



ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

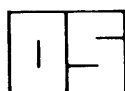
Ómar Sigurðsson
Ragna Karlsdóttir
Margrét Kjartansdóttir

HITAVEITA SIGLUFJARÐAR

Mat á jarðhitasvæðinu í Skútudal

OS-87034/JHD-08
Reykjavík, ágúst 1987

Unnið fyrir
Hitaveitu Siglufjarðar



ORKUSTOFNUN
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Verknr.: 650-001

Ómar Sigurðsson
Ragna Karlsdóttir
Margrét Kjartansdóttir

HITAVEITA SIGLUFJARÐAR

Mat á jarðhitasvæðinu í Skútudal

OS-87034/JHD-08
Reykjavík, ágúst 1987

Unnið fyrir
Hitaveitu Siglufjarðar

ÁGRIP

Í skýrslunni er rakin saga vatnsvinnslu Hitaveitu Siglufjarðar í Skútudal. Þá er farið yfir gögn og upplýsingar um jarðhitasvæðið í Skútudal sem safnast hafa frá því síðasta skýrsla um svæðið kom út árið 1979. Frá þeim tíma hafa einkum bætst við viðnámsniðsmælingar og segulmælinganet verið þétt. Viðnámsniðsmælingarnar voru túlkaðar tvívítt og eru niðurstöður þeirra birtar hér ásamt leiðréttu gangakorti af svæðinu. Hóla ll var einnig boruð á þessu tímabili (1983). Svarfsýni úr henni voru greind og gert jarðlagasnið af holunni, en gangi borunar hola ll er lýst í greinargerð sem er birt hér sem viðauki. Sett er fram líkan af jarðhitakerfinu en samkvæmt því gæti halli ganga gegnum kerfið verið nálægt 7° og liggja vatnrásir meðfram nokkrum þeirra sem flytja heita vatnið gegnum svæðið og til yfirborðs. Einfaldað vatnafræðilegt líkan er notað til að herma viðbrögð jarðhitakerfisins í Skútudal við vinnslu síðustu ára og niðurstöður þess notaðar til að reikna vinnsluspá fyrir nokkur tilvik fram til aldamóta. Loks er fjallað um nokkrar leiðir til orkuöflunar og betri nýtingar heita vatnsins.

Hóla ll var boruð í 877 m dýpi og fóðruð í 211 m. Helstu vatnsæðar holunnar eru á 695-715 m dýpi og gefa um 78°C heitt vatn. Þrýstisamband við aðrar vinnsluholur á svæðinu er greitt. Laumontít ummyndunarbelti byrjar á um 750 m dýpi. Um 20 m misgengi kemur fram í tengingu jarðlaga hola ll og hola 9, og hafa jarðlög fallið austan þess.

Þrír lágviðnámsveggir eða vatnrásir koma fram í viðnámsniðsmælingunum og liggja þeir meðfram göngum gegnum jarðhitasvæðið. Gangahalli um 7° fellur þokkalega að bestu vatnsæðum í borholum, en þar sem gangar sjást á yfirborði er halli þeirra almennt á bilinu 3-9° og er allt upp í 15°.

Lekt jarðhitakerfisins í Skútudal er lítil, reiknað gildi miðað við hálfrúm með frjálsum vatnsborði er $1,08 \times 10^{-15} \text{ m}^2$. Þessari lekt svipar til lektar í jarðhitasvæðunum í innanverðum Eyjafirði.

Vinnsluspár benda til að jarðhitakerfið sé fullnýtt miðað við núverandi rekstraraðstæður. Verði meðalvinnslan á ári óbreytt frá því sem nú er, kringum 25 l/s, mun vatnsborð í svæðinu lækka um rúma 9 m til aldamóta og verða á tæplega 121 m dýpi. Verði ársvinnslan aukin um 5 l/s mun vatnsborð lækka um 50 m á þessu tímabili og verða á 161 m dýpi. Minnki ársvinnslan um 2,5 l/s hækkar vatnsborð um 11 m á þessu tímabili og verður á um 100 m dýpi.

EFNISYFIRLIT

	Bls.
ÁGRIP	2
EFNISYFIRLIT	3
MYNDASKRÁ	4
TÖFLUSKRÁ	5
1 INNGANGUR	6
2 HEITAVATNSBORANIR Í SKÚTUDAL	8
3 JARÐLAGASNIÐ HOLU 11	12
3.1 Gangur borunar	12
3.2 Jarðlög holunnar	13
3.3 Hallamælingar í holunni	14
3.4 Ummyndun	14
3.5 Tenging jarðlaga	14
4 JARÐEÐLISFRÆÐILEG MYND AF SVÆÐINU	22
4.1 Segulmælingar	22
4.2 Viðnámsniðsmælingar	22
5 JARÐHITAKERFIÐ Í SKÚTUDAL	27
6 VATNSVINNSLA OG VINNSLUSPÁR	31
6.1 Vatnstaka úr jarðhitakerfinu í Skútudal	31
6.2 Upphaf dælingar úr holu 7	33
6.3 Vatnafræðilegt líkan	36
6.4 Niðurstöður vatnafræðilegs líkans	39
6.5 Vinnsluspá	41
7 LEIÐIR TIL ORKUÖFLUNAR	44
8 HELSTU NIÐURSTÖÐUR	46
HEIMILDIR	48
VIÐAUKI A: Borun holu 11 í Skútudal	49
VIÐAUKI B: Um viðnámsmælingar	55
VIÐAUKI C: Vatnafræðileg gögn	63

MYNDASKRÁ

	Bls.
1 Yfirlitsmynd af borholusvæðinu í Skútudal	7
2 Gangur borunar holu 11	12
3 Jarðlagasnið og mælingar úr holu 11	15
4 Einfaldað jarðlagasnið og ummyndunarsteindir	20
5 Samanburður á jarðlögum í holum 9 og 11	21
6 Gangakort af jarðhitasvæðinu í Skútudal	24
7 Lega viðnámssniðsmælinga	25
8 Niðurstöður viðnámssniðsmælinga	26
9 Vestur - austur þversnið gegnum jarðhitasvæðið í Skútudal	29
10 Líklegt hitasnið gegnum jarðhitasvæði Skútudals	30
11 Vinnslusaga jarðhitakerfisins í Skútudal frá 1963	33
12 Upphaf dælingar úr holu 7, 1977	34
13 Vatnsborð holu 7 við upphaf dælingar 1977	34
14 Samanburður á einingarniðurdrætti og reiknuðum niðurdrætti við upphaf dælingar úr holu 7	35
15 Vinnslusaga jarðhitakerfisins í Skútudal frá 1. nóv. 1975	37
16 Vatnafræðilegt tank-líkan fyrir jarðhitakerfið í Skútudal	37
17 Samanburður á mældu og reiknuðu vatnsborði	38
18 Reiknuð viðbrögð jarðhitakerfisins vegna vinnslu	38
19 Vinnsluspá fyrir jarðhitakerfið í Skútudal	43

TÖFLUSKRÁ

	Bls.
1 Borholur í Skútudal	10
2 Hnit og hæðir hola í Skútudal	11
3 Hallamælingar í holu 11	14

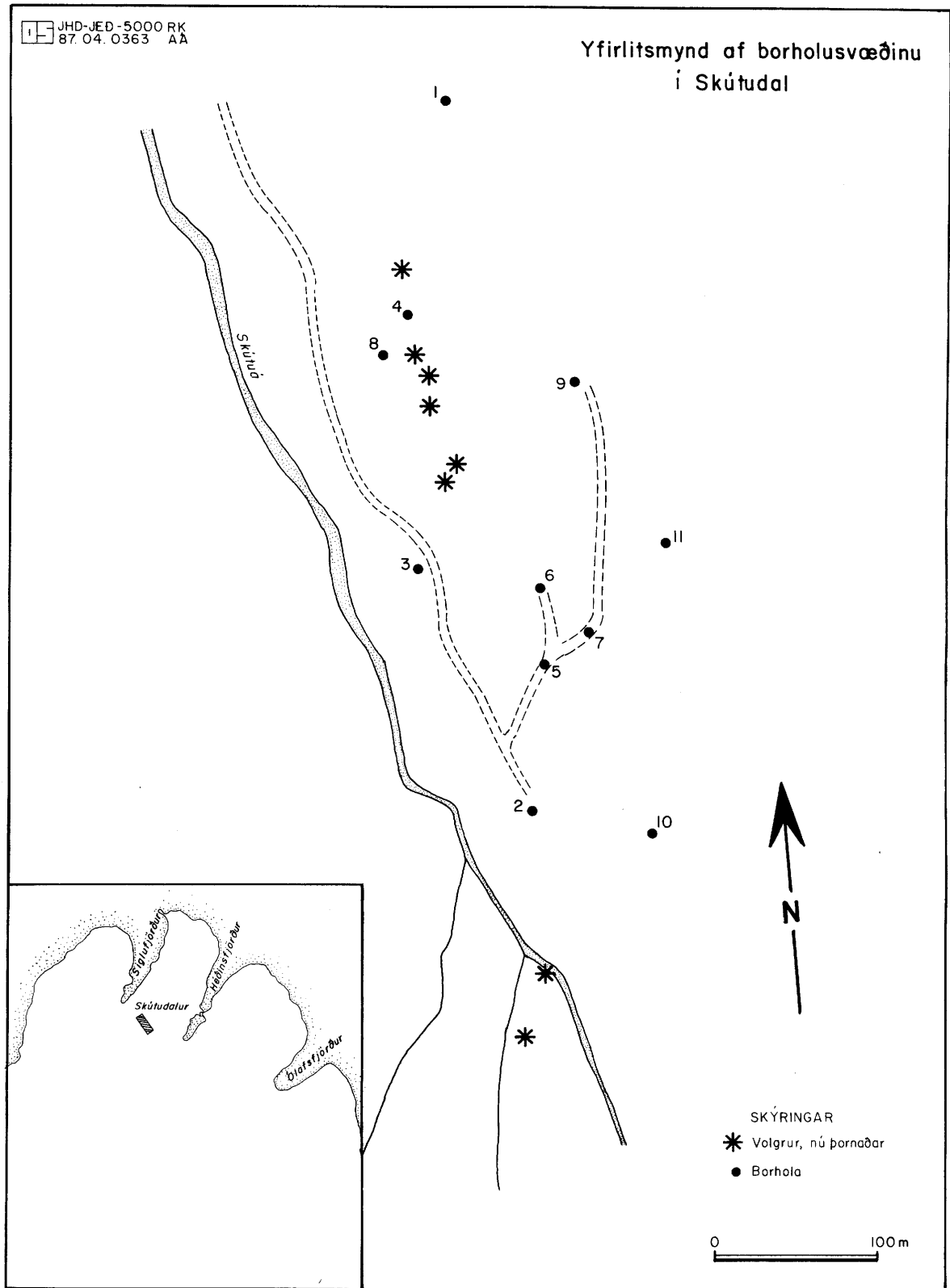
1 INNGANGUR

Boranir til að afla heits vatns úr jarðhitakerfinu í Skútudal hófust árið 1964. Áður hafði verið nokkurt sjálfrennsli úr laugum, og kom það upp með berggöngum í dalnum. Talið er að náttúrulegt rennsli þeirra hafi numið um 2 l/s. Vinnsla úr jarðhitakerfinu í Skútudal hófst fyrir alvöru í lok árs 1975 með tilkomu Hitaveitu Siglufjarðar. Þá höfðu verið boraðar 7 holur, en síðan hafa verið boraðar 4 holur til viðbótar til vatnsöflunar fyrir veituna, sú síðasta sumarið 1983. Mynd 1 sýnir afstöðu borhola á vinnslusvæðinu í Skútudal.

Eftir góðan árangur af borun síðustu holunnar hefur Hitaveita Siglufjarðar nokkrum sinnum óskað eftir endurmati á jarðhitakerfinu í Skútudal. Ekki var talið rétt að ráðast í endurmatið fyrr en 1986, en þá höfðu safnast nokkuð samfelld gögn um vatnstöku í Skútudal og vatnsborð í vinnsluholum frá því 1983. Í framhaldi af þessu var gerður samningur milli Hitaveitu Siglufjarðar og Orkustofnunar þann 25. febrúar 1986 um úttekt á jarðhitakerfinu í Skútudal. Verkið skiptist í fjóra verkþætti:

- i) Gerð jarðlagasniðs fyrir holu 11 til að fylla inn í og endurbæta jarðfræðilíkan svæðisins.
- ii) Endurmat á jarðeðlisfræðilegum mælingum til að afla frekari upplýsinga um innri gerðjarðhitasvæðisins og fá hugmyndir um útmörk þess.
- iii) Samantekt á gögnum um vatnsstöðu til að fá heildarmynd af vinnslu úr jarðhitakerfinu.
- iv) Mat á afkastagetu jarðhitakerfisins.

Markmið þessa verks var að fá heildarmynd af jarðhitasvæðinu í Skútudal miðað við núverandi þekkingu og setja fram einfalt líkan af jarðhitakerfinu; meta afkastagetu kerfisins og setja fram hugmyndir um það hvernig unnt sé að tryggja betur orkuöflun hitaveitunnar.



MYND 1 Yfirlitsmynd af borholusvæðinu í Skútudal

2 HEITAVATNSBORANIR Í SKÚTUDAL

Árið 1964 var fyrsta holan boruð í Skútudal fyrir Siglufjarðarkaupstað og varð hún 101 m djúp. Í upphafi var rennsli úr holunni um 12 l/s en minnkaði nær strax í 1,5 l/s og í september 1969 var það nálægt 0,4 l/s. Hiti í holunni var 51°C (Stefán Arnórsson 1971a).

Sumarið 1969 voru holur 2 og 3 boraðar og varð fyrri holan 293 m djúp en sú síðari 353 m. Hola 2 gaf í sjálfrennsli 6,5 l/s af 63°C heitu vatni. Hins vegar gaf hola 3 lítið eða aðeins 0,4 l/s af 48°C heitu vatni sem kom af um 150 m dýpi úr holunni.

Í ágúst 1970 var hola 4 boruð. Hún varð 434 m djúp en gaf aðeins um 0,4 l/s af 37°C heitu vatni sem kom úr vatnsæð á 137 m dýpi og var eina vatnsæðin sem holan lenti í. Eftir borun holu 4 var hola 2 dýpkuð í 394 m. Eftir dýpkunina mældist rennslið úr henni 7,6 l/s en fyrir dýpkunina var stútur holunnar lækkaður um 2-3 m og því ekki vitað hvort rennslisaukningin stafaði af því eða frá vatnsæðum neðan 300 m dýpis.

Um sumarið 1971 voru holur 5 og 6 boraðar. Hola 5 var boruð í 294 m dýpi en hola 6 í 491 m. Báðar hittu holurnar sömu vatnsæðarnar og er greitt samband milli þeirra og helstu vatnsæða í holu 2. Með borun holu 5 þvarr sjálfrennslið úr holu 2 sem hafði verið nær óbreytt frá því hún var dýpkuð og færðist yfir í holu 5. Síðan eftir að hola 6 var boruð færðist sjálfrennslið yfir í hana og var um 9 l/s af 67°C heitu vatni, en hún er lægst af þessum þremur holum. Við loftdælingu úr holu 6, þar sem vatnsborðið var dregið niður um 25 m, hætti sjálfrennsli úr öðrum holum á svæðinu (1,3,4) (Stefán Arnórsson 1971b).

Um haustið 1975 var hola 7 boruð í rúmlega 1150 m dýpi. Árangur af boruninni varð góður og gaf holan um 13 l/s af 68°C heitu vatni í sjálfrennsli. Auk þess gáfu holur 5 og 6 um 7 l/s sjálfrennsli þannig að tæplega 20 l/s fengust sjálfrennandi úr holunum. Helstu vatnsæðar holunnar voru á 518-560 m dýpi en lítið um æðar dýpra. Sýndu þessar æðar gott þrýstisamband yfir í holur 5 og 6. Á þessum tíma voru þekktar laugar á svæðinu þornaðar (Axel Björnsson o.fl. 1976).

Hola 8 var boruð síðsumars 1976 í 1672 m dýpi og er hún dýpsta holan á svæðinu. Engar verulegar vatnsæðar fundust í holunni en hitamælingar benda til að botnhiti hennar sé um 90°C (Jens Tómasson o.fl. 1979).

Haustið 1976 var hola 9 boruð í 1354 m dýpi. Í borun festist borinn á 385 m dýpi og í ljós kom þegar holan var mæld í ágúst 1977 að holunni hallaði um 4-5 gráður í NA neðan þessa dýpis. Eftir borun var holan loftdæld og gaf í fyrstu rúmlega 10 l/s sem minnkaði ört í um 3 l/s. Árangur af borun holunnar var því tiltölulega lítill.

Hola 10 var boruð síðla árs 1977 niður í 1098 m dýpi. Ekki hittu holan á mjög gjöfugar vatnsæðar og varð árangur af holunni því takmarkaður.

Síðast var hola 11 boruð í sumarbyrjun 1983 í 875 m dýpi. Við borun þessarar holu var reynd ný bortækni hér á landi svo nefnd sogborun eftir að holan hafði hitt á góða vatnsæð á 695-715 m dýpi. Árangur af þessari holu varð góður og gefur holan í dælingu um 27 l/s af 78°C heitu vatni.

Nánara yfirlit yfir borholur í Skútudal er að finna í töflu 1. Í töflu 2 er yfirlit yfir legu holanna innbyrðis og hæð þeirra yfir sjávarmáli. Lega holanna er ákvörðuð út frá holu 5 sem fær hnitin $(x,y) = (1000 \text{ m}, 1000 \text{ m})$.

TAFLA 2 Hnit og hæðir hola í Skútudal

Hola	Vestur (x) (m)	Norður (y) (m)	Hæð (m y.s.)
1	1060,922	1341,749	121,42
2	1004,966	910,271	155,17
3	1077,017	1057,788	135,72
4	1084,048	1211,872	122,34
5	1000,000	1000,000	149,68
6	1001,823	1046,029	147,67
7	972,426	1019,327	152,25
8	1098,682	1187,582	122,28
9	982,189	1171,963	150,63
10	932,439	897,863	167,80
11	925,620	1074,624	164,39

Fjarlægðir miðast við holu 5 sem er gefið hnitin $(x,y) = (1000m,1000m)$

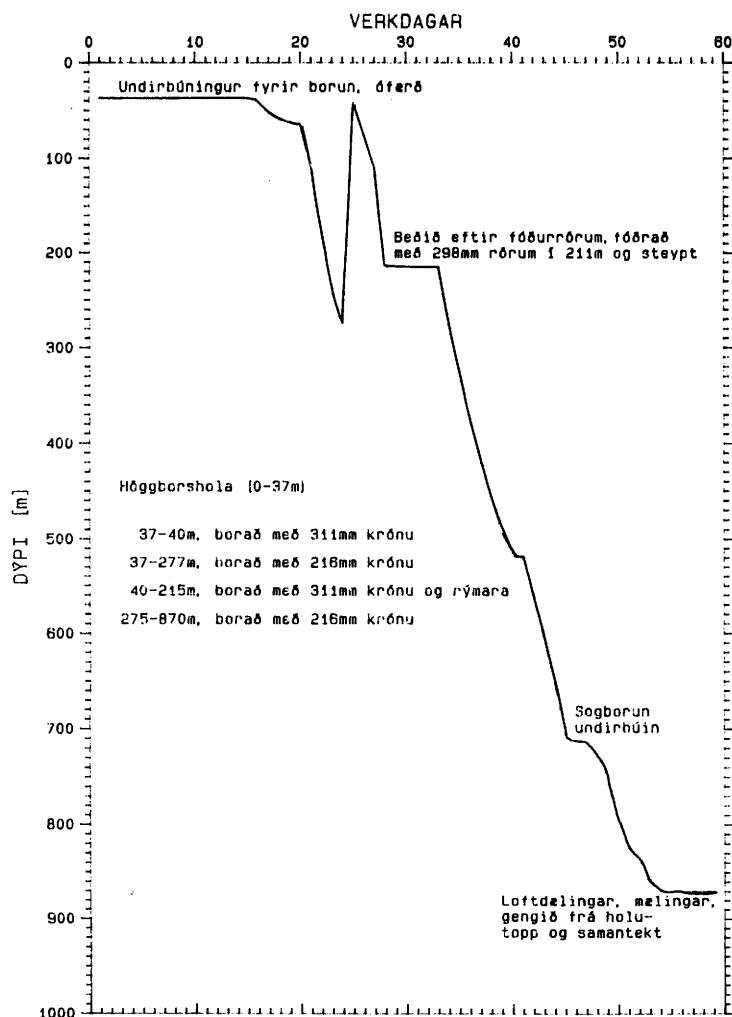
3 JARÐLAGASNIÐ HOLU 11

3.1 Gangur borunar

Á mynd 2 er sýndur gangur borunar eftir að forborun holunar lauk og Narfi tók við. Í greinargerð Orkustofnunar (Axel Björnsson o.fl. 1983) er helstu atriðum borverksins gerð skil og er greinargerðina að finna í Viðauka A.

JHD-BJ-5000-MK
87.01.0001 T

Skútudalur við Siglufjörð
hola 11
gangur borunar 30/4-4/8 1983



MYND 2 Gangur borunar hola 11

3.2 Jarðlög holunnar

Svo sem venja er var svarfsýnum af jarðlögum holunnar safnað með tveggja metra bili. Með því að skoða þau má fá allgóða vitneskju um þau jarðlög sem holan sker. Á mynd 3 eru jarðlögin teiknuð upp ásamt borhraða, vatnsæðum og ýmsum mælingum sem gerðar voru í holunni.

Jarðlagastaflinn í Skútudal er dæmigerður tertíer hraunlagastafli með rauðum millilögum, sundurskorinn af berggöngum. Venjulega er jarðlögum hola skipað saman í ákveðnar syrpur til einföldunar, en berggangar eru svo stór hluti af jarðlögum í holu ll að því verður vart við komið.

0 - 40 m Höggborshola, svarf vantar.

40 - 72 m Að minnsta kosti þrjú basalhraunlög með 2-4 m þykkum setlögum. Neðstu tvö hraunlögin eru plagíóklasdílótt.

72-204 m Basalhraunlög með oxuðum kargalögum á milli. Basaltlögin eru að minnsta kosti 6 og flest úr meðalgrófkristölluðu ólivínbasalti. Neðstu tvö lögin eru plagíóklasdílótt.

204-212 m Svarf vantar.

212-336 m Grófkristallað lítið ummyndað basalt mjög líklega dólerít berggangur.

336-448 m Meðalgrófkristallað basalt. Hluti af þessum lögum eru hugsanlega berggangar. Millilög eru lítið áberandi og lítið er um útfellingar.

448-580 m Fínkristölluð og meðalgrófkristölluð basaltlög. Millilög virðast fá.

580-678 m Meðalgrófkristallað basalt, líklega berggangur.

678-870 m Fínkristölluð allumynduð basaltlög, talsvert er af útfellingum m.a. laumontíti. Gjallkargar og setlög eru milli hraunlaganna. Hraunlögin eru að minnsta kosti 13.

3.3 Hallamælingar í holunni

Meðan á borun stóð var holan hallamæld nokkrum sinnum. Mælingarnar voru gerðar með TOICO-mæli en með honum fæst aðeins halli frá lóðlínu en ekki stefna hallans. Í töflu 3 eru mælingarnar skráðar.

Tafla 3 Hallamælingar í holu 11

Dagsetning	Dýpi (m)	Halli (°)
83.06.13	300	1
83.06.13	400	tæplega 1
83.06.21	500	0,5
83.06.25	700	2
83.07.05	800	2

Þegar holan var hallamæld í 300m og 400 m var hún 409,6 m djúp, álag var þá minnkað úr 6,8 tonnum í 4,5 tonn en síðan aukið aftur í 6,8 tonn á 415 m dýpi.

3.4 Ummyndun

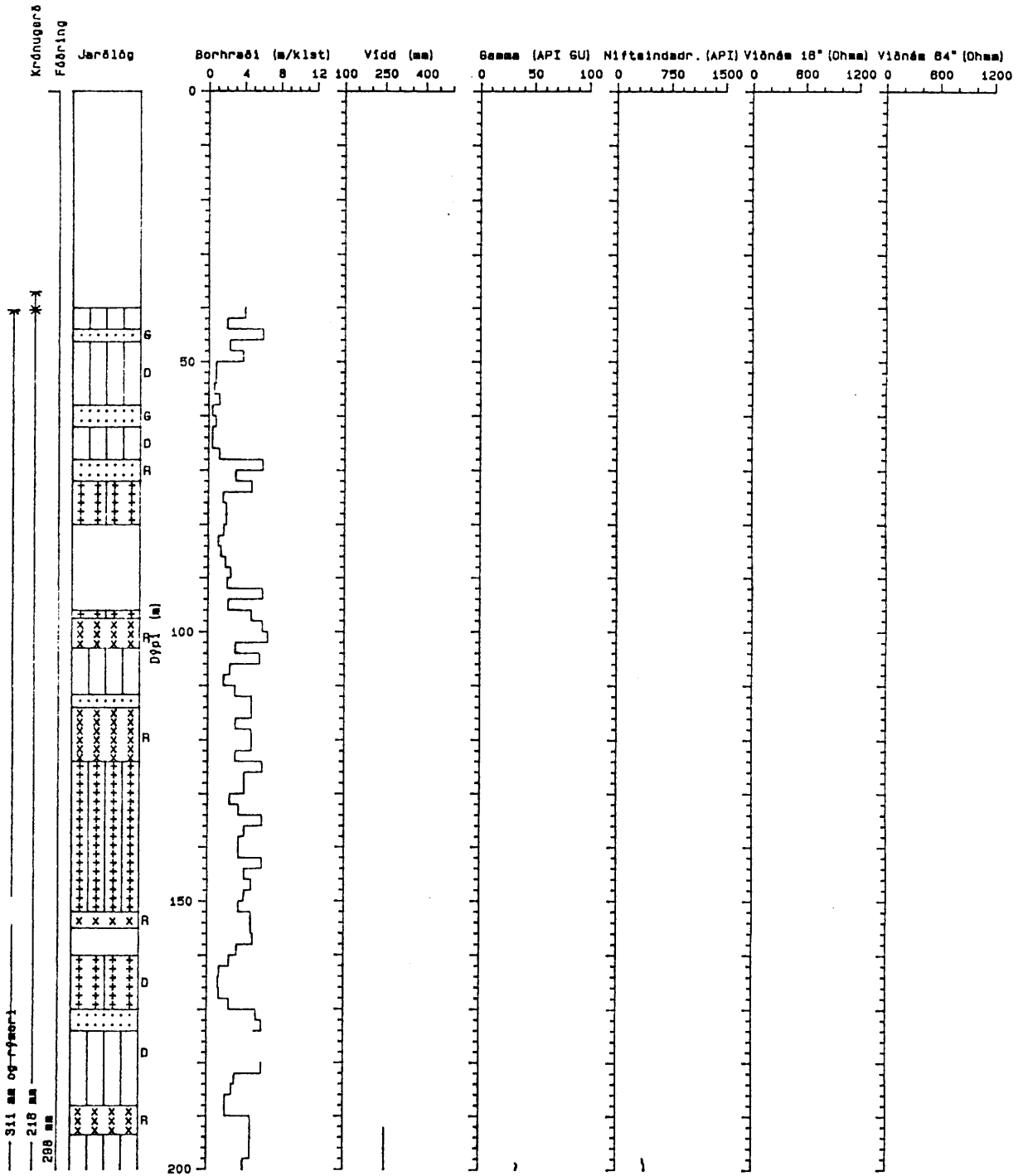
Ummyndunarsteindir hafa verið greindar úr holunni og eru þær sýndar á mynd 4. Samkvæmt greiningunum virðist komið niður í laumontítbelti á um það bil 750 m dýpi. Til þess að laumontít geti myndast hefur verið talið að hitastig þurfi að vera 100-130°C og það sé stöðugt upp í 200°C. Í holu 8 (Jens Tómasson o.fl. 1979) greindist laumontít samfelld frá 690 m dýpi. Í holu 9 (Jens Tómasson o.fl. 1979) eru mun færri greiningar en þar varð laumontíts vart neðan við 1000 m dýpi. Laumontítið virðist vísa á fornt hitastig á þessu dýpi. Aðrar útfellingar sem greindust í holu 11 eru ekki afgerandi hitastigsákvarðandi.

3.5 Tenging jarðlaga

Til þess að reyna svolítið að átta sig á því hvort jarðlög í holu 11 væru frábrugðin jarðlögum í öðrum holum á svæðinu var hola 9 valin og jarðlagasnið úr efri hluta holanna teiknuð upp hlið við hlið (sjá mynd 5). Holur þessar liggja svo gott sem í strikstefnu. Hola 11 er tæpum 14 m ofar í landinu en hola 9. Í fjallshlíðinni austan við borholu-svæðið sést um 20 m misgengi. Stefna þess og fall er þannig að jarðlöggin sem hola 11 sker ættu að hafa fallið niður um 20 m (munnlegar upplýsingar Kristjáns Sæmundssonar, Guðmundar I. Haraldssonar). Með samanburði á jarðlögum holanna í efstu um það bil 240 m kemur í ljós að sömu jarðlög liggja 9-23 m neðar í holu 11 þegar búið er að leiðrétta vegna hæðarmismunar holanna (sjá mynd 5).

JHD-BM-5000 6uH/MK
88.12.1128 T

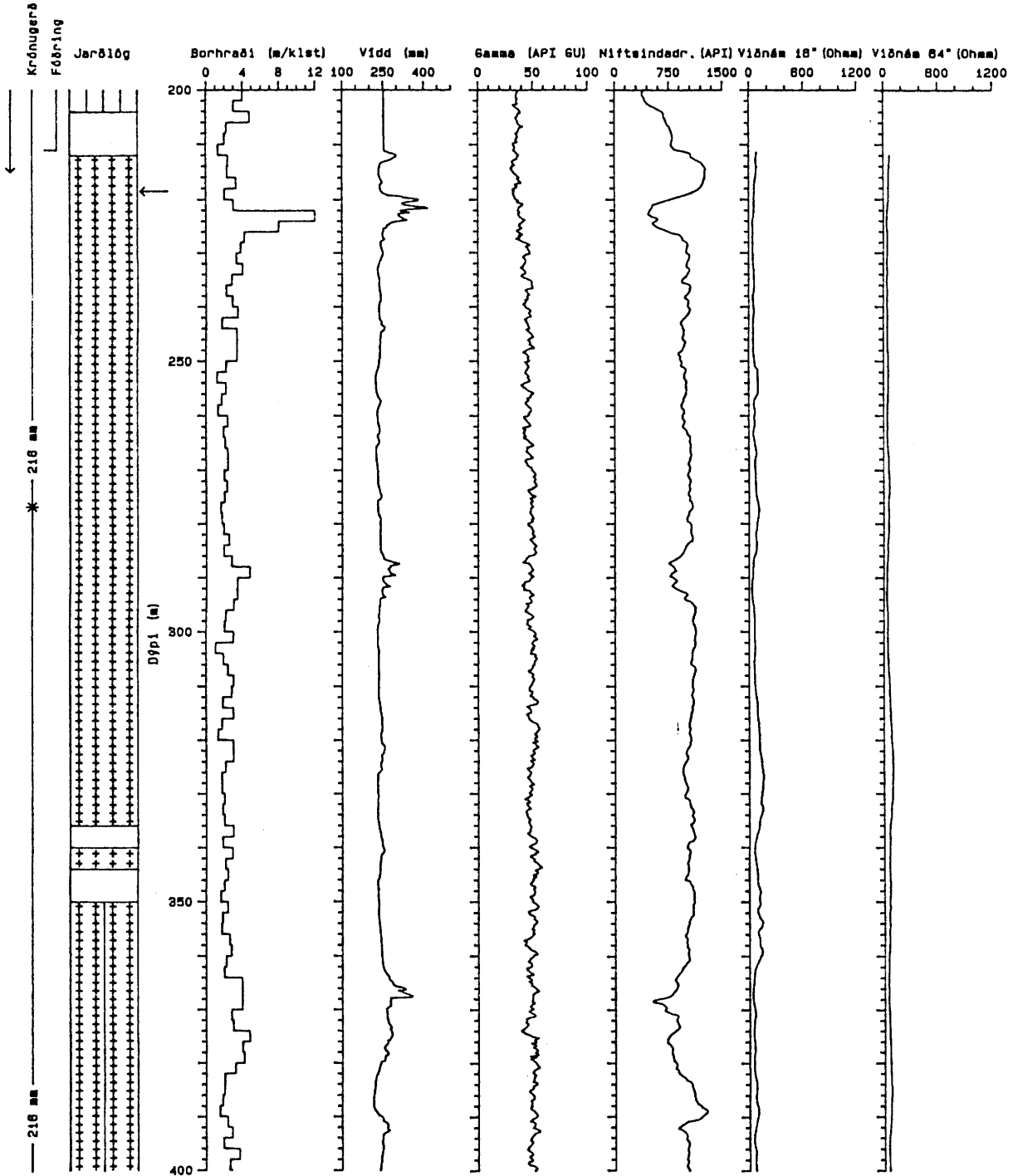
SKÜTUDALUR HOLA 11 JARÐLAGASNIÐ OG MÆLINGAR



MYND 3 Jarðlagasnið og mælingar úr holu 11

JHD-BM-5000 GuH/MK
86.12.1128 T

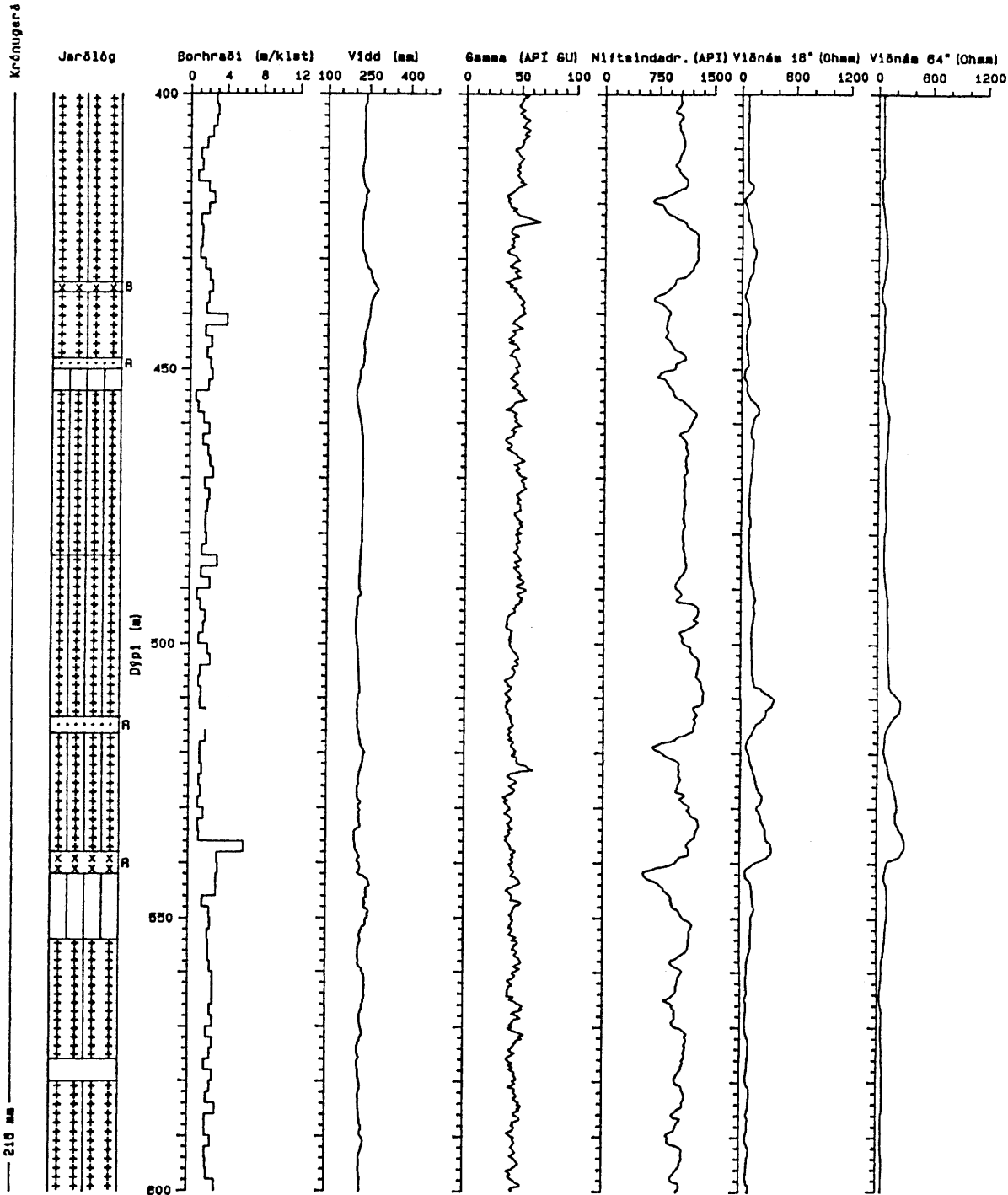
SKÜTUDALUR HOLA 11 JARÐLAGASNIÐ OG MÆLINGAR



MYND 3 Frh.

JHD-BM-5000 GuH/MK
88.12.1128 T

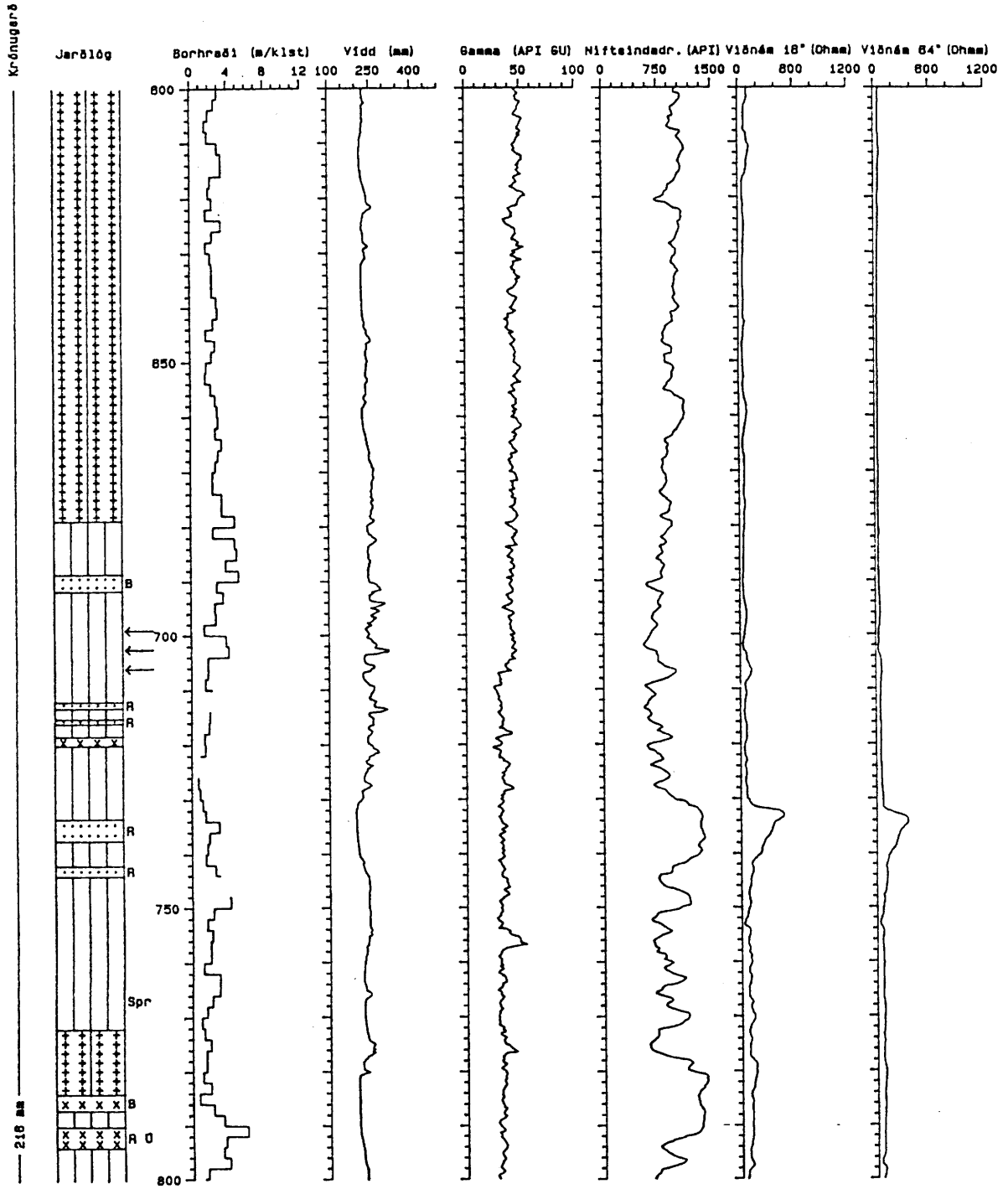
SKÜTUDALUR HOLA 11 JARÐLAGASNIÐ OG MÆLINGAR



MYND 3 Frh.

JHD-BW-5000 Gu/MK
88.12.1128 T

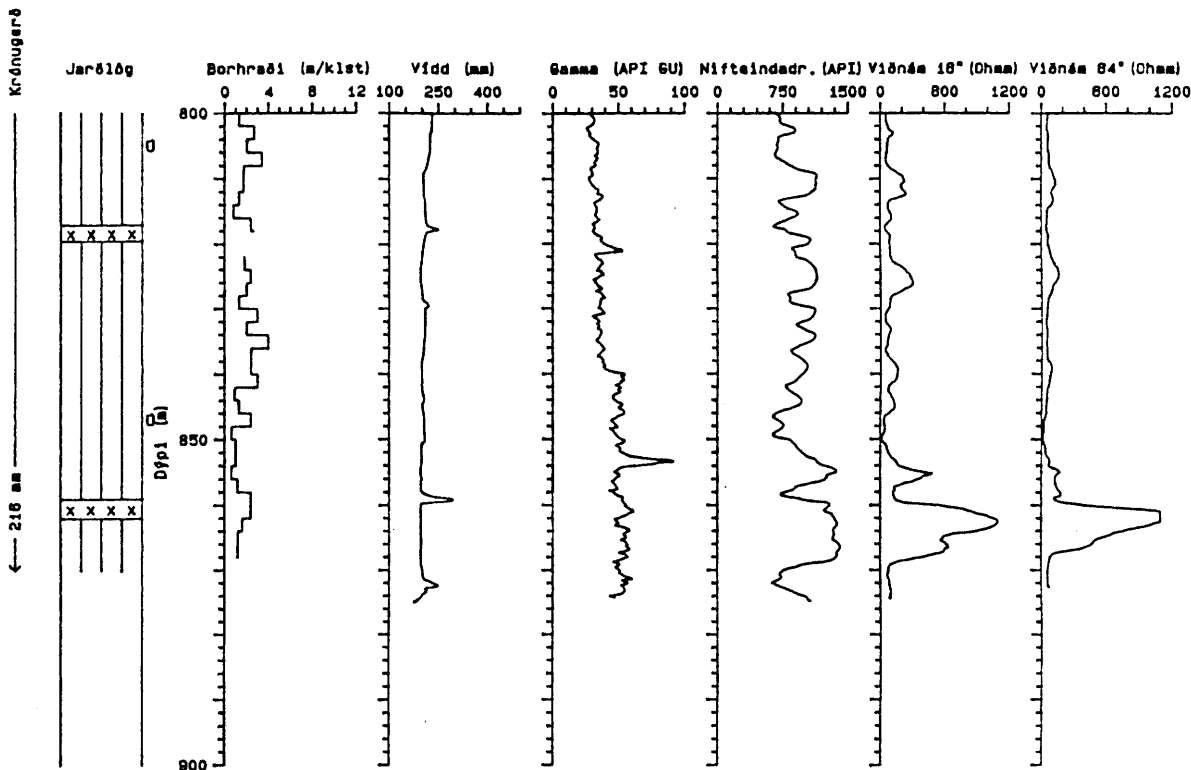
SKÚTUDALUR HOLA 11 JARÐLAGASNIÐ OG MÆLINGAR










MYND 3 Frh.

JHD-BM-5000 GuH/MK
88.12.1128 T

SKÚTUDALUR HOLA 11 JARÐLAGASNIÐ OG MÆLINGAR



Skýringar við jarðlagasnið

	Ummyndað fin-meðalkorna basalt		Basaltrik breksa
	Fersklegt meðal-grófkorna basalt		Finkornótt set
	Ummyndað meðal-grófkorna basalt		Svarf vantar
	Dólarit innskot		

B = Brútleitt
 Ø = Grútleitt
 Spr = Sprungið
 <- = Vatnsað

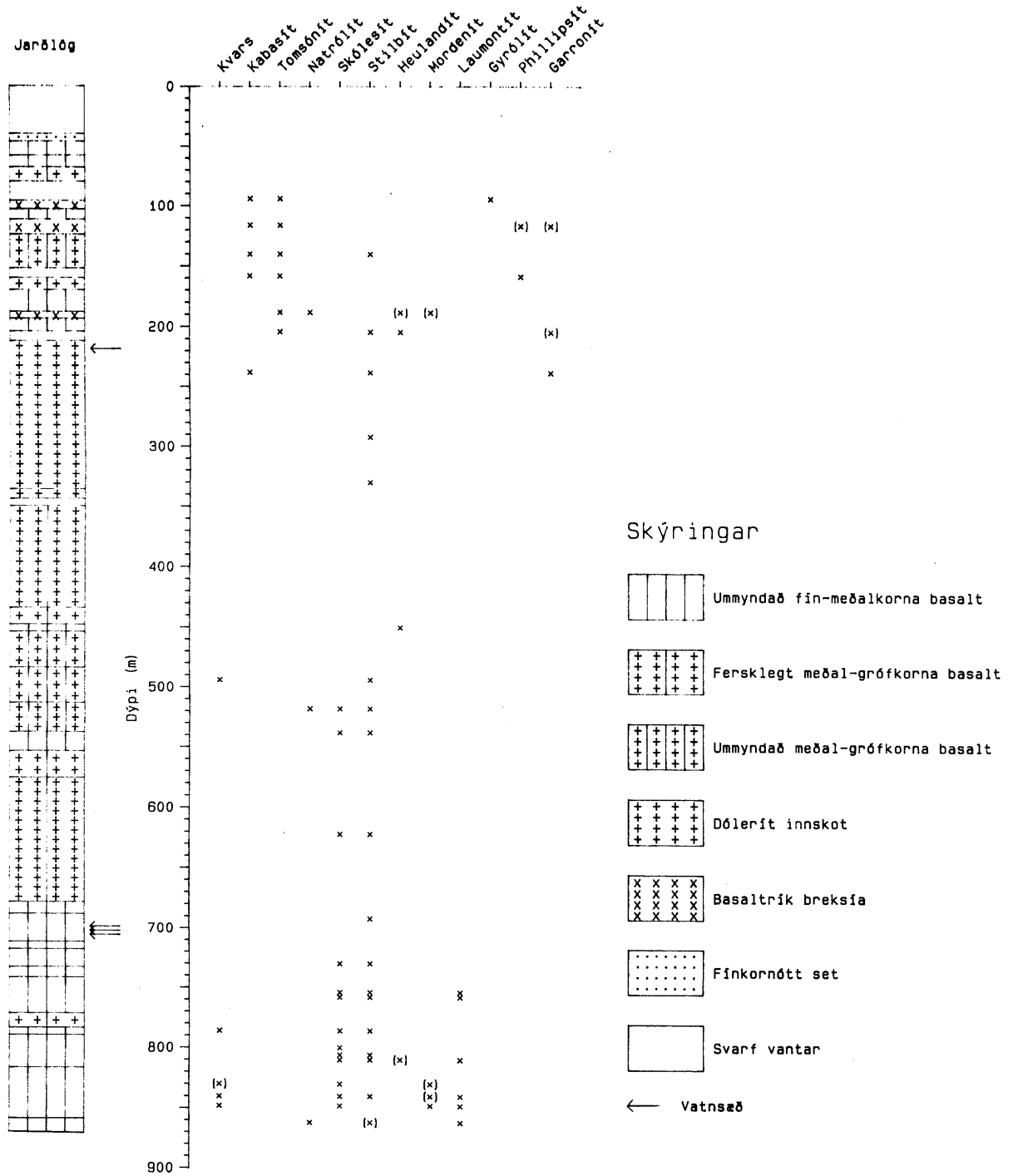
D = Dillitt
 R = Rauðleitt
 Ø = Dtfellingar

MYND 3 Frh.

JHD-BJ-5000-MK
87.01.0046 T

SKÚTUDALUR VIÐ SIGLUFJÖRÐ HOLA 11

einfaldað jarðlagasnið og ummyndunarsteindir

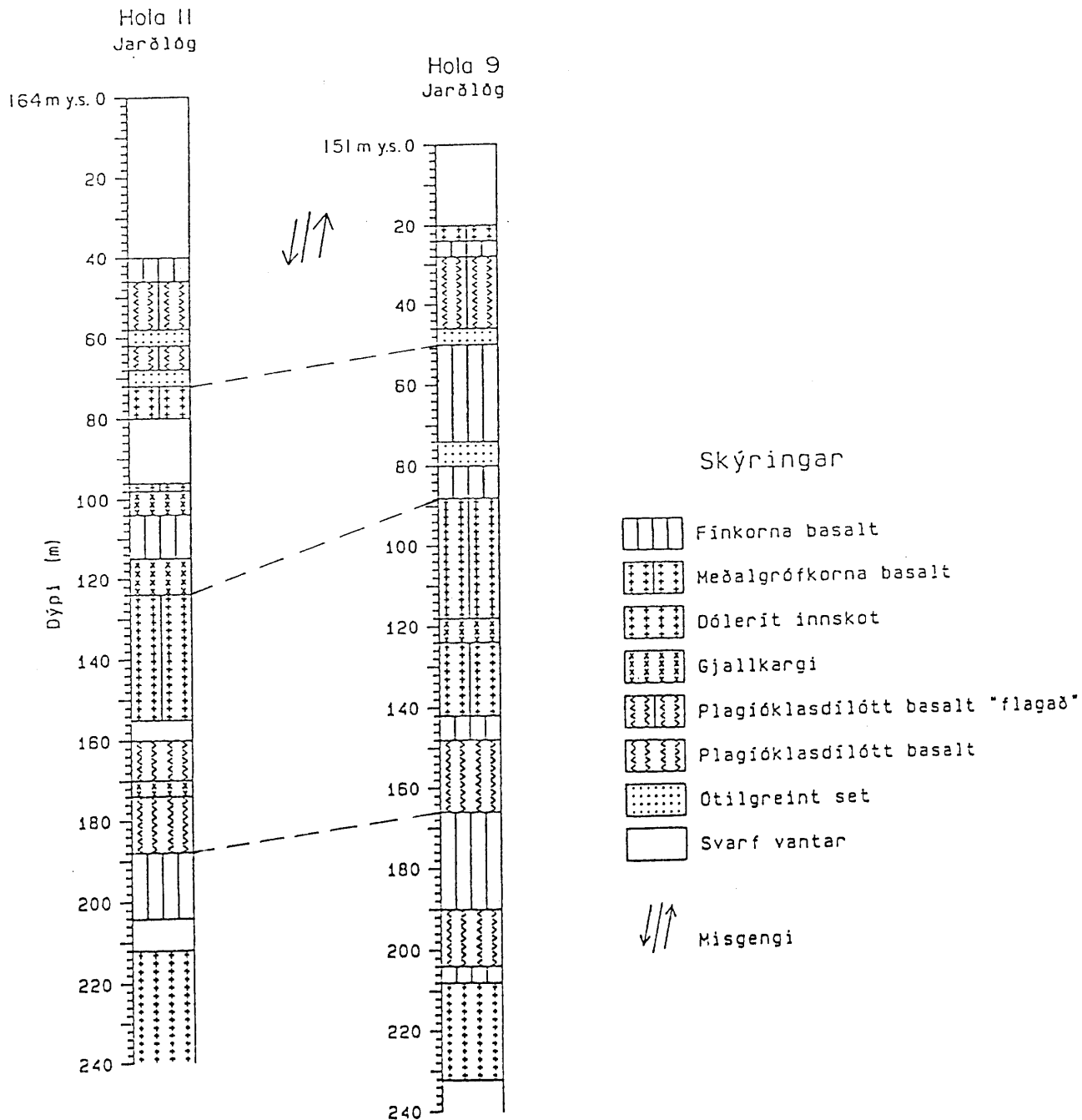


MYND 4 Einfaldað jarðlagasnið og ummyndunarsteindir

JHD-BJ-5000-MK
86.12.1172 T

Skútudalur við Siglufjörð

Samanburður á jarðlögum í efstu 240 m í holum 11 og 9



MYND 5 Samanburður á jarðlögum í holum 9 og 11

4 JARÐEÐLISFRÆÐILEG MYND AF SVÆÐINU

4.1 Segulmælingar

Árið 1977 voru gerðar segulmælingar á jarðhitasvæðinu í Skútudal og segulkort birt í skýrslu (Jens Tómasson o.fl. 1979). Upp úr segulkortinu var síðan unnið sérstakt gangakort og birt í greinargerð (Kristján Sæmundsson o.fl. 1983). Kort þetta er birt hér í leiðréttri mynd og er staðsetning borhola svo og nokkrir gangarnir mældir inn með landmælingaaðferðum (tachymetri), sjá mynd 6. Þeir gangar sem mest koma við sögu eru merktir A, B, C og D.

4.2 Viðnámsniðsmælingar

Viðnámsniðsmælingar voru gerðar í Skútudal í júlí 1981. Mældar voru þrjár línur sem sjást á korti af jarðhitasvæðinu á mynd 7. Mælt var með 250 metra straumarmi fyrir allar línurnar og auk þess 350 metra straumarmi fyrir línu 1. Fjarlægð milli mælistöðva í hverri línu var 25 metrar.

Þessi gerð viðnámsmælinga er hentug til að finna lóðrétt lágviðnámslög (veggi), en þannig kemur vatnsleiðandi sprunga fram í mælingu. Árið 1981 var þessi mæliaðferð nánast á tilraunastigi en hefur verið beitt síðan með góðum árangri, einkum á lághitasvæðum.

Mælingarnar eru túlkaðar tvívítt, sem þýðir að í túlkun getur viðnám breyst eftir línunni og með dýpi en ekki þvert á línurnar. Túlkunin fer þannig fram að giskað er á líkan fyrir hverja línu. Síðan eru reiknaðir út viðnámsferlar fyrir það líkan og bornir saman við raunverulega melda ferla. Ef þeir falla ekki saman er líkaninu breytt, nýir viðnámsferlar reiknaðir og bornir saman við mældu ferlana. Þannig eru niðurstöður líkansins smám saman felldar að mældum niðurstöðum. Þess verður að geta að túlkunin er ekki einhlít, þ.e. fleiri en ein lausn getur gilt fyrir hvern mæliferil.

Um eðli viðnámsmælinga má lesa í Viðauka B.

Niðurstöður viðnámsniðsmælinga (sjá mynd 8)

Lína 1

Lágviðnámsveggur, sem túlka má sem lóðréttu vatnsrás, kemur fram á tveimur stöðum í línu 1 eða við gang A og B-C. Auk þess er viðnámslækkun við gang D.

Lína 2

Lágviðnámsveggur kemur fram við gang B-C svo og 50 metrum vestar án þess að þar séu merki um gang í segulmælingu. Einnig kemur fram viðnámslökkun við gang D. Lágt viðnám sést nálægt 100 m í línunni og er það trúlega áhrif frá einhverju á yfirborði svo sem leiðslu.

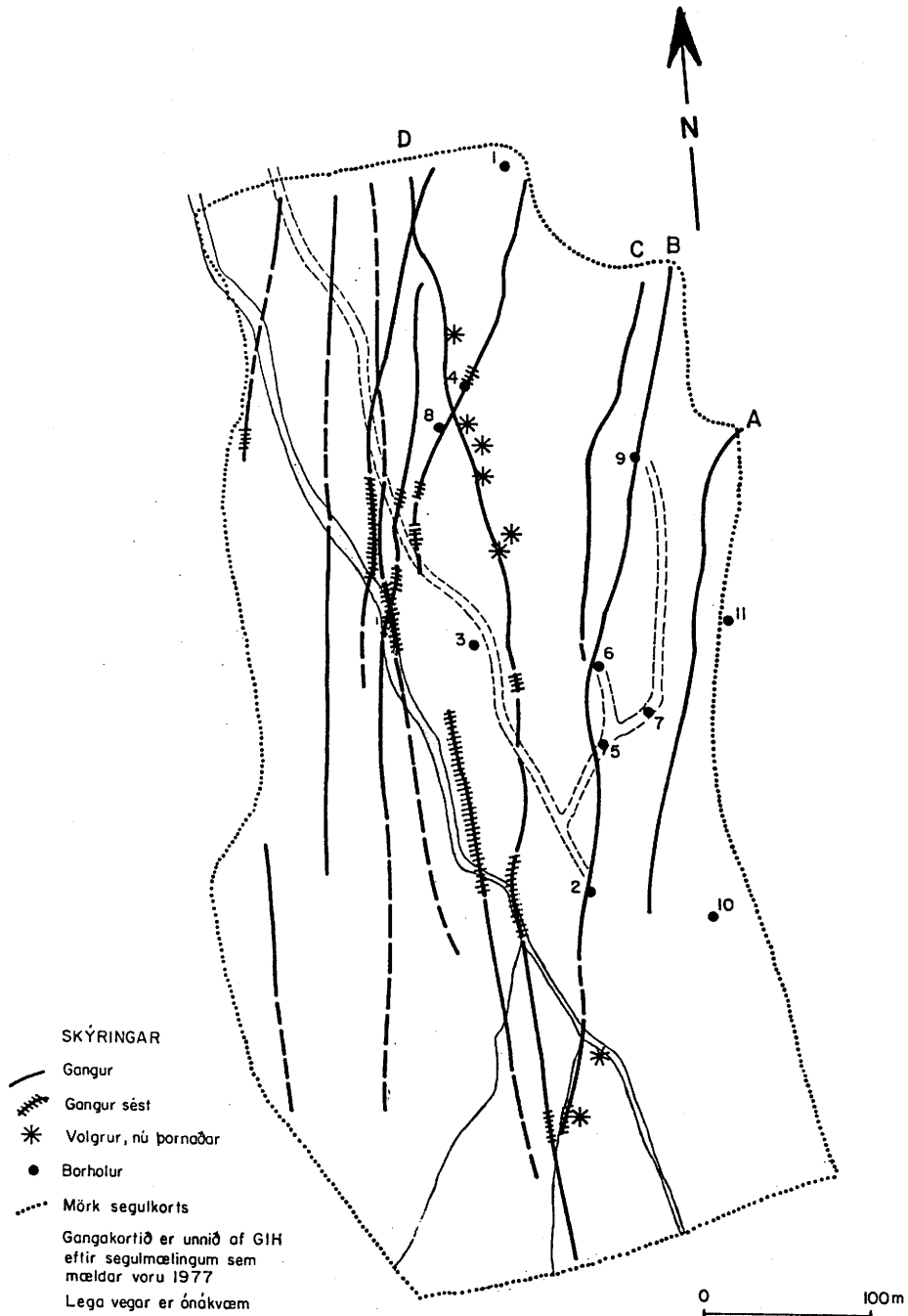
Lína 3

Þrjár lágviðnámsveggir koma fram í línu 3, við gang B-C, við gang D og í 450 m sem trúlega er framlenging á gangi A.

Háviðnámsblokkir koma fram nyrst á mælisvæðinu í línunum 1 og 2 svo og austarlega í línu 1 og 3 ($>300 \Omega m$). Svæðisviðnám utan jarðhitasvæðisins virðist vera 150-200 Ωm . Kemur það heim og saman við viðnámsmælingar, er gerðar voru 1975 (Axel Björnsson o.fl. 1976).

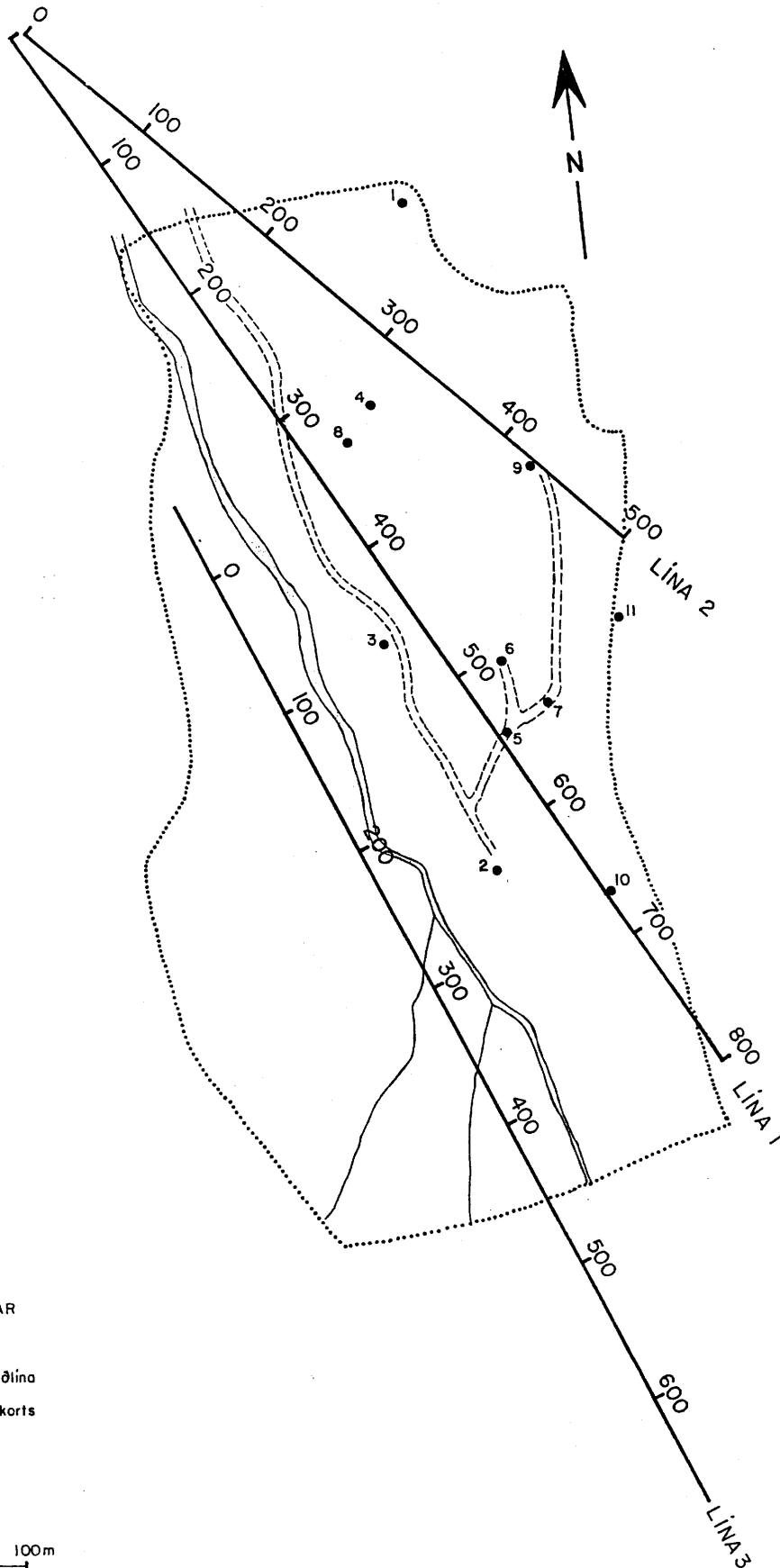
Heildarniðurstaða viðnámsniðsmælinga er: Heita vatnið kemur upp með nokkrum göngum á austanverðu svæðinu en ekki í einni rás. Gangarnir eru merktir A, B-C (álitamál hvort það er einn eða tveir gangar sunnantil á svæðinu) og D. Náttúrulegur yfirborðsjarðhiti, sem nú er þornaður, var við gang D.

JHD-JED-5000 RK
87.04.0365 AA



MYND 6 Gagnakort af jarðhitasvæðinu í Skútudal

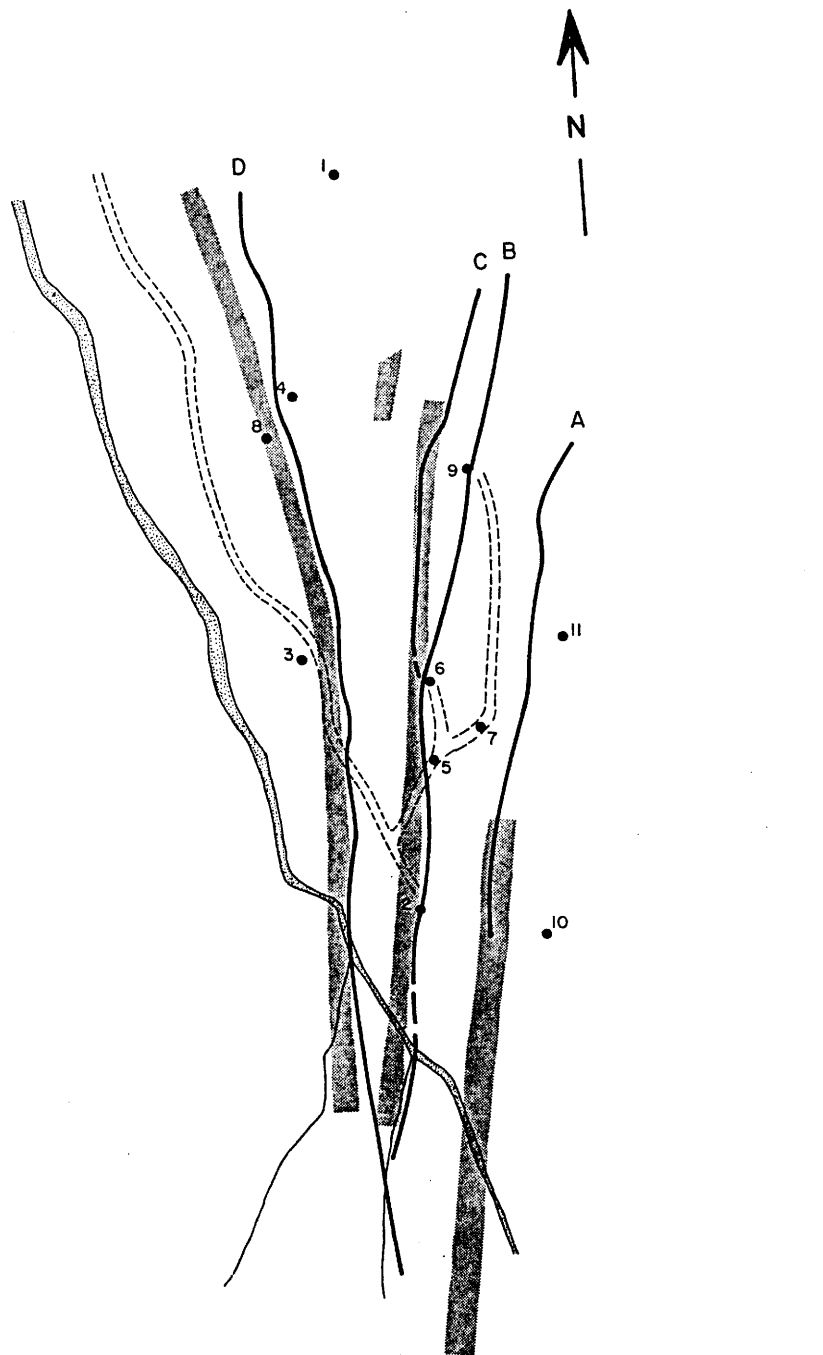
JHD-JED-5000 RK
87.04.0366 AA



- SKÝRINGAR
- Borhola
 - Viðnámsniðlína
 - Mörk segulkorts

MYND 7 Lega viðnámsniðsmælinga

JHD-JED-5000 RK
87.04.0364 AA



SKÝRINGAR
Lógviðnámsveggur
Gangur

0 100m

MYND 8 Niðurstöður viðnámsniðsmælinga

5 JARÐHITAKERFIÐ Í SKÚTUDAL

Á mynd 6 eru sýndir helstu gangar gegnum jarðhitasvæðið í Skútudal. Einnig má sjá á myndinni staðsetningu borhola og lauga sem nú eru þornaðar. Þá eru sýndir lágviðnámsveggir á mynd 8 sem fást út úr túlkun viðnáms-sniðsmælinga en þá má ennfremur túlka sem lóðrétta vatnsrás. Lágviðnámsveggirnir falla vel saman við ganga sem merktir eru A, B, C og D, en volgrurnar komu áður fyrir upp með gangi D.

Í borskýrslum, sem færðar eru við borun, er tekið fram hvar skoltap verður þ.e. á hvaða bordýpi verður vart við stærri æðar í holunni. Einnig gefa hitamælingar vísbendingar um hvar æðar eru, þó þær hafi ekki komið fram við borun. Gerð voru þrjú snið til að sýna afstöðu holanna til ganganna og giskað á halla ganganna eftir vatnsæðum, göngum og skoltöpum í holunum. Halli ganga í Skútudal er víðast austlægur og er 3-9° í árfarvegi Skútuár. Þar sem sést í gang D virðist halli hans meiri eða allt að 15° (Axel Björnsson o.fl. 1976). Svarfgreining er aðeins til úr holum 7, 9, 10 og 11, og ákvörðun á göngum sem holar hafa skorið því eingöngu til úr þeim. Sami halli var valinn fyrir alla gangana eða nálægt 7°. Sniðin eru sýnd á mynd 9.

Snið I

Þetta snið sýnir afstöðu holu 2 og 10 til ganganna. Holar 2 var nánast boruð ofan í gang B-C. Hitamæling sýnir vísbendingu um æð á 360 m dýpi sem gæti verið við gang D. Svarf er ekki til úr holu 2.

Holar 10 var boruð austan við gangana. Samkvæmt hitamælingu er vatnsæð á 200 m dýpi sem gæti verið við gang A. Skoltap var á 450 m dýpi sem getur ekki verið við gang B-C miðað við 7° halla, en skoltap á 600 m dýpi gæti verið við gang B-C. Vatnsæð í hitamælingu á tæplega 1000 m dýpi gæti verið við gang D. Í svarfgreiningu sást gangur á 220-240 m dýpi en aðrir gangar fundust ekki. Svarf var hins vegar mjög smátt og erfitt að greina það. Það er því ekki útilokað að fleiri gangar séu í holunni þótt þeir sjáist ekki við svarfgreiningu.

Snið II

Snið II sýnir afstöðu holar 5, 6, 7 og 11 til ganganna. Holar 5 og 6 voru boraðar ofan í gang B-C. Þær skáru báðar vatnsæðar á tæplega 300 m dýpi og er það trúlega við gang D. Svarf er ekki til úr holum 5 og 6.

Í holu 7 er vatnsæð á tæplega 200 m dýpi, sem gæti verið við gang B-C þótt þess sjáist ekki merki í svarfi. Einnig sýnir hitamæling æð á 560 m dýpi sem gæti verið við gang D. Í svarfgreiningu sést gangur á 510-568 m dýpi og gæti það verið gangur D.

Í holu 11 var skoltap á 220 m og gæti það verið við gang A. Skoltap á 700 m dýpi gæti verið við gang B-C. Holar sker hins vegar ekki gang D

samkvæmt þessu líkani. Í svarfgreiningu sást gangur á 212-336 m dýpi (gangur A) og á 580-678 m dýpi (gangur B-C).

Snið III

Snið III sýnir afstöðu hola 4 og 9 til ganganna. Í holu 4 kemur smá vætl á rúmlega 100 m dýpi sem gæti verið við gang D. Svarf er ekki til úr holu 4.

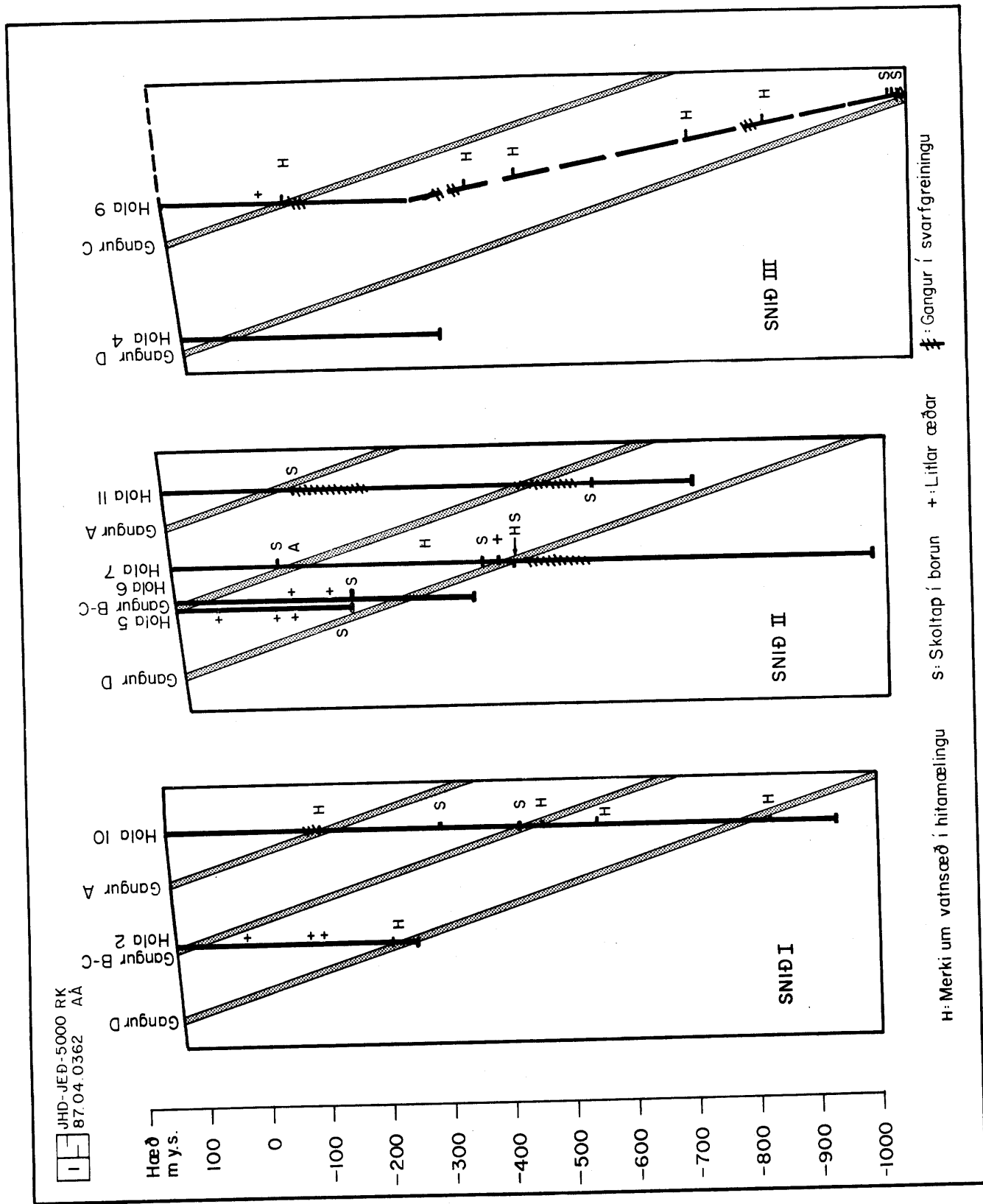
Samkvæmt hitamælingu er æð í holu 9 á 220 m dýpi og gæti hún verið í tengslum við gang C. Hola 9 er lóðrétt niður á um 400 m dýpi. Þar fyrir neðan er hún skökk og hallar 4-5° í stefnu norðaustur. Þetta þýðir að skoltapið á 1200 m dýpi gæti verið við gang D (lóðrétt hefði hola átt að skera gang D á 700-800 m dýpi).

Hitamæling í holu 9 sýnir einhverjar æðar á 500-600 m dýpi og gætu þær verið við vatnsleiðara (lágviðnámsvegg) sem sést í viðnámsniðslínu 2 á milli gangs C og D. Hvort sá leiðari er við gang á einhverju dýpi er ómögulegt að segja. Í svarfgreiningu sást gangur á 220-230 m dýpi og er það trúlega gangur C. Gangar sáust einnig á 460 m, 480 m og 960-980 m dýpi. Gangur á 1230-1250 m dýpi er trúlega gangur D.

Á mynd 10 er sett fram líklegt hitaástand í kerfinu en hiti á ákveðnu dýpi er metinn út frá mældum botnhita borholanna í borun og hita á einstaka vatnsæðum. Hitasniðið má túlka þannig að vatn eigi greiðustu leið upp til yfirborðs upp með göngum B-C og D eða í spildunni á milli þeirra, en lóðrétt vatnsleiðni bergstaflans vestan við gang D og austan gangs A sé lítil. Hitastigull á svæðinu er um 60°C/km, en hiti í jarðhitakerfinu er um 10-20°C hærri á sambærilegu dýpi. Þetta bendir til að jarðhitakerfið nái niður á minnst 1500 m dýpi.

Þessar upplýsingar má draga saman í einfaldað líkan af jarðhitakerfinu en vert er að geta þess að þetta líkan er ekki einhlít lausn. Gangahalli um 7° fellur þokkalega að bestu vatnsæðum í holunum. Halli ganganna þarf þó ekki að vera sá sami og gæti einnig verið breytilegur eftir dýpi. Einnig geta sumar æðar verið í millilögum. Jarðhitavatnið kemur að sunnan og streymir í vatnsrásum meðfram göngunum til norðurs. Til þessa bendir dæluþrófun sem var gerð í október 1971 sem sýnir eindregið þrýstifall til norðurs (Stefán Arnórsson 1971b). Vatnið rís upp meðfram göngum B-C og D og fer út í vatnsleiðandi millilög. Misgengið sem sést í fjallshlíðinni austan til á borholu-svæðinu og kemur fram í tengingu jarðlaga milli hola 11 og 9 er talið liggja milli ganga A og B og nærri samsíða þeim. Jarðlög austan misgengisins hafa fallið um 20 m þannig að misgengið getur takmarkað vatnsrennsli í millilögum til austurs.

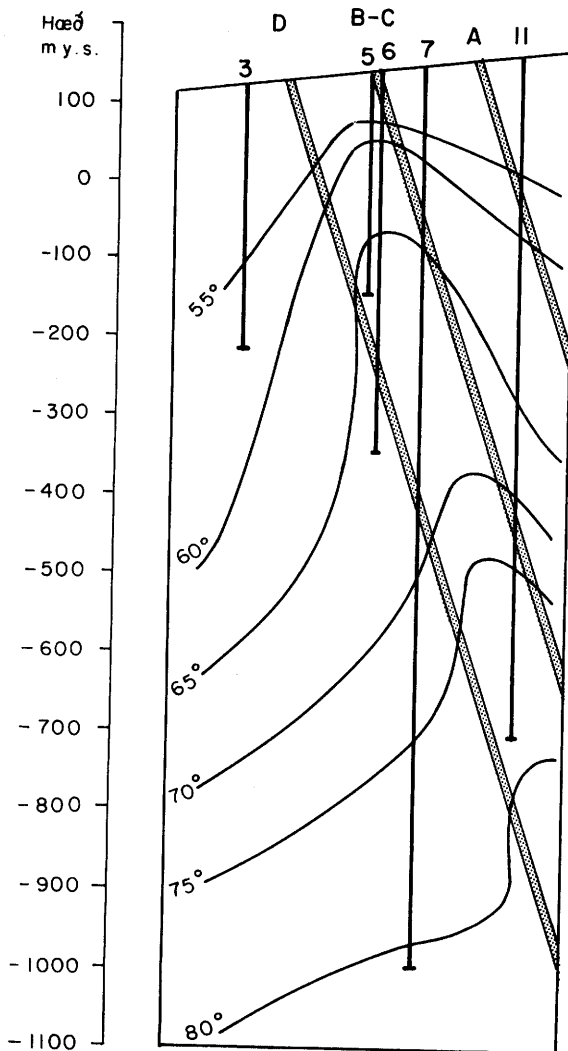
Tenging vatnsrása B-C og D um millilög veldur því að svipaður þrýstingur er á báðum vatnsrásunum þannig að í náttúrulegu ástandi nær vatnið að streyma upp til yfirborðs þar sem vatnsleiðnin er mest og landið lægst.



MYND 9 Vestur - austur þversnið gegnum jarðhitasvæðið í Skútudal

JHD-BM-5000 Ómar
87.09.0801 A'A

LÍKLEGT HITASNIÐ GEGNUM
JARÐHITASVÆÐI SKÚTUDALS



MYND 10 Líklegt hitasnið gegnum jarðhitasvæði Skútudals

6 VATNSVINNSLA OG VINNSLUSPÁR

6.1 Vatnstaka úr jarðhitakerfinu í Skútudal

Fyrir 1964 þegar fyrsta borholan var boruð í jarðhitakerfið í Skútudal var talið að náttúrulegt rennsli úr laugum hafi numið um 2 l/s. Hóla 1 var boruð um sumarið 1964 og kom upp með töluvert sjálfrennsli sem minnkaði þó strax í rúman sekúndulíttra. Hóla 1 stóð opin og minnkaði sjálfrennsli hennar á næstu 5 árum í tæpan hálfan sekúndulíttra. Með borun hóla 2 og 3 um haustið 1969 var sjálfrennslið aukið verulega sérstaklega með hólum 2 sem gaf um 6,5 l/s. Síðsumars 1970 var sjálfrennsli frá holunum enn aukið, aðallega með dýpkun hólum 2 en einnig með borun hólum 4. Í árslok 1970 er talið að rennsli úr jarðhitakerfinu hafi verið tæpir 9 l/s og er þá meðtalið rennsli úr laugum. Hólur 5 og 6 voru boraðar seinni hluta árs 1971 og komu báðar upp með sjálfrennsli. Ekki er þó talið að rennsli úr jarðhitakerfinu hafi aukist að neinu marki með tilkomu þessara hóla því sjálfrennsli fluttist úr hólum 2 og 5 í hólum 6. Einnig er líklegt að verulega hafi dregið úr rennsli lauga með tilkomu hóla 5 og 6. Þannig er talið að rennsli úr jarðhitakerfinu í árslok 1971 hafi verið um 9 l/s. Þá er lokunarþrýstingur hólum 6 þekktur, $2,4 \text{ kg/cm}^2$, og er þetta líklega nálægt upphafsþrýstingi jarðhitakerfisins. Þessi þrýstingur samsvarar vatnssúlu sem nær 172,2 m y.s., en hólur á svæðinu eru í 121-168 m y.s. Næstu 4 árin hélst þetta sjálfrennsli nær óbreytt og var rúmir 8 l/s þegar hólum 7 var boruð um haustið 1975. Vitað er að þá voru laugar á svæðinu örugglega þornaðar. Með hólum 7 var sjálfrennsli úr jarðhitakerfinu aukið verulega eða upp í tæpa 20 l/s, þar af var hægt að fá rúma 18 l/s eingöngu úr hólum 7 og var lokunarþrýstingur hólum 6 við það rennsli samsvarandi 7 m vatnssúlu.

Hitaveita Siglufjarðar tók til starfa í desember 1975. Þá var lögð veituæð frá Skútudal til Siglufjarðarkaupstaðar og fyrstu húsin í bænum tengd veitunni. Dreifikerfi veitunnar var stækkað fram á vorið 1976 og fleiri hús tengd. Það ár voru hólur 8 og 9 boraðar en sjálfrennsli jókst ekki með tilkomu þeirra enda ekki gjöfular hólur. Hitaveitan nýtti því eingöngu sjálfrennslið úr hólum 6 og 7 til ársins 1977, en það mun hafa dregið úr því og er talið hafa verið um 12-14 l/s í árslok 1976 (munnlegar upplýsingar Þorsteins Jóhannessonar verkfræðings á Siglufirði 1987).

Þann 23. janúar 1977 var djúpdæla gangsett í hólum 7 og dældi í byrjun um 32 l/s en við það féll vatnsborð í hólum 7 niður á um 86 m dýpi (66,25 m y.s.) og sjálfrennsli af svæðinu hætti. Eftir þetta var dælt nær stöðugt úr hólum 7 til ársloka 1983. Fljótlega var dregið úr dælingu og hefur hún að meðaltali verið um 23-25 l/s á ári og vatnsborð hólum 7 sveiflast á bilinu 85-125 m dýpi.

Hola 10 var boruð í árslok 1977 en ekki er ljóst hvenær hola var virkjuð. Vitað er að dæla var prófuð í holunni 1979 en entist aðeins í 15 daga því dæluöxlar brotnuðu. Þó er víst að 15. janúar 1980 var hola tekin í reglulegan rekstur og hefur verið notuð sem vara- og toppaflshola síðan.

Litlar upplýsingar eru fyrirbyggjandi um rekstur veitunnar frá upphafi til ársloka 1982. Þó er vitað að dælt var um 2-2,5 l/s úr holu 9 frá september 1981 fram í febrúar 1982 er dælan skemmdist. Dælt hefur verið úr holu 10 að vetrarlagi allt að 6 l/s en á sama tíma hefur orðið að draga úr dælingu úr holu 7. Því virðist að meðaldæling úr jarðhitakerfinu hafi þennan tíma verið um 23-25 l/s á ári.

Frá árinu 1983 er heildardæling og vatnsborð í holum 7, 10 og 11 til-
tölulega vel þekkt, en hola 11 var boruð um sumarið 1983 og tekin í
notkun þá um haustið. Með holu 11 fékkst um 10°C heitara vatn eða
78°C úr kerfinu auk þess sem hægt var að dæla upp svipuðu eða meira
magni. Ársmeðaldæling hefur því verið meiri en 25 l/s frá 1983 en að
sama skapi hefur dregið úr notkun olíu fyrir kyndistöð sem toppafl.
Í töflu C-2 í Viðauka C og á mynd 11 er tekin saman áætluð og þekkt
vinnsla úr jarðhitakerfinu í Skútudal ásamt vatnsborði í svæðinu miðað
við holu 7 sem er í 152,25 m hæð yfir sjávarmáli.

Það vatnsborð sem mælist í holum 7 og 11 þegar þær eru í vinnslu fæst
með því að lækka vatnsborð svæðisins um sem samsvarar rennslistapi
holunnar. Þetta rennslistap má áætla með jöfnunni:

$$dh = Cq^2$$

Rennslistapstuðullinn C er áætlaður út frá vatnsborðsmun milli hola 6,
7, 10 og 11 þegar ein hola er í vinnslu en vatnsborð þá þekkt í ein-
hverri hinna. Þannig fæst rennslistapstuðullinn fyrir holu 7

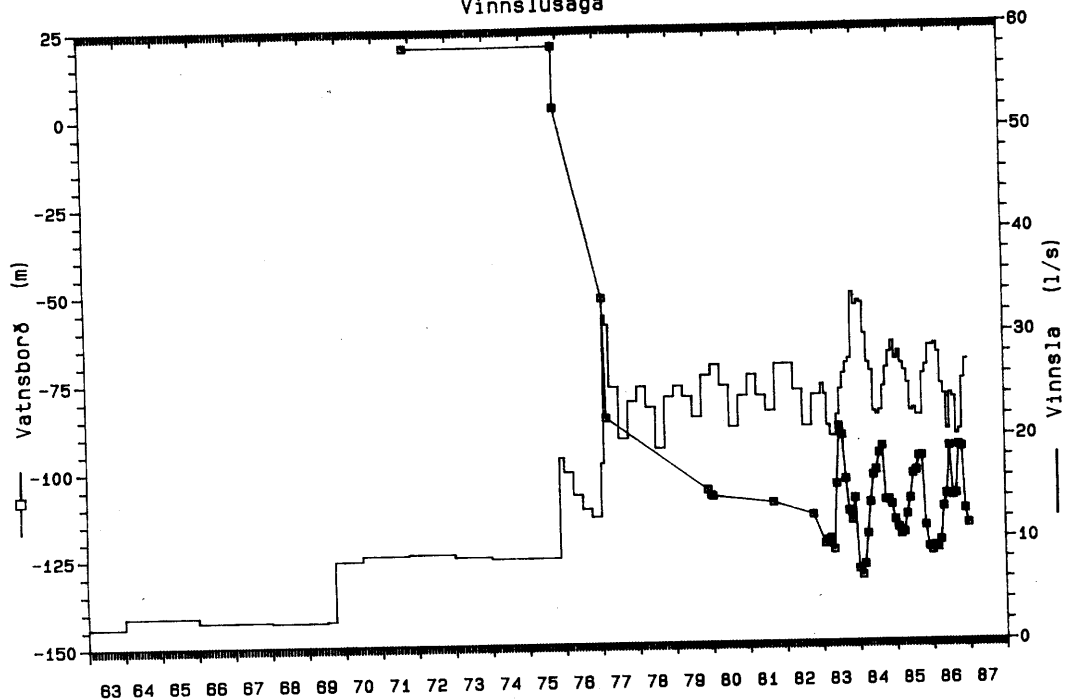
$$C_7 = 0,017 \text{ m}/(1/\text{s})^2$$

og fyrir holu 11

$$C_{11} = 0,036 \text{ m}/(1/\text{s})^2$$

JHD-BM-5000 Ómar
87.09.0807 T

HITAVEITA SIGLUFJARDAR Vinnslusaga



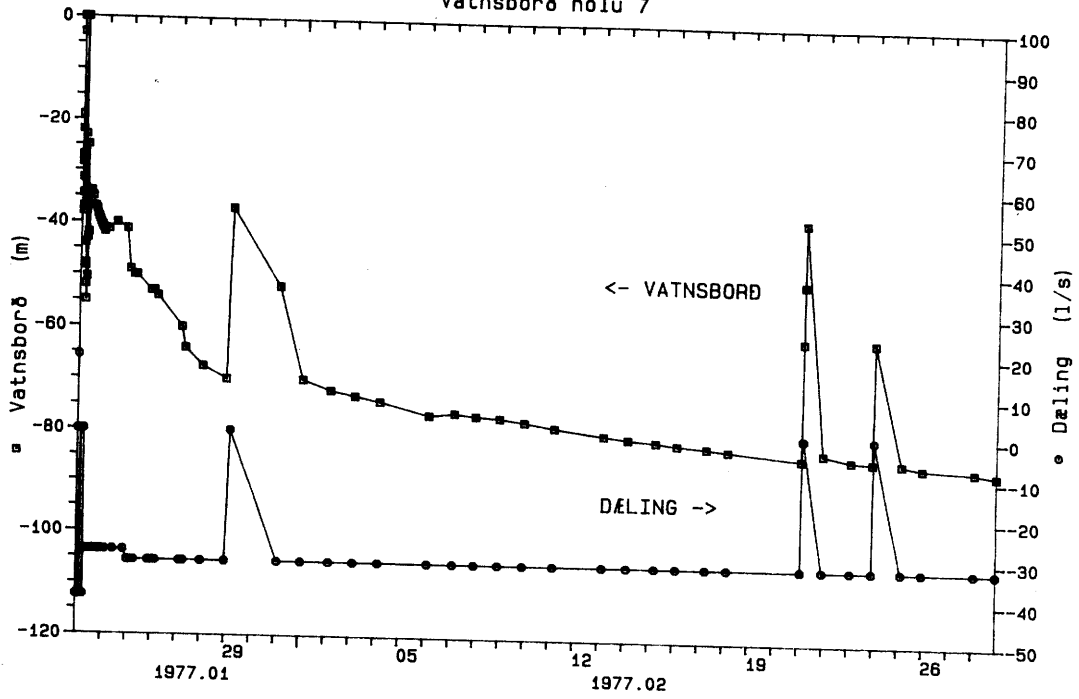
MYND 11 Vinnslusaga jarðhitakerfisins í Skútudal frá 1963

6.2 Upphaf dælingar úr holu 7

Djúpdæla var fyrst gangsett í holu 7 þann 23. janúar 1977 um kl 11:00. Fyrir þann tíma hafði sjálfrennsli verið nýtt af svæðinu og nam þá um 12-14 l/s (munnleg heimild Þorsteinn Jóhannesson 1987). Fylgst var grannt með vatnsborði í holu 7 og nokkrum öðrum nálægum holum þegar byrjað var að dæla úr holunni. Þessi gögn hafa varðveitst og ná til 1. mars 1977. Mynd 12 sýnir vatnsborð og dælingu úr holu 7 á þessu tímabili og eru gögnin birt í töflu C-1 í Viðauka C. Mynd 13 sýnir vatnsborð holu 7 yfir sama tímabil en nú er tímaskalinn logaríthmískur. Þar sem dæling er breytileg og óstöðug og vatnsborð er að breytast á sama tíma er hér brugðið á það ráð að reikna svokallaðan einingarniðurdrátt, eða viðbrögð holunnar við stöðugri dælingu af einni massa- eða rúmmálseiningu á tímæiningu. Síðan er einingar- niðurdrátturinn túlkaður með því að fella að honum líkan sem gerir ráð fyrir einsleitu ótakmörkuðu vatnskerfi. Samsvörunin milli líkansins og einingarniðurdráttar holu 7 er sýnd á mynd 14. Líkanið gefur stuðlana fyrir vatnsleiðni og vatnsrýmd sem $T = 1,42 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ og $S = 0,013$. Tregðustuðullinn fæst sem $s = -4,05$.

JHD-BM-5000 Ómar
87. 09. 0809 T

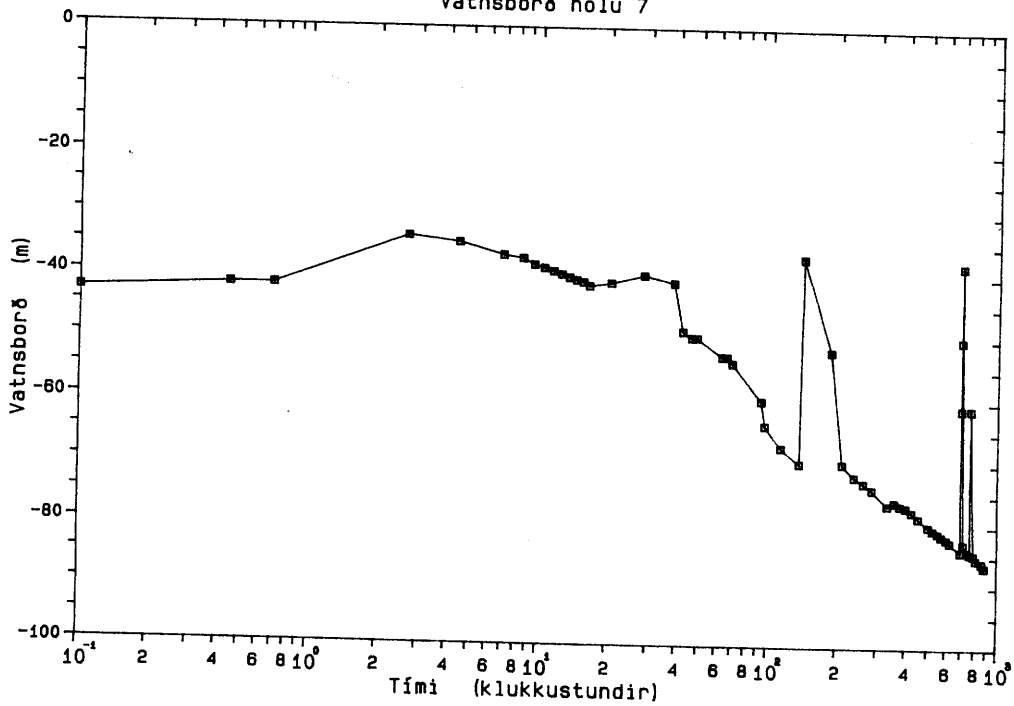
HITAVEITA SIGLUFJARÐAR Vatnsborð holu 7



MYND 12 Upphaf dælingar úr holu 7, 1977

JHD-BM-5000 Ómar
87. 09. 0809 T

HITAVEITA SIGLUFJARÐAR Vatnsborð holu 7

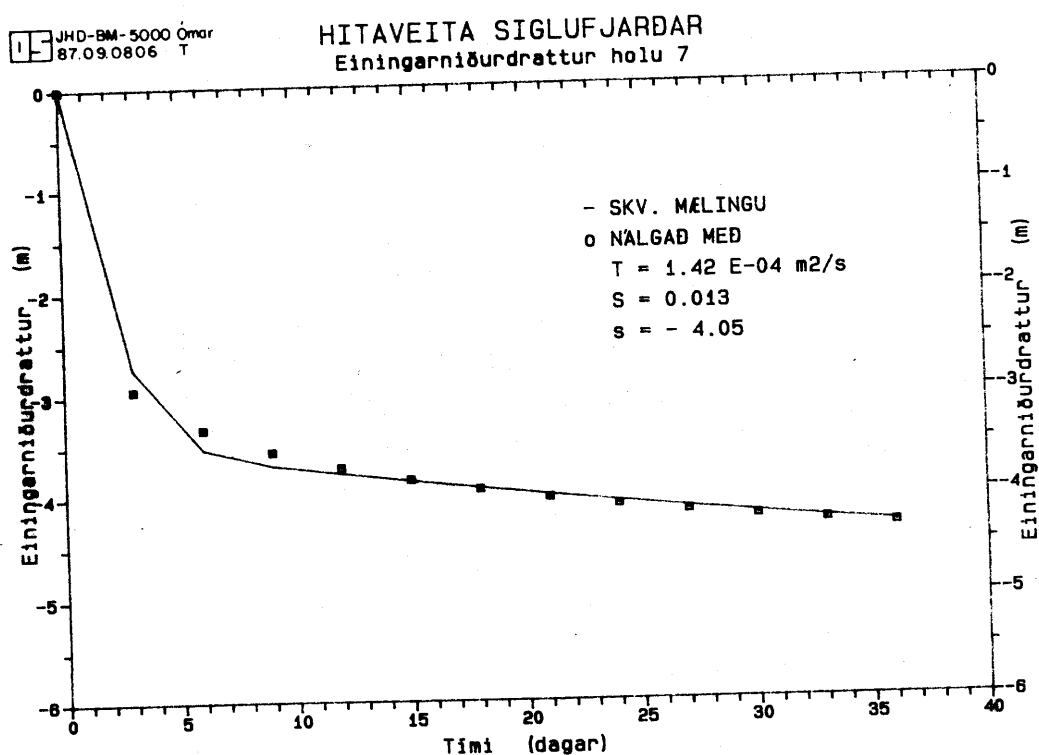


MYND 13 Vatnsborð holu 7 við upphaf dælingar 1977

Neikvæður tregðustuðull bendir til að holan skeri eina eða fleiri sprungur og að rennlistregða milli jarðhitakerfisins og holunnar sé mjög lítil. Vatnsleiðni bergsins við holuna virðist vera í lægra lagi. Frá vatnsleiðnistuðlinum má fá margfeldið af lekt (k) og þykkt (h) kerfisins sem $kh = 6,25 \times 10^{-12} \text{ m}^3 (\nu = 4,317 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s})$. Ef jarðhitakerfið er yfir 1500 m þykkt er lekt bergsins um $k = 4 \text{ md}$ (milli Darcy).

Vatnsrýmdarstuðullinn sem líkanið gefur er mjög hár og mun hærri en sem getur talist eðlilegt fyrir þetta líkan sem er notað. Þetta gæti bent til að inn í jarðhitakerfið komi vatn úr vatnskerfi sem hafi frjálst vatnsborð svo sem úr grunnvatnskerfi. Súrefni sem greinist í vatni úr holu 7 bendir einnig til þessa.

Til gamans má nota þessar niðurstöður fyrir holu 7 og áætla hvar vatnsborðið væri í lok árs 1986 eða um 10 árum eftir að byrjað er að dæla úr holunni. Ef gert er ráð fyrir að meðaldæling yfir árið á þessum 10 árum hafi verið 24 l/s fæst að vatnsborðið ætti að vera á um 166 m dýpi í holunni eða á um 156 m dýpi í svæðinu. Í reynd var vatnsborðið á svæðinu í árslok 1986 á 117 m dýpi miðað við holu 7. Þetta sýnir hvað nokkurra vikna dæluþrófanir geta verið gagnlegar til afkastamats fyrir jarðhitakerfi nokkuð fram í tímann.



MYND 14 Samanburður á einingarniðurdrætti og reiknuðum niðurdrætti við upphaf dælingar úr holu 7

6.3 Vatnafræðilegt líkan

Vinnslusaga jarðhitakerfisins í Skútudal eins og hún er þekkt nú er sýnd á mynd 11. Samkvæmt fyrirbyggjandi gögnum virðist jarðhitakerfið hafa getað viðhaldið rúmlega 8 l/s sjálfrennsli, en viðbótar vatnstaka umfram það veldur niðurdrætti í kerfinu. Vinnslan og viðbrögð kerfisins eftir að hola 7 komst í notkun eru sýnd nánar á mynd 15. Með auknu sjálfrennsli frá holu 7 byrjaði þrýstingur að falla í jarðhitakerfinu og við upphaf dælingar úr holu 7 minnkaði þrýstingurinn enn verulega en nálgast síðar jafnvægi er leið á vinnslutímann. Talið er að upphafsþrýstingur kerfisins hafi samsvarað um 20 m vatnssúlu við holu 7.

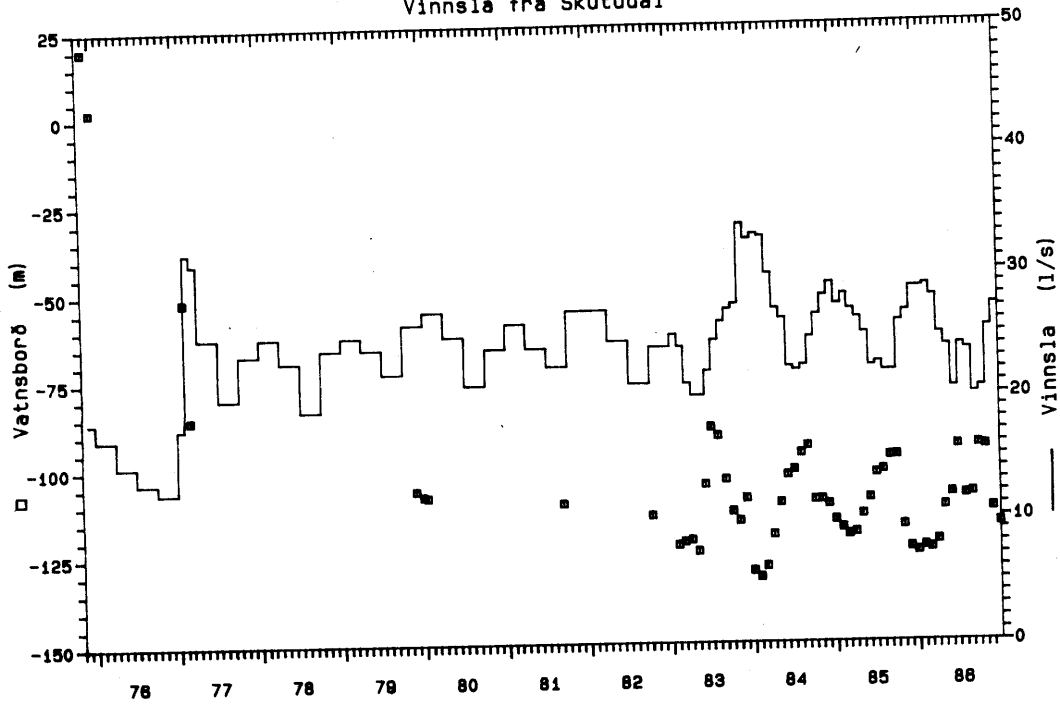
Gögn yfir vatnsborð og dælingu voru aðgengileg fyrir árin 1983-87, en eldri gögn eru mjög strjál (sjá nánar í Viðauka C). Til að herma viðbrögð jarðhitakerfisins við vinnslu með þetta takmörkuðum gögnum er best að nota eins einföld líkön og kostur er. Í hópi þeirra líkana sem koma til greina eru svokölluð tank-líkön en með þeim má herma mjög nákvæmlega þrýstiviðbrögð nokkuð flókinna jarðhitakerfa og síðan nota líkönin til að spá um framtíðarviðbrögð kerfanna. Tank-líkan samanstendur af nokkrum vatnsgeymum sem líkja eftir vatnsrýmd kerfisins, og eru þeir tengdir innbyrðis með viðnámum sem líkja eftir rennslisviðnámi í kerfinu. Vatnsrýmd vatnsfasa jarðhitakerfa getur verið af tvennum toga, þ.e. vegna samþjappanleika vatns og bergs, og vegna frjáls vatnsborðs kerfis. Við túlkun þrýstiviðbragða vatnsfasa jarðhitakerfa er sjaldan tekið tillit til rýmdar vegna frjáls vatnsborðs, en nýlegar athuganir hafa sýnt að sú rýmd getur haft veruleg áhrif á langtíma viðbrögð margra slíkra kerfa (Guðni Axelsson 1985).

Tank-líkan sem er opið og samanstendur af tveim vatnsgeymum og tveim rennslisviðnámum er hægt að fella að mældum viðbrögðum jarðhitakerfisins í Skútudal fyrir árin 1983-86. Þetta tank-líkan sem kalla má einfalt vatnafræðilegt líkan af jarðhitakerfinu er sýnt á mynd 16 og verður fjallað nánar um það hér á eftir. Á mynd 17 er hins vegar sýndur samanburðurinn á mældu og reiknuðu vatnsborði fyrir árin 1983-86 samkvæmt þessu líkani. Vegna skilyrða í reikniverki líkansins er ekki hægt að byrja samanburðinn fyrr en í júní 1983 og nýtast því um 3,5 ár af gögnunum til þessara reikninga.

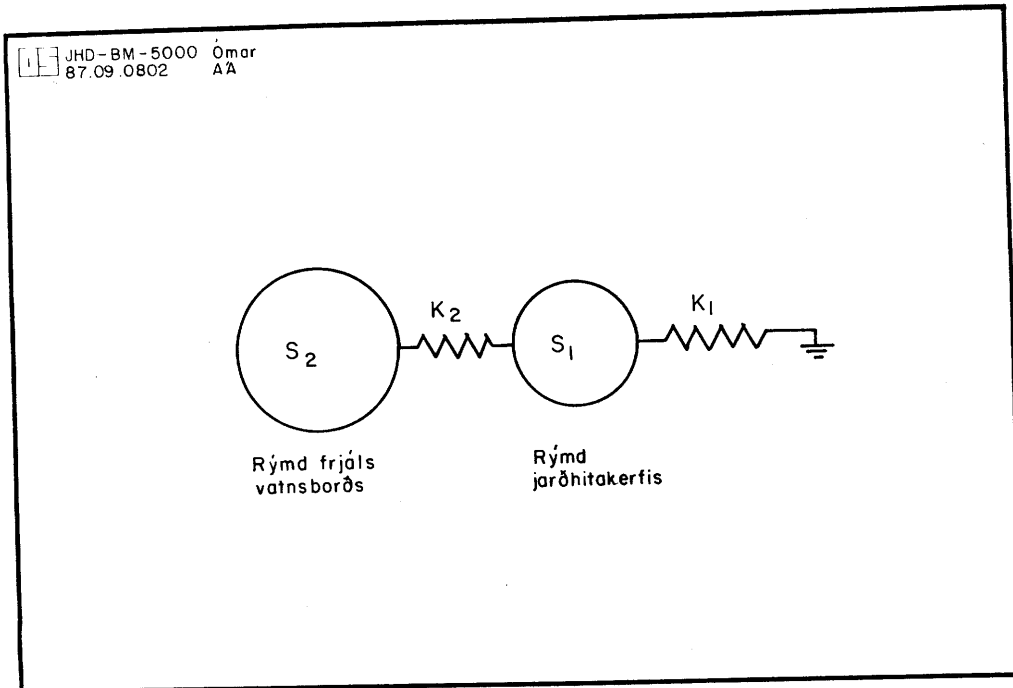
Við túlkun líkans eins og sýnt er á mynd 16 er gengið út frá ákveðinni tengingu milli vatnsgeymanna og tekið mið af jarðfræði og jarðeðlisfræðilegum upplýsingum um kerfið. Þannig er þó aðeins um eina túlkun af fleiri mögulegum að ræða og er hún alls ekki einhlít. Í því líkani sem hér er notað er vatni dælt úr geymi 1 og jafnframt fylgst með vatnsborði í sama geymi. Geymir 1 hermí þannig að mestu vatnsrýmd hins staðbundna jarðhitakerfis neðan einhvers (200 m) dýpis. Þessi rýmd gæti verið bundin við einstaka sprungur í og við ganga.

JHD-BM-5000 Ómar
87.09.0803 T

HITAVEITA SIGLUFJARÐAR Vinnsla frá Skútudal



MYND 15 Vinnslusaga jarðhitakerfisins í Skútudal frá 1. nóv. 1975

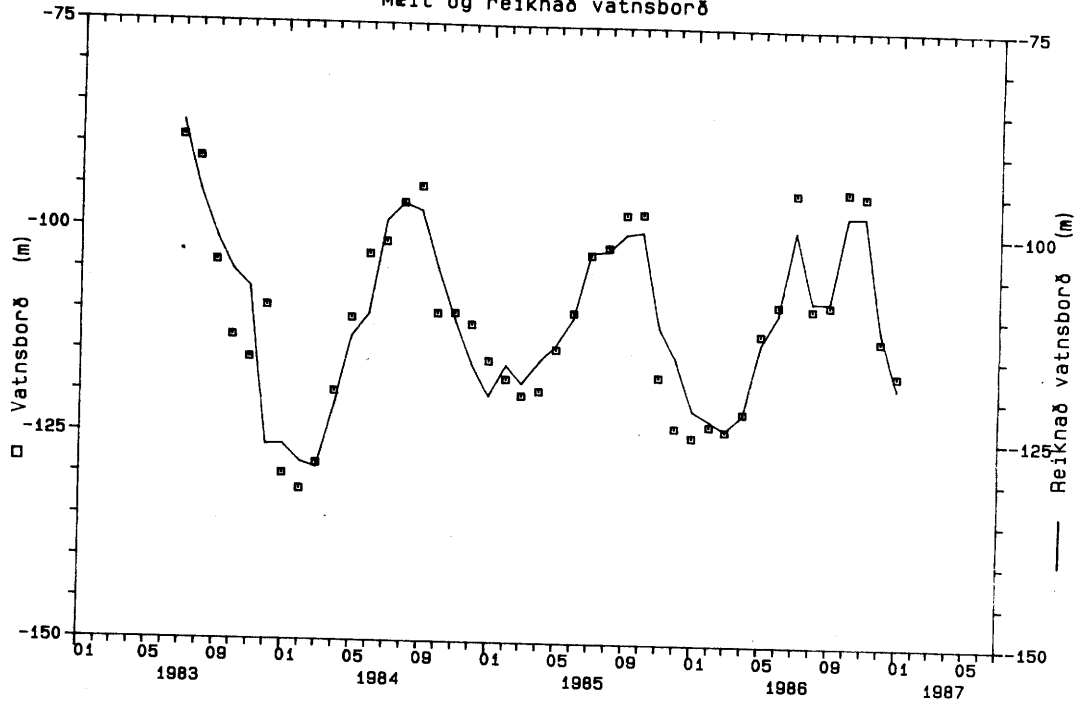


MYND 16 Vatnafræðilegt tank-líkan fyrir jarðhitakerfið í Skútudal

JHD-BM-5000 Ómar
87.09.0804 T

HITAVEITA SIGLUFJARÐAR

Mælt og reiknað vatnsborð

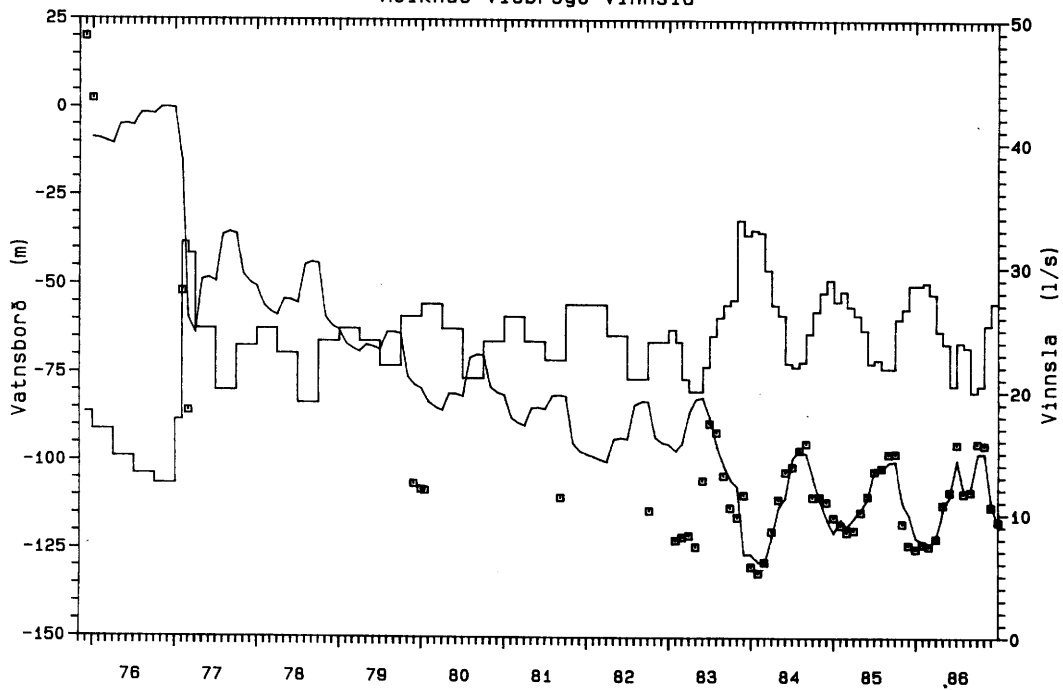


MYND 17 Samanburður á mældu og reiknuðu vatnsborði

JHD-BM-5000 Ómar
87.09.0805 T

HITAVEITA SIGLUFJARÐAR

Reiknuð viðbrögð vinnslu



MYND 18 Reiknuð viðbrögð jarðhitakerfisins vegna vinnslu

Geymir 2 samsvarar vatnsrýmd vegna frjáls vatnsborðs kerfisins. Rennslisviðnámið milli geyma 1 og 2 er mælikvarði á tengsl jarðhitakerfisins við frjálst vatnsborð (grunnvatn) en rennslisviðnám 1 er mælikvarði á tregðuna fyrir írennsli í jarðhitakerfið frá einhverju óskilgreindu vatnskerfi þar sem þrýstibreytingar í jarðhitakerfinu valda litlum sem engum breytingum. Lítil breyting í sjálfrennsli fyrir 1976 bendir til tilvistar slíks vatnskerfis.

Hermunin gefur þannig eftirfarandi niðurstöður fyrir rýmd geymanna og leiðnina í og milli þeirra

$$\begin{aligned} S_1 &= 40,2 \text{ ms}^2 \\ S_2 &= 1055,4 \text{ ms}^2 \\ K_1 &= 1,24 \times 10^{-5} \text{ ms} \\ K_2 &= 1,96 \times 10^{-5} \text{ ms} \end{aligned}$$

Á mynd 18 er sýnt hvernig reiknuð viðbrögð kerfisins eru samkvæmt þessu líkani frá 1 nóvember 1975 til áramóta 1986/87. Notuð er vinnslan sem gefin er í viðauka C og er hún að mestu áætluð fyrir árin 1975-1982. Á myndinni er einnig sýnt þekkt vatnsborð. Á samanburðinum milli reiknaðs og mælds vatnsborðs sést að samkvæmt líkaninu fellur vatnsborðið ekki jafn ört í byrjun dælingar 1977 og það virðist hafa gert í raun. Til að endurbæta líkanið yrði að bæta við þau gögn sem stuðst er við, sérstaklega elstu gögnin fyrir árin 1975-1978. Eftir mitt ár 1983 er samsvörunin hins vegar góð enda var þetta tímabil notað til að stilla líkanið af í hermuninni.

6.4 Niðurstöður vatnafræðilegs líkans

Hægt er að túlka niðurstöður hermilíkansins á ýmsa vegu. Með því að segja geymi 2 herma vatnsrýmd vegna frjáls vatnsborðs má áætla yfirborðsflatarmál kerfisins fyrir gefinn poruhluta og öfugt. Fyrir það gildir

$$S = A\phi/g$$

þar sem: A = yfirborðsflatarmál
 ϕ = poruhluti bergs
g = þyngdarhröðun

Ef gert er ráð fyrir 5% poruhluta fæst flatarmál svæðisins um 0,21 km². Ef breidd svæðisins samsvarar fjarlægðinni milli ganga A og D (100-150 m) yrði lengd svæðisins 1,4-2,1 km. Þetta virðast ekki vera óraunhæfar stærðir. Ef flatarmál svæðisins er minna hækkar poruhlutinn og öfugt.

Ef gert er ráð fyrir að vatnsrýmd í jarðhitageyminum sé vegna samþjappanleika poróttts bergs og vatns, þá gildir

$$S = Ah\rho (\phi c_v + (1-\phi)c_b)$$

þar sem : h = þykkt kerfisins

ρ = eðlisþyngd vatnsins

c_v = samþjappanleiki vatns = $5 \times 10^{-10} \text{ Pa}^{-1}$

c_b = samþjappanleiki bergs = $2 \times 10^{-11} \text{ Pa}^{-1}$

Með því að gera ráð fyrir 5% poruhluta og því flatarmáli sem fékkst hér á undan fæst þykkt kerfisins um 4500 m. Ef flatarmál svæðisins er hins vegar minna yrði þykkt kerfisins meiri fyrir sama poruhluta.

Lekt efstu jarðlaganna milli frjálsa vatnsborðsins og jarðhitakerfisins má meta úr frá leiðninni milli geyma 1 og 2. Þá gildir $K = Ak/(\nu h^2)$ þar sem ν er eðlisseigja vatnsins og h^2 er dýptin niður á jarðhitakerfið sem hér er tekin sem 200 m. Þá fæst lekt jarðlaganna $k = 8 \times 10^{-15} \text{ m}^2$ (8 md).

Hægt er að reikna einingarniðurdrátt samkvæmt hermilíkaninu og fella fræðileg líkön að honum sem gera ráð fyrir mismunandi rennslisskilyrðum í jarðhitakerfinu. Sé fyrst notað fræðilegt líkan af einleitu, óendanlegu hálfkrúmi með einsátta lekt og frjálsu vatnsborði gefur það meðal poruhluta og meðal lekt kerfisins sem:

$$\phi = 0,004$$

$$k = 1,08 \times 10^{-15} \text{ m}^2 = 1,1 \text{ md}$$

Samsvarandi reikningar hafa gefið eftirfarandi meðallektartölur fyrir önnur jarðhitasvæði (Ragna Karlsdóttir og Guðni Axelsson 1986).

Svæði	k (10^{-15} m^2)
Hamar við Dalvík	11,0
Laugaland, Eyjafirði	0,6
Ytri-Tjarnir, Eyjafirði	0,7
Laugarnes, Reykjavík	14,0
Svartsengi, Reykjanesi	5,5

Lág meðallekt í Skútudal endurspeglar þannig takmarkaða afkastagetu jarðhitakerfisins, og skipar því í hóp með jarðhitakerfunum í innanverðum Eyjafirði.

Sé í öðru lagi notað fræðilegt líkan af einsleitri lóðréttri rennu með frjálsu vatnsborði og tvívíðu vatnsrennsli fæst mat á margfeldinu af breidd og lekt rennunnar og margfeldinu af breidd og poruhluta. Þannig fást þessi margfeldi sem:

$$\begin{aligned}\phi_b &= 2,69 \text{ m} \\ k_b &= 7,04 \times 10^{-12} \text{ m}^3\end{aligned}$$

Sé breidd rennunnar tekin sem 100 m fæst:

$$\begin{aligned}\phi &= 0,027 \\ k &= 7,04 \times 10^{-14} \text{ m}^2 = 71,3 \text{ md}\end{aligned}$$

Margfeldið af breidd og lekt má einnig túlka sem lekt af völdum nokkurra samsíða sprungna. Þannig fæst, ef miðað er við 1-3 sprungur, að meðalvidd sprungnanna sé 0,3-0,4 mm.

6.5 Vinnsluspá

Til að spá fyrir um framtíðarviðbrögð jarðhitakerfisins er notað tank-líkanið sem lýst var hér að framan. Hér er aðeins gerð gróf spá þar sem notuð er ársmeðaldæling en ekki tekið tillit til árstíðabundinnar sveiflu í vinnslunni (sjá Viðauka C). Útkoman er því meðalvatnsborð á svæðinu í grennd við holu 7 í lok hvers árs. Rétt er að benda á að þetta er vatnsborð í svæðinu en ekki holunum sjálfum, en það er nokkru lægra vegna rennslistaps í og við holurnar.

Meðaldæling yfir árið er nú um 25 l/s en árssveiflan í dælingu er um 7-11 l/s sem veldur um 27-35 m vatnsborðssveiflu eða að meðaltali 3,5 m/(l/s). Þannig er sumar vatnsstaðan nokkru hærra en meðal ársdæling gefur til kynna og vetrar vatnsstaðan nokkru lægri. Gerð er spá sem nær frá áramótum 1986/87 til aldamóta fyrir þrjú tilfelli þar sem dælingu er haldið nær óbreyttu (25 l/s), dæling er aukið í 30 l/s og dæling er minnkuð í 22,5 l/s. Niðurstöður spánna eru sýndar á mynd 19 og verður fjallað lauslega um hvert tilvik hér á eftir.

Haldist ársmeðaldæling óbreytt frá því sem nú er, eða um 25 l/s, spáir líkanið að vatnsborð í svæðinu muni lækka um 9,4 m til aldamóta og vera þá á tæplega 121 m dýpi. Ef reiknað er með rennslistapi í holum 7 og 11 sbr. kafla 6.1 fæst eftirfarandi fyrir mismunandi dælingu:

Vinnsla (l/s)	Niðurdráttur vegna rennslistaps	
	Hola 7 (m)	Hola 11 (m)
15	3,8	8,1
20	6,8	14,4
22,5	8,6	18,2
25	10,6	22,5
30	15,3	32,4
35	20,8	44,1

Þessum niðurdrætti þarf að bæta við niðurdráttinn í svæðinu til að fá lægsta vatnsborð í holunum fyrir mismunandi dælingu.

Sé miðað við svipaðan rekstur á holunum út tímabilið og er í dag þ.e. dælt úr holu 7 á sumrin en holu 11 á veturna, og tekið tillit til aukins niðurdráttar vegna rennslistaps í holunum bendir spáin til að þessar holur geti annað þörfum veitunnar út tímabilið (auk holu 10). Þó er hugsanlegt að síkka þurfi dæluna í holu 7 um nokkra metra nálægt miðju tímabilinu eða um 1993.

Verði ársvinnslan aukin um 5 l/s umfram þá vinnslu sem er í dag eða í 30 l/s að meðaltali, spáir líkanið að vatnsborð muni lækka um 24 m fljótlega eftir þessa aukningu og alls um 50 m til aldamóta og verða þá á rúmlega 161 m dýpi. Ef vinnslan yrði aukin sem þessu nemur bendir spáin til að hola 11 muni ekki fullnægja vetrarpörfinni eftir um 5 ár eða kringum 1992 og þurfi þá að bora aðra sambærilega holu eða grípa til annarra ráðstafana til að mæta orkupörfinni.

Fljótlega eftir að vinnslan yrði aukin myndi vatnsborð falla niður fyrir núverandi dæludýpi í holu 7 og hún því ekki nýtast í núverandi ástandi. Holan er fóðruð í 143 m en einhver fyrirstaða er talin vera neðst í fóðringunni (140 m). Til að nýta holuna sem varaholu yrði því að síkka dæluna en til þess þarf allavega að rýma holuna niður í 200 m dýpi. Auk þess er líklegt að fljótlega þyrfti að bora aðra varaholu á svæðinu.

Verði ársvinnslan minnkuð að meðaltali um 2,5 l/s frá því sem nú er eða í 22,5 l/s til dæmis með orkusparnaði, spáir líkanið að vatnsborð í svæðinu muni hækka um 11 m til aldamóta og verða þá á um 100 m dýpi. Samkvæmt þessari spá virðist nást jafnvægisástand í kerfinu eftir 1995 og vatnsborð haldast nær stöðugt eftir það út tímabilið.

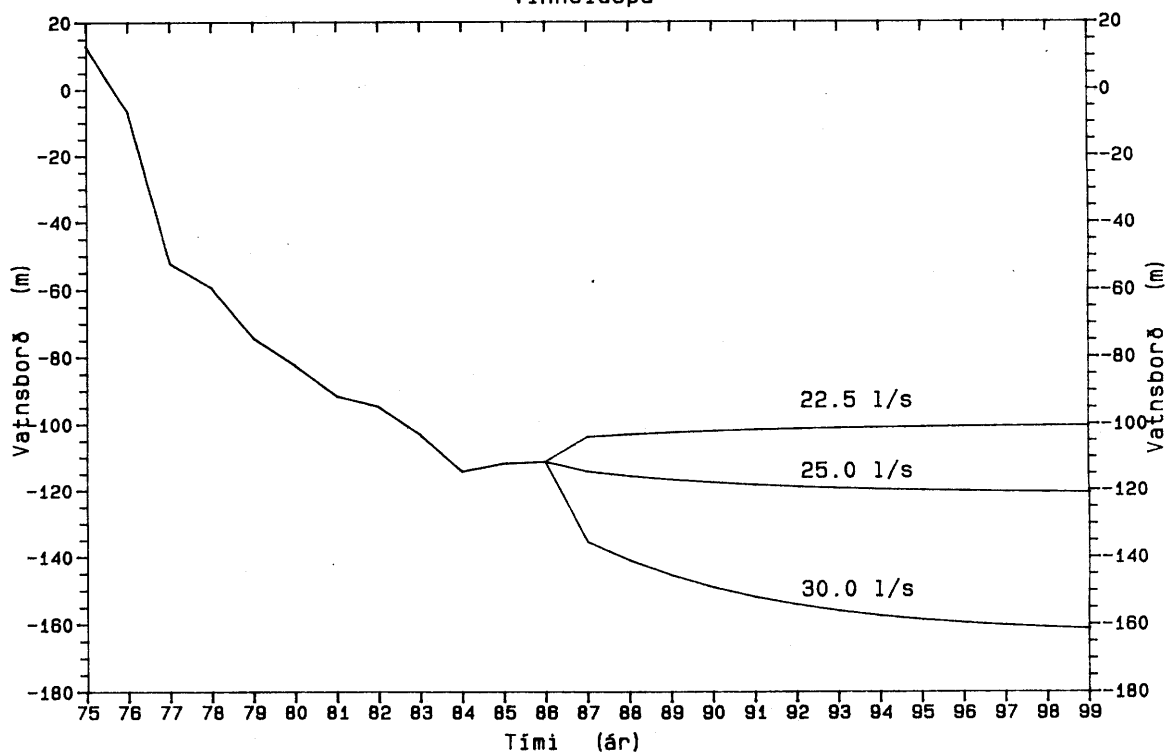
Rétt er að minna á að hér er einungis verið að spá um þrýstiástand (þ.e. vatnsborð) í jarðhitakerfinu með einföldu líkani sem stillt er af við vinnslusögu síðastliðinna 3,5 ára. Engrar kólnunar hefur enn

orðið vart, en það er þó engin trygging fyrir því að jarðhitavatnið muni ekki kólna í framtíðinni. Eins og bent hefur verið á hér frammar, sýna efnagreiningar að súrefni er í heita vatninu og er það áþreifanleg vísbending um innstreymi af köldu vatni. Vegna þess hefur orðið að bæta súlfíti í vatnið til að eyða súrefninu og draga úr tæringu á járnlögnum. Fleiri vísbendingar benda til innstreymis kalds vatns að ofan og niður í jarðhitakerfið. Tekið er tillit til þessa massastreymis að ofan í reikningum og túlkun tank-líkansins, en ekki er tekið tillit til hitabreytinga af völdum þess.

Ofangreint líkan og spár ætti að endurskoða innan fjögurra ára og taka þá tillit til lengri og samfelldari vinnslusögu. Í því sambandi þyrfti Hitaveita Siglufjarðar að setja rennslismæla á vinnsluholur, auk þess að halda áfram núverandi gagnaskráningu um rekstur jarðhitasvæðisins. Ennfremur er nauðsynlegt að hitaveitan bæti sem fyrst allan frágang við brunna og afloftunarbúnað til að varna upptöku súr-efnis í vatnið og þar með draga úr tæringu í járnlögnum.

JHD-BM-5000 Ómar
87.09.0808 T

HITAVEITA SIGLUFJARÐAR Vinnsluspá



MYND 19 Vinnsluspá fyrir jarðhitakerfið í Skútudal

7 LEIÐIR TIL ORKUÖFLUNAR

Samkvæmt ofangreindum spám um afköst jarðhitakerfisins í Skútudal virðist jarðhitakerfið vera fullnýtt miðað við núverandi rekstrar- aðstæður. Orkuvinnslan úr jarðhitakerfinu með núverandi fyrirkomulagi samsvarar um 36 GWh á ári og er vatnsborð á svæðinu lækkandi við þá vinnslu. Til að sporna við þeirri þróun og til að mæta orkuþörf hitaveitunnar verður bent á nokkrar leiðir til orkuöflunar.

Orkusparnaður og orkunýting. Eins og er selur Hitaveita Siglufjarðar vatn sitt eftir hemlum. Hemillinn er stilltur á það magn sem notandi óskar eftir og greiðir hann samkvæmt því. Kostur hemlakerfisins er að ekki er unnt að taka meira magn gegnum hemilinn en hann er stilltur á, þannig að orkunotkun í kuldaköstum fer ekki yfir ákveðið mark. Hins vegar hvetur hemlakerfið ekki til orkusparnaðar því notandi greiðir gjald sitt óháð því hvort hann sparar vatnið eða sólundar því.

Síðustu ár hafa nokkrar hitaveitur sem notuðu hemlakerfi breytt sölu- kerfi sínu og selja nú vatnið eftir magnmæli þannig að notandi greiðir nú í samræmi við það magn sem hann notar og getur þá sparað í hlý- viðrum með minni notkun. Þær hitaveitur sem þegar hafa breytt sölu- kerfi sínu þannig hafa lýst yfir að náðst hafi orkusparnaður sem lýsi sér í minni vatnsnotkun. Séu reynslutölur þessara hitaveitna færðar yfir á Hitaveitu Siglufjarðar samsvara þær sparnaði um 1-2 l/s að meðaltali á ári.

Hraðastýring á dælur. Undanfarin ár hefur aukist að hitaveitur setji hraðastýringu á dælumótora sem stjórnast af vatnsstöðu í miðlunargeymi veitunnar. Með þessu hefur áunnist að ekki er dælt meira magni úr jarðhitakerfinu en dreift er jafnóðum til notanda, auk þess sem náðst hefur nokkur sparnaður á raforku.

Varmadæla eða kyndistöð. Stefni Hitaveita Siglufjarðar á aukna orku- vinnslu frá Skútudal er ljóst að fljótlega verður að athuga fleiri leiðir til orkuöflunar. Þá er rétt að hafa í huga uppsetningu á varmadælu eða byggingu/stækkun kyndistöðvar sem hægt væri að grípa til sem toppafls í kuldaköstum. Best væri að endurhita frárennslisvatn frá notendum en það kallar á tvöfallt lagnakerfi til a.m.k. stærstu notendanna. Með rekstri varmadælu/kyndistöðvar mætti fresta borunum eitthvað.

Endurvirkjun holu 7. Verði orkuvinnsla aukin umfram það sem nú er, stefnir í það að vatnsborð falli niður fyrir dælu í holu 7. Til að nýta holuna áfram sem varaholu yrði að rýma hana niður á 200 m dýpi en fyrirstaða er talin vera neðst í fóðringunni á 140 m dýpi sem varnar

síkkun dælnnar. Æskilegt væri að fódra holuna niður á 200 m til að auka rekstraröryggi hennar.

Endurvirkjun holu 9. Nokkuð hefur verið rætt um það hvort hægt væri að fá heitara vatn með því að rétta holu 9 af en holunni hallar um 4-5° til NA neðan 385 m dýpis. Með því að rétta holuna mætti skera gang D fyrir neðan 700 m dýpi. Hiti þar er áætlaður um 70°C, en vatnsleiðni við holu 9 virðist minni en sunnar á svæðinu. Hvort tengsl holunnar við jarðhitakerfið yrðu góð með skurði við gang D á þessu dýpi er ekkert hægt að segja, en hugsanlegt er að holan skeri gang D á 1230 m dýpi í dag. Árangur af þessari aðgerð er mjög vafasamur og holan myndi líklega aldrei nýtast nema sem varahola fyrir holu 7 eða holu 10.

Borun nýrrar vinnsluholu. Aukin vinnsla mun kalla á borun nýrrar vinnsluholu með sambærilega eiginleika og hola 11. Fyrir staðsetningu á nýrri holu er rétt að líta til svæðisins við holu 2 og þar suður af. Þar skerast gangar B-C og D og hugsanlega lágviðnámsveggirnir (vatnsrásirnar) einnig. Þar gæti berg því verið meira brotið og vatnsleiðni þá góð. Áður en ný vinnsluhola yrði staðsett þyrfti að kanna þetta svæði betur með segulmælingum og viðnámsniðsmælingum. Hóla boruð á þessum stað myndi hitta í sama vatnskerfi og nú er unnið úr, þannig að ekki er um neitt viðbótar vatn að ræða. Hins vegar minnkar niðurdrátturinn vegna rennslitaps í holunni sjálfri við minni dælingu. Þannig er hægt að dæla sama eða meira magni úr tveim eða fleiri holum við minni niðurdrátt í holunum.

8 HELSTU NIÐURSTÖÐUR

Hola 11 sker sömu jarðlög og koma fram í öðrum holum á svæðinu. Helsta vatnsæð holunnar er á 695-715 m dýpi með 78°C heitu vatni. Laumontít ummyndunarbelti byrjar á um 750 m dýpi. Um 20 m misgengi sem rakið hefur verið á yfirborði kemur fram í tengingu jarðlaga holu 11 og holu 9, og hafa jarðlög fallið austan þess.

Þrír lágviðnámsveggir koma fram í viðnámsniðsmælingum og liggja þeir meðfram göngum gegnum jarðhitasvæðið. Lágviðnámsveggirnir eru túlkadír sem vatnsrásir sem flytja jarðhitavatnið inn á svæðið og upp til yfirborðs.

Gangahalli um 7° fellur þökkalega að bestu vatnsæðum í borholum, en þar sem gangar sjást á yfirborði er halli þeirra almennt á bilinu 3-9° og allt upp í 15°. Jarðhitavatnið kemur inn á svæðið úr suðri og streymir í vatnsrásum meðfram göngunum til norðurs.

Gögn benda til að jarðhitakerfið geti viðhaldið rúmlega 8 l/s sjálfrennsli en vatnstaka umfram það valdi niðurdrætti í kerfinu. Upphafsprýstingur í kerfinu er talinn samsvara vatnssúlu sem stæði í 172,25 m yfir sjávarmáli eða um 20 m upp fyrir holutopp holu 7.

Hægt er að herma vinnslusögu síðustu ára með einföldu tank-líkani sem er opið og samanstendur af tveimur vatnsgeymum og tveimur rennslisviðnámmum. Er líkanið notað til að spá fyrir um framtíðarviðbrögð jarðhitakerfisins fyrir þrenns konar vinnslutilfelli. Endurskoða þarf líkanið og spárnar innan fjögurra ára með lengri og samfelldari vinnslusögu.

Reikningar sýna að lekt jarðhitakerfisins í Skútudal er lítil. Meðal-lekt miðuð við hálfúmslíkan með frjálsu vatnsborði er $1,08 \times 10^{-15} \text{ m}^2$. Hermireikningar benda til að stærð jarðhitasvæðisins sé nokkru meiri en núverandi vinnslusvæði og geti verið um eða yfir $0,2 \text{ km}^2$.

Vinnsluspár benda til að jarðhitakerfið sé fullnýtt miðað við núverandi rekstrarastæður. Ársmeðalvinnsla er um 25 l/s og mun vatnsborð í svæðinu lækka um rúma 9 m til aldamóta fyrir þá vinnslu. Verði ársvinnslan aukin um 5 l/s mun vatnsborð lækka um 50 m til aldamóta. Í því tilfelli yrði að bora nýja vinnsluholu og grípa til fleiri ráðstafana til að mæta orkuþörfinni. Náist hins vegar að minnka ársvinnsluna um 2,5 l/s, til dæmis með breytingum í rekstri og orkusparnaði, mun vatnsborð hækka um 11 m til aldamóta. Einungis er spáð um vatnsborðsstöðu jarðhitakerfisins en ekki um hitaástand þess.

Að lokum eru settar fram nokkrar hugmyndir um leiðir til orkuöflunar sem vert er að hitaveitan íhugi. Rétt er að fyrstu aðgerðir hitaveitunnar beinist að orkusparnaði og bætum rekstri jarðhitakerfisins t.d. með breyttu sölukerfi og hraðastýringum á dælum. Næst væri að huga að endurvirkjun hola, borun nýrrar vinnsluholu og byggingu toppaflsstöðvar sem endurhitaði bakfallsvatn.

HEIMILDIR

- Axel Björnsson, Ragna Karlsdóttir, Kristján Sæmundsson og Haukur Jóhannesson, 1976: Jarðhitarannsóknir og boranir í Skútudal við Siglufjörð 1975. Orkustofnun, OS-JHD-7603, 20 s.
- Axel Björnsson, Steinar Þ. Guðlaugsson og Ómar Sigurðsson, 1983: Borun holu 11 í Skútudal fyrir Hitaveitu Siglufjarðar. Orkustofnun, greinargerð AB/SÞG/ÓS-83/01, 5 s.
- Guðmundur I. Haraldsson og Þorsteinn Thorsteinsson, 1983: Loftdæling úr holu 9, Skútudal í október 1982. Orkustofnun, greinargerð GIH/ÞTh-83/01, 4 s.
- Guðni Axelsson, 1985: Hydrology and Thermomechanics of Liquid-Dominated Hydrothermal Systems in Iceland. PhD-Ritgerð, Oregon State University, U.S.A.
- Jens Tómasson, Margrét Kjartansdóttir, Gísli K. Halldórsson, Guðmundur I. Haraldsson, Ragna Karlsdóttir og Ásgrímur Guðmundsson, 1979: Heitavatnsöflun fyrir Hitaveitu Siglufjarðar. Rannsóknir og boranir í Skútudal 1976-78. Orkustofnun, OS-79034/JHD-16, 75 s.
- Kristján Sæmundsson, Ólafur G. Flóvenz, Axel Björnsson og Þorsteinn Thorsteinsson, 1983: Öflun viðbótarvatns fyrir Hitaveitu Siglufjarðar. Orkustofnun, greinargerð KS/ÓGF/AB/ÞTh-83/03, 4 s.
- Ragna Karlsdóttir og Guðni Axelsson, 1986: Vatnsöflun Hitaveitu Dalvíkur. Úttekt á jarðhitasvæðinu við Hamar. Orkustofnun, OS-86044/JHD-12, 51 s.
- Stefán Arnórsson, 1971a: Boranir og athuganir á jarðhita í Skútudal fyrir Siglufjarðarkaupstað. Orkustofnun, 15 s.
- Stefán Arnórsson, 1971b: Jarðhiti í Skútudal. Boranir 1971 og dælu-
prófun á borholu 6. Orkustofnun, 10 s.
- Stefán Sigurmundsson og Þorsteinn Thorsteinsson, 1973: Dælu-
prófun á Siglufirði 19-27.09.73. Orkustofnun, OS-JHD-7319, 11 s.

VIÐAUKI A

Borun holu 11 í Skútudal

BORUN HOLU 11 Í SKÚTUDAL FYRIR HITAVEITU SIGLUFJARÐAR

Inngangur

Hitaveita Siglufjarðar hefur undanfarið nýtt vatn úr tveimur holum á jarðhitasvæðinu í Skútudal. Þetta eru hola 7, sem úr fást 23 l/s af 67°C heitu vatni við 126 m niðurdrátt og hola 10 sem gefur 3-4 l/s af 70°C heitu vatni við 176 m niðurdrátt. Hola 9 var notuð á árunum 1981 og 1982 og gaf 2 til 2,5 l/s af 77°C heitu vatni, en hún stóð ekki undir þeirri dælingu og var notkun hennar því hætt. Það lætur nærri að meðal ársdæling jarðhitavatns úr borholunum í Skútudal hafi verið um 25 l/s og var vatnsborð í holunum orðið nokkuð stöðugt við þá dælingu. Nokkuð skorti á að þetta vatnsmagn væri nægjanlegt til upphitunar húsa í bænum og borun þriggja síðustu hola, þ.e. 8, 9 og 10, hefur ekki skilað neinum umtalsverðum árangri. Það er því talið rétt að freista þess að afla meira vatns í Skútudal með frekari borunum. Ný hola var boruð sumarið 1983 með jarðbornum Narfa og ber heitið SN-11.

Staðsetning holu SN-11

Áður en ákvörðun var tekin um borun holu 11 voru ýmsar aðrar vatnsöflunarleiðir athugaðar gaumgæfilega. Meðal annars var kannað hvort vænlegt væri að dýpka einhverja eldri holanna, t.d. holu 7, 9 eða 10. Einnig var athugað hvort ráðlegt væri að bora skáholu frá holu 7 til austurs inn undir fjallshlíðina. Þessar athuganir og vangaveltur eru raktar í greinargerð Orkustofnunar frá 5. mars 1983, en niðurstaðan var sú að vænlegasta vatnsöflunarleiðin væri að bora nýja holu beint niður nokkru austan við holu 7. Við staðsetningu holunnar var einkum litið á viðnáms- sniðsmælingar, segulmælingar, hitamælingar í borholum, viðnáms- mælingar í borholum og vatnsstöðumælingar og dæluprófanir. Hola 11 er 60-65 m fjær ganginum, sem laugarnar komu upp við, heldur en hola 7 og ætti því að skera hann á 900-1000 m dýpi. Hún er um 90 m frá vatnsleiðara sem fannst í viðnáms-sniðsmælingum og ætti því einnig að skera hann á svipuðu dýpi. Holur 6 og 7 er vatnsgæfustu holur á svæðinu og það þótti því rétt að hafa holuna í grennd þeirra því þar mætti búast við einna mestri lekt í berginu. Með því að skera æðarnar neðan en í holu 7 voru einnig líkur á því að fá mætti nokkuð heitara vatn.

Borun holunnar

Framkvæmdir við holu 11 hófust sumarið 1982 og var þá gert borplan og forborað í 36 m. Þá um haustið var sýnt að ekki næðist að bora holuna fyrir veturinn og var því framkvæmdum frestað. Hafist var handa að nýju vorið 1983. Flutningur borsins og undirbúningur að borun hófst 30. apríl og stóð til 17. maí. Þetta tók nokkuð langan tíma vegna mikilla snjóa og ófærðar. Borunin sjálf hófst 17. maí. Fyrst var fódrað með lausri fódringu niður á 40 m dýpi en síðan var borað með 8 1/2" krónu áfram niður á 276,8 m dýpi. Var þá ákveðið að fódra holuna. Hjálparfóðringin var tekin upp og holan síðan rýmuð með 12 1/4" krónu niður í 215 m dýpi. Áður en rýming hófst stóð vatnsborð á 132 m. Síðan var fódrað með 11 3/4" fódringu í 211 m. Að því búnu var sett laus hjálparfóðring úr samanskrúfuðum 9 5/8" rörum innan í fódurrörið. Náði sú fódring niður á 165,14 m. Síðan var borað með 8 1/2" krónu niður á 713,2 m. Skoltap jókst verulega á 711,2-712,0 m dýpi. Var þá ljóst að samilega góð æð væri komin í holuna og var því ákveðið að halda borun áfram með svo kallaðri sogborun. Dælt var lofti á milli fódringar og hjálparfóðringar niður í holuna til þess að létt vatnssúluna í borun. Þetta var gert til þess að koma í veg fyrir að svarf færi út í æðarnar sem eru með undirþrýstingi á þessu jarðhitasvæði vegna langvarandi vatnsvinnslu. Síðan var borað með sogborunaraðferðinni fram til 7. júlí niður á um 875 m dýpi. Við það var notuð 8 1/2" króna. Dagana 7.-10. júlí var holan loftdæld og lauk þar með borverki.

Dæluprófun og hitamælingar

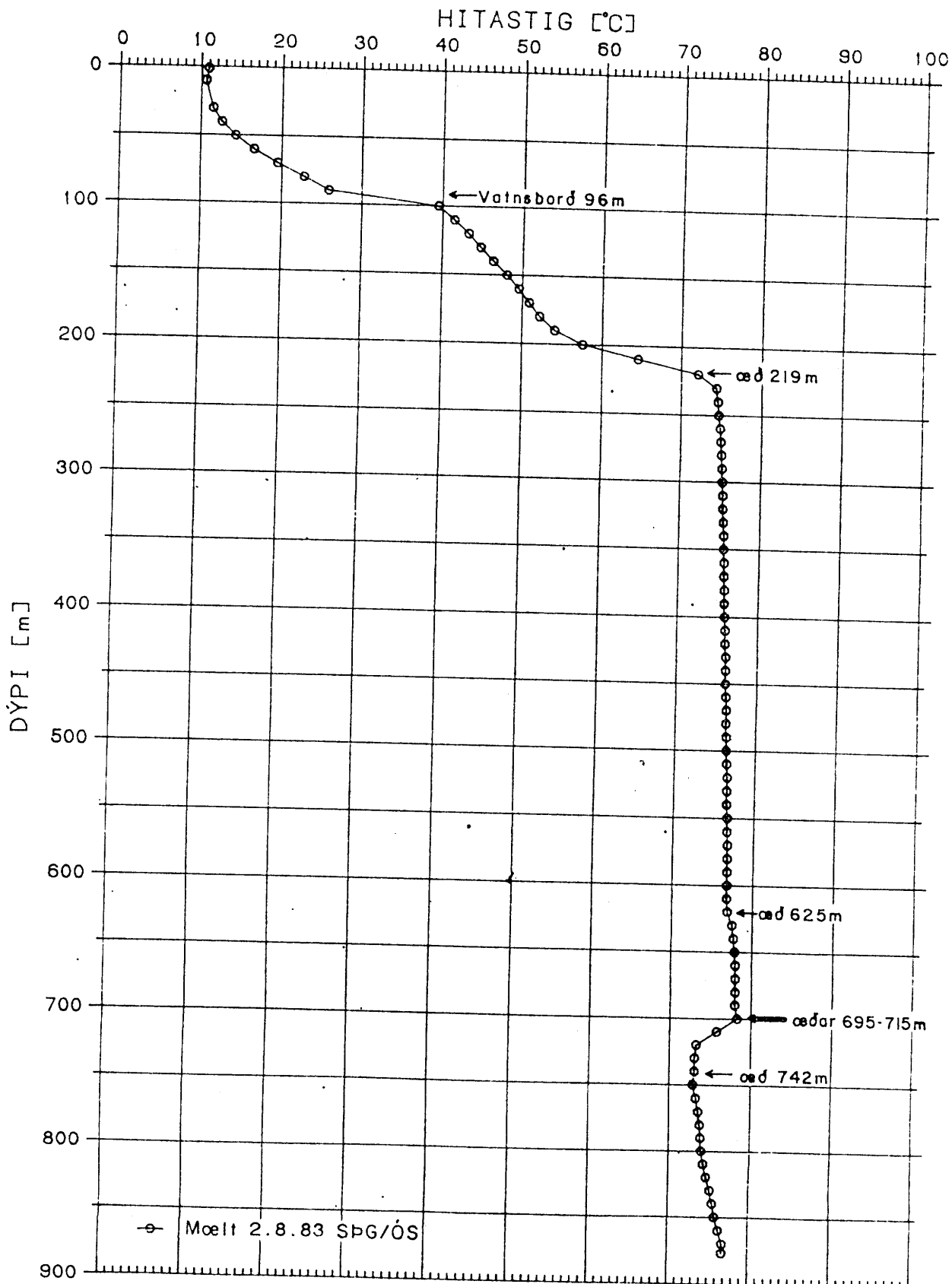
Allmargar hitamælingar voru gerðar í holunni meðan á borun stóð. Auk þess var holan hitamæld 2. ágúst 1983 og er sá hitamæliferill sýndur á meðfylgjandi mynd. Vatnsborð í holunni var þá á um 96 m dýpi. Greinilega koma fram 4 æðar í holunni. Sú efsta er á 219 m dýpi, erfitt er að segja til um hitastig vatnsins í þeirri æð, en það gæti verið nálægt 50-60°C. Einnig vottar fyrir æðum á um það bil 625 m og 742 m. Þar koma fram tvær greinilegar æðar og er hitastigið í þeim nálægt 78°C. Dýpi á æðarnar fyrir neðan 200 m og rétt fyrir neðan 700 m er í góðu samræmi við það skoltap sem fram kom í borun. Ekki er ljóst hversu mikið vatnsmagn hver æð um sig gefur en dæluprófanir í lok borunar benda til þess að aðalæðar holunnar séu fyrir neðan 700 m og að æðin á 219 m dýpi sé óveruleg.

Undir lok borunarinnar og eins eftir að borun lauk var holan dælu-
prófuð bæði með því að dæla á hana vatni og eins með því að dæla
úr henni með lofti. Meginniðurstöður þessara athugana eru dregnar
saman í greinargerð Ómars Sigurðssonar sem fylgir hér með. Þar
kemst hann að þeirri niðurstöðu að hola 11 sé áþekk hola 7, nema
hvað vatnsgæfni hennar sé allt að þrefalt meiri. Hann áætlað að
vatnsborð falli ekki neðar en í um það bil 170 m við 35 l/s dæl-
ingu úr holunni. Með samanburði við hola 7 má draga þá ályktun að
þessum niðurdrætti verði náð fljótlega eftir að dæling hefjist en
síðan breytist vatnsborðið lítið. Að sjálfsögðu er veruleg óvissa
í þessum tölum eins og ávallt þegar langtímahegðun hola er metin
út frá skammtímadælingu. Endanlegar tölur um afköst holunnar og
hegðun jarðhitasvæðisins koma ekki í ljós fyrr en farið verður að
dæla með djúpdælu um lengri tíma. Þess er vænst að betri upplýs-
ingar fáiast á komandi vetri eftir að dæla hefur verið sett í
holuna og hún tekin í vinnslu.

Fyrirhuguð vatnsvinnsla

Miðað við ofanefndar áætlaðar tölur um niðurdrátt og vatnsmagn
verður að telja æskilegt að setja dælu niður á 200 m dýpi. Verði
það gert og vel fylgst með vatnsmagni og vatnsstöðu í kerfinu í
nokkra mánuði ættu að fást áreiðanlegar upplýsingar um eiginleika
jarðhitakerfisins og hvernig haga ætti vatnsvinnslu í fram-
tíðinni. Verði ekki unnt að setja dælu svo djúpt er hætt við að
lakari upplýsingar fáiast. Eins er hætt við að dælur í holum 7 og
11 nýtist þá illa þar sem þær keppa um vatn af svæðinu og niður-
dráttur í báðum holum í hámarki þó vatnsvinnslan af svæðinu í
heild sé nær sú sama.

SKÚTUDALUR HOLA SN-11



VIÐAUKI B

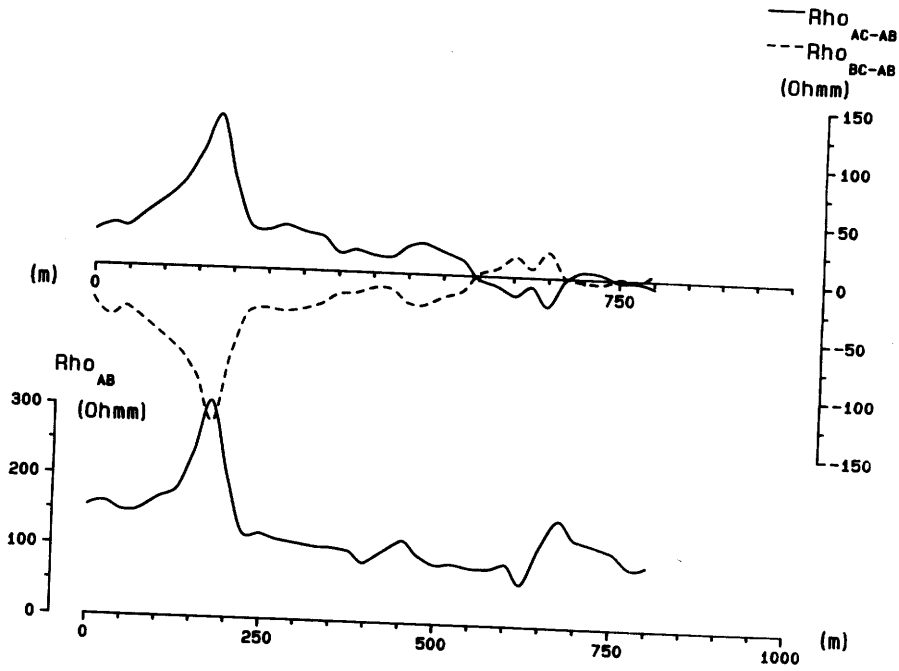
Um viðnámsmælingar

Viðnámsmælingar eru samheiti yfir flokk mælinga sem beinast að því að mæla eðlisviðnám jarðar. Þær byggja flestar á þeirri reglu að sendur er út gegnum jörðu, rafstraumur milli tveggja straumskauta og mæld sú spenna sem straumurinn skapar milli tveggja spennuskauta. Reiknað er út svonefnt sýndarviðnám sem ræðst af hlutfalli mældrar spennu og straums, og innbyrðis afstöðu straum- og spennuskauta. Sýndarviðnámið þarf síðan að túlka yfir í raunverulegt eðlisviðnám jarðar, en það getur verið mismunandi, bæði með dýpi og milli mælistaða.

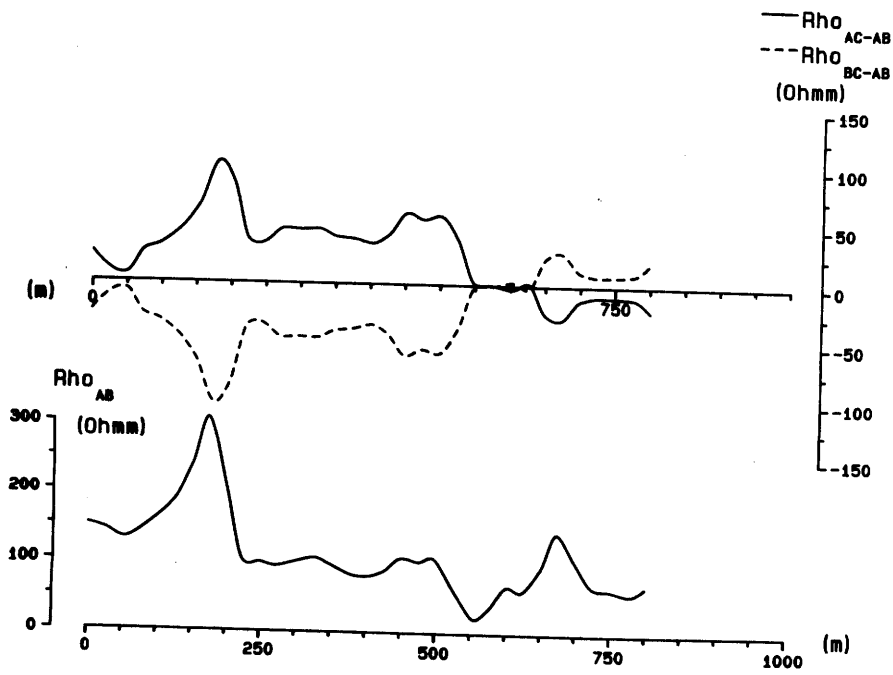
Reynslan hefur sýnt að oft fer saman lágt eðlisviðnám í jörðu og vatnsleiðandi sprungur eða gangar. Tilgangur viðnámsmælinga er að finna og afmarka slík lágviðnámssvæði í berggrunninum.

Sumarið 1981 var fyrst reynd hérlendis ný mæliaðferð sem kölluð er viðnáms-sniðsmæling. Hún hefur reynst sérlega hentug til leitar að vatnsleiðandi sprungum þar sem þær koma fram sem lóðréttir lágviðnámsveggir. Í mælingunum eru notuð 3 straumskaut (A, B og C) og tvö spennuskaut (M og N). Straumskautunum A og B, og spennuskautunum er raðað á línu og straumskauti C er komið fyrir mjög langt í burtu. Mæld eru þrjú sýndarviðnámsgildi ρ_{AB} , ρ_{AC} og ρ_{BC} . Síðan er straumskautunum A og B, og spennuskautunum hliðrað eftir mælilínunni og ný sýndarviðnám mæld. Ef jörðin er einungis gerð úr láréttum viðnámslögum verða öll viðnámsgildin eins, en í grennd við lóðrétt viðnáms-skil raskast þetta. Ef teiknaðir eru tveir viðnámsferlar, $\rho_{AC}-\rho_{AB}$ og $\rho_{BC}-\rho_{AB}$ eftir mælilínu, þá skerast þeir, í einföldum tilvikum, beint yfir lóðréttu viðnáms-skilunum. Þannig má í einföldum tilvikum finna stefnu lágviðnáms-sprungu með nokkrum mælilínum, en slík lágviðnáms-sprungu er síðan túlkuð sem lóðrétt vatnsfyllt sprunga í berggrunninum.

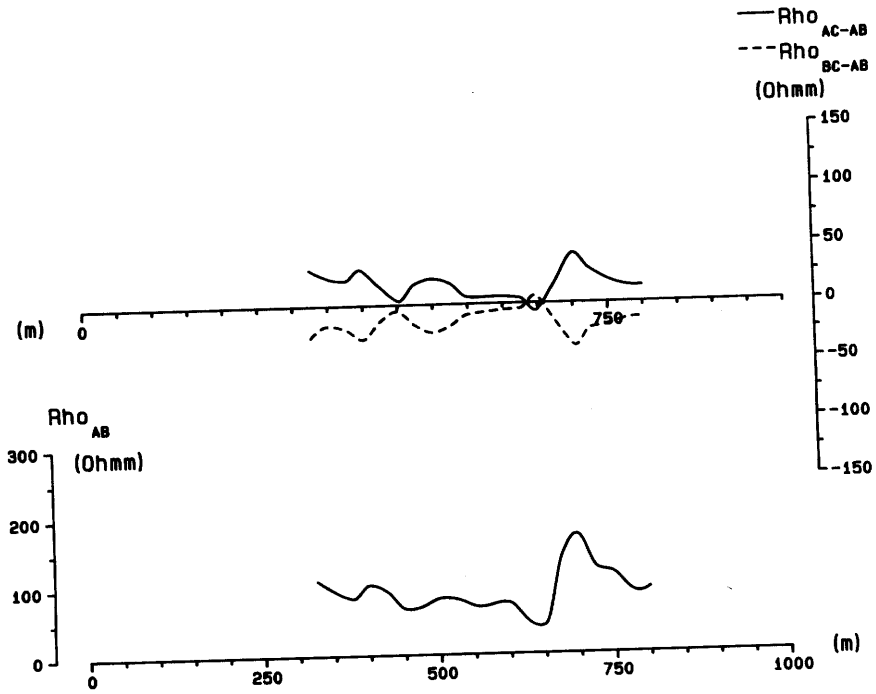
SIGLUFJÖRDUR LINA 1
AB/2 = 250M
FRUMGÖGN



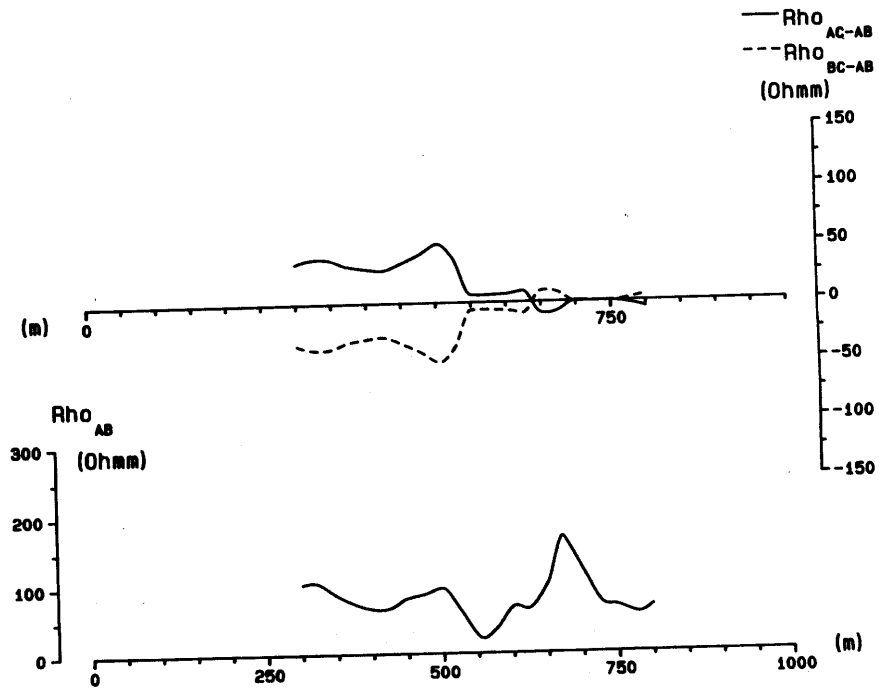
SIGLUFJÖRDUR LINA 1
AB/2 = 250M
LIKAN



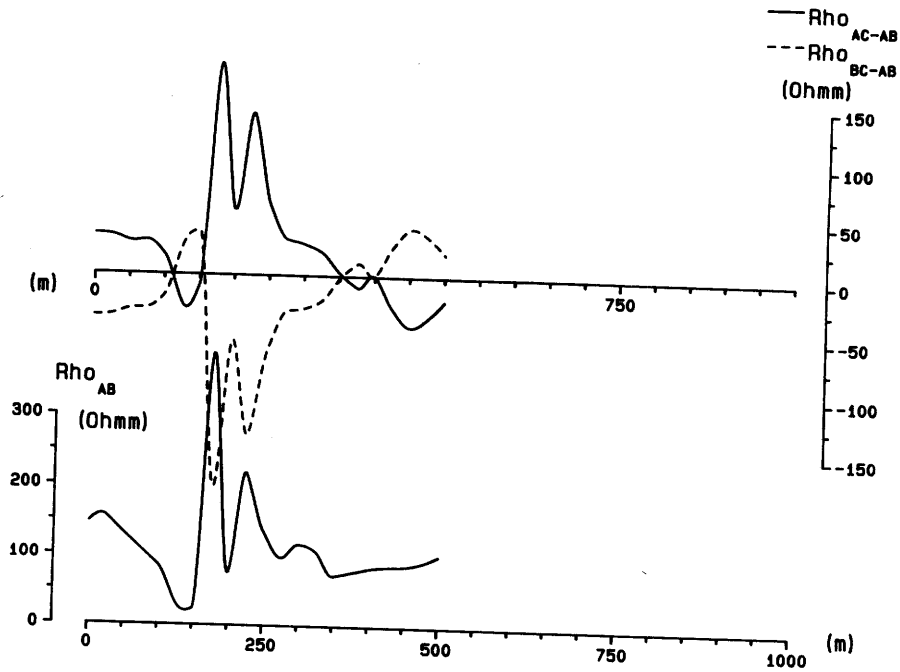
SIGLUFJÖRÐUR LINA 1
AB/2 = 350M
FRUMGÖGN



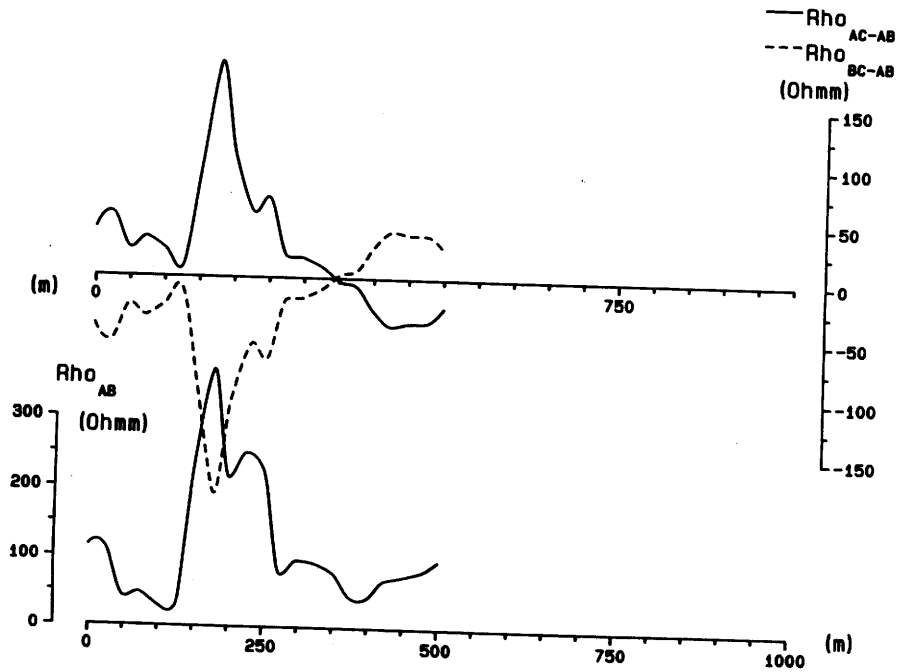
SIGLUFJÖRÐUR LINA 1
AB/2 = 350M
LIKAN



SIGLUFJÖRDUR LINA 2
AB/2 = 250M
FRUMGÖGN

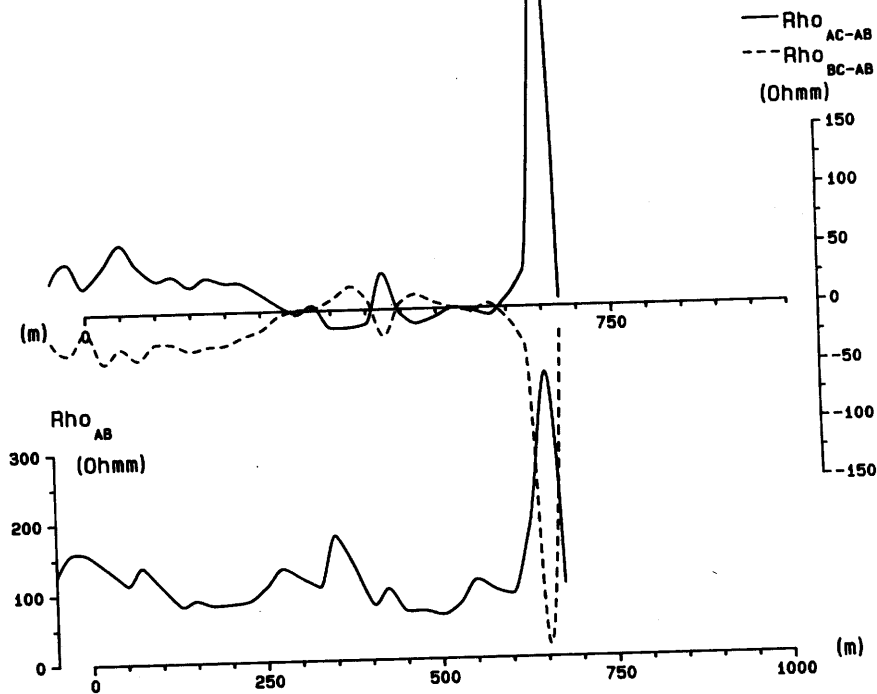


SIGLUFJÖRDUR LINA 2
AB/2 = 250M
LIKAN



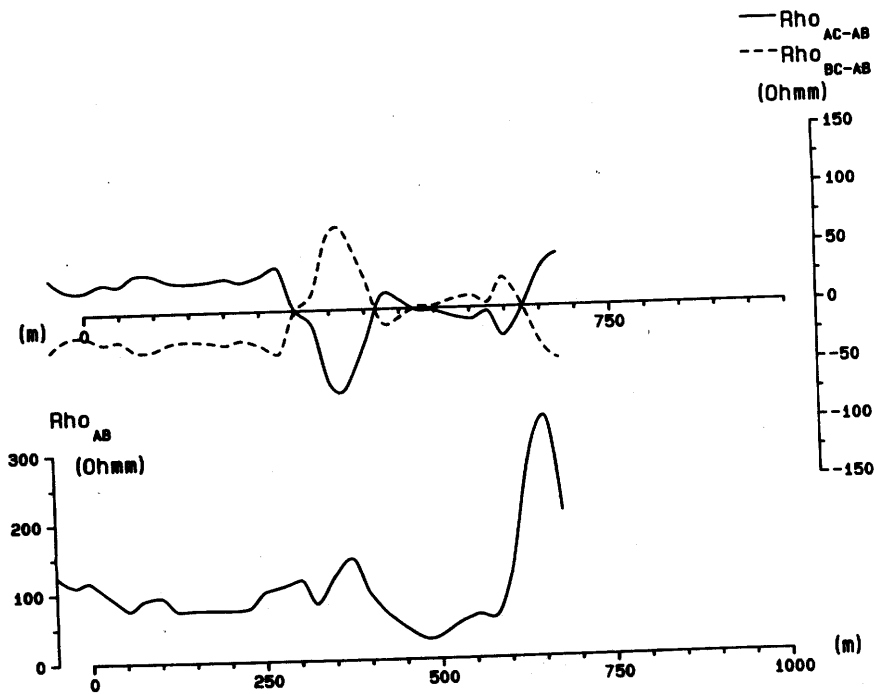
SIGLUFJÖRDUR
AB/2 = 250M
FRUMGÖGN

LINA 3



SIGLUFJÖRDUR
AB/2 = 250M
LIKAN

LINA 3





VIÐAUKI C

Vatnafræðileg gögn

Í töflu C-1 eru birt gögn frá upphafi dælingar úr holu 7 en hún hófst 23. janúar 1977.

Tafla C-1 Skútudalur hola 7

Dagsetning	Tími	Vatnsborð (m)	Hiti (°C)	Rennsli (l/s)	ATHUGASEMDIR
770123	1100	0,00	66,00	18,00	Dæla gangsett H-7
770123	1110	3,00	66,00	40,50	Dæla stoppar
770123	1115	0,00	66,00	0,00	Dæla í gang
770123	1125	19,00	66,00	40,50	
770123	1135	22,00	66,00	40,50	
770123	1152	27,00	66,00	40,50	
770123	1200	28,50	66,00	40,50	
770123	1215	31,50	66,00	40,50	
770123	1230	34,50	66,00	40,50	
770123	1245	37,00	66,00	40,50	
770123	1250	38,00	66,00	40,50	Dæla stoppar
770123	1415	0,00	66,00	0,00	Hola full
770123	1432	0,00	66,00	0,00	Dæla sett í gang
770123	1437	23,00	66,00	40,50	
770123	1508	37,00	66,00	40,50	
770123	1538	44,00	66,00	40,50	
770123	1600	48,00	66,00	40,50	Rennsli H-9 0,5 l/s
770123	1605	48,50	66,00	40,50	
770123	1630	52,00	66,00	40,50	
770123	1650	55,00	66,00	40,50	Dæla stoppar
770123	1700	25,00	66,00	0,00	Dæla í gang, ca vb
770123	1733	50,50	66,00	40,50	Dæling minnkuð
770123	1739	43,00	66,00	29,50	
770123	1800	42,00	66,00	29,50	
770123	1815	42,00	66,00	29,50	
770123	2014	34,00	66,00	29,50	
770123	2200	35,00	66,00	29,50	
770124	0030	37,00	66,00	29,50	
770124	0200	37,50	66,00	29,50	
770124	0300	38,50	66,00	29,50	
770124	0400	39,00	66,00	29,50	
770124	0500	39,50	66,00	29,50	
770124	0600	40,00	66,00	29,50	
770124	0700	40,50	66,00	29,50	
770124	0800	40,90	66,00	29,50	
770124	0900	41,20	66,00	29,50	

Dagsetning	Tími	Vatnsborð (m)	Hiti (°C)	Rennsli (l/s)	ATHUGASEMDIR
770124	1000	41,80	66,00	29,50	
770124	1400	41,30	66,00	29,50	
770124	2200	40,00	66,00	29,50	
770125	0800	41,20	66,00	29,50	
770125	1145	49,00	66,00	32,00	Dæling aukin
770125	1545	50,00	66,00	32,00	
770125	1815	50,00	66,00	32,00	
770126	0815	53,00	66,00	32,00	
770126	1130	53,00	66,00	32,00	
770126	1500	54,00	66,00	32,00	
770127	1430	60,00	66,00	32,00	Vb H9 8m, H6 60m,
770127	1800	64,00	66,00	32,00	Rennsli H8 0,23 l/s
770128	1100	67,50	66,00	32,00	
770129	1015	70,00	66,00	32,00	Dæla slær út
770129	1430	37,00	66,00	0,00	Dæla sett í gang
770131	1300	52,00	66,00	32,00	
770201	1200	70,00	66,00	32,00	
770202	1500	72,00	66,00	32,00	
770203	1430	73,00	66,00	32,00	
770204	1430	74,00	66,00	32,00	
770206	1400	76,50	66,00	32,00	
770207	1430	76,00	66,00	32,00	
770208	1100	76,50	66,00	32,00	
770209	1000	76,80	66,00	32,00	
770210	1000	77,50	66,00	32,00	Vb H6 71,5m og
770211	1500	78,50	66,00	32,00	H8 0 l/s, H9 23 m
770213	1430	79,90	66,00	32,00	
770214	1400	80,50	66,00	32,00	
770215	1700	81,00	66,00	32,00	
770216	1330	81,50	66,00	32,00	
770217	1800	82,00	66,00	32,00	
770218	1430	82,50	66,00	32,00	
770221	1330	84,00	66,00	32,00	
770221	1345	84,00	66,00	32,00	Dæling stoppuð
770221	1430	61,00	0,00	0,00	ca. vb, vb H1 6 m,
770221	1500	50,00	0,00	0,00	vb H9 28 m, H8 0 l/s
770221	1530	38,00	0,00	0,00	Dæla sett í gang
770222	1030	82,80	66,00	32,00	
770223	1330	84,00	66,00	32,00	
770224	1030	84,30	66,00	32,00	Dæla stoppuð
770224	1130	61,00	0,00	0,00	Dæla sett í gang
770225	1430	84,50	66,00	32,00	

Dagsetning	Tími	Vatnsborð (m)	Hiti (°C)	Rennsli (l/s)	ATHUGASEMDIR
770226	1030	85,30	66,00	32,00	
770228	1300	85,80	66,00	32,00	
770301	1000	86,50	66,00	32,00	Vb H4 17 m, H6 80 m,
770301	1015	86,50	66,00	32,00	H8 3 m, H9 32 m

Í töflu C-2 er birt vinnslusaga jarðhitakerfisins í Skútudal eins og hún lítur út í dag. Fyrir 1964 voru í Skútudal volgrur og laugar sem áætlað er að hafi haft náttúrulegt sjálfrennsli um 2 l/s (Axel Björns-son o.fl. 1976). Árið 1964 var fyrsta holan boruð sem kom upp með sjálfrennsli. Síðar bættust fleiri holur við og er stuðst við ýmsar skýrslur og greinargerðir Orkustofnunar (sjá heimildir) sem tilgreina sjálfrennsli þessara hola á ákveðnum tíma. Auk þess er tekið tillit til rennslis úr volgrum og þannig áætluð meðalvinnslan fram til 1976. Árið 1976 er Hitaveita Siglufjarðar tekin til starfa og nýtir sjálfrennslið frá Skútudal. Samkvæmt samtali við Þorstein Jóhannesson verkfræðing á Siglufirði telur hann að dregið hafi úr sjálfrennslinu 1976 og það verið 12-14 l/s undir árslok. Þessari dölun er jafnað út yfir árið eins og sýnt er í töflu C-2. Í janúar 1977 var dæla gangsett í holu 7 og eftir það hætti allt sjálfrennsli á svæðinu. Fyrirliggjandi eru aðeins gögn um vatnsborð og dælingu til marsbyrjunar 1977 (tafla C-1) en eftir það, eða til ársloka 1982, er vinnslan áætluð út frá afkastagetu vinnsluholanna (7-10) og meðalárshita á Siglunesi og Reyðará. Frá 1983 eru til gögn um vatnsborð í vinnsluholunum og um rekstur dælanna. Út frá gögnum um rekstur dælanna og afkastaferlum framleiðanda hefur verkfræðistofan Fjarhitun H/F áætlað dælinguna og er meðalvinnsla mánaðar metin út frá því. Mat á meðalvinnslu fyrir tímabilið júní 1984 til ágúst 1985 er gott því þá var í gangi rennslismælir.

Tafla C-2 Vinnslusaga jarðhitakerfisins í Skútudal frá 1963.

Ár	Mán.	Meðalvinnsla (l/s)	Vatnsborð miðað við holu 7 í lok mánaðar (m)	Athugasemdir
1963		2,0		
1964		3,0		
1965		3,0		
1966		2,5		
1967		2,5		
1968		2,4		
1969	jan.-júní	2,4		
	júlí-sept.	2,5		
	okt.-des.	8,3		
1970	jan.-júní	8,3		
	júlí-des.	8,8		
1971	jan.-sept.	8,8		
	okt.-des.	8,9	+ 19,9	
1972		8,9		
1973		8,6		
1974		8,4		
1975	jan.-sept.	8,4		
	okt.	8,4		
	nóv.	13,3	+ 2,4	
	des.	18,2		vinnsla er aukin um miðjan nóv.
1976	jan.-mars	16,8		
	apr.-júní	14,6		
	júlí-sept	13,2		
	okt.-des.	12,4		
1977	jan.	17,6	- 52,0	
	febr.	31,9	- 85,8	
	mars	31,0		
	apr.-júní	25,0		
	júlí-sept.	20,0		
	okt.-des.	23,6		
1978	jan.-mars	25,0		
	apr.-júní	23,0		
	júlí-sept.	19,0		
	okt.-des.	24,0		
1979	jan.-mars	25,0		
	apr.-júní	24,0		
	júlí-sept.	22,0		
	okt.-nóv.	26,0	- 106,5	þann 26/11
	des.	26,0	- 108,1	þann 28/12

Ár	Mán.	Meðalvinnsla (1/s)	Vatnsborð miðað við holu 7 í lok mánaðar (m)	Athugasemdir
1980	jan.	27,0	- 108,4	þann 15/1
	febr.-mars	27,0		
	apr.-júní	25,0		
	júlí-sept.	21,0		
	okt.-des.	24,0		
1981	jan.-mars	26,0		þann 7/9
	apr.-júní	24,0		
	júlí-sept.	22,5	- 110,4	
	okt.-des.	27,0		
1982	jan.-mars	27,0		þann 6/10
	apr.-júní	24,5		
	júlí-sept.	21,0		
	okt.	24,5	- 114,0	
	nóv.-des.	24,5		
1983	jan.	25,0	- 122,4	
	febr.	24,0	- 121,5	
	mars	21,0	- 121,0	
	apr.	20,0	- 124,2	
	maí	20,0	- 105,4	
	júní	22,0	- 89,1	
	júlí	24,5	- 91,6	
	ágúst	26,0	- 104,0	
	sept.	27,0	- 113,1	
	okt.	27,4	- 115,8	
	nóv.	33,8	- 109,4	
	des.	32,6	- 129,9	
	1984	jan.	33,0	- 131,7
febr.		32,8	- 128,6	
mars		29,8	- 119,8	
apr.		27,0	- 110,8	
maí		26,2	- 103,0	
júní		22,3	- 101,5	
júlí		22,0	- 96,8	
ágúst		22,4	- 94,8	
sept.		24,7	- 110,1	
okt.		26,5	- 110,0	
1985	nóv.	28,0	- 111,4	
	des.	29,0	- 115,8	
	jan.	27,3	- 118,0	
	febr.	28,1	- 120,0	
	mars	26,9	- 119,4	

Ár	Mán.	Meðalvinnsla (l/s)	Vatnsborð miðað við holu 7 í lok mánaðar (m)	Athugasemdir
1986	apr.	26,2	- 114,3	
	maí	25,0	- 109,8	
	júní	22,3	- 102,7	
	júlí	22,6	- 101,8	
	ágúst	21,9	- 97,8	
	sept.	21,9	- 97,7	
	okt.	25,9	- 117,5	
	nóv.	26,7	- 123,7	
	des.	28,6	- 124,8	
	jan.	28,6	- 123,4	
	febr.	28,8	- 124,0	
	mars	27,9	- 121,8	
	apr.	24,9	- 112,2	
	maí	23,9	- 108,6	
	júní	20,5	- 95,0	
	júlí	24,0	- 109,0	
	ágúst	23,6	- 108,5	
	sept.	20,0	- 94,7	
	okt.	20,5	- 95,2	
	nóv.	25,4	- 112,8	
	des.	27,2	- 117,0	

Í töflu C-3 er tekin saman meðaltalsvinnslan yfir árið eins og hún hefur verið áætluð í töflu C-2. Miðað er við 1. nóvember 1975, en það er um líkt leyti og sjálfrennsli hófst úr holu 7 og merkjanlegur niðurdráttur varð í jarðhitakerfinu.

Tafla C-3 Ársmeðalvinnsla frá 1. nóvember 1975.

Ár	Meðaltalsvinnsla (l/s)	Vatnsborð í lok árs miðað við holu 7 (m)
1975	9,87	+ 2,4
1976	14,25	
1977	23,86	
1978	22,75	
1979	24,25	- 108,1
1980	24,25	
1981	24,88	
1982	24,25	- 122,1
1983	25,28	- 129,9
1984	26,98	- 115,8
1985	25,28	- 124,8
1986	24,61	- 117,0