, að um blöndun heita vatnsins við ferskt vatn er að ræða efst í H.8 vestan undir Sveifluhálsi. Þá er athyglisvert, að um blöndun við kalt vatn er einnig að ræða í H.5 við Kleifarvatn, en neðst og hugsanlega einnig neðst í H.6 við Trölladyngju, en niðurstöðurnar eru það óljósar fyrir þessa holu, að um slíka blöndun verður ekkert sagt.

með vissu. Þá kemur einnig fram, að hlutfallið Cl/B fer vaxandi frá austurjaðri svæðisins til vestur eða norðvestur útkants. Þetta má lesa út úr mynd 7.3 með hjálp myndar 5.3, sem sýnir staðsetningu borholanna. Ekki verður sagt um það á þessu stigi málsins, hvort slík dreifing endurspeglir á nokkurn hátt mesta ummyndun austast í jarðhitakerfinu og minnsta vestast.

Lausleg athugun sýnir, að borholuvatnið er mettað af kal-síti og anhýdríti, en virðist verulega undirmettað af flúoríti. Þannig má búast við að styrkur flúoríðs í vatninu ráðist af útskolun þess úr berginu.

Tafla 7.1 Efnainnihald í heitu vatni af Krísvíkursorvæði. styrkur í ppm.

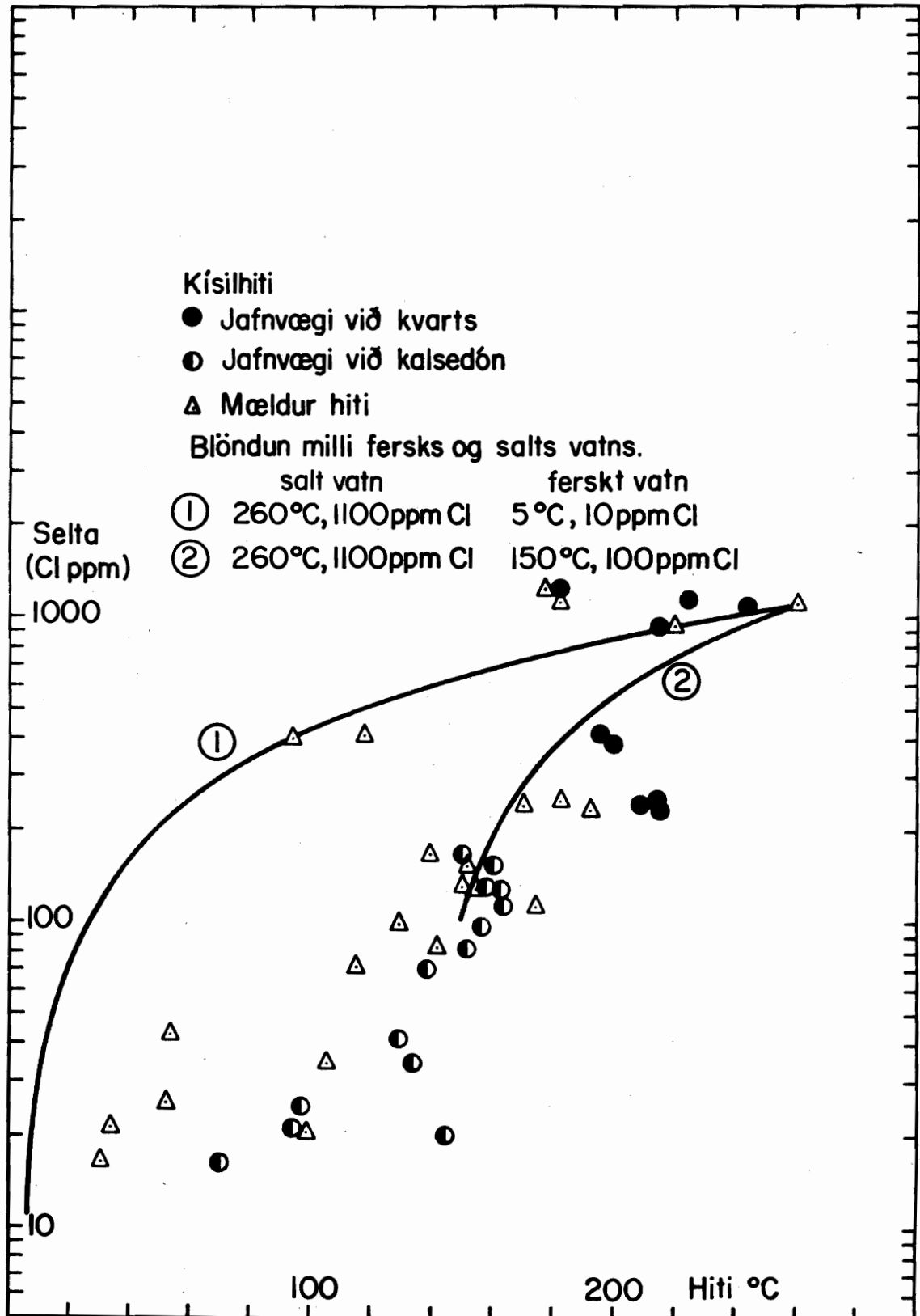
staður	Sýni nr.	Hiti °C	pH/°C	m 25°C	SiO <sub>2</sub>	B	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	CO <sub>2</sub> heild.	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	H <sub>2</sub> S heild.	Cl <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	Uppl. efni	Djúp-sýni m
v/sundl.	07700093	34	6.98/23		77		34.3	2.8	52.4 <sup>x</sup>	21.2 <sup>x</sup>	14.1	69.5	0.1	21.2	0.10	426	
uppsp.v. borh.B	07700096	53	6.48/23		133		42.0	3.5	32.4 <sup>x</sup>	32.5 <sup>x</sup>	14.5	29.0	0.1	42.3	0.10	552	
borh. A	02710018	94	8.15/20	6.25	264		279.0	21.0	6.2	0.10	82.0	78.7	0.7	401.0	0.50	1160	70
borh. A	02710017	117	8.28/20	6.28	258		283.0	19.2	6.8	0.10	84.0	75.4	0.7	411.0	0.55	1148	95
borh. B	02710019	52	6.98/20	25.6	80		20.8	1.4	38.8	16.8	178.0	15.3	0.1	25.2	0.05	320	40
borh. Hveradal	07700097	99	8.49/23		169		27.0	5.1	12.8	18.9	0.0	389.1 <sup>x</sup>	1.1	20.1	0.20	794	
borh. 14	07700094		9.23/23		500	1.77	465.0	57.2	10.4	0.10	49.8	92.4	9.9	759.0	0.3	1876	
H.3	02710021	105	7.02/20	12.7	143		136.0	10.8	24.6	1.4	316.0	31.3	0.1	34.4	0.10	610	200
H.3	02710020	115	6.91/20	11.9	154		148.0	12.8	19.1	1.3	310.0	31.9	0.1	70.4	0.15	654	300
H.5	09710096	173	9.45/20	10.0	212		148.0	12.0	10.8	0.22	39.7	162.1	19.2	51.0	0.65	821	200
H.5	09710098	150	9.60/20	9.5	65		180.0	9.4	30.3	0.30		335.0		27.2	0.75	792	816
H.5	11710128	173	8.35/20	9.3	222	1.25	206.0	21.5	9.4	0.24	96.0	157.0	3.3	102.0		856	200
H.5	11710129	154	8.80/20	9.4	226	1.23	205.0	12.9	9.1	0.24	55.0	175.3	0.3	122.0		850	350
H.5	11710130	151	8.80/20	9.2	220	1.18	210.0	13.8	10.6	0.22	63.0	178.2	4.4	118.0		861	470
H.5	11710131	151	8.60/20	9.5	210	1.15	200.0	12.9	10.0	0.23	72.0	141.6	0.2	151.5		822	650
H.5	11710132	151	8.85/20	8.7	164	0.59	233.0	16.7	16.5	0.51	63.0	324.7	1.3	52.0		896	800
H.5	03720010	173	7.10/20		216	1.17	204.0	22.0	18.4	0.30	226.0	145.5	0.3	121.8	0.45	955	200
H.5	03720011	152	7.10/20		186	1.07	208.0	17.0	19.6	0.20	172.0	193.1	0.1	132.3	0.45	938	500
H.5	03720012	153	8.80/20		172	0.64	246.0	11.0	21.8	0.10	48.0	425.8	0.1	81.2	0.60	989	800
H.6	09710104	183	7.85/20		205		680.0	40.4	90.8	0.50	55.7	103.1	0.1	1234.0	0.20	2563	200
H.6	09710105	258	8.35/20		514		700.0	119.0	42.4	0.38	62.2	49.6	6.6	1094.0	0.50	2605	500
H.6	09710106	225	7.30/20		304		596.0	64.0	40.0	0.44	59.5	40.1	1.7	914.0	0.30	2020	800
H.6	11710140	182	8.45/20		326	0.65	644.0	85.2	84.4	1.9	25.0	106.8	0.1	1144.0	0.35	2578	200
H.6	11710139	262	7.65/20		435	0.79	656.0	74.0	46.6	0.5	60.0	32.5	0.1	1082.0	0.30	2430	500
H.6	11710141	218	7.35/20		302	0.39	688.0	53.2	20.4	14.0	31.0	160.9	0.1	934.0	0.30	2479	800
H.6	04720019	183	6.85/20		424		662.0	77.0	63.7	0.9	84.0	38.0	0.2	1107.0	0.45	2444	200
H.6	04720020	261	7.50/20		462		692.0	89.0	62.4	0.7	88.0	27.7	9.6	1103.0	0.25	2499	500
H.6	04720021	218	7.80/20		390		614.0	60.0	46.0	2.5	40.0	55.8	0.2	964.0	0.45	2116	800
H.7	02720007	30	8.00/20		50		30.6	1.7	18.4	10.4	110.0	7.9	0.1	16.1	0.20	208	325
H.7	02720008	139	7.15/20		178	0.14	160.0	8.2	15.4	1.4	120.0	75.1	0.1	163.2	0.40	692	475
H.7	02720009	143	8.20/20		69		104.0	6.9	16.4	0.6	110.0	72.6	0.1	96.9	0.20	456	513
H.8	03730045	129	8.90/18	16.7	210	0.24	140.0	8.3	5.5		66.9	90.0	0.1	96.8	0.70	600	240
H.8	03730046	192	6.82/18	9.1	332	0.52	227.0	21.5	11.5		121.0	240.0	0.1	246.4	0.70	1000	450
H.8	03730047	182	6.83/18	8.8	332	0.50	230.0	20.8	12.5		117.5	106.3	0.1	245.6	0.80	1000	700
H.8	03730048	170	6.90/18	8.8	298	0.53	226.0	21.3	17.0		121.0	104.0	0.1	244.0	0.80	1030	920

x mæling talin óáreiðanleg



Samband hita og seltu vatns af  
Krisuvíkursvæði

Mynd 7.1

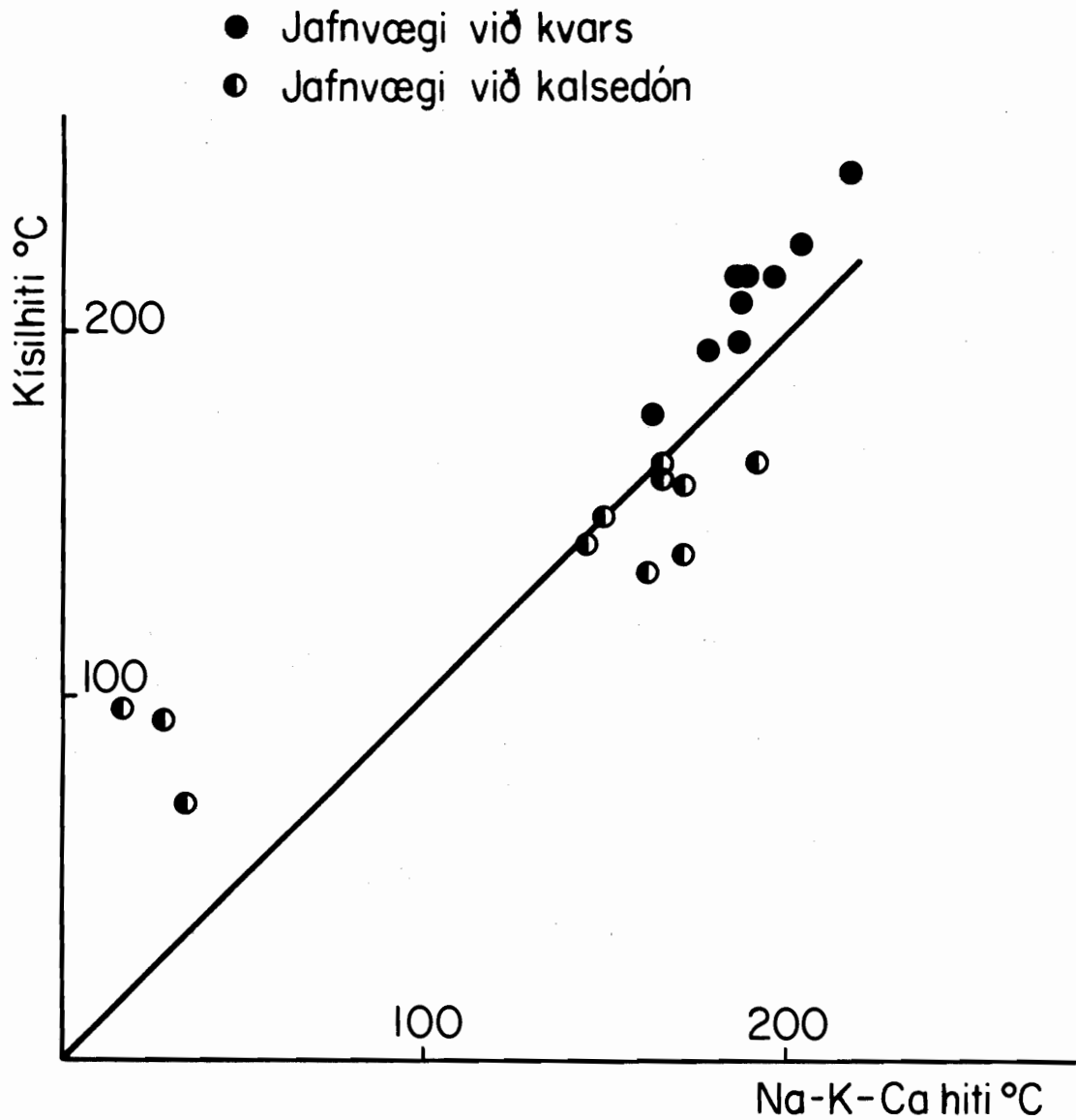






Samanburður á kísilhita og Na-K-Ca hita  
í heitu vatni af Krísuvíkursvæði

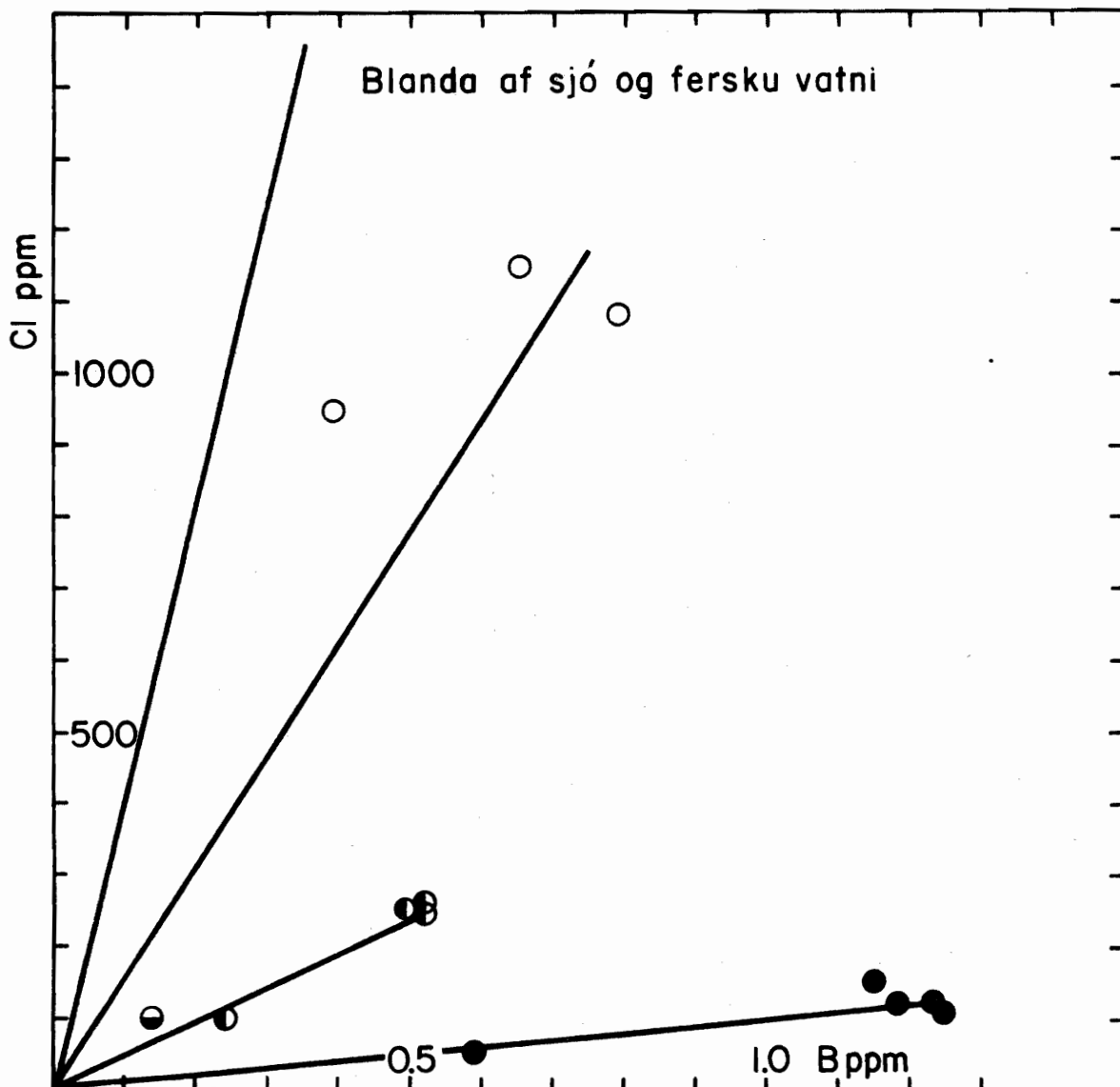
Mynd 7.2





Mynd 7.3

- H-5
- H-6
- H-7
- H-8



## 8. UMMYNDUN

### 8.1 Inngangur

Samhliða borun var unnið að rannsóknum á dreifingu steintegunda í H.5 og H.6. Ummyndun í H.7 hefur ekki verið könnuð, enda var svarf ekki tekið nema í efstu 400 m, en borsvarf úr H.8 var rannsakað veturinn 1973-74. Þá hefur verið gerð könnun á dreifingu leirsteina í H.2.

Flestar steintegundirnar voru ákvarðaðar með röntgenaðferðum, mest með tæki Raunvísindastofnunar H.Í. en rannsókn á ummyndun í H.8 var unnin að nokkru með hinum nýju tækjum Orkustofnunar. Nokkuð var stuðst við smásjárathuganir, bæði í skautaðri og óskautaðri smásjá.

Rannsókn á ummyndun borsvarfs í H.5 og H.6 var þannig unnin, að valin voru sýni með 20-40 m millibili. Þannig voru tekin 26 sýni í H.5, en 42 úr H.6. Gerð var heildarröntgengreining á öllum þessum sýnum ómeðhöndluðum og ennfremur ákvarðaðir leirsteinar í þeim. Var það gert með prófum í glycoli og með hitun. Að lokum voru valin um 6 sýni úr hvorri holu og steintegundir aðskildar til frekari ákvörðunar. Var það gert með þungum vökvum og segli. Niðurstöður af meðhöndluðum sýnum voru síðan notaðar sem hjálpargögn við nákvæmari túlkun á línuritum af ómeðhöndluðum sýnum.

Í H.8 voru valin sýni með um 200 m millibili og steintegundir aðskildar og ákvarðaðir. Að fengnum þessum niðurstöðum voru valin fleiri sýni, þar sem helst þótti vanta til að ákvarða mörk milli leirtegunda, zeolíta eða athuga hvar kvars fyndist efst.

### 8.2 Ummyndun í einstökum holum

#### Hola 5

Við rannsókn á H.5 hafa stórar eyður í borsvarfi komið sér

allilla. Mestar eru eyðurnar frá 175-350 m, 475-510 m og 520-620 m, eða tæpur helmingur holunnar. Eyðurnar eru of stórar til þess að unnt sé að tengja yfir þær. Yfirlit yfir steintegundir holunnar er sýnt á mynd 8.1.

Ummyndun er mikil í holunni. Þó má svo til alls staðar finna frumsteina basalts, þ.e. plagióklas og pyroxen en ólivín er allstaðar horfið, en í þunnsneið má sumsstaðar sjá, að það hafi verið í upprunalega berginu.

Á litlu beltum þar sem ummyndun er mest á kringum 100 m dýpi, finnast hvorki plagióklas né pyroxen. Bergið er hins vegar greint sem móbergstúff, svo óvíst er, hvort steintegundirnar hafi verið í glerinu, áður en ummyndun hófst.

Málmsteinn basaltsins, magnetít, finnst allvíða, en á nokkru beltum hefur það oxast yfir í hematít.

Athyglisvert er, hve ofarlega klórít kemur fram, en það sýnir, hve ummyndun er mikil. Þá er einnig athyglisvert hve langt niður eftir holunni blandleir, sem er blanda af montmórilloníti og klóríti í hlutföllunum 1:1, fylgir klóríti. Montmórillonít er efst í holunni svo sem virðist algengast á háhitasvæðum.

Kvars finnst mjög ofarlega í holunni og er alla leið niður á botn hennar. Síderít er efst í holunni, en kalsít neðar. Ekki er vitað til, að síderít hafi fundist áður á íslenzku háhitasvæði. Þá er og athyglisvert, að zeolítar finnast ekki utan wairakít á tveimur stöðum.

#### Hola 6

Í H.6 eru borsvarfseyður mun minni en í H.5. Stærsta eyðan er frá 440 m til 500 m og hefur verið tengt yfir hana að nokkru leyti. Þessi eyða kemur sér þó nokkuð illa, þar sem breytingar á leirsteinum eiga sér stað á þessu bili. Yfirlit yfir steintegundir holunnar er sýnt á mynd 8.2.

Ummyndun í H.6 er ekki jafn mikil og í H.5. Kvars og klórít koma fyrst fram mun neðar en í H.5. Plagióklas og pyroxen finnast allstaðar, en allt ólivín er horfið. Skipting

leirsteina er mun líkari því, sem þekkt er af öðrum svæðum hér en í H.5, efst er montórillonit en neðar er klórít, en á mörkunum er blandleir. Þýrít finnst víða, en magnetít hvergi og hematít á einum stað.

Í H.6 eru zeólítarnir heulandít, sem er ofar, og analsím neðar.

### Hola 8

Ummyndun í H.8 er áberandi minni en í H.5 og H.6, og verður ekki veruleg fyrr en á rúmlega 700 m. Plagíoklas og pyroxen hafa ekki ummyndast, og ólivín finnst á stöku stað efst í holunni.

Leirsteinar hafa svipaða dreifingu og í H.6 og fannst klórít efst á rúmlega 400 m dýpi (mynd 8.3). Á 184 m dýpi fannst aragónít, en það fellur út úr vatninu við mjög snöggt hitafall, líklega vegna suðu.

Þýrít fannst á litlu beltum þar sem ummyndun er mest í holunni en dreifing málmoxíða hefur ekki verið könnuð. Auk heulandíts og analsíms fannst mordenít, en sá zeólíti fanns ekki í öðrum borholum á svæðinu. Sama er að segja um epídót, sem fannst nærri botni holunnar.

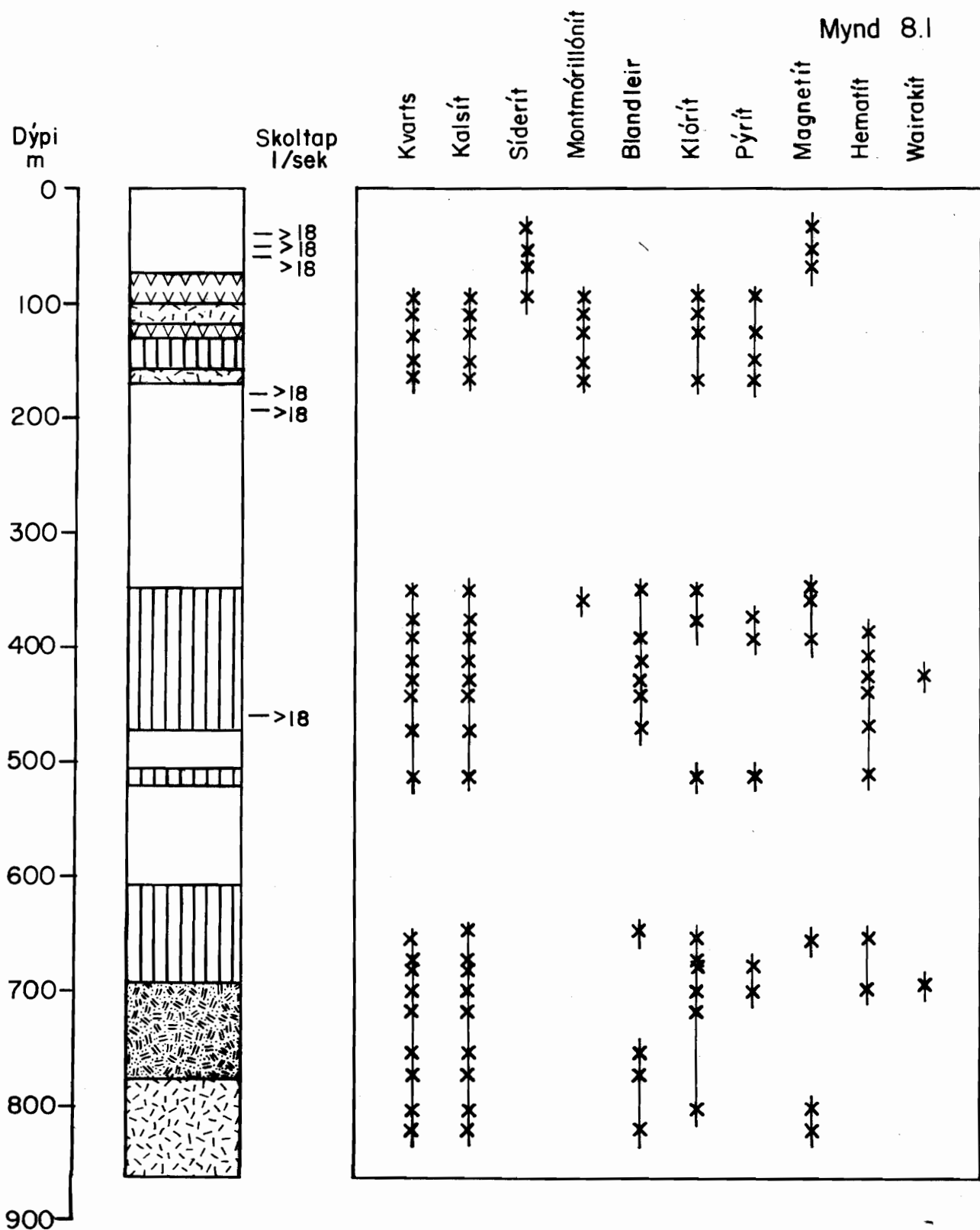
### 8.3 Umræða

Á mynd 8.4 er gerður samanburður á ummyndun á Krísuvíkursvæðinu og öðrum jarðhitasvæðum þar sem ummyndun hefur verið rannsökuð. Í Krísuvík, Námafjalli og á Reykjanesi hefur ummyndun verið könnuð í fleiri en einni holu, á hverju svæði, og eru niðurstöðurnar úr þeim teknar saman á myndinni. Sést þar, að víðast hvar eru zeolítar efst í holunum ásamt montmórilloníti en hverfa síðan með auknu dýpi og hita, en á svipuðu dýpi nær klórít efst. Nokkru neðar kemur epídót, en þá eru zeolítar horfnir. Á mynd 8.4 sést, að Krísuvíkursvæðið er frábrugðið öðrum háhitasvæðum, þar sem klórít finnst þar mun ofar en algengast er. Alldjúpt er á klórít í H.6 og H.8 (myndir 8.2 og 8.3), en hins vegar er ekki nema tæpir 100 m niður á klórít-sónuna við suðurenda Kleifarvatns í H.2 og H.5 (mynd 8.1). Þar fyrir ofan er móbergið nær algjörlega ferskt og hlýtur það

að hafa komið eftir að klórítíð myndaðist. Hefur klórít því myndast uppi undir yfirborði eða þá, að allmikið rof hafi átt sér stað á svæðinu, áður en móbergið, sem nú eru ekki í jafnvægi við núverandi hitastig, sem er aðeins um  $170^{\circ}\text{C}$ . Í Námafjalli, Nesjavöllum og á Reykjanesi er hitastigið  $240\text{--}265^{\circ}\text{C}$ , þar sem klórít finnst efst í holunum. Klórít virðist því myndast við hitastig um og yfir  $240^{\circ}\text{C}$ .

Hámarkshiti á hverju dýpi í borholum er háður suðumarki vatnsins, sem aftur er háð þrýstingi. Til þess að suðumark vatnsins sé  $240\text{--}265^{\circ}\text{C}$  þarf þrýstingur að samsvara  $380\text{--}600$  m hárrí vatnssúlu, sem öll er við suðumark. Samkvæmt þessu hefur klórítíð við suðurenda Kleifarvatns myndast á  $380\text{--}600$  m dýpi. Ólíklegt er, að á Krísuvíkursvæðinu hafi rof numið þeim  $280\text{--}500$  m, sem á vantar til þess að unnt sé að ná  $240\text{--}265^{\circ}\text{C}$ . Nærtækasta skýringin er því sú, að þegar klórítíð myndaðist hafi jarðhitasvæðið hvílt undir jökli, nægilega þungum til þess að hitastig næði  $240\text{--}265^{\circ}\text{C}$  nærri yfirborði. Til þess að ná sama þrýstingi og  $380\text{--}600$  m há vatnssúla, sem öll er við suðumark, þarf  $340\text{--}570$  m þykkjan jökul, sem er við  $0^{\circ}\text{C}$ . Ætla má, að brúnir Lönguhlíðar gefi hugmynd um þykkt jökulsins. Hæðarmismunur á efri mörkum klórítsonunnar og brúnum Lönguhlíðar gefi hugmynd um þykkt jökulsins. Hæðarmismunur á efri mörkum klórítsonunnar og brúnum Lönguhlíðar er um  $300$  m, sem er talið í góðu samræmi við fyrri tölurnar. Af þessu má ráða, að svæðið við suðurenda Kleifarvatns hefur verið heitast á jökulskeiði og hefur þungi jökulsins valdið því, að klórít myndaðist í efstu jarðlögum. Vegna þess hve hiti var mikill á yfirborði hafa ekki verið skylyrði fyrir myndun zeolíta.

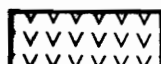
Rannsókn á ummyndun í H.6 og H.8 (myndir 8.2 og 8.3) gefur ekki til kynna, að hitastig hafi verið þar hátt á meðan jökull haldi landið, og virðist hiti því hafa farið vaxandi þar síðan.



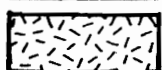
SKÝRINGAR:



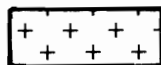
Basalt



Túff



Pursaberg



Ógreinanlegt vegna ummyndunar



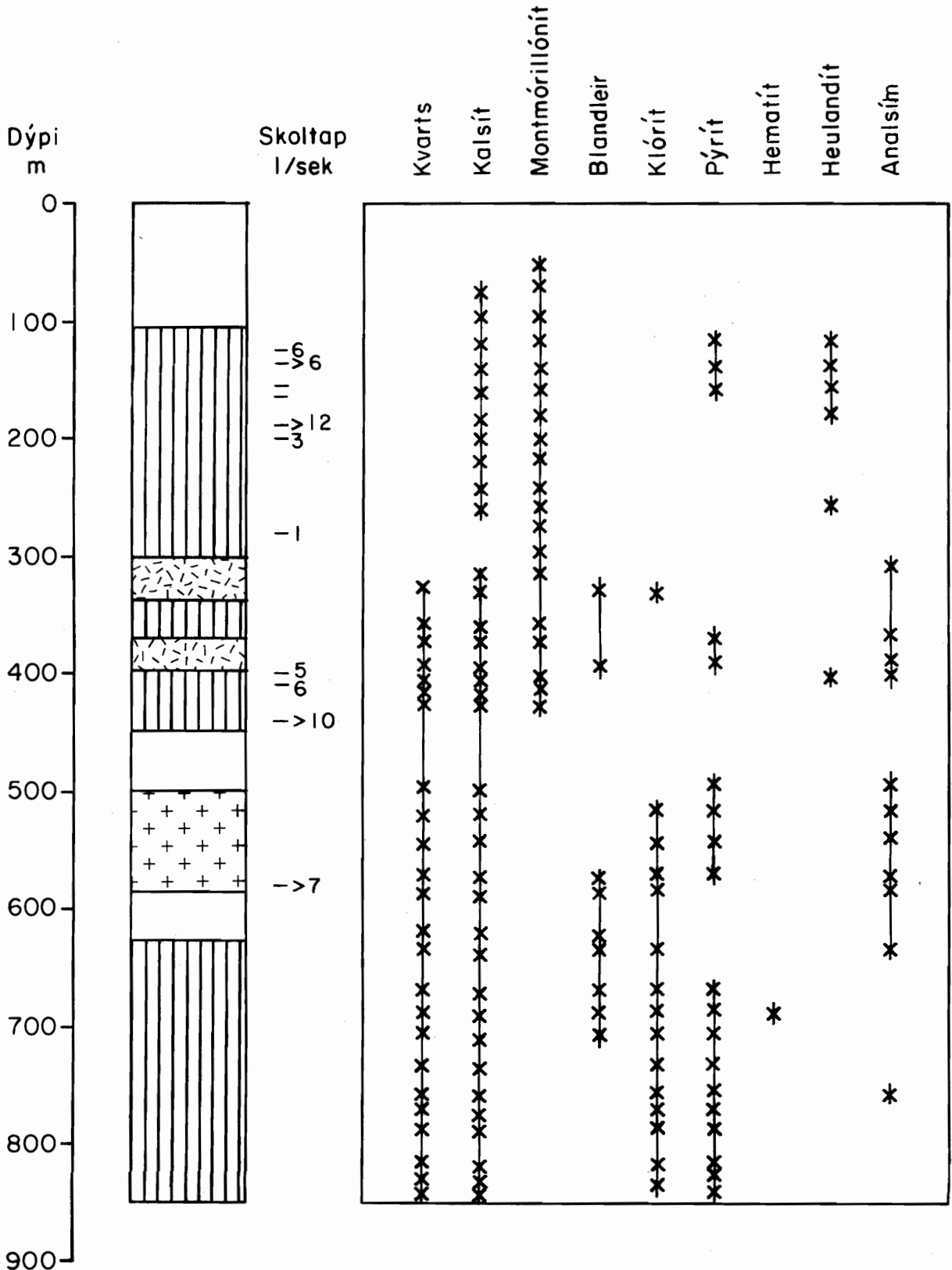
Bólstrabreksía



Vantar svarf



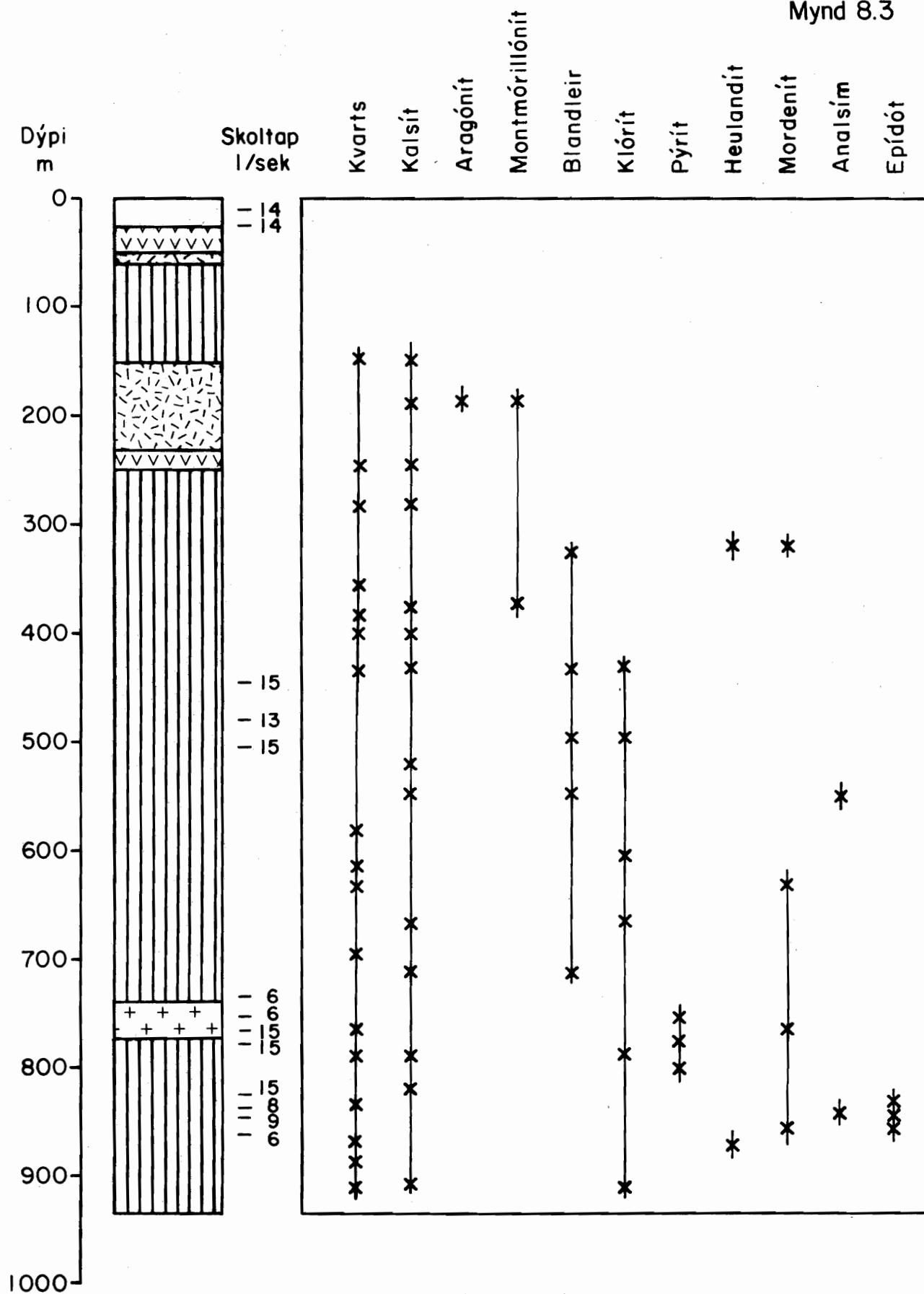
Mynd 8.2







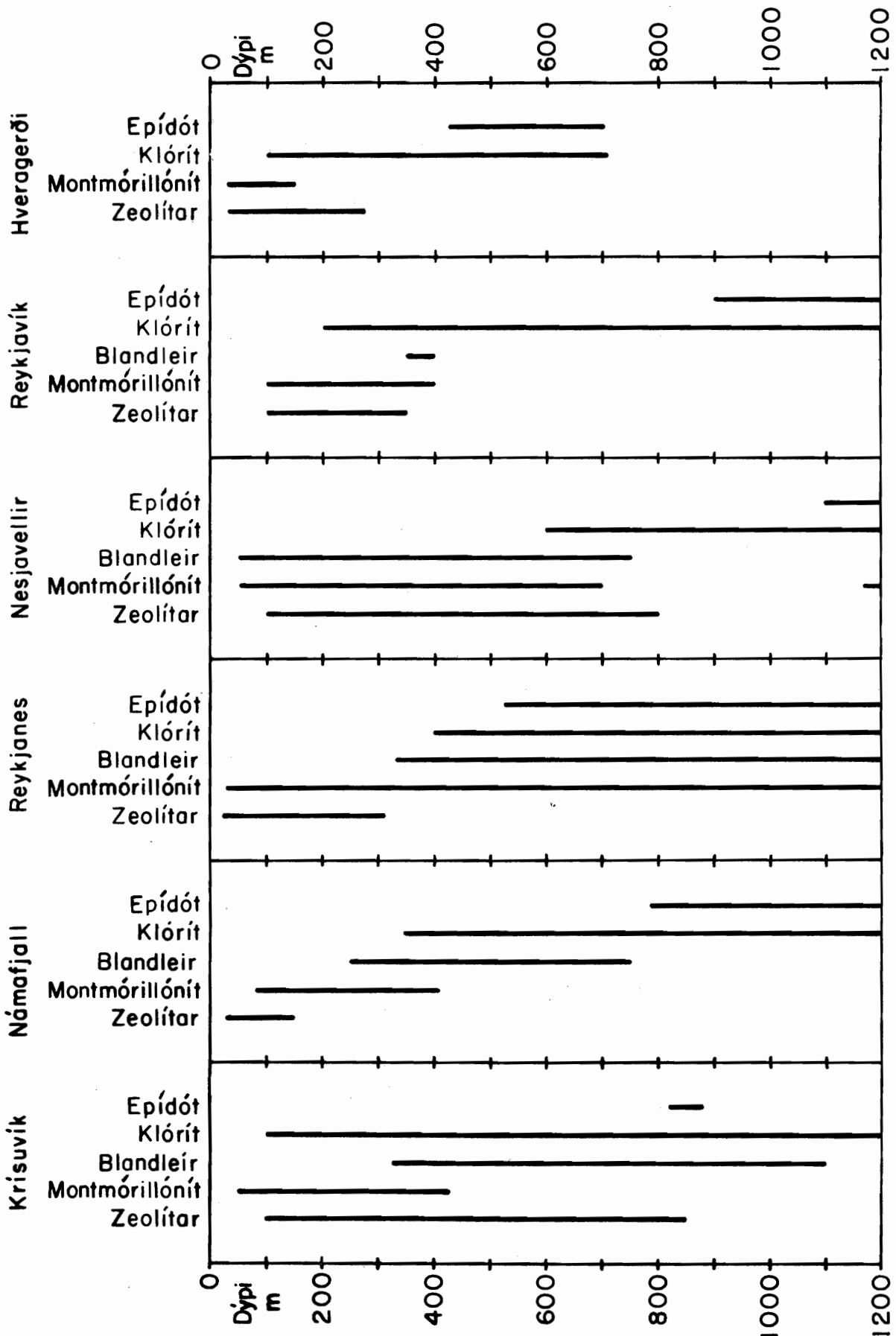
Mynd 8.3





Dreifing ummyndunar steintegunda  
á nokkrum jarðhitasvæðum

Mynd 8.4



## 9. JARÐLAGASNIÐ

### 9.1 Forsendur

Við greiningu jarðlaga var einkum stuðst við þunnsneiðar, en upplíming svarfsins og borhraði haft til hliðsjónar. Eftir magni basaltsglers, móglers, basalts og ummyndunar er bergið greint í basalt og móberg. Móbergið er aftur flokkað í túff, þursaberg og bólstrabreksíu.

Gerðar voru 27 þunnsneiðar af svarfi í H.5 og auk þess 3 af kjörnum, eða að jafnaði með 17 m millibíli. Af svarfi í H.6 voru gerðar 36 þunnsneiðar, auk þess 4 af kjörnum, eða að jafnaði með 17 m millibíli. H.7 er 930 m á dýpt, en svarf er aðeins til niður á 386 m dýpi. Gerðar voru 15 þunnsneiðar af því eða að jafnaði með 22 m millibíli. Af svarfi í H.3 voru gerðar 33 þunnsneiðar eða að jafnaði með 28 m millibíli.

### 9.2 Einstök jarðlagasnið

#### Hola 5

Efstu 128 metrarnir (mynd 9.1) eru móberg, sem skipta má í undirflokka. Efst er lítið ummyndað þursaberg, sem nær niður á 75 m dýpi. Þar fyrir neðan tekur við mjög ummyndað og grænleitt túff niður á 104 m dýpi. Þar undir er þursaberg, mikið ummyndað. Basaltkornin hafa verið blöðrótt, og hafa blöðurnar fyllst af kvasi, kalkspati og leirsteinum. Glerið er mjög ummyndað og kemur ekki fyrir ferskt. Neðstu 10 m móbergsins eru grænt mjög ummyndað túff.

Fyrir neðan móbergið er basalt, og nær það niður á 160 m dýpi. Þetta basalt er víðast mjög ummyndað, og er einkennandi orientering á plagíóklasnálum í mörgum kornanna.

Undir basaltinu er frekar basaltríkt þursaberg, mikið ummyndað, og nær það niður á 172 m dýpi, en þar varð algert

skoltap, og fékkst ekki svarf aftur, fyrr en komið var niður á 348 m dýpi. Auk þess er eyða í borhraðaskýrslu frá 172 m niður á 252 m. Hraðinn á bilinu frá 252 m til 348 m er mjög lítill, svo þar er hart berg, líklega basalt. Á 350 m dýpi er basalt og nær það að öllum líkindum niður að næstu eyðu í svarfið, sem er á 472 m dýpi. Verður breyting á svarfinu á um 370 m dýpi, þar sem brotkornastærðin minnkar mikið og ummyndun vex.

Á bilinu frá 472 m niður á 510 m vantar svarf, og jafnframt frá 522 m niður á 614 m dýpi. Á 12 m bili á milli er basalt.

Fyrir neðan 614 m er basalt, og nær það niður á 690 m dýpi. Það er víðast mikið ummyndað og oft illgreinanlegt.

Þar fyrir neðan tekur við móbergsmýndun og nær hún niður á botn holunnar. Efsti hluti myndunarinnar er auðugur af svörtu gleri (bólstraberg), og nær sá hluti hennar niður á um 776 m dýpi, en þar fyrir neðan er þursaberg niður á botn.

Ekki verður séð, að vatnsæðar fylgi ummyndun, svo sem á bilinu 75-100 m. Ofar í holunni eru aftur á móti vatnsæðar. Virðist því sem hin mikla ummyndun hafi þétt jarðlögin og vatnið fái framrás í minna ummynduðu bergi.

Í skýrslu þeirri um Krísuvíkursvæði, sem út kom í maí 1971, var búist við samkvæmt rafleiðnimælingum, að lagskipti væru við suðurenda Kleifarvatns á um 100 m dýpi milli eldri og yngri móbergsmýndana. Í H.5 eykst ummyndun mikið í túffinu á bilinu frá 75-100 m. Getur verið, að þessi mörk séu þau lagskipti. Ennfremur geta mörkin móberg-basalt á 128 m dýpi verið þau lagskipti, sem búist var við.

#### Hola 6

Efsti hluti holunnar (mynd 9.2) er móberg, og nær það niður á um 104 m dýpi. Þetta móberg er allt greint sem þursaberg. Það er frekar lítið ummyndað, en ummyndunin vex með dýpi. Plagíóklasdílar eru algengir.

Fyrir neðan þursabergið er basalt, sem nær niður á tæplega 300 m dýpi. Þó vantar svarf á 14 m kafla í kringum 200 m. Basaltið er lítið ummyndað, en í efri hluta þess er heulandít

í nokkru magni.

Á bilinu frá 298 m - 332 m er frekar mikið ummyndað móberg, sem hér er greint sem þursaberg. Basaltekorn eru í mjög litlum mæli, en gler kemur ekki fyrir. Með tilliti til ummyndunar mætti ef til vill nefna þetta móberg túff.

Þar undir er basalt, sem á sniðinu nær niður á 366 m dýpi. Það er dálítið ummyndað.

Á næstu 30 m hefur basaltekornum fækkað mjög og ummyndun aukist að sama skapi. Er hér líklegast um þursaberg að ræða.

Á bilinu frá 396 m - 442 m er basalt nokkuð ummyndað. Fyrir neðan basaltið er 56 m eyða í svarfið. Meðalborhraðinn á þessu bili er mjög mikill, um 20 m/klst.

Á 498 m dýpi fæst aftur svarf, og síðan nokkuð slitrótt (1 sýni/stöng = 1 sýni/6,10 m) niður á 586 m, en þar varð algert skoltap. Þennan kafla er mjög erfitt að greina vegna ummyndunar. Allra efsti hlutinn er þó líklega þursaberg. En er neðar kemur, eru ummyndunarsteintegundir orðnar um 90% af berginu. Þó má líklegast greina þursaberg á 575 m dýpi.

Éyðan í svarfið nær niður á 624 m, en þar fyrir neðan er basalt, sem nær niður á botn holunnar í 842 m. Þetta basalt er nokkuð ummyndað, en víða eru heil og óummynduð basaltekorn.

### Hola 7

Hola 7 er rétt austur af suðurenda Djúpavatns. Á yfirborði er hraun, sem komið er úr gígaröð nyrst í Traðarfjöllum. Engin vitneskja er í borskýrslum um þykkt yfirborðshrauna. Svarf fæst fyrst á 40 m dýpi (mynd 9.3), og er það túff, sem nær líklega niður á um 44 m dýpi. Móglerið er lítið ummyndað, en brúnn litur palagóníts er algengur með köntum þess. Túffið gengur yfir í þursaberg, sem nær niður á 76 m dýpi, en þar vantar svarf á um 18 m kafla. Ummyndun þursabergsins er ekki mikil, og er móglerið ferskt utan brúna litar palagónítsins. Basaltekornin eru oft holufyllt með brúnum leir. Fyrir neðan svarfeyðuna er plagíóklasdílótt basalt, sem nær niður á 212 m dýpi. Basaltið er nokkuð ferskt, en ummyndun virðist aukast

með dýpi. Bergið er oft holufyllt með brúnum leir. Af öðrum ummyndunarsteintegundum er lítið, en kalkspats verður fyrst vart á um 100 m dýpi.

Móberg er frá 212 m niður á 386 m er svarfið endar. Það er allt greint sem þursaberg, þó mismikið sé af basaltkornum og svörtu gleri. Ummyndun er ekki mikil, en mismikil. Mest virðist hún vera á um 250 m dýpi. Koma þar fyrir auk leirs nokkuð af zeólítum.

### Hola 8

Efsti hluti holunnar er móberg (mynd 9.4). Túff er frá 25 m til 48 m, en síðan þursaberg niður á um 60 m dýpi. Móbergið er lítið ummyndað.

Fyrir neðan móbergið er basalt niður á tæplega 150 m dýpi. Er það lítið ummyndað efst, en er neðar dregur eykst ummyndun. Neðarlega í basaltsyrpunni er nokkuð af kalsíti og kvarsi.

Á um 150 m dýpi byrjar móbergsmyndun, sem nær niður á um 300 m dýpi. Er þursaberg efst og neðst, en túff í kringum 240 m. Þursabergið er sumsstaðar mjög basaltríkt. Ummyndun er nokkur efst á mörkum basalts og þursabergs, en minni þar fyrir neðan. Túffið er nokkuð ummyndað, og er allt gler palagónítiserað.

Frá um 300 m er basalt alveg niður á botn holunnar í 933 m. Þó er um 30 m kaflí frá 740 - 770 m sem er ógreinanlegur vegna ummyndunar. Efsti hluti basaltsins er fremur lítið ummyndaður, en ummyndun eykst með dýpi. Þó eru nokkrir staðir þar sem basaltið er nærri því ferskt. Basaltið neðan ummyndunar beltisins er meira ummyndað en basaltið fyrir ofan. Stafar það líklega af því, að nær allar vatnsæðar holunnar eru þar. Þess má geta að epidót fannst í þunnsneið á 838 m dýpi.

Í skýrslu um jarðhita á Krísuvíkursvæði (maí 1971) gefa rafleiðnimælingar til kynna lagskipti á 360 m dýpi 2 km suðvestur af Slögu. Í þessari borholu er lagskipti á um 300 m dýpi. Rafleiðniprófíll nær borstaðnum sýnir aftur á móti einungis mörk á 40 - 50 m dýpi.

### Tenging jarðlagasniða

Í kringum 1960 voru boraðar þrjár holur á Krísuvík með Gufubor. Þorsteinn Thorsteinsson gerði jarðlagasnið af þeim.

(Krísuvíkuráætlun 1970-1971, myndir 14-16). Á mynd 9.5 er teiknað snið af holum H.1, H.2, H.3 og H.5. Basaltlinsa efst í H.5 mætti líklega tengja á móti bólstrabergi ofarlega í H.1 og H.2. Móbergið neðst í H.5 er aftur á móti tengt á móti móbergslinsu á 900-1000 m dýpi í H.1 og H.2. Þessi linsa virðist því þykkna í átt að Kleifarvatni.

Jafnframt hefur verið teiknað snið af holum H.2, H.8 og H.7 (mynd 9.6). Það ber þó að hafa í huga að basaltið sem teiknað er á yfirborði milli H.7 og H.8 hefur óvissa þykkt.

### 9.3 Borhraði í mismunandi myndunum

Reiknaður hefur verið út meðalborhraði hinna ýmsu myndana í borholum á Krísuvíkursvæði (myndi 9.7 og 9.8). Eins og búast mátti við, er hraðinn mestur í túffi en minnstur í basalti.

Tafla 8.1 Meðalborhraði í mismunandi bergmyndunum  
(eining mín/m)

	<u>H.1</u>	<u>H.2</u>	<u>H.3</u>	<u>H.5</u>	<u>H.6</u>	<u>H.7</u>	<u>H.8</u>
túff				6.3		6.0	4.7
pursaberg	6.4	8.0	2.9	11.4	3.6	4.8	12.6
bólstraberg	3.1			14.4			
basalt	12.1	8.0		17.0	13.4	26.2	21.8
Ógreinanlegt vegna ummynd- unar					3.5		23.7

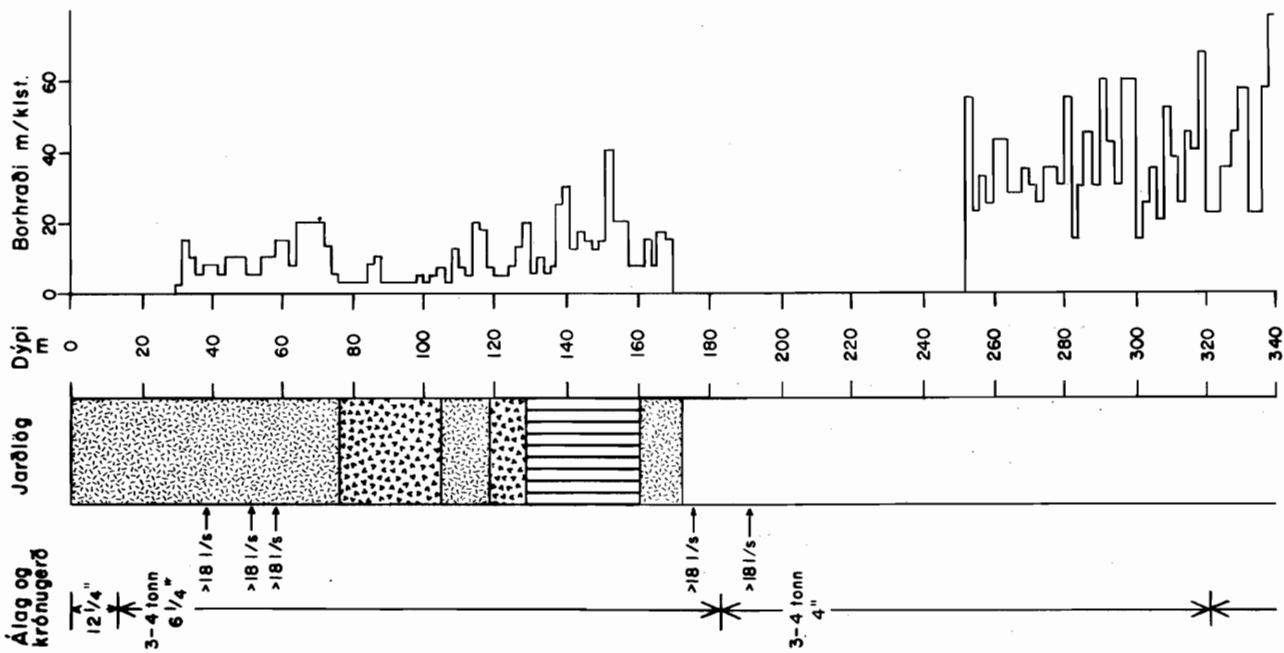
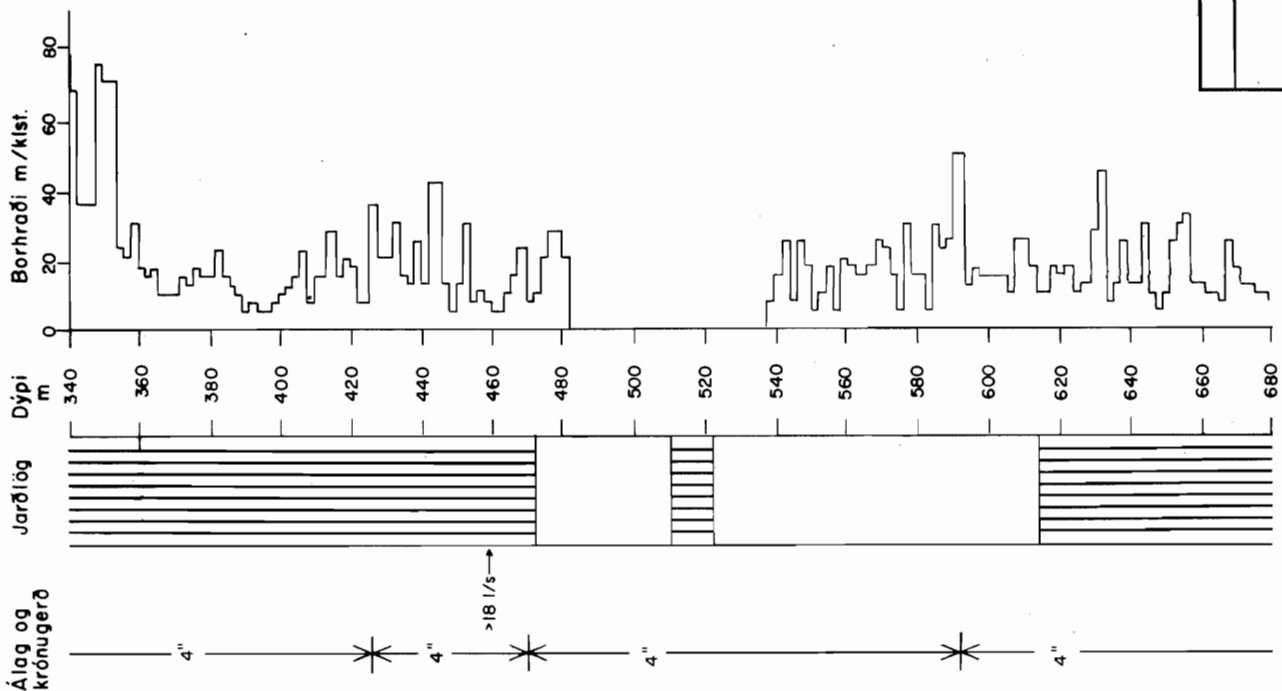
Jafnframt hefur verið reiknaður út meðalborhraði á því svæði sem svarftap er í H.5, eftir því sem borskýrslur ná.

Borhraði í H.1 - H.3 er ekki sambærilegur við borhraða í H.5 - H.8, vegna þess að H.1 - H.3 eru boraðar með Gufubor, en H.5 - H.8 með Wabcobor.





Mynd 9.1



ORKUSTOFNUN

Krisuvíkursvæði

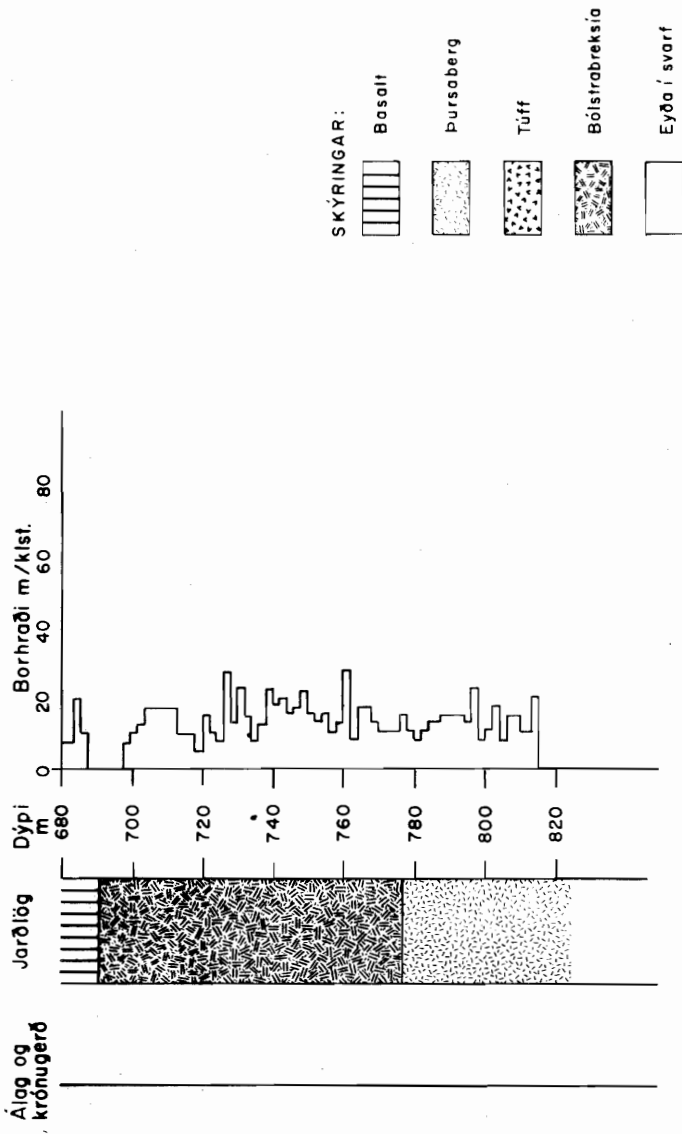
Jarðlagasnið hola 5

26.9.75 EG/IS Tr. 248

Bl. 2 Laif 2 J-Krisuvík

Fnr. 13387

Mynd 9.1a.



ORKUSTOFNUN

Krisuvíkursvæði

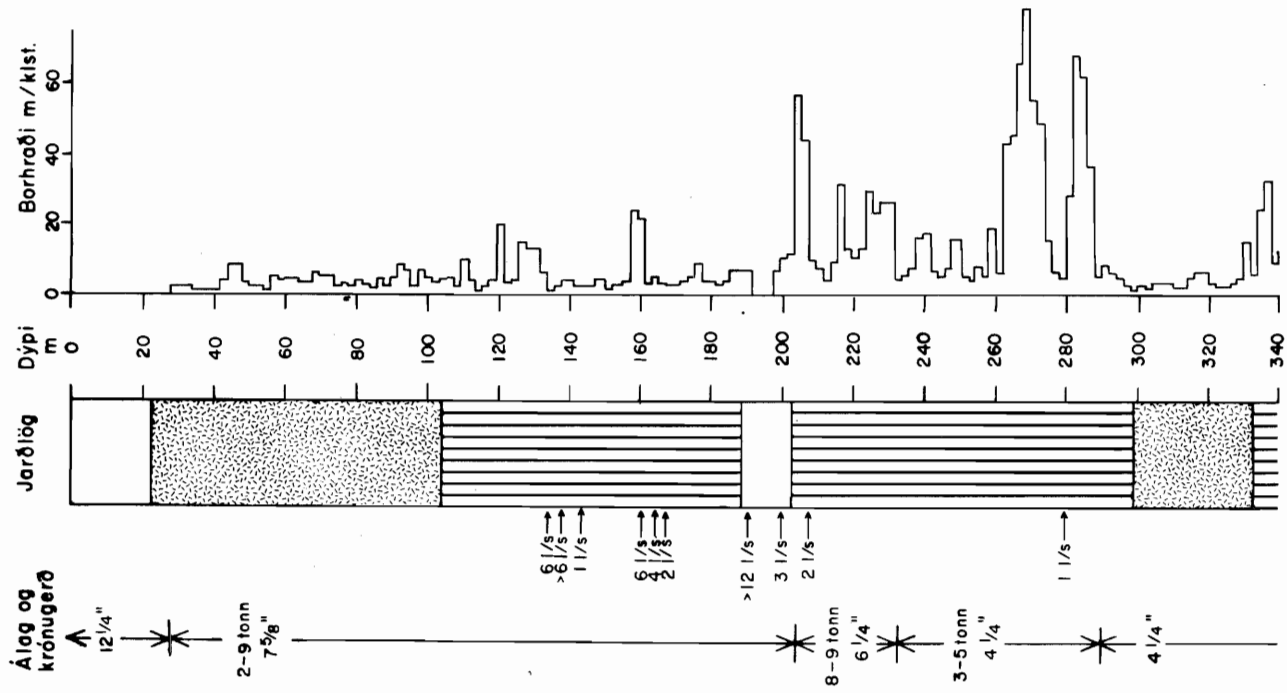
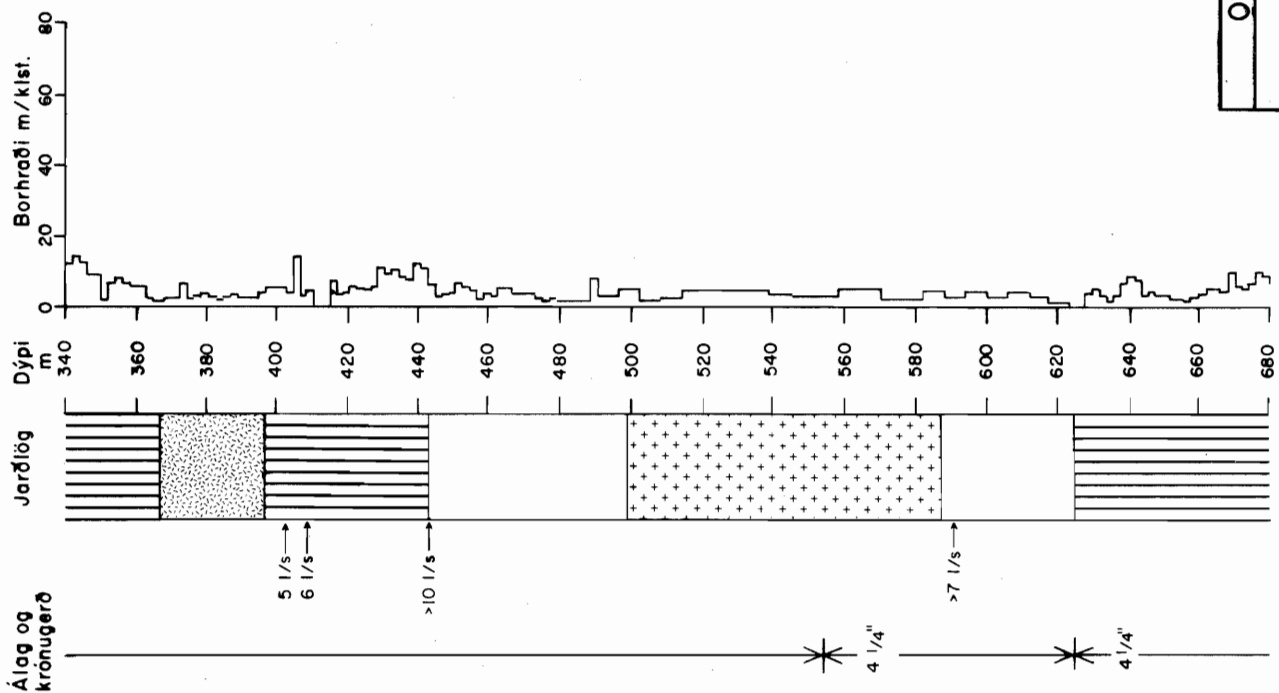
Jarðlagasnið hola 5

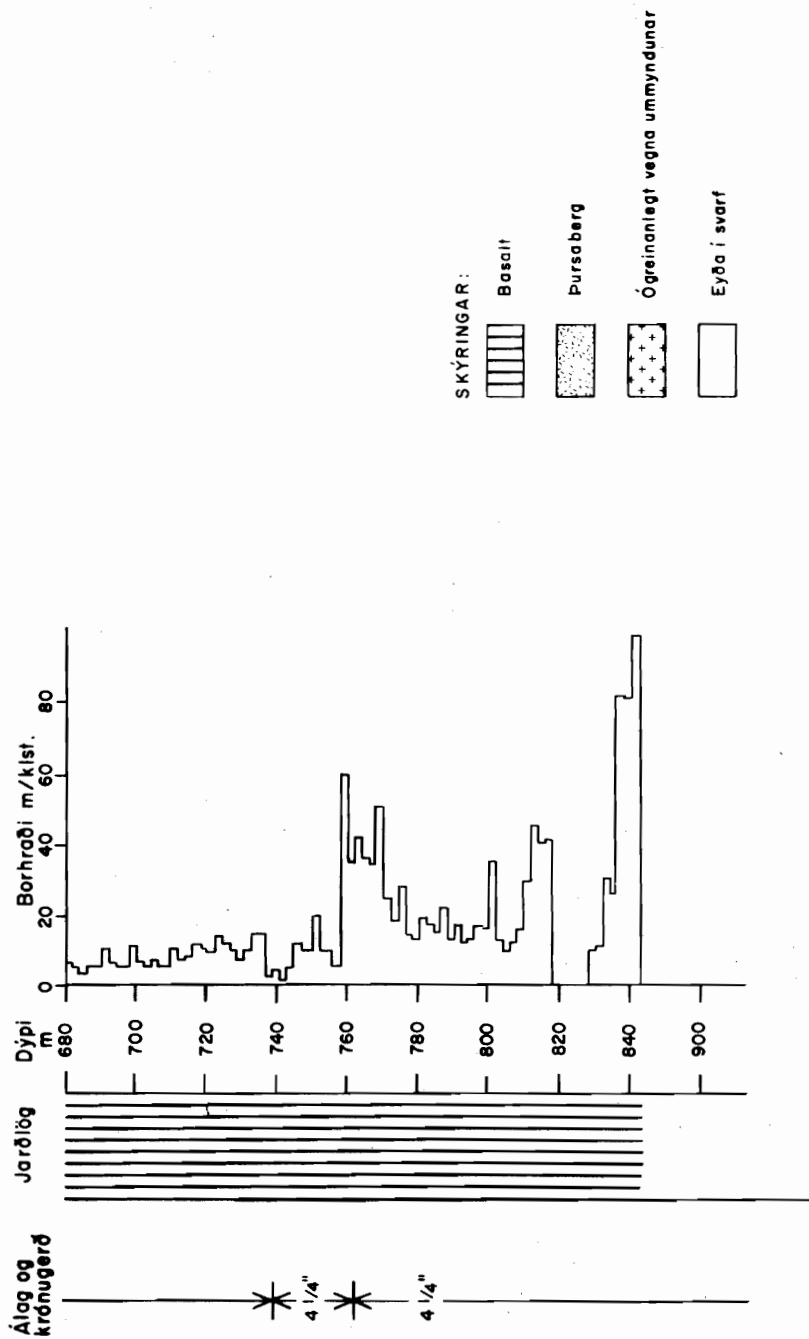
26.9.75 EG/IS Tr. 248

Bl. 2 af 2 J-Krisuvík

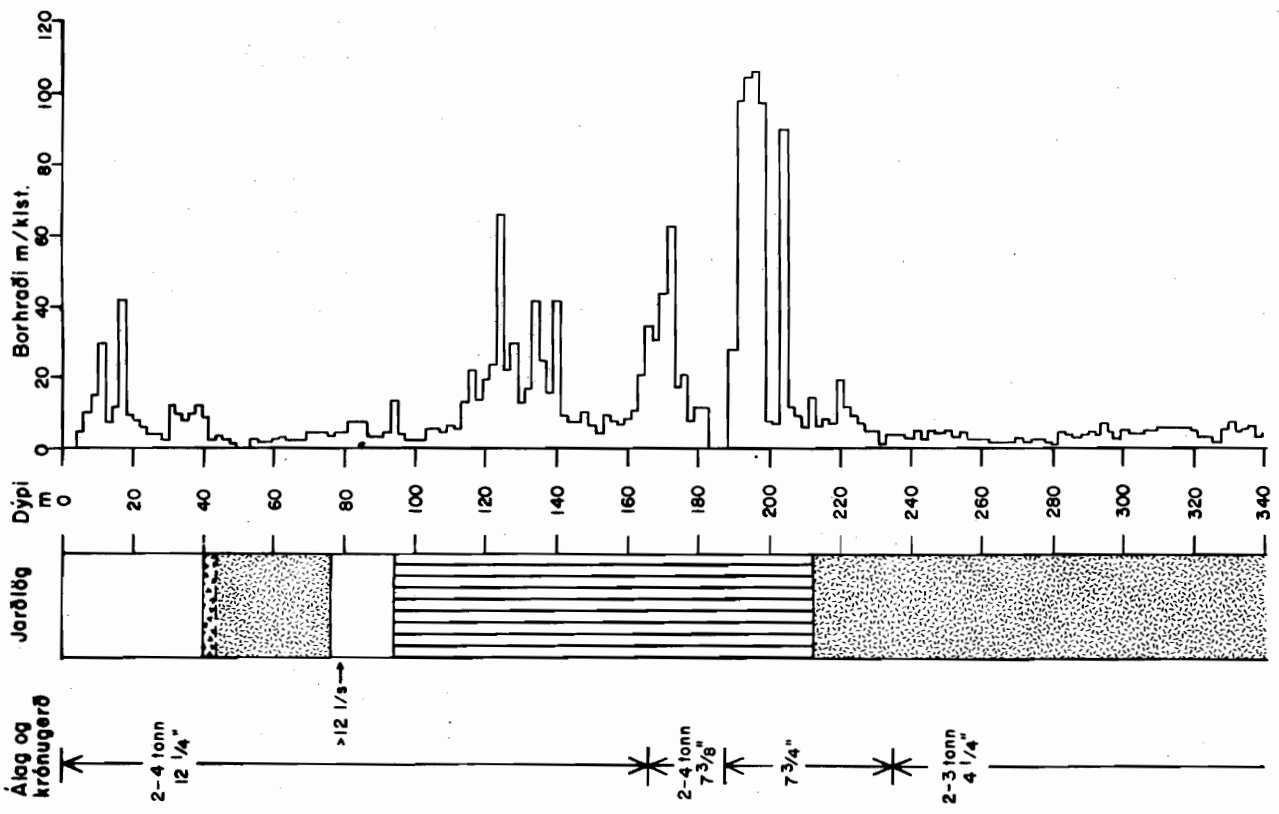
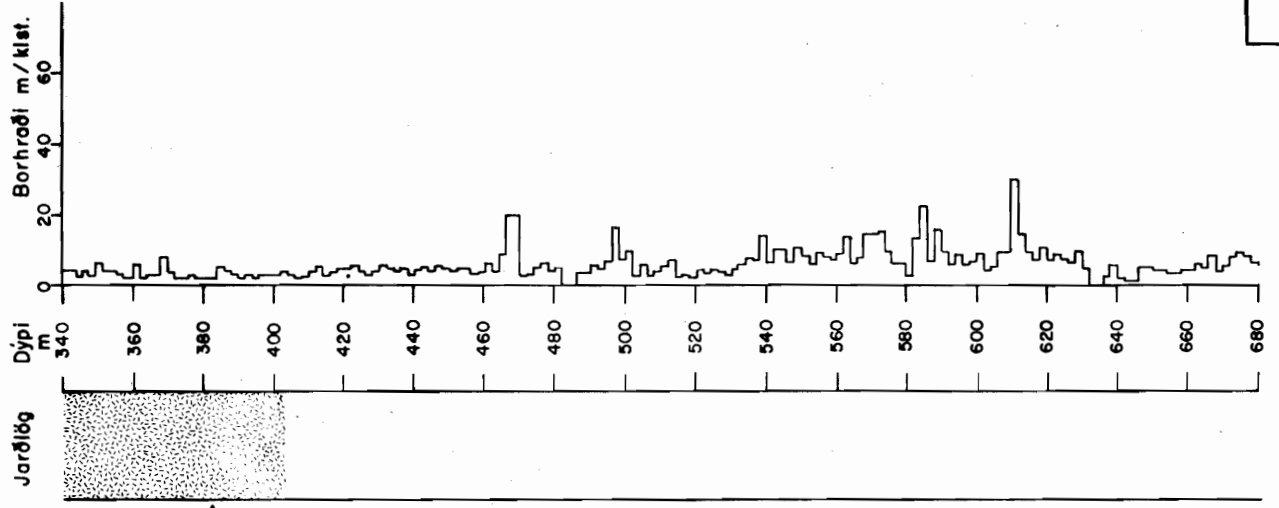
Fnr. 13387

Mynd 9.2

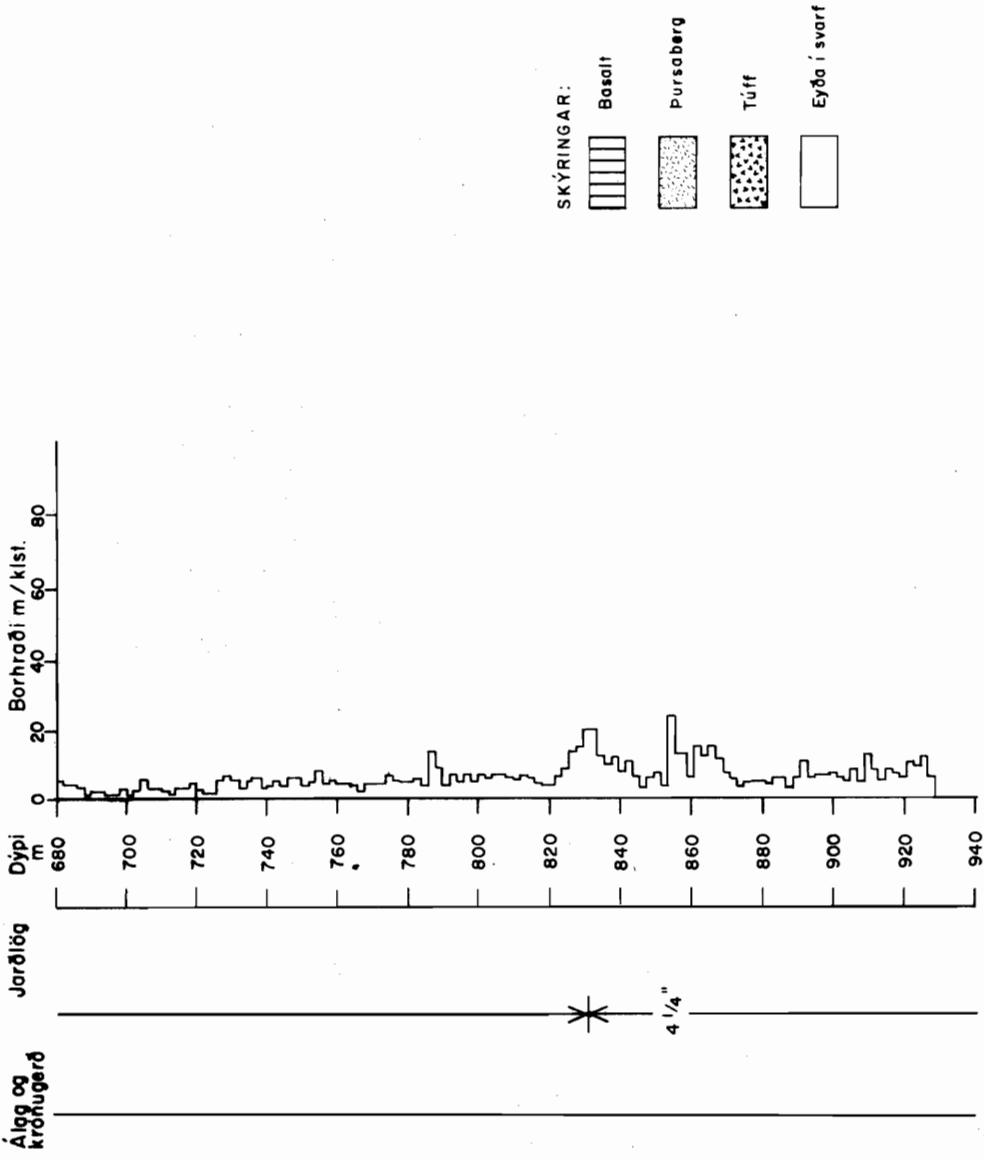




Mynd 9.3 . . . e



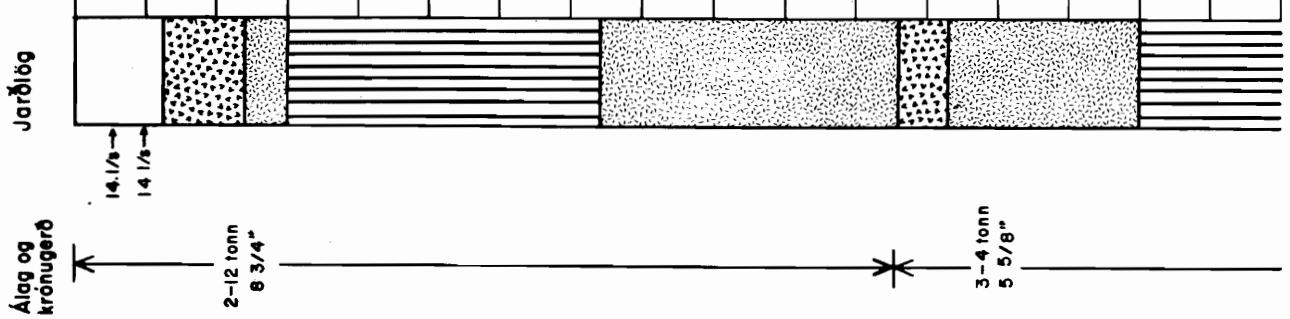
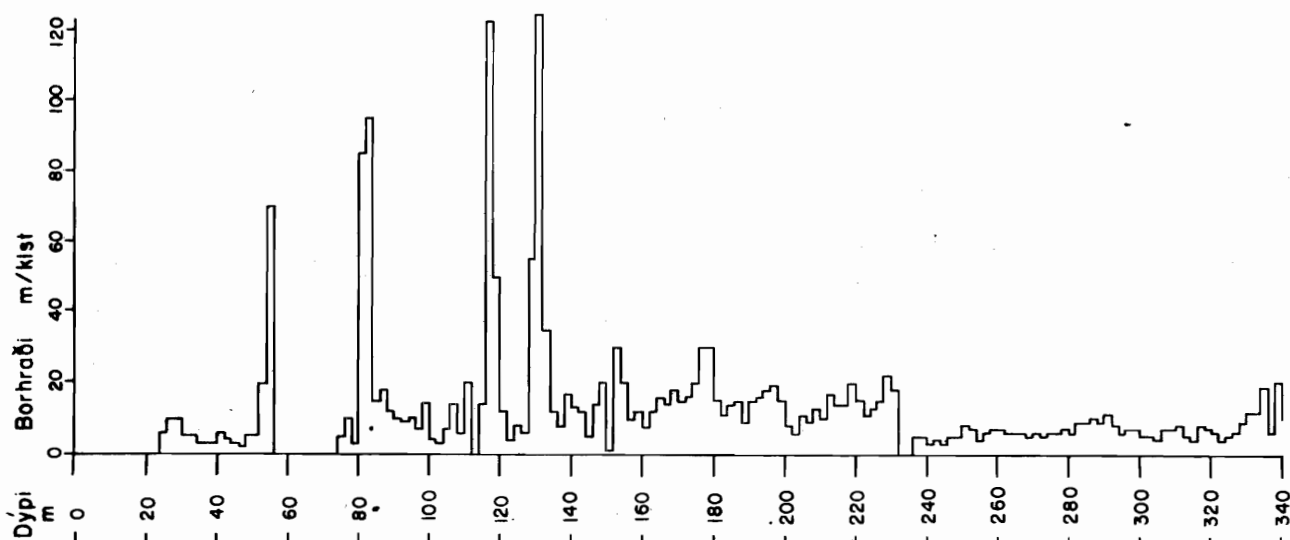
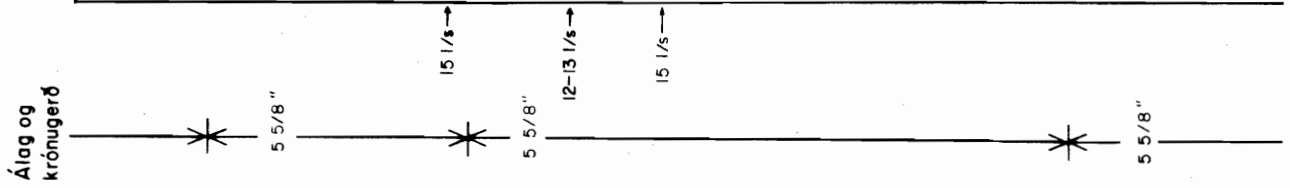
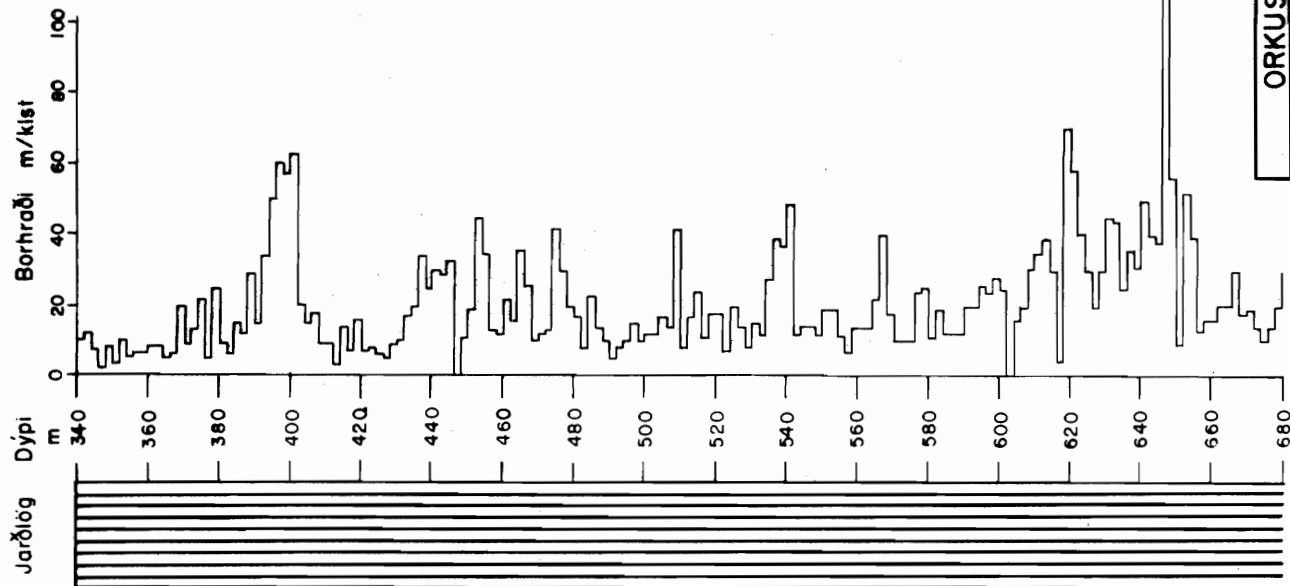
Mynd 9.3e



ORKUSTOFNUN

Krisuvíkursvæði  
Jarðlagasnið hola 7  
269.75EG/IS | Tr. 250  
Bl. 2 of 2 | J. Kristvík | Fnr. 13389

Mynd 9.4

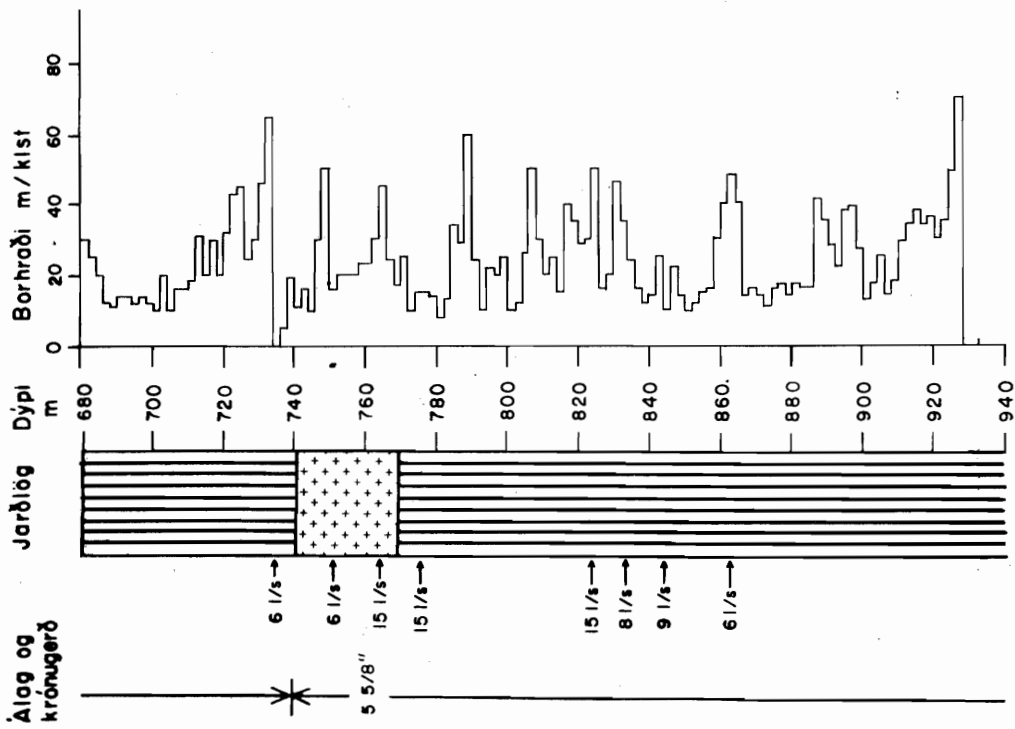


ORKUSTOFNUN

Krisuvíkursvæði  
Jarðlagasnið hola 8

269/75 EG/IS Tr. 251  
Bl. 1 af 2 J-Krisuvík

Fnr. 13390



SKÝRINGAR:

- Basalt
- Porsoberg
- Ógreinilegt vegna ummyndunar
- Tuff
- Eyða

Mynd 9.4a

ORKUSTOFNUN

Krisuvíkursvæði  
Jarðlagasnið hola 8

25.9.75 EG/IS Tnr. 251  
Blad 2 af 2 J-Krisvík

Fnr. 13390





# KRÍSUVIKURSVÆÐI

Snið af holum H-1, H-2, H-3 og H-5

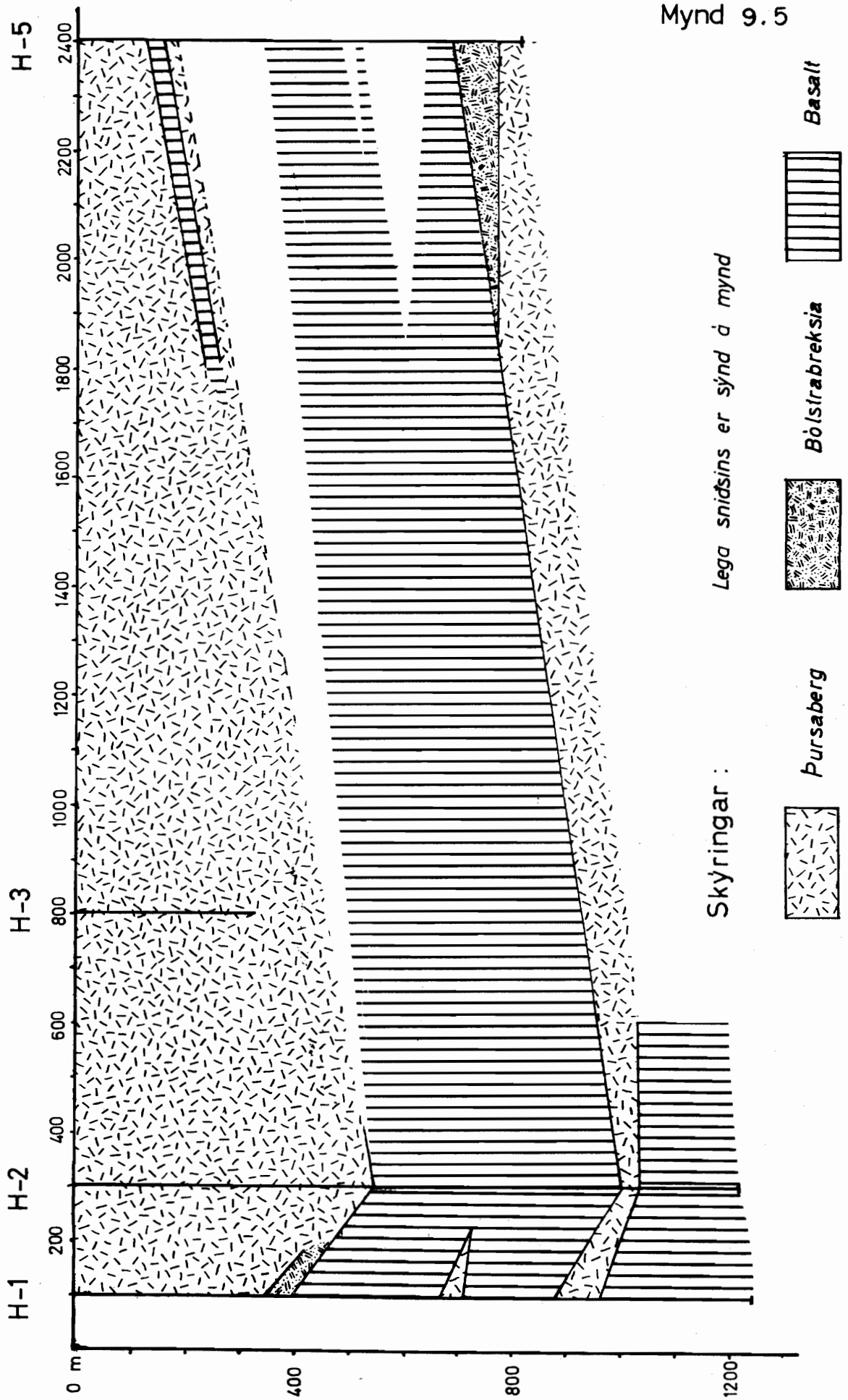
26.9.75 EG/

Tnr. 244

J-Krísuvík

Fnr. 13383

Mynd 9.5



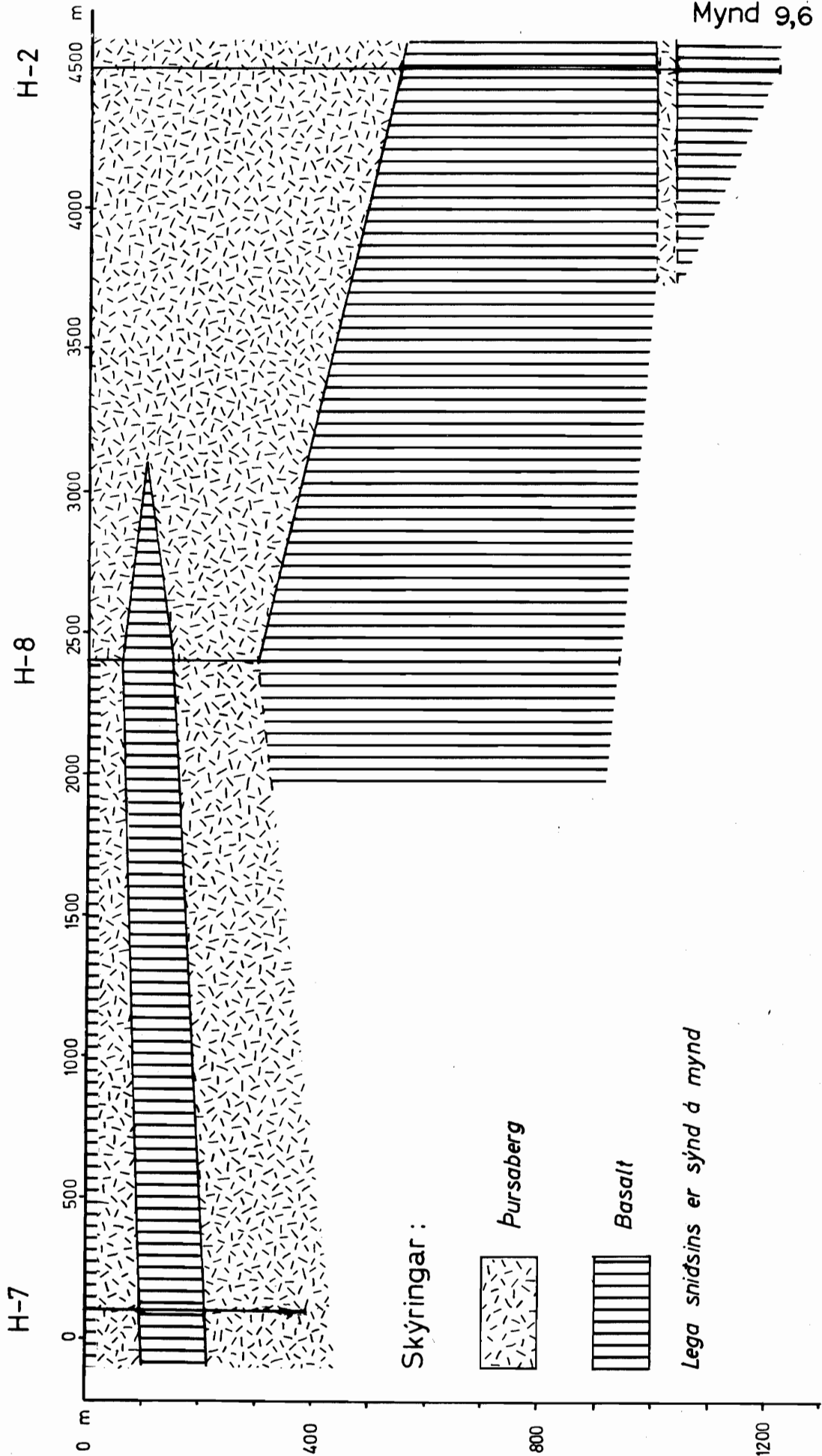
Skýringar : Lega snidsins er sýnd á mynd

-  Porsaberg
-  Bólstrabreksia
-  Basalt
-  Lega snidsins er sýnd á mynd

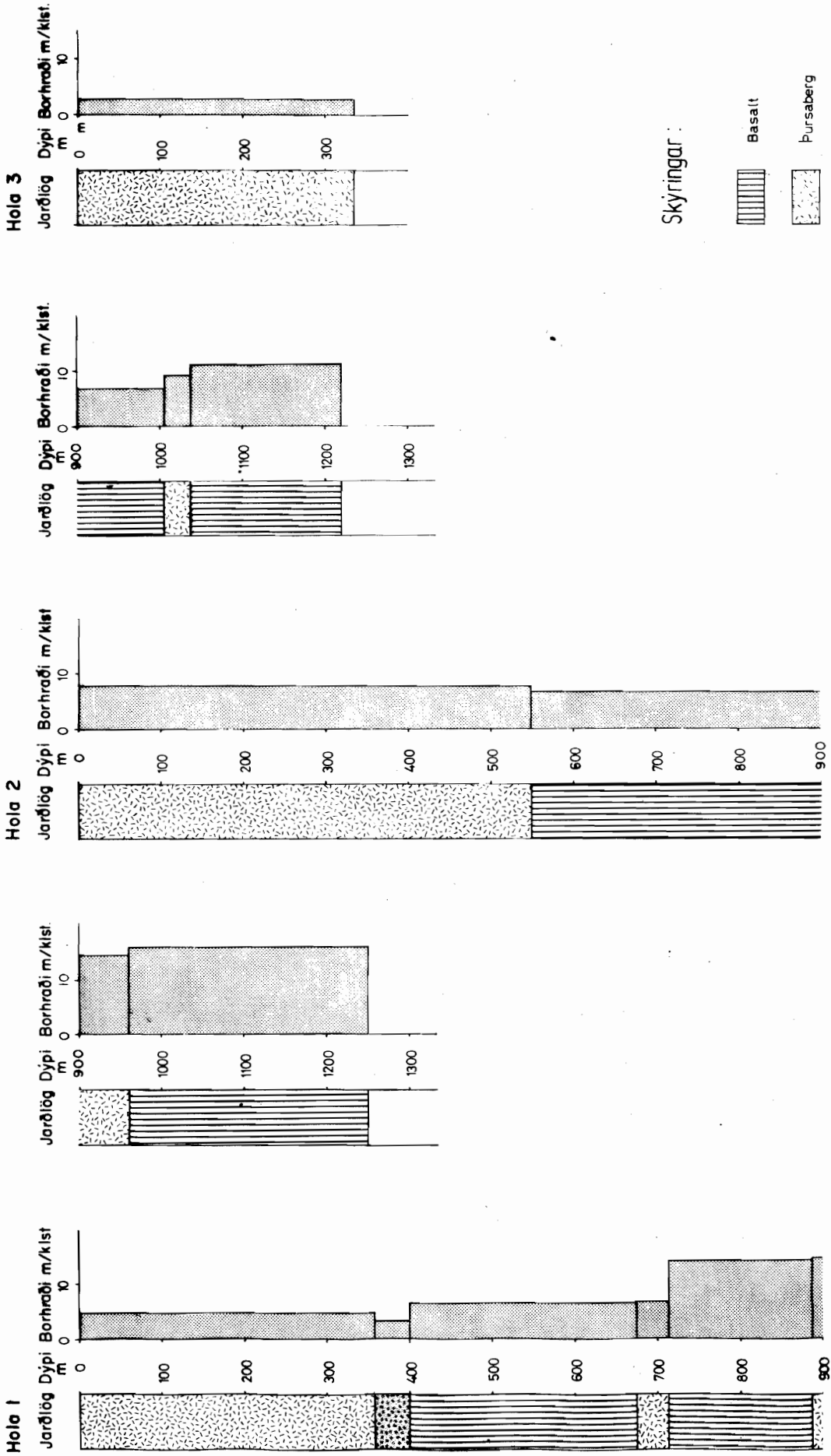


KRÍSUVÍKURSVÆÐI

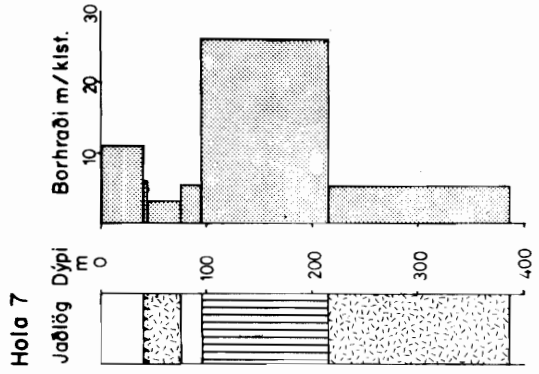
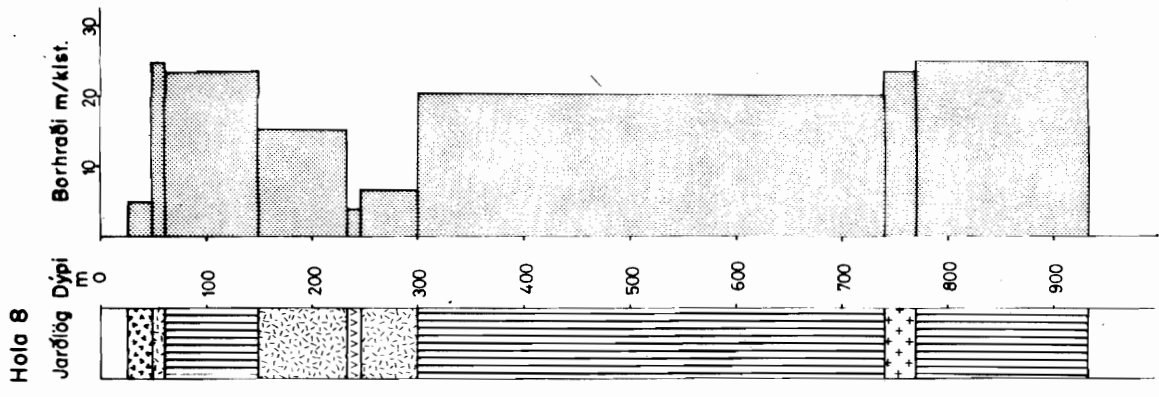
*Sníð af holum H-2, H-8 og H-7.*



Mynd 9.7

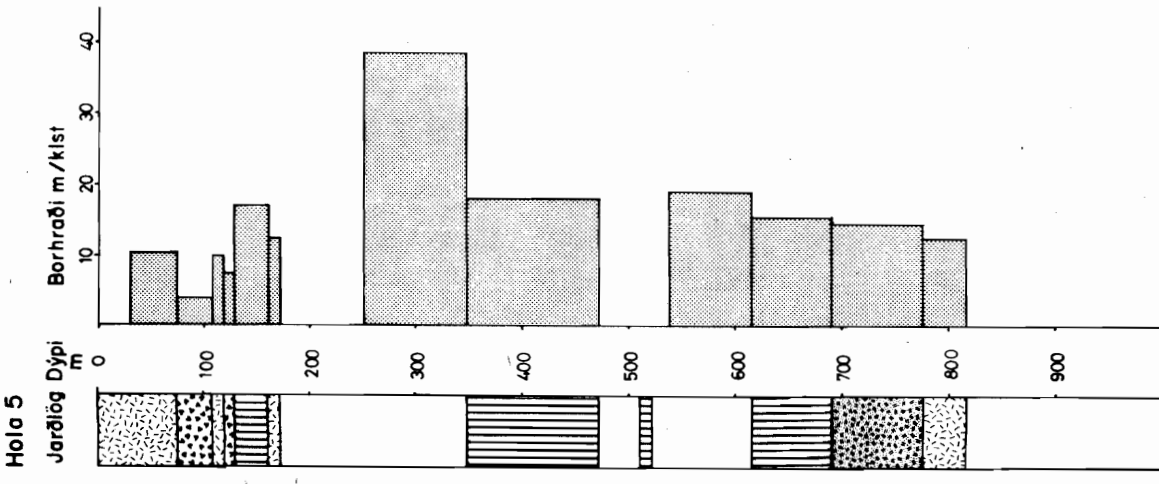
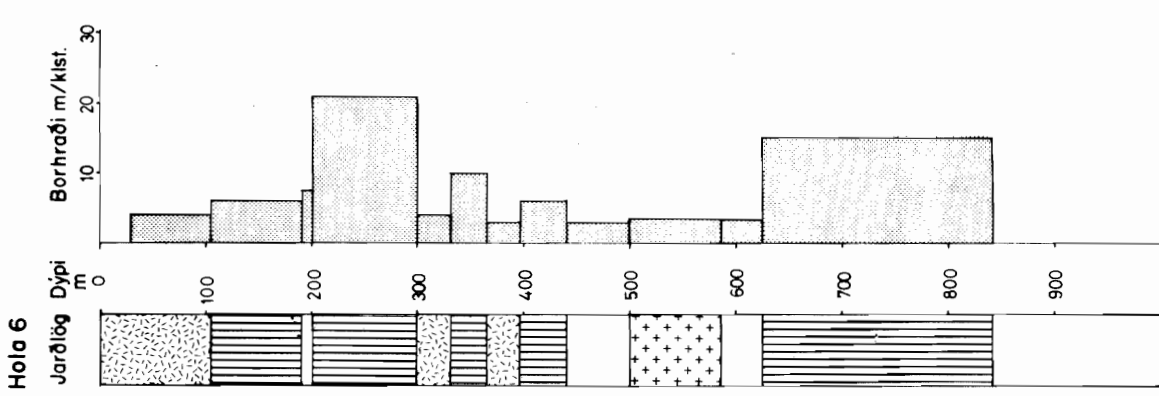


Mynd 9.8



Skýringar:

- Basalt
- bursaberg
- Túff
- Bolstrabreksia
- Ógreinanlegt vegna ummyndunar
- Eyða i svart



## 10. HITAFERLAR OG RENNSLISLÍKÖN AF JARÐHITASVÆÐINU

Allar þær borholur á Krísuvíkursvæðinu, sem eru dýpri en 800 metrar fara í gegnum hæsta hita í berggrunni, en þær eru 5 talsins (mynd 10.1). Af þessum 5 holum voru 3 boraðar fyrir það rannsóknarverk, sem skýrsla þessi fjallar um, en fyrir voru á svæðinu 2 holur í Seltúni um 1200 metra djúpar og voru þær boraðar af Gufubor árið 1960. Djúpu holurnar 5 eru dreifðar yfir verulegan hluta jarðhitasvæðisins og fer því varla á milli mála, að hinir viðsnúnu hitaferlar eru ekki staðbundið fyrirbæri, heldur öllu fremur einkenni þessa svæðis.

Dýpið niður á hæsta hita í hverri borholu er nokkuð breytilegt, en svo virðist sem samband sé á milli þessa dýpis og hita hámarksins. Þannig hefur mælst hæstur hiti á um 500 metra dýpi í H.6 við Trölladyngju, eða  $262^{\circ}\text{C}$  sem jafnframt er hæsti mældi hiti á svæðinu, en  $181^{\circ}\text{C}$ , á nálægt 200 metra dýpi í H.5 við Kleifarvatn, sem er kaldasta djúpa holan (sjá mynd 10.1).

Niður á um það bil 200 metra dýpi í H.7 (við Djúpavatn) og H.8 (við Ketil) er lag af fersku vatni, tiltölulega mjög köldu, sem "flýtur" ofan á heitu og tiltölulega söltu vatni jarðhitakerfisins. Enginn jarðhiti finnst á yfirborði nálægt þessum holum. Á mörkum ferska vatnsins og jarðhitavatnsins er hitastigull gífurlega hár eða allt að  $90^{\circ}\text{C}$  fyrir hverja 100 metra. Þessi lagskipting og hái hitastigull eru túlkuð á þann hátt, að lóðrétt streymi á heitu vatni er hverfandi á þessum hluta svæðisins.

Það er áberandi hversu hiti í öllum djúpu holunum neðan hámarksins er jafn. Þannig er hitinn frá 650 m dýpi í H.6 og niður í botn (rúmir 900 metrar) um  $218^{\circ}\text{C}$ , en um  $150^{\circ}\text{C}$  neðan um 350 m dýpis í H.5 við Kleifarvatn. Jafn hiti á mismunandi dýpi, það er lágur hitastigull, hefur jafnan verið túlkaður með lóðréttu streymi heits vatns. Er eðlilegt, að hafa þetta einkenni hitaferlanna í huga við túlkun á viðsnúningi þeirra

og mótun á líkani af svæðinu.

Eftir borun H.5 og H.6 og uppgötvun viðsnúinna hitaferla í þeim þróuðust aðallega tvær hugmyndir um vatnskerfi svæðisins til skýringar þessu hitaástandi og mótunar á frekari rannsóknum. Önnur hugmyndin var sú, að aðskilin uppstreymissvæði eða uppstreymistappar væru til staðar og hefði engin borhola til þessa hitt niður í slíkan tappa. Var gert ráð fyrir því, að útstreymi til hliðanna frá efsta hluta tappans leiddi til myndunar á svepplaga massa af heitu vatni og bergi. Hefðu allar holur til þessa lent í gegnum þennan massa. Hin skýringin var sú, að eitt uppstreymi væri undir svæðinu miðju og skástreymi frá því til yfirborðs í allar áttir, meira eða minna. Þessi skýring byggði að nokkru leyti á hugmynd um megineldstöð og keiluganga, þar sem stórt innskot er undir miðju eldstöðvarinnar, en keilugangar liggja á ská til yfirborðs í allar áttir frá efsta hluta innskotsins. Þessi hugmynd skýrði hina viðsnúnu hitaferla og legu jarðhitans á yfirborði, svo og hina hringlaga viðnámslægð. Sem kunnugt er, er yfirborðsjarðhiti mestur austast og vestast á svæðinu tiltölulega nálægt útkanti viðnámslægðarinnar. Samkvæmt "keilugangahugmyndinni" hefði ekki átt að borast í gegnum hámarkshita í 1000 metra djúpum borholum á svæðinu milli Sveifluháls og Vesturháls. En þegar það sýndi sig, að hámarkshiti var á um 400 metra dýpi í H.8, sem er vestan undir Sveifluhálsi, var "keilugangahugmyndinni" kastað fyrir róða.

Túlkun á efnainnihaldi heita vatnsins á mismunandi dýpi í rannsóknarborholunum, ummyndun og háu viðnámi á nokkurra kílómetra dýpi samkvæmt MT - og tvíþólmælingum, leiddi til þróunar á nýrri hugmynd eða módeli, sem gæti skýrt hina viðsnúnu hitaferla. Þessi hugmynd gerir ráð fyrir því, að umrætt jarðhitakerfi sé á því þróunarstigi, að það sé gamalt og fari nú kólnandi, vegna deyjandi hitagjafa undir því, án þess þó að vatnsrennsli hafi minnkað mikið inn í kerfið neðan frá. Hið háa viðnám á nokkurra kílómetra dýpi styður þessa hugmynd, en viðnámið er hliðstætt því, sem mælist á svipuðu dýpi á tertíeru svæðunum og miklu herra en á þeim háhitasvæðum og öðrum stöðum í gosbeltinu, þar sem mælingar hafa farið fram. Sömuleiðis passar ummyndun betur fyrir þessa skýringu en

aðskilín uppstreymissvæði, þar sem hún samræmist ekki núverandi hitaástandi í berggrunni, heldur yfirleitt hærri hita að því er virðist. Efnainnihald vatnsins skýrist jafnvel með báðum módelunum.

Til þess að fá úr því skorið, hvort Krísuvíkursvæðið ein-kennist fremur af aðskildum uppstreymissvæðum, sem þá eru væntanlega afmörkuð af lægstu viðnámsgildunum (sjá mynd 5.2), eða kólnun ofan frá sem neðan frá, er talið nauðsynlegt að bora niður á um 2000 metra dýpi og þá væntanlega niður í annaðhvort lágviðnámsgildum. Verði borað í gegnum hitann verður að teljast líklegra, að aðskilín uppstreymissvæði skýri ekki hina viðsnúnu hitaferla. Fari hiti hins vegar vaxandi niður eftir holunni verður þessi skýring að teljast viðunandi og mundu frekari rannsóknir þá beinast að því að afmarka vinnslusvæði og segja fyrir um eiginleika þeirra. Einnig má gera ráð fyrir því, að það borist í gegnum hitann en hitastigull verði mjög hár nokkra neðan hitahámarksins og virðist þá einnig eðlilegt að hallast að skýringunni um aðskilín uppstreymissvæði. Hins vegar verður þá meiri vandi á höndum um afmörkun vinnslusvæða, þar sem stærðin getur verið mjög háð dýpi vinnsluhola.

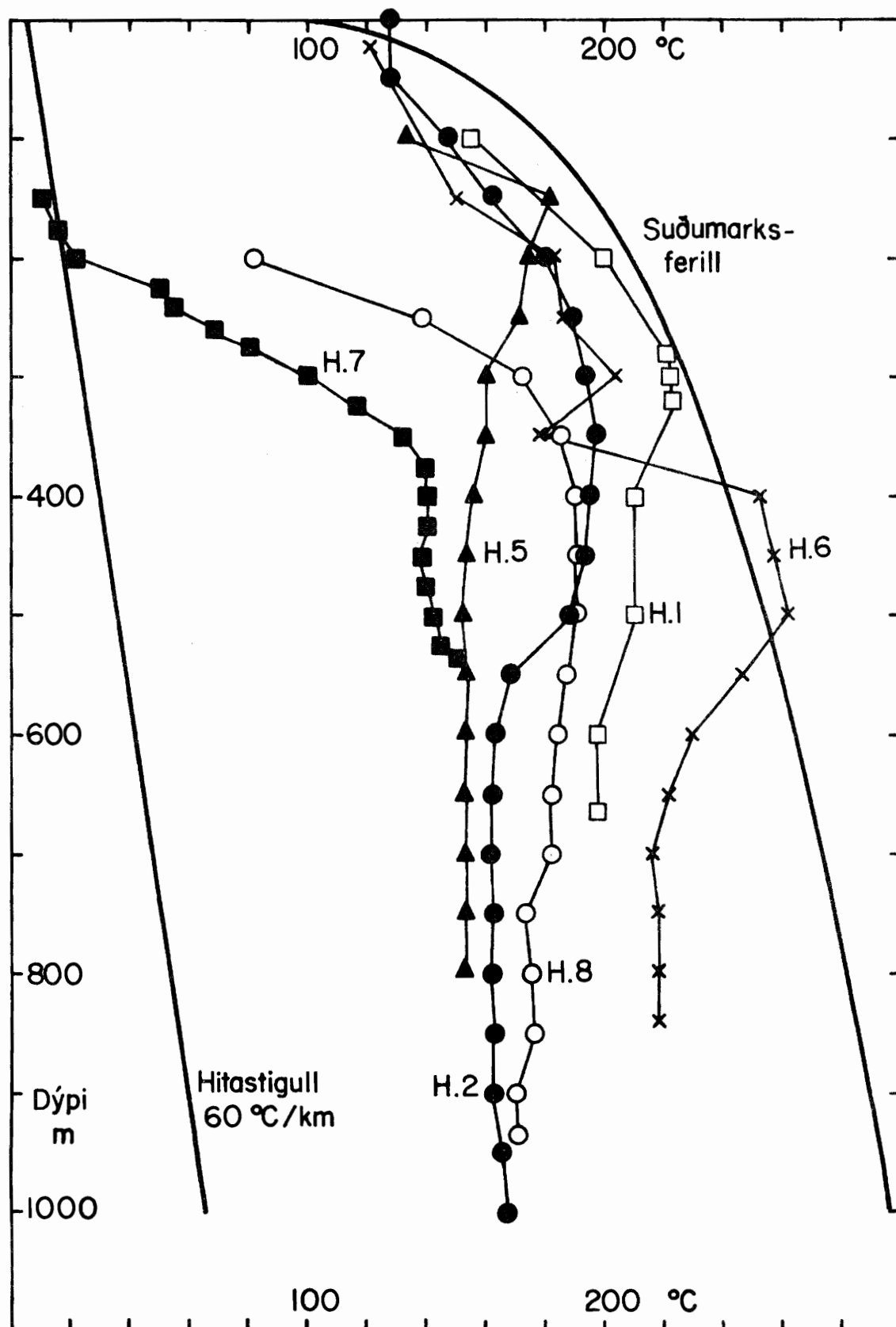






Hiti í djúpum borholum á  
Krísuvíkursvæði

Mynd 10.1



## 11. VATNSÆÐAR

Allar rannsóknarholurnar 4, sem boraðar voru, lentu í mörgum og tiltölulega stórum vatnsæðum, eftir því sem dæma má um út frá skoltapi í borun. Reynslan hefur sýnt, að sæmilegt samband er á milli skoltaps í holum á háhitasvæðum og afls þeirra. Má því gera ráð fyrir, að vinnsluholur, sem yrðu staðsettar við hverja hinna fjögurra rannsóknarhola, yrðu fremur vatnsgæfar.

Holurnar 3, sem boraðar voru með Gufubor í Seltúni um 1960, lentu ekki í verulegum vatnsæðum. Þannig voru skoltöp óveruleg, eða vart yfir 10 lítra á sekúndu, í holum 1 og 2, en þær urðu um 1200 metra djúpar, en hins vegar yfir 30 lítrar á sekúndu í botni holu 3, en sú hola varð aðeins rúmlega 300 metra djúp.

Af kostnaðar- og tækniástæðum er ósæskilegt að borhola lendi í vatnsæðum á því dýpi, sem steipt fóðring nær niður á. Til þess að unnt sé að steypa fóðringuna á fullnægjandi hátt, er nauðsynlegt að þetta allar æðar með steypingu niður á það dýpi, sem fóðringin á að ná til. Það er fyrst og fremst komið undir gerð jarðlaga og þó einkum hita svæðisins, hversu djúpt þarf að láta steipta fóðringu ná. Venjulega er miðað við, að bergþrýstingur sé nokkru hærri við neðri enda fóðringar en hæsti gufuprýstingur. Þá er ekki hætta á því, að vatn og gufa geti brotist úr holunni neðan fóðurrörsenda og síðan til yfirborðs. Miðað við 250°C hita er æskilegt að láta steipta fóðringu ná niður á um 300 metra dýpi, en fyrir 200°C hita nægir 200 metra fóðringardýpi.

Verulegt skoltap var í öllum holunum ofan 200 metra (sjá myndir 9.1 til 9.4) og meira en almennt virðist fyrir holur á háhitasvæðum. Þarf að taka tillit til þessara eiginleika Krísuvíkursvæðisins við áætlun um borun vinnsluhola.

Neðan 200 metra fannst aðeins skoltap á einum stað í H.5 við Kleifarvatn, eða á 460 metra dýpi og var það yfir 18 lítrar á sekúndu. Í H.7 við Djúpavatn var einnig skráð

skoltap á einum stað, á 370 metra dýpi og var það yfir 11 lítrar á sekúndu. Tapaðist allt skolvatn út í þessa æð, þannig að ekkert er vitað um æðar á meiru dýpi.

Í H.6 við Trölladyngju og H.8 vestan undir Sveifluhálsi komu fram skoltöp víða eða á fjórum stöðum í H.6 á dýptarbilinu 400-600 metrar og nam það samtals yfir 28 lítrum á sekúndu. Í H.8 komu fram samtals 11 skoltöp á dýptarbilinu 440-860 metrar og nam það samtals 120 lítrum á sekúndu.

Núverandi gögn eru ekki nægileg til þess að segja nokkuð um það með vissu, hvort tiltölulega færri vatnsæðar í H.5 og fáar og smáar vatnsæðar í H.1 og H.2 í Seltúni gefi vísbendingu um, að þessi austasti hluti Krísvíkursvæðisins sé ekki eins vatnsgæfur og svæðið fyrir vestan Sveifluháls. Hins vegar verður að telja niðurstöðu af borun H.6 við Trölladyngju jákvæða. Dreifing og stærð vatnsæða á meira dýpi getur verið allt önnur en núverandi rannsóknarholur ná niður á, þó tæplega á þann veg, að þær fari minnkandi, ef miða má við reynslu af borunum í önnur háhitasvæði.

Gerðar voru mælingar á poruhluta úr kjörnum teknum af mismunandi dýpi úr H.5, H.6 og H.8. Poruhlutinn gefur til kynna lágmarksvatnsforða í rúmmálseiningu af bergi, þar sem rúmmál smáhola er aðeins mælt, en ekki sprungna. Mjög erfitt er að meta hversu stór hluti opnar sprungur eru af rúmmáli bergsins og hefur engin tilraun verið gerð til þess hér. Í töflu 11.1 eru sýndar niðurstöður poruhlutamælinganna. Poruhlutinn er hæstur í H.5 en lægstur í H.8 andstætt niðurstöðum um vatnsæðar, en telja má fullvíst, að vatnsæðar séu fyrst og fremst í sprungum. Meðalporuhlutinn er 11%. Á grundvelli þessa meðalporuhluta reiknast, að í hverjum rúmkílómetra bergs séu að minnsta kosti 0.11 rúmkílómetrar af vatni. Sé miðað við, að jarðhitasvæðið sé 40 ferkílómetrar að flatarmáli eins og viðnámsmælingarnar gefa til kynna ( $< 300^{\circ}\text{C}$ ) samsvarar þessi poruhluti því, að í hverjum pykkarkílómetra jarðhitakerfisins séu 4.4 rúmkílómetrar af vatni. Þetta vatnsmagn samsvarar 1400 lítra rennsli á sekúndu í 100 ár. Ekki verður neitt um það sagt með vissu, hversu langt niður jarðhitakerfið nær, en það eru sennilega

nokkrir kílómetrar, þannig að heildarvatnsmagnið í þessu kerfi hlýtur að vera verulega mikið meira en talan hér að ofan gefur til kynna.

Áætluð lágmarkstala um vatnsmagn í jarðhitakerfinu gefur naumast magnbundna vitneskju um afkastagetu svæðisins.

TAFLA 11.1 Poruhluti í kjarnasýnum úr borholum 5, 6 og 8.

Mælingarnar gerði Svanur Pálsson.

<u>H.5</u>	<u>H.6</u>	<u>H.8</u>
poruhluti/dýpi m	poruhluti/dýpi m	poruhluti/dýpi m
	16% / 412 m	5% / 377 m
12% / 428 m	11% / 413 m	10% / 736 m
19% / 670 m	11% / 625 m	8% / 930 m
	7% / 821 m	

## 12. BORVERK

### 12.1 Fyrri boranir á svæðinu

Fyrir 1948 voru boraðar eitthvað milli 15-20 grunnar holur í nágrenni Krísuvíkur. Holur þessar voru boraðar með smábor og er dýpi flestra þeirra innan við 100 m. Árið 1969 voru boraðar 3 holur með Gufubor ríkisins og Reykjavíkurborgar í nágrenni Krísuvíkur. Hola 1 1275 m, fóðring 308 m 9 5/8". Hola 2 1220 m, fóðring 247 m 9 5/8". Hola 3 329 m, fóðring 191 m 9 5/8".

Næst er boruð ein hola með Mayhew-bor 1964, dýpi 300 m. Hola þessi er boruð í hlíðinni fyrir ofan bæinn Krísuvík til að fá vatn-gufu til upphitunar í gróðurhúsum á staðnum. Hola þessi var boruð upp og fóðruð með 5" röri í 101 m, 1968. Nefnist hún Hola 4.

Þær 4 holur er boraðar voru vegna rannsóknarverksins 1971-72 eru nefndar holur 5-8. Staðsetning hola 1-8 sést á mynd 12.1.

### 12.2 Boranir 1971

Hola 5 við suðurenda Kleifarvatns

Hnit:	N 63°54,35' - V 22°01,06'
M.y.s.:	143.6 m
Borun:	04.05 - 03.07 '71
Dýpi:	816 m
Fóðring	4" 198 m
Holutoppur	4" Ser. 300
Kjarnataka	430 m, 676 m

Hola 6 við Eldborg, Trölladyngju

Hnit:	N 63°56,88' - V 22°05,32'
M.y.s.:	136.7 m

Borun: 05.07 - 17.08 '71  
Dýpi: 843 m  
Fóðring: 5" 231 m  
Holutoppur: 4" Ser. 300  
Kjarnataka: 413 m, 627 m, 821 m.

#### Hola 7 við Djúpavatn

Hnit: N 63<sup>0</sup>55,12' - V 22<sup>0</sup>05.51'  
M.y.s.: 205.5 m  
Borun: 18.08 - 23.09 '71  
Dýpi: 931 m  
Fóðring: 5" 185 m, 3" 444m  
Holutoppur: 4" Ser. 300  
Kjarnataka: 485 m, 634 m.

#### Undirbúningur borana

Í nóvember 1970 var nokkrum aðilum skrifað bréf og þeim tilkynnt að borframkvæmdir hefust á svæðinu næsta vor. Var farið fram á, að þeir leyfðu nauðsynlegt raðrask og vegalagnir vegna framkvæmdanna. Þessir aðilar eru: Sýslunefnd Gullbringusýslu, Hafnarfjarðarbær, eigendur jarðanna Stóru-Vatnsleysu og Minni-Vatnsleysu og Stangaveiðifélag Hafnarfjarðar. Svar barst frá öllum þessum aðilum, þar sem þeir veittu umbeðið leyfi og sýndu áhuga fyrir framkvæmdum.

Um það leyti, er borunum var að ljúka í Trölladyngju, var ákveðið að hætta við borun á Vigdísarvöllum (einn af upphaflega ákveðnu borstöðum), en bora þess í stað við Djúpavatn. Þá var farið fram á við Stangaveiðifélag Hafnarfjarðar að fá að taka vatn til borunarinnar ú Djúpavatni, 10-12 l/sek. Leyfi var veitt til þess. Í staðin skyldi Orkustofnun kosta líffræðilega rannsókn á Djúpavatni allt að 50 þ. kr. Í því tilefni var Veiðimálastjóra skrifað bréf þess efnis 20.08. '71.

Síðla vetrar 1970 voru gerðar pantanir erlendis á fóðurrörum og ventlum til borframkvæmdanna. Pantanir voru gerðar af I.R. og stóðst afhending sámilega.

Til að hýsa áhöfn borsins var keypt gamalt skúrasett

frá Rarik. Kampur þessi, er samanstendur af 2 svefnskálum, borðstofu og eldhúsi, var mjög farinn að láta á sjá, og var hann gerður upp og endurbættur. Má segja að hann hafi verið í notkun á hverju sumri síðan.

Í mars var hafist handa um byggingu borplana og kjallara. Einnig voru lagðir þeir vegaspottar er með þurfti. Borun hófst svo í byrjun maí.

### 12.3 Gangur borana 1971

Meðfylgjandi stólparit (myndir 12.2 - 12.4) sýna gang borverka á þeim stöðum, er borað var vegna Krísuvíkurrannsóknna 1971. Sýnt er hvernig verktíminn skiptist milli einstakra verkpátta og dýpi holanna er dregið inn á myndirnar.

Nefnd sú er stóð að kaupum Wabco-bors, hafði í huga 800-1000 m rannsóknar holur er áttu að kosta innan við 2 Mkr snemma árs 1970. Til þeirrar borunar voru keyptar stangir og álagsstangir, nýjar frá Bretlandi.

Að íhuguðu ráði urðu fyrir valinu 2 3/8" sléttar (múffulausar) borstangir og 3 1/2" álagsstangir. Með sléttum stöngum var hægt að bora gegnum pakkdós (smíðuð til verksins af Vélsn. Þrym eftir fyrirsögn G.S.) á móti gosi. Einnig var hafður gosvari af Regan gerð. Festilfóðringar holanna voru ákveðnar 4 1/8" innanmál og síðan skyldi holan boruð með 3 7/8" eða 4" krónu í óskað dýpi (endi festilfóðringar í 200-250 m). Við framkvæmd verksins kom í ljós, að pakkdós var óþörf. Í þau tvö skipti er gos kom í holu á litlu dýpi var hægt að kæfa holurnar, þannig að borun á móti gosi, var aldrei framkvæmd. Vert er að benda á, að ófarir Gufubors á Nesjavöllum voru ofarlega í hugum manna er borprógramið var hannað. (Þ.e. er mastur Gufubors skemmdist af gosi í holu er hann var að bora, og varð að hætta).

Fljótlega komu í ljós ýmsir annmarkar á því borprógrammi er unnið var eftir sem gerla má lesa af meðfylgjandi stólparitum. Verður þeirra getið hér nánar.

### Þétting lekastaða

Þess var krafist að sprungur og lekastaðir yrðu þéttir jafn óðum, svo borsvarf næðist samfelld meðan á borun stæði. Í víðara borprógrami (Gufubor t.d.) er hægt að stífla flesta lekastaði með spónum og sagi, eða öðru álíka, sem dælt er með borvökva niður stangir og út um borkrónuna á þeim stað er þétta skal. Í þessu tilfelli var þeirri aðferð ekki til að dreifa. Borstangir eru það grannar og skolgöt krónu það þröng, að slíkt hefði stíflað bæði borstangir og borkrónu. Því þurfti ætíð að taka upp borlengjuna og láta þéttiefnið ofan frá í holuna þ.e. moka efninu í holuna og dæla síðan á eftir með vatni eða steypu. Það er betra að geta dælt þéttiefni útúr stöngum á þeim stað er þétta skal, heldur en moka í holuna og dæla síðan á eftir því, í þeirri von að þéttiefnið fari á staðinn.

Með víðari borstöngum og þar til gerðri dælu (grauting-pump), hefði mátt ætla að betur tækist.

Þessi annmarki kom best í ljós við borun H.5. Þar var óvenju mikið um æðar, sem þurfti að þétta og var staðið í sí-endurteknum steypingum, stundum oft á sama stað, þar eð undanfarandi steyping hafði mistekist. Þetta háði einnig við borun H.6, en þó ekki eins því æðar voru mun færri og viðráðanlegri. Í H.7 kom þetta ekki að sök, þar var ákveðið að bora holuna án tillits til þess hvort svarf kæmi upp eða ekki.

### Brot álagsstanga

Í svo mjóu borprógrami sem unnið var eftir, varð heildarlengd álagsstanga að vera mikil til að ná æskilegu álagi. Þegar þessi lengt fer fram úr vissu marki, byrjar lengjan að svigna og kast myndast við snúninginn eftir því sem holan leifir. Til að koma í veg fyrir slíkt, eru stýringar settar á vissa staði á lengjunni. Ekkert var um slík áhöld við þessa borun enda brotnuðu álagsstangir tvívegis, í H.5 og H.6. Hafði það talsverðar tafir í för með sér.



### Léleg ending borstanga

Þær borstangir, er keyptar voru til verksins, entust illa. Ef til vill hefur það verið ofmat, að ætla að bora 800-1000 metra holur, með múffulausum 2 3/8" stöngum. Eftir því sem leið á verkið jókst tala þeirra stanga er taka varð frá, og ekki var hægt að nota. Í H.6 kom það fyrir að stangalengjan (ca 500 m) féll um 5-6 m. Borun var haldið áfram um stund en síðan tekið upp. Kom þá í ljós, að um 200 m af lengjunni var orðinn eins og tappatogari og þurfti að fara með allar þær stangir á verkstæði til réttingar.

Spurning er, hvað bora má djúpt með svo grönnum stöngum, hvort rétt sé að nota svo grannar stangir við að snúa allt að 7 7/8" borkrónum, hvort atriðið var haft í huga við kaup á borstöngunum, efnisgæði eða lágt verð.

Víst er, að útlit stanganna eftir borun þessara þriggja hola, var eins og útlit víðari stanga eftir mörg ár.

### Ending borkróna

Við borun þessara hola var notast við borkrónur frá Hughes, Warel og Sölnunefnd setuliðseigna. Tvívegis brotnuðu krónur meðan á borun stóð, í H.6 (króna frá Hughes) og H.7 (króna frá sölnunefndinni). Tafir af þessum sökum urðu 2 sólarhringar við borun H.6 og 5-6 sólarhringar við borun H.7. Þar urðu einnig tafir vegna stangabrots. Þannig urðu tafir við borun H.7 vegna borkrónu- og stangabrota um 25% af greiddum verktíma. Við hreinsun á H.7 í febrúar 1972 brotnuðu borkrónur tvívegis (Warel) meðan á verkinu stóð. Um orsök krónubrota er óvíst, e.t.v. snúningshraði og álag í mishörðu bergi.

### Vatnsskortur

Vegna vatnsskorts urðu talsverðar tafir við borun H.6 (Trölladyngju). Óráðlegt þótti að bora eftir vatni á borstað og bentu jarðfræðingar á lítið stöðuvatn uppi á fjalli í um 3 km fjarlægð. Vatnið var leitt þaðan fyrst í pípum 800 m niður hlíðina í gamlan lækjarfarveg, síðan eftir honum uns því var dælt síðustu 1300 m á borstað.

Langvarandi þurrkar, tap í lækjarfarveginum og smæð vatnsins ollu því að það entist ekki nema viku. Var þá gripið til þess ráðs, að aka með vatn á borstað um 11 km leið.

Heildarkostnaður vatnsöflunar við borun H.6 varð um 1.1 Mkr fyrir utan tafir.

Við nánari íhugun virðist mega rekja flesta erfiðleika til rangs borþrógrams. Það hefur ekki gefið tilætlaðan árangur að notast við svo grannt borþrógram. Sú hugmynd að grannar holur (4" og grennri) yrðu ódýrari en t.d. 6" holur hefur ber-sýnilega ekki staðist, a.m.k. ef bora á niður á 1000 m dýpi.

#### 12.4 Viðgerð á holu 7

Þegar borun holu 7 var hætt í september 1971, var skilið við hana í mjög svo óaðgengilegu ástandi. Er borun var komin í 931 m slitnaði borlengjan og var þá eftir í holunni 175 m af borstöngum. Reynt var næstu 8 sólarhringa að ná upp borlengjunni hvað ekki tókst og gekk á ýmsu. Var þá ákveðið að hætta við svo búið. Síðar kom á daginn, við mælingar í holunni, að hún hafði hrunið saman laust fyrir neðan fódringu.

Í febrúar 1972 var ákveðið að gera við holuna. Tilgangur verksins var að hreinsa hrun og fyrirstöður ofarlega í holunni og ganga frá henni með 3" fódringu steyptri í 440 m. Þá væri hægt að hitamæla í holunni og taka djúpsýni. Ákveðið var að láta stangarlengjuna, sem er í holunni, vera, þar eð ógerlegt væri að ná henni upp. Þetta var síðan framkvæmt og tók verkið 18 daga og var hola fyrirstöðulaus í 560 m dýpi. Þá var verkinu hætt eftir að krónubrot hafði átt sér stað ásamt fleiri erfiðleikum.

#### 12.5 Borun 1972

Hola 8 við Ketil í Sveifluhálsi

Hnit: N 63<sup>o</sup> 54.44 - V 22<sup>o</sup> 04.54

M.y.s.: 196.6 m

Borun: 30.10.'72 til 31.01.'73

Dýpi: 930  
Fóðring: 6" 232 m  
Holutoppur: 8" Ser. 300  
Kjarnataka: 378 m, 736 m og 930 m.

### Gangur verksins

Í september 1972 var hafist handa um vegagerð og útbúnað borstæðis. Lagður var 1.8 km langur vegur frá vegamótum að Djúpavatni, að borstæði. Úrhellisrigning var á meðan á framkvæmdum stóð. Tafðist verkið af þeim sökum og varð dýrara. Í þessum áfanga var gengið frá borstæði og kjallara. Meðan unnið var við borplan og vegagerð, var borinn að verki á Reykjum í Miðfirði. Óvíst var á þeim tíma hvenær, hann yrði búinn þar, svo og var það ákveðið að N.L.F.Í. skyldi hafa forgangsrétt á honum, er hann losnaði, til viðgerðar á holu í Hveragerði. Hætt var því við frekari undirbúningsvinnu er vegagerð og byggingu borplans var lokið. Um miðjan október var svo hafist handa að nýju er einsýnt þótti að borun gæti hafist um mánaðarmótin okt. - nóv.

Vatnsöflun vegna borframkvæmda á Krísuvíkur-Trölladyngju-svæði er erfiðleikamál, þar eð lítið sem ekkert er um læki hvað þá ár á svæðinu. Fáein vötn eru til staðar og hefur verið lagt frá þeim á borstað. Borstæðið við Ketil bauð upp á tvo möguleika. Vatnslögn frá Djúpavatni, vegalengd um 2 km yfir úfið hraun að fara, eða lögn úr Arnarvatni á Sveifluhálsi ofan við borstæðið, vegalengd 550 m hæðarmunur röskir 100 m. Báðir kostir eru slæmir að sumri, fyrir utan frosthættu að vetri. Ákveðið var, að taka vatn úr Arnarvatni. Rudd var jeppaslóð upp á fjallið að vatninu og komið þar fyrir dælu ásamt annarri til vara. Leiðslan var svo lögð skemmstu leið yfir fjallið niður að borstæði, 3" plastlögn.

Kampur JHD var fluttur á staðinn og bjó áhöfnin þar. Unnið var fimm daga í viku, að jafnaði 12 tíma á dag. Borun hófst svo 30. okt. Gangur borunarinnar er sýndur á mynd 12.5. Sést vel hvernig verktíminn skiptist á milli einstöku verkþátta og er dýpi holunnar dregið inn á myndina. Myndin skýrir

sí sjálf, en þó vil ég minnst á tvö atriði. 7,7% tímans fór í verkhluta 2.5 "tafir". Orsökudust þær aðallega af snjóþyngslum og frosti. 16.2% tímans fóru í verkhluta 2.8 eða það sem er nefnt "annað". Megnið af þessum tíma fór í upphaf og lúkningu dagsverks, þar eð unnið var á einni vakt. Má vart milli sjá á stundum, hvort sé "tafir", eða "annað", er hefja skal dagsverk í hörkufrosti og þungum snjó.

### 12.6 Dreifing vinnustunda eftir verkþáttum

Tafla 12.1 sýnir dreifingu vinnustunda á verkþætti við borun hola H.5, H.6, H.7 og H.8 (sjá myndir 12.1 - 12.5). Ef til vill er samanburður ekki raunhæfur, þar sem verkdaga- og vinnustundafjöldi við holurnar er mjög misjafn. Einnig, sem áður getur, var unnið eftir allt öðru borþrógrami við borun H.8, en við borun hinna holana.

Tafla 12.1

	<u>Dreifing vinnustunda %</u>			
	H.5	H.6	H.7	H.8
Borun á botni	25,7	23,3	29,6	34,6
Borkrónuskipti	8,6	<u>16,5</u>	9,5	9,7
Víkkun	3,9	0,7	-	-
Dæling	2,4	0,3	0,8	1,3
Rýming	-	2,6	-	-
Fóðrun	5,3	4,9	<u>9,6</u>	3,4
Steyping	5,6	3,5	1,6	3,2
Borun steypu	13,2	6,0	0,6	4,2
Flutn. - undirbúningur	9,2	9,1	9,8	9,9
Mælingar - kjarntaka	3,6	<u>2,3</u>	5,1	4,0
Frágangur	4,5	7,1	3,8	1,5
Tafir - Festur - Fiskun	5,3	7,8	25,0	7,7
Biðtími	7,7	10,1	3,4	-
Viðgerðir	4,2	3,5	1,0	4,3
Annað	0,8	2,3	0,2	<u>16,2</u>
	100	100	100	100

Verkdagar við H.5 voru 48, H.6 38 og H.7 26. Unnið var allan sólarhringinn á tvískiptum vöktum og farið í helgarleyfi aðra - þriðju hverja helgi. Borun H.8 tók 57 verkdaga. Unnið var á einni vakt, að jafnaði 12 stundir á dag, 5 daga vinnuviku.

Við athugun á þessari töflu kemur í ljós, að nokkrar tölur skera sig úr (undirstrikaðar).

Besta hlutfallið við verkþáttinn "Borun á botni", þ.e. þegar borkrónan er að losa áður óhreifst efni, næst við borun H.8, 34,6%. Er það vafalaust að þakka betra borþrógrami, er borað var eftir heldur en við borun hinna holanna. Koma þar fram kostir þess, að boruð var víðari hola, boruð með 5 5/8" borkrónum eftir fódðringar í stað 4 1/4" borkrónu í hinum holunum.

Nú borar þessi bor yfirleitt ekki grennri holur en 6 3/4", enda hefur dælukraftur hans verið endurbættur.

Í borkrónuskipti (ferðatími á borkrónu) við borun H.6 hafa farið 16,5% af verktíma miðað við um 9% í hinum holunum. Notaðar voru 12 borkrónur í H.5 og H.6 hvora, 9 stk. í H.7 og 10 stk. í H.8. Þetta háa hlutfall á ferðatíma mun vera að einhverju leyti að kenna stíflu í borkrónu (kom fyrir tvisvar á töluverðu dýpi) og þurfti þá að taka upp til hreinsunar. Einnig munu misheppnaðar kjarnatökur (ferðatími kjarnakrónu) hafa verið skrifaðar á þennan þátt verksins í staðinn fyrir verkþáttinn "Mælingar - kjarnataka".

Verkþættirnir "Víkkun", þvermál holu aukið; "Dæling", til að kæla holu eða ná upp borsvarfi og "Rýming", rétta holu af og taka af vankanta vegna fódðrunar, eru ekki svo umtalsverðir.

Fódðrun H.7 tekur 9,6% af verktímanum á móti um 4,5% að meðaltali í öðrum holum. Stafaði þetta af erfiðleikum við fódðrunina. Í bæði skiptin, er fódðrað var, var afspyrnuveður, rok og rigning og tafði það rafsuðuverkið mjög mikið. Einnig verður hlutfallstalan frekar há, vegna fárra verkdaga.

Verkþættirnir "Steyping og borun steypu" hafa alverstu hlutfallstölur við H.5, um helmingi betri tölur við H.6 og H.8, en bestu hlutfallstölur hefur H.7. Eins og getur í greinargerð hér að framan, var mikið um lekar æðar í H.5, og þess

krafist, að þær yrðu allar þéttar. Sama krafa var höfð uppi við H.6 og H.8, en þar voru æðar mun færri og auðveldari viðfangs. Hins vegar var lítið sem ekkert um þéttingu í H.7.

Í verkþættinum "Flutningur og undirbúningur" felst flutningur bors og tækja milli hola, uppsetning bors og tækja á staðnum og annar undirbúningur fyrir borunina sjálfa. Þessi verkþáttur er mjög svipaður við allar holurnar, eða 9-10%. Mun þetta vera eðlilegur tími miðað við boranir sama bors á öðrum stöðum og einnig miðað við aðra bora.

Minnstur tími í mælingar og kjarnatölur hefur farið við borun H.6. Kemur það heim og saman við það sem áður hefur verið sagt, að einhver tími misheppnaðrar kjarnatöku hefur verið skrifaður á verkþáttinn "Borkrónuskipti".

Við athugun á verkþættinum "Tafir - Festun - Fiskun" kemur í ljós að 25% verktímans við borun H.7, skrifast á hann. Vísast í kafla 12.3 til skýringar á því, en mestur hluti tímans fór í fiskun á brotinni borkrónu en afgangurinn í fiskun á brotinni stöng.

Við borun H.6 skapaðist mikið vandamál vegna vatns til borunarinnar. Þurfti að flytja það á bílum um 11 km leið og varð stundum bið vegna þess. Sjá kafla 12.3.

Að lokum skal svo minnst á verkþáttinn "Annað", en þar skrifast 16.2% af verktímanum við borun H.8, og skapast það að miklu leyti af vinnutilhöguninni og að verkið var unnið að vetri til. Unnið var á einni vakt, 5 daga vinnuviku.

Megintíminn af þessum 16,2% er hafning og lúkning verks dag hvern og ferðir (Reykjavík - Sveifluháls) að og frá vinnustað um helgar, oft að brjótast í ófærð vegna snjóá.

Í þessari töflu hefur vinnustundum verið skipt niður í 15 verkþætti. Fyrstu 8 verkþættirnir er sá tími er kalla mætti virkan bortíma, og skiptist hann þannig milli hola H.5 65%; H.6 58%; H.7 52% og H.8 57% af heildarvinnustunda fjölda. Ekki skal lagt mat á hversu gott hlutfall þetta er miðað við aðrar borframkvæmdir, en hitt er víst að tækjabúnaður viðkomandi bors hefur breyst þó nokkuð til batnaðar og myndi hann

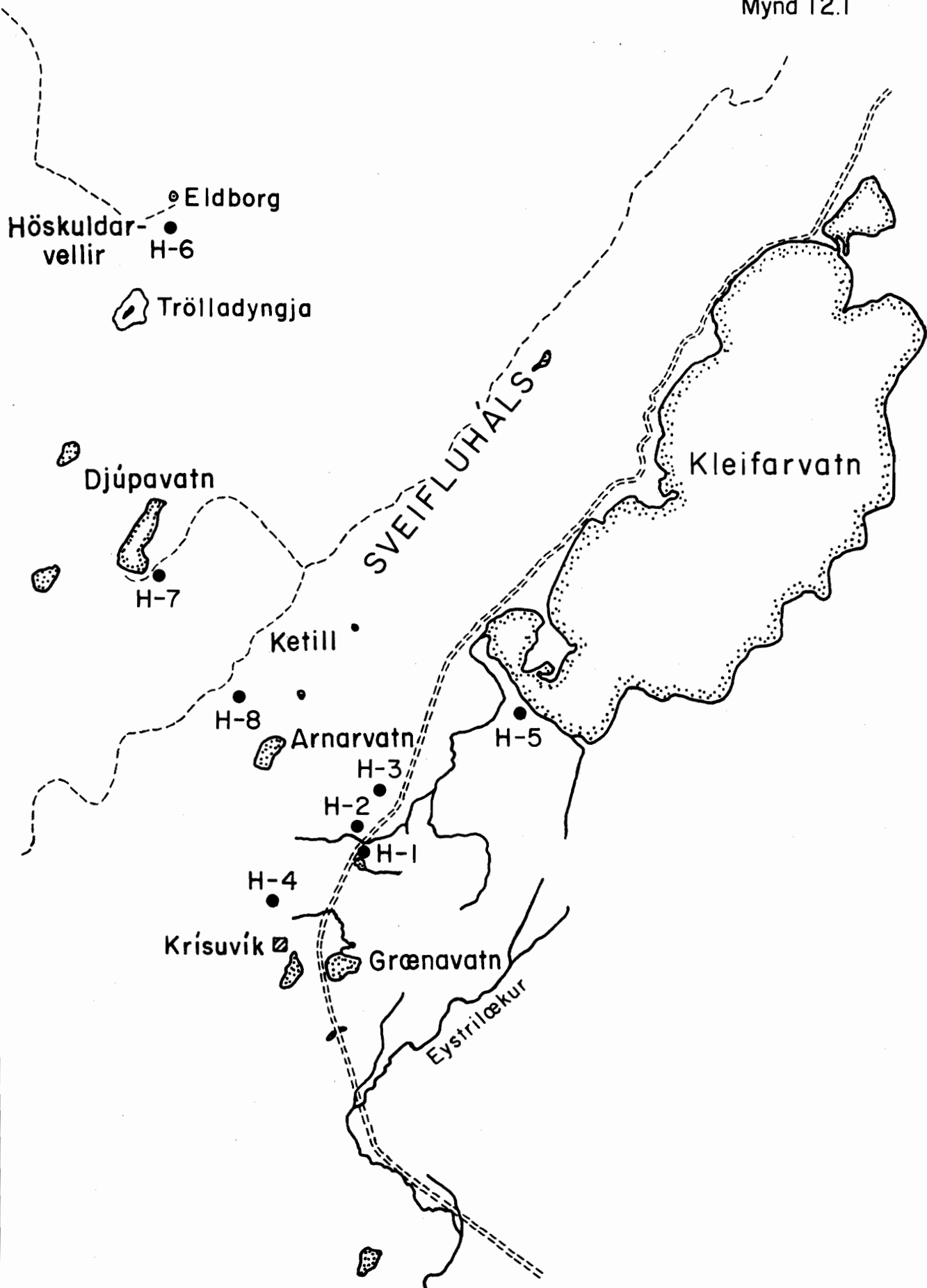
skila betra hlutfalli í dag.

    Sem áður er sagt ber að taka þennan samanburð með fyrirvara, en hann gefur þó allgott yfirlit um, hvernig sömu verkþættir geta skipst misjafnlega milli hola þó boraðar séu með sama verkfærinu.



Krisuvikur-og Trölladyngjusvæðið  
Staðsetning borhola

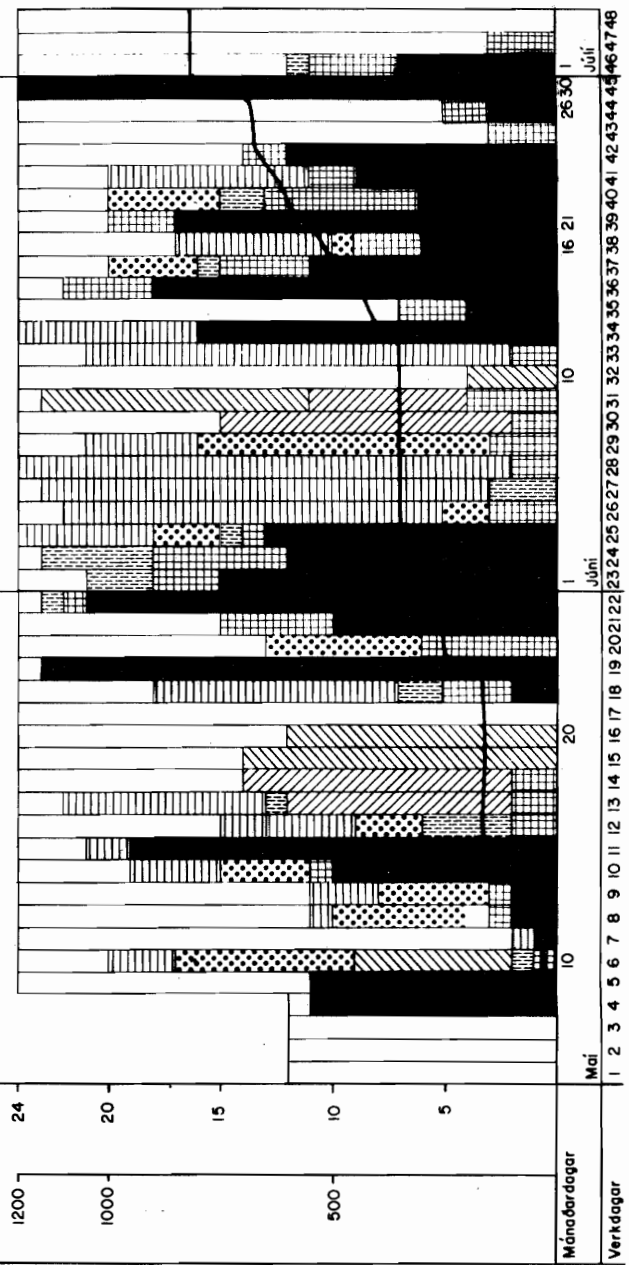
Mynd 12.1





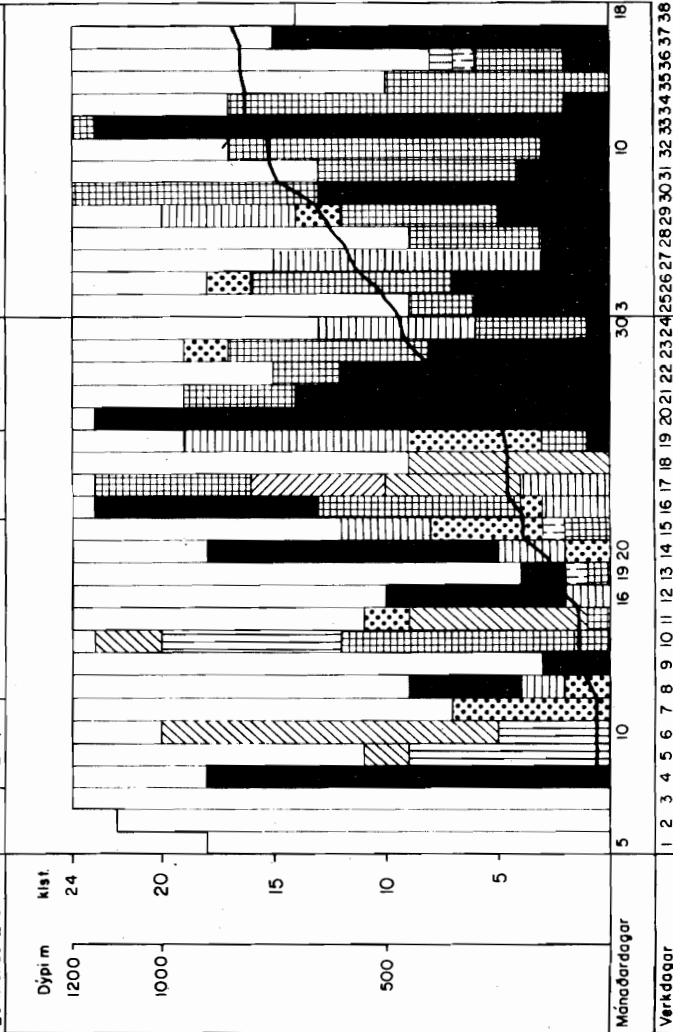
Mynd 12.2

VERKHLUTAR	Mái							Júni							Júlí			Alts kist.	%												
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20			21	22	23	24	25	26	27	28	1	2	3	1104
1. Borun á báli	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	284	25,7	
2. Bortrónustipti																													95	8,6	
3. Vikkun																													43	3,9	
4. Dæling																													26	2,4	
5. Ryming																													0	0	
6. Fæðun																													59	5,3	
7. Steyping																													62	5,6	
8. Borun steypu																													146	13,2	
9. Flútn. undirb.																													6	102	9,2
10. Mæling - Kjarnat.																													40	3,6	
11. Frágongur																													11	49	4,5
12. Tefri-Fest.Flak.																													7	58	5,3
13. Blóðimi																													85	7,7	
14. Viðgerðir																													46	4,2	
15. Annad																													9	0,8	
																													1104	1000	100

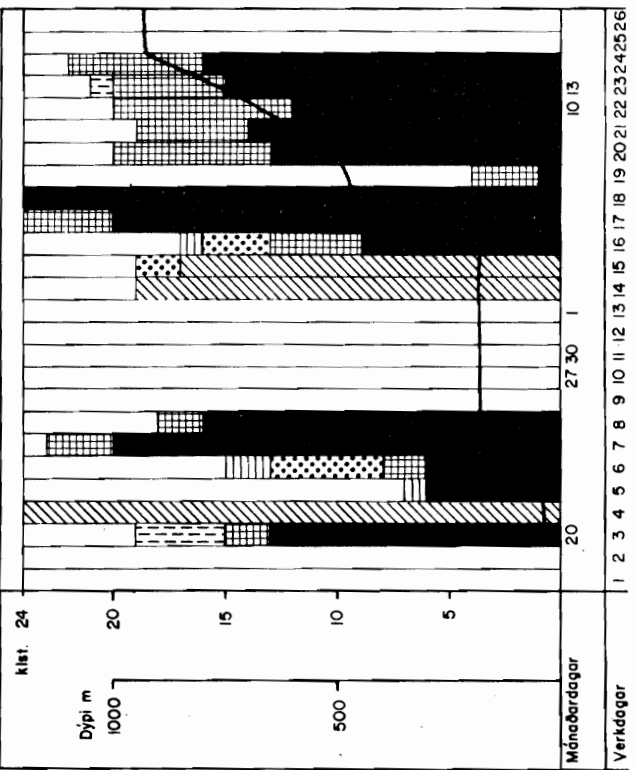


Mánaðardagur  
Vertdagar

VERKHLUTAR	Júlí												Ágúst												Allt kist.	%															
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30			3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	16	17	18	
1. Borun á botni	18					5	3		12						8	2	13	10			1	23	14	12	8	1	6	7	3	3	5	13	4	3	23	2	2	15	204	23.3	
2. Borkrónustípti																																								145	16.5
3. Viskun																																							6	0.7	
4. Dæling-lestarpr.																																							3	0.3	
5. Rýmting																																							23	2.6	
6. Fóðrun																																							43	4.9	
7. Sleyping																																							31	3.5	
8. Borun steypu																																							53	6.0	
9. Flútn undirb	18	22	24	6																																			80	9.1	
10. Mælingar-kjarnot																																							20	2.3	
11. Frágöngur																																							62	7.1	
12. Taffir - Fest.																																							14	1.6	
13. Biblími																																							69	7.8	
14. Viðgerðir																																							89	10.1	
15. Annad																																							31	3.5	
<b>Borkrónur</b>																																							20	2.3	
<b>Borkrónustærðir</b>																																							879	100.0	



VERKHLUTAR	Agúst							September							Alls kist.	%													
	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	30	31	1	2			3	4	5	6	7	8	9	10	13	14	15	16	
I. Borun á botni	13		6	6	20	16																					185	296	
2. Bortrónuskípti	2		2	3	2																							59	95
3. Víkkun																												0	0
4. Dæling - lektarpr.	4.																											5	08
5. Rýming																												60	96
6. Fóðrun																												10	16
7. Steypling																												4	06
8. Borun steypu																												61	98
9. Flun- undirb.	24	24	5																									32	51
10. Mæling - Kjarnat.																												24	38
11. Fráganur																												156	250
12. Tafir - Feiting																												21	34
13. Bláhlíni																												6	10
14. Viðgerðir																												1	02
15. Annað																												624	1000
Bortrónur	1	2	3																									1000	1000
Bortrónustærðir	12 1/4"	7 3/8"																										624	1000
kist.	24																											1000	1000



Mynd 12.4



### 13. KOSTNAÐUR

Kostnaður við rannsóknarverkið verður nú rakinn og honum skipt niður í tímabil eftir árum.

#### 13.1 Kostnaður 1970

Á þessu ári var unnið að frumrannsókn á svæðinu. Unnið var að jarðfræði, segulmælingum, viðnámsmælingum, þyngdarmælingum smáskjálftamælingum og efnagreiningu á sýnum (gas og vatn úr hverum og gömlum borholum).

Sumar þessar rannsóknir voru gerðar beinlínis sem upphaf heildarrannsókna á svæðinu, en aðrar sem liður í yfirgripsmeiri rannsóknum. Heildarkostnaður þessara rannsókna á svæðinu 1970 nam 2.4 Mkr.

#### 13.2 Kostnaður 1971

Þetta ár var haldið áfram frumrannsóknum á svæðinu. Unnið var að jarðfræði, jarðsveiflumælingum, viðnámsmælingum og smáskjálftamælingum.

Djúprannsókn hófst á þessu ári þ.e. borun og úrvinsla þeirra gagna er unnustvið hana. Boraðar voru 3 holur (sjá kafla 12). Vegna borframkvæmdanna var keypt gamalt og úr sér gengið skúrasett hjá Rarik. Kampur þessi, er samanstendur af 3 svefnskálum (fyrir 10 menn), borðstofu og eldhúsi, var gerður upp og endurbættur. Keypt voru tæki til mötuneytis og eldnúss ásamt rafstöð o.fl. Athugaður var sá möguleiki að láta smíða nýjan kamp en það þótti of dýrt (ca. 2.5 Mkr), var þá þessi leið valin.

Kostnaðaráætlun djúprannsóknar gerði ráð fyrir 11 Mkr til borframkvæmdanna, en kostnaðurinn varð 12,2 Mkr.

Kostnaður rannsóknarverksins 1971 sést á töflu 13.1.

Tafla 13.1

Kostnaður rannsóknarverksins 1971	Mkr	Mkr
Hola 5 (Kleifarvatn)	3.3	
Hola 6 (Trölladyngja)	4.5	
Hola 7 (Djúpavatn)	2.6	
Kampur (Kaup, viðgerð og endurbætur)	1.4	
Borplan við Slögu (hætt við)	<u>0.4</u>	12.2
Frumrannsókn/djúprannsókn 1971		<u>3.4</u>
	Mkr	15.6

### 13.3 Kostnaður 1972-1973

1971 var unnið nokkuð að frumrannsókn, aðallega viðnámsmælingum og smáskjálftamælingum.

Djúprannsókn var fram haldið og boruð ein hola. Viðgerð framkvæmd á holu 7 (kafla 12.4). Vegna mikillar eftirspurnar og anna kom borinn þó nokkuð seinna til vinnu fyrir rannsóknarverkið en áætlað hafði verið (kafla 12.5). Holan var boruð á tímabilinu nóv. 1972 - jan. 1973. Þetta er einn verstí árs-tími til borframkvæmda vegna frosts og snjóá, enda tafði það borverkið þó nokkuð. Í kostnaðaráætlun verksins var gert ráð fyrir að borun holunnar kostaði 3.8 Mkr en varð 4.4 Mkr. Þessi kostnaðaraukning kom öll fram í tímakostnaði borsins (1.8 Mkr varð 2.4 Mkr) sem að mestu leyti má kenna því, hvenær á árinu holan var boruð.

Árið 1973 var lokið djúprannsókn (lúkning holu 8). Á þessu ári voru gerðar viðnámsmælingar (sjá kafla 1.1.) svo og heildarúrvinnsla gagna 1970 - 1973 og undirbúningur þessarar skýrslu.

Kostnaður þessa tímabils sést í töflu 13.2.

Tafla 13.2

Kostnaður rannsóknarverksins 1972-3	Mkr	Mkr
Viðgerð holu 7	1.3	
Hola 8 (við Ketil)	<u>4.4</u>	5.7

Kostnaður v/frumrannsóknna og úrvinnsla gagna v/djúprannsóknna 1972	3.2
Frumrannsókn og heildarúrvinnsla 1973	<u>1.8</u>
Mkr.	10.7

13.4 Heildaryfirlit um kostnað rannsóknarverksins  
1970-1973

Eftirfarandi tafla sýnir heildar yfirlit yfir kostnað  
rannsóknarverksins 1970-1973.

Greiddur kostnaður	Mkr	Mkr
Frumrannsókn 1970	2.4	
Hola 5	3.3	
Hola 6	4.5	
Hola 7	2.6	
Kampur	1.4	
Borplan (yfirgefið)	0.4	
Frumrannsókn, djúprannsókn 1971	3.4	
Viðgerð holu 7	1.3	
Hola 8	4.4	
Frumrannsókn, djúprannsókn 1972	3.2	
Frumrannsókn, heildarúrvinnsla 1973	1.8	
Fjárföng		
Orkusjóður 1970		4.1
"    1971		14.0
"    1972		6.0
"    1973		0.7
Orkustofnun JHD 1970-1973		<u>3.9</u>
	<u>Mkr 28.7</u>	<u>28.7</u>