



ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

Mamma Jóna

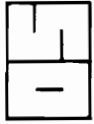
Ólafur G. Flóvenz
Bára Björgvinsdóttir
Sigmundur Einarsson
Hrefna Kristmannsdóttir

KRISTNES - REYKHÚS

Úttekt á hálftrar aldar árangurslítilli jarðhitaleit

OS81026 / JHD15
Reykjavík, desember 1981

Unnið fyrir
Hitaveitu Akureyrar



ORKUSTOFNUN
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Ólafur G. Flóvenz
Bára Björgvinsdóttir
Sigmundur Einarsson
Hrefna Kristmannsdóttir

KRISTNES - REYKHÚS

Úttekt á hálfra aldar árangurslítili jarðhitaleit

OS81026 / JHD15
Reykjavík, desember 1981

Unnið fyrir
Hitaveitu Akureyrar

ÁGRIP

Í skýrslu þessari er rakin hálftrar aldar saga rannsókna og árangurslíftilla borana í löndum Kristness og Reykhúsa í Hrafnagilshreppi. Eru tíndir til þeir fróóleiksmolar sem komið hafa út úr gömlum rannsóknum og máli skipta fyrir rannsókn jarðhitasvæðisins. Geró er grein fyrir rannsóknum síðustu ára og reynt að draga upp mynd af stóðunni til að auðvelda ákvarðanir um framhald jarðhitaleitar á svæðinu.

Við Kristnes og Reykhús var meiri jarðhiti á yfirborði en annars staðar í Eyjafirði en ekki hefur tekist að hitta á meginaðstremmisæðar heita vatnsins með borunum. Segulmælingar og jarðfræðikortlagning sýna að hátt í þrjátíu gangar og misgengi liggja um svæðið. Boranirnar við Reykhús benda til þess að meginuppstremmið sé ekki í þeim göngum sem næst liggja Efri- og Neðri-Reykhúsalaugum. Viðnámsmælingar benda ekki til mikillrar vatnsgengdar í jörðu við Reykhús en gefa von um einhverja vatnsgengd á nokkru dýpi í grennd Kristneslaugar. Reyndar hafa verið VLF-mælingar og hitamælingar í jarðvegi en þær gefa enga ákveðna bendingu um að bora skuli annars staðar en í grennd við laugar eða volgrur. Einnig hafa verið reyndar viðnámsmælingar en niðurstöður þeirra voru nokkuð margræðar, þó má líta svo á að þær gefi vísbendingu um vatnsleiðandi sprungu í efstu 300 metrunum vestan holu RW-7.

Tveir kostir eru nú fyrir hendi. Annar er sá að hætta við frekari boranir og afskrifa svæðið, hinn er sá að reyna enn og bora allt að 1000 m holu við Kristneslaug og freista þess að ná þar heitu vatni, þótt líkur séu ekki mjög miklar. Þá kemur einnig til greina að bora grunna rannsóknarholu vestan RW-7. Verði ekki árangur af þessum tveimur holum er óhætt að afskrifa svæðið endanlega sem vænlegt vinnslusvæði Hitaveitu Akureyrar.

EFNISYFIRLIT

	Bls.
ÁGRIP	3
EFNISYFIRLIT	5
MYNDASKRÁ	6
1 INNGANGUR	7
2 LÝSING JARÐHITANS	8
3 BORANIR	11
4 HITAASTAND Í JÖRÐU VIÐ REYKHÚS	23
5 UPPRUNI OG DJÚPHITI JARÐHITAVATNSINS	26
6 JARÐFRÆÐIKORTLAGNING OG SEGULMÆLINGAR	28
7 VIÐNÁMSMÆLINGAR	30
8 VLF-MÆLINGAR	35
9 HITAMÆLINGAR Í JARÐVEGI	38
10 NIÐURSTÖÐUR OG ÁLYKTANIR	40
11 UMRÆÐA	42
HEIMILDASKRÁ	43
VIÐAUKI A: Jafnvægisshiti bergs reiknaður út frá upphitunarferli borholu (Aðferð Albrights)	45
VIÐAUKI B: Um viðnámsmælingar	51

MYNDA SKRÁ

	Bls.
1 Gangar og misgengi	10
2 Hitamælingar í borholum. Hóla KH-1	13
3 Hitamælingar í borholum. Hóla KY-4 við Kristneslaug	13
4 Hitamælingar í borholum við Reykhúsalaug	14
5 Hitamælingar í borholum. Hóla RS-1 við Reykhús	14
6 Hitamælingar í borholum. Hóla RS-2 við Reykhús	15
7 Hitamælingar í borholum. Hóla KF-3	15
8 Hitamælingar í borholum. Hóla RW-7	18
9 Hitamælingar í borholum. Hóla RY-8	19
10 Hitamælingar í borholum. Hóla RY-9	21
11 Reykhús. Varmaleiðni frá hallandi vatnsæð	24
12 Sýndarviðnám við fastan 300 m straumarm	31
13 VLF-mælingar, skýringarmynd	35
14 VLF-mælingar við Kristnes	37
15 Hitastig og úrkoma á Akureyri sumarið 1980	38

Kristnes. Hitamælingar í jarðvegi: Kort í vasa innan á bakkápu.

1 INNGANGUR

Nú munu liðin tæp 50 ár frá því jarðhitaleit með borunum hófst á Kristnessvæðinu. Árið 1932 var boruð 23 m djúp hola við Kristneslaug. Síðan hafa verið gerðar fimm atlögur að svæðinu með borunum, 1943-44 við Kristneslaug, 1946-47, 1964 og 1979-80 við Reykhúsalaugar og loks 1981 við Kristneslaug og Efri- og Neðri-Reykhúsalaugar. Er skemmst frá því að segja, að engin þeirra þrettán hola sem boraðar hafa verið fram að þessu, hafa skilað árangri sem orð er á gerandi.

Sitthvað hefur verið ritað um rannsóknir og boranir á Kristnessvæðinu. Skrifaðar hafa verið stuttar skýrslur, greinargerðir eða bréf um niðurstöður einstakra hluta rannsókna. Sumt af því elsta virðist hafa glatast eða finnst að minnsta kosti ekki í fórum Orkustofnunar. Vitað er til dæmis, að Trausti Einarsson prófessor reit eina eða fleiri umsagnir um Kristnessvæðið en hefur ekki afrit í fórum sínum. Helsta vonin um að finna gömul skjöl er lúta að rannsóknum þessum, er í skjala-safni Akureyrarbæjar.

Markmiðið með þessari skýrslu er að draga saman á einn stað allar fyrir- liggjandi niðurstöður rannsókna af Kristnessvæðinu, bæði gamlar og nýjar, meta þær, og draga af þeim ályktanir um hugsanlegt framhald rannsókna og vatnsöflunar á svæðinu.

2 LÝSING JARÐHITANS

Þegar rætt er um jarðhitasvæðið við Kristnes er venjulega átt við jarðhitann í löndum Kristness og Reykhúsa, enda varla ástæða til að ætla annað en að um eitt jarðhitakerfi sé að ræða.

Laugar eru á fjórum stöðum á Kristnessvæðinu. eru það Efri og Neðri Reykhúsalaugar, Kristneslaug og volgrur í um 160 m hæð í brekkunni ofan við Kristnes. Fer hér á eftir lýsing á laugunum en lega þeirra er sýnd á mynd 1. Lýsingin hefur áður verið birt að nokkru í skýrslunni "Hita-veita Akureyrar. Rannsókn jarðhita í Eyjafirði" (Axel Björnsson o.fl. 1979).

Neðri Reykhúsalaugar. Í mýrinni neðan við Þjóðveginn eru 5 augu á 280 m langri línu sem stefnir N20°A. Í mars 1978 var hitinn 6-36°C, en ekki reyndist unnt að mæla hita í þró sem dælt var úr, en úr henni mun hafa verið dælt rúmlega 1 l/s af u.þ.b. 55°C heitu vatni (Axel Björnsson o.fl. 1979). Árið 1917 mældi Þorkell Þorkelsson 53°C hita þar sem þróin er nú (Þorkell Þorkelsson 1920). Barth (1950) skoðaði laugarnar 1937 og mældi þá hæst 42,5°C og taldi heildarrensli úr heitustu laugunum vera 0,2 l/s. Þegar laugarnar voru athugaðar 1. júlí 1981 seytlaði líftilsháttar vatn frá þrónni og mesti hitinn í henni mældist 23,9°C.

Efri Reykhúsalaugar. Í framhaldi gilskorningsins ofan við Kristnes eru hinar eiginlegu Reykhúsalaugar í um 30 m hæð y.s. Neikvætt segulfrávik fylgir skorningnum og liggur áfram í framhaldi af honum til norðausturs um Reykhúsalaugar. Segulfrávikjó hefur verið túlkað sem berggangur. Þessi berggangur kemur mikið við sögu í þessar skýrslu og verður eftirleiðis nefndur norðaustlægi berggangurinn. Við laugarnar kemur fram annað segulfrávik með stefnu N10°A. Segulfrávikjó er tvöfalt og bendir það til að NA-gangurinn sé þarna skorinn af tveim samliggjandi göngum. Þorkell Þorkelsson (1920) lýsir laugunum eins og þær voru áður en þær voru virkjaðar. Hann segir hitastig í heitustu lauginni 74,5°C og í öðrum 46-70°C. Trausti Einarsson (1942 segir hita í laugunum 50-74°C og heildarrensli 3,0 l/s, þar af 1,4 l/s úr heitustu lauginni. Ekki er ljóst hvort neðri laugarnar eru meðtaldar. Í skýrslu Rannsóknaráðs ríkisins (1944) er hiti sagður 74°C og rennsli 1,4 l/s.

í skýrslu Jarðborana ríkisins, "Efnagreiningar á hverum og laugum", frá 1951 eru birtar efnagreiningar á vatni úr Reykhúsalaug og fylgja þeim tölur um hitastig og rennsli. Hiti er sagður 75 og 75,5°C og rennsli 1,5 l/s. Sýnin voru tekin í ágúst og október 1949. Jón Sólmundsson (1959) mældi 76°C hita við Reykhús.

Reykhúslaugar þornuðu þegar dæling hófst úr holu RW-7, í janúar 1981.

Kristneslaugar eru í áðurnefndum gिल्skorningi í um 100 m hæð y.s. um 400 m SV af hælínu. Flestar heimildir nefna aðeins eina laug, en Gunnar Böðvarsson (1951) segir laugarnar tvær. Aðallaugin kemur upp í miðjum dólerítgangi, sem er 12-13 m breiður samkvæmt nýlegri segulmælingu og stefnir hann N10°A. Hin laugin er um 5 m austar, u.þ.b. í austurjaðri gangsins. Þorkell Þorkelsson (1920, 1930) mældi 61°C hita í lauginni og telur rennslið vera 0,4 l/s. Trausti Einarsson (1942) segir hitann vera 48°C og rennslið 1,5 l/s. Í skýrslu Rannsóknaráðs (1944) er hiti í þró utan um laugina sagður 59,5°C og rennsli um 1,5 l/s. Í skýrslu Jarðborana ríkisins (1951) segir að rennsli úr Kristneslaug sé ca. 1 l/s og hiti 58°C í ágúst 1949. Í október sama ár mældist hiti 54°C. Jón Sólmundsson (1959) mældi 61°C hita í Kristneslaug.

Efri laugin var mæld 8. júlí 1981 og reyndist hitinn vera 58,5°C og rennsli 0,54 l/s.















Kristnesvolgrur. Veturinn 1979 voru gerðar kerfisbundnar hitamælingar á djújum og öðrum uppsprettum í brekkunni ofan við Kristnes. Fannst þá yllur í drulludýjum sem eru í mýri í sama norðaustlæga gिल्skorningnum og Kristneslaug. Dýin liggja nokkurn veginn á línu í stefnu gिल्skorningnsins. Hæstur hiti mældist 13,2°C í hörkufrosti á öndverðum þorra 1979. Rennsli er lítið.

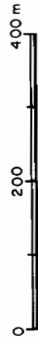
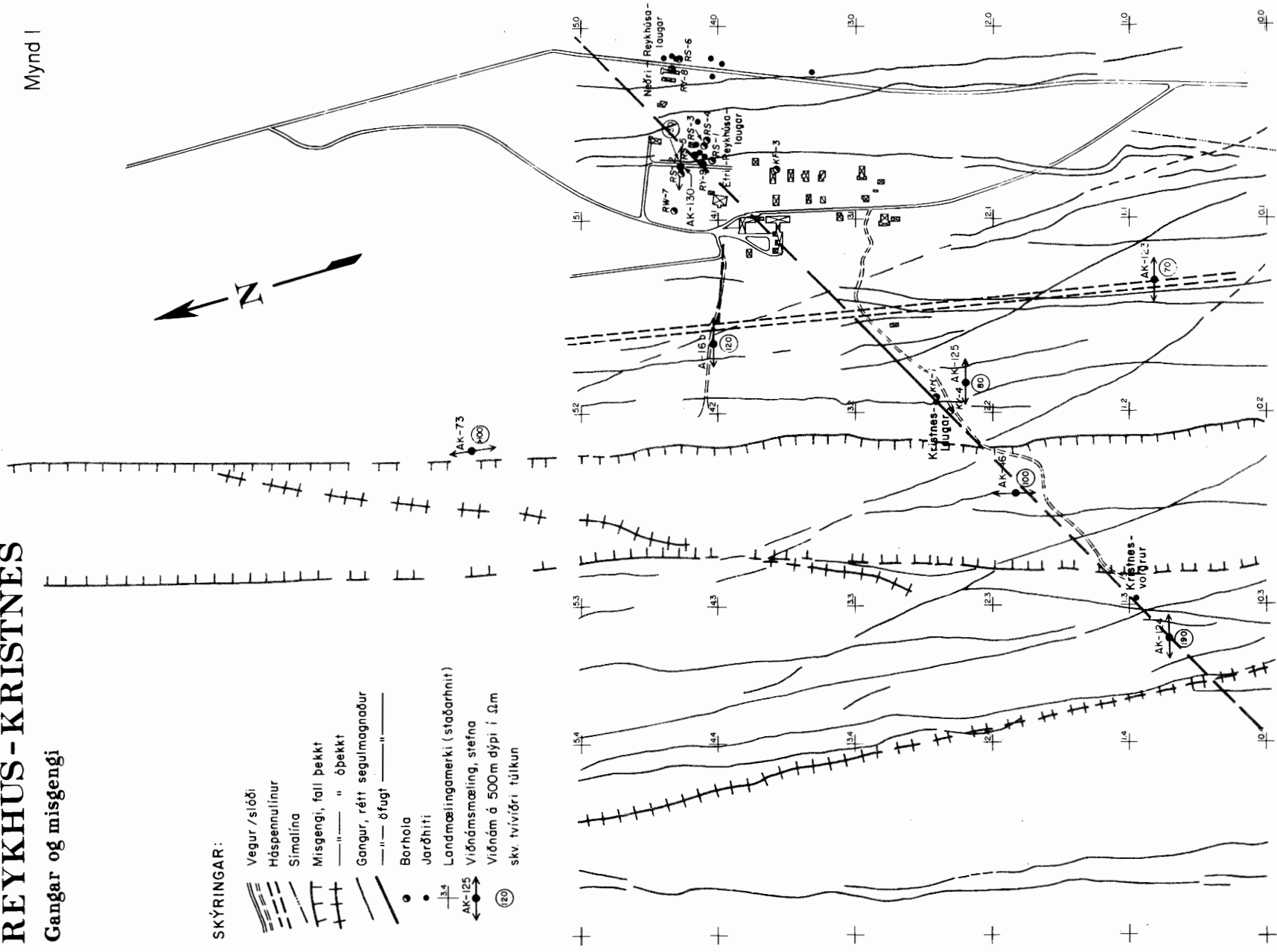
REYKHÚS - KRISTNES

Gangar og misgengi

Mynd I

SKÝRINGAR:

-  Vegur / síði
-  Háspennulínur
-  Símalína
-  Misgengi, fall þekkt
-  " " " óþekkt
-  Gangur, rétt segulmagnaður
-  " " " ófugt
-  Borhola
-  Jarðhiti
-  Landmælingamerki (staðarhnit)
-  Viðnámsmæling, stefna
-  Viðnámsmæling, dýpi
-  Viðnámsmæling, dýpi í 500m
-  skv. tvívíðri túlkun



3 BORANIR

Alls hafa verið boraðar 13 holur við Kristnes- og Reykhúsalaugar. Fyrst var boruð 23 m djúp hola við Kristneslaug árið 1932 (Þorgils Jónasson, munnl. uppl. skv. skjalasafni Jarðborana). Var hún staðsett rétt austan norður-suður dólérítgangins. Árið 1943 er borað að nýju. Að dómi Trausta Einarssonar (1942) var halli dólérítgangins 7° til vesturs. Var því reynt að bora eftir miðju hans með 7° halla. Vegna erfiðleika í borun var hætt við holuna 79 m djúpa (Gunnar Böövarsson 1949a, 1949b, 1951). Trausti mun þá hafa lagt til, að borað yrði vestan gangsins og reynt að skera hann á um 100 m dýpi. Af einhverjum ástæðum var horfið frá því og gamla holan frá 1932 þess í stað dýpkuð í 402 m. Nokkur ruglingur hefur verið á númerum holanna, og ýmist verið, að hallandi holan hefur verið nefnd hola 1 eða hola 2. Rétt þykir að nefna holuna frá 1932 holu 1, KH-1, en skáhallandi holuna KH-2 (Kristnes-Höggbor-2). Er það í samræmi við númerakerfi Jarðborana ríkisins. Hola KH-2 er nú týnd. Hola KH-1 er 402 m djúp. Ekki er vitað til þess að holan hafi verið hitamæld eftir að borun lauk og ekki unnt að gera það nú, þar sem holan var skilin eftir opin og er nú full af grjóti. Þó er til ófullkomin hitamæling sem unnin er úr skýrslum bormanna og er byggð á mældu botn- hitastigi á ýmsum stigum borunar (sjá mynd 2). Samkvæmt þeirri mælingu er hiti mestur í botni holunnar (á 402 m dýpi) 54°C og hitastigull 62°C/km í neðri hluta holunnar. Þetta gildi botnhitans er væntanlega of lágt þar sem vænta má að skolvatn hafi kælt holuna nokkuð. Engar æðar komu fram í holunni.

Ljóst er að KH-1 er öfugu megin við norður-suður dólérítganginn til þess að skera hann. Hún er boruð beint ofan í norðaustlaga ganginn. Ef norðaustlaga gangingum hallar eitthvað frá lóórétu ætti holan að fara út úr honum á litlu dýpi.

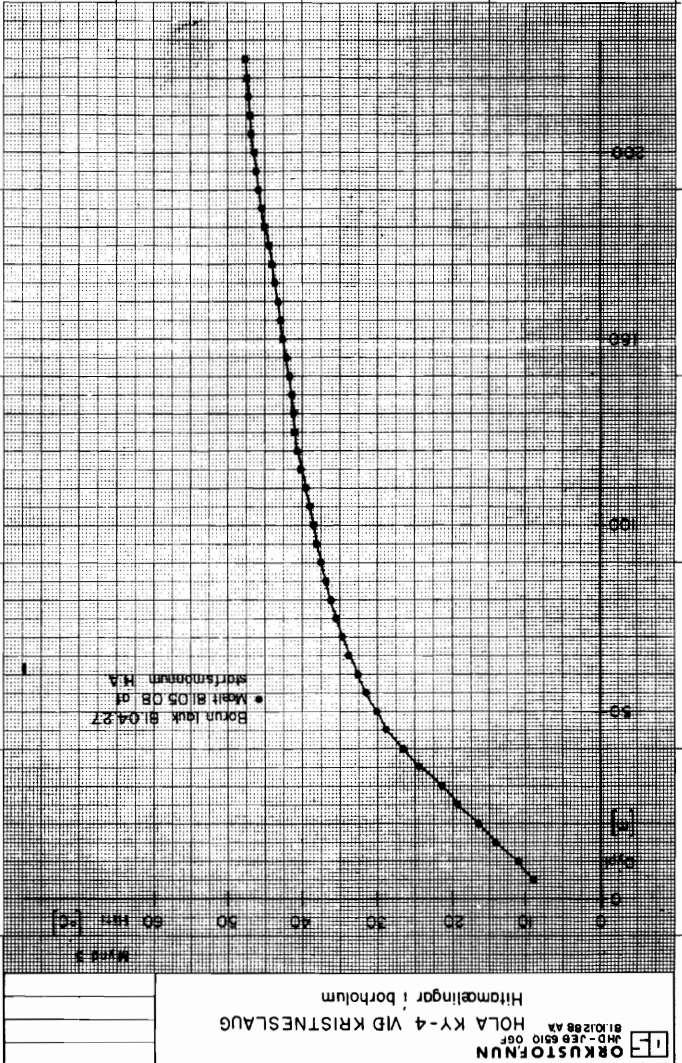
Þar sem laugin er við norður-suður ganginn verða að teljast nokkrar líkur á því að hann sé vatnsleiðari. Til að kanna það var boruð 230 m djúp hola (KY-4) 7 metra frá eystri brún gangsins. Lauk því verki 27. apríl 1981. Engar teljandi vatnsæðar komu í holuna. Að borun lokinni var vatnsboró á 2 m dýpi. Hitaferillinn úr holunni er sýndur á mynd 3. Augljóst er að holan er boruð einhvers staðar nærri vatnskerfi. Hitastig

vex ört frá yfirborði og niður á 30 m dýpi, en síðan dregur verulega úr hitastigi og í botni er holan aðeins 47,5°C. Þessi lági hiti og hitastigull neðan til í holunni benda til þess að holan smáfjarlægist aðfærsluæð lauganna með dýpinu. Holan skar ganginn og samkvæmt því hallar honum til vesturs og er lítið lekur ofan til. Af hitamælingum í holum KY-4 og KH-3 virðist mega ráða, að aðfærsluæð lauganna halli til norðvesturs. Verði einhvern tíman ráðist í frekari boranir á þessum slóðum virðist vænlegast til árangurs að bora norðvestantil við mót norður-suður gangsins og norðaustlæga gangsins.

Árin 1946-47 eru boraðar 6 holur við Reykhús, RS-1 - RS-6. Holur RS-1 - RS-5 eru boraðar við efri laugarnar en hola RS-6 við neðri laugarnar. Þær eru merktar inn á mynd 1. RS-1 er 160 m djúp og gaf 0,2 l/s í sjálfrennsli. RS-2 er 144 m djúp og gaf 0,5 l/s í sjálfrennsli. RS-3 er 84 m djúp og mun hafa gefið 0,25 l/s af 70°C vatni af 6,4 m dýpi. Holur RS-4 og RS-5 eru aðeins um 10 m djúpar. RS-6 er 36 m djúp og mældist 51°C hiti á botni holunnar. Á mynd 4 er sýnd hitamæling úr holum RS-1 til RS-6. Mælingarnar eru gerðar með hámarkshitamæli (kvikasilfursmæli). Á myndum 5 og 6 getur að líta nýlegar hitamælingar úr holum RS-1 og RS-2. Mælt er eftir að vatnsborð hefur lækkað verulega á svæðinu vegna dælingar úr holu 7. Þess vegna veita mælingarnar á myndum 5 og 6 marktækar upplýsingar um berghita.

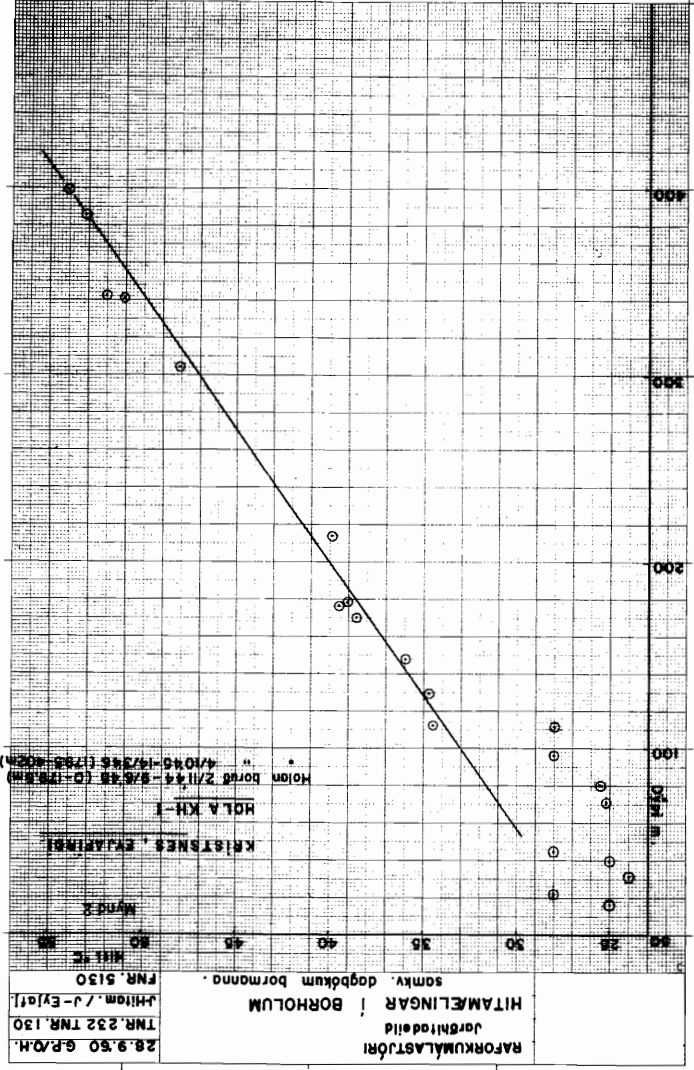
Árið 1964 var hola KF-3 boruð. Þótt hún sé í landi Kristness er verið að bora eftir vatni því sem upp kemur í Efri Reykhúsalaugum. Holan er boruð sunnan við norðaustlæga ganginn og vestan norður-suður gangsins sem laugarnar eru við. Holan er 240 m djúp en nær ekki að skera norður-suðurganginn. Hitamæling úr KF-3 er sýnd á mynd 7. Við borun holunnar varð vart við samgang við RS-holurnar við Reykhús frá 150 m dýpi. Rennsli jókst í þeim meðan á borun stóð en minnkaði í borhléum (Borskýrslur Jarðborana ríkisins).

Dýpsta holan á svæðinu er RW-7. Hún var boruð niður á 1011 m dýpi árið 1979 og dýpkuð niður á 1818 m dýpi árið 1980. Þeim hluta holunnar, sem boraður var 1979, er lýst í greinargerðinni "Úttekt á holu RW-7 við Reykhús" (Ásgrímur Guðmundsson 1980). Holan er 90-95 m frá norðaustlæga



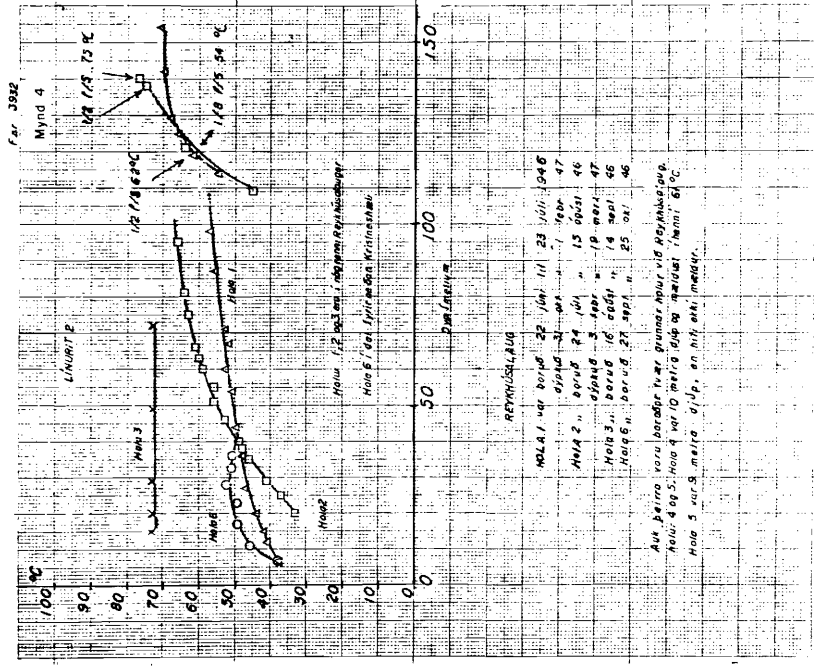
MYND 3

Hitamælingar í borholum.
HOLA KY-4 VÍÐ KRISTNESLAUG.



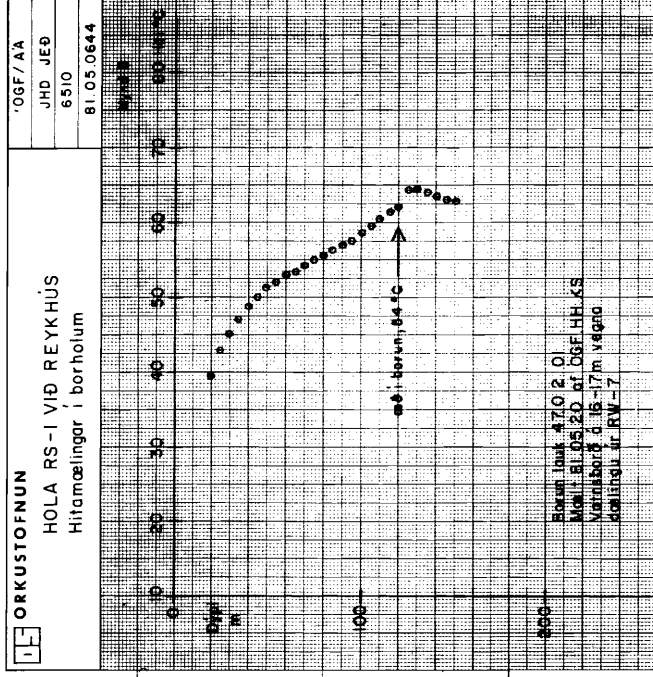
MYND 2

Hitamælingar í borholum. HOLA KH-1



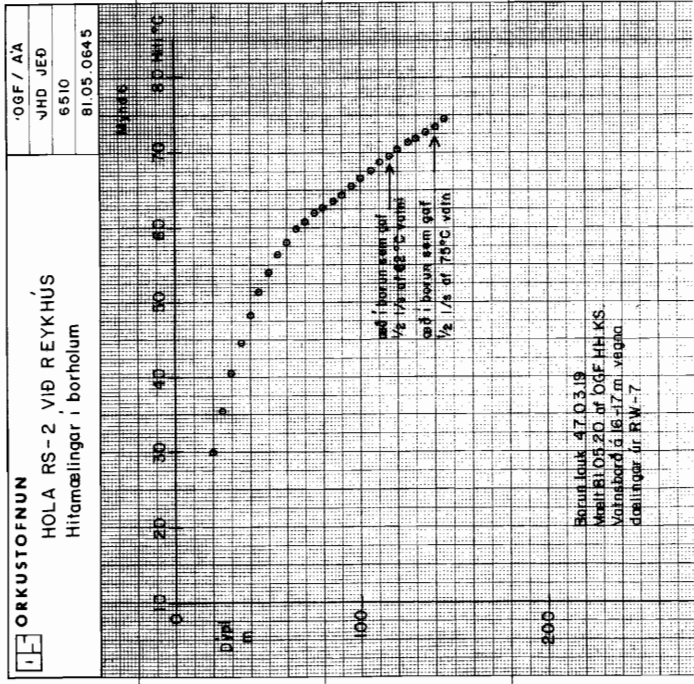
MYND 4

Hitamælingar í borholum við Reykhúsaug.



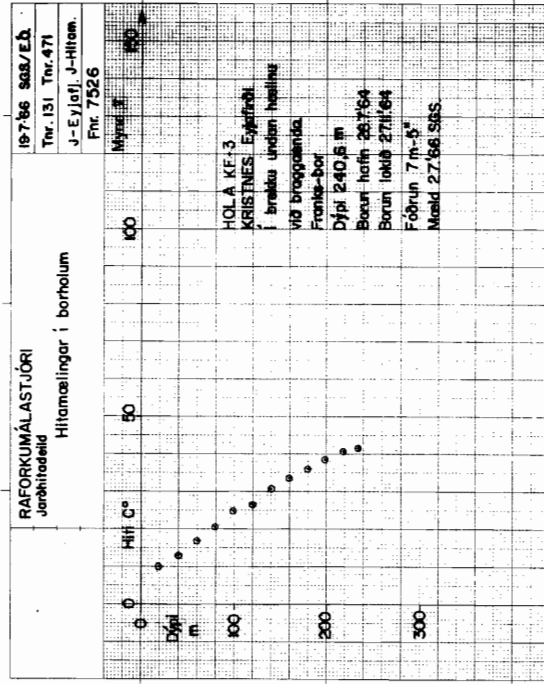
MYND 5

Hitamælingar í borholum við Reykhúsaug.



MYND 6

Hitamælingar í borholum. HOLA RS-2 við Reykhús.



MYND 7

Hitamælingar í borholum. HOLA KF-3

ganginum og álíka langt frá norður-suður ganginum við Reykhúsalaugar. Athyglisvert er, að þær tvær vatnsæðar, sem auk smáæðar á 320 m dýpi, komu í holuna (á 470 m og 660 m dýpi) eru í millilögum nálægt fyrsta ganginum sem holan skar en ekki við hann. Bendir það til þess að gangur sá sem kemur fram í holunni á 490-650 m dýpi sé ekki góður vatnsleiðari. Þá skal á það bent að aðalvatnsæðin, sem er í 470 m, er ofan (norðan) gangsins. Ijóst er að gangur þessi er mjög breiður. Ef gert er ráð fyrir að holan liggi lóðrétt gegnum ganginn og halli hans sé 9° ætti þykkt hans að vera heilur 25 m. Telja verður sennilegt að gangur sem er svo þykkur á 500-600 m dýpi sé einnig mjög þykkur á yfirborði. Greining á borsvarfi bendir til þess að gangurinn sé tvískiptur eða sé í raun tveir samliggjandi gangar. Ef tekið er mið af þeirri reglu, sem er raunar bríðul, að gangar liggi hornréttir á jarðlögum, sem þeir skera, ætti norðaustlægi gangurinn að koma fram á minna dýpi í holunni en sá norðlægi. Á móti kemur, að fáir gangar í Eyjafirði hafa svipaða stefnu og sá norðaustlægi og hallamæling á einum slíkum sem liggur eftir Ytra-Gili sýnir nær engan halla.

Sumarið 1981 voru gerðar sérstakar segulmælingar hornrétt á norðaustlæga ganginn rétt suðvestan Kristneshælis. Þessi staður var valinn þar sem ekkert gil fylgir ganginum þarna og nógu langt er út að næstu norður-suður göngum til þess að þeir hafi lítil áhrif á mælinguna.

Athugun var gerð á lögum segulfráviksins yfir norðaustlæga ganginum. Einn sérfræðinga Jarðhitadeildar, Halldór Halldórsson, skrifaði tölvuforrit, sem ákvarðar einkennisstærðir gangsins með ólinulegri bestun, þannig að útreiknað segulfrávik verði í sem bestu samræmi við mældu segulfráviknið. Þær einkennisstærðir sem hér um ræðir eru breidd gangsins, dýpið niður á hann, bakgrunnssegulsviðið, lega miðju gangsins, mismunur á halla segulmagnunarvektors og halla gangs og loks margfeldi segulmagnunar og sínuss af ganghallanum.

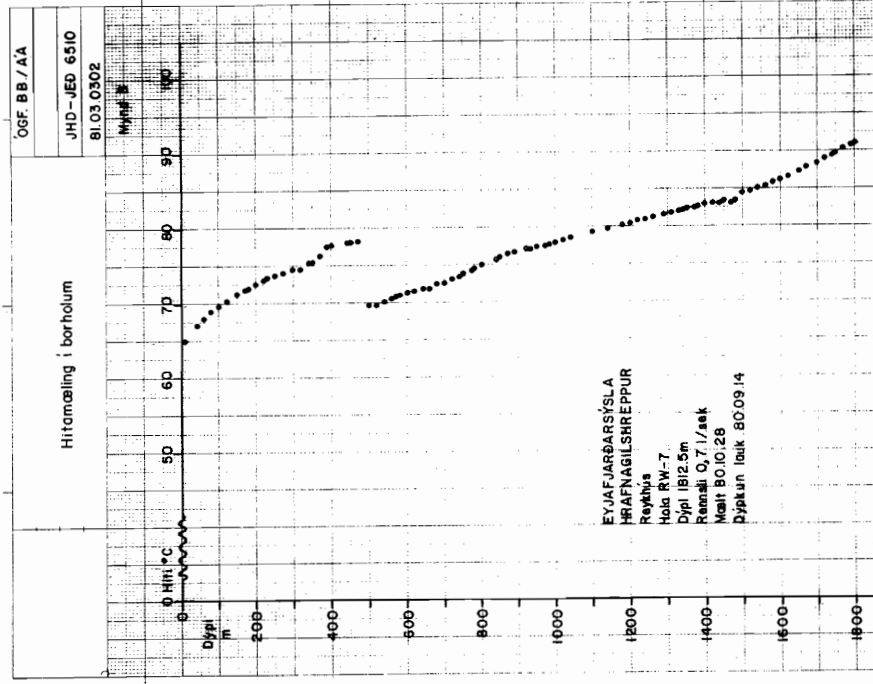
Niðurstöður útreikninganna benda til þess að gangurinn sé 4-5 m breiður og dýpið á hann sé um 4 metrar. Verður því að telja norðaustlæga ganginn of mjóan til að geta svarað til þykka gangsins í holunni. Líklegast er því að þykki gangurinn svári til norður-suður gangsins sem liggur við Reykhúsalaugar. Segulmælingar yfir þann gang sýna að hann er tvískiptur

og er það í samræmi við niðurstöður svarfgreiningarinnar.

Neðar í holu RW-7 er þunnur fínkornóttur gangur á 714-738 m dýpi og gangar eru samkvæmt borholumælingum og svarfgreiningu á 1067-1110 m dýpi, 1106-1124 m dýpi, 1164-1184 m dýpi og 1315-1370 m dýpi. Þegar þetta er skrifað er greiningu svarfs neðan 1500 m dýpis ólokið, en lausleg athugun á borholumælingunum bendir til að gangar séu á um 1480 m, 1560 m og 1680 m dýpi (Ásgrímur Guðmundsson munnl. uppl.). Við 1480 m ganginn er lítil vatnsæð samkvæmt mismunahitamælingu. Svarfgreining og borholumælingar úr neðri hluta holunnar verða birtar síðar í greinargerð, en á mynd 8 er sýnd hitamæling úr allri holunni, sem mæld er 1 1/2 mánuði eftir að dýpkun lauk. Síðan hefur holan ekki verið hitamæld. Mælingin á mynd 8 sýnir augljóslega að holan hefur ekki náð að fullhitna eftir skolvatnskælingu í borun þannig að lítið er hægt að ráða í mælinguna annað en að hitinn í vatnsæðinni á 470 m dýpi er 78 °C. Ekki er unnt að fullyrða hve mikið holan kólnar í raun neðan vatnsæðarinnar. Holuna er ekki unnt að mæla nú vegna dælingar úr henni, en verði dæling stöðvuð og dæla tekin upp er nauðsynlegt að mæla hitann í holunni.

Að lokinni borun RW-7 niður á 1000 m dýpi var 1,5 l/s sjálfrennsli úr holunni. Jafnframt hætti sjálfrennsli úr RS-1 og RS-2, en það hafði farið hægt minnkandi áður en borun RW-7 hófst. Sjálfrennsli úr RW-7 fór smádvínandi uns djúpdæla var sett í holuna í janúar 1981. Dælt var um 3,5 l/s fyrst í stað en síðan var dæling minnkuð í 2,6 l/s. Vatnsborðið hefur farið sílækkandi og var á 51 m dýpi í júní 1981. Um leið hefur vatnsborð lækkað í RS-1 og RS-2 niður á um 20 m dýpi í júní 1981.

Í maí 1981 var holan RW-8 boruð við Neðri Reykhúsalaugar. Forsendur staðsetningar þeirrar holu voru að Neðri Reykhúsalaugar liggja á beinni línu með stefnu N20°A og talið líklegt að gangur fylgi þeim. Þykkt lausra jarólaga yfir laugunum var talin meiri en svo að segulmælingar fyndu ganginn. Halli þessa meinta gangs yrði að vera meiri en 7° til vestur til að hola RW-7 hafi náð að skera hann. Meðalhalli ganga í Eyjafirði er 5-6° og staðalfrávik um 3-4° (sbr. mynd 2.3. í : Axel Björns-son o.fl. 1979). Samkvæmt því eru 68% líkur fyrir því að halli gangans sé á bilinu 2-9° til vesturs og því umtalsverðar líkur til þess að hola RW-7 hafi ekki skorið umræddan gang.

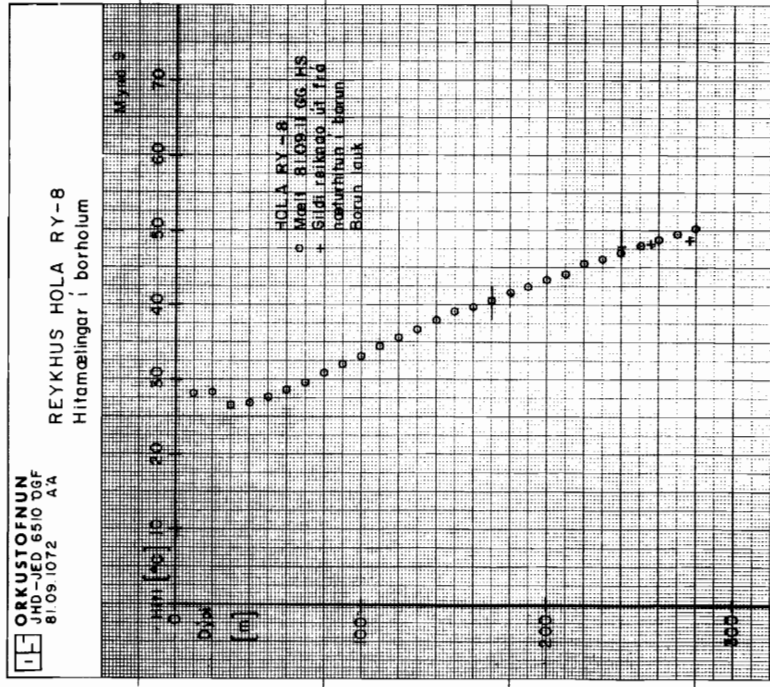


MYND 8

Hitamælingar í borholum. HOLA RW-7

Fylgst var náið með holu 8 í borun. Hitamælt var í holunni að lokinni Loftborun niður á 165 m dýpi og síðar eftir helgarfrí þegar holan var 200 m djúp. Meðan snúningsborun fór fram var sá háttur hafður á, að hita- mæli var rennt niður gegnum borstangirnar strax og borun var hætt að kveldi og hann tengdur við sírita sem skráði upphitunarferil holunnar yfir nóttina. Með aðferð Albrigth's sem lýst er í skýrslunni "Geothermal Logging I, An introduction to techniques and interpretations" (Valgarður Stefánsson og Benedikt Steingrímsson 1980) má reikna út þann hita sem verður í holunni þegar hitajafnvægi næst. Í viðauka A er greint nánar frá framkvæmd mælinga þessara og úrvinnslu þeirra. Meðan á snúnings- borun stendur er holan kæld með skolvatni borsins. Það tekur holuna margar vikur og jafnvel mánuði að hitna upp aftur. Þess vegna veita hitamælingar í borun jafnan litlar upplýsingar um raunverulegan berghita. Með borun grunnra rannsóknarhola eins og RY-8 er oftast verið að leita að háum hitastigli. Mælist stígullinn hærrí en ákveðinn viðmiðunarstigull er ástæða til að halda boruninni áfram, ef hann er lægri er ástæða til

að hætta borun, þar sem hver bordagur kostar mikið fé. Ákvörðun um hvort hætt skuli eða haldið áfram er einungis unnt að taka á grundvelli mælinga á raunverulegu hitastigi í holunni þegar áhrifa kælingar-skolunarinnar gætir ekki lengur. Skráning upphitunarferla á sírita og útreikningur á jafnvæghita frá þeim veitir þessar upplýsingar. Þannig mátti af upphitunarferlum ráða, að mjög væri að draga úr hitastigli neðan 240 m í holu 8 og ekki líklegt að yfir 60°C heitra vatnsæða væri að vænta í næstu 200-300 metrunum. Því var borun holunnar hætt að fengnum þessum upplýsingum. Mynd 9 sýnir hitamælingu úr holu RY-8 sem geró er um þremur mánuðum eftir borlok. Telja má víst að hitajafnvægi hafi náðst milli vatnsins í holunni og bergsins. Krossarnir á hitamælingunni sýna jafnvæghita eins og hann var reiknaður út frá næturhitunarlinuritunum og er lítill munur á honum og þeim hita sem mælist nú þegar áhrifa skolvatnskælingar gætir ekki lengur.



MYND 9

Hitamælingar í borholum. Hola RY-8

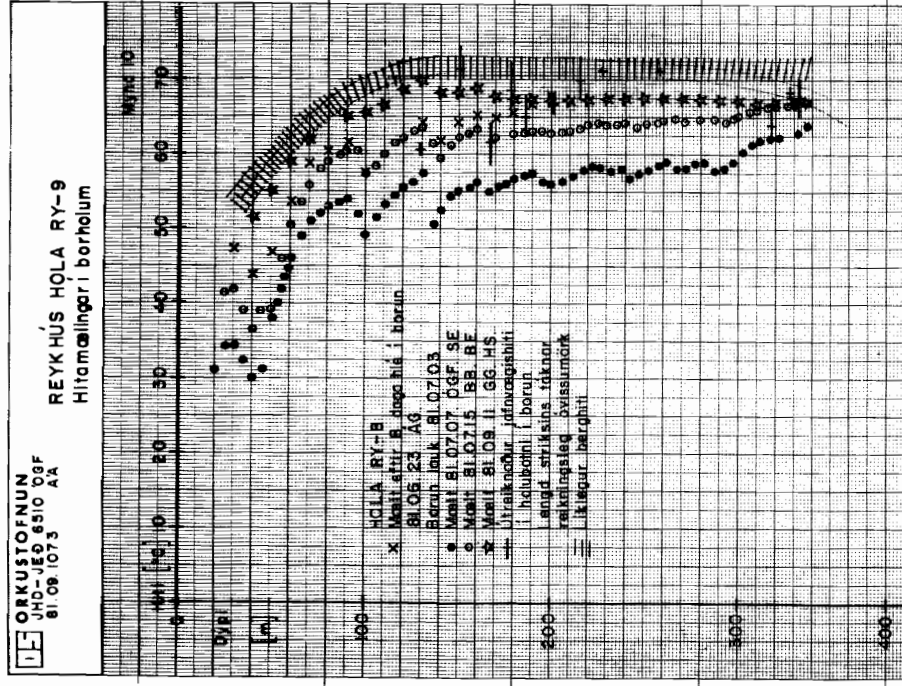
Engar æðar komu fram í holunni ef frá er talin smáæð á nokkurra metra dýpi. Bendir það til þess að vatnið í Neðri Reykhúsalaugum hafi runnið ofan úr hliðinni.

Hiti í botni holunnar á 280 m dýpi er 50°C og hitastigull þar um 69°C/km. Hitinn í vatnsæðinni í holu RW-7 er 78°C á 470 m dýpi. Þeim hita yrði varla náð fyrr en á 700-800 m dýpi undir Neðri Reykhúsalaugum, en óvíst er um vatnsæðar þar.

Svarfgreiningu úr RY-8 er ólokið og því ekki ljóst hvort holan hefur skorið einhverja ganga.

Að lokinni borun RY-8 var tekið til við borun RY-9. Markmiðið með borun holunnar var að skera norðaustlæga ganginn sem næst Efri Reykhúsalaugum. Óvíst er að nokkur hola hafi skorið þennan gang sem þó liggur um laugararnar. Halli hans er óþekktur, en líklegast talið að hann sé til norð-vesturs. Hola RW-7 er um 95 m frá ganginum. Ef sú hola, sem er 1818 m djúp, er bein, þarf halli gangsins að vera meiri en 3° til norðvesturs svo holan liggi gegnum hann. Holu RY-9 var ætlað að skera ganginn á um 200 m dýpi. Miðað við 2° halla þurfti því holan að vera 7 m frá ganginum. Ekki reyndist unnt að bora við laugarnar sjálfar vegna íbúðarhúss og girtrar einkalóðar umhverfis það. Holunni var valinn staður alveg við suðvestur girðingarhornið um 7 m frá miðju norðaustlæga gangsins og beint ofan á norður-suður ganginn. Halli norður-suður gangsins er líklega um 9° til vesturs, þannig að holan ætti fljótlega að fara út úr honum.

Borun RY-9 hófst 7. júní og var borað með lofthamri niður á 130 m dýpi. Á 24-25 m dýpi fór að koma upp vatn með loftinu. Vatnsmagnið jókst á 48-50 m dýpi og áætluðu bormenn að upp kæmu 6-7 l/s af 60°C heitu vatni. Vatnið sem upp kom smá minnkaði niður í 2 l/s af 56°C heitu vatni þegar borað var dýpra. Frá 130 m dýpi var borað á hefðbundinn hátt með vatnsskolun. Illa gekk að ná upp skolvatni í fyrstu. Ennfremur er þess getið í borskýrslum að skolvatn komi illa upp á 165 m dýpi. Borun var haldið áfram niður á 341 m dýpi en þar var hætt. Ljóst var af hitamælingum að holan hitnaði ekki lengur með dýpi og yfirgnæfandi líkur til þess að norðaustlægi gangurinn hafi verið skorinn, halli honum til norðvesturs.



MYND 10

Hitamælingar í borholum. HOLA RY-9

Fylgst var náið með hitafari í holunni meðan á borun stóð og síríti látinn skrá hitnun í botni á nóttunni. Á mynd 10 getur að líta hitamælingar úr holu RY-9 frá mismunandi tímum. Krossarnir á myndinni sýna niðurstöður næturhitamælinganna.

Holan virðist mjög lengi að hitna eftir borun. Líklegasta skýringin er sú að mikið af skolvatninu hafi tapast út í vatnsæðar og valdið meiri kælingu en ella. Vart er unnt að treysta því að hitajafnvægi hafi verið náð þegar nýjasta hitamælingin var gerð. Ýmislegt má þó ráða af þeirri mælingu. Holan virðist hvað heitust við æðina á 130 m dýpi, líklega um eða yfir 70°C, en var vart meiri en 67-68°C í botni. Nokkrar æðar eru í holunni, einkum ofan 180 m dýpis. Þá eru breytingar í hitastigi neðan 180 m dýpis mjög litlar, og hugsanlegt að svolítið rennsli sé niður holuna frá æðakerfinu ofan 180 m. Einnig er ljóst að útreiknaður jafnvægisþiti frá næturhitunarferlum er mun lægri en raunverulegur jafnvægisþiti. Skýringin er sú að reikningsaðferðin byggir á þeirri forsendu að holu-

veggirnir séu þéttir og kæling bergsins verði aðeins með varmaleiðni frá holunni sjálfri. Í holunni eru hins vegar margar æðar sem kalt skoltvatnið þrýstist út í við borun og kæla meir en í þétttri holu. Þetta kom glöggst fram í því að útreiknuðu jafnvæghitagildin eru fjærst réttu lagi í 130 og 165 m, en einmitt þar varð algjört skoltap í borun. Í æðóttum holum sem þessum má líta svo á að útreiknaður jafnvæghitahi sé jafnan minni eða jafn og raunverulegur jafnvæghitahi. Með þetta í huga og þær upplýsingar sem lesa má úr nýjustu hitamælingunni má meta gróflega hvernig líklegt er að raunverulegur berghiti breytist með dýpi. Líklegur berghiti er sýndur með strikalinu á mynd 10. Samkvæmt því kólnar holan heldur neðan aðarinnar í efstu 200 metrunum. Þetta bendir eindregið til þess að norður-suður gangurinn sé vatnsleiðarinn fremur en sá norðaustlægi.

4 HITÁÁSTAND Í JÖRÐU VIÐ REYKHÚS

Reikna má út hvernig berghiti ætti að dreifast um jörðina í grennd við þekktar vatnsæðar, ef gert er ráð fyrir að varmaflutningur um bergið (utan afmarkaðra vatnsæða) verði fyrst og fremst með varmaleiðni. Þessi forsenda felur í sér að streymi vatns um berg eigi sér stað í þröngum æðum, láréttum eða lóóréttum og það seytli lítið út frá þeim um bergið. Halldór Halldórsson hefur umritað grunnvatnsforrit Orkustofnunar (Snorri P. Kjaraan 1977) til þessara nota. Búið er til líkan af jarðhitasvæðinu með því að áætla legu og hitastig vatnsæða (t.d. 70°C heit vatnsæð með fram hallandi gangi) og líkanið lesið inn á forritið ásamt svæðisbundnu hitastigi. Forritið reiknar síðan út hitadreifingu (jafnhitalínur) í berginu. Með samanburði hitamælinga í borholum og útreiknaðrar hitadreifingar sést hvort líkanið fær staðist. Ef ekki, er líkaninu breytt (t.d. halla gangsins) og reiknað á ný uns viðunandi líkan fæst. Tekið skal fram að viðunandi líkan, sem samrýmist hitamælingum í borholum, þarf ekki að vera hið eina rétta, hugsanlega gætu ýmis fleiri líkөн gefið svipaða niðurstöðu. Þá verður að hafa í huga hverjar forsendur reikninganna eru og gæta ávallt að þeim möguleika að þær standist ef til vill illa.

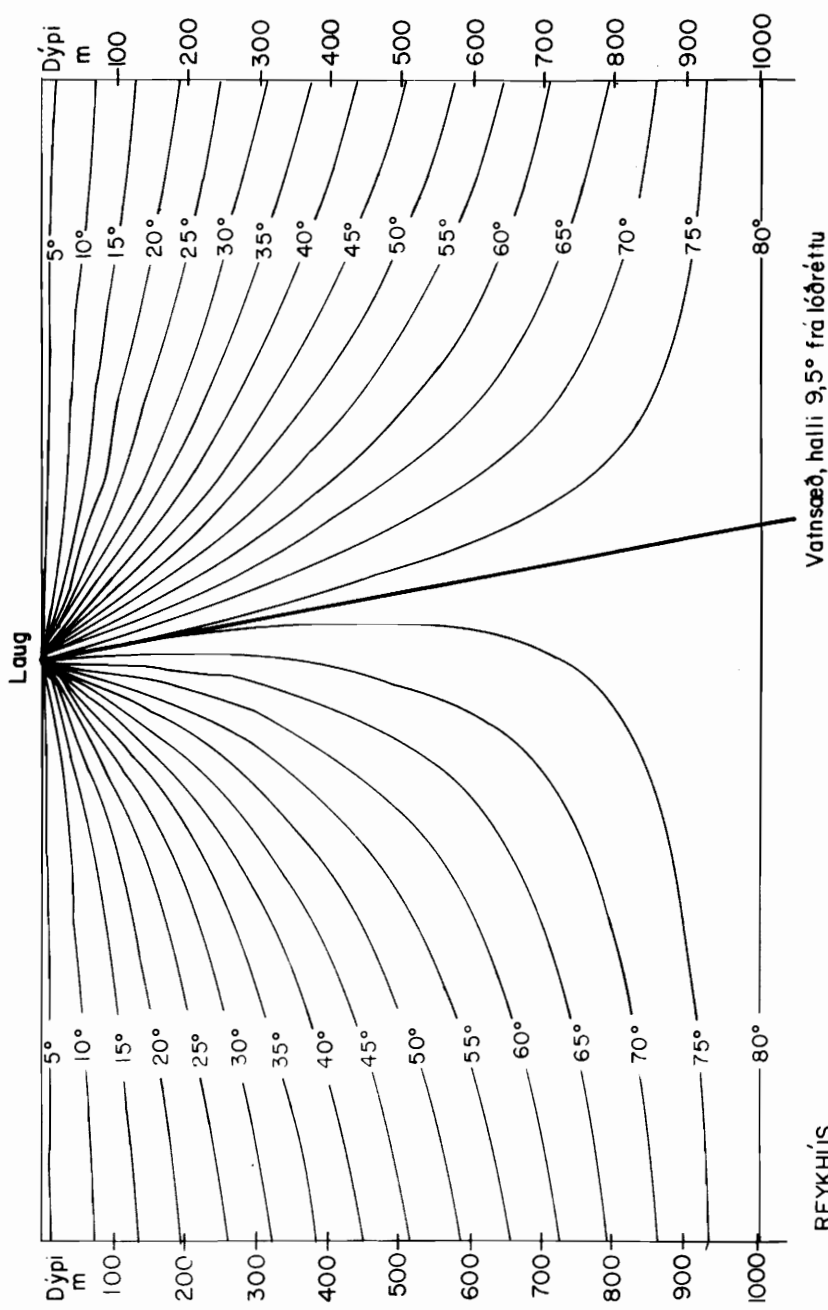
Nú er ekki nóg að hafa tiltækar hitamælingar úr borholum til samanburðar við einhverja útreiknaða hitadreifingu. Hitamælingin verður að sýna raunverulegan berghita. Ef rennsli er upp úr holunni eða milli æða í holunni sýnir hitamælingin ekki raunverulegan berghita nema e.t.v. við vatnsæðarnar og neðan neðstu æða í holunni.

Lengi vel rann úr holum RS-1 og RS-2. Þá hefur alla tíð verið sjálfrennsli eða dæling úr holu RW-7. Frá því dæling hófst úr RW-7 hefur vatnsborð RS-1 og RS-2 farið hriðlækkandi. Holurnar tvær voru hitamældar snemma sumars 1981 og eru það fyrstu mælingar í þessum holum sem ekki eru sterklega undir áhrifum rennslis. Mælingarnar tvær á myndum 5 og 6 ættu því að gefa upplýsingar um raunverulegan berghita ef ekki er rennsli milli æða. Ekki er vogandi að treysta hitamælingunni úr RW-7 á mynd 8 að öðru leyti en því að hitinn í vatnsæðinni á 470 m dýpi er 78°C. Ástæðan er sú að mælingin er enn undir áhrifum skolvatnskælingar.

Mælingarnar á mynd 4 eru hins vegar vathugaverðar. Mælt var með hámarks-
hitamæli (kvikasillfursmæli) sem rennt var ofan í holuna, hann síðan
dreginn upp og lesið af. Hætt er við að slíkur mælir sýni hæsta hitastig
sem hann lendir í á leið sinni niður í holuna og upp á ný, þannig að
kólnun með dýpi, t.d. neðan vatnsæða, komi ekki alltaf fram. Þá er hætt
við að hristingur, sem mælirinn verður óhjákvæmilega fyrir áður en hann
kemst upp til yfirborðs, geti ruglað mælinguna. Vart er hægt að segja að
myndin sýni meir en að 72°C æð sé á 6,4 m dýpi í holu RS-3 og 75°C æð sé
í botni holu RS-2.

Þar sem ekkert rennsli er úr KF-3 ætti hitamælingin úr henni að sýna
raunverulegan berghita.

Reynt var að reikna út hitadreifinguna við Reykhús, út frá nokkrum mis-
munandi líkönum. Hitadreifing sú sem samrýmist best hitamælingunum í
borholunum er sýnd á mynd 11. Líkanið fól í sér að 78°C heit vatnsæð
fylgdi norður-suður ganginum sem liggur um Reykhúsalaugarnar. Gert
var ráð fyrir að halli hans væri um 10° til vesturs. Þetta líkan



REYKHÚS
Varmaleiðni frá hallandi vatnsæð.
Hitastig vatnsæðar 72° við yfirborð
vaxandi í 80° á 1000m dýpi.
Svæðisbundin hitastigull talinn 80°C/km

Vatnsæð, halli 9,5° frá lóðréttu

skýrir vel hitaferlana úr holum RS-2 og RY-9. Hóla RS-2 er síhitnandi niður en hefur enn ekki náð að skera norður-suður ganginn. Hóla RY-9 er boruð beint ofan í ganginn, hitnar ört með dýpi og er æðótt meðan hún er í ganginum en kólnar lítillega neðan hans. Þá fellur æðin á 470 m í holu RW-7 vel inn í þessa mynd. Holur RS-1 og einkum þó KF-3 falla illa að þessu líkani. Þær eru báðar sunnan við norðaustlæga ganginn. Svo virðist sem hitastig sé töluvert lægra í norður-suður ganginum á þeim slóðum. Hóla RS-1 er boruð ofan í norður-suður ganginn á sama hátt og RY-9 en 15-20 m sunnar. Hún er heldur kaldari og fer gegnum hitann á 120 m dýpi. Hóla KF-3 er boruð í um 40 m fjarlægð frá norður-suður ganginum og í um 160 m fjarlægð frá mótum hans og norðaustlæga gangsins við Reykhúsalaugar. Hóla KF-3 á væntanlega mjög stutt eftir í norður-suður ganginn en hitastig þar er mun lægra en í holu RS-2 sem er í svipaðri afstöðu til gangsins. Verður ekki annað séð en hinn háí hiti sem kom upp í Reykhúsalaug sé bundinn við þann hluta norður-suður gangsins sem er norðan skurðlínu við norðaustlæga ganginn.

Eftirfarandi ályktanir virðist mega ráða af hitaástandi í jörðu við Reykhús og æðum sem fram hafa komið í borun:

1. Jarðhitinn við Reykhús virðist tengdur norður-suður gangi þeim sem liggur rétt vestan Reykhúsalauga, og þá fyrst og fremst þeim hluta hans sem er norðan norðaustlæga gangsins.
2. Norðaustlægi gangurinn er ekki vatnsleiðandi, þó svo hann hljóti að eiga einhvern þátt í að veita vatninu til yfirborðs, t.d. sem rennslishindrun.
3. Töluverð vatnsleiðni virðist vera í norður-suður ganginum ofan til, a.m.k. þar sem hóla RY-9 er. Vatnsleiðnin virðist aftur á móti harla léleg neðar í ganginum þar sem hóla RW-7 sker hann.

5 UPPRUNI OG DJÚPHITI JARÐHITAVATNSINS

Vetnisísótóphlutfall hefur verið mælt í sýni úr Reykhúsalaug (Bragi Arnason 1976). Einnig var nýlega mælt súrefnisísótóphlutfall í vatninu úr heitustu þrónum á Kristnesi og í Reykhúsum. Með samanburði við tvívetniskort Braga Arnasonar og niðurstöður súrefnisísótópamælinga er vatnið talið upprunalega úrkoma á miðhálandinu sunnan Eyjafjarðar. Allt jarðhitavatn í norðanverðum Eyjafirði virðist koma af þeim sömu slóðum samkvæmt nýlokinni rannsókn á vetnis- og súrefnisísótóphlutfalli jarðhitavats í Eyjafirði (Hrefna Kristmannsdóttir & Sigfús Johnsen 1981).

Efnainnihald vatns¹⁾ á Kristnesi og í Reykhúsum er mjög svipað að öllu leyti og í öðrum laugum í norðanverðum Eyjafirði. Vatnssýni voru tekin haustið 1977 úr heitustu þrónum á Kristnesi og í Reykhúsum. Einnig eru til niðurstöður greininga á sýnum úr holu RS-1 frá 1968 og 1969. Niðurstöður greininga á elsta sýninu eru ótraustvekjandi. Niðurstöður hinna þriggja greininganna voru birtar í skýrslu Orkustofnunar "Hitaveita Akureyrar. Rannsókn jarðhita í Eyjafirði" (Axel Björnsson o.fl. 1979). Eftir birtingu þeirrar skýrslu komu í ljós ágallar á mælingu sýrustigs í vatninu. Við útreikning á kísilhita (jafnvægi við kalsedón) út frá efnagreiningum var einnig í skýrslunni notaður kleyfnistuðull fyrir kísilsýru, sem verður að teljast byggður á hæpnum forsendum.

Við endurmat á niðurstöðum greininganna hefur sýrustig verið leiðrétt og við útreikninga á kísilhita (jafnvægi við kalsedón) er notaður kleyfnistuðull, sem byggður er á áreiðanlegri forsendum. Þess ber þó að geta að fremur takmörkuð gögn eru til um kleyfnistuðul kísilsýru við lægri hita en 130°C og dregur það úr áreiðanleika vísbendinga á lághitasvæðum.

Endurútreikningur á kísilhita gefur 71-78°C fyrir vatnssýnin frá Kristnesi og um 76°C fyrir sýnið frá Reykhúsum. Mældur hiti sýnanna var 74-75°C. Hámarkshiti miðaður við efnajafnvægi við alkalífeldspöt hefur reynst alláreiðanlegur fyrir jarðhitavatn í Eyjafirði. Er hann 75-76°C fyrir þessi sýni. Aðrir efnahitamælar virðast ekki vera nothæfir fyrir þetta vatnskerfi og gefa vísbendingu um mun lægri hámarkshita en mælt er.

1) Í skýrslu Axels Björnssonar o.fl. frá 1979 og grein Stefáns Arnórs-sonar í Náttúrufræðingnum 1980 er fjallað ítarlega um efnahitamæla og gildi þeirra. Fróðleiksfúsum lesanda er bent á að kynna sér þær

Hámarkshiti þeirra vatnskerfa sem fæða holurnar á Kristnesi og Reykhúsum er því ekki talinn verulega hærri en hiti vatnsins úr holunum og ekki er hægt að gefa fyrirheit um að heitara vatn fáiist á meira dýpi á þessu svæði.

6 JARÐFRÆÐIKORTLAGNING OG SEGULMÆLINGAR

Kortlagningu segulsviðsins við Kristnes er að mestu lokið. Segulmælingarnar sýna að margir gangar liggja um svæðið. Auk ganganna sést a.m.k. eitt misgengi í segulmælingunum.

Jarðfræðikortlagning á svæðinu er nokkrum erfiðleikum bundin þar sem berggrunnurinn við Kristnes og Reykhús er að mestu hullinn jökulruðningi og opnur eru nær engar. Jökulruðningsþekjan kemur í veg fyrir að hægt sé að athuga bergganga svo nokkru nemi. Verður því að byggja að mestu á athugunum í nágrenninu svo og segulmælingum. Skammt utan við Reykhús er jökulruðningurinn horfinn og tiltölulega auðvelt að rekja jarðlög og skoða misgengi sem stefna inná Kristnessvæðið. Lauslegar jarðfræðiathuganir voru gerðar við Kristnes og Reykhús sumarið 1980. Það sem hér fer á eftir er byggt á þeim athugunum svo og því sem áður hefur birst í áður-nefndir skýrslu til Hitaveitu Akureyrar (Axel Björnsson o.fl. 1979). Á mynd 1 eru teiknaðir allir þeir gangar og misgengi sem liggja um svæðið og fundist hafa við jarðfræðikortlagningu og segulmælingar.

Strik jarólaga á svæðinu er ekki hægt að mæla beint, en það virðist vera u.þ.b. 50-55° austan við norður og hallinn er um 7° til SA. Meginangangstefnan er 0-25° austan við norður sem er svipað og annarsstaðar í Eyjafirði. Gangapéttleiki er um 6-7% og virðist fara vaxandi niður á við þótt ekkert verði um það fullyrt. Algengasti halli ganga í Eyjafirði er 4-10° til vesturs frá lóðréttu, og verður að gera ráð fyrir að það eigi einnig við um Kristnessvæðið. Út frá yfirborðsrannsóknum er lítið hægt að segja um halla NA gangans við Kristnes, því hann sést hvergi á yfirborði. Samanburður við aðra ganga með svipaða stefnu er erfiður því aðeins einn finnst í nágrenninu, þ.e. í Gilsárgili við Ytragil. Sá gangur virðist nær lóðréttur. Ef hinsvegar er gert ráð fyrir að gangurinn standi hornrétt á jarðlögin ætti hallinn að vera um 7° til NV frá lóðréttu.

Eins og sést á mynd 1 liggja a.m.k. 2 misgengi um Kristnessvæðið, en þau sjást ekki á svæðinu sjálfu vegna jökulruðnings sem hylur berggrunninn. Misgengin sjást á yfirborði norðan við melda svæðið og kemur framhald þeirra til suðurs glöggst fram í segulmælingum. Misgengin liggja í stefnu 10-20° austan við norður. Spildan milli misgengjanna hefur sigið um

20-30 m. Halli misgengis flatanna er ekki þekktur á mælða svæðinu, en í gili Gilsár, um 2,5 km norðar sést að halli vestara brotsins er um 20° til austurs frá lóðréttu. Kristneslaugar og Kristnesvolgrur liggja sitt hvoru megin við sigdalinn, í báðum tilvikum í um 70 m fjarlægð frá misgengjunum. Gilslaug og Kristnesvolgrur liggja í svipaðri afstöðu til vestara misgengisins. Vaknar þá spurning um það hvort sigdalurinn virkar sem annað tveggja, renna eða rennslishindrun fyrir heita vatnið.

Þriðja misgengið kemur fram í segulmælingum og liggur það skammt ofan við Kristnesvolgrur. Stefna misgengisins er nokkurn veginn N-S. Vegna jarðvegshulu hefur ekki tekist að rekja misgengið saman við þekkt misgengi og eru fall og halli því óþekktar stærðir.

7 VIÐNÁMSMÆLINGAR

Talsvert hefur verið viðnámsmælt í Eyjafirði á undanförunum árum. Um 1970 voru mældar ríflega 20 viðnámsmælingar á svæðinu frá Laugalandi á Þelamörk og fram fyrir jarðhitasvæðin í Hrafnagils- og Öngulstaða- hreppum. Þær mælingar voru margar hverjar fremur lélegar af tækni- legum ástæðum. Sumarið 1975 var bætt við rúmlega 50 mælingum vegna jarðhitaleitar fyrir Akureyri. Þar af voru um tíu í Hrafnagils- og Öngulstaðahreppum. Niðurstöður þeirra mælinga voru birtar þá um haustið (Axel Björnsson og Kristján Sæmundsson 1975). Leiðdu þær til þess að ráðist var í boranir við Laugaland. Mælingum var fram haldið 1977 og 78 og gerð grein fyrir þeim rannsóknum í skýrslu í ársbyrjun 1979 (Axel Björnsson o.fl. 1979). Eftir því sem mælingum fjölgaði í Eyjafirði, varð ljóst að túlkun mælinganna á hefðbundinn einvíðan hátt var í mörgum tilfellum villandi vegna áhrifa frá vel rafleiðandi set- lögum á dalbotninum. Þó var nokkuð ljóst af mælingum að lágt viðnám var víða við jarðhita í Eyjafirði, einkum Laugaland og Hrafnagil.

Í viðauka B er fjallað um framkvæmd viðnámsmælinga, túlkun þeirra og hvaða ályktanir megi af þeim draga. Er þar bent á að viðnámið sé góður mælikvarði á vatnsinnihald jarðlaga. Til að freista þess að fá sem mestar upplýsingar um viðnám jarðlaga í Eyjafirði var ljóst að beita þurfti tvívíðri túlkun. Árið 1980 var unnið við það á Orkustofnun að koma upp slíku forriti og nú í sumar, 1981, var viðnámsmælt á 27 stöðum til að fylla í eyður í viðnámskortinu. Einnig þurfti að endurtaka þann hluta eldri mælinganna sem voru nærri útköntum setfyllingarinnar. Úrvinnslu þessara mælinga ásamt endurvinnslu eldri viðnámsmælinga úr Hrafnagils- og Öngulstaðahreppum er nú lokið og skýrsla í prentun (Ólafur G. Flóvenz & Brynjólfur Eyjólfsson 1981).

Þar sem verið er að fjalla sérstaklega um jarðhitasvæðið við Kristnes og Reykhús er nauðsynlegt að gerð sé grein fyrir niðurstöðum viðnámsmælinga á svæðinu.

Alla hafa verið mældar 7 viðnámsmælingar með Schlumberger uppsetningu í grennd Kristnes og Reykhúsa, þar af 4 sumarið 1981.

1:1 JHD-JED 6510 ÖGF
81.09.1071 AA

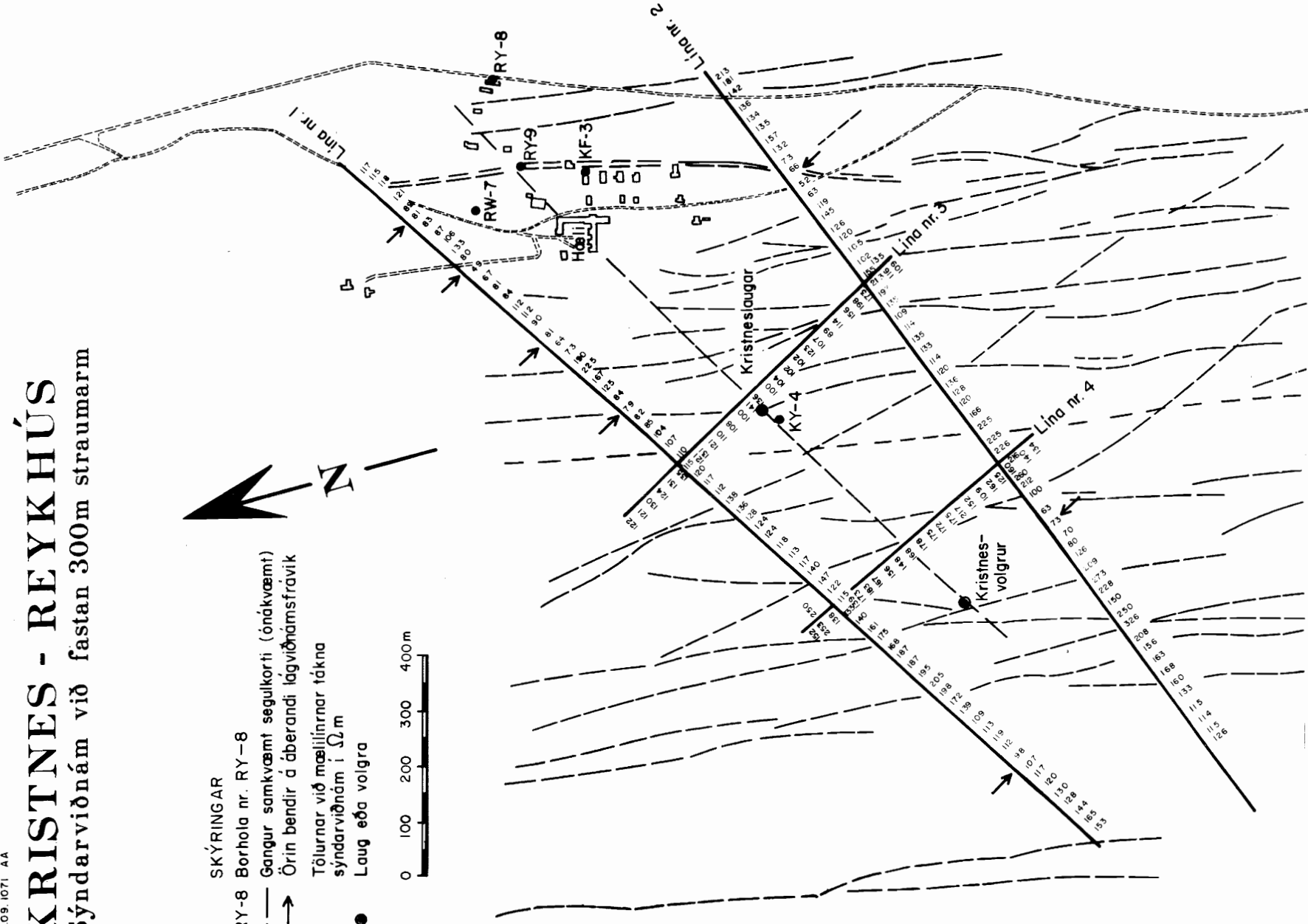
KRISTNES - REYKHÚS

Sýndarviðnám við fæstan 300m straumarm



SKÝRINGAR

- RY-8 Borhola nr. RY-8
- Gangur samkvæmt segulkorti (ónákvæmt)
- Örin bendir á áberandi lágviðnámsfrávik
- Tölurnar við mæjlinnar tákna sýndarviðnám í Ωm
- Laug eða volgra



MYND 12

Sýndarviðnám við fæstan 300 m straumarm.

Lega mælímíóju og stefna Schlumbergermælinganna er sýnd á mynd 1. Mælingarnar hafa nú allar verið túlkaðar, og leitast við að fjarlægja áhrif sóltu setlaganna með tvívíótri túlkun. Á mynd 1 eru niðurstöður túlkunarinnar sýndar sem eóllisvióónám á 500 m dýpi undir mælímíóju. Þar sést, að viðám, minna en 100 Ωm , er einungis að finna í mælingu AK-125 sem er við Kristneslaug, og á takmórkuóu dýptarbíli í mælingu AK-123. Þó er hugsanlegt að landslagsáhrif valdi hinu lága viðnámi í AK-125. Ekki veróur séó að neitt lágt viðám fylgi jaróhitanum við Reykhús nema e.t.v. grunnt í jóró. Svóðisbundió viðám í Eyjafiróði er um 150 Ωm .

Eóllisvióónám við Laugaland er lægst um 20 Ωm , við Botnslaug um 40 Ωm , og við Ytri-Tjarnir og Björk 70 Ωm . Telja má líklegt að 80 Ωm viðám við Kristneslaug beri vott um nokkra vatnsgengd. Samanburóur við önnur svóði bendir til lakari vatnsgengdar þar en á Botni og Ytri-Tjörnum, eóa þess að vatnió sé í mjög þróngum rásum.

Auk Schlumberger mælinganna voru geróar svonefndar viðámssniósmælingar. Þær felast í því að sett eru upp rafskaut með sama snióði og í Schlumbergermælingu en í staó þess að auka sífellt bíl milli straumskautanna (oftast nefnd A og B) og hafa spennuskaut kyrr, eru öll skaut færó í einu um ákveóna vegalengd (25 m) eftir beinni línu. Straumarmur er því alltaf sá sami, í þessu tilfelli 300 m. Meó þessu móti má leita að sýndarvióónámsbreytingum í lárétta stefnu á því dýpi sem mælingarnar ná til, sem í þessu tilfelli yróði í efstu 300 metrunum eóa svo. Sýndarvióónámíó (oftast táknaó ρ_{AB}) sem mælist fyrir hverja færslu er gjarnan teiknaó á kort sem sýndarvióónám undir mælímíóju og ef mælt er eftir nægjanlega mörgum línunum eru dregnar jafnvióónámslínur á kortió. Auk þess sem mælt er sýndarvióónám við þaó að straumur er sendur milli straumskautanna tveggja (A og B), eru mæld sýndarvióónámsgildi sem fást þegar sendur er straumur milli hvers straumpóls um sig og þess þrióða (póll C) sem hafóur er mjög langt í burtu (4 km). Þessi viðóótargildi á sýndarvióónámi (ρ_{AC} og ρ_{BC}) eru mjög nær fyrir lóóréttum viðámsskilum, einkum lágvióónámsskilum og hafa mun meiri upplausn. Vió hentugar aðstáður geta öll þessi þrjú sýndarvióónámsgildi gefió mikilsveróar upplýsingar um legu slíkra skila.

Þeim hluta viðnámsmælinganna, sem felst í ákvörðun sýndarviðnáms þegar pólur A og B eru notaðir, var talsvert beitt hér við jarðhitarannsóknir fyrir 10-15 árum og gengu þá undir nafninu lengdarmælingar. Algengt var þá að nota 600 m straumarm og 200 m langan spennuarm. Nú er oftast notaður 25 m spennuarmur því stuttur spennuarmur eykur upplausn mælinganna.

Á mynd 12 eru mælilínur dregnar upp og sýndarviðnámsgildin (ρ_{AB}) færð inn. Við athugun á viðnámsgildunum sést fljótt að nær ógjörningur er að draga jafnviðnámslínur, mælilínur eru ekki nógu margar miðað við hversu mikill breytileiki er í viðnámi. Því er hægt að draga slíkar viðnámslínur á marga mismunandi vegu. Ef litið er á einstakar línur sést að umtalsverð viðnámslækkun verður á nokkrum stöðum. Píluarnar á mynd 12 benda á þessa staði. Í línu 1 mælist minna en 100 Ω m sýndarviðnám á 5 stöðum, þó áberandi mest á tveimur stöðum skammt norðan og norðvestan Kristneshælis en vestan Reykhúsholanna. Í línu 2 eru áberandi sýndarviðnámslögðir á 2 stöðum, suður af Reykhúsalaugum og suðaustur af Kristnesvolgrum. Á línu 3 og 4 eru ekki umtalsverð lágviðnámsfrávik, en þær línur skera norðaustlaga ganginn sem liggur um Kristnesvolgrur, Kristneslaug og Efri Reykhúsalaugar. Í línu 3 virðist koma fram háviðnámsstoppur við téðan gang. Bendir það til þess að hann sé ekki vatnsgengur.

Ef reynt er að tengja saman lágviðnámsfrávik í línum 1 og 2 má ímynda sér að einhvers konar norður-suður lágviðnámsrenna liggir undir Kristneshæli. Ef svo er, liggja allar Reykhúsaholurnar og KF-3 austan við rennuna. Ef þessi hugsanlega renna tákna vatnsleiðandi sprungu eru mestar líkur til að henni halli niður til vesturs, þ.e. frá holunum.

Þá má einnig ímynda sér lágviðnámsrennu sem lægi fram hjá Kristnesvolgrum í um 50-100 m fjarlægð með stefnu nokkru sunnan við austur.

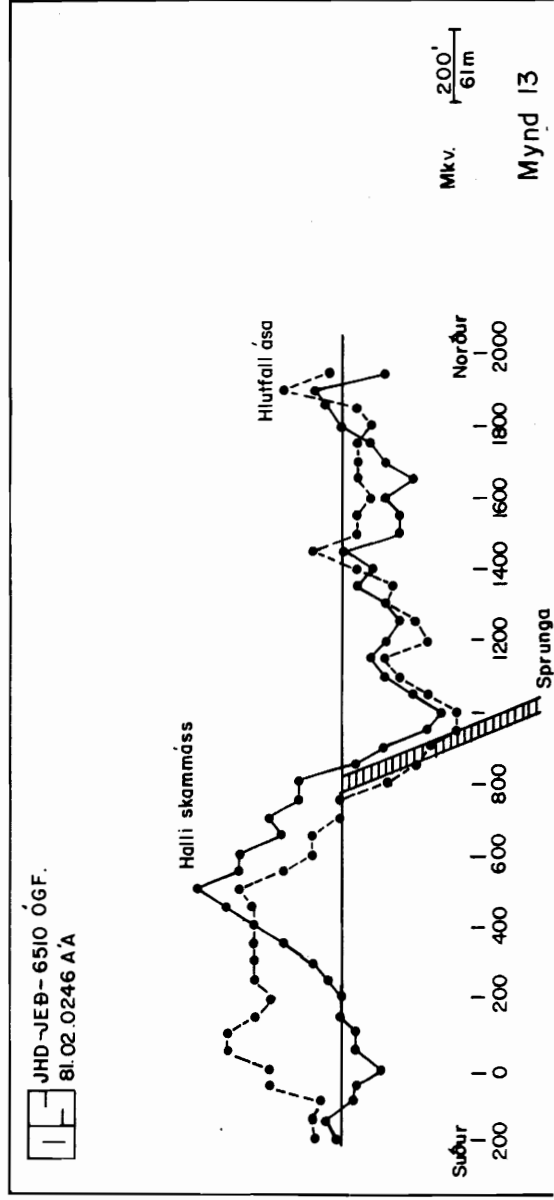
Sá hluti viðnámsniðsmælinganna sem fólst í ákvörðun sýndarviðnáms með því að senda straum milli AC og BC kom afskaplega skringilega út, svo jafnvel læðist að sá grunur að eitthvað kunni að hafa ruglast í mælingunni. Ef svo er ekki er það höfundur einfaldlega ofviða að túlka mælingarnar skynsamlega.

Draga má niðurstöður viðnámsmælinganna saman í eftirfarandi liði:

1. Viðnámsmælingar með Schlumbergeruppsetningu sýna að viðnám er yfirleitt hátt á Kristnes-Reykhúsasvæðinu. Þó má greina með nokkurri vissu, lágviðnámslag neðan 200-300 m dýpis undir Kristneslaug og þar fyrir sunnan.
2. Lágviðnámslagið við Kristneslaug má túlka sem vott um vatnsgeng jarðlög á nokkru dýpi. Með samanburði við aðra jarðhitastaði í Eyjafirði má búast við lakari vatnsgengð þarna en við Ytri-Tjarnir og á Botni. Það mat er þó engan veginn einhlítt.
3. Viðnám undir Efri Reykhúsalaugum er lítið lægra en svæðisbundið viðnám í Eyjafirði og gefur því tilefni til að vænta lítillar vatnsgengdar í jörðu. Sama er uppi á teningnum hvað Kristnesvolgrur varðar.
4. Viðnámsniðsmælingarnar vekja grun um að vatnsleiðandi sprungur kunni að liggja í efstu 200 metrunum nokkru vestan holur RW-7 og með stefnu norður-suður. Einnig gæti álíka sprunga legið skammt sunnan Kristnesvolgru með stefnu lítillega sunnan við austur.

8 VLF-MÆLINGAR

Á nokkrum stöðum á jörðinni eru öflugar rafsegulbylgju-sendistöðvar sem notaðar eru til fjarskipta við kafbáta. Þær senda út bylgjur með 15-25 kHz tíðni. Fjarri sendistað má líta á bylgjur þessar sem planbylgjur. Segulþáttur bylgnanna spanar rafstrauma í vel rafleiðandi lóðréttum sprungum í jörðu. Þeir rafstraumar spana síðan nýjar rafsegulbylgjur. Þær leggjast við upphaflegu rafsegulbylgjurnar með nokkru fasviki og brengla þær yfir þeim stað þar sem vel leiðandi sprungan liggur. VLF-mælingarnar felast í því að mæla þessa brenglun á bylgjunum. Rafsegulbylgjurnar sem berast frá sendistöðinni eru í formi einfaldrar harmonískrar sveiflu en þegar spanbylgjurnar leggjast við verður árangurinn elliptískt polariserað segulsvið. Mældar eru tvær stærðir, halli og skammáss ellipsunnar og hlutfall lang- og skammása hennar. Dæmi um mælingu á halla skammáss ellipsunnar yfir lóðrétt vel rafleiðandi sprungu er sýnt á mynd 13.



Teiknað eftir Philipps og Richards, 1975

MYND 13

VLF-mælingar, skýringarmynd.

Dýptarskynjun rafsegulbylgju er gefin með jöfnunni I.

$$d = 503,8 \sqrt{\frac{\rho}{\gamma}}$$

(Parasnis 1972)

Þar sem ρ er eðlisviðnám jarðlaga og γ er tíðni bylgjunnar. Tíðni sendi-
stöðvarinnar var 17,8 kHz og búast má við að meðaleðlisviðnám efstu 200
metrana á mælisvæðum við Kristnes sé á bilinu 50-200 ohmm. Samkvæmt
því er dýptarskynjun VLF-mælinganna við Kristnes á bilinu 25-50 m.

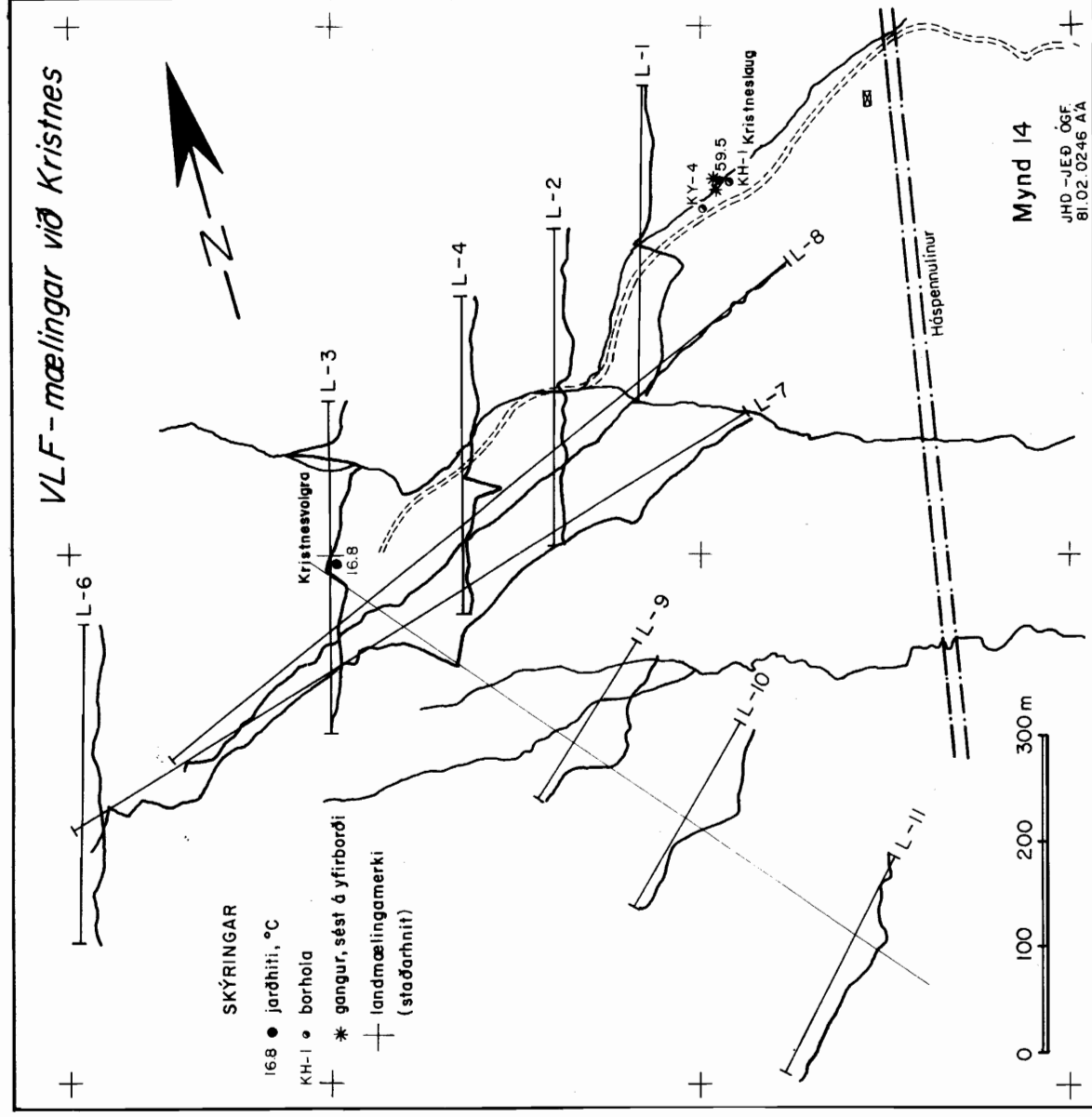
VLF-mælingar eru mjög næmar fyrir truflunum frá girðingum, rafmagns- og
símalínunum og málmleiðslum í jörðu.

Í október 1980 var Orkustofnun með VLF-mælitæki að láni frá sænsku jarð-
fræðistofnuninni. Var þá meðal annars gerð tilraun með VLF-mælingar við
Kristnes. Vegna mannvirkja og leiðslna var ekki unnt að mæla næst Krist-
nesi eða Reykhúsum. Mældar voru 6 samsíða línur þvert yfir norðaustlæga
ganginn og síðan samsíða honum en nærri þvert á norður-suður gangana.
Niðurstöðurnar eru sýndar á mynd 14. Líklega kemur lítilsháttar frávik
fram í línunum 1-6 yfir norðaustlæga ganginum en stóru frávikin sem sjást
á þeim línunum eru líklega vegna girðinga. Benda því VLF-mælingarnar til
þess, að norðaustlægi gangurinn sé lítið betur rafleiðandi en jarðlögin
umhverfis í efstu 25-50 metrunum.

Á línunum 7-11 kemur fram eitt ákveðið frávik í hverri línu. Það virðist
liggja um Kristnesvolgrur og stefna þaðan um 138° austan við norður, eða
í átt að Kroppi og Klauf. Þetta þýðir væntanlega að sprunga með lágu
eðlisviðnámi liggur þarna í efstu 50 metrunum. Sú sprunga er þar væntan-
lega vatnsleiðandi en ekki er hægt að fullyrða neitt um hvort nokkur ylur
fylgi henni.

Ef segulkortíð af svæðinu (Axel Björnsson o.fl. 1979) er skoðað grannt
má sjá nokkur segulfrávik á svæðinu milli Grísarár og Kristness, sem
stefna í norð-norðvestur. Tvö slík liggja í þessa stefnu upp frá
Grísará, eitt liggur skammt norðan við Kropp og hið fjórða miðja vegu
milli Kropps og Kristness. Líklegt er að gangar með norð-norðvestlæga
stefnu valdi segulfrávikunum. Umrædd segulfrávik eru mun veikari en
segulfrávikin sem norður-suður gangarnir valda og sjást því fremur illa
á segulkortinu. Einungis eitt þessara frávíka sést með nokkuri vissu
nálægt norðaustlæga ganginum við Kristnes. Samt sem áður verður að telja
nokkrar líkur á því, að allir þessir gangar nái að skera norðaustlæga
ganginn við Kristnes.

Stefna norð-norðvestlægu ganganna er norðlægari en stefna VLF-lágviðnámsfráviksins sem liggur frá Kristnesvolgrum í átt að Kroppi. Þar sem segulkortíð nær ekki nema lítið inn á það svæði sem VLF-frávikið er á verður ekki að svo stöddu fullyrst neitt um það hvort og hvaða tengsl eru milli VLF-fráviksins og einhvers af norð-norðvestlægu göngunum.



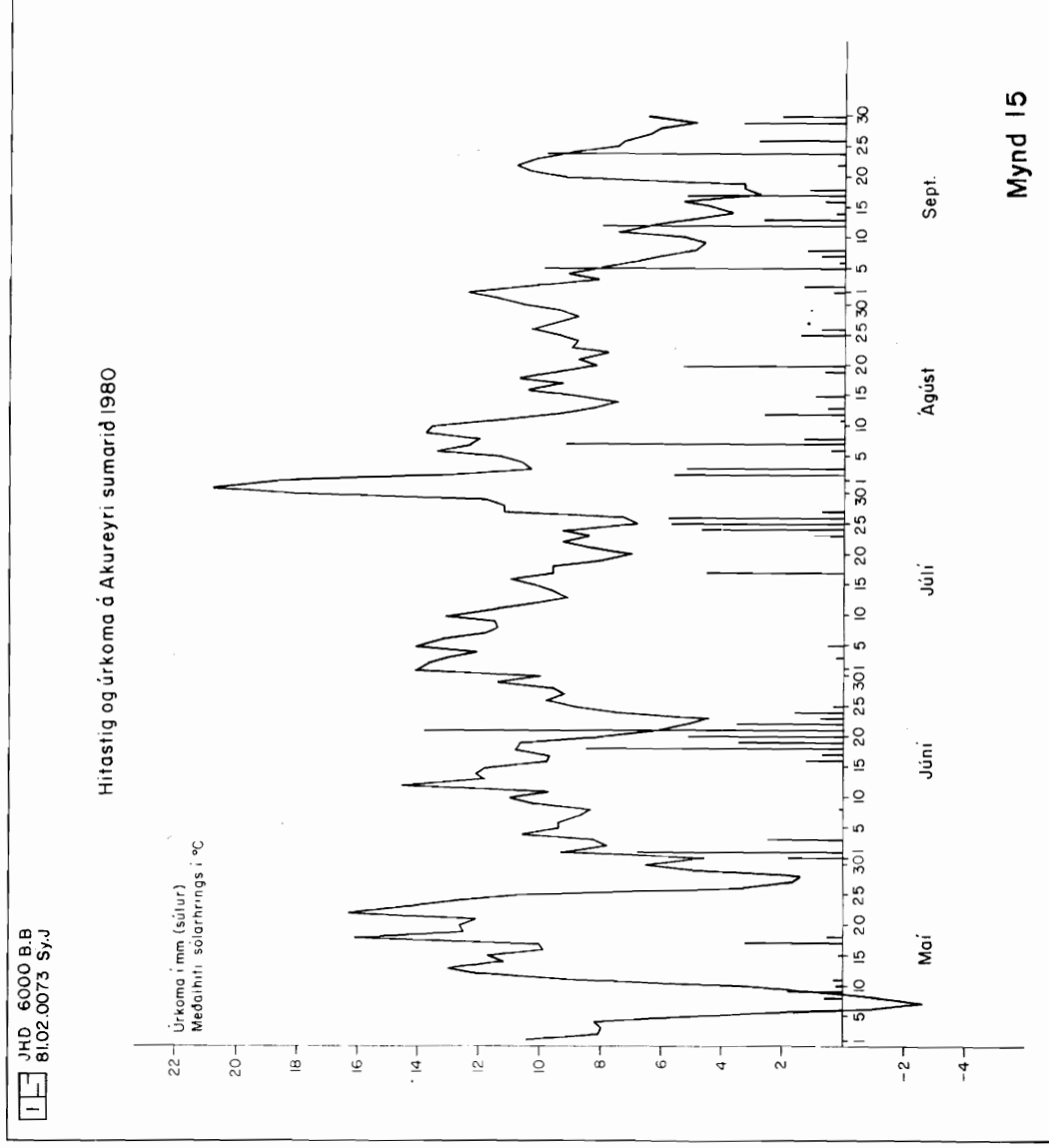
MYND 14

VLF-mælingar við Kristnes

9 HITAMÆLINGAR Í JARÐVEGI

Sumarið 1980 voru gerðar allitarlegar hitamælingar í jarðvegi við Kristnes. Mælt var á 0,5 m dýpi eftir mælininum sem lágu austur-vestur. Bil milli mællína var 40 m og venjulega hafðir 20 m milli mælipunkta á hverri línu. Á þennan hátt var 2 km² spilda mæld.

Í skýrslu Orkustofnunar "Reykir í Fnjóskadal, jarðeðlisfræðileg forathugun jarðhitasvæðisins" (Ólafur G. Flóvenz 1980a) er gerð grein fyrir eðli mæliaðferðarinnar og annmörkum. Niðurstöður mælinganna eru sýndar á korti sem er í vasa innan á kápusíðu. Á mynd 15 getur að líta línurit yfir úrkomu og meðalhita sólarhringsins á Akureyri sumarið 1980. Af mynd 10 má draga þá ályktun, að mælist hitastig í jarðvegi yfir 14° telst það afbrigðilega hátt. Á kortinu eru slík svæði merkt sem rauðir fletir.



MYND 15

Hitastig og úrkoma á Akureyri sumarið 1980

Afbrigðilega hár hiti í jarðvegi er mestur umhverfis Reykhúsalaugarnar og neðan íbúðarhúsanna við Kristnes (frárennsli). Þá eru smásvæði kringum Kristneslaug og Kristnesvolgrur afbrigðilega heit. Auk þessara svæða kringum þekktar laugar eru nokkrir blettir yfir 14°C heitir á svæðinu norðvestur af Kristnesvolgrum. Flestir þessara bletta liggja við tvo norður-suður ganga sem eru vestan Kristnesvolgranna og VLF-frávíkið liggur nærri tveimur þeirra.

Þá má af hitakortinu ráða að almennt er ívið heitara í jarðveginum sunnan norðaustlæga gangsins en norðan hans. Munurinn er hins vegar það líftill að hann er á mörkum þess að vera marktækur. Hægt er að hugsa sér tvær skýringar á fyrirbrigðinu; annars vegar að heitt vatn seytli upp með öllum norðaustlæga ganginum og leiti undan hallanum, hins vegar gæti kalt yfirborðsvatn sem seytlar í jarðveginum frá fjallinu ofan Kristness runnið út í lækinn sem fylgir norðaustlæga ganginum og valdið þannig ívið kaldari jarðvegi ofan og norðan hans.

10 NIÐURSTÖÐUR OG ÁLYKTANIR

Hér að framan hafa verið tínd til og rædd flest þau atriði sem rannsóknir á Kristnessvæðinu hafa leitt í ljós. Til frekari glöggvunar verða mikilvægustu atriðin talin upp og rædd hér á eftir.

1. Náttúrulegt heita-vatnsrennsli af Kristnessvæðinu var meira og hitastig hærra en af öðrum jarðhitasvæðum í Eyjafirði.
2. Boraðar hafa verið þrettán borholur, þar af ein 1818 m djúp hola, ein 400 m djúp og sex 100-250 m djúpar, án þess að tekist hafi að hitta á umtalsverðar vatnsæðar. Úr einni þessara hola er dælt um 2,6 l/s af 78°C heitu vatni með nálægt 50 m niðurdrætti. Vatnsborð er nú á 20 m dýpi þar sem fyrrum voru Efri Reykhúsalaugar.
3. Af mynd 1 er ljóst að minnst 20 til 30 gangar og misgengi liggja um svæðið frá Neðri Reykhúsalaugum að Kristnesvolgrum. Þessum fyrirbrigðum virðist mega skipta í fjóra flokka; ganga með stefnu rétt austan við norður, gang með norðausturstefnu, ganga með stefnu rétt vestan við norður og misgengi með stefnu lítilliga austan norðurs. Að auki er vitað um sprungur og smámisgengi í Staðarbyggðarfjalli sem stefna nærri því austur-vestur. Hugsanlegt er að slík brot séu fyrir hendi á Kristnessvæðinu. Ekki er vitað með neinni vissu hvort jarðhitinn í Eyjafirði tengist fremur einum þessara flokka en öðrum. Þó má benda á að vatnsæðarnar á Ytri-Tjarnasvæðinu og við Botnslaug eru við bergganga sem líklegast tilheyrir norðnorðaustlæga flokknum, en vatnsæðarnar miklu á Syðra-Laugalandi virðast ekki tengdar berggöngum.
4. Algengt er að laugar og hverir séu á yfirborði þar sem tvær eða fleiri jarðfræðilegar misfellur (gangar, misgengi, sprungur) skerast. Þannig eru Efri Reykhúsalaugar og Kristneslaugar á mótum norðaustlæga gangsins og ganga úr norð-norðaustlæga flokknum. Þá er ljóst að misgengi skera norðaustlæga ganginn nærri Kristneslaugunum og volgrunum. Athygli skal vakin á því, að þótt laug komi upp við gang eða á mótum tveggja er engán vegin víst að annar hvor þeirra sé meginleiðari.

5. Einu ábendingarnar um hvaða ganga eða misgengi kunni að vera vænlegast að bora í, fást í þessu tilvik í út frá dreifingu jarðhita á yfirborði og þeim óljósu ábendingum sem draga má af viðnámsmælingum.

Telja verður líklegt að hola RY-9 hafi skorið norð-austlaga ganginn án þess að gefa vatn. Viðnámsmælingar og VLF-mælingar benda heldur ekki til vatnsleiðni í honum. Ennfremur er ljóst að hola RY-9 skar norður-suður ganginn sem liggur um Reykhúsalaugar. Virðist hann nokkuð vatnsleiðandi ofan til. Hins vegar er lítil vatnsleiðni í sama gangi neðar þar sem hola RW-7 fer gegnum hann.
6. Þær viðnámsmælingar sem gerðar hafa verið á Kristnes-Reykhúsasvæðinu benda ekki til þess að mikils heits vatns sé að vænta úr jörðu við Reykhús. Þess ber þó að gæta að greiningarhæfni viðnámsmælingarinnar er takmörkuð, þannig að vatnsæðar sem eru mjög bundnar við þrönga sprungu á litlu svæði koma illa fram.

Samkvæmt viðnámsmælingunum er þó nokkru lægra viðnám neðan 300 m dýpis við Kristneslaug sem bendir til einhverra vatnsgengdar þar. Ennfremur má líta á lágviðnámsfrávikin í línu 1 og 2 á mynd 12 sem vott um vatnsleiðni þar í efstu 100-200 metrunum. Hugsanlega er réttlætanlegt að kanna vísbendingar með nokkur hundruð metra djúpri holu norðan Kristneslælis og allt að 1000 m holu við Kristneslaug.

Nauðsynlegt er að Hitaveita Akureyrar geri sér ljóst að þær upplýsingar sem fyrir liggja um Kristnes-Reykhusasvæðið benda ekki til þess að verulegar vatnsæðar sé að finna þar í jörðu, þó varla sé hægt að útiloka það með öllu. Það er lengi hægt að halda áfram borunum með tilheyrandi tilkostnaði. Einhvern tímann verður að taka af skarið og telja svæðið ónýtanlegt. Á hinn bóginn er dálítið erfitt að kyngja því að ekki megi fá með dælingu úr borholum meira vatn en forðum vall sjálfkrafa úr jörðu.

Valið stendur nú um það hvort gefast eigi upp við frekari jarðhitaleit með borunum við Kristnes eða reyna að fylgja eftir óljósum vísbendingum viðnámsmælinga. Verði seinni kosturinn valinn er næsta skref rannsóknanna að bora rannsóknarholu norðaustan við Kristneslaug. Þeirri holu yrði ætlað að skera aðfærsluð Kristneslaugar og kanna hvort fá megi þar meira vatn og heitara. Vegna þess að lágviðnámið við Kristnes virðist vera fremur djúpt kemur einnig til greina að bora grunna rannsóknarholu við lágviðnámsfrávikilið norðan Kristneshælis, í um 100 m fjarlægð vestan holu RW-7. Verði þessar holur árangurslausar er erfitt að verja áframhald borana á svæðinu.

Að lokum er rétt að benda á, að víðast erlendis er borað á ská ofan í jörðina þegar verið er að bora í nærri lóðrétta vatns- eða olíuleiðara. Það gefur auga leið að ef unnt er að bora 1800 m langa holu með 20° meðalhalla væri unnt að bora gegnum flesta norður-suðurgangana, norð-vestlægu gangana og misgengin í einni holu. Sú hola yrði að vísu mun dýrari en lóðrétt hola. Slík skáborun hefur ekki verið reynd hérlandis í djúpborun og því engin reynsla fengist af slíku við íslenskar aðstæður. Hægt er að nota innlenda bora í verkið en sérhæfð tæki og menn þarf að fá með þeim til að stýra sveigjunni í holunni. Hitaveita Akureyrar ætti að gaumgæfa þennan kost vandlega og afla sér upplýsinga hjá Jarðborunum og borfyrirtækjum erlendis. Þó er rétt að geta þess að síðastliðið sumar tókst að bora um 106 m djúpa rannsóknarholu með 45° halla í Sandafelli við Þjórsá. Til þess var notaður kjarnabor. Holan er 6 cm í þvermál og kostaði 168 þ.kr. Með tilliti til þess að unnt er að skera marga ganga í einu í slíkri holu vaknar sú spurning hvort slíkar grunnar rannsóknaholur eigi ekki rétt á sér í Eyjafirði.

HEIMILDASKRÁ

- Axel Björnsson, Kristján Sæmundsson, Sigmundur Einarsson, Freyr Þórarinsson, Stefán Arnórsson, Hrefna Kristmannsdóttir, Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt Steingrímsson & Þorsteinn Þorsteinsson 1979: Hitaveita Akureyrar. Ramsókn jarðhita í Eyjafirði. Áfangaskýrsla 1978. Orkustofnun, OS-JHD 7827, 91 s.
- Axel Björnsson 1981: Áætlun um rammsóknir og boranir fyrir hitaveitu Akureyrar 1981. Orkustofnun, greinargerð AB-81/01, 12 s.
- Axel Björnsson og Kristján Sæmundsson 1975: Jarðhiti í nágrenni Akureyrar. Orkustofnun, OS-JHD 7557, 53 s.
- Ásgrímur Guðmundsson 1980: Úttekt á holu RW-7 við Reykhús. Orkustofnun, JHD, greinargerð ÁG-80/02, 7 s.
- Barth, T.F.W. 1950: Volcanic geology, hot springs and geysers of Iceland. Carnegie Institution of Washington. Publication 587, Washington, 174 s.
- Bragi Árnason 1976: Groundwater systems in Iceland traced by deuterium. Vísindafélag Íslendinga. Rit 42, 236 s.
- Gunnar Böðvarsson 1949a: Bréf til bæjarstjórans á Akureyri dags. 3.5.1949 varðandi jarðhitarammsóknir í nágrenni Akureyrar.
- Gunnar Böðvarsson 1949b: Skýrsla um rammsókn á laugum fyrir ofan Kristneshæli. Bréf frá Jarðborunum ríkisins dags. 12.4.1949.
- Gunnar Böðvarsson 1951: Skýrsla um rammsóknir á jarðhita í Hengli, Hveragerði og nágrenni árin 1947-1949. Tímarit V.F.Í., 36 1-44-
- Hrefna Kristmannsdóttir & Sigfús Johnsen 1981: Eyjafjörður. Efnainnihald og ísótópahlutföll jarðhitavatns. Orkustofnun, OS81023/JHD14, 49 s.
- Jarðboranir ríkisins 1951: Efnagreiningar á hverum og laugum. Jarðboranir ríkisins, (91) s.

Jarðboranir ríkisins 1964: Borskýrslur.

Jón Sólmundsson 1959: Laugabók, dagbók frá athugunum á jarðhitastöðum á Norðurlandi. Handrit í vörslu Jarðhitadeildar Orkustofnunar.

Ólafur G. Flóvenz 1980a: Reykir í Fnjóskadal, Jarðeðlisfræðileg forathugun jarðhitasvæðisins. Orkustofnun, OS80009/JHD05, 56 s.

Ólafur G. Flóvenz 1980b: Túlkun viðnámsmælinga. Dagskrá og ágrip. Ráðstefna um jarðhita 7. nóv. 1980, Jarðfræðifélag Íslands, 3 s.

Ólafur G. Flóvenz & Brynjólfur Eyjólfsson 1981: Viðnámsmælingar og mat á jarðhitastöðum í Eyjafirði. Orkustofnun, OS81029/JHD17 (í prentun).

Rannsóknaráð ríkisins 1944: Jarðhiti á Íslandi I, alkalísk jarðhitasvæði. Rannsóknaráð ríkisins, (177) s.

Paranis, D.S. 1972: Principles of applied geophysics. Chapman and Hall LTD, London, 214 s.

Snorri P. Kjaran 1976: Theoretical and Numerical Models of Groundwater Reservoir Mechanism. Institute of a Hydrodynamics and Hydraulic Engineering. Technical University of Denmark, Lyngby 1976, 196 s.

Stefán Arnórsson 1980: Efnahitamælar. Náttúrufræðingurinn, 50 121-138.

Trausti Einarsson 1942: Über das Wesen der heissen Quellen Islands. Vísindafélag Íslendinga, rit 26, 91 s.

Valgarður Stefánsson & Benedikt Steingrímsson 1980: Geothermal Logging, An introduction to techniques and interrelations, Orkustofnun OS80017/JHD09, 117 s.

Þorkell Þorkelsson 1920: Undersøgelse af nogle varme kilder på Nord-Island. Det Kgl. Danske Vid. Selsk., Math-fys. Medd. III, 1, 30 s.

Þorkell Þorkelsson 1930: Some additional notes on thermal activity in Iceland. Vísindafél. Ísl., Greinar, V., 31 bls.

VIÐAUKI A

Jafnvægið á bergs reiknaður út frá
upphitunarferli borholu

JAFNVÆGISHITI BERGS REIKNADUR ÚT FRÁ UPPHITUNARFERLI BORHOLU

Inngangur

Við borun eftir heitu vatni er mjög mikilvægt að geta fengið upplýsingar um berghita jafnóðum og borað er. Kemur þar einkum tvennt til. Í fyrsta lagi er mun auðveldara að taka ákvörðun um borðýpi í rannsóknarborunum ef hægt er að fylgjast með raunverulegum berghitabreytingum með dýpi. Má þannig spara drjúgan skilding sem ella færi í tilgangslausa borun. Í öðru lagi er ekki unnt að fá ákvörðun á berghita sem fall af dýpi eftir að borhola hefur hitt á vatnsæð sem gefur sjálfrennsli úr holu. Lögum berghitaferilsins gæti hins vegar veitt mikilvægar upplýsingar um vatnsæðina, t.d. sagt til um hvort hún lægi lárétt eða væri lítið hallandi frá lóðréttu.

Skolvatnskæling í borun kemur í veg fyrir að fá megi marktæka beina berghitamælingu meðan á borun stendur. Hér á eftir er gerð grein fyrir reikniaðferð til að meta ótruflað hitastig bergs í borholu út frá upp-hitunarferli borholunnar í borhléi. Beitt er breyttri útfærslu á aðferð sem sett var fram í grein Albright J.N., 1975 "A New and More Accurate Method for the Direct Measurement of Earth Temperature Gradients in Deep Boreholes". Samin hafa verið tölvuforrit til að framkvæma reikningana og skila niðurstöðum á prentara og tölvuteiknara. Sínd eru dæmi um notkun aðferðarinnar við rannsóknarborun í Eyjafirði.

Grundvallaraðferð

Í borhléi er hitamæli rennt niður á botn holunnar og upphitunin skráð á sírita sem fall af tíma. Einnig má hugsa sér að holan í heild sé hitamæld reglulega með stuttu millibili í borhléi. Unnið er úr hitunarferli, sem sýnir hitastig sem fall af tíma fyrir nokkur tímagildi. Veljum einhvern þessara punkta, köllum hann (t_0, θ_0) og skoðum upphitun holunnar með hann sem byrjunarpunkt. Gera má ráð fyrir því að hraði upphitunar borholuvökvans sé í réttu hlutfalli við muninn á ótrufluðu hitastigi bergsins, θ_∞ , og hitastigi borholuvökvans $\theta(t)$ á tímabili sem er stutt miðað við þann tíma sem það tekur holuna að fullhitna.

Þá fæst diffurjafnan

$$\frac{d}{dt} \theta(t) = C \cdot (\theta_{\infty} - \theta(t)) \quad \theta(t_0) = \theta_0$$

þar sem C er fasti. Þessi jafna hefur lausnina

$$\theta(t) = \theta_{\infty} - (\theta_{\infty} - \theta_0) \exp(-C(t-t_0)) \quad (1)$$

Nú má taka búta af hitunarferlinum (númeraða með $i = 1, 2, 3, \dots$), sem hefjast á mælipunkti (t_0^i, θ_0^i) og ná yfir ákveðinn fjölda mælipunkta N og meta stuðlana C^i og θ_{∞}^i fyrir hvern búa. Sé sambandið milli stærðanna θ_{∞}^i og C^i teiknað liggja punktarnir á ferli, sem er boginn upp í fyrstu, en nálgast síðan að vera bein lína. Sé þessi beina lína dregin og látin skera θ_{∞} -ásinn fæst nálgunargildi fyrir berghitastigið θ_{∞} .

Útfærsla reikninga

Í upphafi eru valin nokkur mismunandi gildi á fjölda punkta N á mæli-ferilsbútnum sem nota skal. Fyrir hvert gildi á N eru framkvæmdir eftirfarandi reikningar. Tekin er hver rööð N mæligilda á ferlinum (t_0^i, θ_0^i) , $(t_1^i, \theta_1^i), \dots, (t_{N-1}^i, \theta_{N-1}^i)$ og metnir stuðlarnir C^i og θ_{∞}^i þannig að upphitunarferillinn (1) falli sem best að mæliferlinum á þessum punktum.

Hér er notað ólínulegt minnsta kvaðrat, því lágmörkuð er summa kvaðrata leyst með Levenberg-Marquardt aðferð. Þessir reikningar eru unnir í forritinu WELTEM.

Síðan þarf að teikna graf af (θ_{∞}^i, C^i) fyrir hvert gildi á N og kanna hvort samband stærðanna sé línulegt. Stundum víkja punktarnir frá beinni línu fyrir lág gildi á C^i og er þá aðeins tekin hinn línulegi hluti grafsins. Forritið WELPLO teiknar punktana inn í hnitakerfi.

Nú er unnt að ákveða hvaða gildi á N skal nota til áframhaldandi úrvinnslu. Hægt er að taka aðeins eitt gildi eða sameina niðurstöður fyrir fleiri gildi á N.

Þegar valin hafa verið (θ_{∞}^i, C^i) gildin út úr fyrrgreindum reikningum er reiknuð lína gegnum punktastafnið með aðferð minnstu kvaðrata og metið lokagildi á θ_{∞} . Það er forritið WELREG sem það gerir.

Tölvuvinnsla

Til að vinna úr einum upphitunarferli þarf að fylgja eftirfarandi verklýsingu.

- a) Mæligögn með tíma og hitastigi eru sett í tölvuskrá.
- b) Forritið WELTEM er keyrt nokkrum sinnum fyrir búta með mismörgum mælipunktum. Það skrifar (θ_{∞}^i , C^i) gildin á tölvuskrár.
- c) Forritið WELPLO er látið lesa niðurstöðurnar úr b) og teikna þær.
- d) Valið er úr niðurstöðunum til endanlegrar úrvinnslu og forritin WELL og WELPLO hugsanlega keyrð aftur.
- e) Forritið WELREG er látið lesa niðurstöðurnar úr d) og meta ótruflað hitastig bergsins.

Sýnishorn reikninga

Við rannsóknarborun við Neðri-Reykhúsalaugar í Eyjafirði sumarið 1981 var sá háttur á hafður að hitamæli var rennt niður gegnum borstangirnar og niður undir botn á hverju kvöldi eftir að borun lauk. Var hann tengdur sírita er skráði upphitun holunnar um nóttina. Að morgni voru hita- og tímahnit lesin af upphitunarferlinum og umrædd reikniáferð notuð til að ákvarða jafnvægihitastig hverju sinni. Tafla eitt sýnir gildi sem lesin voru af upphitunarferlinum á 239 m dýpi og mynd 1 (θ_{∞} , C)-línurit þegar notaðir voru 13, 15 og 17 punktar á mæliferlinum. Skurðpunktur bestu línu gegnum punktana á mynd 1 gefur $46,2^\circ$ jafnvægihitita. Holan mældist þann 11. sept. $47,0^\circ$ á 239 m dýpi, og hefur þá líklega náð hitajafnvægi.

Tafla 1

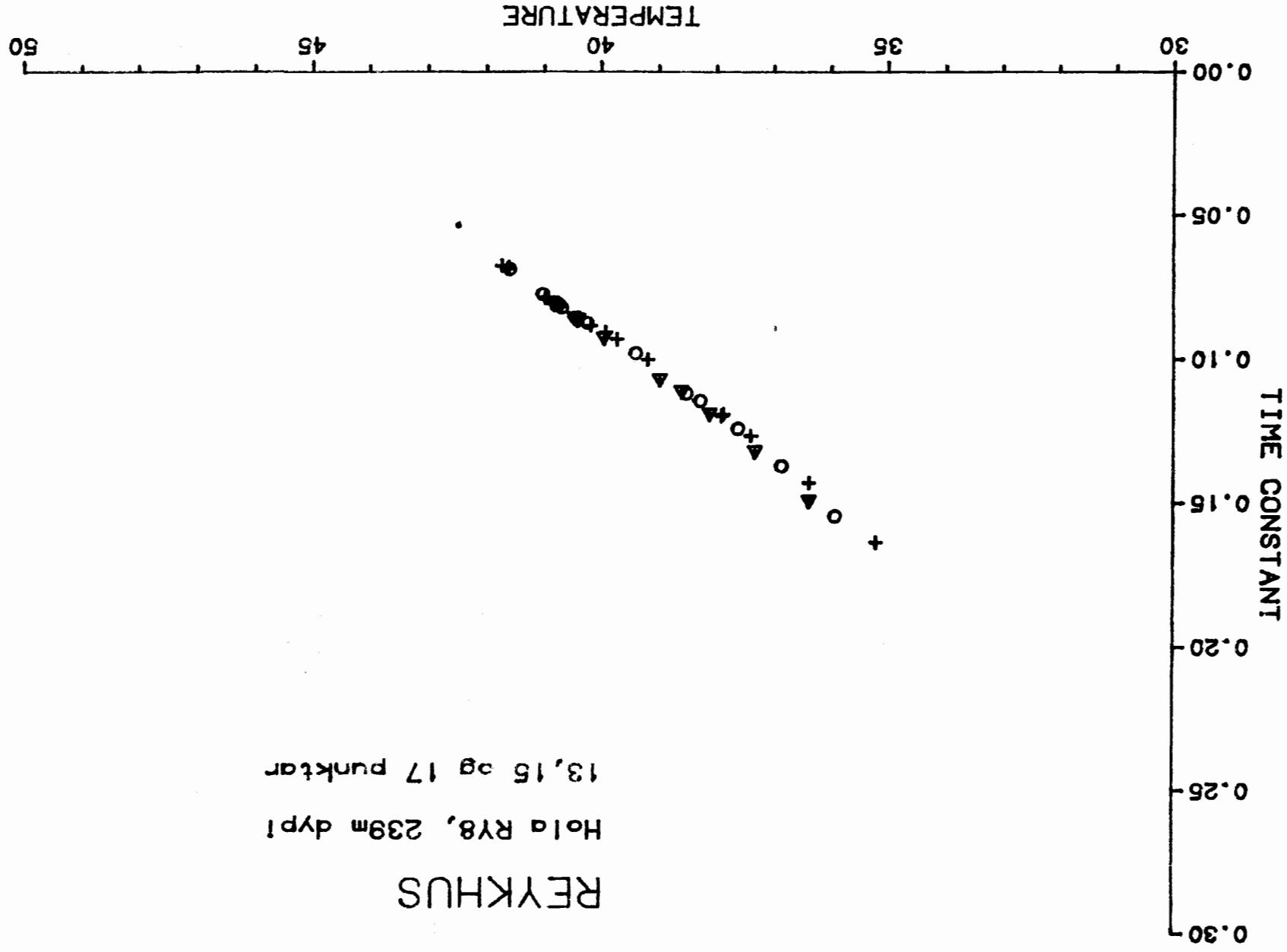
Tími í mín.	20	40	60	80	100	120	140	160	180
Hitast. í °C	13,5	17,1	19,9	22,1	23,8	25,6	27,0	28,1	29,1
Tími í mín.	200	220	240	260	280	300	320	340	360
Hitast. í °C	30,1	30,9	31,7	32,5	33,1	33,7	34,1	34,6	35,2
Tími í mín.	380	400	420	440	460	480	500	520	540
	35,6	35,9	36,5	36,8	37,0	37,3	37,6	37,9	38,1

Heimild

J.N. Albright 1975: A New and More Accurate Method for Direct Measurement of Earth Temperature Gradients in Deep Boreholes. Proceedings. Second U.N. Symposium on the Development and Use of Geothermal Resources
x. 847-851.

REYKHUS

Hóla RY8, 239m dyp!
13, 15 og 17 punktar



VIÐAUKI B

Um Viðnámsmælingar



ORKUSTOFNUN

Mæliaðferðir
Skýringamynd

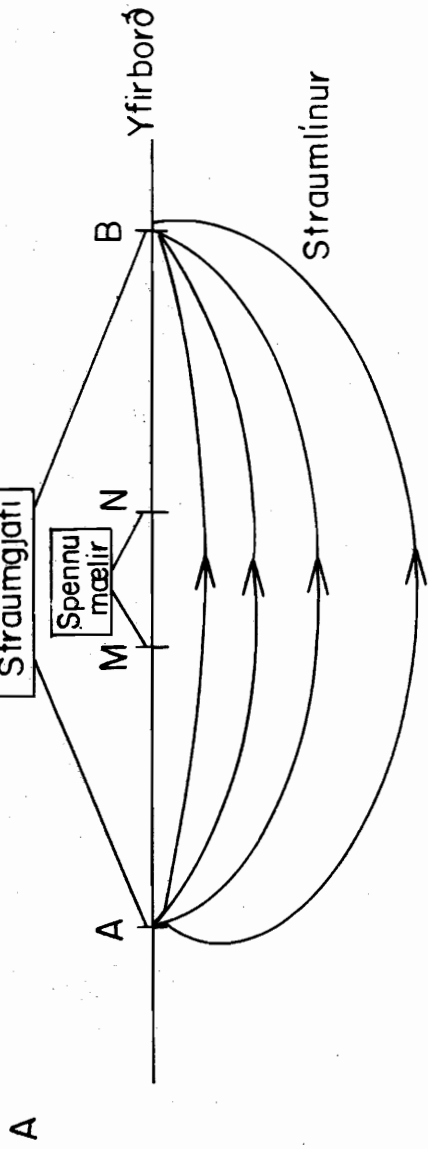
- 52 -

'76.08.19 ÓGF/AA

Tnr. 1690

J- Viðnám *

Fnr. 14495



A-B Straumskaut
M-N Spennuskaut

Viðnámsmælingar

Viðnámsmælingar eru líklega sú jarðeðlisfræðilega aðferð sem mest er notuð við jarðhitarannsóknir. Mælingarnar felast í því að mæla rafviðnám jarðar og tengja rafviðnámið síðan þáttum eins og vatnsinnihaldi, hitastigi og seltu í jörðu.

Viðnámsmælingar má gera á ýmsa vegu. Algengasta mæliaðferðin hérlandis eru svonefndar Schlumbergermælingar. Þá er jafnstraumur sendur milli straumskautanna A og B (sjá mynd) og mæld spennan sem myndast á yfirborði milli spennuskautanna M og N. Með jöfnu millibili skiptir straumendirinn um formerki á straumum þannig að í reynd er send út svokölluð kassabylgja. Straumurinn, sem fer milli straumskautanna, berst eftir jarðlöggunum og því er spennan sem mælist milli M og N háð því hvernig viðnám breytist með dýpi. Með því að auka stöðugt fjarlægðina milli straumskautanna fer straumurinn æ dýpra í jörðu á leið sinni milli skautanna og því er spennan sem mælist á yfirborði háð viðnáminu æ dýpra niðri. Við venjulegar Schlumbergermælingar hérlandis er venjulega byrjað með 2,0 m bil milli straumskauta og það smáaukið upp í 3-3,5 km. Út frá straumum og spennunni má svo reikna svonefnt sýndarviðnám samkvæmt Ohms lögmáli, $\rho_A = K \frac{\Delta V}{I}$ þar sem ρ_A er sýndarviðnám, K er fasti háður fjarlægðum straum og spennupóla, ΔV er spennunurinn milli M og N og I er straumurinn sem sendur er út.

Fyrir Schlumberger mæliuppsetningu er $K = \pi \cdot \frac{AB^2 - MN^2}{2MN}$ þar sem AB er

fjarlægð milli straumskauta og MN fjarlægð milli spennuskauta. Mælingin er því næst teiknuð upp á línurit sem sýnir ρ , sýndarviðnámið, sem fall af hálfri fjarlægð milli straumskauta. Mælingarflokkar Jarðhitadeildar skila mæliniðurstöðum frá sér á þessu formi og sá sem túlkar mælingarnar tekur við.

Túlkun mælinganna er tvíþætt. Fyrri hlutinn felst í því að umreikna sýndarviðnámsferilinn yfir í raunverulegt viðnám sem fall af dýpi. Í seinni hlutanum er reynt að tengja þetta raunverulega viðnám jarðhitafræðilegum þáttum eins og hitastigi, vatnsgengd og seltu jarðvatns.

Við umreikning sýndarviðnámsferla í raunverulegt viðnám sem fall af dýpi er gengið út frá þeirri forsendu, að jörðin sé gerð úr láréttum, eins-leitum (homogen) lögum sem hvert um sig hefur ákveðið viðnámsgildi og ákveðna þykkt. Þá er unnt að reikna út þykkt og viðnámsgildi einstakra laga. Til þess er notað sérstakt forrit sem Orkustofnun hefur fengið frá Árósarháskóla. Þessi túlkunaraðferð leyfir aðeins viðnámsbreytingar í eina stefnu, niður, og kallast því einvíð túlkun. Helstu takmörk reikni-aðferðarinnar eru þau að sá sem henni beitir verður sjálfur að ákveða út frá sýndarviðnámsferlinum hversu mörgum viðnámslögum reikna skal með. Þetta þýðir að fundið er það samband viðnáms og dýpis sem felur í sér fæst möguleg viðnámslög. Viðnámslög, sem eru þunn miðað við dýpið niður á þau, koma því illa fram nema viðnámsmismunur sé því meiri. Þetta þýðir að viðnámslögin, sem koma út úr útreikningunum, eru nokkurs konar meðal-gildi eðlisviðnáms á vissu dýptarbili.

Nauðsynlegt er að reyna að meta hversu vel forsendurnar um lárétt, eins-leit viðnámslög standast. Reynslan sýnir, að nokkur halli frá láréttu hefur lítil áhrif. Ef viðnámsbreytingar í lárétta stefnu eru litlar á svæði sem nemur tvöfaldri straumarmslengd frá mælimiðju í stefnu straum-arms og sem nemur straumarmslengd þvert á stefnuna má telja að umræddum skilyrðum sé fullnægt á viðunandi hátt. Til að kanna hvort viðnámsbreyt-ingar í lárétta stefnu séu miklar er best að mæla (Schlumberger) alltaf með stuttu millibili og athuga hvort einvíð túlkun einstakra mælinga leiðir í ljós miklar láréttar viðnámsbreytingar. Sé svo, verður að grípa til svonefndrar tvívíðrar túlkunar. Orkustofnun ræður yfir forriti, ættuðu frá Bandaríkjunum, sem nota má til útreikninga á sýndarviðnáms-ferlum út frá gefnu líkani af viðnámi jarðar þar sem láréttar viðnáms-breytingar í stefnu straumarms eru leyfðar. Þetta forrit er tímafrekt í tölvuvinnslu. Nauðsynlegt er að giska á líkan, reikna samsvarandi sýndarviðnámsferil, breyta síðan líkaninu og endurkeyra forritið uns viðunandi samræmi fæst milli mælda og útreiknaða sýndarviðnámsferilsins. Þannig getur þurft 5-6 keyrslur á þessu tímafreka tölvuforriti fyrir hverja einstaka viðnámsmælingu uns viðunandi samræmi hefur náðst. Tölvu-kostnaður við tvívíða úrvinnslu verður því mjög mikill.

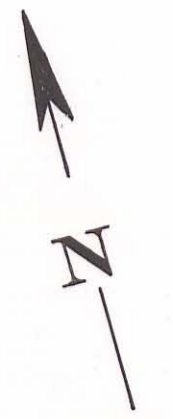
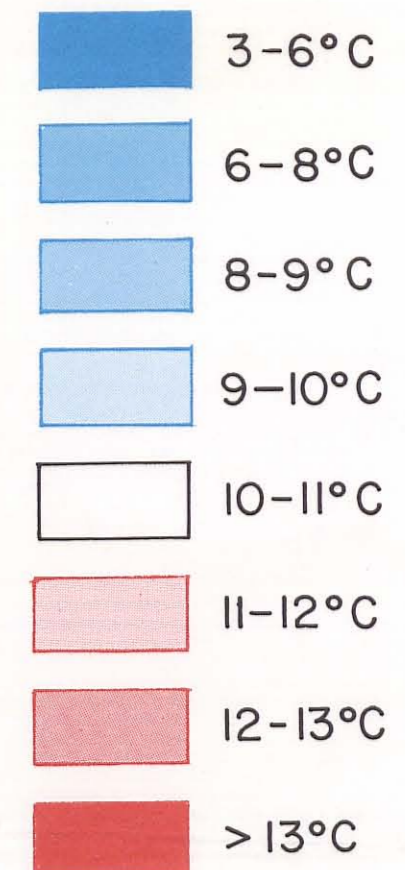
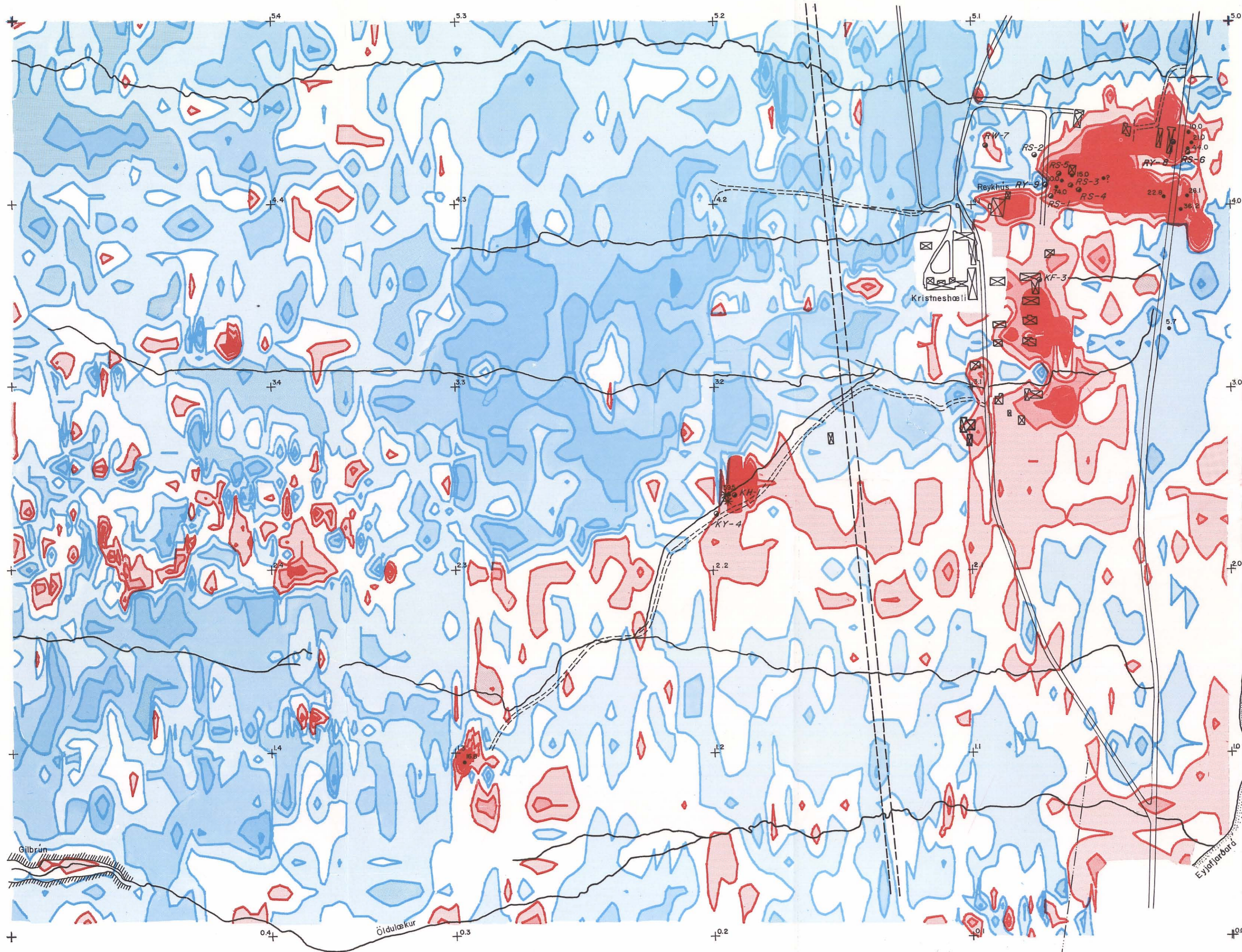
Að ofangreindum útreikningum loknum er raunverulegt viðnám jarðar þekkt sem fall af dýpi. Þessum viðnámsgildum þarf nú að umbreyta í einhverjar jarðhitafræðilegar stærðir.

Rafleiðni í bergi er á þrennan veg: gegnum bergmassann sjálfan, gegnum vatn í samtengdum glufum og sprungum og loks sem eins konar snertiflatareiðni á mótum vökva og ummyndunarsteinda í sprungunum. Unnt er að ímynda sér þessa þrenns konar leiðni sem þrjú samsíðatengd viðnám í rafrás. Ef eitt þeirra er mun lægra en hin tvö ræðst heildarviðnám rásarinnar þá nær eingöngu af því.

Í íslensku basalti er viðnám bergmassans sjálfs feikihátt miðað við viðnám vatns. Í fersku basalti þar sem ummyndun er engin er snertiflatareiðnin ekki til staðar svo viðnámið ræðst af vatnsinnihaldi bergsins og má meta holrými þess (porositet) út frá viðnámsmælingum. Með vaxandi ummyndun og myndun geislasteina í bergi kemur snertiflatareiðnin inn í myndina. Slík ummyndun er nær alls staðar til staðar á 100-200 m dýpi utan gosbeltanna. Snertiflatareiðnin er þar minni en 5 Ω m (Ólafur Flóvenz, 1980b) og er líklegast lítið háð hitastigi. Eðlisviðnám vatns á lághitasvæðum er yfirleitt á bilinu 30-90 Ω m mælt við 20°C, en það jafngildir 10-30 Ω m við 100°C. Þetta þýðir að snertiflatareiðnin er ríkjandi þáttur í leiðninni um bergið. Snertiflatareiðnin er háð tvennu, fjölda snertiflatareiðna í samtengdum sprungum og glufum á rúmmálseiningu bergs og ummyndunarstigi, þ.e. magni geislasteina og leirsteina á rúmmálseiningu bergs. Ummyndunarstigið breytist lítið í lárétta stefnu t.d. innan svæðis eins og Eyjafjarðar frá Glerárdal suður fyrir Grund. Þess vegna er ástæða til að ætla að breytingar í viðnámi innan slíks svæðis séu vegna breytinga í snertiviðnámi og þar af leiðandi vegna breytinga í sprunguþéttleika. Lægra viðnám þar með aukið vatnsinnihald og hugsanlega einnig aukna vatnsleiðni. Lágt viðnám segir hins vegar ekkert um hitastig á lághitasvæðum.

Á háhitasvæðum er annað uppi á teningnum. Þar er hitastig vatns snarþáttur í þeim jarðhitafræðilegu eiginleikum sem ákvarða eðlisviðnám jarðlaga.

KRISTNES, EYJAFIRÐI
Hitamælingar í jarðvegi
Mælt á 0,5 m dýpi 30.7-15.8 1980



SKÝRINGAR

- Bygging
- Háspennulína
- Símalína
- Vegur / slóði
- Lækur

- * Gangur, sést á yfirborði
- RS-1 Borhola
- 10.5 Jarðhiti (°C)
- +3.2 Landmælingamerki (staðarhnit)

