



ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

Jens Tómasson

ELLIÐAÁRSVÆÐIÐ

Uppruni og eðli jarðhitans

OS-88027/JHD-03

Reykjavík, júlí 1988



ORKUSTOFNUN
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Verknúmer : 400390

Jens Tómasson

ELLIÐAÁRSVÆÐIÐ

Uppruni og eðli jarðhitans

OS-88027/JHD-03

Reykjavík, júlí 1988

ÁGRIP

Byrjað var að bora djúpar holur á Elliðaárvæðinu árið 1967 og nú er búið að bora 16 holur, 900-2300 m djúpar. Auk þess hafa verið boraðar á þessu svæði 5 grynnri holur (hitastigulsholur).

Svæðið er 8-10 km² að flatarmáli á yfirborði og skiptist í nokkur undirsvæði, og er vinnslusvæðið sjálft eitt þeirra en það er um 1 km². Á vinnslusvæðinu er viðsnúinn hitaferill. Úr norðri kemur tunga með heitu vatni, og er munur á hámarkshita og hita við holubotn yfir 20°C. Jarðlögum svæðisins er skipt í þrennt, *Efri basaltsyru*, *Móbergssyru* og *Neðri basaltsyru*. Inni á vinnslusvæðinu eru þrenns konar vatnsleiðarar, auðkenndir með A, B og C: A-vatnsleiðarar sem eru að mestu í efra basaltinu, B-leiðarar sem er að mestu í móberginu og C-vatnsleiðarar sem eru í neðra basaltinu. Í efra basaltinu er einnig kalt grunnvatn. Þetta kalda grunnvatn er aðallega fyrir austan svæðið og nær það niður á meira dýpi eftir því sem austar dregur. Það nær allt niður á 1000 m dýpi nokkra km fyrir austan svæðið. Heita vatnið í A-leiðara kemur eins og heitir gull upp í kalda grunnvatnið. Vatnið úr heitu tungunni, sem þynnist og kólnar til suðurs, kemur upp í norðri og fer um B-leiðarann.

Kólnun hefur átt sér stað frá upphafi vinnslu og hefur vatnið í vinnsluholum kólnað um 6-21°C. Þessi kólnun stafar af því að kalt grunnvatn kemur í stað jarðhitavatnsins sem dælt er upp úr svæðinu. Þar sem margfalt meira vatn er í kalda grunnvatnskerfinu en í jarðhitakerfinu verður engin þrýstilækkun í kalda grunnvatnsgeyminum við jarðhitavinnsluna. Þrýstilækkun í jarðhitageyminum verður minnst í þeim leiðurum sem eru að kólna vegna þess að kalda grunnvatnið heldur uppi þrýstingi í þeim. Í vatnsæðum í þessum leiðurum er því hærri þrýstingur en í vatnsæðum í leiðurum, sem ekkert hafa kólnað. Þetta kemur fram á öllu svæðinu, rennslí hefur snúist við í holunum og er niðurrennslí í flestum þeirra.

Hitinn í jarðhitakerfunum, sem hér er fjallað um, er ekki eins hár og hann ætti að vera, ef varmastraumur frá iðrum jarðar væri ráðandi um hitann. Hringrás jarðhitavatnsins hefur í för með sér kælingu á bergeninu sem það fer um, þ.e. nemur varma úr bergeninu. Þetta varmanám er mest í og við niðurrennslisstaði, en minnkar eftir því sem fjær dregur þá vegna þess að sífellt minni munur verður á hita vatnsins og bergsins sem það er að kæla. Þetta skýrir 75°C hitahækkan á 2000 m dýpi frá austri til vesturs frá köldustu holunum á Elliðaárvæðinu til Laugarnessvæðisins. Kaldasta holan á Elliðaárvæðinu er aðeins 5-10 km frá niðurrennslisstaði, en vatnið á Laugarnessvæðinu hefur farið 40-50 km leið.

EFNISYFIRLIT

Bls.

ÁGRIP	3
1 INNGANGUR	7
1.1 Eldri rannsóknir	7
1.2 Núverandi rannsóknir	7
1.3 Jarðfræði og vatnafræði svæðisins	8
1.4 Þakkir	8
2 SAMANBURÐUR Á LAUGARNES- OG ELLIÐAÁRSVÆÐI OG GERÐ LÁGHITASVÆÐA	11
2.1 Eðli lághitasvæða	11
2.2 Hitaástand á Elliðaár- og Laugarnessvæði	13
2.3 Skilgreining á hugtakinu ΔT og notkun þess	15
2.4 Varmanám	17
3 ELLIÐAÁRSVÆÐIÐ	21
3.1 Landfræðileg skipting svæðisins	21
3.2 Jarðfræði svæðisins	21
3.3 Vatnafræðileg bygging svæðisins	21
3.3.1 Flokkun vatnsleiðara	21
3.3.2 Hita- og jarðlagasnið	24
3.4 Isotópasamsetning vatnsins	35
4 KÓLNUN	37
4.1 Lýsing og orsakir kólnunar	37
4.2 Gangur kólnunar	38
4.3 Viðbrögð við kólnun	39
5 GRAFARVOGSSVÆÐIÐ	42
5.1 Lindir	42
5.2 Borholur	42
6 UMRÆÐA OG NIÐURSTÖÐUR	48
7 TILLÖGUR	51
HEIMILDASKRÁ	52
VIÐAUKI I Kólnun í einstökum holum	55
VIÐAUKI II Tafla yfir lindir á Grafarvogssvæði	65
TÖFLUR	
1 Kæling á vatni frá dælingarholu	38

MYNDASKRÁ

	Bls.
1 Jarðfræðikort ásamt staðsetningu sniðsins á mynd 4	9
2 Staðsetning hitastigulshola	12
3 Hitastigull, þversnið	12
4 Jarðfræði og hitasnið frá Laugarnessvæði gegnum Elliðaárvæði að H-39	14
5 Samanburður á hitaferlum frá Laugarnessvæði, Elliðaárvæði og Akranesi	16
6 Breytingar á ΔT með dýpi á Laugarnessvæði	17
7 Breytingar á ΔT með dýpi í RV-36 á Elliðaárvæði	17
8 Landfræðileg skipting Elliðaárvæðisins	19
9 Vatnsborðslækkun í holum á Elliðaárvæði	22
10 Staðsetning hita- og jarðlagasniða O-O', P-P' og R-R'	24
11 Snið O-O' frá K-1 til H-39	26
12 Snið P-P' frá H-20 til RV-32	27
13 Jarðög á 800 m dýpi, misgengi og vatnsrennsli	28
14 Snið R-R' frá RV-24 til RV-33	29
15 Staðsetning hita- og jarðlagasniða A, B og C	30
16 Snið A-A' frá RV-31 til RV-41	31
17 Snið B-B' frá RV-25 til RV-41	32
18 Snið C-C' frá RV-28 til RV-36	33
19 Jafnhitalínur á hámarkshita í holum	34
20 Jarðlagasnið frá RV-25 til RV-36	35
21 Kólnun í RV-29 með tíma	39
22 Snið C-C', kólnun	41
23 Lindir á Grafarvogssvæði	43
24 Hitamæling fyrir og eftir ádælingu RV-33	44
25 Hitamælingar frá RV-33. Árin 1972, 1984 og 1986	44
26 Hitamælingar frá HS-17	45
27 Staðsetning viðnámsmælinga	46

1. INNGANGUR

1.1 Eldri rannsóknir

Á árunum 1967-1971 voru boraðar 12 holur, 861-1615 m djúpar, með Gufubor á Elliðaárvæðinu, sem er það nafn sem notað er yfir allt rannsóknarsvæðið. Árin 1980-1984 voru boraðar 4 holur í viðbót á þessu svæði, 1605-2312 m djúpar. Borunum 1967-1971 og rannsóknum þeim viðkomandi hafa verið gerð skil í heildarskýrslu, sem nefnd var "Höfuðborgarsvæðið" (Jens Tómasson o.fl 1977). Einnig hafa verið skrifaðar skýrslur um einstakar holur sem boraðar hafa verið eftir 1977. Verkfræðistofan Vatnaskil hf hefur einnig tekið saman tvær skýrslur fyrir Hitaveitu Reykjavíkur um vatnsvinnslu á Elliðaárvæðinu (Verkfræðistofan Vatnaskil hf, 1982 og 1983).

Í skýrslu Vatnaskila frá 1982 er greinargerð eftir Einar Gunnlaugsson starfsmann Hitaveitu Reykjavíkur með yfirliti yfir efnasamsetningu jarðhitavatnsins á svæðinu og hvernig hún hefur breytst með tíma. Árið 1983 var skýrsla eftir Jens Tómasson og Þorsteinn Thorsteinsson með nafninu "Borun R-39 og framhald borana á lághitasvæðum HR" send í handriti til Hitaveitunnar. Í skýrslunni er sett fram vatnafræðilegt líkan af svæðinu og tillögur gerðar um framhald borana sem sumpart hafa verið framkvæmdar.

1.2 Núverandi rannsóknir

Skýrsla sú sem hér birtist byggir á áðurnefndu handriti frá 1983 (Jens Tómasson og Þorsteinn Thorsteinsson, 1983) og frekari athugunum höfundar í tengslum við borun djúpra hola á Elliðaár- og Laugarnessvæði og val borstaða í því sambandi. Við frekari vinnslu þessa efnis var fallið frá allri umraðu um djúpar holur, eftir stóð aðeins hvað boranir á Laugarnes- og Elliðaárvæðum gætu sagt okkur um eðli jarðhitasvæða almennt og nefnist annar kafli skýrslunnar "Samanburður á Laugarnes- og Elliðaárvæði og eðli lághitasvæða" í samræmi við það. Þessum kafla er skipt í nokkra undirkafla og nefnist sá fyrsti (2.1) "Gerð lághita-

svæða". Í honum er eingöngu fjallað um eldri rannsóknir um þetta efni og skyld efni eins og hitastigul og varmastraum frá iðrum jarðar. Annar undirkafinn (2.2) heitir "Hitaástand á Elliðaár- og Laugarnessvæðinu". Í þessum kafla er lýst hita- og jarðlagasniði í gegnum Laugarnes- og Elliðaárvæðið. Einnig er sett fram líkan af því hvernig þetta snið tengist Krýsuvíkurprungusveimnum. Priðji undirkafinn (2.3) heitir "Skilgreining á hugtakinu ΔT og notkun þess". Þetta hugtak er tekið upp til þess að einfaldara verði að sjá hvað hiti í holum á Elliðaár- og Laugarnessvæðinu geti sagt okkur um eðli jarðhitans. Niðurstaðan af þessum rannsóknum er að varmanám sé í gangi á þessum svæðum, sem er og heiti síðasta undirkafla (2.4).

Priðji aðalkafinn nefnist "Elliðaárvæðið". Í þessum kafla er byggingu Elliðaárvæðisins lýst allnákvæmlega með mörgum jarðlag- og hitasniðum. Þessum kafla er skipt niður í nokkra undirkafla og gefa nöfn þeirra nokkuð góða mynd af því um hvað er fjallað í hverjum þeirra. Í síðasta undirkafla (3.4) eru isotóparannsóknir Braga Árnasonar (1976) bornar saman við það jarhitalíkan af Elliðaárvæðinu sem sett hefur verið fram í fyrri undirköflum.

Fjórði kafli er um "kólnun" á Elliðaárvæðinu, sem Verkfræðistofan Vatnaskil hf hefur áður gert grein fyrir. Í þesum kafla er fyrst og fremst reynt að finna út hverjar orsakir kólnunar eru og hvernig megi bregðast við henni. Kaflanum er skipt upp í nokkra undirkafla og gefa nöfnin á þeim til kynna efni þeirra.

Fimmti kaflinn er um "Grafarvogssvæðið", sem er eitt af mörgum undirsvæðum Elliðaárvæðisins. Þetta undirsvæði er í einna minnstu vatnafræðilegu sambandi við núverandi vinnslusvæði. Því eru möguleikar á jarðhitavinnslu þar, án þess að það hefði teljandi áhrif á núverandi vinnslu. Kaflinn um Grafarvogssvæðið skiptist í two undirkafla, lindir og borholur.

Sjötti kafli er "umræður og niðurstöður". Í sjöunda kafla eru svo "tillögur" um áfram-

haldandi rannsóknir. Auk þess eru tveir viðaukar. Viðauki I er um kólnun í einstökum holum. Þar eru ýmsar upplýsingar um einstakar holur, sem ekki þótti fárt vegna samhengisins að hafa í aðalköflum. Viðauki II er tafla yfir lindir í Grafarvogi, þ.e. hita, rennsli og fleira.

1.3 Jarðfræði og vatnafræði svæðisins

Á Elliðaárvæðinu sem er 8-10 km² að flatarmáli, er hár hitastigull. Það nær frá Breiðholtsmýri og norður fyrir Grafarvog (Helga Tulinius o.fl 1986).

Svæðið er að mestu þakið grágrýti, aðeins á einum stað gægist eldra berg upp úr grágrýtishellunni, þ.e. við steypustöðina á Ártúnshöfða (sjá mynd 1). Ofan á grágrýtinu eru ýmsar jökulmyndanir og eitt nútímahraun, Elliðaárhraunið, sem runnið hefur niður Elliðaárdal. Á austanverðu svæðinu og austur af því eru miklar sprungur og misgengi sem hafa mikla þýðingu fyrir vatnafræði svæðisins, og eru austurmörk þess. Í þessu sprungukerfi er hitastigullinn núll og út frá viðnámsmælingum (Lúðvík S. Georgsson 1985) má ætla að kalt berg nái niður á ca 1000 m dýpi. Þetta sprungukerfi er hluti Krýsuvíkurprungusveimsins, sem nær inn í gosbeltið.

Í Bullaugum spretta upp miklar kaldar lindir við sprungu (mynd 1). Volgrur voru engar á núverandi borsvæði á Elliðaárvæðinu, en talsvert mikið var af volgrum í mýrarslakknum milli Breiðholts og Kópavogsháls (Prætuengi og Breiðholtsmýri). Þetta voru mýrarpollar, upp í 25°C heitir, þó án sýnillegs útrennslis og voru syðstu volgrurnar við Breiðholtsbæinn. Allar þessar volgrur hafa horfið eftir að vinnsla hófst á Elliðaárvæðinu. Tvær holur voru boraðar á þessu volgrusvæði á vegum Reykjavíkurborgar. Hola H-35 árið 1932, 193 m djúp, rétt við nyrstu volgrurnar. Hin holan, H-20, var boruð 1956 rétt við Breiðholtsbæinn og syðstu volgrurnar og varð 385 m djúp.

Í Grafarvogi eru 7-16°C heitar volgrur á allstóru svæði frá Grafarvogi og upp í

Bullaugu. Rennslið úr þessum volgrum er misjafnt allt frá seitli upp í nokkra l/s. Fiskeldisstöðin á Laxalóni nýtir eina 11 l/s volgru um 12°C heita.

1.4 Pakkir

Ég vil sérstaklega þakka Þorsteini Thorsteinssyni sem hefur unnið með mér að rannsóknum á Elliðaárvæðinu í rúm 20 ár. Á þessum árum hefur hann verið óspar á að miðla af reynslu sinni af jarðhitarannsóknum. Við samningu þessarar skýrslu fann hann gamla fágæta skýrslu eftir sig um vatnafræði Elliðaárvæðisins sem mjög er vitnað til í þessari skýrslu. Ég þakka Guðmundi Inga Haraldssyni fyrir að kortleggja með mér lindirnar á Grafarvogssvæðinu. Einnig vil ég þakka þeim Freysteini Sigurðssyni og Guðna Axelssyni, sem lásu yfir handrit að þessari skýrslu, fyrir margar góðar ábendingar. Teiknurum á teiknistofu Orkustofnunar þakka ég einstaka þolinum meðan þessi skýrsla var í vinnslu. Einnig þakka ég Þóru Þorvaldsdóttur fyrir að vélrita skýrsluna.



2. SAMANBURÐUR Á LAUGARNES- OG ELLIÐAÁRSVÆÐI OG EÐLI LÁGHITASVÆÐA

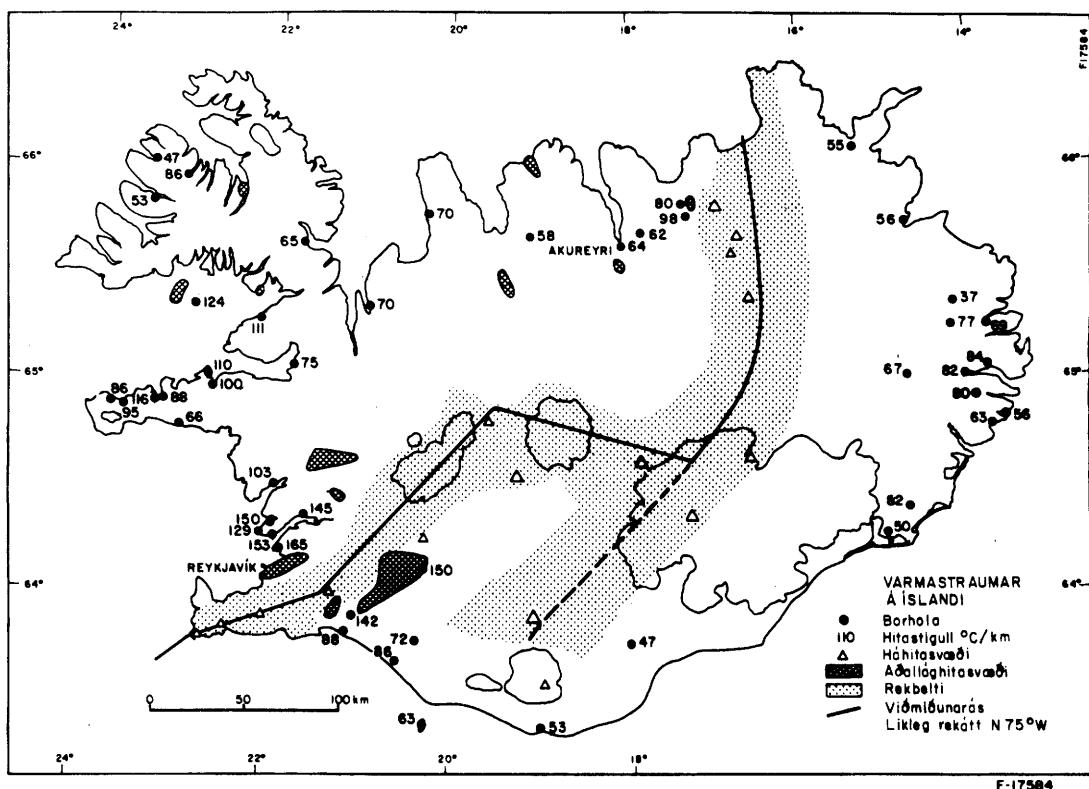
2.1 Eðli lághitasvæða

Jarðhitavatnið (lághitinn) sem er úrkoma að uppruna, er hluti af almennum grunnvatnstraumi, þ.e. sá hluti hans sem hefur farið niður á það mikið dýpi að hann hefur komist í snertingu við heit jarðlög (Trausti Einarsson, 1942). Tvívetnismælingar Braga Árnasonar (1976) hafa staðfest þessa skýringu á uppruna jarðhitans. Bragi Árnason (1976) hefur kortlagt tvívetni í úrkому og þar sem tvívetni minnkar reglulega frá ströndinni upp í hálendið, er komin merkilappi á úrkomuna og með því að mæla tvívetnismagn í hveravatni er hægt að segja til um hvar það vatn hefur fallið sem úrkoma. Þá kemur í ljós að vatnið í hverunum hefur fallið sem úrkoma í mismikilli fjarlægð frá þeim, oftast tuga km fjarlægð eða jafnvel í hundraða km fjarlægð. Jarðhitavatnið leitar síðan upp til yfirborðs eftir einhverri lóðréttir jarðfræðilegri smið (structure) eins og göngum, sprungum og misgengjum. Það sem knýr vatnið frá niðurrennslisstað til uppstreymisstaðar er munurinn á hýdróstatískum þrýstingi vatnsins á hvorum stað. Því er hraði vatnsins í réttu hlutfalli við þennan þrýstimun en í öfugu hlutfalli við vegalengdina. Hraði vatnsins er einnig í réttu hlutfalli við lekt bergsins, sem það rennur um. Auk þyngdarflsins hefur hitinn áhrif á hreyfingu vatnsins. Þegar vatnið hitnar léttist það og leitar til yfirborðs. Ef vatnið hittir lárétt lek jarðlög nærrí yfirborði þá rennur það út frá uppstreymisrásinni og kólnar það mikið að það þyngist og byrjar að leita niður aftur vegna aukinnar eðlisþyngdar, t.d. eftir sprungum og öðrum lóðréttum leiðum, síðan hitnar það aftur og stígur upp. Þetta fyrirbrigði kallast hræring (convection). Til þess að hræring geti átt sér stað þarf að vera ákveðin lekt í bergeninum, einnig verður hræring þeim mun auðveldari sem vatnið er heitara.

Hvað er það sem ákvarðar hitann á jarðhitavatninu? Í köflunum hér á eftir (2.2-2.4) verður rætt um nokkur atriði sem geta haft áhrif á hitann, svo sem lekt bergsins sem vatnið rennur um, vegalengdina sem vatnið hefur farið og hve heitt berg vatnið hefur farið um, en hiti bergsins er háður tvennu, dýpi og varmastraumi á hverjum stað.

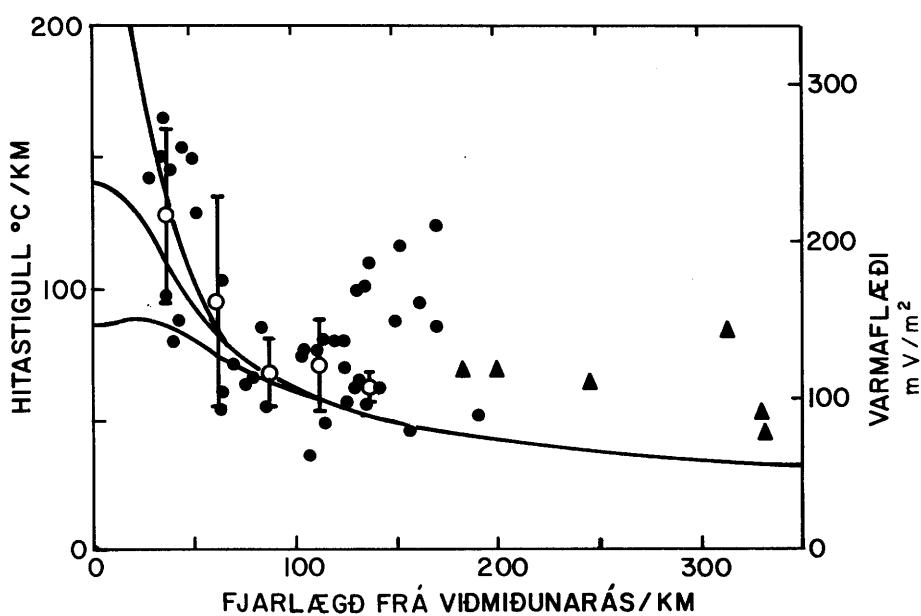
Frá yfirborði geislar út hitaorku úr iðrum jarðar, og er þetta nefnt varmastraumur. Hann er oftast ákvarðaður með því að mæla hvernig hiti breytist með dýpi. Ef varmaleiðni bergsins er þekkt er hægt að reikna varmastrauminn út frá hitastigli. Til þess að hitastigull sýni varmastraum má hann ekki vera truflaður af vatnsrennsli í bergeninu. Á mynd 2 er sýnd staðsetning slíkra hola á landinu, og tölurnar við holurnar eiga við hitastigulinn. Á mynd 3 er sýnt hvernig hitastigull og varmastraumur breytist út frá viðmiðunarás í miðju gosbeltinu. Þessar myndir eru frá Guðmundi Pálmasyni o.fl. (1979).

Í áðurnefndu líkani Trausta Einarssonar (1942) af uppruna jarðhitans var gert ráð fyrir því að jafnvægi sé á milli varmastraums og vatnsins sem er að hitna upp. Rennsli úr náttúrulegum hverum er þá afleidng af slíku jafnvægi. Síðan hafa komið fram efa-semdir um að slíkt jafnvægi sé alls staðar í gildi, t.d. þyrftu hverirnir í Borgarfirði að taka varmastraum frá það stóru svæði að erfitt yrði að koma því fyrir miðað við rennslislíkan sem til er af svæðinu (Kristján Sæmundsson 1983). Gunnar Böðvarsson (1983) setti fram þá hugmynd að varmanám við kælingu á bergi væri aðalorkuuppsprettar jarðhitasvæðanna. Það verður talsvert minnst á þessar tvær mismunandi hugmyndir um uppruna jarðhitans í því sem hér fer á eftir og hvernig þær horfa við út frá þeim rannsóknarniðurstöðum sem fengist hafa frá þeim jarðhitasvæðum sem fjallað er um í þessari skýrslu.



MYND 2 Staðsetning hitastigulshola (Guðmundur Pálason o.fl. 1979)

JHD-BJ-III JT
87. II. 0979 AA



MYND 3 Hitastigull, þversnið (Guðmundur Pálason o.fl. 1979)

2.2 Hitaástand Elliðaár- og Laugarnessvæðis

Í kaflanum hér á undan (2.1) var gerð grein fyrir borun hola til að mæla hitastigul sem er hitaútstreymi frá iðrum jarðar. Aðalnot af hitastigulsholum er að finna hitaóreglur í bergi, sem gefa til kynna uppstreymi heits vatns. Í Reykjavík og nágrenni hafa verið boraðar margar hitastigulsholur í þessum tilgangi og hefur verið gerð grein fyrir borun þeirra og tengdum rannsóknum í mörgum skýrslum og greinum, m.a. í nýlegri skýrslu Orkustofnunar eftir Helgu Tulinius o.fl. (1986). Í þessum rannsóknum koma Laugarnes- og Elliðaárvæði út sem hitaðir.

Eins og áður sagði er Krýsuvíkursprungusveimurinn rétt fyrir austan Elliðaárvæðið. Í sniði S-S' (mynd 4) er sýnt jarðfræði- og hitasnið frá RV-4 á Laugarnessvæðinu til H-39 sem er 3-4 km fyrir austan vinnslusvæðið á Elliðaárvæðinu og í vesturjaðri Krýsuvíkursprungusveimsins. Staðsetning borholanna sem varpað er á sniðið er sýnd á mynd 1. Jarðlagaskipan er mjög einfölduð á myndinni. Bergmyndunum er skipt í þrjár syrpur, þ.e. *Efri basaltsyrpu*, *Móbergssyru* og *Neðri basaltsyrpu*. Auststu holurnar eru holan við gamla klakhúsið og H-39. Holan við gamla klakhúsið er ekki nema 164 m djúp, hún er köld (5°C) niður í botn holu. H-39, sem er 332 m djúp, er einnig 5°C heit niður í botn svo báðar þessar holar eru í kalda grunnvatnskefinu og nær það því niður á meira dýpi en þessar holar. En við vit um útfrá öðrum rannsóknum, t.d. viðnámsmælingum (Lúðvík S. Georgsson 1985) að dýpi kalda vatnslagsins eykst eftir því sem austar dregur. Ef línan sem sýnir neðra borð kalda grunnvatnsins á mynd 4 er fram lengd til austurs næði kalda grunnvatnið niður á 1000 m í 6-7 km fjarlægð frá vinnslusvæðinu. Á sömu slóðum er miðja háviðnámslagsins á 750 m dýpi (Lúðvík S. Georgsson 1985).

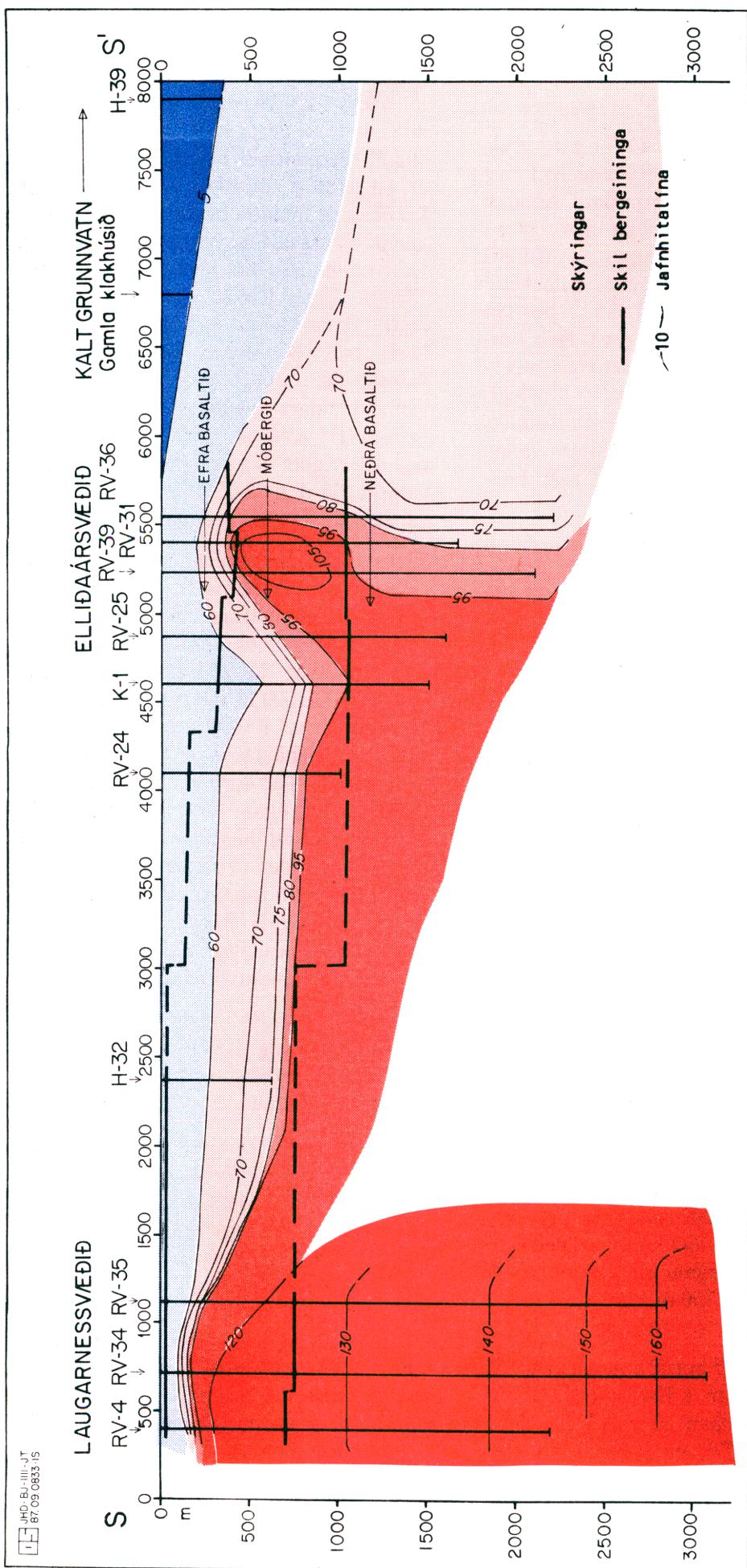
Ein hola hefur verið boruð í gegnum kalda vatnslagið, þ.e. holan í Kaldárseli, sem er 25-35 km fyrir sunnan sniðið S-S' (Jens Tómasson o.fl. 1977), en þar var borað í

gegnum kalda vatnslagið á 750 m dýpi. Fyrir neðan kalda vatnslagið er hitastigull $80^{\circ}\text{C}/\text{km}$. Sé gert ráð fyrir því að þessi hitastigull einkennist af hræringarkerfi enn neðar, þá er hægt að reikna á hvaða dýpi vatnskerfið er ef hitann í því þekktur. Ef síðan er gengið út frá því að þetta vatnskerfi sé jafn heitt og vatnskerfið, sem finnst fyrir neðan 1300 m dýpi í RV-36 og er rúmlega 70°C heitt, táknað það að efra bord á slíku vatnskerfi yrði 800-900 m fyrir neðan kalda vatnskerfið. Þetta þýðir að 6-7 km frá vinnslusvæðinu myndi efra bord á þessu vatnskerfi vera á 1800-1900 m dýpi. Á mynd 4 er gert ráð fyrir því að í suðaustri sé vatnskerfið á 1300-2200 m dýpi en hitni lítillsháttar þegar nær dregur vinnslusvæðinu.

Vatnskerfið sem er á milli 1300 og 2200 m dýpis í holu RV-36 og er $72-73^{\circ}\text{C}$ (mynd 4) hitnar ört til vesturs. Á milli RV-36 og RV-39 hækkar hitinn um $10-14^{\circ}\text{C}$, í 84°C . Á milli RV-39 og RV-25 hækkar hitinn svipað, þ.e. á 1500-1600 m dýpi er hitinn í RV-25 $101-102^{\circ}\text{C}$, en í RV-39 er hann á sama dýpi 78°C . Þessi hitastökk eru sennilega vegna misgengja en það verður rætt nánar síðar. Á mynd 4 eru dregnar 95°C og 105°C jafnhitalínur. Þessar jafnhitalínur eru nær mældum hita í holunum en ef valdar væru jafnhitalínur sem stæðu á tug, t.d. er nokkuð víst að í K-1 sé vatnskerfi (sjá Viðauka I) sem er 95°C eða heitara fyrir neðan 1070 m dýpi, og í RV-24 er hitinn í botni 96°C .

Í holum RV-31, RV-39 og RV-36 er viðsnúinn hitaferill og heita vatnið fyrir ofan 1000 m virðist komið úr norðri. Þetta verður rætt nánar í kafla 3.

Líklegast er að $95-100^{\circ}\text{C}$ heita vatnskerfið sem kemur fram í RV-24, RV-25 og K-1 nái inn undir Laugernessvæðið því í RV-40 í Laugardal er rúmlega 100°C heitt vatnskerfi frá 1000-2000 m. Þessi hola er ekki tengd inn á sniðið S-S'. Bæði er holan nokkuð langt fyrir norðan sniðið og einnig er ekki ætlunin í þessari skýrslu að ræða innri byggingu Laugernessvæðisins. Það verður gert annars staðar (Hilmar Sigvaldason o.fl. 1988). Mikil hækkun á hita er frá austri til vesturs í sniði S-S' (mynd 4).



MYND 4 Jarðfreði-og hitasnið frá Laugarnessvæði, gegnum Elliðaársvæði að H-39. Synd eru jarðlög og jafnhitlunar. $70 = 70^{\circ}\text{C}$ jafnhitlina. Jarðlögunum er skipt í þrjár jarðlagasýpur, Eftir basalt-sýpu, Móbergs-sýpu og Neðri basalt-sýpu.

Í holu RV-4 á Laugarnessvæðinu er hitinn 146°C á 2200 m dýpi, en á sama dýpi í RV-36, austustu holunni á Elliðaárvæðinu, er hitinn 72°C. Hitaaukningin er því 74°C, en þar af er hitaaukningin nærri Laugarnessvæðinu yfir 40°C. Á 3000 m dýpi er hitinn á Laugarnessvæðinu kominn yfir 160°C (Árný E. Sveinbjörnsdóttir o.fl. 1985; Guðmundur Ó. Friðleifsson o.fl. 1985).

2.3 Skilgreining á hugtakinu ΔT og notkun þess

Til að bera hitann á Elliðaár- og Laugarnessvæðum saman við þann hita sem myndi verða ef hann ákvárdædist einungis af varmastreymi frá iðrum jarðar skulum við líta á þrjá hitaferla á mynd 5, fyrst hitaferil í 1400 m djúpri holu á Akranesi. Hitinn stígr svo til jafnt í holunni, sem þýðir að ekkert vatnsrennsli er í berGINU sem truflar hitaferilinn svo langt sem holan nær. Þetta er því líklega góð hola til að mæla hitastigul sem er mælikvarði á varmastreymi frá iðrum jarðar. Hitaferillinn frá Laugarnesi er úr nokkrum holum. Efsti hluti ferilsins niður á 480 m eru botnhitamælingar í H-25. Þetta er hola sem HR létt bora með haglabor. Pessar mælingar eru gerðar þegar hlé verður á borun, annaðhvort yfir nött eða lengra hlé svo sem helgi. Pessar mælingar gefa því góða mynd af berghitanum á þessu dýptarbili. Hinir punktarnir eru botnhi í mismunandi holum og er númer holanna merkt inn á myndina. Pessar hitamælingar eru gerðar löngu eftir að hætt var að bora og gefa því góða mynd af berghitanum í botni viðkomandi hola. Þar sem holurnar eru stutt hver frá annari eins og sýnt er á mynd 5 er hitinn nokkuð jafn einkum eftir að komið er niður yfir 1000 m dýpi. Ætti þessi ferill að vera góður einkennisferill yfir hitann á Laugaressvæðinu. Þessi hitaferill er ein kennandi yfir uppstreymisrás jarðhitavatns eða hræringu (sjá 2.1).

Priðji hitaferillinn er úr RV-36 á Elliðaárvæðinu. Þessi hitaferill ætti að gefa góða mynd af berghita í holunni því mælingin er gerð 144 dögum eftir borun og hitinn hafði lítið breyst frá mælingunni á undan sem var

gerð 64 dögum eftir borun. Þessi hitamæling sýnir viðsnúinn hitaferil, sem þýðir að borað er í gegnum hitahámark. Þetta hitahámark er vegna uppstreymis heits vatns af miklu dýpi eftir einhverri lóðrétttri jarðfræðilegri smíð eins og sprungu, misgengi eða gangi. Þetta vatn rennur síðan lárétt út frá "ganginum" eftir lekum jarðlögum. Vegna þess að vatnið léttist við að hitna getur heitara vatnið flotið ofan á því kaldara.

Hér verður innleitt hugtakið ΔT , sem er munurinn á hita samkvæmt viðmiðunarhitastigli og hitanum í jarðhitakerfinu. Þessi munur er negatívir þegar hitinn er minni en ætti að vera samkvæmt hitastigli en positívir þegar hann er hærri.

Hitastigull á hverjum stað, sem er mælikvarði á varmastreymi frá iðrum jarðar, eins og áður sagði, kallast viðmiðunarhitastigull og hitinn á framlengdum hitastigli viðmiðunarhit. Ef hitaferillinn frá Akranesi yrði framlengdur niður á 2200 m dýpi yrði viðmiðunarhitinn á því dýpi 286°C en á sama dýpi er hitinn í RV-4 146°C. Því er $-\Delta T = 140^\circ\text{C}$, en í RV-36 er hitinn 73°C, $-\Delta T$ er því 213°C (sjá mynd 5).

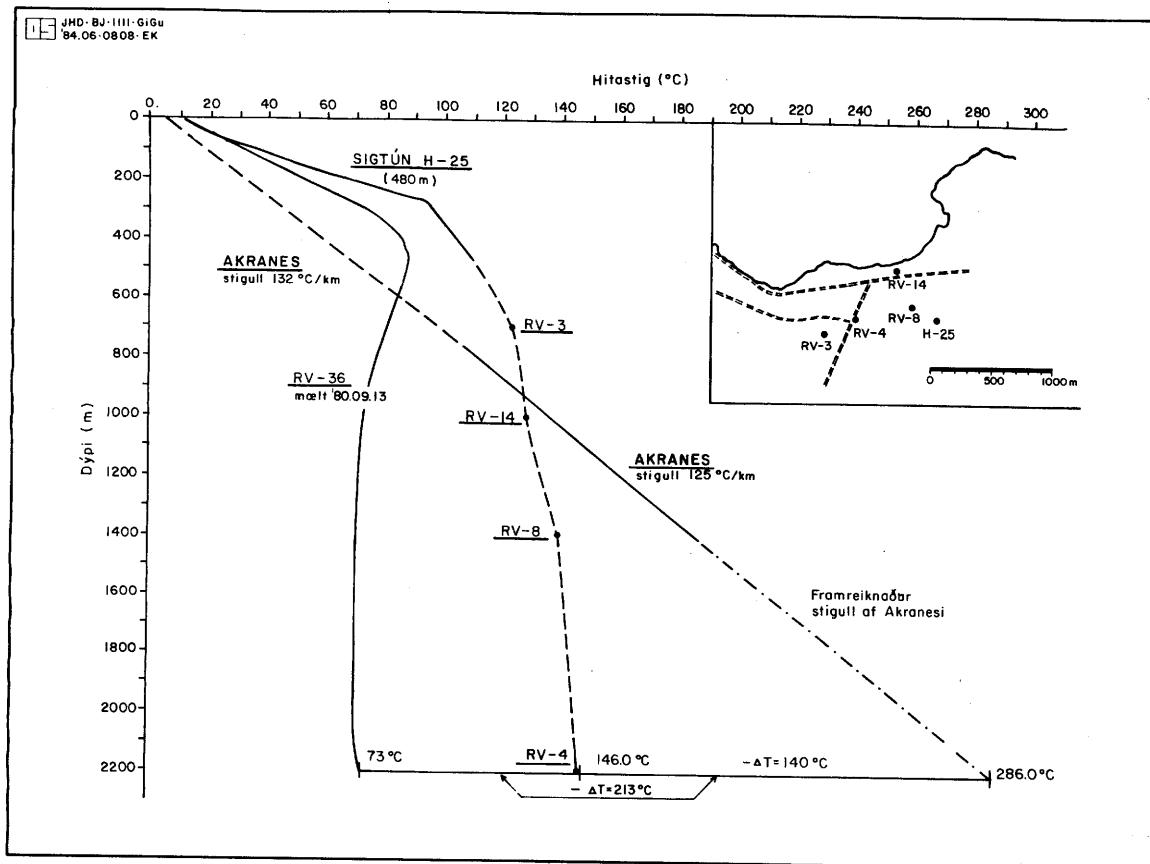
Ef viðmiðunarhitastigull væri þekktur fyrir hvert jarðhitavæði, væri hægt að reikna út hvernig jarðhitavatnið breytir hita bergsins frá viðmiðunarhit. Í jöfnum (1) og (2) er hægt að reikna ΔT út frá viðmiðunarhitastigli

$$(1) T_D = \text{hiti á dýpi m}$$

$$(2) \Delta T = T_D - (\text{viðmiðunarhitastigull} \times \text{dýpi m})/1000$$

Samkvæmt myndum 2 og 3 hækkar viðmiðunarhitastigullinn þegar nær dregur gosbeltinu en jafnframt eykst óvissan um hvaða viðmiðunarhitastigul á að nota. Allar mælingarnar á mynd 5 eru frá holum nærri vestara gosbeltinu, 20-50 km frá viðmiðunarrás (mynd 3).

Á myndum 6 og 7 er reiknað út hvernig ΔT -gildin breytast með dýpi á Laugarnes- og Elliðaárvæðinu með því að reikna með mismunandi viðmiðunarhitastigli og notaðir hitaferlarnir frá mynd 5. Fyrir neðan 2200 m



MYND 5 Samanburður á hitaferlum frá Laugarnessvæði, Elliðaárvæði og Akranesi

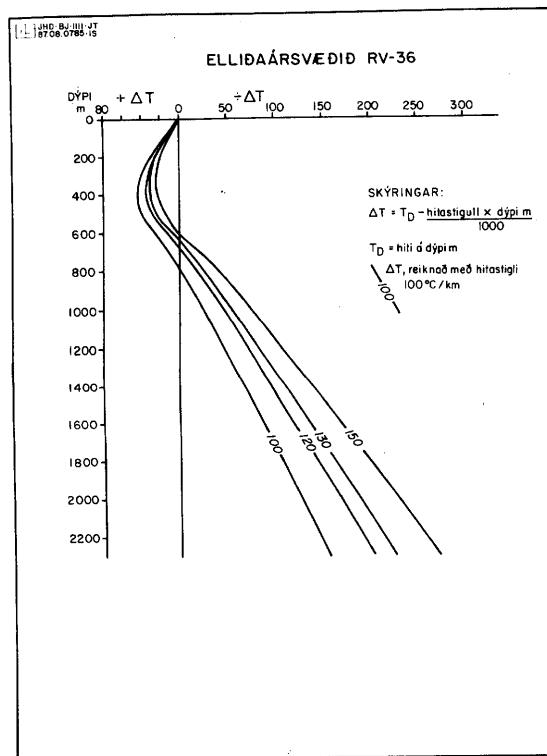
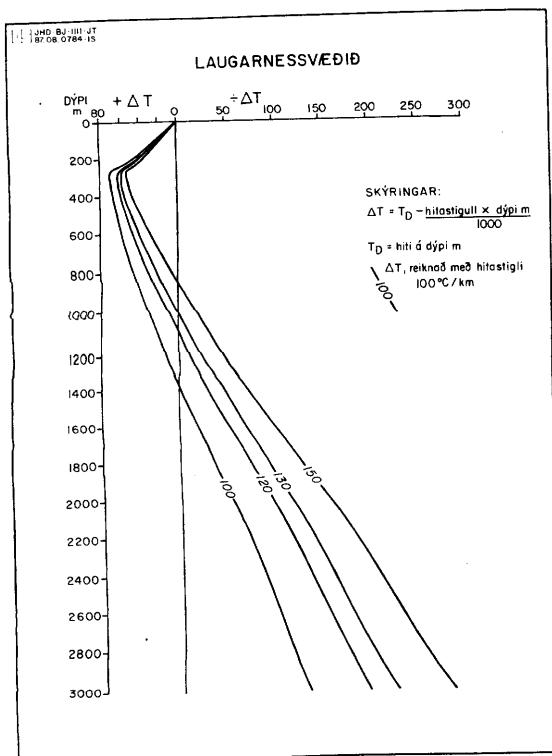
á Laugarnesi eru notaðar hitamælingar frá RV-34 og RV-35 (sjá mynd 4).

Núll ΔT -línan táknað hitann skv. viðmiðunarhitastigli, og þegar hitinn í jarðhitakerfinu er hærri en viðmiðunarhitastigullinn er ΔT pósítívt en þegar hann er lægri er ΔT negatíft.

Ferlarnir á þessum myndum hafa nokkur sameiginleg einkenni. Efst uppi er jarðhitakerfið heitara en það ætti að vera samkvæmt hitastigli, ΔT pósítívt, en dýpra í kerfinu er kaldara og það er ΔT negatívt, þ.e. jarðhitavatnið hefur kælt bergið og sú kæling vex með dýpi í öllum tilfellum. Kælingin er því meiri sem reiknað er með hærri hitastigli. T.d. gæti kælingin á Laugarnessvæði á 3000 m dýpi verið frá 134°C upp í 286°C eftir því hvort reiknað væri með hitastigli 100°C/km eða 150°C/km. En það er einnig munur á myndunum. Það er miklu meiri

kæling í RV-36 á Elliðaárvæðinu en á Laugarnessvæðinu miðað við 130°C hitastigul. Ferlarnir á myndum 6 og 7 myndu gefa 220°C kælingu í RV-36 á 2200 m dýpi, en til að fá sömu kælingu á Laugarnessvæðinu yrði að fara niður á 3000 m dýpi.

Við sjáum einnig að ΔT -ferlarnir eru línulegir frá ákveðnu dýpi þar sem ΔT minnkar með dýpi. Þetta er vegna þess að hitinn í jarðhitakerfunum er tiltölulega jafn á þessu dýptarbili. Hallinn út frá dýptarás fer eftir því hvernig hitinn breytist með dýpi. Hallinn á ΔT -ferlunum í Laugarnesi er minni en á Elliðaárvæðinu vegna þess að hitinn á Laugarnessvæðinu vex með dýpi en í RV-36 er hitinn jafn frá 1200 m dýpi. ΔT -ferlarnir frá holum með jafnan hita mynda allir beina línu með sama halla en skera núll ΔT -línuna á mismunandi dýpi, t.d. myndu kaldar holur (5°C heitar) skera ΔT -línuna við yfirborð og



MYND 6 Breytingar á ΔT með dýpi á Laugarnessvæði

á þessari línu eru lægstu ΔT -gildin. Þetta táknað að ΔT -gildið á hverju dýpi getur lægst verið sama tölugildi og viðmiðunarhitastigullinn, en með öfugu formerki.

Miklar hitabreytingar í holum ættu að koma fram á ferlunum. Ef borað væri gegnum vatnsgengt berg myndi hitna mjög ört í holunni því hitastigullinn yrði miklu brattari fyrir neðan vatnskerfi en hitistigullinn frá yfirborði; því myndi ΔT -gildið skv. slíkum ferli stefna á núll ΔT -línuna. Flatarmál kælda hlutans á myndum 6 og 7 er einingarlaus mælikvarði á kólnun/hitnun, miðað við viðmiðunarhitastigul. Útkoman úr slíkum reikningum er að á Laugarnessvæðinu hefur orðið 2-13 sinnum meiri kólnun en hitnun, en í RV-36 á Elliðaárvæðinu hefur kólnun orðið 7-27 sinnum meiri en hitnunin.

2.4 Varmanám

Í kafla 2.1 var rætt nokkuð um að streymishraði gæti haft áhrif á hita jarðhitavatnsins.

MYND 7 Breytingar á ΔT með dýpi í RV-36 á Elliðaárvæði

Ef við snúum þessari umræðu svolítið við og lítum á hvaða þættir hafa áhrif á kólnun bergsins, þá segir ΔT -gildið okkur hve kólnunin hefur orðið mikil, en það segir ekkert um rúmmál þess bergs, sem er að kólna. Tvívetnismælingar Braga Árnasonar (1976) (sjá einnig kafla 2.1) benda til þess að jarðhitavatnið hafi runnið misjafnlega langa leið og í kafla 3.7 eru færð rök fyrir því að samband sé á milli tvívetnisinnihalds vatnsins og hita þess þannig að vatnið er því heitara sem það hefur farið lengri leið. Heitasta vatnið (á Laugarnessvæðinu) hefur farið 40-50 km leið, en í líkaninu, sem sett er fram í kafla 2.2. hefur kaldasta vatnið farið um 7 km leið. Þetta þýðir að kólnunin á bergi verður þeim mun meiri sem vatnið hefur farið styttri leið. Með öðrum orðum er varmanámið mest nærri niðurrennslisstað vegna þess að þar er vatnið kaldast og mestur munur á milli hita þess og bergsins sem það er að kæla. Eftir því sem vatnið hefur farið lengri leið frá niðurrennslisstað hitnar það

af bergeninu og kælingarmáttur þess minnkar vegna þess að hitamunur þess og bergsins minnkar. Varmanámið er háð lekt bergsins, sem það rennur í gegnum frá niðurrennslis til uppstreymisstaðar. Þegar lektin er lítil og upp að einhverju lektarmarki, tekur vatnið ekki upp meiri varma úr bergeninu en sem svarar til varmastraums frá iðrum jarðar. En eftir því sem lektin í rennslisrás jarðhitavatnsins eykst þeim mun meira varmanám verður. Þegar varmanámið er mest tekur það allan varma úr bergeninu eins og í Krýsuvíkursprungusveimnum þar sem kalt grunnvatn nær niður undir 1000 m dýpi vegna mikillar lektar bergsins (sjá kafla 2.2). Þarna má gera ráð fyrir að lektin sé afgerandi fyrir kælingu bergsins.

Það er því berglektin og fjarlægð jarðhitavæðisins frá niðurrennslisstað, sem ræður því hve mikil kæling verður. En til þess að mikil kæling verði þarf mikla lekt þess bergs, sem vatnið fer um en lektin þarf ekki að vera jöfn í bergeninu. Þeim mun dýpra sem vel lekir vatnsleiðarar eru þeim mun meiri kæling verður. Til dæmis gæti kælingin á neðri hluta Elliðaárkerfisins verið vegna lekra vatnsleiðara fyrir neðan botn númerandi hola.

Guðmundur Pálsson (1981) hefur bent á, að út frá landrekskenningunni þjappist sprungur fyrir ofan 2000 m saman en fyrir neðan víkki þær út við rekið á svæðum nálagt gosbeltunum. Þetta styður þá tilgátum að við getum átt von á mikilli lekt með djúpum holum á Elliðaárvæðinu.

Er eitthvert samband á milli lektar og ΔT -gildis? Nei, það er ekkert beint samband á milli ΔT -gildis og lektar, en þegar ΔT er orðið negatíft má að öðru jöfnu búast við meiri lekt eftir því sem ΔT er lægra, en þetta snýst við þegar ΔT er pósítíft í uppstreymisrásum og hræringarkerfum, en þá má búast við meiri lekt eftir því sem ΔT er hærra. Hitinn í efri hluta jarðhitakerfanna getur átt sér miklu flóknari skýringar en þetta (sjá kafla 3).

Til að meta orkuna frá varmanáminu þurfa nokkur atriði að vera þekkt, t.d. hve mikil

kólnun er, hve stórir bergmassar eru að kólna og hraði kólnunarinnar. Hér á undan höfum við fjallað um kólnunina og staðrbergmassans sem er að kólna. Við höfum sýnt fram á að kólnun er í allri rennslisrás jarðhitavatnsins frá niðurrennslisstað til uppstreymisstaðar. Þetta getur þýtt að tugir ef ekki hundruð rúmkílómetrar af bergi gætu hafa kólnað um 100-200°C að meðaltali miðað við viðmiðunarhitastigul. En hér er ekkert fjallað um hraða kólnunar eða skyld efni eins og aldur varmanámsins, hvort varmanámið er samfellt, eða hvort það er bundið við ákveðinn tíma í jarðsögunni og sé nú að mestu afstaðið.

Jarðsagan gæti ef til vill veitt einhver svör við þessum spurningum. Ísöld er "stór" jarðfræðilegur atburður sem hafði mjög mikil áhrif á grunnvatnsstremi vegna þess að grunnvatnsborð lækkaði mjög mikið, sérstaklega ef jökullinn er freðjökull. Það gæti gert það að verkum að grunnvatnsstremið, þar með talið streymi jarðhitavatnsins, myndi hægja á sér eða jafnvel stöðvast. Við ísaldarlok mundi grunnvatnsborðið hækka aftur og auk þess mundi berglektin verða mjög mikil vegna þrýstilækkunar í jarðskorpanni við það að jökullinn hverfur. Gunnar Böðvarsson (1983) gerir ráð fyrir því að varmanámið hafi hafist við ísaldarlok. Jarðskjálftar og t.d. jarðskjálftahrinur eins og nú nýlega hafa gengið yfir Kröflusprungusveiminn myndu auka mjög berglektina tímabundið og þar með varmanámið.

Ummundun gefur okkur miklar upplýsingar um hita áður fyrr á jarðhitavæðunum, en lítil sem engin ummyndun er á jarðhitavæðinu við Elliðaár niður á 170 m dýpi og í H-39 er nær engin ummyndun. Í Kaldárselsholunni er engin ummyndun niður á 412 m dýpi, og fyrir neðan það dýpi er ummyndun einnig lítil og bendir það til þess að hitinn hafi aldrei farið yfir 50°C. Þetta gæti þýtt að númerandi aðstæður í Krýsuvíkursprungusveimnum séu að minnsta kosti jafngamlar og berg sem nær niður í nokkur hundurð metra dýpi (400 m) og það er að minnsta kosti 100-200 þúsund ára gamalt.

Ummundun ber þess merki að bergið sem Kaldárselsholan sker hafi kólnað verulega frá því sem það hefur verið heitast og líklegt er að þessi kólun hafi átt sér stað við jarðskjálftahrinur sem hafa aukið niðurrennslu af köldu vatni í gegnum jarðskjálftasprungur. Einnig er hugsanlegt að á ísöld hafi bergið hitnað, vegna þess að varmanámið hafi stöðvast en við lok ísaldar hafi það síðan hafist á ný og bergið kólnað aftur.

Ef ummyndun í Kaldárselsholunni er dæmigerð fyrir bergið í Krísvíkursprungusveimnum þá hefur hiti í efstu 1000 m alltaf verið miklu lægri en viðmiðunar hitastigull, sem bendir til þess að varmanámið sé nærrí jafn gamalt bergen, sem táknað að það sé a.m.k. nokkur hundruð þúsund ár síðan varmanámið hófst.

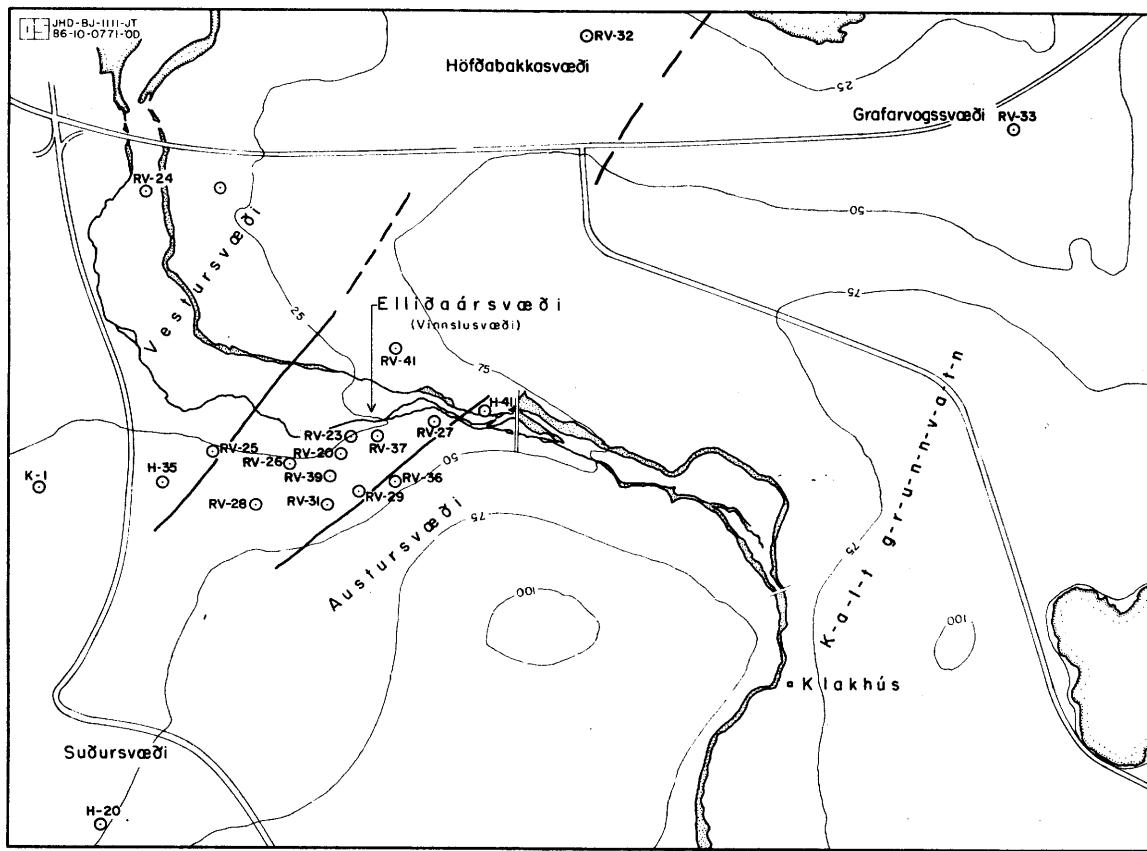
Bæði Laugarnes- og Elliðaárvæðið hafa verið háhitavæði með upp undir 300°C hita samkvæmt ummyndun. Líklegt er að þessi svæði hafi verið háhitavæði þegar þau voru inni í gosbeltinu fyrir milljónum ára en hafi síðan rekið út frá gosbeltinu og kólnað. Sú kólun sem hér er til umræðu gæti að hluta til verið margra milljón ára gömul og í beinu sambandi við landrekið.

Varmanámið er líklega jafngamalt landrekini og er afleiðing af því. Varmanámið er mest í sprungusveimnum í gosbeltinu og á jöðrum þess á hverjum tíma, en minnkari síðan út frá því eftir því sem bergið eldist og sprunguvirkni minnkari, sem leiðir til minni lektar. Varmanámið er ekki jafnt og hefur áður verið rætt um two jarðfræðilega atburði sem hafa mikil áhrif á það, skjálftahrinur og ísaldir. Jarðskjálftahrinur örva varmanámið, en ísaldir stöðva það. Varmanámið er líklega mikið nú þar sem ekki eru liðin nema tíu þúsund ár frá síðustu ísöld, sem stóð í sjötíu þúsund ár. Líklegt er því að verið sé að vinna varma úr bergen, sem safnaðist upp á síðustu ísöld. Með góðum vilja má sjá merki um slíka hitnun í ummyndunum. Túlka mætti merki um hærri hita í Kaldárselsholunni sem hitnun á ísöld. Þessi hitnun hefur þó ekki náð viðmiðunarthita. Nákvæmar ummyndunarrannsóknir myndu gefa miklu nákvæmari mynd af hita-

sögu bergsins sem holan sker, heldur en þá sem við höfum nú. Sama gildir almennt um ummyndunarrannsóknir á Elliðaárvæðinu.

Á síðustu árum hafa orðið nokkur þáttaskil í ummyndunarrannsóknum. Í stað þess að meta hita úr frá heildarummyndun er nú reynt að meta afstæða stöðu útfellinga og út frá því er hægt að rekja hitabreytingar sem orðið hafa með tíma (Guðmundur Ó Friðleifsson 1983). Frekari ummyndunarrannsóknir þar sem þessum nýju aðferðum yrði beitt gætu því varpað nýju ljósi á sögu varmanámsins á svæðinu. Einnig gætu vökvabólurannsóknir gefið nýjar upplýsingar um breytingar á hita á Elliðaárvæðinu. Jarðhitadeild á nú tæki til að mæla hitann sem vökvabólurnar í steindunum mynduðust við.

Gunnar Böðvarsson (1983) gerir ráð fyrir því að varmanámið sé staðbundið á sjálfum jarðhitavæðunum en í gögnum frá jarðhitavæðunum sem verið er að fjalla um hér hefur varmanámið farið fram á mislöngum rennslisrásum og er mest nærrí niðurrennslisstað. Til þess að varmanám eigi sér stað þarf einhverja lágmarkslekt og ef allt annað væri jafnt myndi varmanámið verða þeim mun meira sem lektin væri meiri. Ástæðuna fyrir hitaukningunni um 74°C á 2000 m dýpi frá austustu holunni á Elliðaárvæðinu yfir Laugarnessvæðið má rekja til þess að jarðhitavatnið hefur farið lengri leið eftir því sem vestar dregur, og því dregur úr varmanáminu í þá átt. Einnig er freistandi að ætla að lektin í rennslisrásinni aukist til austurs.



MYND 8 Landfræðileg skipting Elliðaárvæðisins

3. ELLIÐAÁRSVÆÐIÐ

3.1 Landfræðileg skipting svæðisins

Landfræðilega er svæðinu skipt í nokkur undirsvæði (mynd 8). Rökin fyrir þessari skiptingu eru fyrst og fremst vatnafræðileg. Þessi svæði eru: Vestursvæði, núverandi vinnslusvæði, Suðursvæði, Austursvæði, Höfðabakkasvæði og Grafarvogssvæði.

Vestursvæði: Á vestursvæði eru holurnar RV-25, RV-24, K-1 og H-38. Syðst á svæðinu voru lindir sem nú eru horfnar. Vatnafræðileg skil eru á milli þessa svæðis og vinnslusvæðisins því vatnsborðslækkunin vegna vatnsvinnslunnar er aðeins 4-22% af þeiri vatnsborðslækkun sem er inni á vinnslusvæðinu, en hún minnkar eftir því sem lengra er farið frá því (mynd 9). Hitamaelingar benda til 90-100°C heits vatnskerfis fyrir neðan 1000 m dýpi, en holurnar sem hingað til hafa verið boraðar á svæðinu hafa gefið lítið.

Suðursvæði: Á þessu svæði var talsvert mikið af volgrum sem nú eru horfnar (Prætuengi og Breiðholtsmýri) og hér er hola H-22. Í þessari holu er vatnsborðslækkunnin vegna vatnsvinnslunnar um 1% af lækkuninni á vinnslusvæðinu (mynd 9). Hitinn er mun lægri fyrir ofan 400 m dýpi en á vinnslusvæðinu.

Vinnslusvæði: Gerð verður nákvæm grein fyrir þessu svæði í köflum 4.2 og 4.3.

Austursvæði: RV-36 er eina holan á þessu svæði. Hún virðist skera vatnskerfi sem er í litlum tengslum við vinnslusvæðið á Elliðaárvæðinu því vatnsborð stendur hærra í henni en í hinum holunum og í þrýstiprófun komu engin vatnafræðileg tengsl fram á milli RV-36 og hinna holanna, fyrir neðan 1200 m dýpi.

Höfðabakkasvæðið: Þetta svæði er fyrir norðan vinnslusvæðið. Á þessu svæði er hola RV-32. Vatnsborðslækkun vegna vatnsvinnslunnar er 26% (mynd 9) af vatnsborðslækkuninni inni á vinnslusvæðinu. Þegar til-lit er tekið til fjarlægðar þessarar holu frá vinnslusvæðinu verður þetta að teljast all-gott vatnafræðilegt samband. Auk þess er vatnsborðið í holunni mjög vel í takt við

vatnsvinnsluna (Þorsteinn Thorsteinsson 1970). Hins vegar er ekki viðsnúinn hitaferill í holunni eins og í holunum á vinnslusvæðinu.

Grafarvogssvæðið: Tölувart er hér af lindum sem ekki hafa enn horfið við vinnslu á Elliðaárvæðinu, og tvær holur, RV-33 og H-22. Um þetta svæði verður fjallað í kafla 5.

3.2 Jarðfræði svæðisins

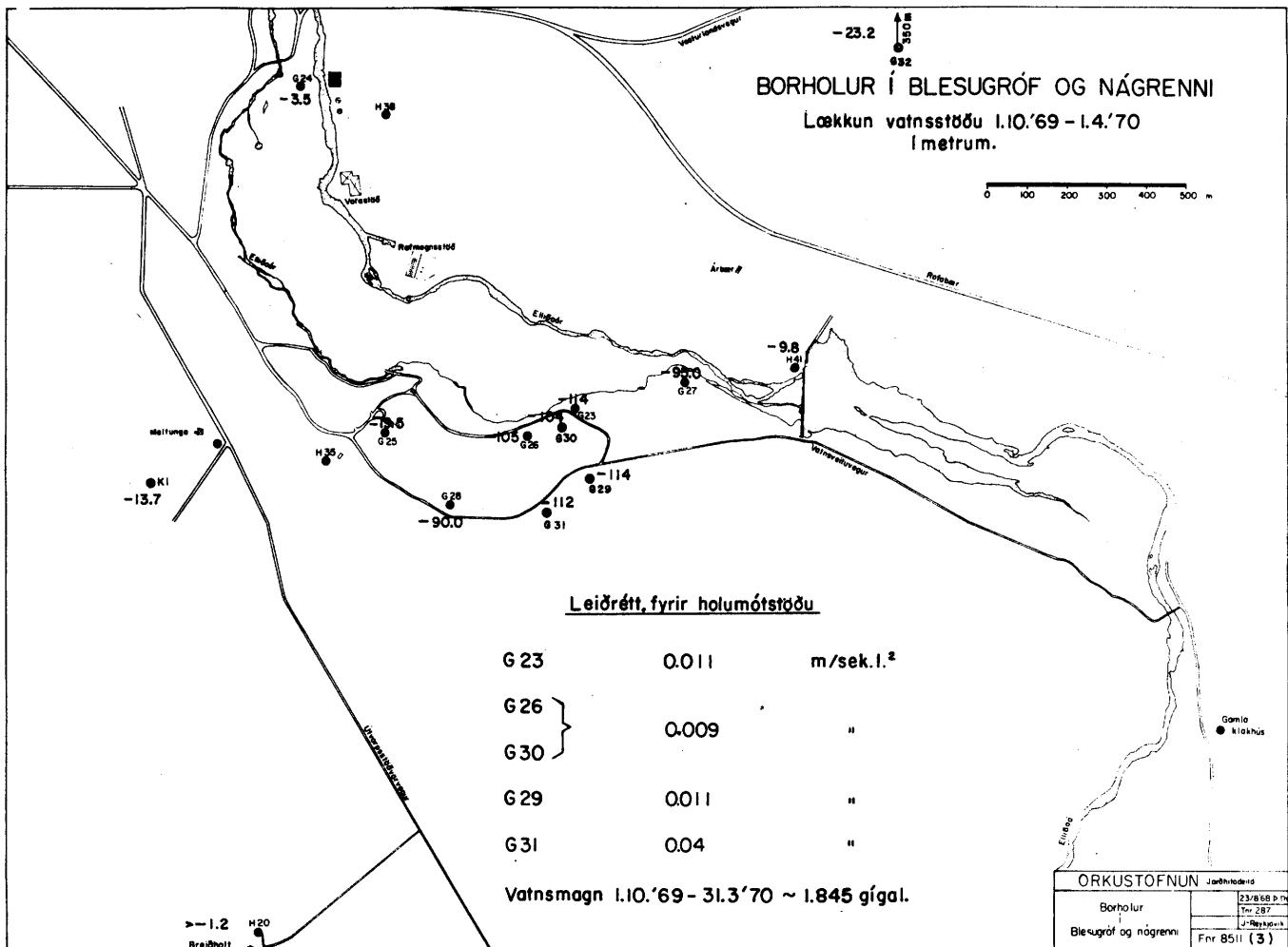
Jarðfræðilegri uppbyggingu svæðisins er hér skipt í þrennt. Þetta er einföldun á þeirri jarðlagaskiptingu, sem kom fram hjá Jens Tómassyni o.fl. (1977). Efst er "Efri basaltsyrpa" sem nær niður á 350-400 m dýpi (sjá myndir 11-18). Þessi lög voru áður kölluð B-1 og B-2 basaltsyrpur. Síðan kemur "Móbergssyrpa" sem nær niður á 950-1050 m dýpi. Þessi lög voru áður kölluð móbergssyrpur M-1, M-2 og M-3. Á milli móbergssyrranna eru basaltlög. Fyrir neðan móberglöggin tekur við "Neðri basaltsyrpa" sem áður var kölluð B-5 basaltsyrpa (Jens Tómasson o.fl. 1977).

Ummundun er lítil í efri basaltlögunum og nær engin niður á 170 m dýpi, en hinsvegar er ummundun talsverð í móberglöggunum, og neðri basaltlögunum. Auk upphleðslueininganna sem áður voru nefndar hafa misgengi, sprungur og innskot mikla þýðingu fyrir vatnafræði svæðisins. Þessi atriði munu verða rædd síðar í sambandi við vatnafræðilega þýðingu þeirra.

3.3 Vatnafræðileg bygging svæðisins

3.3.1 Flokkun vatnsleiðara

Hitaferlar í borholum á vinnslusvæðinu og hinni einu holu (RV-36) á austursvæði eru viðsnúir og hitatoppar holanna eru á 500-1000 m dýpi en þar fyrir neðan kólnar um 20-40°C (myndir 11-18). Á vestur-, Höfðabakka- og Grafarvogssvæði er hrингrásarkerfi (hræring) eða uppstreymi 100°C heits eða heitara vatns fyrir neðan 1000-1200 m dýpi, en á suðursvæðinu vantar nægilega djúpa holu til að sjá hvers konar vatnskerfi



MYND 9 Vatnsborðslækkun í holum á Elliðaárvæði (Porsteinn Thorsteinsson 1970)

þar er. Til að einfalda umræðuna er vatnsleiðurunum á Elliðaárvæðinu skipt í þrennt (myndir 11-18). Efst eru A-leiðararnir sem ná niður á 300-500 m dýpi og vatnið í þeim er 40-90°C heitt. Þeir eru einkum í efri basatlögnum. B-vatnsleiðarararnir eru í móbergslögnum og vatnið í þeim myndar hitatoppinn á vinnslusvæðinu sem var allt að 110°C heitur. C-vatnsleiðarararnir eru í neðri basatlögnum. Hitinn á vatninu í þessum leiðurum er 70-115°C.

A-leiðararnir: Eldri holurnar á svæðunum (RV-23 til 33) eru flestar aðeins fóðraðar niður í 100 m dýpi eða skemmra. Ekki varð vart við neinar verulegar vatnsæðar fyrr en á 300 m dýpi og neðar í þessum holum með-

an á borun stóð, en í 100-200 m koma vatnsæðar víða fram í hitamælingum. Þetta má túlka þannig að þrýstingur á þessum æðum hafi verið jafn þrýstingi vatnssúlu frá yfirborði þegar borað var í gegnum þær og þær því ekki komið fram sem skolaukning eða töp. En á 300 m dýpi verður vart við allverulegar vatnsæðar í nokkrum holum: RV-25, RV-32 og RV-33. Nokkur þrýstingur var á þessum æðum því það rann úr þeim eftir borun. Þrýstingur var mældur í einni holu, RV-33, og var um 1 kg/cm. Niðurstöður úr þessum hugleiðingum eru þær að þrýstingur sé lágur efst í A-leiðurunum, aukist svo með dýpi en verði þó aldrei mjög hár (<1 kg/cm). Öll undirsvæðin eru vatnafræðilega tengd í gegnum A-leiðara

nema Grafarvogssvæðið, sem er lítið tengt hinum.

Hitinn í A-leiðurunum er 40-90°C (sjá myndir 11-12, 14 og 16-18). Hitamælingar í borholunum eru einnig sýndar í Viðauka I. Flestar hitamælingar úr holunum gefa litlar upplýsingar um hitann í A-leiðurunum því meðan holurnar voru í borun voru þær mjög kældar og eftir borun getur upprennslí frá neðri og heitari vatnsæðum truflað þær. Þó eru til nokkrar upplýsingar um hitann á þessu dýptarbili. T.d. er hitinn á vatnsæðinni á 400 m dýpi í RV-23 vel þekktur því það rann úr holunni eftir að búið var að skera þessa æð og áður en fleiri vatnsæðar voru skornar og var hitinn 91,6°C. Einnig gefa nokkrar hitamælingar allgóða mynd af berghitanum í holunum, þ.e. hitamælingar sem bera það með sér að hvorki var upp eða niðurrennslí í holunum. Þetta á við um mælingarnar úr RV-23 frá 84.03.23 og mælinguna úr RV-29 frá 82.02.08. Notaður var efri hitatoppurinn í þessum mælingum, en lítið er á þessa hitatoppa sem resthita. Ef um einhverja skekkju er að ræða í þessu þá er upprunalegur hiti eitthvað hærri en þarna er mældur því einhver kólnun gæti einnig hafa orðið þarna. Hitamælingar frá H-41 gefa góða mynd af berghitanum í þessari holu. Austan við Elliðaárvæðið er kalt grunnvatn í efri basaltlögunum, sjá snið 0-0 á mynd 8. Jarðhitavatnið og kalda grunnvatnið eru því hlið við hlið í efri basaltlögunum án þess að nokkur jarðfræðileg skil skilji þessi vatnskerfi að og þar sem ummyndun er mjög lítil efst í efri basaltlögunum er líklegt að kalda vatnið austur af jarðhitakerfinu eigi greiða leið í gegnum A-leiðaranana þegar þrýstingur hefur fallið í jarðhitakerfinu við vatnsvinnsluna. Einnig er hugsanlegt að kalda grunnvatnið nái að einhverju leyti inn á jarðhitavæðið sjálf, að minnsta kosti á Grafarvogssvæðinu. Þar kemur heitt vatn til yfirborðs í sprungu sem er um 1 km fyrir austan RV-33, en þar nær kalt grunnvatn niður á 100-200 m dýpi (sjá nánar á síðu 45).

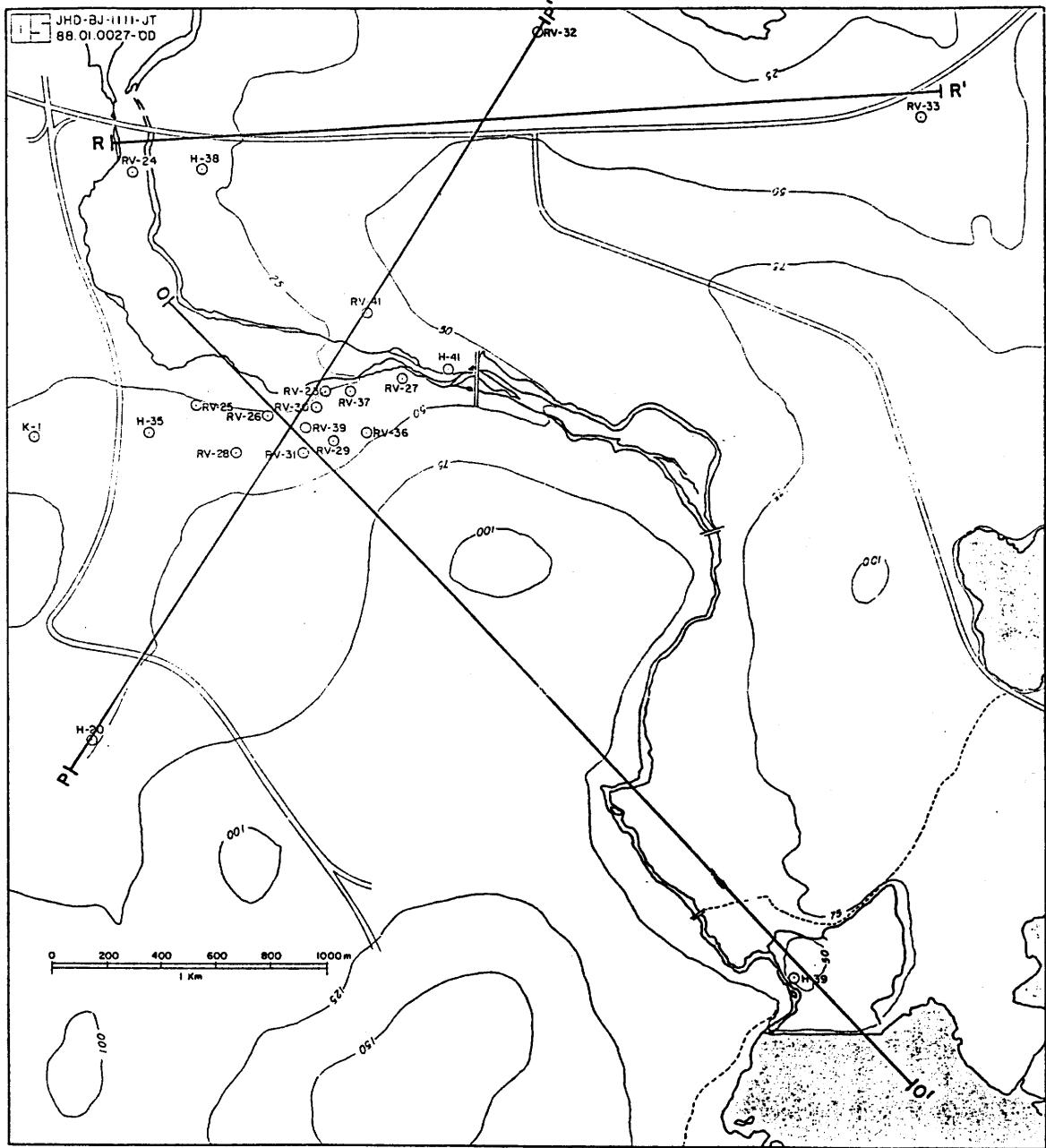
Þrýstingurinn í holu RV-23, sem er fyrsta holan, sem boruð var á svæðinu, var mæld-

ur 1968.01.10 og reyndist 5.5 bar, og þrýstingurinn í B-leiðara var jafn eða meiri. Samkvæmt hitamælingu, sem var gerð um leið og þrýstimælingin, rennur ekkert vatn inn í B-leiðara frá öðrum leiðurum, en hugsanlegt er að vatn renni frá B-leiðara inn í aðra leiðara. Sú mikla þrýstiaukning sem verður frá A-leiðurum til B-leiðara er líklega vegna þess að móbergslögin myndi eins konar þakberg fyrir B-leiðarana.

B-leiðaranum verður lýst nánar í umfjöllun um snið P-P', A-A', B-B' og C-C', mynd 12, og myndum 16-18.

C-leiðurunum verður lýst hér eftir um leið og hitaþversniðunum verður lýst. Á myndum 11-12, 14 og 16-18 eru sýnd sex hitaþversnið, staðsetning sniðanna er sýnd á myndum 10 og 15. Á þessum myndum er sýnd jarðfræðileg skipting svæðisins, einnig eru sýnd nokkur önnur jarðfræðileg fyrirbæri eins og innskot og misgengi og eiga þversniðin að gefa mynd af upprunalegum berghita á svæðinu.

Við gerð slíkra hitasniða eru aðallega fjórir skekkjuvaldar. Í fyrsta lagi kæling hola í borun. Það eru þó yfirleitt til nægilega margar hitamælingar eftir borun til þess að finna megi út hvaða hitamælingar eru kældar. Í öðru lagi rennsli úr holum og millirennslí á milli æða. Rennsli úr holunum ásamt kælingu í borun gerir það erfitt að meta hitann í A-leiðurunum. Í B-leiðurunum er hitahámark og fáum við því alltaf hámarkshítann, ef ekki er rennsli úr holunni, og með því að velja einungis þær hitamælingar sem við teljum að ekki séu truflaðar af millirennslí. Við teljum þó að þetta valdi ekki mikilli skekkju og að þess vegna hafi fengist allgóð mynd af berghitanum í B- og C-leiðurunum. Í þriðja lagi er skekkja í mælingunum sjálfum. Þessi skekkjuvaldur er sennilega ekki mjög mikill (1-2°C) því gott samræmi er á milli mælds hita í holunum og hitans á vatninu sem dælt er upp úr holunum, mældum með kvíkasifursmæli. Í fjórða lagi getur bergið sem nýrri holurnar skera hafa kólnað frá upphafi vinnslu til þess tíma er eldri holurnar voru boraðar. Hve þetta er mikill skekkjuvaldur er erfitt



MYND 10 Staðsetning hita- og jarðlagasniða O-O', P-P' og R-R'

að meta en þó líklegt að munað geti nokkrum gráðum. Einnig er líklegt að þetta sé misjafnt frá einni holu til annarar, t.d. hefur nær engin kólnun orðið í RV-36 síðan byrjað var að dæla úr þeirri holu og er því líklegt að vel valdar hitamælingar frá þeirri holu gefi góða mynd af upprunalegum berg-hita í nágrenni hennar.

3.3.2 Hita- og jarðlagasnið

Hita- og jarðlagasniðunum er skipt í two flokka: Annars vegar snið sem ná yfir allt Elliðaárvæðið og eitthvað út fyrir það. Þessi snið eru merkt O-O', P-P' og R-R'. Hins vegar snið sem eru að mestu inni á vinnslusvæðinu sjálfu og eru merkt A-A',

B-B' og C-C'. O, P, og R sniðin eru þannig að dýptar- og láréttur skali eru eins. Í A, B og C sniðunum er lárétti skalinn ýktur vegna þess að holurnar liggja mjög þétt saman.

Snið (O-O') er sýnt á mynd 11, en staðsetning þess á mynd 10. Þetta er næstum sama sniðið og austurhluti sniðsins á mynd 4 nema það hefur aðeins norðlægari stefnu. Aðalmunurinn á þessum sniðum er sá að kalda tungan á 1400-1800 m dýpi kemur miklu skýrar fram en á mynd 3. Þykkt tungunnar og hitinn er aðallega byggð á hitamælingum frá RV-39. Þar er lægstur hiti á 1500 m dýpi, 78°C, en hitnar svo í botn í tæplega 85°C.

Snið P-P' er sýnt á mynd 12, en staðsetning þess á mynd 10. Sniðið er frá H-20 þvert í gegnum heitasta hluta vinnslusvæðisins og í RV-32. Á sniðinu eru sýndar jarðlagasyrپurnar sem áður voru nefndar, en auk þessa er innskotíð í RV-32 sýnt því gera má ráð fyrir að það hafi mikla vatnafræðilega þýðingu. Í botni í RV-32 (1359 m) er 115°C hiti. Þetta gæti þýtt að vatnið sem myndar heitu tunguna inni á vinnslusvæðinu komi upp undan innskotunum og/eða upp um sprungu eða misgengi sem klýfur innskotíð. Heita tungan þynnist og grynnkar til suðurs jafnframt því sem hún kólnar og við H-20 er hitinn aðeins 40°C á tæplega 400 m dýpi. Vatnafræðilegar athuganir styðja þetta líkan því vatnafræðilegt samband er á milli RV-32 og vinnslusvæðisins í gegnum A og B vatnsleiðaranana (Porsteinn Thorsteinsson 1970).

Eins og áður sagði eru vatnafræðileg skil á milli vestursvæðisins og vinnslusvæðisins. Líklegt er að það séu einhver lóðrétt jarðfræðileg smíð sem skilji að þessi svæði. Á mynd 13 er gert ráð fyrir að þetta sé misgengi sem nái til RV-32. Vatnið í heitu tungunni færir þá eftir misgenginu til suðvesturs í átt að vinnslusvæðinu. Einnig er hugsanlegt að fleiri en eitt misgengi séu á milli RV-23 og RV-41 og einnig á milli RV-41 og RV-37. Eftir misgenginu (mynd 13) kemur einnig kaldur straumur frá suðvestri inn á svæðið fyrir neðan 700 m dýpi, álíka heitur og straumurinn sem kemur að austan eins og lýst var í sniði 0-0.

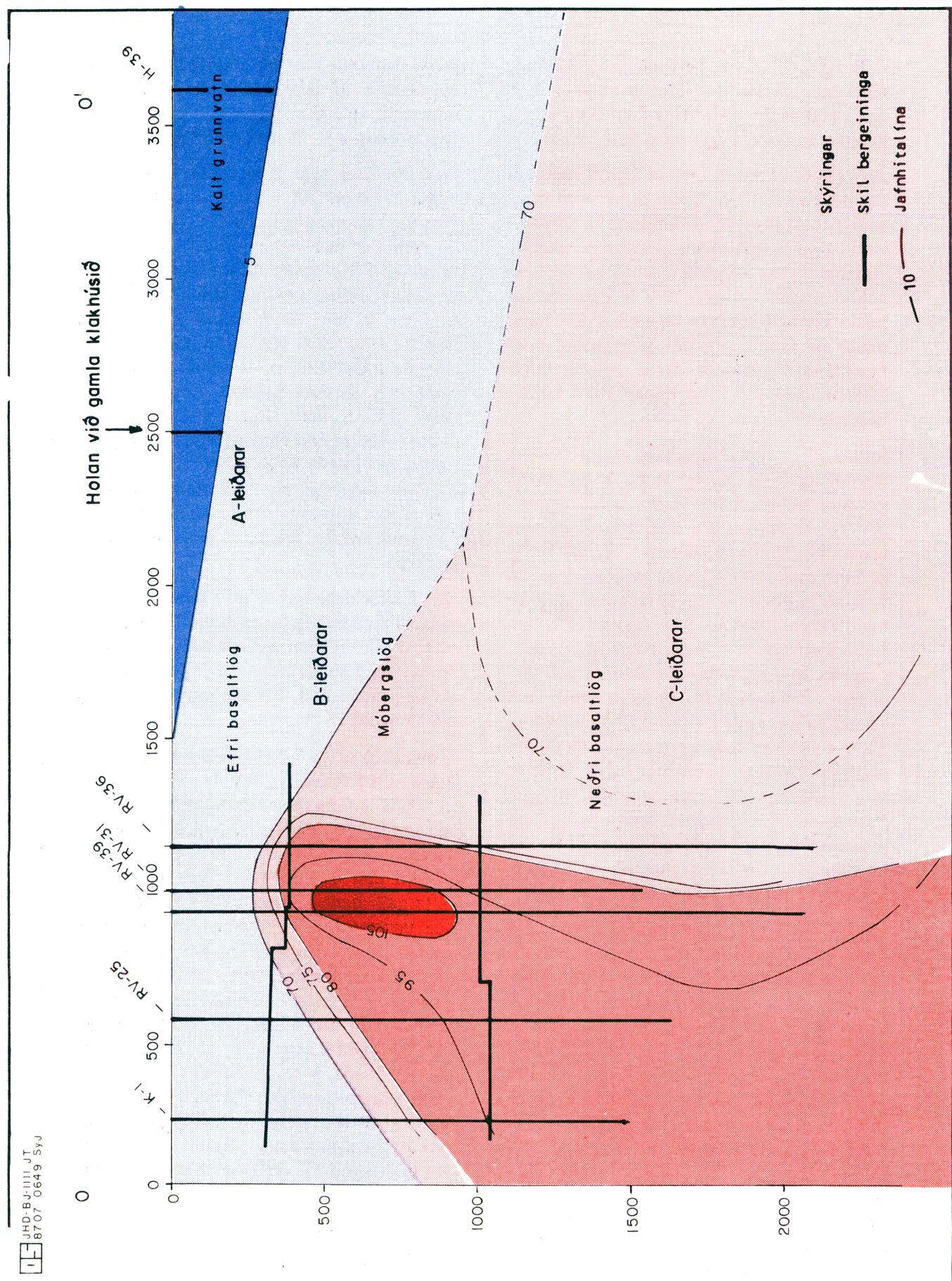
Þessi straumur nær varla mjög langt norður því farið er að dýpka á hitann í RV-41, en nákvæma staðsetningu vantar því holurnar fyrir norðan RV-39 eru grynnri en 1500 m.

Snið R-R' er sýnt á mynd 14. Þetta snið liggur næstum því í austur-vestur nyrst á svæðinu (sjá mynd 10), frá RV-24 til RV-33, og einnig er farið í gegnum RV-32. Ef litið er nánar á sniðið sést að innskotamyndunin er þykk í öllum þessum holum, en vatnafræðileg þýðing innskotanna kemur ekki fram í þessu sniði. Hér hitna holurnar með dýpi, en í 1200-1300 m er komið 100°C heitt vatnskerfi eða enn heitara. Í austustu holunni, RV-33, nær kaldavatnskerfið (5°C) niður á 100 m eða meira (þetta mun verða rætt nánar í kafla 5). Á mynd 13 er sýnd útbreiðsla móbergs og innskotamyndunar á 800 m dýpi. Innskotamyndunin finnst aðeins í þremur nyrstu holunum, sem áður voru nefndar.

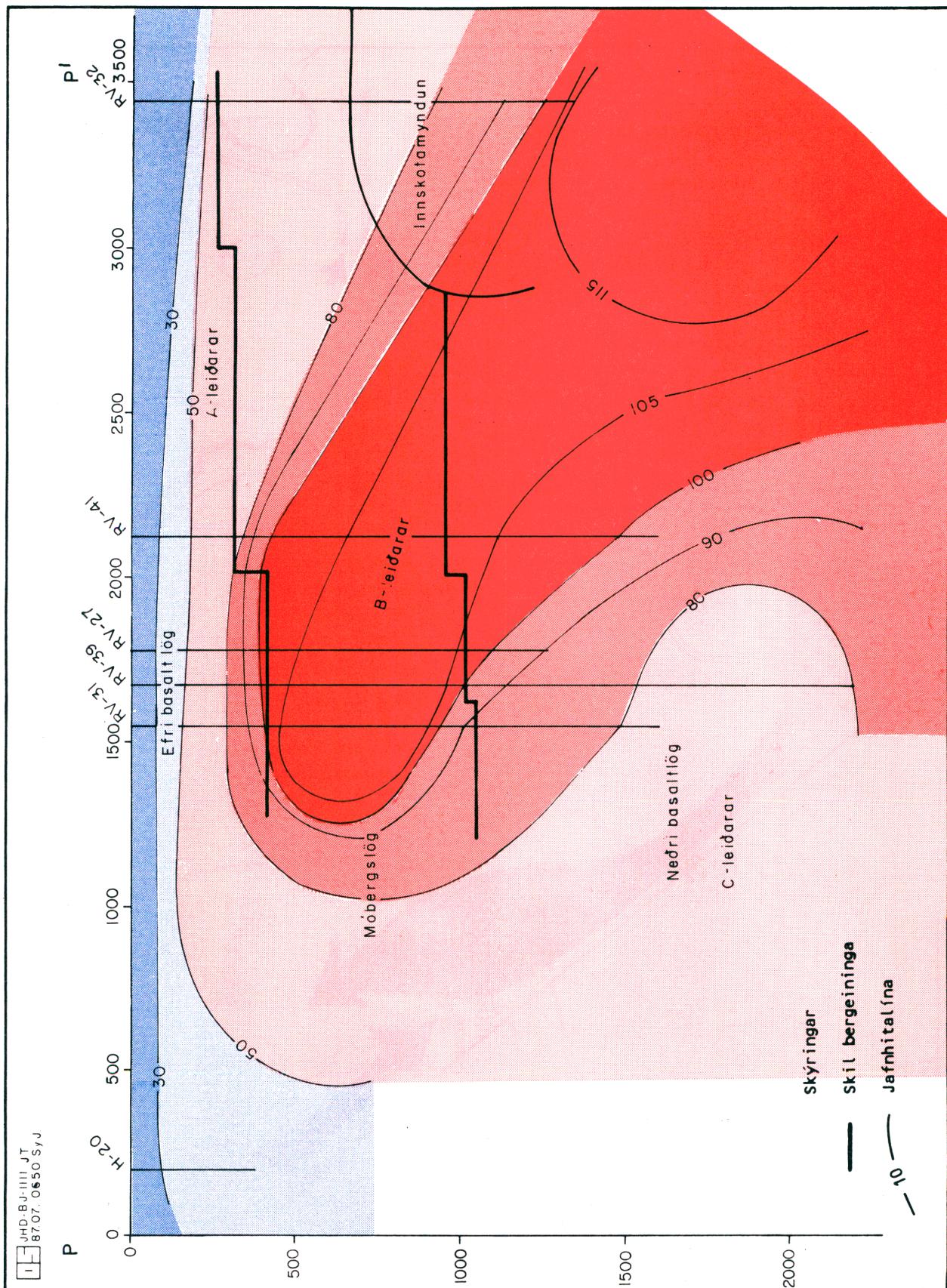
Hér á eftir verða sýnd þrjú þversnið til að sýna nánar hvernig þessir þrír vatnsleiðarar, A, B og C, eru inni á vinnslusvæðinu sjálfu og hve náið samband er milli þessara leiðara og jarðlaganna. Staðsetning sniðanna er sýnd á mynd 15.

Á mynd 16 er snið A-A', N-S hita- og jarðlagasnið frá RV-31 til RV-41. Eins og sést er 100°C jafnhitalínan mjög nærrí efri og neðri mörkum móbergsins á eldra borsvæðinu en í RV-41 nær 100°C línan niður á 1400 m dýpi eða 400 m niður fyrir móbergið. Þetta gæti bent til þess að RV-41 væri nálaegt uppstreymingu og heita vatnið renni til suðurs eftir móberginu frá því. Ef hún er mjög nærrí uppstreymingu ætti einnig að vera heitara í RV-41 en hinum holunum, en hæsti mældi hiti í henni er 107°C sem er 4,6°C lægri en hæsti mældi hiti inni á svæðinu. Það eru tvær skýringar á þessu. Í fyrsta lagi gæti bergið í grennd við RV-41 hafa kólnað frá upphafi vinnslu. Í öðru lagi gæti uppstreymirsásin, t.d misgengið sem sýnt er á mynd 13, verið norðvestur frá holunni.

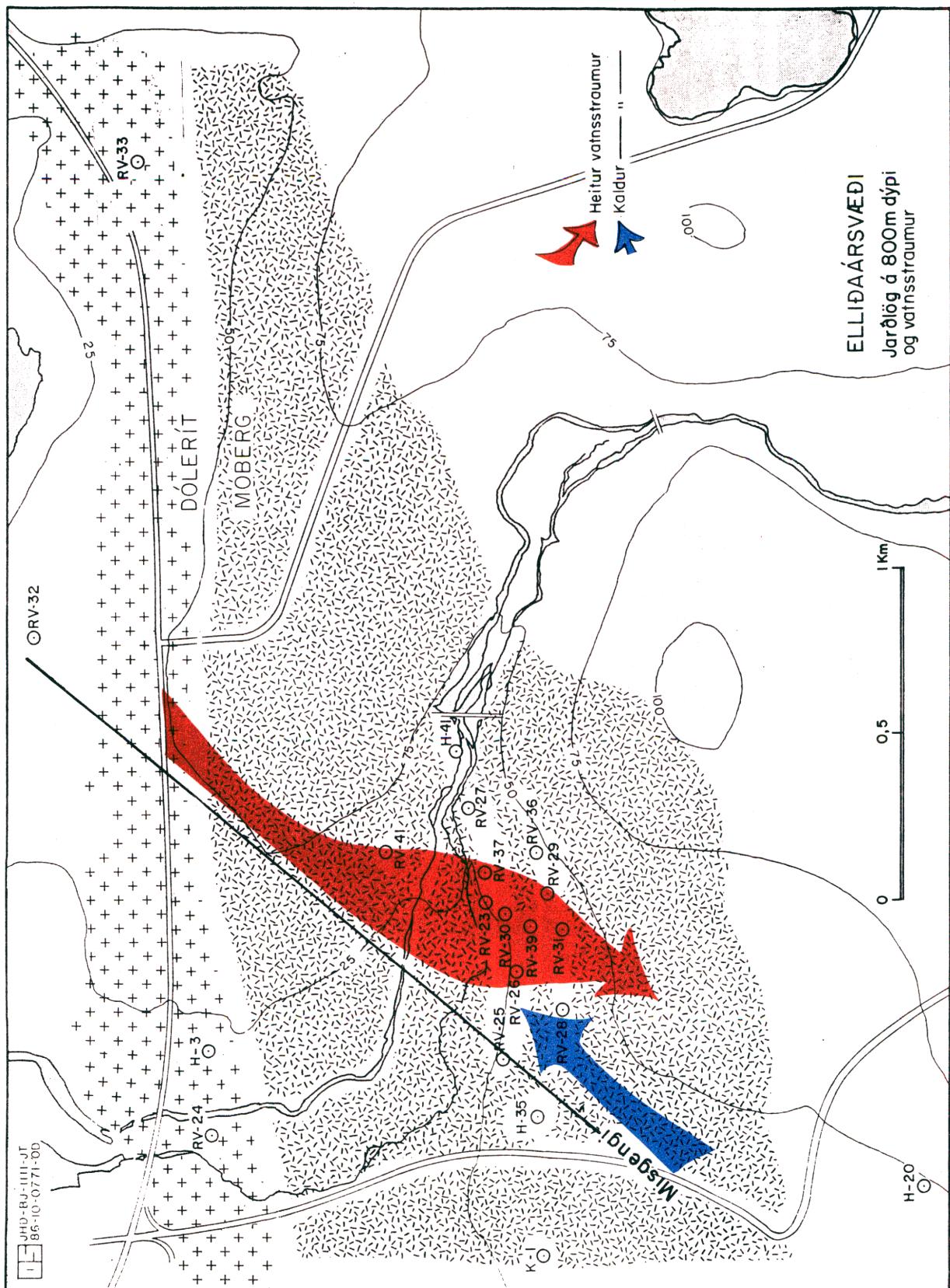
Snið B-B' frá RV-25 til H-41 er sýnt á mynd 17. Þetta er vestur-austur snið, sem sýnir að



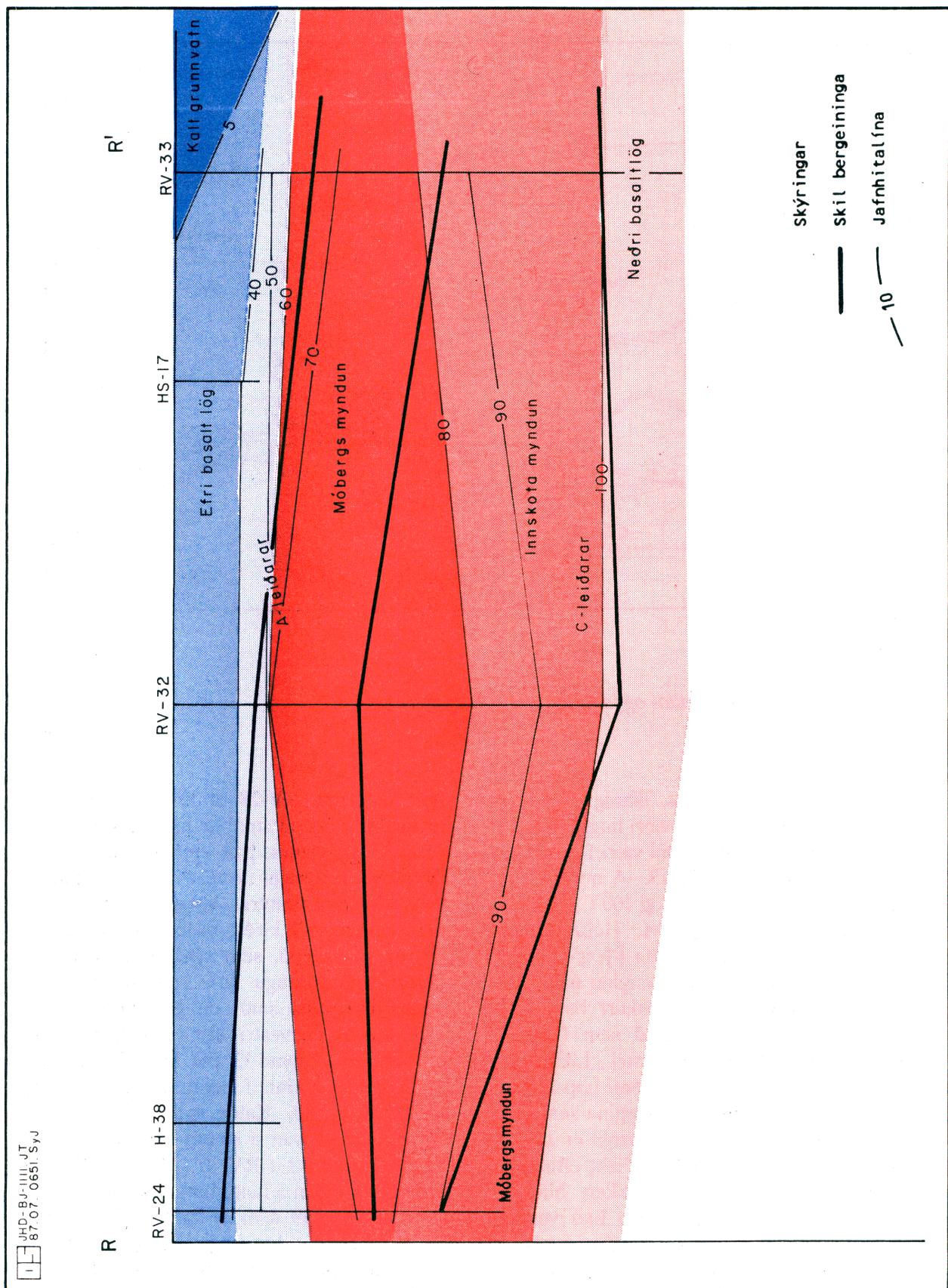
MYND 11 Snið O-O' frá K-1 til H-39. Jafnhitalínur, jarðlagasýrpur og lega A-, B- og C-vatnsleiðara



MYND 12 Snið P-P' frá H-20 til RV-32, sýnd sömu atriði og á mynd 11

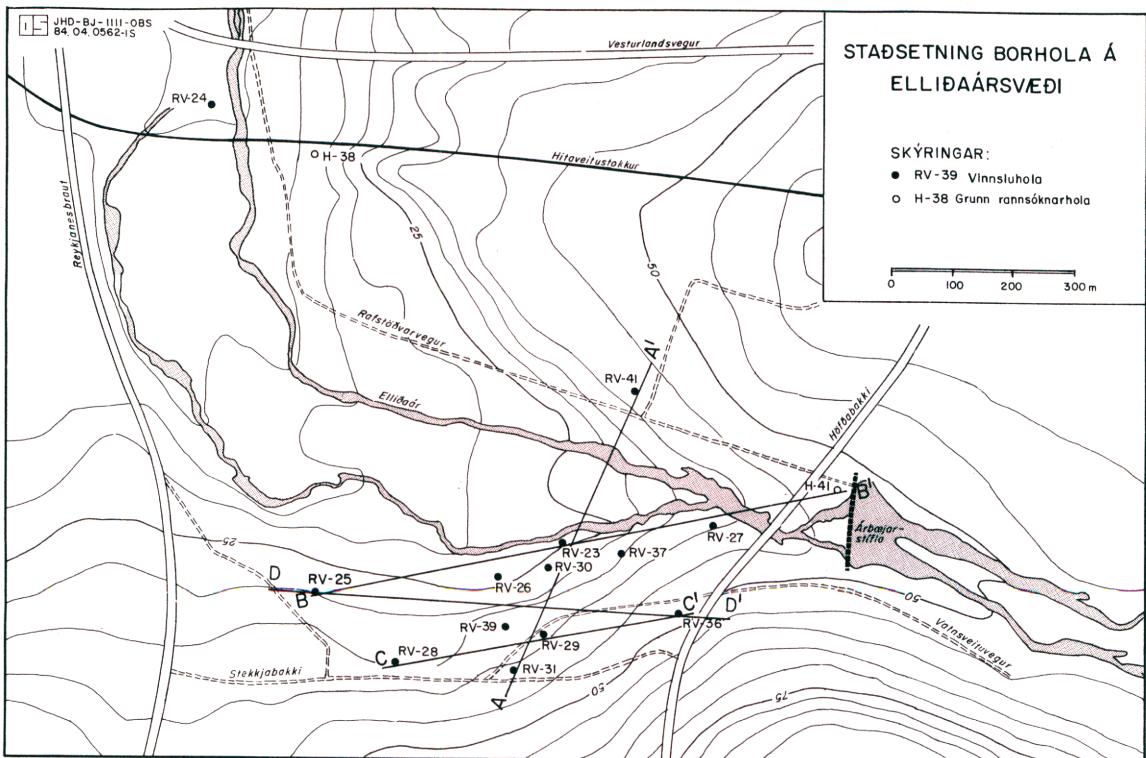


MYND 13 Jarðlög á 800 m dýpi, misgengi og vatnsrennsli



MYND 14 Snið R-R' frá RV-24 til RV-33. Jarðlög, jafnhitalínur og vatnsleiðarar

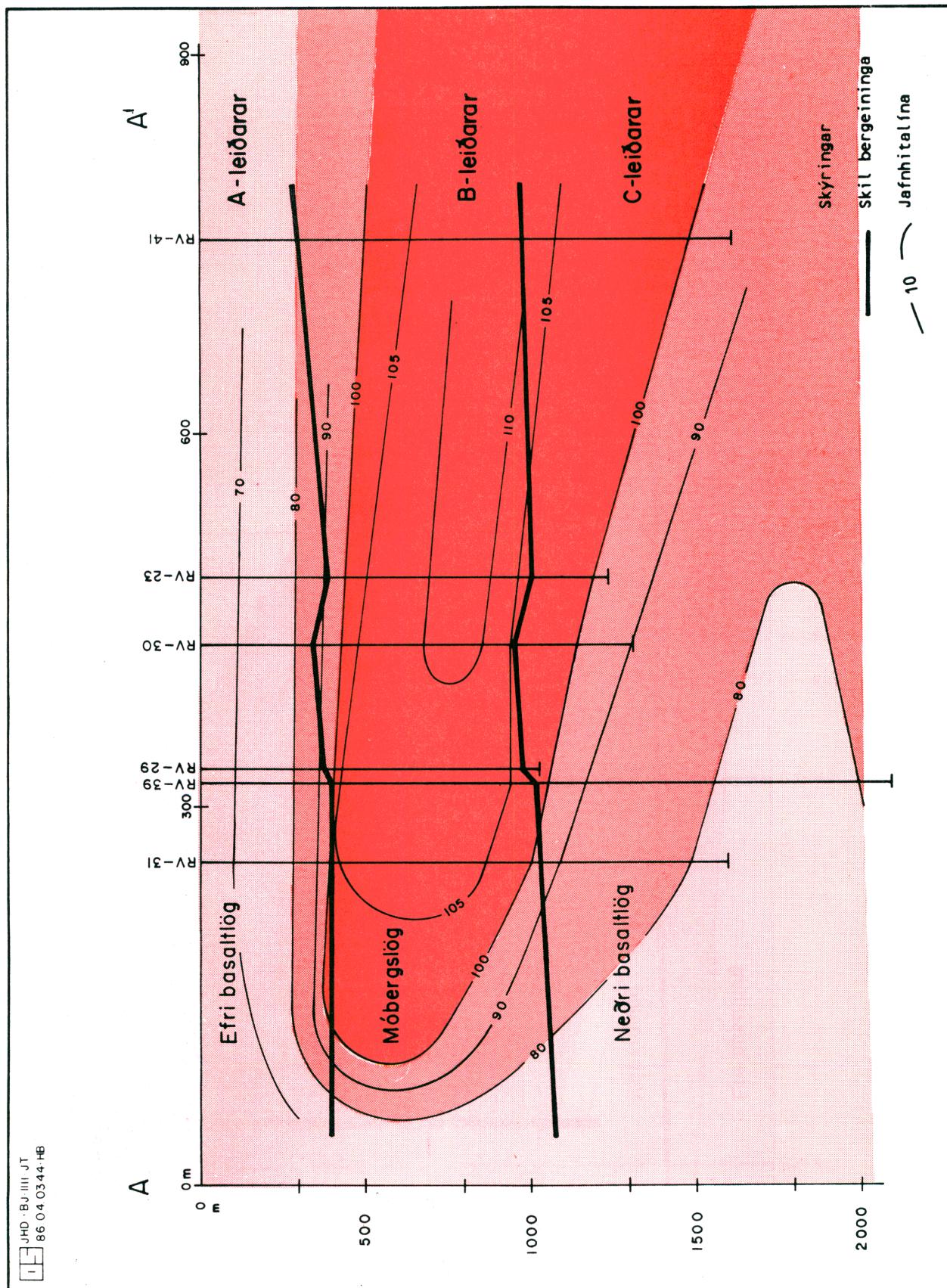
JHD-BJ-III JT
87 07.0651 Syj



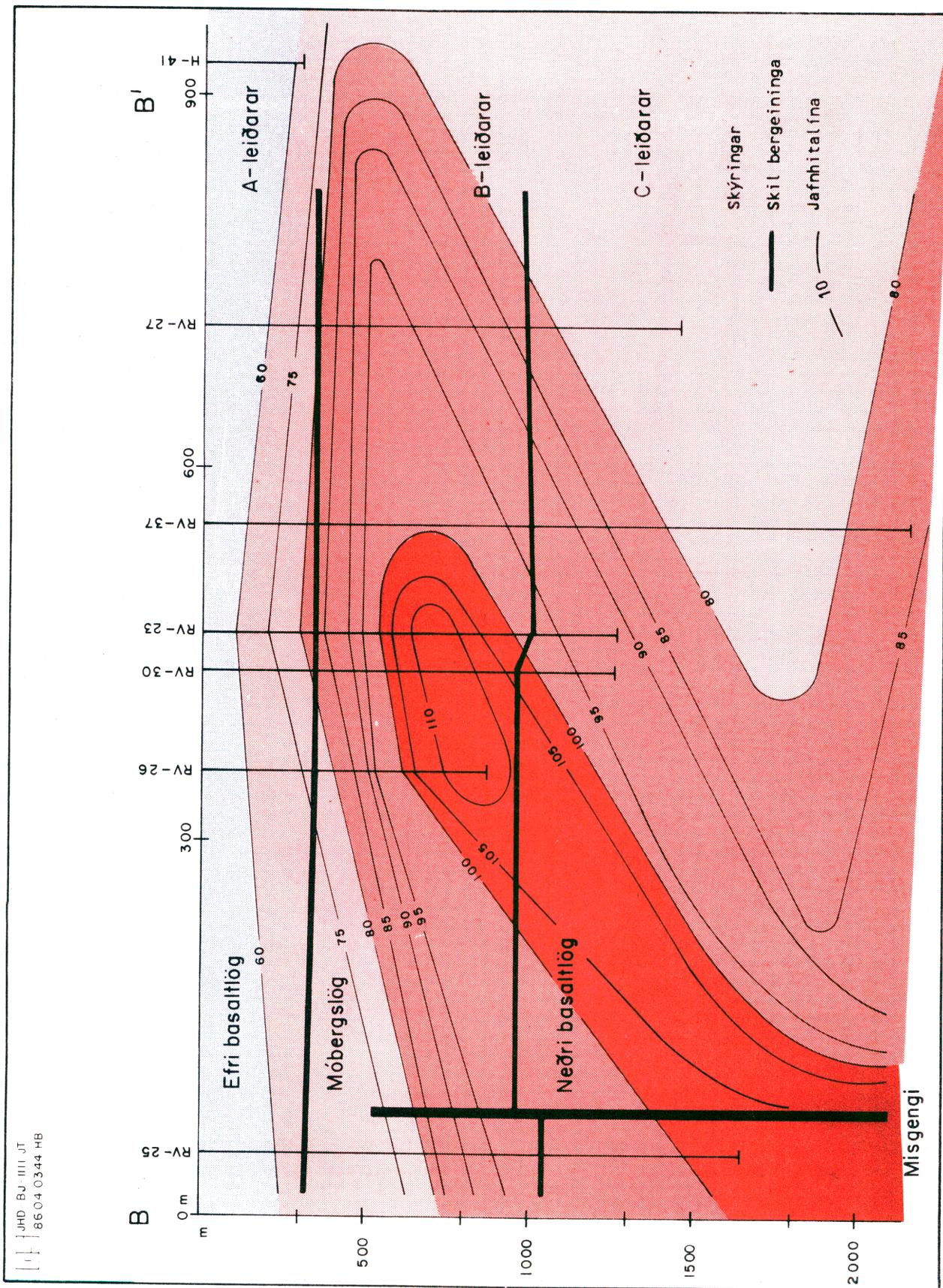
MYND 15 Staðsetning hita- og jarðlagasniða A-A', B-B' og C-C'

hitinn hækkar til vesturs, einnig dýpkar á hitanum til vesturs. Þetta væri hugsanlegt að túlka þannig að uppstreymi væri í misgenginu sem sýnt er á mynd 13. Á mynd 17 er þetta misgengi einnig sýnt og 100°C jafnhitafeillinn er láttinn fylgja því. Heita tungan þynnist svo til austurs. Þetta þýðir ekki að vatnið komi upp með misgenginu nákvæmlega á þessum stað, því ekkert bendir til þess að 110°C heita vatnið sem finnst í þessu sniði sé komið frá vestri. Líklegt er að vatnið í heitu tungunni komi upp aðeins norðan við sniðið með misgenginu sem sýnt er á mynd 13. Þegar heita vatnið er komið upp í móbergið rennur það lárétt eftir móbergslögnum til suðurs. Ekkert hindrar heldur rennsli til austurs svo það verður eithvert rennsli í þá átt líka eins og sést á mynd 17. Kalda tungan á 1500-2000 m í austurhluta 0-0 sniðsins sést einnig vel í þessu sniði.

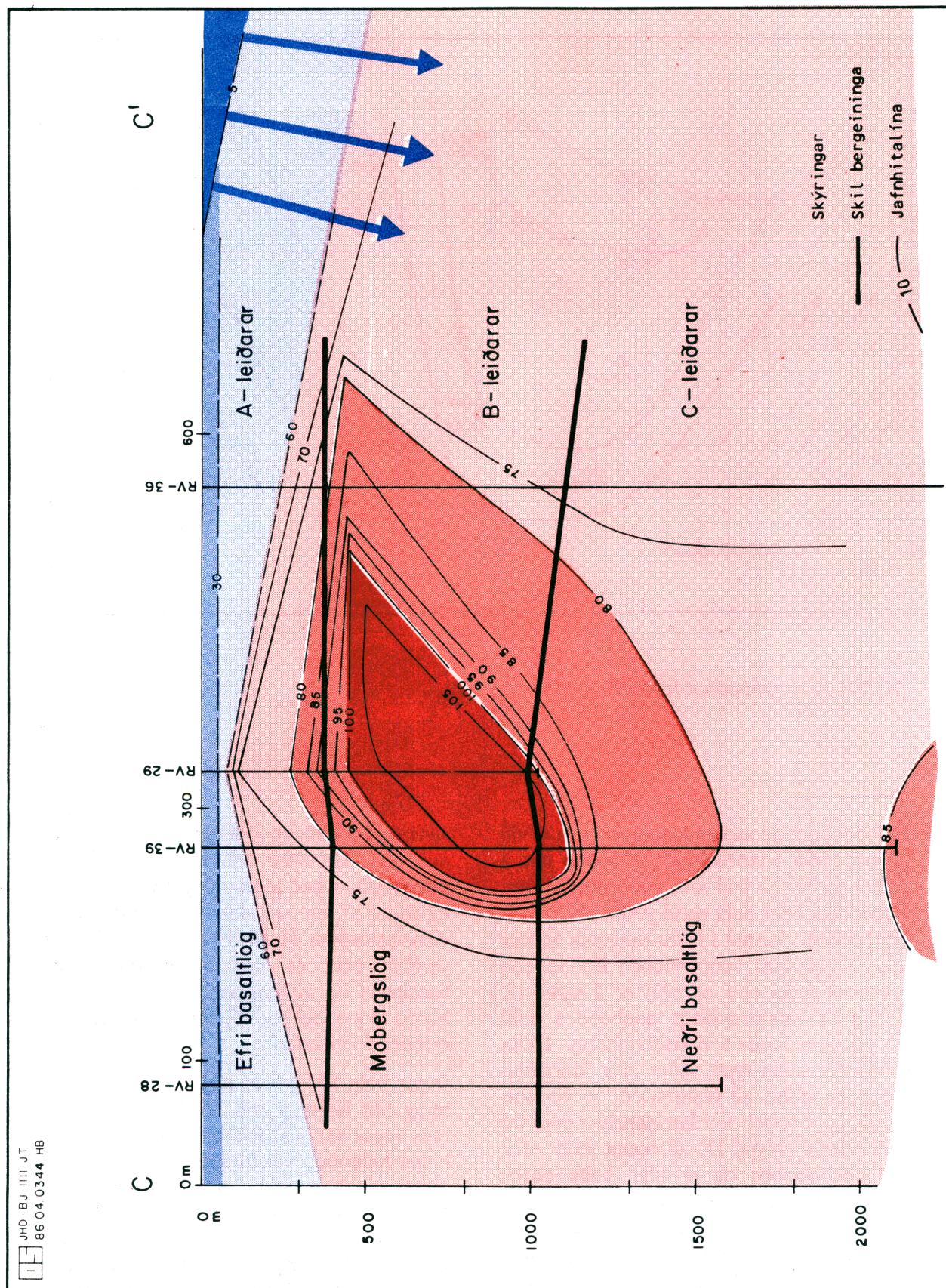
Snið C-C' frá RV-28 til RV-36 er sýnt á mynd 18. Í þessu sniði er hitalægð bæði til vesturs og austurs, það er því útilokað að uppstreymi sé beint úr vestri, en heita tungan þykknar til vesturs. Vatnið í heitu tungunni kemur eftir láréttum lögum í móberginu og misgengið, sem sýnt er á mynd 13 hefur enga þýðingu fyrir rennslið í heitu tungunni á þessu sniði, en það gæti komið kalt vatn frá suðvestri eftir misgenginu eins og sýnt er á mynd 13 því hola RV-28 er mjög köld. Hitinn í henni er hvergi yfir 75°C (mynd 18). Kalda vatnslagið á milli 1500 og 2000 m er á sínum stað nema það nær niður í botn í RV-36 (2300 m). Norður-suður stefnan á heitu tungunni kemur vel fram á mynd 19 sem er lárétt hitasnið af heitu tungunni. Út úr þessu sniði kemur heit tunga, 200-300 m breið þar sem hún er breiðust, en hún mjókkar ört til suðurs.



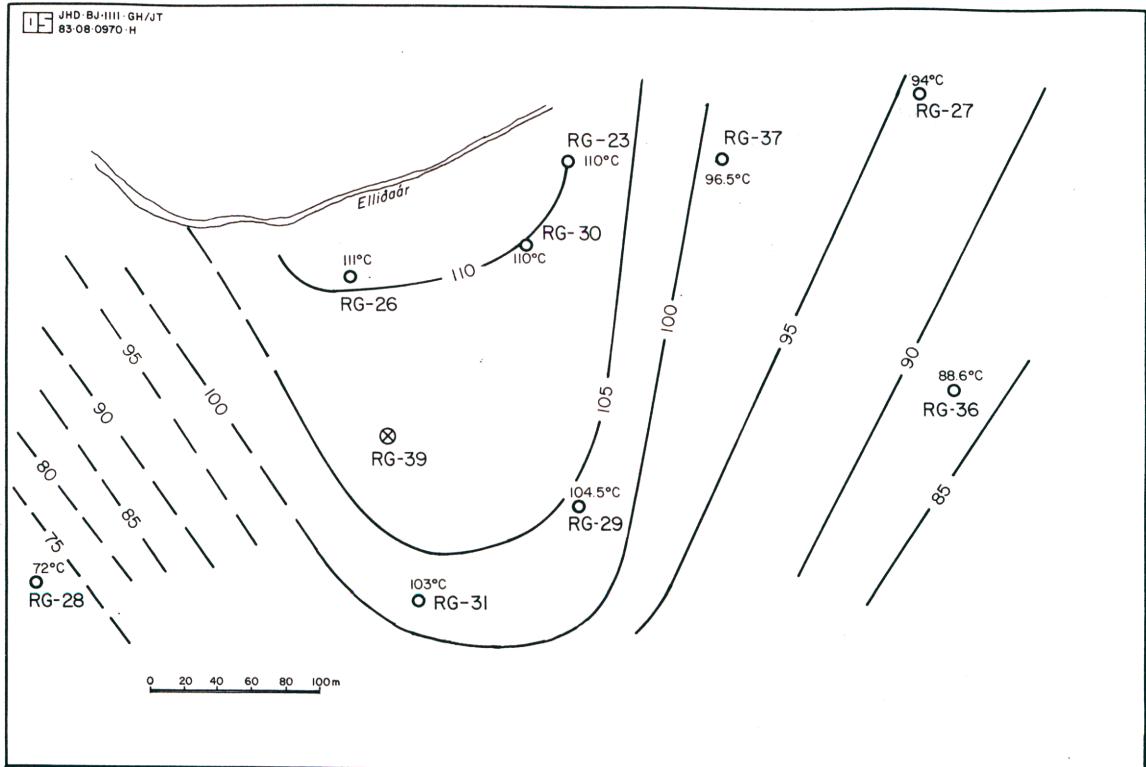
MYND 16 Snið A-A' frá RV-31 til RV-41. Jarðlög, jafnhitalínur og vatnsleiðarar



MYND 17 Snið B-B' frá RV-25 til RV-41. Jarðlög, jafnhitalínur og vatnsleiðarar



MYND 18 Snið C-C' frá RV-28 til RV-36. Jarðlög, jafnhitalínur og vatnsleiðarar



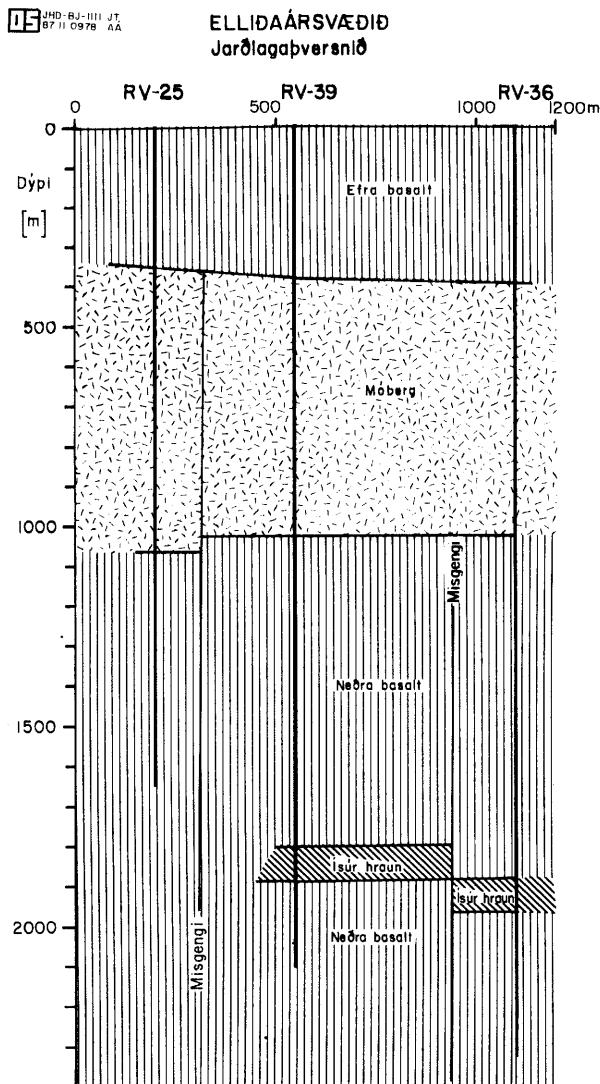
MYND 19 Jafnhitalínur hámarkshita í holum

Ef við tökum nú saman helstu atriði sem við höfum rakið í umræðum um sniðin hér á undan og berum það saman við aðrar rannsóknir sem áður hafa verið gerðar, kemur út eftirfarandi: Vatnið í heitu tungunni kemur upp í innskotum, sem finnast í RV-32, eða upp með þeim eins og sýnt er á mynd 12. Einnig er vatnafræðilegt samband á milli RV-32 og holanna á vinnsluslusvæðinu. Heita vatnið fer síðan fyrst suður eftir "misgenginu", sem skilur að vestursvæði og vinnslusvæði, en rétt fyrir norðan vinnsluslusvæðið fer heita vatnið (mynd 13) að renna lárétt eftir móbergslögnum og myndar heita tungu sem fer til suðurs á 500-1000 m dýpi (mynd 19). Frá suðvestri virðist koma kaldara vatn eftir sama misgengi (sjá myndir 13 og 16).

Jarðlagabversniðið D-D' frá RV-25 til RV-36 er sýnt á mynd 20 og staðsetning þess á mynd 15. Þar eru briðr jarðlagamyndanir,

sem sýndar hafa verið á hinum sniðunum og auk þess eru sýnd tvö misgengi. Vestara misgengið er það sama og sýnt er á mynd 13 og mynd 17, en það skilur vestursvæðið frá vinnslusvæðinu (kafli 3.1). Þetta misgengi veriðist ekki ná upp að mörkum eftir basaltsins og móbergsins, en hitamælingar benda til þess að það hljóti að ná langt upp í móbergið (mynd 17).

Þegar hola RV-28 var þrýstiprófuð reyndist mjög lítil leiðni á milli RV-28 og RV-25, hins vegar var góð leiðni á milli RV-28 og hinna holanna á austursvæðinu (Jens Tómasson og Þorsteinn Thorsteinsson 1968). Þar sem hola RV-28 var þrýstiprófuð fyrir neðan 480 m dýpi er líklegt að misgengið nái upp í það dýpi eða ofar. Eystra misgengið á mynd 20 hefur einnig mikla vatnafraeðilega þýðingu og virðist vera á milli RV-36 og vinnsluholanna.



MYND 20 Jarðlagasnið frá RV-25 til RV-36

RV-36 og vinnsluholanna.

Rökin fyrir þessu misgengi, sem skilur RV-36 frá vinnslusvæðinu að hluta til, eru eftirfarandi: Þrýstiprófun í RV-36 (Ómar Bjarki Smárason o.fl. 1985) gaf upplýsingar um vatnsleiðni milli RV-36 og annarra hola á svæðinu á mismunandi dýptarbilum. Mjög góð vatnsleiðni er á 300-700 m dýpi á milli RV-36 og annarra hola á svæðinu og nokkur vatnsleiðni á dýptarbilinu 700-1240 m en engin vatnsleiðni fyrir neðan 1240 m. Þetta kemur vel heim og saman við hitastökkið sem er á milli RV-36 og RV-38 fyrir neðan 1200 m dýpi.

3.4 Ísótópasamsetning vatnsins

Í kafla 2.1 var sagt frá tvívetnismælingum Braga Árnasonar (1976) og að tvívetnisinnihald jarðhitavatnins geti verið eins konar merkilappi á uppruna jarðhitavatnsins. Tvívetnisinnihaldið í vatni er tilgreint í δ_D -gildum og er breytileiki δ_D -gildanna í úrkому -50 til -100 %.

Ísótópasamsetning vatnsins (δ_D -gildin) var mæld í öllum holum á Elliðaárvæðinu á árunum 1968-1971, en á Laugarnessvæðinu frá 1960-1966, þar af í tveimur holum á hverju ári. Engin breyting kom fram í þessum tveim holum á δ_D -gildunum með tíma á því árabili sem mælt var. Á Laugarnessvæðinu var lítt breytileiki á δ_D -gildunum og meðalgildið -65 o/oo, en þar er eitt vatnskerfi, hræring, eins og hitamælingarnar sýna. Á Elliðaárvæðinu (vinnslusvæðinu) voru δ_D -gildin mjög breytileg, frá δ_D -58.2 o/oo til -64.4 o/oo. Fyrstu niðurstöður af þessum ísótópamælingum á Elliðaárvæðinu voru birtar 1970 (Bragi Árnason og Jens Tómasson, 1970) og síðan voru allar mælingar frá þessu svæði birtar 1976 (Bragi Árnason, 1976).

Bragi Árnason (1976) skýrði breytileikann á δ_D -gildum á Elliðaárvæðinu með því að vatnið frá vinnslusvæðinu á Elliðaárvæðinu væri blanda af tveimur grunnvatnskerfum. Annað þeirra, það sama og Laugarneskerfið, væri fyrir norðan svæðið með δ_D -gildi -65 o/oo, en hitt með δ -gildið -59 til -60 o/oo sunnan til á Elliðaárvæðinu. δ_D -gildin á Elliðaárvæðinu eru blöndun af þessum tveimur kerfum. Jens Tómasson o.fl. (1975) skýrðu þennan mun á δ_D -gildum á þann veg að léttu vatnið ($\delta_D = -64$ o/oo) væri komið úr norðri, sem er heita tungan í B-leiðrunum, en undir heitu tungunni væri vatn sem komi innan úr gosbelti og sé nánast staðbundið grunnvatn með δ_D -gildi -58 o/oo.

Hægt er að skýra dreifingu δ -gildanna út frá núverandi líkani af svæðinu. Undan inniskotunum fyrir norðan vinnslusvæðið kemur 115°C heitt eða heitara vatn (mynd 12) með δ_D -gildi um -65 o/oo. Heita vatnið (-65 o/oo) myndar hitatungu sem ýtist inní kald-

ara grunnvatnskerfi, sem er nánast staðbundið grunnvatn með δ_D -gildi -58 o/oo. Heita vatnið blandast staðbundna grunnvatninu á alla kanta og þegar heita vatnstungan kemur inn á vinnslusvæðið er δ_D -gildi vatnsins í tungunni orðið -60 til -62 o/oo. Ekkert samband virðist vera á milli hita δ_D -gildis þegar hitinn er hærri en 90°C. Þetta mætti skýra þannig að verulegur hluti blöndunar verði áður en vatnið kemur inn á vinnslusvæðið.

Einhver blöndun vatnskerfanna á sér líklega stað inni á vinnslusvæðinu, því vatnið úr RV-31 hefur hærra δ_D -gildi (-59,2 o/oo) en vatn úr hinum vinnsluholunum á svæðum, RV-23, RV-26, RV-29 og RV-30. Þetta er syðsta vinnsluholan (mynd 16), en hún er nokkru dýpri og sker því kaldari vatnsæðar (mynd 16) og tekur 90% af vatni sínu úr C-leiðurum. Sama δ_D -gildi finnst í sýnum frá H-20 sem er syðsta holan á svæðinu (mynd 12). Þessi hola er grunn og vatnið frá henni er eingöngu úr A-leiðurum. Vatnið í heitu tungunni blandast staðbundnu grunnvatni bæði í A-leiðurum syðst á svæðinu og djúpt í C-leiðurum. Þetta líkan er svipað líkani Braga Árnasonar (1976). Hann gerði ráð fyrir því, að vatnið á Elliðaárvæðinu væri blanda af tveimur vatnskerfum líkt og hér hefur verið gert ráð fyrir og δ -gildi vatnsins hækkaði til suðurs. Bragi gerði ráð fyrir því að léttara vatnið væri komið úr norðri og því til stuðnings nefndi hann til viðbótar því sem áður var rakið að δ_D -gildi í djúpsýnum í nyrstu holunum, RV-32 og RV-33, væri lægra ($\delta_D = -64$ o/oo) en í sýnum sem tekin eru við holustút ($\delta_D = -61$ o/oo). Lægsta δ_D -gildið -64,4 o/oo (hiti 71°C) á vinnslusvæðinu er úr RV-23 þegar holan var 534 m djúp og jafnframt er þetta fyrsta vatnssýnið frá þessu svæði. Skýringar á þessu lága δ_D -gildi geta verið tvær. Í fyrsta lagi gæti verið að innstreymi kalds grunnvatns hafi byrjað strax og vatnstaka hófst úr svæðinu (sjá kafla 4) og þannig breytt ísotóphlutfallinu. Önnur skýring væri sú að einstakar vatnsæðar hefðu mismunandi δ_D -gildi.

Djúpsýni, sem tekin voru úr RV-23 68.01.12, sýna talsverða dreifingu δ_D -gildanna, frá -60,9 o/oo til -63,6 o/oo. Þessi dreifing bendir einnig til þess að vatnsæðar hafi eitt-hvað mismunandi δ_D -gildi. Meginhluti vatnsins, sem dælt var upp úr svæðinu 1969 og fyrr, hafði δ_D -gildi á milli -64 o/oo til -62 o/oo, því flest sýni tekin af stút eru á þessu bili, og meðaltal sýna tekinna af stút í fjörum holum, RV-23, RV-26, RV-29 og RV-30, er $\delta_D = -61,3$ o/oo. Ætla má að vatn með lægra δ_D -gildi en -62 o/oo hafi aðeins verið smágúlar í kerfinu en hafi fljótegla verið dælt burtu þegar dæling hófst 1968.

Mæld hafa verið δ_D -gildi í nokkrum vatns-sýnum úr tveimur holum á vestursvæðinu, þ.e. RV-25 og K-1. Frá RV-25 hafa verið mæld δ_D -gildi í þessum djúpsýnum, sem sýna að það er sama δ_D -gildi í vatni frá RV-25 og vatni frá vinnslusvæðinu, -61 o/oo. Frá K-1 hafa verið mæld tvö sýni. Það fyrra af vatni sem dælt var úr holunni en hún var prufudæld í nokkra daga. Eftir prufudælinguna var tekið djúpsýni rétt fyrir ofan hrunið í holunni á 640 m dýpi (sjá síðar í viðbæti), það sýni gaf δ_D -gildið -72,8 o/oo en dælingarsýnið hafði δ_D -gildið -64,4 o/oo. Sýnið er sennilega af djúpvatni sem hefur seitlað upp í gegnum hruntappann þegar dælt var. Þetta vatn hefur miklu lægra gildi en fundist hefur bæði á Elliðaár- og Laugarnessvæðinu en er svipað jarðhitavatninu á Seltjarnarnesi. Þar sem hér er aðeins um eitt sýni að ræða er tæplega haegt að draga mjög víðtækar ályktanir út frá því. Ef dregnar eru einhverjar ályktanir út frá þessari mælingu, þýðir það að á vestursvæðinu eða að minnsta kosti á vestasta hluta þess, er 100°C heitt vatnskerfi, hræring, þar sem vatnið hefur miklu lægra Δ_D -gildi heldur en á tveimur nærliggjandi svæðum sem þýðir að þetta vatn er miklu lengra að komið eða miklu eldra heldur en vatnið í hinum tveimur vatnskerfunum.

Austast á vestursvæðinu er sama vatnið og í heitu tungunni á vinnslusvæðinu, en djúpt í K-1 finnst mjög létt vatn sem er sennilega gamalt, þ.e. frá ísöld þegar loftslag var mun kaldara en nú er.

4. KÓLNUN

4.1 Lýsing og orsakir kólununar

Talsverð kólunun hefur orðið á Elliðaárvæðinu og í skýrslu Verkfræðistofunnar Vatnaskila hf. (1982) kemur fram, að um 6°C kólunun hafi að meðaltali orðið á 12 árum eða um hálfa gráðu á ári, og virðist svipuð kólunun hafa haldið áfram síðan. Að síðustum samdi Verkfræðistofan Vatnaskil aðra skýrslu fyrir HR árið 1983 þar sem gefið er í skyn að kólunun hafi verið mun meiri því skífumælarnir séu mjög ónákvæmir og gefi mun hærri hita en raunverulega er. Í fyrri skýrslu Vatnaskila var upphafshitinn í allgóðu samræmi við mældan hita í borholnum, en mælingarnar með skífumælum eru í engu samræmi við mældan hita, eða allt að 8,6°C hærri en hæsti hiti, sem mældur var í holunum. Kólunun í einstökum holum er rakin í Viðauka I og í töflu 1. Þar sést að kólununin er mjög misjöfn frá einni holu til annarar, á bilinu 6-21°C í holum sem voru boraðar á árunum 1967-1969 (tafla 1).

Kólununin á sér tvennar orsakir. 1) Annars vegar er hún vegna niðurrennslis í holum frá kaldri vatnsæð í efri hluta holunnar niður í heita vatnsæð í neðri hluta holunnar. 2) Hins vegar er kólunun í einstökum vatnsæðum í holunni, sem stafar af innrennslí af kaldara vatni frá hlið.

1) Orsókin fyrir því að niðurrennslí byrjar í holum, er að þrýstingur í efri vatnsæð verður meiri en í neðri vatnsæð. Þar sem þetta niðurrennslí er nær alltaf frá vatnsæðum í A-leiðara, þýðir þetta að vinnslan á svæðinu hefur haft í för með sér minni þrýstilækkun í A-leiðara en í hinum leiðurunum. Skýringin á minni þrýstilækkun í A-leiðurum er sú í fyrsta lagi, að það hlýtur að hafa orðið langtíma þrýstilækkun yfir allt svæðið í neðri leiðurunum, B og C, við vatnstöku úr vinnslusvæðinu þó að þessi þrýstilækkun hafi ekki komið fram í skammtíma prófunum. Í öðru lagi eru A-leiðararnir umkringdir af köldu grunnvatni og það er engin vatnafræðileg hindrun sem kemur í veg fyrir að kalda grunnvatnið fari inn í A-leiðarana þegar þrýstingur lækkar vegna vatnsvinnsl-

unnar. Þar sem kalda grunnvatnskerfið er mjög stórt í samanburði við jarðhitakerfið, helst fremur hár þrýstingur í A-leiðurunum eftir að þeir hafa kólnað. Vatnsæðar í A-leiðurum fá þá hærri þrýsting en aðrar æðar í holunum, og myndast því niðurrennslí frá A-leiðurunum, og getur þetta niðurrennslí kælt einstakar holur um fleiri tugi gráða. Þessi kólunun er tiltölulega staðbundin því engin kólunun hefur orðið í RV-27, en í þessari holu eru engar vatnsæðar í A-leiðara. Þetta má túlka þannig að bergið í efra basaltinu (A-leiðara) sé ekki að kólna sem heild heldur sé kólunun í kringum þær holur, þar sem dælt er úr vatnsæðum í A-leiðara, eða í holum sem ekki er dælt úr en þar sem niðurrennslí er frá vatnsæðum í A-leiðara niður í heitari vatnsæðar. Við þetta niðurrennslí kólna vatnsæðar í A-leiðara sem sýnir hve nán tengsl eru milli jarðhitavatnsins í A-leiðara og kalda grunnvatnsins. Við þrýstibreytingu í A-leiðara rennur því kalt grunnvatn inn í leiðarann.

Niðurrennslí í borholum, frá A-leiðurum, veldur alltaf kælingu í neðri leiðurum (B og C-leiðurum) og þar sem kæling og niðurrennslí er mest er sami hiti í þeim vatnsæðum sem rennur úr og í. Samkvæmt þessari skilgreiningu er niðurrennslíð í holum fyrir utan vinnslusvæðið mest í þeim holum, þar sem vatnsborðslækkun vegna vinnslunnar er mest, RV-25 og RV-32, en miklu minna í K-1 og RV-24 þar sem vatnsborðslækkun er minni (mynd 9 og Viðauki I). Að síðustum er niðurrennslí í K-1 minna en í RV-24 (sjá Viðauka I) þó að vatnsborðslækkun sé þar meiri en í RV-24. Þetta er vegna þess að vatnsæðar í K-1 eru mjög litlar.

Í öðru lagi er nálægð eða tengsl holunnar við öflugt grunnvatnskerfi. Því nær sem holan er öflugu grunnvatnskerfi því meiri líkur eru á kólunun.

Í þriðja lagi myndi kólunun í A-leiðara að öðru jöfnu vera þeim mun meiri því stærri (meiri lekt og leiðni) sem vatnsæðar í A-leiðara væru.

2) Kólunun í einstökum æðum virðist vera frá hlið. Skýringar á þessari kólunun er að

TAFLA 1: Kæling á vatni frá dælingarholum

Hola	Borun lokið árið	Hlutfall vatnsæða í og eftir borun ¹⁾ í A,B og C leiðurum ²⁾	Upphafshiti °C	Hiti °C	Kólnun °C	Aths.
RV-23	1967	A 6%, B 42%, C 52%	100	94	6	
RV-26	1968	A 1%, B 99%	110	98	12	
RV-29	1969	B 100%	107-111	90	17-21	3)
RV-30	1969	B 70%, C 30%	105	91,8	13,2	
RV-31	1969	B 10%, C 90%	94	87,8	6,2	
RV-36	1980	B 7%, C 93% (B 30%, C 70%)	80	78,6	1,4	4)
RV-37	1981	B 20%, C 80% (B 50%, C 50%)	92	89,4	2,6	
RV-39	1984	B 64%, C 26% (B 80%, C 20%)	103	103,5		

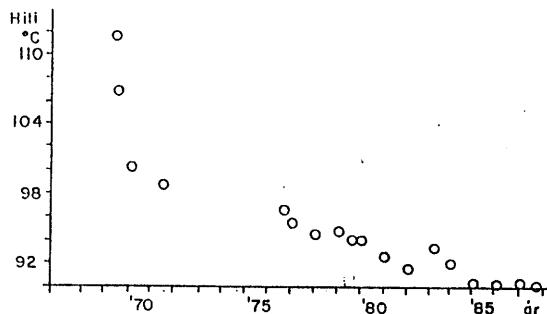
- 1) Þetta er hlutfall skoltaps eða skolaukningar í borun.
- 2) Þegar holurnar eru þrýstiprófaðar vex vatnsgæfni B-leiðara meira en C-leiðara. Tölurnar í sviga gefa líkleg hlutföll eftir þrýstiprófun.
- 3) Hæsti hitinn 111°C er hærri en hæsti hiti sem mældur er í holunni.
- 4) Hæsti hiti 82,8°C 1984

leita í byggingu jarðhitasvæðisins eins og henni er lýst í kafla 3.3 og á myndum (11-19). Eins og kemur fram í þeirri lýsingu er tunga af heitu vatni í B-leiðurum sem kemur upp í norðri eða norðvestri. Tungan þynnist til suðurs og á syðsta hluta vinnslusvæðisins er hún ekki nema nokkur hundruð metrar í þvermál. Þar sem gott vatnafræðilegt samband er á milli holanna á dýptarbili heitu tungunnar á kaldara vatnið frá hlið greiðan aðgang að heitari holunum þar sem dælingin er mest. Það verður því væntanlega viss hitajöfnun í jarðhitageyminum á þann hátt að heitasti hluti geymisins mun kólna niður í það sama og kaldasti hlutinn. Samkvæmt Einari Gunnlaugssyni (1982) bendir efna-samsetning vatnsins til þess að hitinn á vatninu sem veldur kólnunni sé 85-90°C. Þetta er svipaður hiti og hitinn á dýptarbili heitu tungunnar í köldustu holunni RV-36 (myndir 11 og 18).

4.2 Gangur kólnunar

Kólnunin er misjöfn í holunum eins og fram kemur í Viðauka I og í töflu 1. Hitamælingar í holunum sýna kólnun í A- og B-leiðurum, en ekki hafur verið staðfest nein

kólnun í C-leiðurunum, nema í þeim holum þar sem niðurrennslí er frá A-leiðara niður í C-leiðara. Ef litið er á kólnun á vatninu sem dælt er úr holunum þá hefur orðið mest kólnun á vatninu frá RV-29, 21°C. Þessi hola tekur eingöngu vatn úr A- og B-leiðurum. Um 13,2°C kólnun hefur orðið á vatninu frá RV-30 en 70% af vatninu er frá B-leiðurum. Vatnið frá RV-26 hefur kólnað um 12°C, en allt vatnið í þessari holu kemur frá A- og B-leiðurum. Vatnið frá RV-23 hefur kólnað um 6°C en meirihluti vatnsins kemur frá C-leiðurum, eða 52%. Vatnið frá RV-31 hefur kólnað um 6,2°C en þessi hola tekur 90% af vatninu frá C-leiðurum. Við sjáum á þessu yfirliti að holurnar skiptast í two flokka, annars vegar holurnar sem taka mest af vatni frá C-leiðurum og hafa kólnað minna en holurnar sem taka sitt vatn frá A- og B-leiðurum hins vegar. Þetta er í samræmi við það sem kom fram í hitamælingum, að kólnunin sé að mestu í A- og B-leiðurum. Hina miklu kólnun í RV-29 væri hægt að skýra með staðsetningu holunnar í suðausturhluta svæðisins, en við teljum að vatnið sem er að kæla svæðið komi úr suðaustri.



MYND 21 Kólnun í RV-29 með tíma (Einar Gunnlaugsson 1982)

Kólnun í RV-29 hefur hægt verulega á sér á seinstu árum eftir að hitinn á vatninu fór að nálgast 90°C (mynd 21), sem er hitinn á því vatni sem við teljum að sé að koma inn í B-leiðarann. Í hitamælingu frá holunum sem boraðar hafa verið eftir 1980 koma ekki fram neinir kældir vatnsleiðrarar nema ef vera skyldi vottur af kælingu í RV-37, sem þó væri einnig hægt að skýra sem kælingu á vatnsæðum í borun. Þessi hola er austarlega á svæðinu og því ekki ólíklegt að smákólnun hafi átt sér stað. Þetta gæti þytt að kólnunin væri í stökum rásum og að hún næddi aðeins til hluta svæðisins.

Á mynd 22 er hitasnið (C-C') eftir að kólun hefur orðið á svæðinu. Við sjáum í þessu sniði hvernig RV-29 hefur kólnað frá hlið. Kólnun er mest fyrst vegna þess að holan er í austurjaðri heitu tungunnar. Heitasta vatnið nær skammt austur fyrir holuna og þegar búið er að dæla því burt er farið að dæla kaldara vatni sem er lengra frá holunni. Þetta vatn er fyrst í stað hitað upp af heitara bergi sem það rennur um áður en það kemur inn í holuna og kælir jafnframt bergið í vatnsrásunum. Þegar bergið fer að nálgast hita aðkomna vatnsins, hægir á kólnun af vatninu sem dælt er upp úr holunni eða hún jafnvel stöðvast. Kólnunin mun ekki stöðvast nema um einhvern tíma því kalda grunnvatnið fer að leka ofan í B-leiðarann líkt og sýnt er á mynd 18. Fyrir þessu eru jarðfræðileg rök því mikið er af sprungum fyrir austan Elliðaárvæðið, sem sennilega leiða kalda grunnvatnið niður í B-leiðarann þegar þrýstingur lækkar í honum. Einnig eru vatnafræðileg rök fyrir því

að kalda grunnvatnið sé tengt vinnslusvæðinu, sem er í B- og C-leiðurunum, því þegar hætt er að dæla á Elliðaárvæðinu þá hækkar vatnsborð mjög örт eða um 100 m á einni viku. Þetta bendir til þess að jarðhitakerfið sé í greiðum tengslum við mjög stórt grunnvatnskerfi.

4.3 Viðbrögð við kólnun

Hvað er hægt að gera til að seinka kólnuninni? Við höfum áður rætt um að kólnun stafar af því að kaldara vatn streymir inn á svæðið eftir að vinnsla hefst. Við skulum athuga fjóra þætti sem ráða mestu um gang kólnunarinnar, hvort hægt er að mæla þá, og hvort hægt er að hafa áhrif á þá og breyta gangi kólnunarinnar. Þættirnir eru:

1. Hiti kalda vatnsins, sem lekur inn í jarðhitakerfið.
2. Magn þessa kalda vatns.
3. Upprunalegur hiti bergsins, sem kaldar vatnið er að kæla.
4. Rúmmál heits bergs sem kaldar vatnið kælir.

Svarið við fyrsta lið þekkjum við: Vatnið, sem er að kæla A-leiðaranu, er kalt grunnvatn, 5°C heitt. Vatnið sem er að kæla B-leiðaranu er 70-85°C heitt. Hægt er að minnka eða stöðva kólnunina í gegnum A-leiðaranu með því að bora nýjar holur, fóðra dýpra og steypa athugunarrör (pisarör) í eldri holur. Nú þegar er búið að endurfóðra eina holu, RV-23, með góðum árangri.

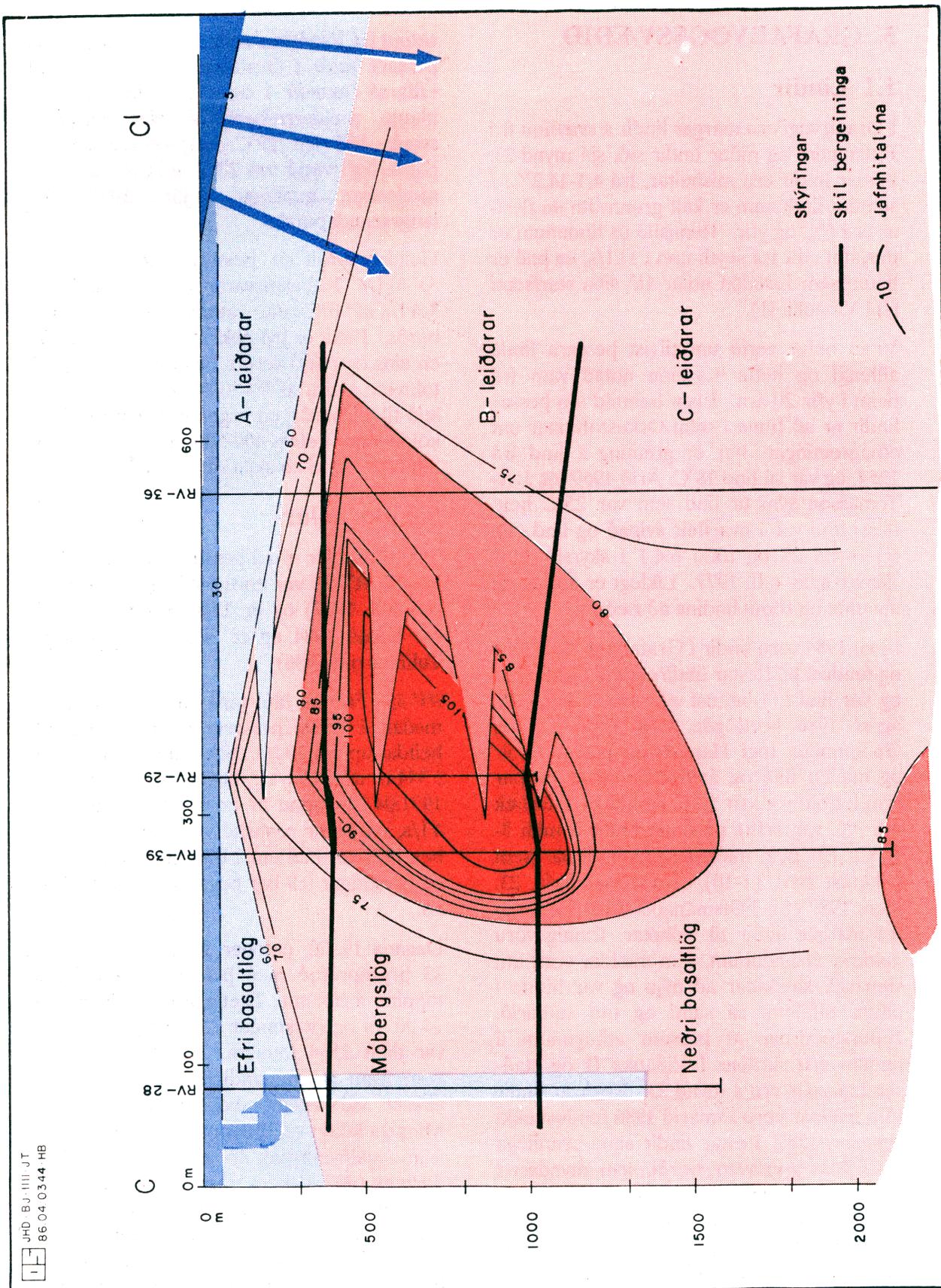
Annar liður: Rúmmálið af "köldu vatni", sem rennur inn á jarðhitavæðið, getur aldrei verið meira en það magn sem dælt er úr svæðinu. Með efnafraðilegum og/eða ísótópamælingum er líklegt að hægt sé að finna út hlutfall af köldu vatni í jarðhitavatnini og þar með fá út magnið af köldu grunnvatni sem rennur inn í kerfið. Hinsvegar getur þetta orðið erfíðara ef um tvenns konar misheitt jarðhitavatn er að ræða, þar sem efnasamsetning og ísótópasamsetning er lík.

Priðji liður: Við vitum talsvert mikið um upprunalegan hita bergsins sem er að kólna

einkum bergið í B-leiðurunum, en uppruna-legur hiti A-leiðaranna er minna þekktur. Einnig ætti að vera hægt með athugunarhol-um að fá upplýsingar um breytingar á berg-hitanum.

Fjórði liður: Kólnun er í A- og B-leiðurunum en virðist ekki ná niður fyrir 1200 m dýpi. Flestar holur sem skera A-leiðarana virðast hafa kólnað svo það mætti ætla að berg hefði kólnað á stóru svæði í A-leiðurunum. Svo er þó ekki, aðeins stöku rásir, í kringum einstakar holur hafa kólnað, eins og áður hefur verið greint frá. A-leiðararnir eru alls staðar á svæðinu þar sem efra basaltið er ekki fyllt með köldu grunnvatni og er þetta svæði að minnsta kosti 8 km^2 og þykktin um 350 m svo rúmmálið af bergi sem er að kólna í gegnum A-leiðarana er $2-3 \text{ km}^3$. Varminn í þessu bergi mun sennilega ekki nýtast að fullu því niðurrennslíð frá þessum leiðara fer í gegnum mjög afmarkaðar rásir og í framtíðinni verður þessi leiðari fóðraður af og því verður vatn frá honum ekki nýtt beint til heitavatnsfram-leiðslu. Hins vegar mun vatn frá þessum leiðara með tímanum leita niður í neðri leiðara gegnum afmarkaðar rásir og sprung-ur.

Rúmmál bergsins sem B-leiðararnir eru í er sennilega minna en 1 km^3 , mjög líttill hluti þessa bergs hefur kólnað. Það eru aðallega einstakar rásir á suðausturhluta svæðisins. Mun því vera hægt að bora nýjar holur í þann hluta svæðisins, sem ekki hefur kólnað, þegar vatnið í núverandi vinnsluholum er orðið of kalt til að nýta það til upphitun-
ar.



MYND 22 Snið C-C', kólunum

5. GRAFARVOGSSVÆÐID

5.1 Lindir

Í Grafarvogi eru margar lindir á svæðinu frá Bullaugum og niður undir sjó, sjá mynd 23. Þessar lindir eru misheitar, frá 4,1-14,2°C. Í sumum lindunum er kalt grunnvatn en flestar eru 6°C og yfir. Rennslið úr lindunum er misjafnt, allt frá seytli upp í 11 l/s, en það er lindin sem Laxalón notar við sína starfsemi (sjá Viðauka II).

Vitað hefur verið um tilvist þessara linda alllengi og hefur Laxalón notað vatn frá þeim í yfir 20 ára. Elstu heimild um þessar lindir er að finna í safni Orkustofnunar um efnagreiningar. Þar er greining á lind frá 1954, og var sú lind 18°C. Árið 1969 tók Jens Tómasson sýni úr lind sem var 25°C heit. Þessi lind var í hvarfleir svipað og lind (1), sjá mynd 23 og töflu 6.4.1 í skýrslu Jens Tómassonar o.fl. 1977. Líklegt er að hér sé um eina og sömu lindina að ræða.

Í maí 1984 voru lindir í Grafarvogi skoðaðar og fundust þá flestar lindirnar við Grafarlæk og var lind (1) heitust eða 16°C. Þann 25. ágúst 1986 kortlöggðu Jens Tómasson og Guðmundur Ingi Haraldsson þessar lindir og mældu hita og áætluðu rennsli, en þar sem lofthiti var yfir 10°C og hiti í Grafarlæk um 9°C var erfitt að finna lindir á milli 5-10°C. En þeir mældu samt lindirnar sem þekktust best (1-10). Næst var farið 23. mars 1987 eftir hálfsmánaðar frost, þá fundust margar lindir til viðbótar. Einnig voru nokkrar af lindunum, sem mældar voru um sumarið, kannaðar að nýju og var hitinn í öllum tilfellum sá sami og um sumarið. Niðurstöðurnar af þessum athugunum á lindum eru skráðar í Viðauka II og staðsettningarnar eru á mynd 23. Nokkrar lindir sem mældar voru sumarið 1986 fundust ekki veturnar 1987. Þessar lindir stafa sennilega frá fölsku grunnvatnsborði, sem myndast í rigningum á sumrum. Ef við lítum nánar á hvernig lindirnar raða sér, þá sjáum við að austustu lindirnar raða sér á norður-suður stefnu frá upptökum Grafarlækjar til Grafarholts. Aðrar lindir fylgja stefnu Grafarlækjarins og er mögulegt að þær komi úr

setinu frá jökultíma sem lækurinn sker. Auk þessara linda í Grafarvogi er ein lind við Úlfarsá (myndir 1 og 27). Þessi lind er í blautu moldarrosbardi á eins fermetra svæði, hiti um 12°C, þ.e. samkvæmt mælingu í júní 1987 eftir langvarandi þurrka. Sagnir eru um að þarna hafi verið um 20°C heitt rennsli.

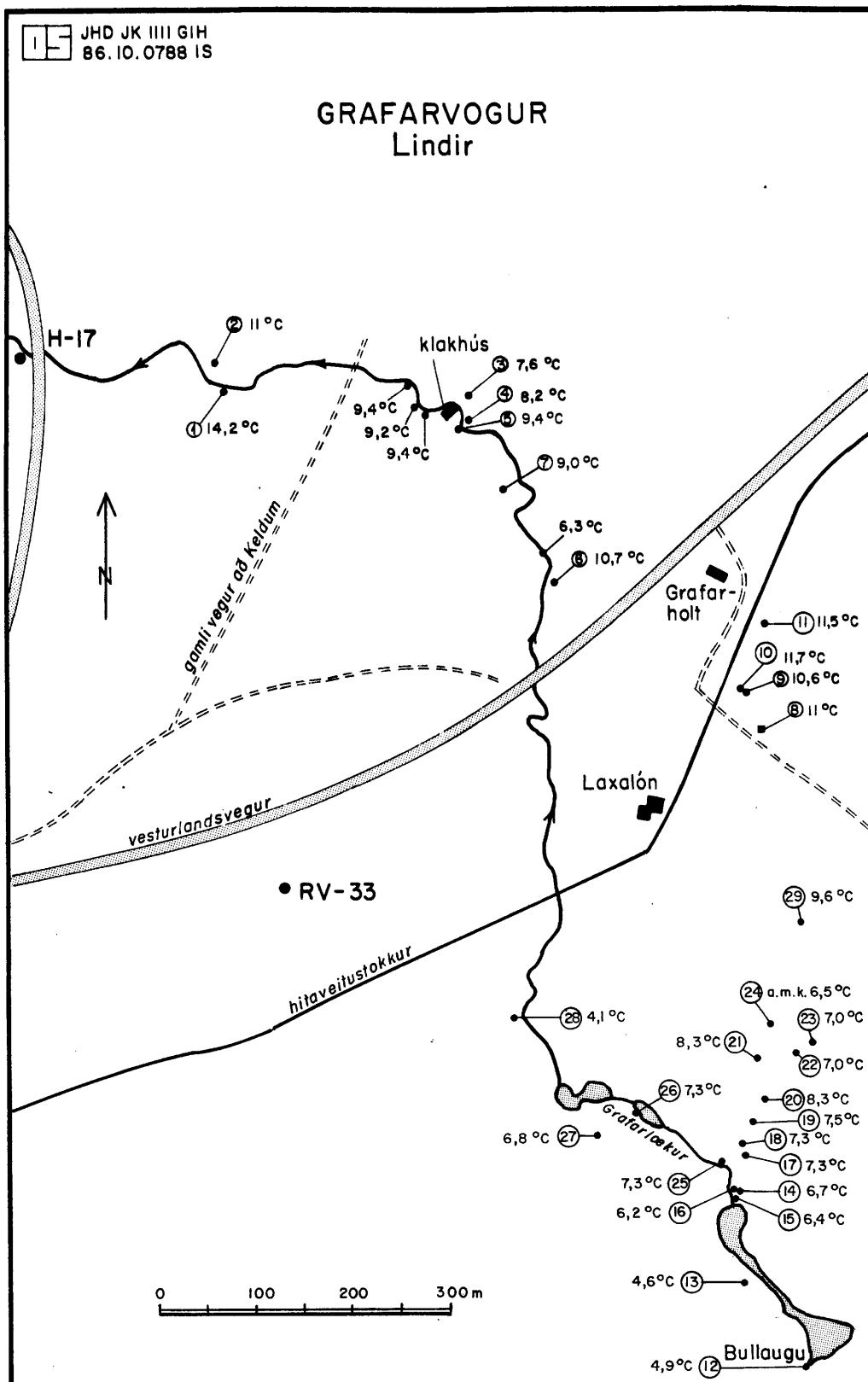
Heildarrennsli úr þessum lindum er um 33-40 l/s. Það samsvarar 6-8 l/s af 50°C eða 3-4 l/s af 90°C heitu vatni sem kæmi til yfirborðs. Þetta er því ekki stórt jarðhitavæði, en eins og rakið verður seinna, er líklegt að tölvert meira af 90-100°C heitu vatni sé á leið til yfirborðs, en vegna mikils rennslis af köldu vatni í efstu 400-500 m nái þetta jarðhitavatn aldrei að skila sér til yfirborðs.

5.2 Borholur

Tvær borholur eru á þessu svæði, RV-33 og HS-17. RV-33 var boruð 1971 (Jens Tómasson o.fl. 1977) og er 1560 m djúp. HS-17 var boruð 1984 og er 300 m djúp (Helga Tulinius o.fl 1986).

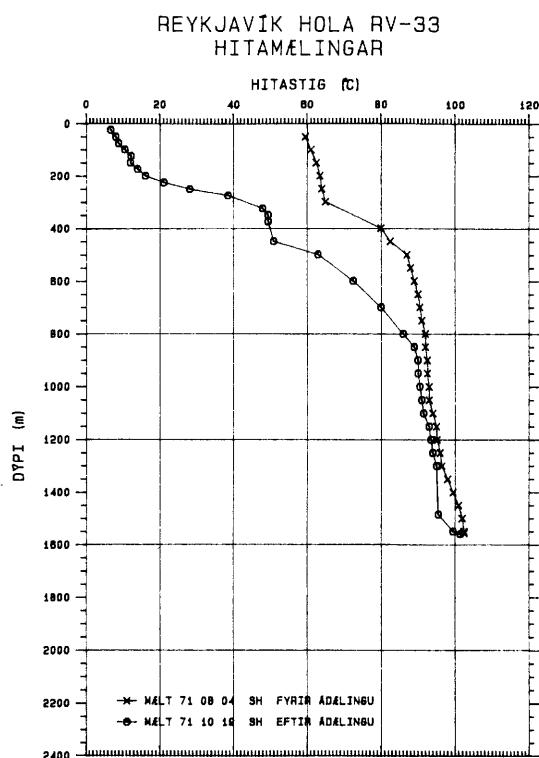
RV-33: Fremur lítið varð vart við vatnsæðar meðan á borun þessarar holu stóð og var heildartap um 10 l/s. Stærsta vatnsæðin var í 344 m dýpi (5 l/s). Þegar borun var lokið 1971.04.22, runnu úr holunni á að giska 3-4 l/s, en þegar rennslið var mælt í september 1971 var það um 2 l/s, hitinn var 59,5°C og þrýstingur 0,9 bar þegar holunni var lokad.

Dagana 19.-20. október 1971 var hola RV-33 þrýstiprófuð með því að dæla beint á toppinn á holunni. Dælingarmagnið var frá 14-90 l/s og þrýstingur 2,8-10 kg/cm². Alls var dælt 1564 tonnum. Við þessa prófun kom fram mismunandi lekt og virtist hún aukast við aukna dælingu og þrýsting. Minnsta lektin var álíka og sú lekt, sem kom fram í sjálfreynslinu úr holunni. Við mestu dælingu (90 l/s) kom fram 5-6 sinnum meiri lekt en í sjálfreynslinu. Hugsanlegt er að þessi aukning á lekt sé ekki raunveruleg, heldur hafi einhverjar sprungur opnast tímabundið rétt fyrir neðan fóðurrör þegar þrýstingur var 10 kg/cm² en lokast svo aftur



MYND 23 Lindir á Grafarvogssvæði

JHD-BM-1111-SH
87.II.0990-T

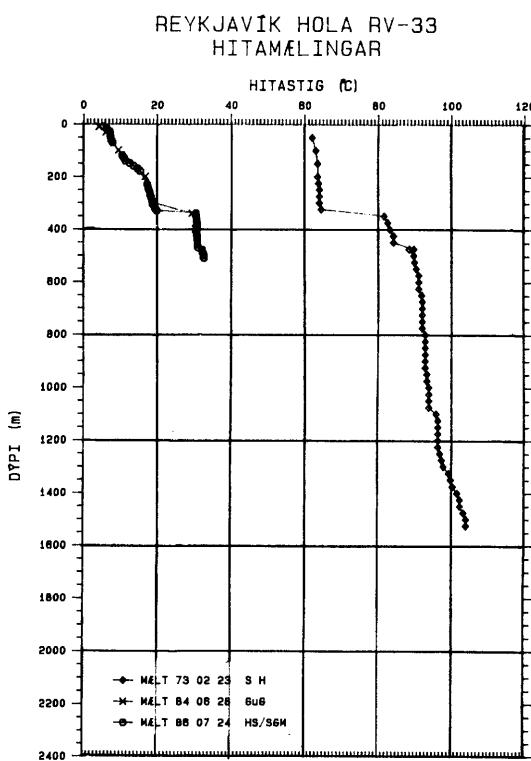


MYND 24 Hitamæling fyrir og eftir ádælingu RV-33

þegar þrýstingnum létti, en fóðurrörið er að eins 122 m. Töluverður bakþrýstingur var við þessar ádælingar. $1.2\text{-}4.8 \text{ kg/cm}^3$ runnu upp úr holunni þegar hætt var að dæla, en þá var hitamælt (mynd 24).

Á mynd 24 eru tvær hitamælingar úr RV-33. Fyrri mælingin er frá 71.08.04 meðan holan var í sjálfrennsli. Þessi mæling sýnir að frá 1300 m dýpi rennur upp holuna 95°C heitt vatn sem kólnar svoltíð á leiðinni upp og blandast við tvær vatnsæðar á leiðinni, á 450 og 344 m dýpi. Eftir blöndun við efri vatnsæðina er hitinn á vatni sem rennur upp holuna 65°C . Seinni mælingin er frá 71.10.19 eftir ádælingu á holuna. Á þessari mælingu sést að meginhluti þess vatns sem dælt var í holuna hefur farið út á 200 m dýpi og þar hefur sennilega brotnað út ný vatnsæð við þrýstiprófunina. Einnig hafa vatnsæðarnar í 344 og 450 m tekið við einhverju af því vatni sem dælt var í holuna. Frá 450

JHD-BM-1111-SH/GuG/HS
87.II.0991-T



MYND 25 Hitamælingar frá RV-33. Árin 1973, 1984 og 1986

til 850 m dýpis hefur holan einnig kólnað talsvert, en það sjást engin merki þess að vatnið hafi farið inn í einhverja ákveðna æð á því dýptarbili eða neðar. Því gæti þessi kólnum stafað af því að þegar dælt var á holuna hætti uppstreymið í henni og þar sem berghitinn er mun lægri en hitinn á vatninu sem streymir upp holuna lækki hitinn á þessu dýptarbili þegar uppstreymið hættir.

Fyrir neðan 850 m dýpi er sennilega verið að mæla berghita sem er þá $90\text{-}100^\circ\text{C}$. Hitamæling sem gerð var þegar holan var 960 m djúp bendir til að berghiti sé um 90°C á 900 m dýpi (Jens Tómason o.fl 1977). Þessi jafni hiti bendir til þess að á þessu dýptarbili. Við þessa ádælingu minnkaði rennsli upp úr holunni og kólnaði, jafnframt minnkaði toppþrýstingurinn. Fyrir ádælinguna var rennsli eins og áður sagði 2 l/s af 59.5°C heitu vatni og toppþrýstingur holunnar

0,9 kg/cm³. Í febrúar 1972 var rennslið 0,9 l/s af 55°C heitu vatni og toppþrýstingur holunnar 0,1 kg/cm³. Þetta þýðir að vatnsgæfni holunnar virðist ekki hafa breyst, en toppþrýstingur á henni hefur lækkað við þrýstiprófunina.

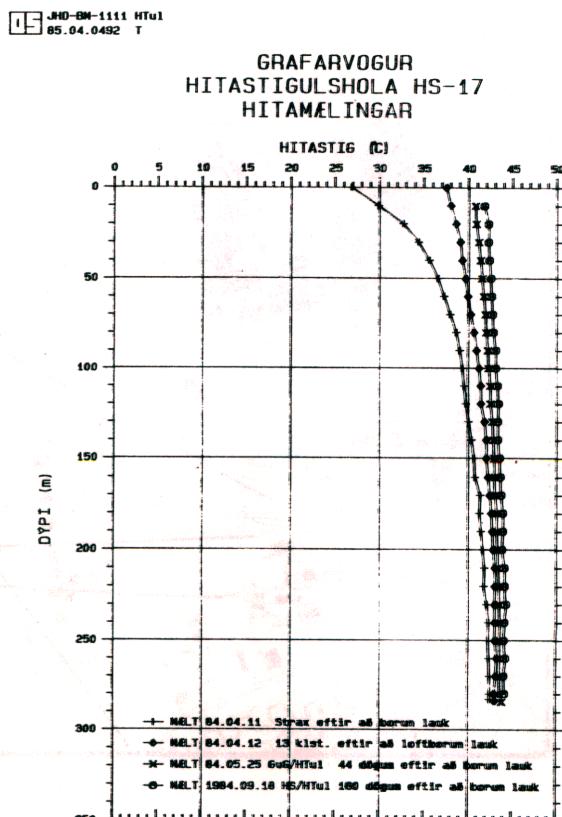
Holan var svo mæld aftur 1973.02.23 (mynd 25). Rann þá úr henni og engar breytingar á hita sjánlegar frá því stuttu eftir borun, og var hitinn frá vatnsæðinni í 344 m 65°C eins og áður.

Holan var mæld 84.06.28 (mynd 25). Þá var hún hrúnin á 520 m dýpi. Ekki er vitað hvenær holan hrundi en þá voru nokkur ár síðan hætti alveg að renna upp úr henni. Vatnsborðið í holunni var á 5 m dýpi, þrýstingurinn í henni hafði því lækkað um 6 m frá síðustu mælingu. Pessi mæling sýnir að frá 200 m dýpi rennur 17°C heitt vatn, blandast svo við heitara vatn í 344 m og eftir blöndunina rennur 30°C heitt vatn niður holuna, og fer meginhluti þess út í 476 m dýpi, en eithvert vatn rennur svo áfram niður fyrir hruntappann. Holan hefur kólnað um a.m.k. 9°C á 200 m dýpi frá borlokum, því að á þessu dýpi mældist 26°C þegar holan var 275 m djúp, en þar sem holan var mæld aðeins 20 tíma frá stöðvun borunar gæti berghitinn á þessu dýpi verið hærri en 26°C.

Það er sama skýringin á þessum viðsnúningi á rennslinu í holunni og kólnun og í öðrum holum utan vinnslusvæðisins þannig að vinnslan valdi þrýstilækkun í neðri leiðurum (C-leiðurum) en hins vegar haldist þrýstingurinn í A-leiðurum vegna þess að hann er svo nátengdur kalda grunnvatnskerfinu, sem er miklu stærra en jarðhitakerfið. Þetta er því nærtækasta skýringin á kólnuninni í RV-33 (sjá einnig kafla 4.1).

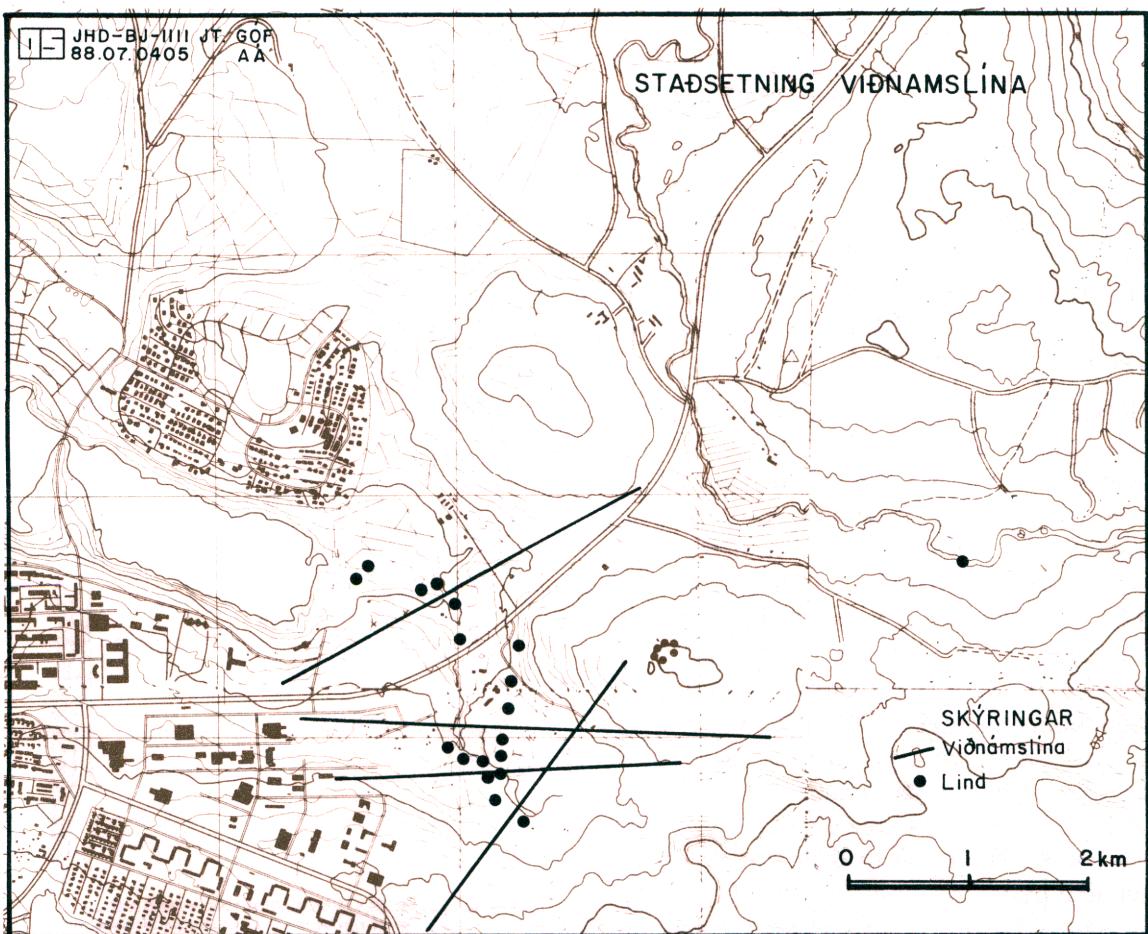
Með þessari skýringu er einnig hægt að skýra tilvist volgranna í Grafarvogi á þann hátt að öflugt grunnvatnskerfi í Bullaugum haldi uppi svo háum þrýstingi á jarðhitavatninu í A-leiðurunum á þessu svæði að volgrurnar haldast uppi þrátt fyrir lækkaðan þrýsting á jarðhitavatninu í neðri leiðurum vegna vinnslunnar. Hins vegar gæti vatns-

borðslækkunin í RV-33 aðeins að hluta til stafað af þrýstilækkun vegna vinnslunnar. Viðsnúningurinn á rennsli í holunni getur valdið nokkurra metra vatnsborðslækkun í henni, því köld vatnssúla er þyngri en heit.



MYND 26 Hitamælingar frá HS-17

Hola HS-17 var boruð við Grafarvog (mynd 23) til að athuga hvort 40-60°C heita vatnskerfið sem finnst á 200-400 m dýpi í RV-33 myndi finnast einnig þarna. Pess vegna var ákveðið þegar vatn kom í HS-17 á 290 m dýpi að steypa ekki í hana heldur athuga efnasamsetningu og ísótópahlutfall vatnsins, en þann hluta rannsóknanna mun Einar Gunnlaugsson hjá Hitaveitu Reykjavíkur annast. Einig væri hugsanlegt að athuga vatnafræðileg tengsl milli RV-33 og HS-17. Hitinn á vatnsæðinni á HS-17 er 49°C (mynd 26), en hitinn í vatnsæðinni á 344 m dýpi í RV-33 er hærri en 50°C en lægri en 65°C. Að hitinn var hærri en 50°C á þessu dýpi í RV-33 sést á því að á sama dýpi mældust 50°C eftir ádælingu með köldu



MYND 27 Staðsetning viðnámsmælinga

vatni sem hefur örugglega kælt vatnsæðina eithvað. Hitinn er lægri en 65°C vegna þess að þegar 80°C heita vatnið (myndir 24 og 25) hefur blandast vatnsæðinni í 344 m dýpi rennur 65°C heitt vatn frá henni. Sennilega er hitinn í 344 m æðinni um 60°C.

Tvö vatnskerfi virðast vera á svæðinu. Í fyrsta lagi 50-60°C heitt vatnskerfi sem finnst í RV-33 og HS-17, á 250-400 m dýpi (í A-vatnsleiðurum). En fyrir neðan 800 m dýpi finnst annað vatnskerfið, 90-100°C heitt (í C-vatnsleiðurum), sem líklega er varmategfinn fyrir 50-60°C heita vatnskerfið sem sennilega er blöndun af köldu grunnvatni og 90-100°C heita jarðhitakerfinu. Það er tvennt sem bendir til þess að jarðhitavatnið í A-leiðurunum sé blanda af köldu grunnvatni og djúpvatni. Í fyrsta lagi efnasamsetning

vatnsins úr HS-17 (Einar Gunnlaugsson, 1984) og í öðru lagi kólnun í RV-33, sem bendir til mjög náinna tengsla milli jarðhitavatnsins og kalda grunnvatnsins í A-leiðurunum. Framhaldsrannsóknir munu því að-allega beinast að því að staðsetja holu sem gæti gefið vatn úr 90-100°C heita jarðhitakerfinu. Af þeim rannsóknum sem þegar liggja fyrir er ljóst að RV-33 er ekki rétt staðsett, besta staðsetning miðað við núverandi vitnesku væri við N-S-sprunguna á austurhluta svæðisins sem vatnið virðist koma upp með (mynd 23). En til að undirbyggja staðsetningu holu enn betur er hér lagt til að gerðar verði viðnámsmælingar á svæðinu. Tillögur að viðnámslínunum eru merktar inn á mynd 27.

Þrjú vatnskerfi eru á svæðinu: Í fyrsta lagi kalt grunnvatnskerfi sem er á austurhluta svæðisins. Í RV-33 er t.d. sennilega kalt grunnvatn niður á að minnsta kosti 50 m dýpi. Í öðru lagi finnst 40-60°C heitt vatnskerfi á 250-400 m dýpi í HS-17 og í RV-33 (A-leiðararnir), þ.e. í efra basaltinu.

Vatnið úr þessum leiðurum kemur svo upp í strompum til yfirborðslindanna og fer þá oft í gegnum kalda vatnið og blandast því og er líklegt að uppstreymi af jarðhitavatni sé mun meira en kemur fram í lindum á yfirborði.

6. UMRÆÐA OG NIÐURSTÖÐUR

Lághitavatnið er sá hluti grunnvatnsstraums frá hærri til lægri staðar (hálendi til láglendis), sem kemst niður á það mikið dýpi að vatnið nær að hitna upp við snertingu við heitt berg. Þegar lághitavatnið mætir veikleika í jarðlagastaflanum, t.d. sprungum eða göngum sem ganga þvert á jarðlagastaflann, leitar vatnið upp til yfirborðs og myndar hveri og laugar. Rennslisrás jarðhitavatnsins er mjög mislöng, allt frá nokkrum km upp í hundrað km eða lengra. Það sem knýr vatnið í gegnum bergið er hæðarmunur grunnvatnsborðs á niður- og upprennslisstað. Hraði vatnsins í gegnum bergið er í réttu hlutfalli við þennan mun og lekt, en í öfugu hlutfalli við vegalengdina sem vatnið fer. Annað hreyfiafl vatnsins er hiti. Heitt vatn er léttara en kalt og hefur því tilhneigingu til að leita í átt til yfirborðs og í efri jarðlögum getur það kólnað og leitað svo niður á mikið dýpi þar sem það hitnar upp aftur. Slík hringrás kallast hræring. Í hræringarkerfum og uppstremmisrásum flyst varmi frá neðri hluta jarðhitakerfis til efri hluta. Ef reiknuð er út hlutfallsleg hitnun eða kólnun á Laugarnes- og Elliðaárvæðum miðað við þann hita sem ætti að vera ef hitinn ákvarðaðist einungis af varmastrumi frá iðrum jarðar (viðmiðunarhitastigul) kemur í ljós að kólnunin er 2 til 27 sinnum meiri á þessum svæðum en hitnunin. Það á sér því stað varmanám á þessum svæðum. Kólnun á báðum svæðum eykst línulega með dýpi og má því búast við því að varmanámið nái niður á mun meira dýpi en dýpi núverandi hola. Raunverulegt varmanám er því miklu meira en hér hefur verið reiknað með. Þó að kólnunin vaxi á báðum svæðum línulega með dýpi, er hún miklu meiri á Elliðaárvæðinu en á Laugarnessvæðinu. Ef borin er saman kólnunin á báðum svæðum á sama dýpi kemur í ljós að kólnun á Elliðaárvæðinu er fjórum sinnum meiri en á Laugarnessvæðinu.

Varmanámið er frá niðurrennslis- til uppstremmisstaða og er mest í niðurrennslisrásinni, minnkar síðan út frá henni, vegna

þess að vatnið hitnar því lengra sem það fer og er í snertingu við heitt berg. Hiti vatnsins nálgast því meir hitann á því bergi, sem það er að kæla því lengra sem það fer og við það minnkar kælingarmáttur þess.

Þetta skýrir muninn á varmanámi á Elliðaár- og Laugarnessvæði, því kaldasta vatnið á Elliðaárvæði hefur farið innan við 10 km leið en vatnið á Laugarnessvæði hefur farið 40-50 km leið.

Einnig skýrir þetta vaxandi hita til vesturs á 2000 m dýpi frá austustu holunni á Elliðaárvæðinu til Laugarnessvæðis þar sem heildarhitahékkun er um 75°C. Varmanámið er háð lekt bergsins og rennslisrás vatnsins. Þar sem lektin er lítil er ekkert varmanám. Varmanámið eykst með lektinni þangað til það er orðið svo mikið að vatnið hefur tekið allan varmann úr berginu, sem það er að kæla og hiti bergsins er orðinn sá sami og vatnsins. Þetta hefur gerst í Krísvíkurprungusveimnum þar sem kalt vatn nær niður á 1000 m dýpi.

Til að meta orkuna frá kælingu í bergi þarf ekki aðeins að vita hve mikil kólnunin er og hve stórir bergmassar eru að kólna, það þarf einnig að vita á hve löngum tíma kólnun hefur farið fram og hvort hún er jöfn eða hvort þetta er kólnun sem hefur skeð fyrir löngu. Ummyndunin segir okkur að þessi jarðhitavæði hafi verið háhitavæði, 200-300°C heit. Jarðfræðilega eru mestar líkur á að þau hafi verið háhitavæði þegar þau voru innan gosbeltisins fyrir milljónum ára. Síðan hefur þessi svæði rekið út úr gosbeltinu og þau kólnað. Kólnunin er í beinu sambandi við landrekið og er því hluti af jarðfræðilegum atburðum sem hafa verið að eiga sér stað í milljónir ára og eru enn í gangi, og er því ekki ástæða til að ætla annað en að kólnun eigi sér enn stað. Hins vegar er líklegt að þessi kólnun sé ekki jöfn því ýmsir jarðfræðilegir atburðir (processar), sem ekki eru samfelldir, svo sem jarðskjálftar og ísaldir, hafa mikil áhrif á vatnsrennslí í jarðskorpunni. Líklegt er að varmanámið sé mikið nú því aðeins eru liðin tíu þúsund ár frá lokum ísaldar, sem stóð yfir í nærrí hundrað þúsund ár. En á ísold hefur ekkert

varmanám verið því grunnvatnsstreymi hefur stöðvast vegna freðjökulsins.

Ummyndun í Kaldárselsholunni bendir til þess að niðurrennslíð í Krýsuvíkursprungusveimnum sé að minnsta kosti 200 þúsund ára gamalt, því engin ummyndun er í efstu 400 m í holunni og því engin merki um hærri hita en nú er á þessu dýptarbili. Aldur þessa bergs er um 200 þúsund ár. Fyrir neðan þetta dýpi bendir ummyndunin til mun hærri hita en nú er. Freistandi væri að setja þessi ummerki um fyrrum hita, sem finnast í Kaldárselsholunni, í samband við ísöldina og að bergið hafi hitnað upp á ísöld, en varmanámið eftir ísöld hafi síðan kælt það aftur. Til að svara þessu þarf miklu meiri og nákvæmari ummyndunar-rannsóknir á bergeninu úr þessari holu en hafa verið gerðar hingað til. Einnig myndu frekari ummyndunarrannsóknir á Elliðaár-svæðinu geta gefið meiri uppsýsingar um hitasögu svæðisins og hægt væri að finna merki um hitastig á milli núverandi hita og hæsta hita sem verið hefur á svæðinu.

Landfræðilega skiptist Elliðaárvæðið í nokkur undirsvæði, fyrst er hið eiginlega Elliðaárvæði (vinnslusvæði), sem er núverandi vinnslusvæði. Jarðhitakerfinu er skipt í þrenns konar leiðara eftir dýpi A, B og C. A-leiðararnir eru efstir, síðan B-leiðararnir og C-leiðararnir neðstir.

A-leiðararnir eru um 300-400 m þykkir og eru mest í efri basaltlögnum, sem eru fremur lítið ummynduð. Inni á vinnslusvæðinu er nær engin ummyndun niður á 180 m dýpi og á Grafarvogssvæðinu er hún enn minni. Í A-leiðurum er einnig kalt grunnvatn. Það eru því tvö grunnvatnskerfi í A-leiðunum, jarðhitavatnið og kalda grunnvatnið. Kalda grunnvatnið er sem pollar efst í A-leiðurum, en grunnvatnslagið þykknar mjög til austurs og tengist kalda grunnvatninu í Krýsuvíkursprungusveimnum.

B-leiðararnir eru 500-800 m þykkir og nái niður á 1100-1200 m dýpi nema í RV-41 þar sem þeir nái niður í 1400 m dýpi. B-leiðararnir eru í móbergsmunduninni. Mikil um-

myndun er í móbergsmunduninni og gæti efri hluti móbergsmundunarinnar myndað eins konar þakberg á milli A og B-leiðaranna. Í B-leiðurunum er heit tunga og er hæsti hiti í þessari tungu 110°C. Vatnið í B-leiðurunum kemur upp í norðri eða norðvestri frá vinnslusvæðinu og vatnið rennur síðan til suðurs í 200-300 m breiðri tungu sem kólnar og þynnist til suðurs. C-leiðararnir eru í neðri basaltlögnum frá 1300-2300 m dýpi. Vatnið í þessum leiðurum er mun kaldara en í B-leiðurunum, 70-85°C. Vatnið í B-leiðurunum flýtur ofan á vatninu í C-leiðurunum vegna eðlisþyngdar-munar (heitara vatn) en B-leiðarar eru að-skildir frá A-leiðurum með ummyndunar-kápu.

Frá því vinnsla hófst 1969 hefur vatnið sem dælt er úr svæðinu kólnað talsvert, en mis-jafnlega milli hola, frá 6-21°C. Kólnunin á svæðinu virðist aðallega vera gegnum A- og B-leiðarana, lítil sem engin kólnun í gegnum C-leiðarana. Kólnunin í A- og B-leiðurunum er með mismunandi hætti.

Áður en vinnsla hófst á jarðhitavæðinu var þrýstingurinn á jarðhitavatninu í A-leiðurum jafn eða meiri en á kalda vatnsgeyminum. En um leið og vinnsla hófst lækkaði þrýstingurinn og kalt vatn flæddi inn í jarðhitageyminn, þar sem engin jarðfræðileg hindrun er á innrennslí kalda vatns, þegar þrýstingurinn á kalda vatninu er orðinn meiri en á heita vatninu. Þar sem kaldi grunnvatns-geymirinn er óendanlega stór samanborið við jarðhitageyminn veldur innrennslíð á köldu vatni inn í A-leiðarana því að þrýstingur í A-leiðurunum fellur miklu minna en annars hefði orðið og eru A-leiðararnir nú með mun hærri þrýstingi en aðrir leiðarar á svæðinu. Þessi þrýstiaukning veldur niður-rennslí í holum. Jafnframt þessum viðsnúning á rennslí í holunum hefur orðið mikil kólnun í A-leiðurum í flestum holum en þó ekki öllum, t.d. í RV-32 hefur aðeins orðið viðsnúningur á rennslí en engin kólnun.

Kólnunin í B-leiðurum er vegna þess að í þeim er heit tunga sem er með kaldara vatni á þrjár hliðar. Þegar þrýstilækkun verður í B-leiðurum vegna dælingar, kemur þetta

kaldara vatn inn í holurnar í stað heitara vatnsins sem dælt hefur verið upp úr holum. Líklegt er einnig að með tímanum komi kalt grunnvatn inn í B-leiðarana í stað jarðhitavatnsins sem dælt er burtu. Kalda grunnvatnið mun leka niður gegnum sprungur vegna þess að þrýstingur á því er hærri en á jarðhitavatninu, t.d. fyrir austan svæðið.

Hægt er að stöðva eða seinka verulega kólnuninni í gegnum A-leiðarana með því að bora nýjar holur fóðraðar niður fyrir A-leiðarana og steypa mælirör í eldri holur.

Þær upplýsingar sem við höfum nú um Grafarvogssvæðið benda til þess að vinnsla á þessu svæði muni hafa lítil áhrif á vatnsborð á vinnslusvæðinu á Elliðaárvæðinu. Því eru möguleikar á jarðhitanýtingu þar.

Jaðarsvæðin þarf að athuga betur, einkum með tilliti til þess hvaða áhrif vinnslan á Elliðaárvæðinu hefur á einstaka vatnsleiðara. Áður hefur verið rakið að kælingin á svæðinu veldur því að þrýstingurinn í A-leiðurum verður hærri en í hinum leiðurunum. Ekki er vitað hve mikill þessi þrýstimunur er eða hvernig hann breytist með dýpi. Til þess að mæla þetta þarf misdjúpar holur sem yrðu fóðraðar næstum í botn, en til þess að rannsaka þrýstibreytingar í dýpri leiðurunum einkum utan við sjálft vinnslusvæðið þarf að fóðra holur upp á nýtt eða steypa í vatnsæðar í efstu 300-400 m. Einnig þarf að bora nýjar holur t.d. á suðursvæði og dýpka holu RV-36 á austursvæði. Þetta verður betur rakið í tillögum hér á eftir.

7. TILLÖGUR

1. Rannsaka þarf nánar ummyndun á Elliðaárvæðinu í ljósi nýrrar þekkingar og nýrrar tækni eins og t.d. vökbólurannsókna. Einnig þarf að rannsaka ummyndun í Kaldárselsholunum H-39 og H-37.
2. Hitamæla skal allar holar á Elliðaárvæðinu, sem aðgengilegt er að mæla, einu sinni á ári. Það eru holur: RV-24, RV-25, RV-27, RV-28, RV-33, RV-41 og H-37.
3. Bora þarf þrjár holur á miðju svæðinu, 100, 200 og 300 m djúpar, til að fylgjast með þrýstings- og hitabreytingum í efstu 300 m á svæðinu. Þessar holur yrðu fóðraðar næstum því í botn.
4. Dæling úr svæðinu þarf að vera þannig að hún taki mið af þeirri kælingu sem þar er, t.d. sé frekar dælt úr RV-39 en úr RV-29.
5. Hitamæla þarf sem fyrst dælingarholurnar RV-30 og RV-31 því þær hafa ekki verið hitamældar frá því að dæling hófst.
6. Steypa þyrfti grannt fóðurrör í RV-28 niður í 600 m dýpi, eða steypa grannt mælingarrör niður í botn á holunni. Við þessar aðgerðir myndi niðurrennslí í RV-28 stöðvast og kælingin, sem það niðurrennslí veldur, hverfa. Hola RV-28 yrði mjög góð mælingar-hola sem mundi gefa góðar upplýsingar um vatnsborð og berghitann og um allar breytingar sem verða á berghitanum með tíma. Einnig þarf að stöðva niðurrennslíð í RV-25 með steypingu eða fóðurröri til þess að geta mælt betur hver áhrif vinnslan hefur á neðri æðarnar í RV-25 (C-leiðarana).
7. Steypa mælirör í RV-26 og ef til vill einnig RV-30. Bora skal eina holu í stað þessara hola sem yrði fóðruð niður í 600 m dýpi.
8. Bora eina 1000 m djúpa holu á suðursvæði Breiðholtsmýrar, við H-20, sem yrði fóðruð niður í 600 m dýpi til að kanna suðurmörk jarðhitasvæðisins og hve mikið þetta svæði er tengt núverandi vinnslusvæði fyrir neðan 600 m dýpi.
9. Dýpka skal RV-36 niður í ca. 3000 m dýpi. Holan gefur fremur lítið vatn eins og er. Meginhlut vatnsæðanna er fyrir neðan 1800 m dýpi og eru því talsvert miklar líkur á að fá megi meira vatn með því að dýpka holuna. Holan er ekki tengd vatnskerfinu á Elliðaárvæðinu og mundi því sú viðbót, sem fengist með því að dýpka holuna vera hrein viðbót við svæðið. Góð aðstaða er til að dýpka holuna því hún er bein og nær því skápalaus. Dýpkun holunnar hefði einnig mikið rannsóknagildi, eins og fram kemur í umræðum hér á undan.
10. Taka þarf sýni úr lindunum á Grafar-vogssvæðinu til efnagreininga, reyna að finna út frá niðurstöðu efnagreininga hve mikið djúpvatn kemur til yfirborðs.
11. Viðnámsmæla. Staðsetning mælilína er sýnt á mynd 27.
12. Rannsaka RV-33 betur. Tillögurnar eru í röð þannig að mest áhersla er lögð á tillögu 12.1 og minnst á 12.4.
 - 12.1 Dæla úr holunni (á OS eru til heppilegar dælur til að prófa holuna).
 - 12.2 Stíflan á 520 m dýpi boruð út.
 - 12.3 Holan þrýstiprófuð fyrir neðan 520 m dýpi, til könnunar á vatnsæðum og hvernig bergið bregst við þrýstiprófun.
 - 12.4 Holan fóðruð niður fyrir 520 m eða steypt í allar æðar fyrir ofan 520 m dýpi.

HEIMILDASKRÁ

Árný E. Sveinbjörnsdóttir, Helga Tulinius, Jens Tómasson, Þorsteinn Thorsteinsson og Guðlaugur Hermannsson, 1985: *Reykjavík, hola RV-34. Borun og borholurannsóknir.* Orkustofnun, OS85095-/JHD-52 B. 124 s. Unnið fyrir HR.

Bragi Árnason 1976: *Groundwater systems in Iceland traced by deuterium.* Rit Soc. Sci. Islandica, 42. 236 p.

Bragi Árnason and Jens Tómasson, 1970: Deuterium and chlorides in geothermal studies in Iceland. *Geothermics, V.2. Special Issue:* 1415.

Einar Gunnlaugsson, 1982: *Efnagreiningar vatns á Elliðaárvæði.* Greinargerð aftan við skýrslu Verkfræðistofunnar Vatnaskila hf., 1982, 22 s.

Guðmundur Ó. Friðleifsson, 1983: *Mineralogical Evolution of Hydrothermal Systems.* RRG Trans. V 7: 147-152.

Guðmundur Ó. Friðleifsson, Helga Tulinius, Jens Tómasson, Þorsteinn Thorsteinsson, Gísli Guðmundsson og Guðlaugur Hermannsson, 1985: *Reykjavík, hola RV-35. Borun og borholurannsóknir.* Orkustofnun OS-85106/JHD-61 B. 90 s. Unnið fyrir HR.

Guðmundur Pálason, Stefán Arnórsson, Leó Kristjánsson, Ingvar Birgir Friðleifsson, Hrefna Kristmannsdóttir, Kristján Sæmundsson, Valgarður Stefánsson, Benedikt Steingrímsson and Jens Tómasson, 1979: *The Icelandic Crust. Evidence from drillhole data on structure and processes.* In: Deep Drilling Results in the Atlantic Ocean: Ocean Crust (Ed. M. Talwani, C.G. Harrison and D.E. Hayes), Maurice Ewing Series 2: 43-65. Am. Geophys. Union, 1979.

Guðmundur Pálason, 1981: *Crustal Rifting and Related Thermo-Mechanical Processes in the Lithosphere beneath Iceland.* Sonderdruck aus der Geologischen Rundshau, Band 70: 244-259.

Gunnar Böðvarsson, 1983: Temperature-Flow Statistics and Termomechanics of Low-Temperature Geothermal Systems in Iceland. *Journal of Volcanology and Geothermal Research,* 19: 255-280.

Helga Tulinius, Ómar Bjarki Smárason, Jens Tómasson, Ingvar Birgir Friðleifsson og Guðlaugur Hermannsson, 1986: *Hitasstigulsboranir árið 1984 á Höfuðborgarsvæðinu* (Holar HS-14 til HS-22). Orkustofnun, OS-86060/JHD-22 B. 38 s. Unnið fyrir HR.

Hilmar Sigvaldason, Helga Tulinius, Guðmundur Ómar Friðleifsson og Einar Gunnlaugsson 1988: *Selta á Laugarnes-svæðinu.* Skýrsla í vinnslu.

Jens Tómasson og Þorsteinn Thorsteinsson, 1968: *Þrófstítilraunir í borholum við Elliðaárár, G-24 og G-28.* Orkustofnun, Jarðhita-deild og Hitaveita Reykjavíkur.

Jens Tómasson, Ingvar Birgir Friðleifsson og Valgarður Stefánsson, 1975: *A Hydrological Model for the Flow of Thermal Water in SW-Iceland with Special Reference to the Reykj and Reykjavík Thermal Areas.* Second UN Symp. on the Development and Use of Geothermal Resources, San Francisco: 643-648.

Jens Tómasson, Þorsteinn Thorsteinsson, Hrefna Kristmannsdóttir og Ingvar Birgir Friðleifsson, 1977: *Höfuðborgarsvæðið, jarðhitarannsóknir 1965-1973.* Orkustofnun, OS-JHD-7703. 109 s.

Lúðvík S. Georgsson, 1985: *Höfuðborgarsvæðið - Borgarfjörður. Niðurstöður við-námsmælinga.* Orkustofnun, OS-85111/JHD-14. 41 s.

Ómar Bjarki Smárason, Helga Tulinius, Jens Tómasson, Þorsteinn Thorsteinsson, Einar Gunnlaugsson, Guðlaugur Hermannsson og Héðinn Ágústsson, 1984: *Reykjavík, hola RV-39. Borun vinnsluhluta frá 495-2100 m.* Orkustofnun, OS-84109/JHD-47 B. 94 s. Unnið fyrir HR.

Ómar Bjarki Smárason, Helga Tulinius, Jens Tómasson, Þorsteinn Thorsteinsson,

Guðlaugur Hermannsson, Gísli Guðmundson og Héðinn Ágústsson 1985. *Reykjavík, Hola RV-37. Borun og rannsóknir.* Orkustofnun, OS85109/JHD-63 B. 70 s. Unnið fyrir HR.

Ómar Bjarki Smárason, Helga Tulinius, Jens Tómasson, Þorsteinn Thorsteinsson, Guðlaugur Hermannsson og Héðinn Ágústsson, 1985: *Reykjavík, hola RV-36. Borun og rannsóknir.* Orkustofnun, OS-85113/JHD-66 B. 63 s. Unnið fyrir HR.

Ómar Bjarki Smárason, Helga Tulinius, Guðlaugur Hermannsson, Þorsteinn Thorsteinsson, Jens Tómasson og Vigdís Harðardóttir 1985: *Reykjavík, hola RV-41. Borholurannsóknir.* Orkustofnun OS-88026/JHD-02. Unnið fyrir HR.

Verkfræðistofan Vatnaskil hf., 1982: *Elliðarárvæðið. Áhrif vinnslu á orkaforða.* 65 s. Unnið fyrir HR.

Verkfræðistofan Vatnaskil hf., 1983: *Elliðarárvæðið. Úrvinnsla vatnborðs- og hitamælinga.* 55 s. Unnið fyrir HR.

Trausti Einarsson, 1942: *Über das Wesen der heißen Quellen Islands.* Societas Scientiarum Islandica. V. Reykjavík, 91 s.

Þorsteinn Thorsteinsson, 1970: *Vatnsstöðumælingar í borholum við Elliðaár 1969-1970.* Orkustofnun, JHD og Hitaveita Reykjavíkur.

VIÐAUKI

VIÐAUKI

VIÐAUKI

VIÐAUKI

VIÐAUKI

VIÐAUKI

VIÐAUKI

VIÐAUKI

VIÐAUKI I

VIÐAUKI

VIÐAUKI

VIÐAUKI

VIÐAUKI

VIÐAUKI

Kólnun í einstökum holum

VIÐAUKI

VIÐAUKI

VIÐAUKI

MYNDASKRÁ Í VIÐAUKA I

- 1 Hitamælingar frá RV-23
- 2 Hitamælingar frá RV-24
- 3 Hitamælingar frá RV-25
- 4 Hitamælingar frá K-1
- 5 Hitamælingar frá RV-26
- 6 Hitamælingar frá RV-27
- 7 Hitamælingar frá RV-28
- 8 Hitamælingar frá RV-29
- 9 Hitamælingar frá RV-32
- 10 Hitamælingar frá RV-36
- 11 Hitamælingar frá RV-37
- 12 Hitamælingar frá RV-41

RV-23. Dælingarhola. Holan var uppruna-lega fóðruð með 34 cm víðu fóðurröri niður í 35 m dýpi en síðan endurfóðruð 1982 með 25 cm víðu fóðurröri niður í 302 m dýpi. Þetta var gert til að stöðva kælingu sem or-sakaðist af leka rétt fyrir neðan fóðurrör. Við þetta hitnaði vatnið úr holunni um 6°C, frá 91°C upp í 97°C. Hitamælingar úr holu RV-23 eru sýndar á mynd 1. Sú fyrri er frá 1. okt. 1968, u.p.b. mánuði eftir að borun lauk. Hin mælingin var gerð 23. mars 1984. Eins og sést á þessum mælingum hefur orðið kólnun í allri holunni nema í botninum, þar sem stærstu æðarnar eru. Þar hefur engin kólnun orðið. Mest er kólnunin á 405 m dýpi, en þar var 3 l/s æð í borun. Mæling sem gerð var í borun meðan þessi æð var eina æðin í holunni gaf 91°C á 405 m dýpi, svo kólnunin hefur a.m.k. orðið 24°C á þessu dýpi. Vatnsæðin á 680 m dýpi hefur einnig kólnað um meira en 20°C. Í mælingu frá 23.mars 1984 er rennslisferill frá botni upp í 680 m æðina, sem er sennilega vegna dælingar úr holunni, því mælingin var gerð skömmu eftir dælingu úr holunni. Samkvæmt þessum mælingum er kælingin sem nú er í henni frá hlið, en hitaaukningin sem varð við að fóðra holuna niður í 302 m var tiltölulega skammæ og eftir tvö ár hafði holan kólnað aftur um nærrí 4°C. Ástæðan fyrir þessari kólnun er sú að þegar holan var fóðruð í 302 m dýpi stíflaðist vatnsæð í 1235 m dýpi í holu RV-23 að hluta. Raskaðist því hlutfallið milli vatnsæða í B- og C-leiðara og kom eftir viðgerðina minna en heitara vatn úr holunni. Þróunarprófað var í holu RV-39 í janúar - febrúar 1984 og fór þá stíflan úr æðinni á 1235 m dýpi í RV-23, vatnsmagnið jókst og jafnframt kom kaldara vatn úr holunni. Upphafshiti í RV-23 var 100°C, en nú er hún 94°C svo holan hefur kólnað um 6°C. Kólnun er í A- og B-leiður-unum en engin í C-leiðurum. Samkvæmt skoltapsmælingum í borun kemur 6% af vatninu frá A-leiðurum, 42% frá B-leiðurum og 52% frá C-leiðurum.

RV-24. Ekki dælingarhola. Vatnsborðið í holunni hefur lækkað vegna vatnsvinnslunnar á Elliðaárvæðinu um 3% af vatnsborðs-lækkuninni á vinnslusvæðinu. Á mynd 2 eru

sýndir tveir hitaferlar annar frá 1974.11.12 hinn frá 1986.09.15. Kólnun hefur orðið í holunni milli þessara tveggja mælinga. Þessi kólnun stafar af því að millirennslí í holunni hefur breyst. Í fyrra sinnið var rennslí úr holunni og rann upp úr henni 42°C heitt vatn frá vatnsæð á 670 m dýpi. Nú er niðurrennslí í holunni frá vatnsæðinni á 140 m niður í vatnsæðina á 670 m dýpi. Vatnið, sem kemur úr 140 m æðinni er 26°C heitt, er orðið 62°C þegar það fer inn í vatnsæðina á 670 m dýpi, en hitinn á þessu dýpi var áður 86°C, svo þarna hefur orðið kólnun um 24°C. Ekki er hægt að segja hvort eða hve mikil hefur kólnað á 140 m dýpi en í mælingunni frá 1968.02.05, þegar holan var 630 m djúp, var hitinn á þessu dýpi 35°C. Orsókin fyrir því að það byrjaði niðurrennslí í holunni í stað upprennslis er sú að við áðurnefnda þrýstilækkun sem orðið hefur í holunni hefur þrýstingurinn í 670 m æðinni orðið lægri en í 140 m æðinni.

RV-25. Ekki dælingarhola. Á vestursvæði. Nokkur þrýstilækkun hefur orðið í holunni vegna vinnslunnar á jarðhitasvæðinu og er um 22% af þrýstilækkuninni inni á vinnslusvæðinu. Á mynd 3 eru hitamælingar frá RV-25. Þar sést að vatnsæð er í 300 m dýpi, en þar var um 5 l/s skoltap í borun. En frá þessari æð rann 74°C heitt vatn rétt eftir borun, mæling frá 68.11.15, en það er samt ekki berghitin í æðinni, því upp í þessa æð rann 100°C heitt vatn frá neðri æð. Berghitin var því lægri en 74°C. Árið 1972 rann 63°C heitt vatn úr þessari æð svo kólnunin er minni en 11°C á 300 m dýpi á 4 árum. Árið 1986 er hitinn á 300 m dýpi orðinn að-eins 56,5°C. Á þessu dýpi hefur því kólnað um 7,5°C á 14 árum eða um 1/2°C á ári. Því er líklegt að upprunalegur berghiti í þessari æð hafi verið um 65°C. Holan hefur kólnað um 35-40°C frá 300 m niður í 1500 m dýpi. Þetta er vegna niðurrennslis í stað upprennslis frá 300 m æðinni niður í vatnsæðina á 1470 m dýpi.

K-1. Ekki dælingarhola. Holan er á vestursvæði. Vatnsborð hefur lækkað í henni vegna vatnsvinnslunnar um 15% af lækkun-

inni sem er inni á vinnslusvæðinu. Á mynd 4 eru hitamælingar frá holunni og milli tveggja síðustu mælinga frá 1972.08.07 og 1986.10.08 kemur fram 9°C kólnun í 670 m, en þar er botn í holunni nú því holan hrundi í pökkun. Þessi kólnun er vegna lítilsháttar niðurrennslis frá 220 m dýpi. Einnig eru á mynd 4 tvær mælingar frá holunni meðan á borun stóð og nær sú fyrri niður í 1070 m dýpi og þar mældist 93,1°C, en seinni mælingin nær niður í 1385 m dýpi og þar mældist 93,7°C. Báðar mælingarnar voru gerðar eftir 40 klst. hlé á borun (Jens Tómasson o.fl. 1977). Kólnun frá skolvatni borsins er töluverð eftir svona stutt hlé frá borun. Þarna er því komið í vatnskerfi sem er 95-100°C hræringarkerfi?

RV-26. Dælingarhola. Samkvæmt skoltapsmælingum er 99% af vatnsgæfni holunnar í einni æð í B-leiðara (760 m dýpi) og aðeins 1% í A-leiðara. Líklegt er að vatnsæðarnar í A-leiðara séu eitthvað stærri en skoltapsmælingarnar gefa til kynna. Í RV-26 hefur orðið mikil kólnun vegna niðurrennslis í sjálfrí holunni. Eftir hitamælingunni frá 17. maí 1982 að dæma (mynd 5) er mest kólnun í 760 m æðinni. Hún hefur kólnað úr 110°C í 77,5°C eða um 32,5°C. Þessi kólnun er aðeins í næsta nágrenni holunnar en vatnsæðin í 760 m hefur ekki kólnað nema um 10°C eða minna, því nú er dælt um 100°C heitu vatni úr holunni, en 760 m æðin er aðalvatnsæð holunnar. Vatnsæðarnar í 220 og 440 m hafa sennilega kólnað mun meira en vatnsæðarnar í 760 m dýpi. Hitinn á 220 m dýpi var í mælingunni frá 1982 um 50°C á þessu dýpi, en í mælingunni frá 1968 var hitinn á þessu dýpi um 80°C, svo á þessu dýpi getur hafa orðið kólnun um 30°C. Holan hafði verið lokað í tvær vikur áður en hitamælt var 1968 og þar eð engin merki um millirennslí í holunni sjást í hitamælingunni, ætti mælingin að vera nálægt berghita. Að vísu gæti eitthvað af vatni hafa runnið upp úr holunni meðan á mælingu stóð, sem gæti hækkað hitann í efsta hluta hennar eitthvað og þar með gæti hitinn á 220 m dýpi verið eitthvað lægri en 80°C 1968. Kólnunin á 440 m er talsvert minni en 36°C sem er munur á

hitanum á þessu dýpi í mælingum frá 1968 og 1982, því hitinn sem mælist á þessu dýpi er blöndunarhit af 55°C heitu vatni frá vatnsæðinni í 220 m og vatni frá vatnsæðinni í 440 m dýpi. Eftir blöndun er vatnið 68°C.

RV-27. Ekki dælingarhola, en holan er inni á vinnslusvæðinu og hefur verið notuð sem aðalathugunarholan til að mæla vatnsborðsbreytingar á svæðinu. Í borun varð aðeins vart við eitt örðlið skoltap 1/2 l/s í 460 m, en samkvæmt hitamælingum er vatnsæð í 535-540 m dýpi, en holan er hrúnin á því dýpi. Á mynd 6 eru sýndar tvær hitamælingar frá holunni 1974.10.14 og 1986.04.11. Engin kólnun hefur orðið í þessari holu á milli þessara mælinga, vegna þess að engar vatnsæðar eru í A-leiðara til að leka niður í neðri leiðara.

RV-28. Ekki dælingarhola, en holan er inni á vinnslusvæðinu og hefur verið notuð til vatnsborðsmælinga á jarðhitasvæðinu ásamt RV-27. Í borun var fremur litið um vatnsæðar en þó voru æðar í A-leiðara (33%) og C-leiðara (67%) leiðara en engin í B-leiðara. Holan var þrýstiprófuð og batnaði eitthvað við það en aldrei var sett dæla í hana, en holan var stífluð af rusli sem hent var í hana. Árið 1985 var holan hreinsuð og dæluprófuð með djúpdælu. Á mynd 7 eru nokkrar hitamælingar frá RV-28. Ljóst er að mikil kólnun hefur orðið í RV-28, þó upprunalegur hiti sé illa þekktur. Þessi kólnun er vegna niðurrennslis í holunni sjálfrí. Í 116 m dýpi er æð. Þarna var um 1-3 l/s tap í borun. Frá þessari æð rennur 25°C heitt vatn niður holuna (mynd 7) niður í 295 m dýpi, en þar var einnig um 1-2 l/s tap í borun, og frá 300 m dýpi rennur niður holuna 39°C heitt vatn niður í æðina í 1370 m, en þar er vatnið orðið 46°C heitt. Hve mikil hefur þá kólnun orðið? Ekki eru til neinar áreiðanlegar hitamælingar í RV-28, en líklega hefur hitinn verið eitthvað lægri í RV-28 en í nálægum holum, líklega svipaður hiti og í RV-36, svo holan hefur kólnað um 20-30°C, en nákvæmar er ekki hægt að segja til um kólnunina vegna þess hve upphafshitinn er illa þekktur.

RV-29. Dælingarhola. Samkvæmt skoltapsmælingum eru allar vatnsæðar í B-leiðara, en engin í A-leiðara, en hitamæling gefur til kynna að það geti verið vatnsæð á 200 m dýpi (A-leiðari). Á mynd 8 eru tvær hitamælingar, frá 1969.08.22 og 1982.03.03. Á milli þessara mælinga hefur holan kólnað mikið, mest í botni; í 1060 m æðinni um að minnsta kosti 18°C, sem bendir til að um hliðarkólnun sé að ræða. En við vitum að fyrri mælingin er gerð það skömmu eftir borun að mjög líklegt er að holan sé eitt-hvað kæld eftir borun. Samkvæmt skýrslum Verkfræðistofunnar Vatnskila hf. 1982, 1983 var upphafshiti vatnsins úr holunni 107-111°C og þar sem helmingur af vatninu úr holunni kemur úr neðstu æðinni er líklegt að æðarnar hafi allar haft svipaðan hita. Ef t.d. neðsta æðin væri 100°C þyrftu hinar æðarnar að vera 114-120°C sem er miklu hærri hiti en mælst hefur annars staðar á svæðinu. Það er því líklegt að neðsta æðin hafi kólnað um 25°C meðan hitinn á vatninu sem dælt er úr holunni hefur kólnað um 21°C.

RV-30. Dælingarhola. Upphafshiti vatnsins sem dælt var úr RV-30 var sennilega 105°C en er nú 93°C. Holan hefur því kólnað um 12°C. Um 70% af vatnsæðum eru í B-leiðurunum, hitt er frá C-leiðara. Engin hitamæling er til frá holunni eftir að dæling hófst.

RV-31. Dælingarhola. Upphafshiti vatns sem dælt var úr RV-31 var 94°C, en nú er hitinn um 89°C. Þarna hefur orðið lækkun um 5°C. Nærri 90% vatnsæðanna eru frá C-leiðurum. Engin hitamæling er til frá holunni eftir að dæling hófst.

RV-32. Ekki dælingarhola, er við Höfðabakka fyrir utan vinnslusvæðið. Holan er í allgóðum vatnafræðilegum tengslum við vinnslusvæðið. Sveiflast vatnsborðið í holunni um u.p.b. 26% af sveiflunni á vinnslusvæðinu. Á mynd 9 eru sýndar tvær hitamælingar frá holunni sú fyrri 1970.02.09 og sú seinni 1986.04.04. Nokkur kólnun hefur orðið milli þessara tveggja mælinga milli

700 og 1270 m dýpis. Mæld kólnun á 1260 m var 16,6°C, en það vantar mælipunkt í 1270 m dýpi í fyrri mælingunni. Þessi kólnun er vegna niðurrennslis frá vatnsæðinni á 315 m dýpi, en þar var 5-7 l/s tap meðan á borun stóð, niður æðina í 1270 m en þar varð ekki vart við neitt tap meðan á borun stóð. Þessi kólnun er því vegna þess að þrýstibreytingin af vinnslunni á jarðhitavæðinu kemur fyrst og fremst fram í neðri vatnsæðinni í holunni og við það fær efri vatnsæðin (A-leiðarinn) hærri þrýsting og fer að leka niður í neðri æðina. Engin kólnun hefur átt sér stað í efri æðinni svo þessi kólnun er eingöngu vegna viðsnúnings á millirennslí holunnar.

RV-33. Gerð var grein fyrir þessari holu í sérkafla um Grafarvogssvæðið.

RV-36. Dælingarhola. Þessi hola var boruð 1980 (Ómar Bjarki Smárason o.fl. 1985). Samkvæmt skoltapsmælingu eru nærrí allar vatnsæðar hennar fyrir neðan 1900 m dýpi í C-leiðara. 93°C heitt vatn er í B-leiðara (7%) en A-leiðari er að mestu fóðraður af. Þetta hlutfall hefur sennilega eitthvað raskast í þrýstiprófun. Ef bornar eru saman síðustu hitamælingarnar úr holunni áður en dæling hófst og hitinn á vatninu sem dælt er upp úr holunni gæti um 1/3-1/2 af vatninu komið frá B-leiðara. Dælt hefur verið úr holunni frá 1981. Það virðist hafa orðið 1°C kólnun á vatninu frá upphafi vinnslu, en þess ber þó að geta að einhverjar sveiflur hafa verið á hita vatnsins. Holan hefur ekki verið hitamæld síðan vinnsla hófst. Engin merki um kælingu á því bergi sem holan sker, sjást í hitamælingunni eftir borun (mynd 10).

RV-37. Dælingarhola. Þessi hola var boruð 1981 (Ómar Bjarki Smárason o.fl. 1985). Samkvæmt skoltapsmælingum er 20% af vatnsæðum í B-leiðara og 80% í C-leiðurum en A-leiðari er fóðraður af því holan er fóðruð í 513 m dýpi. Þetta hlutfall gæti hafa raskast í þrýstiprófuninni og sennilega kemur nú meira en helmingur af vatninu frá B-leiðara. Í hitamælingu frá RV-37 sem gerð

var 44 dögum eftir lok borunar komu fram kælipunktar á 700-900 m dýpi sem gæti bent til kælingar á bergi á þessum dýptarbilum (mynd 11). Síðan vinnsla hófst hefur vatnið úr holunni kólnað um einar 2°C en engin hitamæling er til frá holunni eftir að vinnsla hófst.

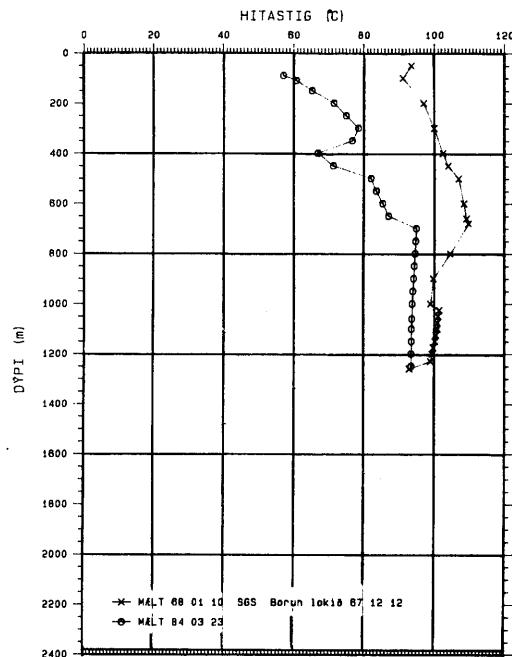
RV-39. Dælingarhola. Borun lauk í janúar 1984 (Ómar Bjarki Smárason o.fl. 1981). Eftir skoltapsmælingum er um 64% frá B-leiðurum og 36% frá C-leiðurum. Þetta hlutfall hefur raskast í þrýstiprófuninni og hlutur B-leiðara aukist. Engin kæling kemur fram á því bergi sem holan sker í hitamælingu sem gerð var eftir að borun lauk (mynd 12) og hámarkshiti mældist 109°C á 950 m dýpi. Þetta er nálægt hæsta hitanum sem mælst hefur á svæðinu sem er 111°C. Aðeins er búið að dæla úr holunni í rúm þrjú ár og hefur hún yfirleitt aðeins verið notuð þegar hámarksálag hefur verið á svæðinu og engin kæling hefur komið fram á því vatni sem dælt er úr henni.

RV-41. Ekki hefur verið dælt úr þessari holu ennþá. Hún var boruð 1984 (Ómar Bjarki Smárason o.fl. 1988). Þessi hola er inni á vinnslusvæðinu sjálfu þó að hún sé fyrir norðan Elliðaár og vatnsborðið í þessari holu reyndist eins og vatnsborðið í holunum fyrir sunnan árnar. Á mynd 13 er síðasta hitamæling frá holunni. Engin merki sjást um kældar vatnsæðar í því bergi sem holan sker.

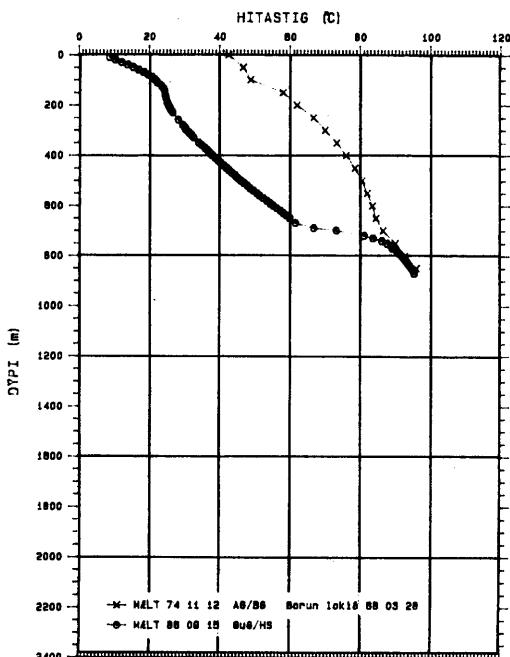
JHD-BM-1111-SGS
87 II 0982-T

JHD-BM-1111-AB/GuG
87 II 0983-T

REYKJAVÍK HOLA RV-23
HITAMÆLINGAR



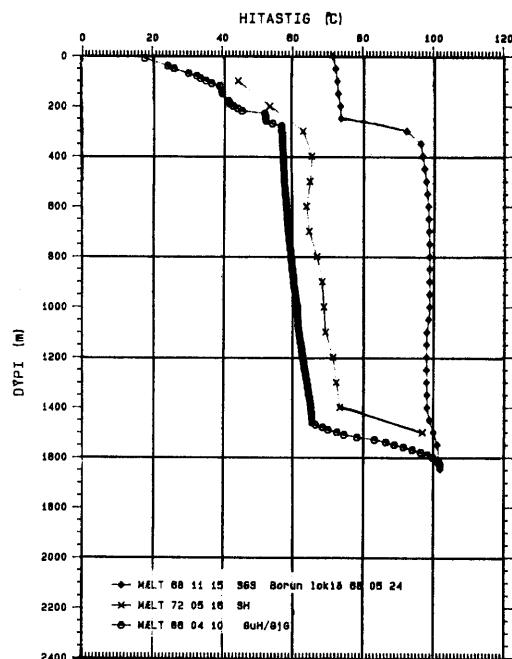
REYKJAVÍK HOLA RV-24
HITAMÆLINGAR



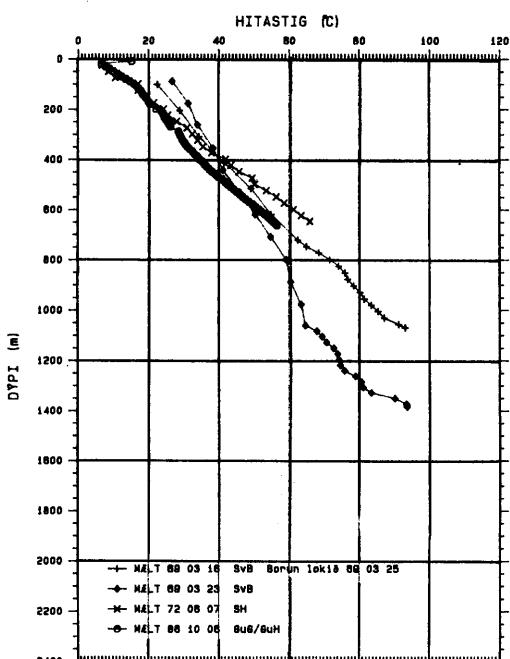
JHD-BM-1111-SGS/SH/GuG
87 II 0984-T

JHD-BM-1111-SvB/SH/GuG
87 II 0993-T

REYKJAVÍK HOLA RV-25
HITAMÆLINGAR



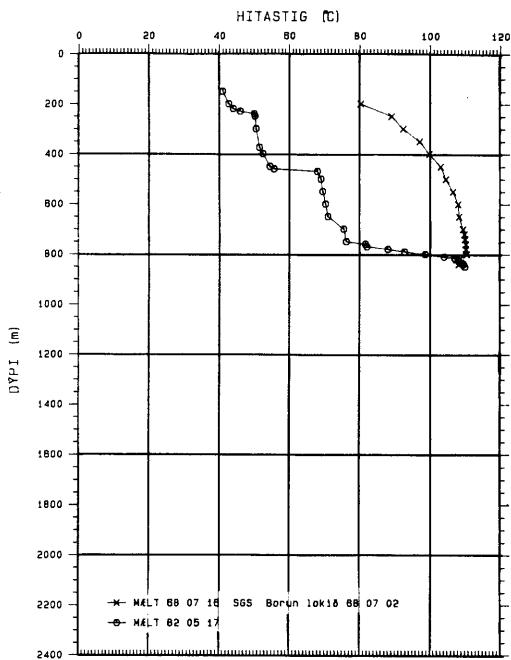
KÓPAVÖGUR HOLA K-1
HITAMÆLINGAR



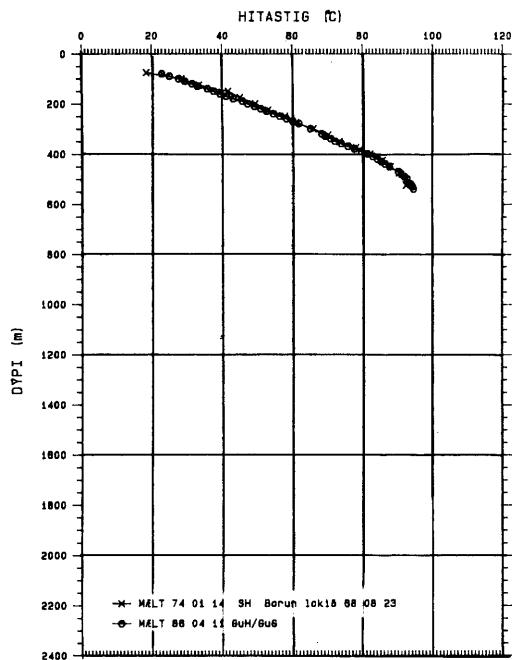
JHD-BM-1111-SGS
8711 0985-T

JHD-BM-1111-SGS/GG
8711 0986-T

REYKJAVÍK HOLA RV-26
HITAMÆLINGAR



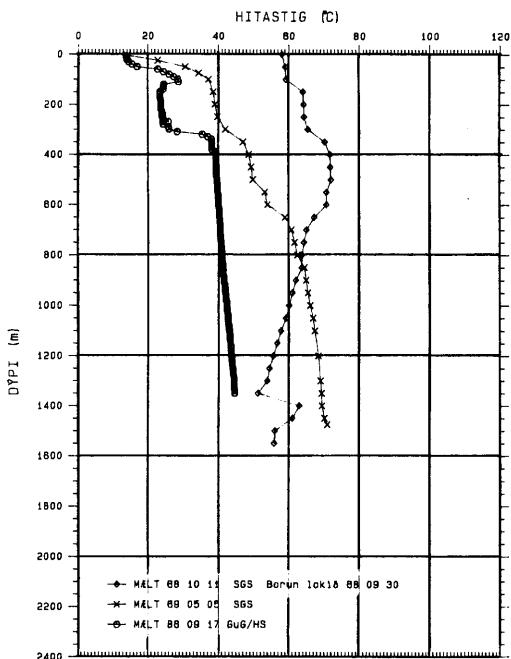
REYKJAVÍK HOLA RV-27
HITAMÆLINGAR



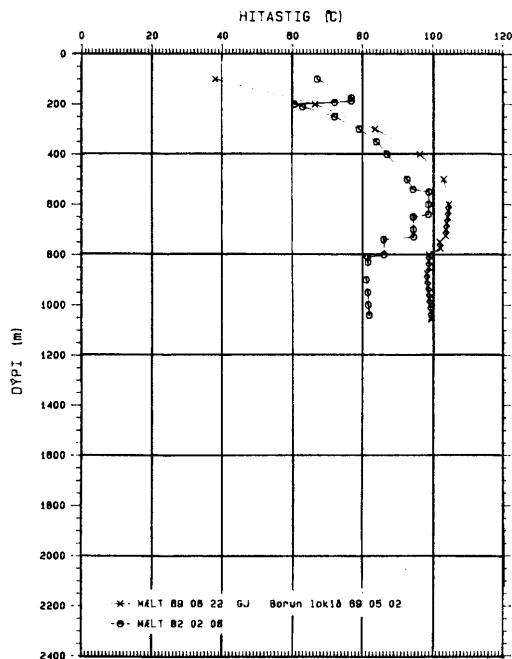
JHD-BM-1111-SGS/GG
8711 0987-T

JHD-BM-1111-GJ
8711 0988-T

REYKJAVÍK HOLA RV-28
HITAMÆLINGAR



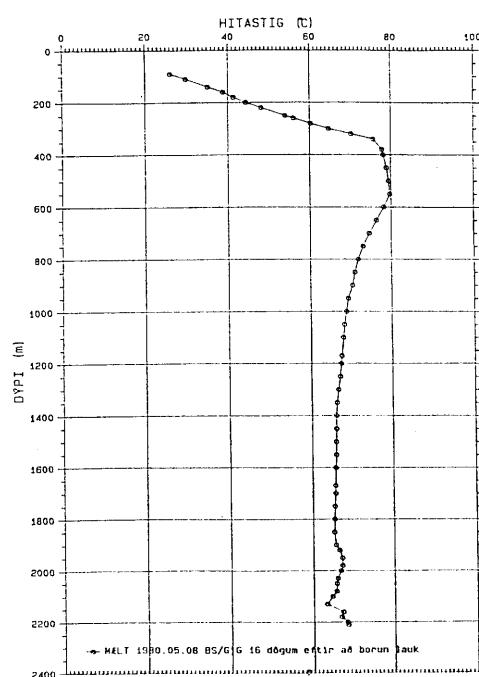
REYKJAVÍK HOLA RV-29
HITAMÆLINGAR



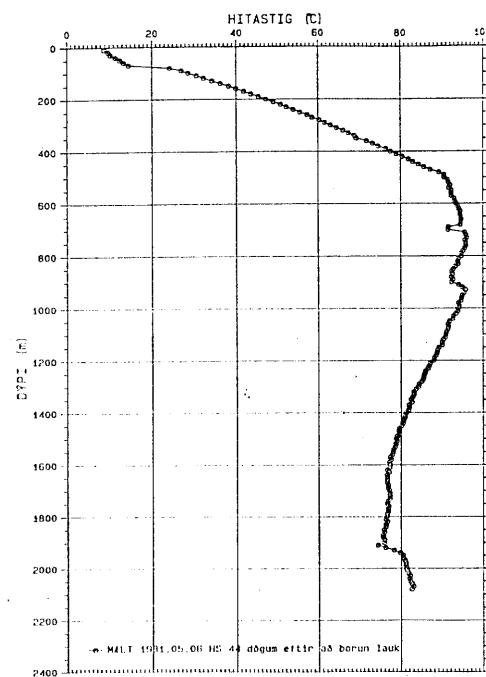
JHD-BM-III-1111-0721
BS 04.3486 7

JHD-BM-III-1111-HfH
BS 11.1425 1

REYKJAVIK HOLA RV-36
HITAMÆLING



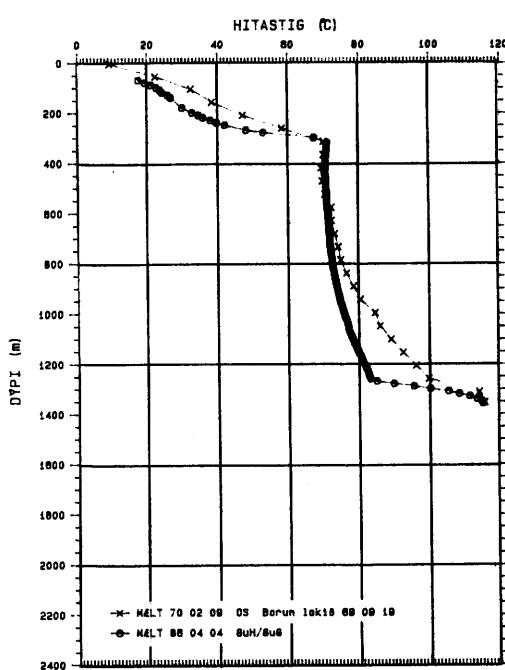
REYKJAVIK HOLA RV-37
HITAMÆLING



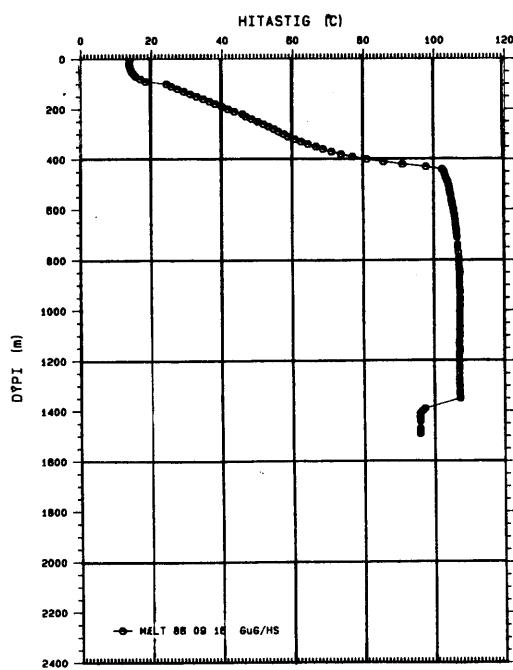
JHD-BM-III-1111-05/GuH
BS 711 0989-7

JHD-BM-III-1111-JT
BS 02.0068

REYKJAVIK HOLA RV-32
HITAMÆLINGAR



REYKJAVIK HOLA RV-41
HITAMÆLING



VIÐAUKI II

Lindir í Grafarvogi

TAFLA Lindir í Grafarvogi.

Nr. á lind	Hiti °C	Rennsli l/s	Athugasemdir
1	14.2	Seytl	Á suðurbakka lækjar. Kemur úr sprungu í hvarfleir, stefna spungu er NV°. Örlítil kísilútfelling á steinunum.
2	10.7 11.2	Ekkert rennsli	Lindir í mýri. 1984 fundust tvær lindir 9 og 10° heitar en í ágúst 1986 voru mældar tvær aðrar lindir. Þetta er norðan lækjar rétt hjá (1).
3	7.6	> 1.5-2	Lind við klakhúsið norðan lækjar. Notaði klakhúsið. Áætlað það sem fer fram hjá.
4	8.2	1/2-1	
5	9.4	> 3	Steypt þró 2x3 m er um lindina. Svoltíð loftbólustreymi. Klakhús nýtir lindina, ca. 3 l/s fram hjá.
6	10.7	Ekkert	Hér var lind undir rúst af rafstöð (83 og 84) í maí 86 fannst ekkert vatn.
7	9	> 2	Yfirbyggð lind tekin í klakhús, 2 l/s fram hjá.
8	11	11	Steypt þró, vatnið leitt í fiskeldisstöðina á Laxalóni. Þetta fannst er grafið var fyrir veginum að Golfskálanum.
9	10.6	Ekkert	Bleyta.
10	11.7	Smáseytl	Kemur upp úr leirdrullu.
11	11.5	0.1	Kemur upp úr urð.
12	4.9		Bullaugu upptök Grafarlækjar.
13	4.6	0.33	Við lónið við Bullaugu.
14	6.7	3-4	Við stífluna við Bullaugulónið. Kemur upp í grágryti.
15	6.4	1-2	"
16	6.2	< 0.1	"
17	7.3	1/2-1	Kemur upp í skurði.
18	7.3	1/2	"
19	7.5	0	Bleyta í mýri
20	8.3	4-5	Lindin kemur upp í skurðbakka.
21	8.3	5-8	Kemur upp í skurði.
22	7.0	0	Blettur í mýri.
23	7.0	Seytl	Kemur upp í skurði, ekkert hreint uppstreymi.
24	6.5	-	Ekkert uppstreymi.
25	7.3	-	Lind á bakka Grafarlækjar.
26	7.3	1	
27	6.8	1-2	Grafið hefur verið í þessa lind 1 1/2 m djúp gryfja
28	4.1	1	
29	9.6	0	Auga í mýri.
Samtals	33-40		