



ORKUSTOFNUN  
Jarðhitadeild

Ólafur G. Flóvenz  
Margrét Kjartansdóttir  
Sigmundur Einarsson  
Hjálmar Eysteinsson  
Steinar Þór Guðlaugsson

# LAUGALAND Á ÞELAMÖRK

## Jarðhitarannsóknir 1983-1984

OS-84095/JHD-17  
Reykjavík, desember 1984

Unnið fyrir  
Hitaveitu Akureyrar



**ORKUSTOFNUN**  
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

**Ólafur G. Flóvez  
Margrét Kjartansdóttir  
Sigmundur Einarsson  
Hjálmar Eysteinsson  
Steinar Þór Guðlaugsson**

# **LAUGALAND Á ÞELAMÖRK**

## **Jarðhitarannsóknir 1983-1984**

**OS-84095/JHD-17**  
Reykjavík, desember 1984

**Unnið fyrir  
Hitaveitu Akureyrar**

## ÁGRIP

Gerð hefur verið ítarleg úttekt á jarðhitasvæðinu við Laugaland á Þelamörk. Mældar voru viðnámssniðsmælingar sumurin 1983 og 1984, segulkort sem gert var árið 1979 túlkað, borholurnar mældar og svarf úr þeim endurgreint. Jarðmyndanir í nágrenni Laugalands voru kortlagðar og eldri gögn endurmetin.

I mælingunum 1983 kom í ljós að áberandi lágviðnámssprunga liggur um Laugalandssvæðið. Hún er þrískipt. Tveir hlutar hennar hafa norðvestlæga stefnu en tengjast saman með þeim þriðja sem hefur norðaustlæga stefu og liggur um laugasvæðið neðan Þelamerkurkurskóla nær samsíða Hörgá. Hverahrúðursbreiðan í hlíðinni suðaustan skólans sýnist tengd þeim hluta láviðnámssprungunar sem hefur norðvestlæga stefnu og liggur austar.

Lágvíðnámssprungan tengist ekki neinni sýnilegri misfellu í jarðlöögum né neinu segulfráviki á segulkortinu. Talið er að hún tákni nær lóðréttu aðfærsluæð jarðhitasvæðisins.

Æðarnar í holum 1 - 4 virðast tengjast göngum. Athygli vekur að hitastig lækkar neðan 660 m í holu 2. Þykir það benda sterklega til þess að sá hluti sprungunnar sem fylgir árbakkanum hafi austlægan halla eða að vatnið komi upp skáhallt eftir sprungufletinum sjálfum að laugunum.

Athugun á aðstæðum við hverahrúðursbreiðurnar uppi í hlíðinni ofan Laugalands og hitamælingar í holu 4 benda sterklega til þess að jarðhiti á þeim hluta svæðisins sé löngu kulnaður og lítill ávinningur yrði því af frekari borunum þar.

Með samanburði viðnámsmælinga við önnur jarðhitasvæði þar sem aðstæður eru svipaðar og á Laugalandi má áætla að 30 - 40 l/s af 92°C vatni sé að hafa þaðan. Mat á virkjunkostnaði Laugalandssvæðisins bendir til að líklegasta orkuverð frá virkjun þaðan verði um 0,25 krónur á kílowattstund. Þetta er varfærnislegt mat sem miðast við að það takist að afla 25 l/s af svæðinu með borun tveggja 1400 m djúpra hola. Laugalandssvæðið er því talinn álitlegur virkjunkostur fyrir Hitaveitu Akureyrar. Að mati Jarðhitadeildar Orkustofnunar er næsti áfangi í rannsókn svæðisins borun nokkurra grunnra rannsóknarholu til þess að staðsetja betur uppstreymisrás heita vatnsins en að því loknu tæki við borun vinnsluholu.

EFNISYFIRLIT

	bls.
ÁGRIP	2
EFNISYFIRLIT	3
MYNDA- OG TÖFLUSKRÁ	4
1 INNGANGUR	5
2 JARÐHITI Á YFIRBORDI	7
3 BORANIR OG ÁRANGUR ÞEIRRÁ	10
4 JARÐFRÆÐIKORTLAGNING	13
4.1 Gerð jardlagastaflans	13
4.2 Strík og halli	13
4.3 Misgengi og ganger	15
5 SEGULMÆLINGAR	17
6 VIÐNÁMSSNIÐSMÆLINGAR	20
7 VIÐNÁMSMÆLINGAR MEÐ SCHLUMBERGERAÐFERD	23
8 BORHOLUJARÐFRÆÐI	25
9 SAMANBURÐUR Á GÖNGUM Í BORHOLUM OG Á SEGULKORTI	30
10 HITAMÆLINGAR Í BORHOLUM	33
11 HAGKVÆMNI VIRKJUNAR Á LAUGALANDI	38
12 NIÐURSTÖÐUR OG TILLÖGUR	42
HEIMILDASKRÁ	44
VIÐAUKI A: LÝSING JARÐLAGASTAFLANS	47
VIÐAUKI B: SEGULKORT	51
VIÐAUKI C: VIÐNÁMSSNIÐSMÆLINGAR, LÍKÖN OG FRUMGÖGN	57
VIÐAUKI D: BORHOLUMÆLINGAR OG JARÐLAGASNIÐ	75
VIÐAUKI E: VARMALEIÐNILÍKÖN	83

SKRÁ YFIR MYNDIR

	bls.
1 Afstöðumynd	5
2 Jarðfræðikort	14
3 Túlkun segulmælinga	17
4 Túlkun viðnámssniðsmælinga	22
5 Eðlisviðnám á 500 m dýpi	24
6 Skipting jarðlaga í syrpur	26
7 Einfaldað jarðlagasnið og dreifing ummyndunarsteinda	27
8 Túlkun borholumælinga	31
9 Hitamælingar í borholm	34
10 Einfölduð þrívíddarmynd	36

SKRÁ YFIR TÖFLUR

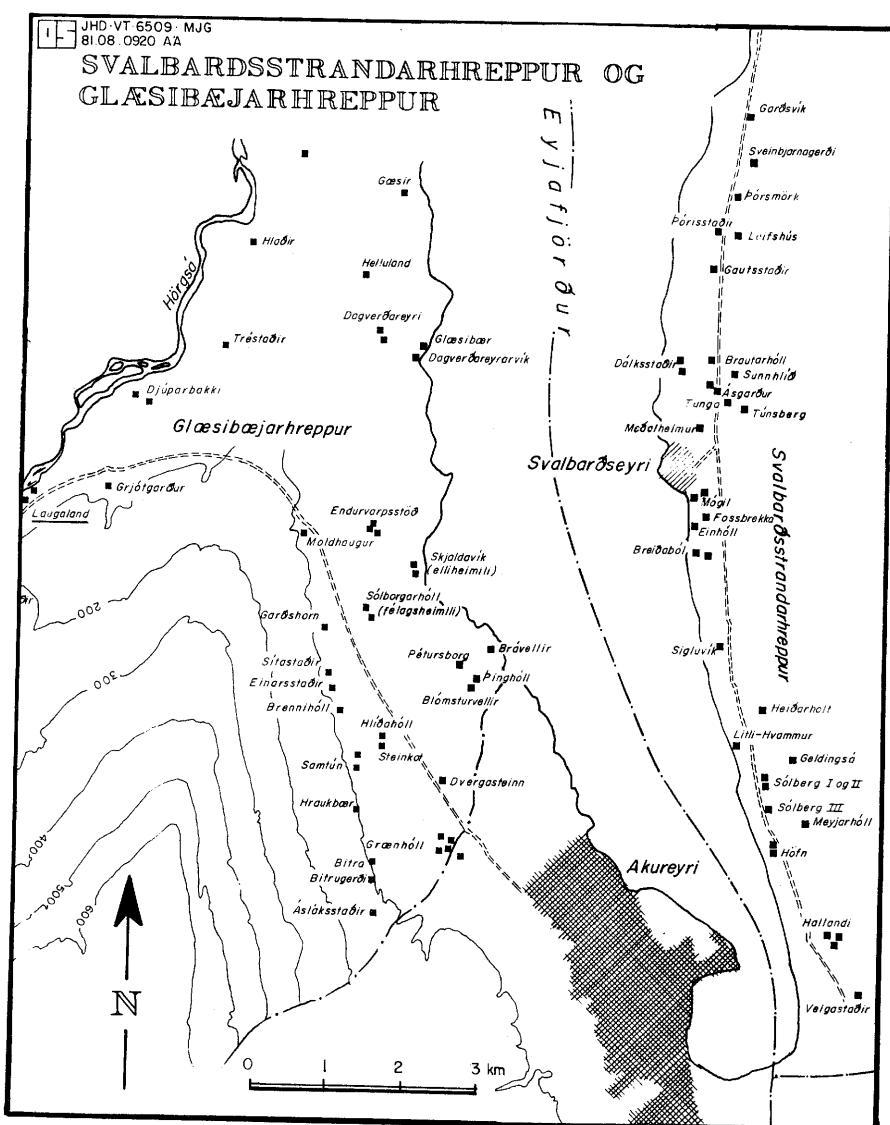
1 Mælingar á jærðhitnum við Laugaland fram til 1944	8
2 Yfirlit um borholur við Laugaland	12
3 Mælingar á stefnu, þykkt og halla ganga	15
4 Stefna segulfrávika og orsákir þeirra	18
5 Gangar í holum 2 og 3	30
6 Vatnsæðar í holum 1 - 4 á Laugalandi	33

## 1 INNGANGUR

Undanfarin ár hefur stöðugt verið unnið að rannsóknum á jarðhitastöðum í Hrafnagils- og Öngulstaðahreppum og á Glérárdal í þeim tilgangi að afla meira heits vatns fyrir Hitaveitu Akureyrar. Þrátt fyrir að tvö ný vinnslusvæði hafi bæst við á síðustu fimm árum hefur einungis með naumindum tekist að halda í horfinu vegna ört minnkandi orkumáttar jarðhitasvæðanna á Laugalandi og Ytri-Tjörnum.

Að auki hefur verið unnið að rannsóknum á jarðhitasvæðinu að Reykjunum í Fnjóskadal með langtímasjónarmið í huqa.

Rannsóknir á jarðhitasvæðinu á Laugalandi á Þelamörk hafa á hinn bóginn legið niðri síðan árið 1971, ef frá er talin segulkortlagning árið 1979. Ástæðan er sú að leggja þarf um 10 - 13 km langa aðveitumálfra Laugalandi til Akureyrar ef nýta á heitt vatn baðan (mynd 1).



## MYND 1 Afstöðumynd af Laugalandi á þelamörk

Eftir því sem vatnspörfin á Akureyri eykst og líkur á að finna meira vatn frammí í firði hafa dofnað hefur athyglan beinst æ meir að Laugalandi á þelamörk. Reyna þarf á fá svör við þeirri spurningu hvort vænta megi það mikils heits vatns þaðan að réttlætt geti frekari boranir og rannsóknir á svæðinu. Þá hafa einnig verið uppi hugmyndir um að nýta afgangangsvarma frá hugsanlegu álveri norðan Akureyrar til hitunar á Akureyri. Til þess þyrfti að leggja aðveituæð sem gerði nýtingu Laugalandssvæðisins fýsilegri.

Með ofangreind atriði í huga tók Orkustofnun að sér að rannsaka Laugalandssvæðið ítarlega sumurin 1983 og 1984. Öll eldri gögn skyldu yfirfarin og endurmetin, allar borholur mældar og síðast en ekki síst skyldu gerðar viðnámssniðsmælingar til að freista þess að finna hvor vatnsleiðandi sprungur væri að finna.

Endurvinnsla eldri gagna hófst strax vorið 1983. Borholurnar voru mældar þá um vorið og viðnámssniðsmælingarnar gerðar fyrri hluta sumars. Sumarið 1984 var síðan bætti við viðnámssniðsmælingum í ljósi niðurstæða mælinganna frá árinu áður. Niðurstöður verksins er að finna í þessari skýrslu.

## 2 JARDHITI Á YFIRBORDI

I ferðabók Eggerts Ólafssonar og Bjarna Pálssonar frá árunum 1772 - 1775 er greint frá því að heit laug sé við Laugaland á þelamörk. Engar nánari lýsingu er þar að finna á staðháttum.

Í frásögn af ferð frá Kaupmannahöfn til brennisteinsnámannna í Norður-Þingeyjarsýslu sumarið 1839 greinir Jónas Hallgrímsson frá því er hann kom að Laugalandi á þelamörk þann 22. júní.

"Jeg forspurgte mig men ingen kunne give mig nogen Opplysning om varme Kilder der i Nærheden, tværtimod blev deres Tilværelse aldeles benægtet. Jeg tog da fra Gaarden med uforettet Sag, men da jeg var kommen ca. et Par Hundrede Fv. norden for Gaardens Hjemmemark, bemærkede jeg i Bjærgskrænten ovenfor Vejen en hvidagtig Strive, blottet for al Vegetation, som tydede hen paa en der i Engen udsædvanlig Bjergart. Jeg begav mig da derhen og fandt en Mængde kiselsinter, udmarket ved mange Planteavtryk etc., og fulkommen analogt med det, som de varme Kilder i Almennelighed afsætter. Jeg har ved ingen varme Kilder fundet Kiselaftsætningen i større Overflodighed, undtagen ved Geysir og maaske Reykjahverar i Ölverset. De varme Kilder var her imidlertid aldeles forsvundne og Grunden ikke kennelig varm. Jeg kunne tydelig bemærke flere forskellige Punkter, hvor de varme Kilder Tid efter anden havde banet seg vej til Overfladen, men nu er samtlige disse Kanaler tilstoppede, og maa have været det i en Række af Aar, saaledes at det varme Vand nu ikke mer kan trænge sig frem af Overfladen. Den i Vannet indeholdte Kisell har ved at afsætte sig paa Vandaarerernes Vægge spærret det Vejen. De nu forsvundne Kilder har efterhaanden flyttet sig nedad, og maaske vil de endnu en Gang bryde ud nedenfor det allerede afsatte Kisellag."

Þessi frásögn Jónasar er merkileg ef sönn er því þá hefur jarðhitinn á Laugalandi horfið á tímabili.

Þorvaldur Thoroddsen skoðaði jarðhitann við Laugaland árið 1882 (Þorvaldur Thoroddsen 1958). Hann mældi  $32^{\circ}\text{C}$  hita í lauginni við ána, en segir að enginn hiti sé í hverahrúðrinu í hlíðinni fyrir norðan og austan bæinn.

Þorkell Þorkelsson (1920) skoðaði staðhætti við Laugaland á þelamörk árið 1917. Hann ritar:

"Nedenfor Gaarden Laugaland i Hörgárdalur pibler varmt Vand ud af nogle smaa Huller i Konglomeratet paa Hörgæns höjre Bred 24 m. o. H. Temperaturen i de to største Huller blev maalt i 1917. I det sydligste viste termomet 30°C, i det andet 25°C.

Afstanden mellem disse Huller er 13 m. I Bjergskraaningen Nö for Laugaland, 84 m o. H. findes den af Th. Thoroddson omtalte Flade af Kiselsinter. Her sivede i 1917 en smule Vand ud, hvis Temperatur var  $13,6^{\circ}\text{C}$  medens luftens Temperatur var  $8,2^{\circ}\text{C}.$ " Þetta er eina heimildin, sem greinir frá einhverri velgju við kísilbreiðurnar uppi í hlíðinni.

Trausti Einarsson mældi laugarnar í ágúst 1938. Hann gefur upp hitastig og rennsli úr tveimur augum, 0,1 l/s af  $47^{\circ}\text{C}$  vatni úr öðru og sama magn af  $12,5^{\circ}\text{C}$  vatni úr hinu. Þá getur hann um  $60^{\circ}\text{C}$  hita í því þriðja en setur jafnframt spurningarmerki við töluna. Engar upplýsingar eru um rennsli úr því.

Í skýrslu rannsóknarráðs ríkisins (1944) segir að neðan við borholuna (holu 1) nokkra metra upp með ánni séu laugar í völubergi og flæði áin þar oft yfir. Hiti mældist þar  $45^{\circ}\text{C}$  og rennsli 0,3 l/s. Einnig segir að hæsta laugin hafi þornað upp við borunina, en holan var boruð á árunum 1941-1944.

Í töflu 1 eru dregnar saman allar eldri mælingar á jarðhitanum við Laugaland.

TAFLA 1 Mælingar á jarðhitanum við Laugaland fram til 1944.

Ártal	Hitastig í laug °C	Rennsli l/s	Heimild
1772-5	getið um laug		Eggert Ólafsson (1943)
1839	engin laug sögð		Jónas Hallgrímsson (1933)
1882	32		Þorvaldur Thoroddson (1910)
1917	30		Þorkell Þorkelsson (1920)
1938	47 (60 ?)		Trausti Einarsson (1942)
1944	45	0,3	Rannsóknarráð ríkisins (1944)

Í skýrslu Orkustofnunar eftir Kristján Sæmundsson o.fl. (1971) segir að áður en borað var á Laugalandi hafi þar verið  $30-45^{\circ}\text{C}$  heitar laugar á árbakkanum. Einnig segir að kísilhrúðrið sé eldra en öskulagið H4 sem talið er að hafi komið frá eldgosi í Heklu fyrir um það bil 4400 árum.

Stærð hverahrúðursskellunnar er um það bil 20 sinnum 30 m, aflangt í stefnu austur vestur. Um 100 m sunnar og ofar í hlíðinni má einnig sjá nokkrar leifar af hverahrúðursskellu. Jarðhitinn á árbakkanum virðist nú með öllu horfinn. Völubergið sem heita vatnið spratt fram úr er samlímd ármöl frá lokum ísaldar fyrir u.p.b. tíu þúsund árum. Á um 50 m kafla í árbakkanum er mölin samlímd vegna jarðhita en annars staðar ekki. Samlímingin bendir til þess að þarna hafi einhvern tíma verið mun meiri jarðhiti á yfirborði en skriflegar heimildir bera vott um.

Ef allar athuganir á jarðhitanum eru teknar trúanlegar má af þeim marka að jarðhitavirkini hafur verið allbreytileg. Kísilhrúðrið ofan við þjóðveginn og samlímda völubergið á árbakkanum benda til þess að jarðhitinn á yfirborði hafi einhvern tíma í fyrndinni verið mun meiri en síðustu tvær aldirnar og öskulagarannsóknir benda til þess að virknin hafi verið hvað mest á fyrstu árbúsundum eftir ísaldarlok. Erfitt er að meta áreiðanleika lýsinga síðustu tveggja alda en ef þær eru réttar hafa laugarnar á árbakkanum horfið á árunum 1772 - 1839 en verið komnar aftur árið 1882 og þá orðnar 32°C heitar. Hitinn er svipaður 1917 og þá mælist jafnframt einhver velgja við hverahrúðurs-skellurnar sem þó er á mörkum þess að teljast merki um jarðhita. Mælingar 1938 og 1944 benda svo til þess að hitinn hafi aukist í 45°C. Ekki er vitað hvenær laugarnar hurfu alveg en telja má nokkuð víst að þær megi kenna um áhrifum borana.

Gert er ráð fyrir að uppstreymisrásir heita vatnsins séu nær lóðréttar sprungur í berggrunninum. Heita vatnið streymir eftir þessum sprungum af miklu dýpi og kólnar á leiðinni. Við það myndast útfellingar í sprungunni sem stíflast smám saman og jarðhiti á yfirborði dvína. Til þess að jarðhiti geti haldist viðvarandi árbúsundum saman þurfa virkar hreyfingar í jarðskorpunni að koma til. Ætla má því að dvínum lauganna á Laugalandi stafi af úfellingum en aukin virkni af jarð-skorpuhreyfingum. Í þessu sambandi má benda á að mesti jarðskjálfti sem vitað er um á síðustu oldum á Eyjafjarðarsvæðinu, Dalvíkurjarð-skjálftinn 1934, varð einmitt á því tímabili þegar hitinn í laugunum var talinn hafa hækkað úr 30°C í u.p.b. 45°C.

### 3 BORANIR OG ÁRANGUR ÞEIRRÁ

A tímabilinu frá október 1941 og fram í október 1944 var fyrsta holan, hola 1, boruð við Laugaland á Þelamörk. Verkið var unnið fyrir bæjarstjórn Akureyrar og var Haglabor notaður. Ekki eru til borskýrslur um þetta verk.

I bréfi til bæjarstjórans á Akureyri dagsettu 3. maí 1947 ritar Gunnar Böðvarsson, verkfraðingur hjá Raforkumálaskrifstofunni:

"Fjarlægð jarðhitasvæðisins við Laugaland í Hörgárdal frá Akureyri er 11 -12 kílómetrar. Hér var aðeins ein lítil laug en dr. Trausti Einarsson fann talsverðar leifar heitra hvera (kísilhrúður) og einnig fann hann með segulmælingum basaltgang nálægt lauginni. I samráði við hann var á árinu 1941 hafin borun á einni holu, sem varð 375 m djúp, og mældust á botni hennar 85 °C. Í 106 metra dýpi skar holan basaltganginn og komu þá úr henni 3 1/2 lítri af 77 °C heitu vatni. Jarðborunardeildin mældi á árinu 1946 þrýsting holunnar, þegar henni er lokað, og reyndist hann vera 35 til 40 metrar á vatnssúlu. Mælingin var gerð innan klukkustundar frá því að lokað var. Þegar holan var opnuð aftur gaf hún 10 til 15 lítra af vatni á sekúndu og lækkaði magnið fyrst eftir nokkurn tíma í 3 1/2 lítra á sekúndu. Holan hefur því greinilega holrúm eða sprungu sem hún fyllir þegar henni er lokað."

Hola 2 var boruð á tímabilinu 28.9.1964 - 25.2.1965. Var Norðurbor notaður til verksins. Vatnsæðar fundust á 406 - 428 m dýpi, 575 m dýpi og á 640 m dýpi (Jarðboranir ríkisins 1965).

Mikill þrýstingur var á vatninu í upphafi og jókst skolvatn um allt að 14 l/s þegar borinn hitti á æðarnar. Sjálfrennslið minnkaði allört og var árið 1968 komið niður fyrir 5 l/s.

Árið 1970 voru boraðar tvær holur við Laugaland, hola 3, sem valinn var staður skammt frá holu 1, og hola 4 sem boruð var á bökkum Hörgár um 400 m norðaustan holu 1. Undanfari þessara borana voru allítarlegar rannsóknir, segulmælingar, lengdarmælingar (viðnámsmæliaðferð sem að ýmsu leyti svipar til viðnámsniðsmælinga en skynjar fyrst og fremst breytingar í viðnámi nálægt yfirborði), nokkrar viðnámsmælingar með Schlumbergeraðferð og jarðfræðikortlagning. Niðurstöður rannsóknanna voru gefnar út í skýrslu árið 1971 (Kristján Sæmundsson o.fl. 1971). Kemur þar meðal annars fram að pakkað var á holur 3 og 4 að borun lokinni. Reyndist hola 4 vera alveg þétt en talið að hola 3 gæti gefið "10 - 15 l/s eftir því hve vatnsborðið er dregið mikið niður" eins og stendur í umræddri skýrslu. Í niðurstöðukafla skýrslunnar eru dregnar þær ályktanir að á Laugalandi væri ekki að fá

nægjanlegt vatnsmagn til hitaveitu fyrir Akureyri. Talið var að um tvö gangakerfi væri að ræða, annars vegar vestara kerfið sem holur 1, 2 og 3 voru boraðar við og eystra kerfið sem talið var að hverahrúðurbreiðan uppi í hlíðinni tengdist. Hola 4 var boruð nærrí því kerfi. Af dæluprófunum var síðan dregin sú ályktun að vestara gangakerfið stæði undir 15-20 l/s vatnsvinnslu til langframa. Þó var tekið fram að dæluprófanirnar útiloki ekki möguleika á öðrum afmörkuðum vatnskerfum í nágrenni Laugalands. Þá voru gerðar tillögur um allítarlegar viðnámsmælingar á svæðinu frá Laugalandi á þelamörk inn að Hrafnagili sem yrðu leiðbeinandi fyrir val á svæðum til frekari rannsóknaborana.

Viðnámsmælingarnar voru gerðar sumarið 1971 og niðurstöður þeirra birtar í skýrslu árið 1972 (Guðmundur Guðmundsson og Kristján Sæmundsson). Sá hluti þeirra sem varðar Glæsibærjarhrepp er einnig birtur í kafla 6 í þessari skýrslu ásamt niðurstöðum nýrri mælinga.

Sumarið 1979 var gert segulkort af allstórri spildu umhverfis vestara borsvæðið við Laugaland og það birt í stuttri greinargerð (Ólafur G. Flóvenz 1980). Þar kom í ljós að tveir öfugt segulmagnaðir gangar með norðvestlæga stefnu virðast skera norðlæga ganginn sem jarðhitinn var talinn tengjast og boranir hafa beinst að. Einnig var þar sett fram sú skoðun að viðnám væri fremur hátt við Laugaland sem benti til þess að jarðhitinn væri bundinn þróngum rásum. Því væri ekki skynsamlegt að láta rannsókn Laugalandssvæðisins framarlega í forrgangsröð rannsóknaverkefna.

Árið 1981 voru niðurstöður dæluprófananna frá árinu 1970 endurskoðaðar (þorsteinn Thorsteinsson 1981). Þar var vakin athygli á því hve skammvinn dæluprófunin árið 1970 var og sömuleiðis því að þær æðar sem verið var að prófa eru grunnt í jörðu. Bent var á að með tilkomu Reda dæla megi draga vatnsborð meir niður en áður og ástæða sé til að gefa "svæðinu í Hörgárdal frekari gaum með vatnsmeiri og langvinnari dælu-prófun í dýpri og afkastameiri holu en hola 3 er".

TAFLA 2 Yfirlit um borholur við Laugaland

	Hola 1	Hola 2	Hola 3	Hola 4
Bor	Haglabor	Norðurlandsbor	Norðurbor	Norðurbor
Verk-tími	okt 1941- okt 1944	28.9.1964- 25.2.1965	7.12.1969- 16.3.1970	17.3.1970- 4.7.1970
Dýpi	375 m	1088 m	667 m	711 m
Króna	4" ?	12 1/4" í 19 m 8 3/4" í 446 m 6 1/4" í 1088 m	12 1/2" í 85 m 6 1/4" í 667 m	15" í 9 m 6 1/4" í 711 m
Fóðring	?	13 3/8" í 1.75 m 9 5/8" í 19.5 m 8 1/2" í 20.25 m	13 3/8" í 9 m	
Aths.	Stífluð í 110 m			Fyrirstaða á 532 m

#### 4 JARDFRÆÐIKORTLAGNING

Rannsókn jærðlagastaflans beindist annars vegar að því að skoða jærðög á yfirborði í næsta nágrenni Laugalands til að átta sig á berggöngum og misgengjum sem hugsanlega lægju um svæðið. Hins vegar beindist athugunin að gerð jærðlagastaflans á miklu stærra svæði. Með því var ætlunin að finna út strik og halla jærðлага og einnig að skoða þau jærðög sem liggja inn undir Laugalandssvæðið til samanburðar við þau gögn sem fást við rannsóknir á borholum.

##### 4.1 Gerð jærðlagastaflans

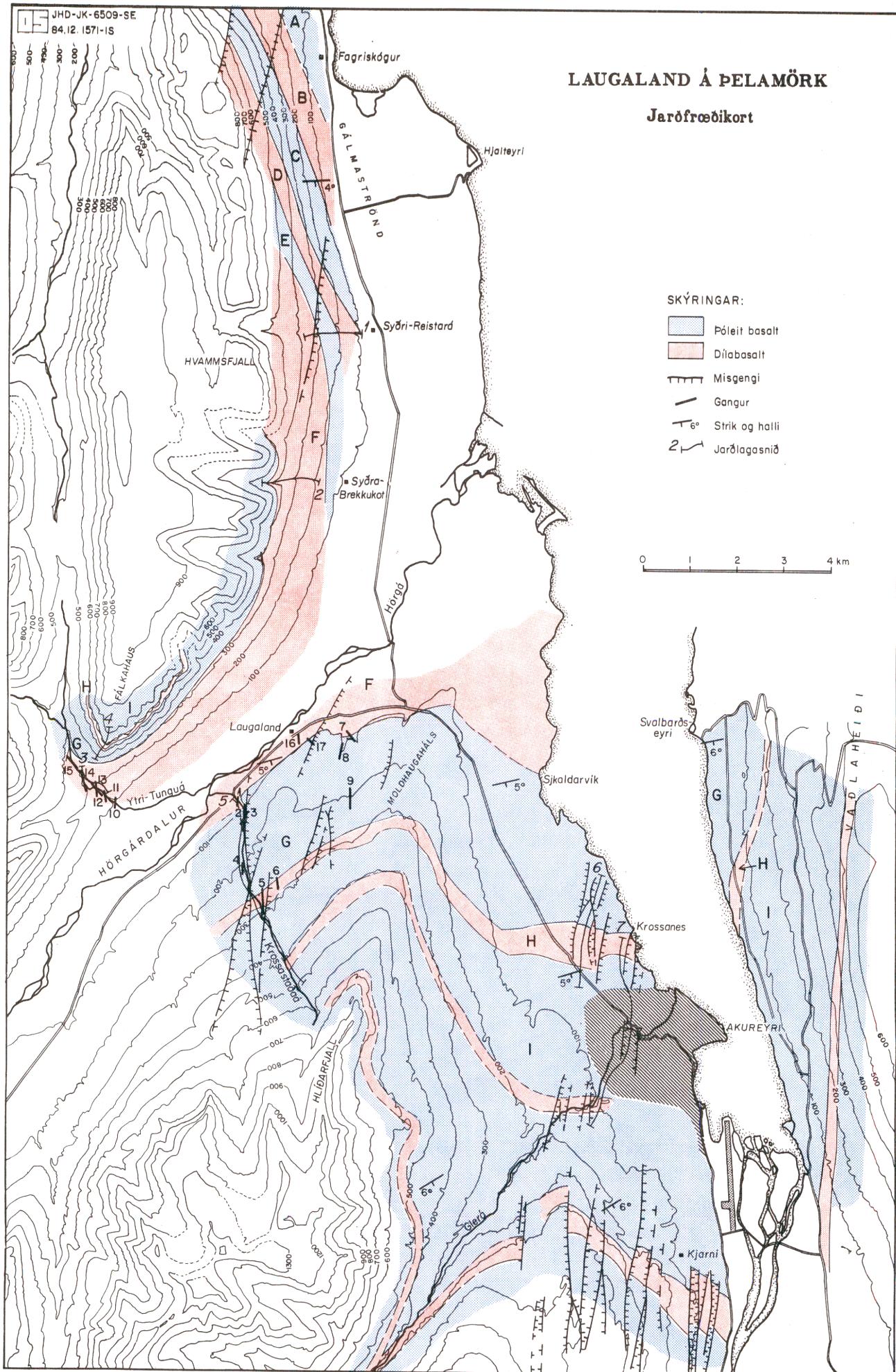
Til að fá heillega mynd af jærðlagastaflanum var ákveðið að skoða hann á svæðinu frá Árskógsströnd og inn að Akureyri og tengja niðurstöðurnar við jardfræðikort af Glerárdalssvæðinu (Ólafur G. Flóvenz o.fl. 1984). Að auki voru jærðög á Svalbarðsströnd skoðuð lauslega til að fá samanburð handan fjarðarins og auðvelda ákvörðun striks. Jærðögin voru að mestu skoðuð í giljum þar sem berggrunnurinn er ekki hulinn gróðri eða lausum jærðögum.

Berggrunnurinn er úr basalthraunlögum með þunnum rauðum setlögum á milli. Hraunlögin eru öll rétt segulmögnuð og mynduð á segultímabili sem nefnt hefur verið anómálía 5, en það hófst fyrir um 10,5 milljón árum og lauk fyrir um 9 milljón árum (Kristján Sæmundsson o.fl. 1980).

Jardfræðikort er sýnt á mynd 2. Heildarþykkt staflans sem skoðaður var er um 1200 m. Hraunlagastaflanum var skift upp í 9 misþykkar einingar eftir dílamagni og eru þær merktar með bókstöfum A - I á jardfræðikortinu. Auk þessa eru syðst á kortinu upplýsingar sem áður hafa birst í skýrslu um jærðhitarannsóknir á Glerárdal (Ólafur G. Flóvenz o.fl. 1984). Lýsingar á einstökum einingum er að finna í viðauka A. Jærðlagastaflinn er mjög einsleitur og ekki finnast í honum nein meiriháttar setlög, né setlagasyrpur.

##### 4.2 Strik og halli

Nyrst á Gálmaströnd er strik jærðлага nálægt A - V og halli um  $4^{\circ}$  til suðurs. Skammt utan við Akureyri er strikið u.p.b. N  $75^{\circ}$ A og halli um  $5^{\circ}$  til suðurs. Við Akureyri breytist strikið og verður um N  $60^{\circ}$ A og hallinn um  $7^{\circ}$  til suðausturs. Jafnhliða þessari breytingu þykkna jærðlagasyrpurnar til vesturs. Því veldur stór megineldstöð sem eitt sinn var virk í innanverðum Öxnadal.



MYND 2 Jarðfræðikort af mynni Hörgárdals

#### 4.3 Misgengi og gangar

I næsta nágrenni Laugalands er berggrunnurinn að mestu hulinn lausum jarðlögum. Misgengi og gangar sjást því lítt nema í gili Krossastaða-ár. Misgengjakerfið sem sést við Akureyri og jarðhitasvæðið á Glerárdal virðist hafa nokkuð skýr vesturmörk. Jarðfræðikortið (mynd 2) gefur þó villandi hugmynd um þetta vegna hulu lausra jarðlaga í Kræklingahlíð. Vestan við Moldhaugaháls virðist berggrunnurinn mun minna brotinn, nema hvað nokkur misgengi liggja í nágrenni Laugalands. Ekki er ljóst hvort þau eru angí af stærra misgengjakerfi, til þess hefði kortlagningin þurft að vera umfangsmeiri til suðurs. Misgengin við Akureyri stefna um N 5° A. Við Laugaland er stefnan litið eitt austlægari eða N 10-15° A. Gangar sjást fáir á yfirborði í nágrenni Laugalands. Helstu gil snúa í megingangastefnuna og verða upplýsingar um ganga því ávallt ófullkomnar. Alls voru mældir 19 gangar í nágrenni Laugalands. Gangarnir eru merktir inn á jarðfræðikortið á mynd 2 og niðurstöður mælinganna eru sýndar í töflu 3.

TAFLA 3 Mælingar á stefnu, þykkt og halla ganga

Gangur nr.	Stefna	þykkt (m)	Halli
1	N5° A	4	?
2	N10° A	3	?
3	N25° A	3-4	?
4	N0° A	0,7	1-2 °V
5	N5° V	8-10	0
6	N20° V	3-4	0
7	N35° V	3	?
8	N12° A	4-5	?
9	N2° A	>2	?
10	N5° A	2	0
11	N5° V	2	0
12	N40° V	3-4	0
13	N5° V	3-4	?
14	N5-10° V	>5	?
15	N45° V	6-7	1-2 °V

Meingangastefnan í innanverðum Eyjafirði er u.p.b. N 10° A (Axel Björnsson o.fl. 1979). Flestir gangarnir við Laugaland stefna nálægt N-S og virðist megin gangastefnan þar því vera 10-15° vestlægari. Við

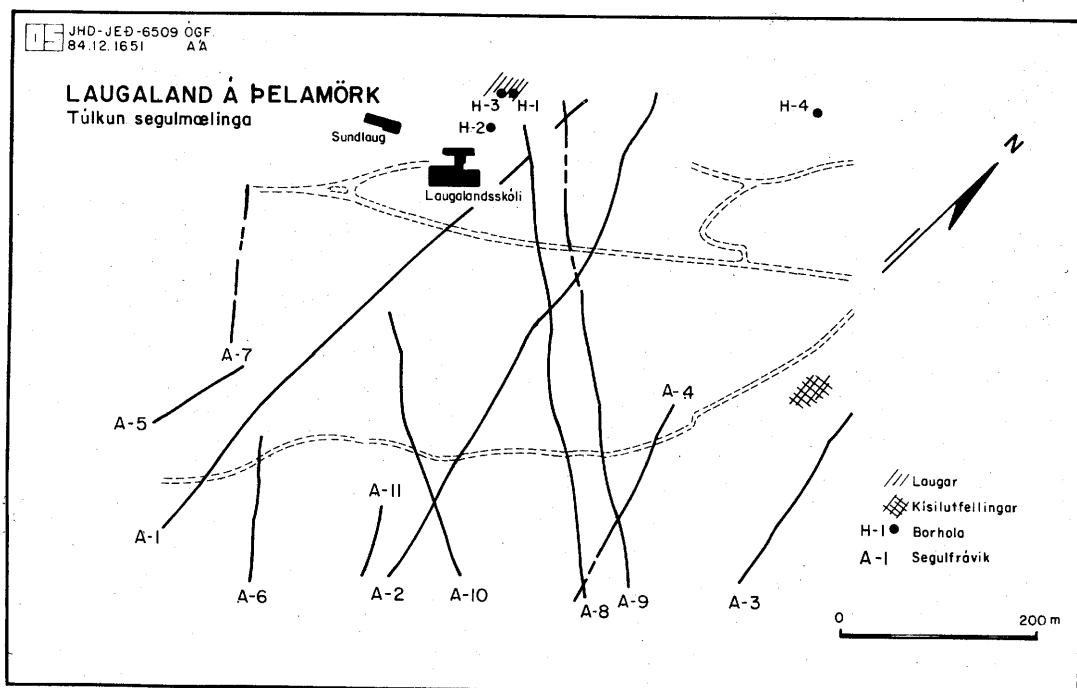
Laugaland kemur einnig fram ný gangastefna sem ekki er bekkt inni í Eyjafirði, N 20-45 V, en hún er mun sjaldgæfari en N-S stefnan (4 gangar af 19). Reynt var að meta halla ganganna. Af N-S göngunum voru 3 metnir lóðréttir og einn með 1-2 halla til vesturs. Af NNV göngunum voru tveir metnir lóðréttir en einn með 1-2 halla til vesturs. Við aðra ganga voru aðstæður þannig að ekki var unnt að ákvarða hallann.

## 5 SEGULMÆLINGAR

Sumarið 1979 voru gerðar segulmælingar við Laugaland á þelamörk. Mælt var segulsvið eftir tuttugu og sex 900 m löngum línum og fimm 600 m löngum línum. Bil milli mælipunkta var 5 m og 20 m milli mælilína. Tilgangur þessara mælinga var að kortleggja misfellur í bergrunninum (ganga og misgengi) sem hugsanlega mætti tengja jarðhitnum. Áður var vitað um two norðlæga ganga með stefnu í átt að laugunum fyrir neðan þelamerkurskóla (Kristján Sæmundsson o.fl. 1971) og talið líklegt að uppstreymi heita vatnsins væri tengt þeim.

Segulmælingum hefur áður verið lýst í skýrslum Orkustofnunar til Hítaveitu Akureyrar og er þeim sem fræðast vilja nánar um mæliaðferðina bent á skýrsluna "Segulmælingar í Hrafnagilshreppi" (Bára Björgvinsdóttir 1982)

Mynd 1 í viðauka B sýnir jafnsegulkort af mælisvæðinu. Þar koma glöggjt fram fimm línuleg segulfrávik sem sennilega eru öll frá göngum. Mynd 2 í viðauka B sýnir styrkleika segulsviðsins eftir mælinunum. Á þessari mynd má auðveldlega sjá áðurnefnd fimm segulfrávik auk sex annarra, sem ekki eru eins skýr. Mynd 3 sýnir svo staðsetningu þessara línulegu segulfrávika og eru þau númeruð frá A1-All.



MYND 3 Túlkun segulmælinga á Laugalandi á þelamörk

Skipta má þessum segulfrávikum í two hópa eftir stefnu þeirra, frávakin í öðrum þeirra hafa stefnu N0-20°V(A1-A5) en N40-60°V(A6-A11) í hinum. Út frá lögun mæliferlanna má ráða hvers kyns fyrirbæri veldur segulfráviku. Tafla 4 sýnir stefnu segulfrávikanna og hvað talið er valda þeim.

TAFLA 4 Stefna segulfrávika og orsakir þeirra

Segul- frávik	Stefna	Orsök segulfráviks
A1	N 0°	Líklega tveir rétt segulmagnaðir gangar, jafnvel einnig misgengi.
A2	N 15°V	Rétt segulmagnaður gangur, sést á yfirborði, ca . 7 m þykkur.
A3	N 12°V	Öfugt segulmagnaður gangur.
A4	N 20°V	Öfugt segulmagnaður gangur, ógreinilegur.
A5	N 10°A	Öfugt segulmagnaður gangur, gengur saman við A1.
A6	N 43°V	Öfugt segulmagnaður gangur.
A7	N 42°V	Öfugt segulmagnaður gangur, gæti verið framhald af A6.
A8	N 59°V	Öfugt segulmagnaður gangur, sést á yfirborði, ca. 3 m þykkur.
A9	N 55°V	Öfugt segulmagnaður gangur.
A10	N 62°V	Rétt segulmagnaður gangur.
All	N 28°V	Rétt segulmagnaður gangur.

Eins og sést í töflunni eru öll segulfrávikið túlkuð sem gangar. Þó er nokkur óvissa um segulfrávik A1. Þetta frávik er óreglulegra en hin frávakin. Sennilega er þarna um two samliggjandi ganga að ræða og jafnvel einnig misgengi. Segulfrávik af völdum misgengis lítur oftast út eins og stallur í segulsviðinu. Slíkan stall má sjá í mældu segulsviði í sumum mælilínunum kringum segulfrávik A1, þar sem segulsviðið lækkar vestan við segulfrávikið. Þetta sést betur á mynd 3 í viðauka B, sem sýnir síuð mæligögn, þar sem allar sveiflur með styttri sveiflulengd en 85 m eru síðar burt. Jarðfræðikortlagning bendir hins vegar ekki til þess að þarna liggi verulegt misgengi þótt ekki sé hægt að útiloka smámisgengi með minna en 10 m falli.

Línuleg segulfrávik, sem hafa stefnu samsíða mælilínunum, koma yfirleitt illa fram á segulkortum. Þess vegna var teiknað kort af segulsviðsstyrkleikanum (mynd 4 í viðauka B) eftir línum hornrétt á stefnu mælilínanna, þ.e. bil milli punkta er 20 m og bil milli lína 5 m. Á

þessari mynd sjást nokkur línuleg segulfrávik sem annaðhvort fylgja skurðum, leiðslum (t.d. kaldavatslögnin til Akureyrar) eða brúnum hraunlaga. Að öðru leyti sýnir þessi mynd engin línuleg segulfrávik samsíða mælilínunum.

Eins og sést á mynd 3 þá skera segulfrávakin A8 og A9 segulfrávik Al rétt ofan við laugarnar við Laugalandsskóla og er því ekki fráleitt að álykta að þessir gangar stjórni, að einhverju leyti, uppstreymi heita vatsins í laugunum. Ekkert segulfrávik virðist vera tengt kísil-útfellingunum fyrir ofan þjóðveginn (sjá mynd 3).

## 6 VIÐNÁMSSNIÐSMÆLINGAR

Dagana 20.-30. júní 1983 voru gerðar viðnámssniðsmælingar á jarðhitasvæðinu við Laugaland. Viðnámssniðsmælingar eru sérstök tegund viðnámssmælinga sem er mjög hentug til að finna nær lóðréttu veggi í jarðlögum. Orðið veggur er hér notað um nær lóðréttar sprungur, ganga eða misgengi sem liggja þvert gegnum jarðlagastaflann eins og veggir og hafa verulega hærra eða lægra viðnám en bergið umhverfis. Í þeim tilvikum þar sem viðnám er til muna lægra í slíkum veggjum en umhverfis er ástæða til að ætla að um geti verið að ræða sprungu sem leiðir heitt vatn. Sé viðnámið aftur á móti hærra en í berGINU umhverfis, má búast við að veggurinn sé þéttur gangur eða misgengi sem geti verið rennslishindrun.

Mældar voru 6 mælilínur við Laugaland sumarið 1983, alls 10,7 kílómetrar. Tvær línnar, línu 1 og 3, voru mældar með bæði 300 m og 500 m straumarmslengdum en hinrar einungis með einni straumarmslengd, 500 m. Gengu mælingarnar greiðlega og var þeim lokið á tilsettum tíma.

Unnið var úr þessum mælingum veturinn 1983-84. Að því loknu þótti ástæða til að bæta við fleiri mælilínum til að kanna nánar legu lágvíðnámsveggja, sem mælingar sumarsins 1983 leiddu í ljós. Í byrjun júlí 1984 var bætt við 4 mælilínum, samtals 8,8 km. Voru þær allar mældar með bæði 300 m og 500 m straumarmslengdum.

Úrvinnslu var þannig háttæð að hver lína fyrir sig var túlkuð. Búið var til tvívítt viðnámslíkan af jörðinni undir hverri línu, síðan reiknað með tölvuforriti hvernig mæligildi fengjust ef jörðin liti í raun út eins og líkanið gerði ráð fyrir. Því næst voru reiknuð gildin borin saman við þau mældu, líkaninu breytt og ný gildi reiknuð út uns viðunandi samræmi fékkst milli mældu og reiknuðu gildanna. Breyta þurfti líkaninu 10-45 sinnum fyrir hverja línu og fyrir hverja breytingu þurfti 1-3 klst reiknivinnu í tölvu Orkustofnunar. Tókst að búa til viðunandi líkan fyrir allar línum nema eina, línu 3, sem er sú syðsta. Var afráðið að eyða ekki of mikilli vinnu í túlkun hennar og hætt eftir 15 ítrekanir.

I viðauka C er að finna teikningar af mæliniðurstöðum einstakra lína og samsvarandi líkön.

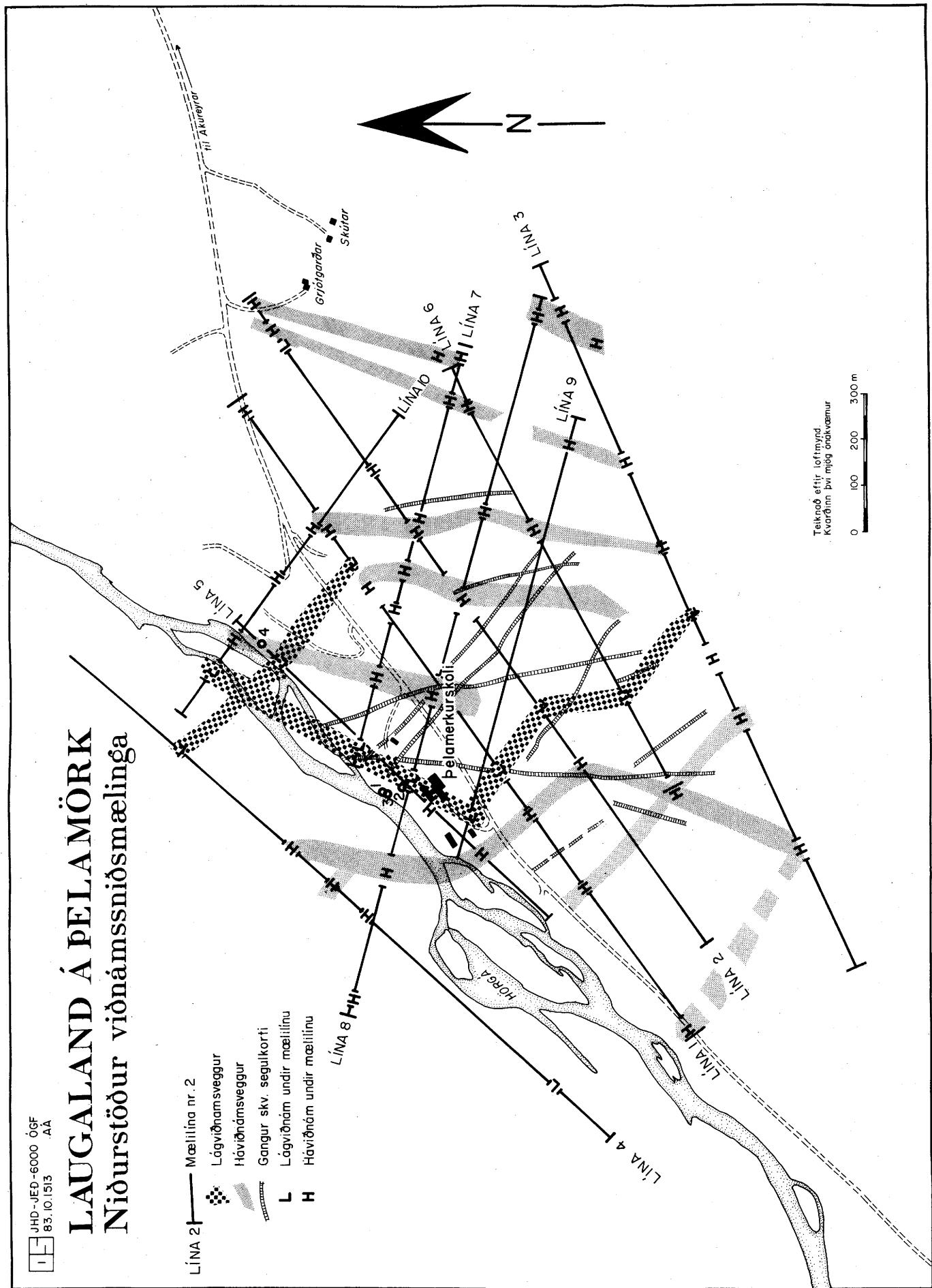
I öllum línum nema e.t.v. línu 3 komu fram 1-2 lágvíðnássprungur og nokkrar háviðnássprungur. Yfirleitt virðast lágvíðnássprungurnar ekki ná til yfirborðs andstætt við háviðnámin sem í mörgum tilfellum eru mest áberandi næst yfirborðinu.

Að lokinni túlkun einstakra lína voru niðurstöðurnar færðar á kort (mynd 4) þar sem merkt var við þá staði í hverri mælilínu þar sem háeða lágviðnámsveggir fundust. Því næst var reynt að tengja einstaka há- og lágviðnámsveggi frá innri mælilínu til annarrar. Inn á kortið eru auk niðurstaða viðnámssniðsmælinganna færðar inn niðurstöður af túlkun segulmælinganna í kafla 4 og þær misfellur í jarðlögum sem jarðfræðikortlagningin leiddi í ljós. Af kortinu má sjá eftirfarandi atriði:

1. Áberandi lágviðnámsprunga kemur fram í mælingunum. Hún er þrískipt. Tveir hlutar hennar hafa norðvestlæga stefnu en tengjast saman með þeim þriðja sem hefur norðaustlæga stefnu.
2. Norðaustlægi hluti lágviðnámsveggjarins liggur nær samsíða Hörgá neðanvert við Þelamerkurskóla og eru laugarnar á árbakkanum yfir honum.
3. Sá hluti veggjarins sem hefur norðvestlæga stefnu og liggur norðar nær upp að hverahrúðursskellunum í hlíðinni ofan Laugalands.
4. Enginn þekktur jarðhiti á yfirborði tengist þeim norðvestlæga lágviðnámsvegg sem sunnar er.
5. Tengingar háviðnámsveggja milli mælilína eru ekki eins öruggar og tenging lágviðnámsveggjarins þar sem háviðnámin eru mörg í hverri línu og því hægt að tengja milli lína á marga mismunandi vegu. Hér var valin sú leið að tengja milli lína með sem fæstum háviðnámsveggjum og lengstum.
6. Athyglisvert er að ekkert samræmi virðist vera milli há- og lágviðnámsveggja annars vegar og ganga sem finnast með segulmælingum hins vegar. Einn háviðnámsveggurinn virðist þó falla saman við misgengi samkvæmt jarðfræðikortlagningu.
7. Lágviðnámsveggurinn virðist einungis teygja sig upp að yfirborði í línu 8, einmitt þar sem laugarnar á árbakkanum voru. Annars staðar eru 50 -200 m niður að honum samkvæmt túlkun einstakra lína (sjá viðauka C). Þess ber þó að gæta að dýptarákvörðunin er mjög ónákvæm, gefur nær eingöngu til kynna hvar er mjög grunnt og hvar er fremur djúpt niður að efri brún lágviðnámsveggjarins.
8. Lágviðnámsveggur sést austast í línu 2 og líklega er einnig lágviðnám að finna vestast í línu 4.

# LAUGALAND Á PELAMÖRK Niðurstöður viðnámsniðsmælinga

JHD-JED-6000  
83.10.1513  
ÓGF  
.AA



MYND 4 Niðurstöður viðnámssniðsmælinga frá Laugalandi

## 7 VIÐNÁMSMÆLINGAR MEÐ SCHLUMBERGERAÐFERD

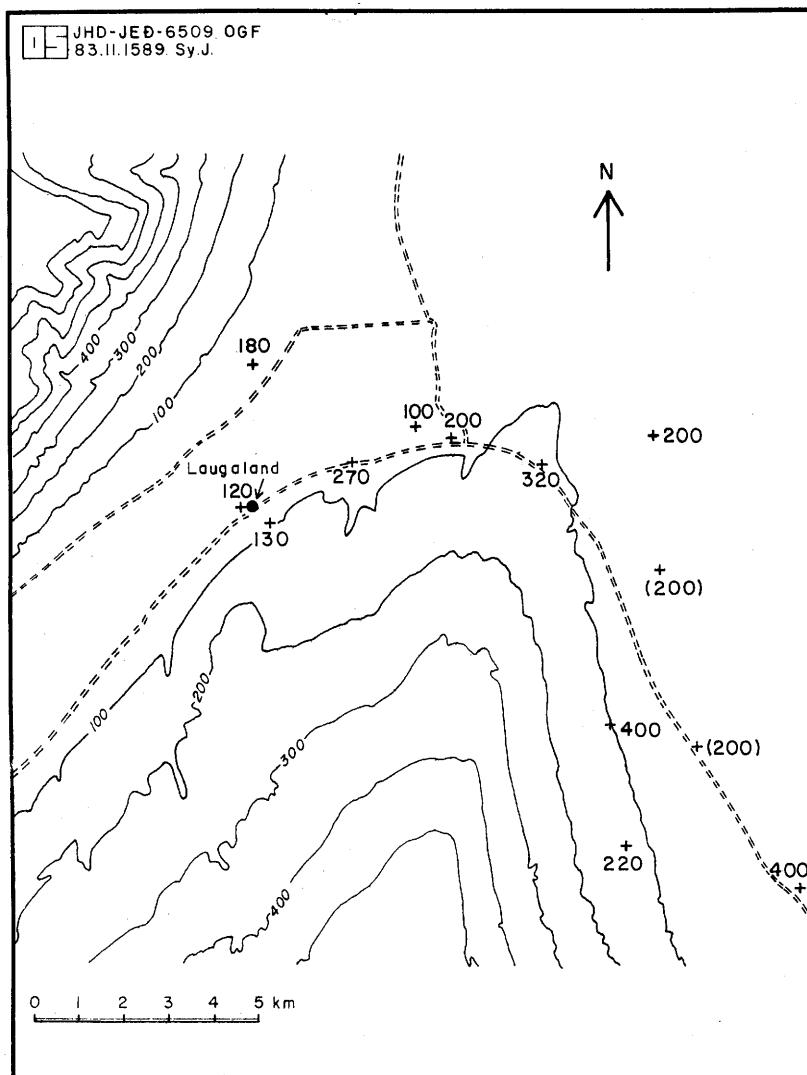
Nokkrar viðnámsmælingar með Schlumbergeraðferð hafa verið gerðar í grennd við Laugaland. Flestar fóru þær fram árið 1971, ein árið 1975, ein árið 1976 og loks ein árið 1983. Markmið mælinganna er að kenna hvernig viðnám í jörðu breytist með dýpi frá einum stað til annars. Þær duga ekki til að finna einstakar velleiðandi sprungur en henta vel til að greina útbreiðslu jarðhitasvæða. Mæliaðferðinni hefur áður verið lýst í skýrslum Orkustofnunar til Hitaveitu Akureyrar og er þeim sem lesa vildu sig til um mæliaðferðina t.d. bent á skýrsluna "Viðnámsmælingar í Eyjafirði og mat á Jarðhitastöðum" (Ólafur G. Flóvenz og Brynjólfur Eyjólfsson 1981). Þar sem saman fer lágt viðnám og hár hitastigull í jörðu má búast við að gjöfult jarðhitasvæði sé undir.

Viðnám í jörðu er afar mismunandi frá einu landssvæði til annars. Þannig er viðnám utan jarðhitasvæða víða 150-200 Ohmm á Miðnorðurlandi en 40-60 Ohmm víða á Suðurlandi. Jarðhiti kemur hins vegar nær alltaf fram sem lægð í svæðisbundnu viðnámi. Ekki er unnt að segja að til ákveðins viðnámsgildis svari ákveðin gerð jarðhitasvæða. Hins vegar virðist gilda að jarðhitasvæðin séu því álitlegri til vinnslu sem viðnám í þeim er lægra miðað við svæðisbundið viðnám.

Viðnámsmælingarnar frá Þelamörk eru margar fremur erfiðar í túlkun vegna ýmissa óreglna sem þær koma fram. Þær hafa því einungis verið notaðar til að fá gróft mat á viðnám á um 500 m dýpi. Niðurstöðurnar er að finna á mynd 5. Þar má sjá að viðnám í mynni Hörgárdals er mjög hátt, 200 - 400 Ohmm. Við Laugaland kemur hins vegar fram nokkur viðnámslægð, viðnám er þar um 120 Ohmm, og fellur því niður í um helming af svæðisbundnu viðnámi. Bendir það til nokkurs vatnsinnihalds í jörðu.

Til að fá hugmynd um hversu mikils vatns megi vænta af Laugalandssvæðinu má til samanburðar leita að lághitasvæði þar sem viðnámshlutföll eru áþeckk og upplýsingar liggja fyrir um hve mikið þaðan er að hafa. Það lághitasvæði sem að viðnámsgerð er líkast Laugalandssvæðinu er jarðhitasvæðið við Urriðavatn í Fellahreppi, en lauslega metið virðist það geta gefið af sér um 40 l/s. Þar sem Laugalandssvæðið er um 15°C heitara en jarðhitasvæðið í Urriðavatni og viðnám lækkar með vaxandi hitastigi má búast við heldur minna rennsli af Laugalandssvæðinu miðað við að viðnáms hlutföllin séu þau sömu. Því virðist ekki fráleitt að ímynda sér að Laugalandssvæðið gæti gefið af sér 20-40 l/s af 92°C vatni takist að hitta á meginvatnsæðar svæðisins. Ekkert er hins vegar unnt að segja um það hversu vatnsborð muni falla undan slíkri vinnslu en miðað við reynsluna af öðrum jarð-

hitasvæðum í Eyjafirði er rétt að búast við því að vatnsborð muni falla örт með tíma.



MYND 5 Eðlisviðnám á 500 m dýpi í  
mynni Hörgárdals

## 8 BORHOLUJARÐFRÆÐI

Í viðauka D eru sýnd jarðlög í holum 2, 3 og 4 samkvæmt niðurstöðum athugana á borsvarfi. Þær eru enn fremur sýndar borholumælingar sem gerðar voru sumarið 1983, en þær gefa upplýsingar um eðlisfræðilega eiginleika bergsins í holunum.

Mælingarnar eru hér notaðar fyrst og fremst til samanburðar og hjálpar við gerð jarðlagasniðs og til að renna stoðum undir tengingar milli holanna.

Reynt var að tengja jarðmyndanir í borholunum við þekktar myndanir á yfirborði. Það bar lítinn árangur ekki síst vegna þess hve jarðlögin í holunum eru hvert öðru lík og auðþekkt leiðarlög eru ekki til staðar.

Jarðlagasyrpurnar í holum 1 og 2 á Svalbarðseyri voru skoðaðar til þess að athuga hvort einhverja samlíkingu væri að finna milli staðanna. Samkvæmt strikstefnu ættu borholur svæðanna að liggja á svipuðum stað í jarðlagastaflanum. Ekki fundust öruggar tengingar en nokkur samlíking er milli staðanna ef jarðlögum holanna á Svalbarðseyri er hliðrað upp á við um liðlega 100 m.

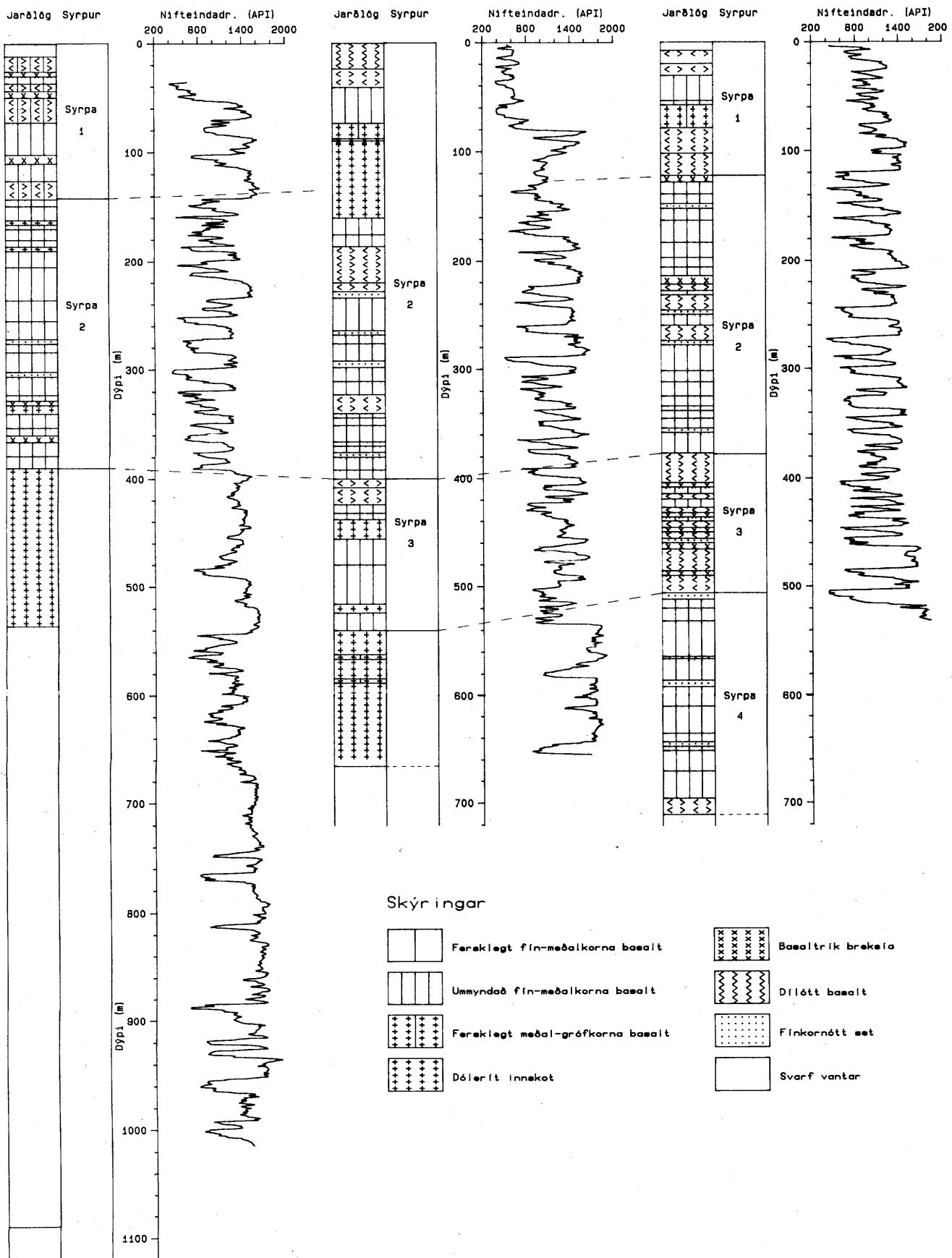
Jarðlagastaflinn á Þelamörk er dæmigerður hraunlagastaflí frá tertier. Milli hraunlaganna sem eru þóleiítisk, ýmist plagíóklasdílótt eða ekki, eru þunn rauð millilög. Einstökum jarðlögum sem fram koma í holunum er skipað saman í 4 syrpur eftir ráðandi berggerð (sjá mynd 6) og verður hverri syrpu lýst hér á eftir.

Á nokkrum stöðum í holunum er mun meira af útfellingum en annarsstaðar. Þessir staðir eru sérstaklega merktir með "U" við hlið jarðlagasniðsins. Útfellingarnar hafa verið greindar og samkvæmt þeim eru efri mörk laumontítbeltisins á u.p.b. 320 m dýpi í holu 3 (sjá mynd 7). Hins vegar verður ekki vart laumontíts í holu 4. Er það einkar athyglisvert þar sem talið er að laumontít myndast ekki fyrr en fyrir ofan  $100^{\circ}\text{C}$ . Með öðrum orðum: Einhvern tíma hefur hitastig af völdum jarðhita verið um eða yfir  $100^{\circ}\text{C}$  í bergi því sem hola 3 var boruð í gegnum en það hitastig hefur væntanlega aldrei verið í því bergi sem hola 4 er boruð í gegnum.

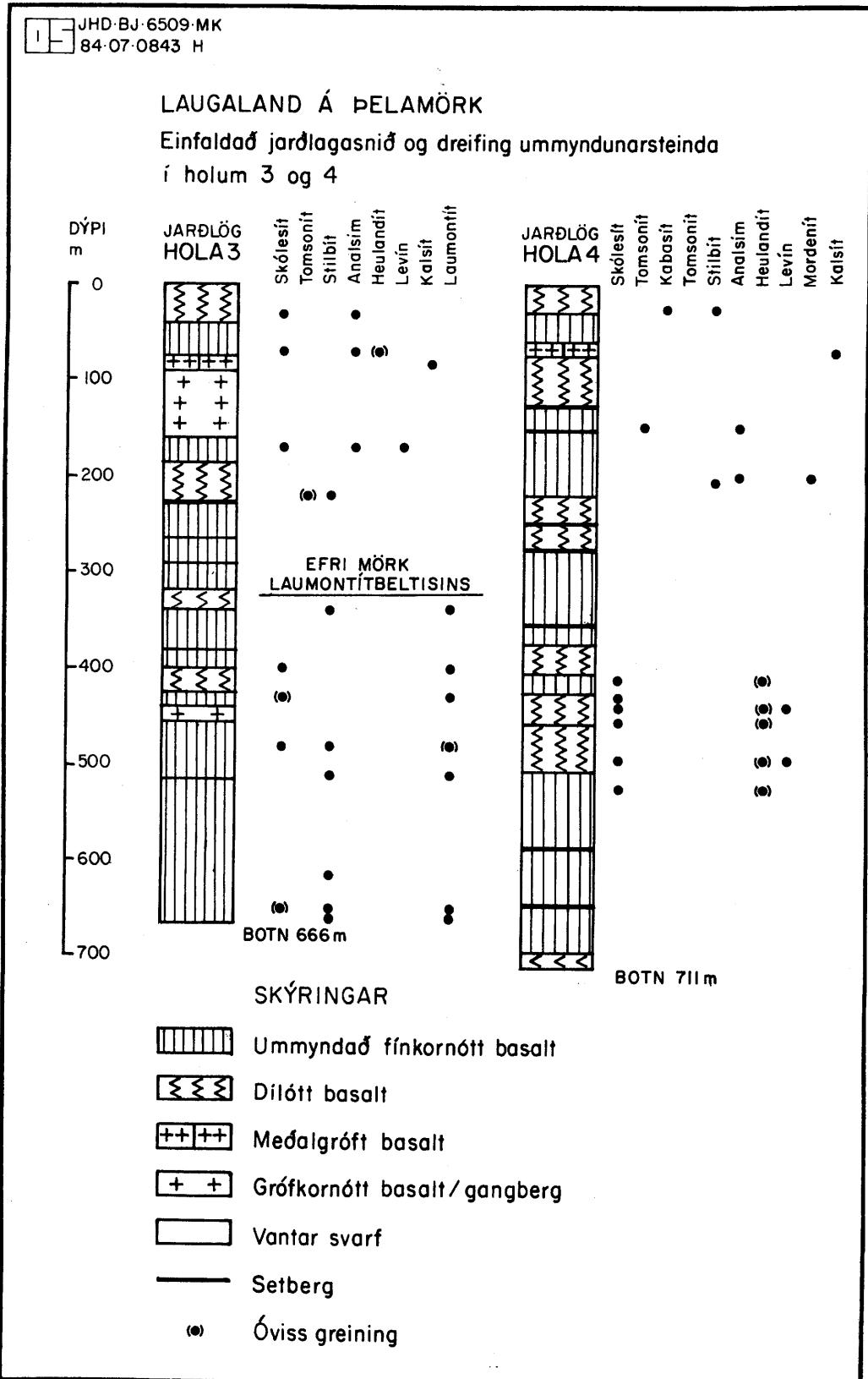
Jarðlagatengingar milli holanna á Þelamörk gefa til kynna að ekki séu veruleg misgengi ( $>10$  m) á milli þeirra. Svo virðist sem um 6 m vanti í jarðlagastaflann í holu 4 miðað við hinan holurnar á um 220 m dýpi. Það bendir til að þær hafi verið boruð í gegnum u.p.b. sex metra misgengi.

# LAUGALAND Á ÞEÐAMÖRK

Jarðlög, syrpuskipting og nifteindadreifing í holum 2,3 og 4



MYND 6 Syrpuskipting jarðlaga í borholum



MYND 7 Einfaldað jarðlagasnið og dreifing ummyndunarsteinda. Athygli vekur að laumontít finnst ekki í holu 4 en er á um 300 m dýpi í holu 3.

Í holu 2 er blöndun svarfsins svo mikil neðan 540 m dýpis að þýðingarlaust er að reyna að greina það. Þó er nær öruggt að verulegur hluti svarfsins er úr berggangi. Nifteindadreifingin bendir einnig til að svo sé.

Syrpa 1. Efri mörk syrpunnar miðast við efstu svarfsýni úr borholunum en neðri mörkin koma fram í holum 2 og 4 á 142 og 122 m dýpi. Syrpan er tæplega 150 m þykk. Efst eru 3-4 palgóklasdílótt basatlög. Plagíóklasinn er nokkrir mm að stærð og mjög gulur. Einnig eru pýroxendílar í hraunlögunum. Á 70-80 m dýpi í holum 3 og 4 er ólivín þóleiít hraunlag með sérlega ófitískan textúr, líklega ekki plagíóklasdílótt þótt plagíóklasbrot sjáist í þunnsneið úr laginu. Í holu 2 er fínkornótt ummyndað basalt, að mestu dílalaust, á 74-126 m dýpi. Í holu 3 er mjög grófkornóttur og ferskur berggangur á 90-160 m dýpi. Rauð setlög eru fá. Samkvæmt tengingu við yfirborðsjarðfræði ætti syrpa 1 að samsvara einingu F þar.

Syrpa 2. Hún er á 142-390 m dýpi í holu 2, 160-400 m dýpi í holu 3 og á 122-380 m dýpi í holu 4. Syrpan samanstendur að mestu af meðalfínkornóttu basalti, ýmist fersku eða ummynduðu. Einkum er bergið ferskt í holu 4. Einnig eru nokkur plagíóklasdílótt hraunlög í syrpunni, flest um miðbik hennar. Nokkur lög eru af mjög fínkornóttu þóleiíti sem jafnvel gæti verið basalt-andesít þótt það komi ekki fram í geislavirknimælingum. Þessi fínkornóttu lög er yfirleitt auðvelt að rekja milli holanna. Rauð setlög eru yfirleitt milli hraunlaganna en fæst þeirra eru þykk. Á um 230 m dýpi í holu 4 gæti verið þunnum gangur og hugsanlegt er að hola 4 fari í gegnum 5-10 m misgengi á um 220 m dýpi. Í þunnsneiðum úr holu 3 er nokkuð af grófkornóttum brotum sem gætu verið úr berggangi en ekki reyndist unnt að finna út af hvaða dýpi þau koma. Þessi syrpa ætti að hluta til að samsvara einingu E sem getið er í kaflanum um yfirborðsjarðfræði.

Syrpa 3. Hún er á 380-510 m í holu 4 og á 400-540 m í holu 3. Í holu 2 sést hún ekki þar sem berggangur er í holunni á þessu dýpi. Þykkt syrpunnar í holu 4 er um 130 m. Þar einkennist syrpan af fremur þunnum, fínkornóttum og meðalfínkornóttum plagíóklasdílóttum hraunlögum með karga. Efsta lagið og tvö neðstu lög syrpunnar eru þó um 15 m hvert lag. Ofan og neðan við þau eru rauð setlög. Berggangur er í holu 2 á 390-540 m dýpi. Í holu 3 eru berggangar á 438-456 m og 516-524 m dýpi. Hugsanlegt er að mun stærri hluti bergsins í holu 3 sé úr berggangi, því rauð setlög og oxaður kargi eru ekki til staðar. Lögin í holu 3 virðast fínkornótt og dílalaus. Örugg tenging er ekki milli hola 3 og 4.

Syrpa 4. Í holu 2 svo sem fyrr getur var ekki hægt að greina svarfið nema niður á um 540 m dýpi. Í holu 3 er berggangur á 540-666 m dýpi,

þ.e. niður í botn holunnar. Syrpan kemur fram í holu 4 á 510-711 m dýpi, þ.e. niður á botn holunnar. Syrpan samanstendur af frekar fínkornóttum ummynduðum þóleiítbasaltlöögum, nokkrum statkdílóttum. Í þunnsneiðum má sjá nokkur brot úr ólivín þóleiíti sem ekki verða rakin til ákveðinna laga. Milli hraunlaganna eru rauð millilög áberandi.

## 9 SAMANBURÐUR Á GÖNGUM Í BORHOLUM OG Á SEGULKORTI

Í segul- og viðnámsmælingum á yfirborði koma fram allmög frávik sem túlkuð eru sem berggangar og að minnsta kosti eitt misgengi. Reynt var að tengja berggangana sem koma fram í holum 1 - 3 við ákveðna ganga á yfirborði í grennd lauganna. Hola 4 er hins vegar langt í burtu frá laugunum og því ekki tekin með hér.

Í nágrenni Laugalands sjást mjög fáir gangar og ómögulegt er að koma við hallamælingum á þeim. Til stuðnings má geta þess að halli ganga í Glerárgili er 4-10° til vesturs (Ólafur G. Flóvenz o.fl. 1984).

Engar hallamælingar eru til úr holunum og í þeim útreikningum sem hér fara á eftir er gert ráð fyrir lóðréttum holum.

Gangar koma fram á nokkrum stöðum í holunum. Tafla 5 sýnir hvar þeir koma fyrir í holum 2 og 3.

TAFLA 5. Gangar í holum 2 og 3.

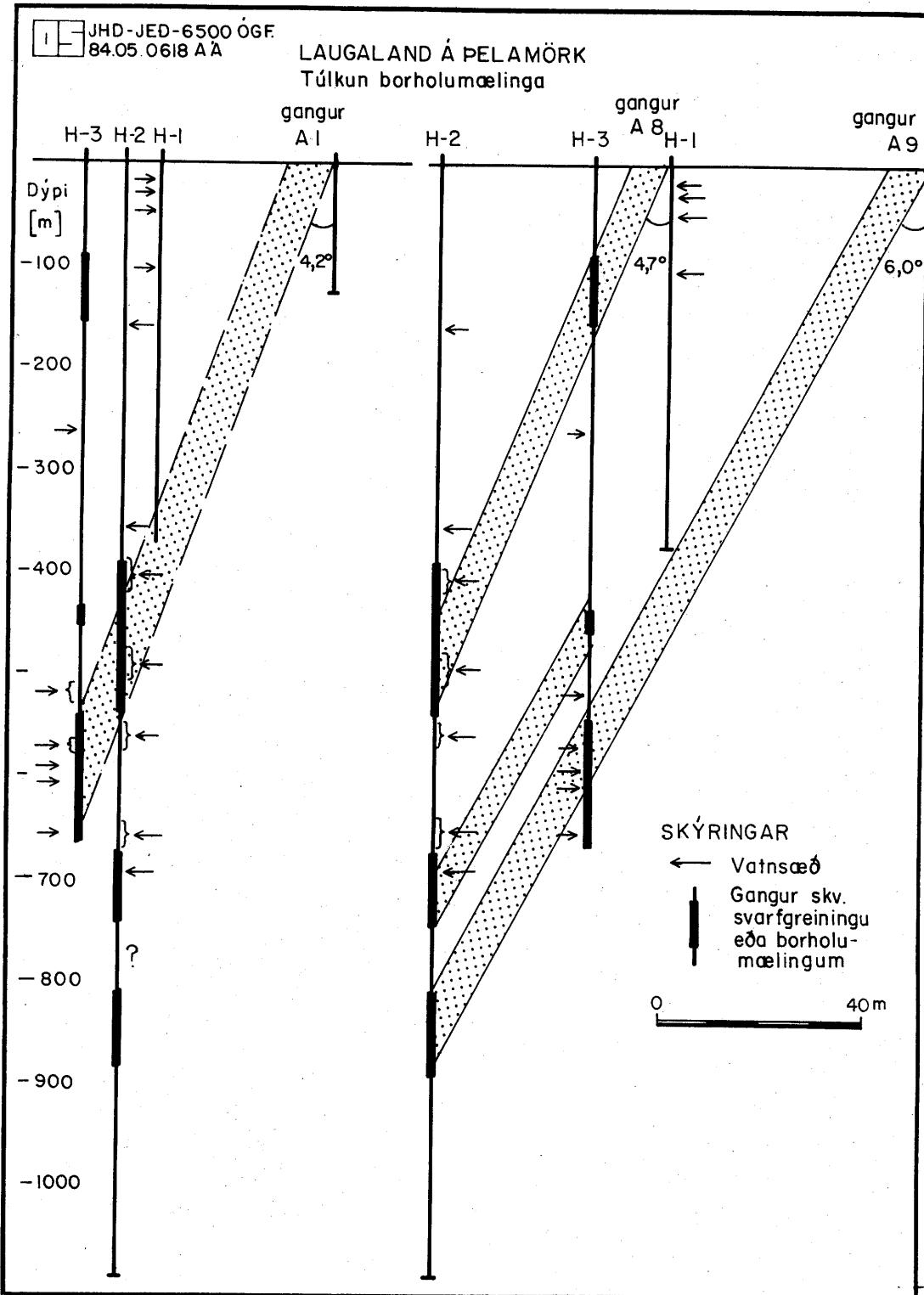
Hola 2

Hola 3

Dýpi (m)	Heimild	Dýpi (m)	Heimild
390 - 540	svarf og borholumæl.	90 - 160	svarf og borholumæl.
670 - 745	borholumæl.	438 - 456	- - -
810 - 890	- - -	516 - 524	- - -
		540 - 666	- - -

Svarf er ekki til úr holu 1 og því ekkert vitað um ganga þar

Þrír gangar sem sjást á segulkortinu liggja það nærrí laugunum að hugsanlegt er að holur 1 - 3 skeri þá. Þetta eru gangar merktir A1, A8 og A9 á mynd 3 á blaðsíðu 17. A8 og A9 eru samsíða og skera A1 við yfirborð á laugasvæðinu. Mynd 8 sýnir tvö snið, annað hornrétt á gang A1 en hitt hornrétt á A8 og A9. Borholunum er varpað inn í sniðin til að reyna að tengja gangana sem fram koma í holunum við þá sem fram koma í segulmælingunum. Línum fyrst á sniðið sem er hornrétt á A8 og A9. Nærtækasta skýringin á ganginum á 90 - 160 m dýpi í holu 3 er að um gang A8 sé þar að ræða. Hvorki A1 né A9 koma þar til álíta vegna fjarlægðar frá holu 3. Samkvæmt því hallar A8 um tæpar 5 til vesturs frá lóðréttu talið. Gangurinn sem er á 390 - 540 m dýpi í holu 2 og



MYND 8 Túlkun borholumælinga. Vinstra megin er snið hornrétt á gang A1. Ef halli hans er  $4,2^\circ$  til vesturs svarar hann til ganganna í holum 2 og 3 sem æðarnar eru við. Ef þessi gangur er sá sem kemur fram á 675 - 890 m í holu 2 er halli hans á bilinu  $2,3 - 3,1^\circ$ . Ef halli hans er minni en  $2^\circ$  til vesturs kæmi hann ekki fram í holunum. Hægra megin er snið hornrétt á ganga A8 og A9. Telja verður mjög líklegt að gangurinn á 90 - 160 m í holu 3 sé A8. Hann svaraði þá tilgangsins sem vatnsæðarnar í holu 2 fylgja og halli hans væri  $4 - 5^\circ$  til vesturs. Þar sem gangar A8 og A9 eru samsíða og eins segulmagnaðir tilheyra þeir að öllum líkindum sama gangakerfi og halli þeirra því líklega svipaður. Þá svaraði gangurinn neðst í holu 3 og á 810 - 890 m í holu 2 til A9. Gangbergið á 675 - 745 m dýpi í holu 2 og 435 - 463 m dýpi í holu 3 gæti þá svarað til gangs samsíða A8 og A9 sem ekki sést í segulmælingunum.

flestar æðarnar tengjast ætti þá einnig að vera A8. Á mismunahita-mælingu er hins vegar engar æðar að sjá við ganginn á 90 - 160 m dýpi í holu 3. Þess er þó getið í borskýrslum að verulegur samgangur hafi verið við holu 1 á nálega 100 m dýpi í holu 3. Því er líklegt að einhverjar æðar séu við ganginn á 90 - 160 m dýpi í holu 3.

Gangar A8 og A9 eru báðir öfugt segulmagnaðir og alveg samsíða með norðvestur stefnu. Því er líklegt að þeir hafi myndast um líkt leyti og við sömu jarðfræðilegu aðstæður og átt sér sömu jarðfræðilegu sögu. Því er líklegt að halli þeirra sé svipaður. Ef svo er svarar gangurinn neðan 516 m dýpis í holu 3 og á 810 - 890 m dýpi í holu 2 til A9. Gangbergið sem finnst á 670 - 745 m dýpi í holu 2 og á 438 - 456 m dýpi í holu 3 mætti skýra með þriðja ganginum með sama strik og halla og A8 og A9, þótt ekki finnist hann í segulmælingunum.

Með þessu móti má skýra alla þá ganga, sem fundust í holum 2 og 3 án þess að gera ráð fyrir að holurnar hafi skorið gang A1. Halli hans væri þá minni en  $2^{\circ}$  sem samrýmist þeim halla sem sést á göngum í giljum í nágrenni Laugalands og hafa norðlæga stefnu eins og A1.

Lítum nú á sniðið, sem er hornrétt á gang A1. Með því að gera ráð fyrir að honum halli um liðlega  $4^{\circ}$  til vesturs gæti gangbergið á 390 - 540 m dýpi í holu 2 og 516 - 666 m dýpi í holu 3 verið A1. Hann væri því vatnsleiðandi. Tvennt mælir gegn þessari lausn. Annars vegar er hallin  $4^{\circ}$  meiri en búast má við á göngum með norðlæga stefnu miðað við jarðfræðikortlagrinuna. Hins vegar sýna viðnámssniðsmælingarnar ekki lágt viðnám með gangi A1 og því getur hann tæpast verið mjög vatnsleiðandi. Að auki myndi þá vilja svo einkennilega til að hola 2 hafi hitt á þann stað þar sem gangar A1 og A8 skerast og hola 3 á skurðlinu A1 og A9.

Af ofansögðu er því dregin sú ályktun að sú lausn sem felur í sér  $4^{\circ}$  halla á A8 og A9 en minni en  $2^{\circ}$  halla á A1 sé líklegust. Æðarnar í holum 2 og 3 koma því aðallega fram þar sem gangar A8 og A9 eru skornir.

## 10 HITAMÆLINGAR Í BORHOLUM

Sumarið 1983 voru allar holurnar á Laugalandi hitamældar. Niðurstöðurnar eru sýndar á mynd 9. Í holu 1 reyndist vera fyrirstaða á 110 m dýpi þannig að aðeins náðist hitamæling þar fyrir ofan. Á 100 m dýpi mældist hitastigið  $80,6^{\circ}\text{C}$ . Smávegis seytlaði úr holunni. Hitamæling sem gerð var að borun lokinni sýndi  $85^{\circ}\text{C}$  á botni holunnar, á 375 m dýpi. Aðalvatnsæðin í holunni er á 106 m dýpi.

Hola 2 hefur verið notuð til upphitunar á Laugalandi. Sjálfrennsli var úr henni meðan á mælingu stóð. Hitastig vatnsins var  $90,0^{\circ}\text{C}$  við holutopp. Æðar eru á allmögum stöðum í holunni. Í töflu 6 eru taldar upp þær æðar sem sjást á mismunahitamælingu. (Mismunahitamæling mælir mjög nákvæmlega mismun í hitastigi milla tveggja punkta með stuttu millibili í borholu og sýna þar með mjög vel hvar vatnsæðar eru.) Hæstur hiti mældist í æðinni á 661 m,  $91,4^{\circ}\text{C}$ . Þar fyrir neðan kólnar holan og í æðinni á 693 m er hitastigið  $90,3^{\circ}\text{C}$  en  $83,7^{\circ}\text{C}$  á 1020 m dýpi. Lengra komst hitamælirinn ekki.

TAFLA 6 Vatnsæðar í holum 1 - 4 á Laugalandi

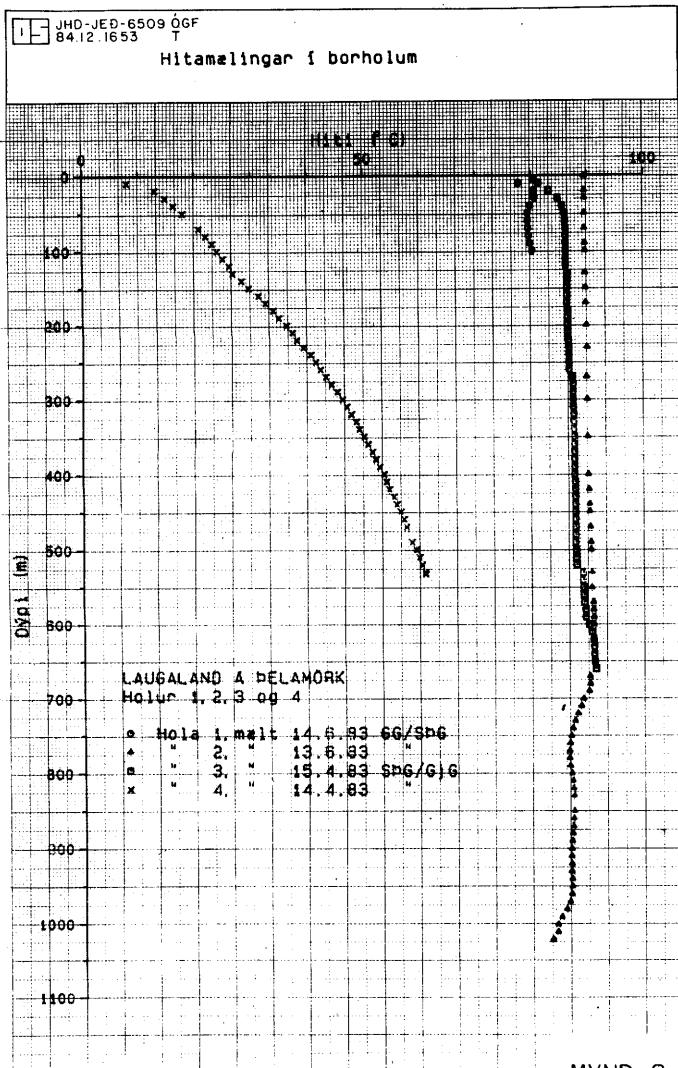
Hola 1 !		Hola 2		!		Hola 3		!		Hola 4 !	
-----!		-----!		-----!		-----!		-----!		-----!	
(1)	!	(2)	(3)	(4)	!	(2)	(3)	!	(1)	!	!
18 m	!	!	160 m	2,6 l/s	!	263 m	!	376 m	!	80 m	!
28 m	!	!	360 m	0,5 l/s	!	513 m	!	513 m	!	!	!
48 m	!	403 m	!	406 m	6,4 l/s	!	521 m	21 m	!	!	!
106 m	!	414 m	!	415 m	4,2 l/s	!	570 m	!	!	!	!
	!	!	427 m	1,0 l/s	!	575 m	!	!	!	!	!
	!	490 m	!	489 m	2,0 l/s	!	594 m	!	!	!	!
	!	562 m	!	574 m	3,0 l/s	!	608 m	!	!	!	!
	!	661 m	!	643 m	2,0 l/s	!	660 m	!	!	!	!
	!	693 m	!			!			!		!

(1) Samkvæmt Kristjáni Sæmundssyni o.fl. (1970)

(2) Vatnsæðar skv. mismunahitamælingu

(3) Vatnsæð skv. borskýrslum (Jarðboranir ríkisins 1964,1970)

(4) Skolvatnsaukning skv. borskýrslum (Jarðboranir ríkisins 1964)



MYND 9 Hitamælingar í borholum við Laugaland

Hola 3 var lokað þegar að var komið. Þegar hún var opnuð tók að renna úr henni. Um 10 mínútum síðar var hætt að seytla úr holu 1. Af mismunahitamælingu má sjá að 8 æðar eru í holu 3 og eru þær taldar upp í töflu 6. Dýpsta æðin reyndist vera á 653 m dýpi og var hitastig þar  $91,4^{\circ}\text{C}$ . Hitamælirinn komst ekki dýpra en í 660 m. Hitastig mældist þar  $91,6^{\circ}\text{C}$ .

Hitaferillinn úr holu 4 er gjörólíkur hinum, enda er holan mjög þétt og vatnsborð á 1-2 m dýpi. Vitað er um smáæðar í henni á bilinu 80-140 m en ekkert rennsli er úr þeim.

Ýmislegt athyglisvert má lesa út úr þessum hitamælingum. Það sem er þó hvað athyglisverðast er kólnunin neðan æðarinnar í 661 m. Hún verður vart skýrð á annan hátt en með láréttu rennsli í æðunum ofan 661 m eða því að halli æðarinnar víki mjög verulega frá lóðréttu. Nú benda viðnámssniðsmælingar sterklega til þess að vatnsleiðandi sprunga með norðaustlægum stefnu liggi um borsvæðið í 5-50 m fjarlægð sunnan

holu 2. Um halla þeirrar sprungu er ekkert vitað. Ef gert er ráð fyrir að hola 2 hafi farið í gegnum sprunguna á 661 m dýpi væri halli hennar  $0,4 -4,4^\circ$  til vesturs. Ef halli sprungunnar er á hinn bóginn aust-lægur verður að gera ráð fyrir að vatnsæðarnar í holum 1 - 3 tengist láréttu rennsli út frá umræddri sprungu. Til að reyna að kenna hvor þessara möguleika sé líklegri voru gerð varmaleiðnilíkön af svæðinu umhverfis holurnar. Kannaðir voru nokkrir mismunandi kostir, einkum þó hvort um væri að ræða vesturhallandi sprungu sem hola 2 hefur skorið eða austurhallandi sprungu með láréttu rennsli út frá til norðurs.

Varmaleiðnilíkön felast í því að gert er tvívitt líkan af legu vatns-æða og hitastigs dreifing í þeim áætluð út frá fyrirliggjandi upplýsingum úr borholum of frá efnahitamælum. Síðan er gert ráð fyrir því að bergið umhverfis æðarnar sé alveg þétt þannig að varmi berist þar eingöngu með varmaleiðni. Aðferðinni hefur áður verið lýst í skýrslu til Hitaveitu Akureyrar (Ólafur G. Flóvenz o.fl. 1981).

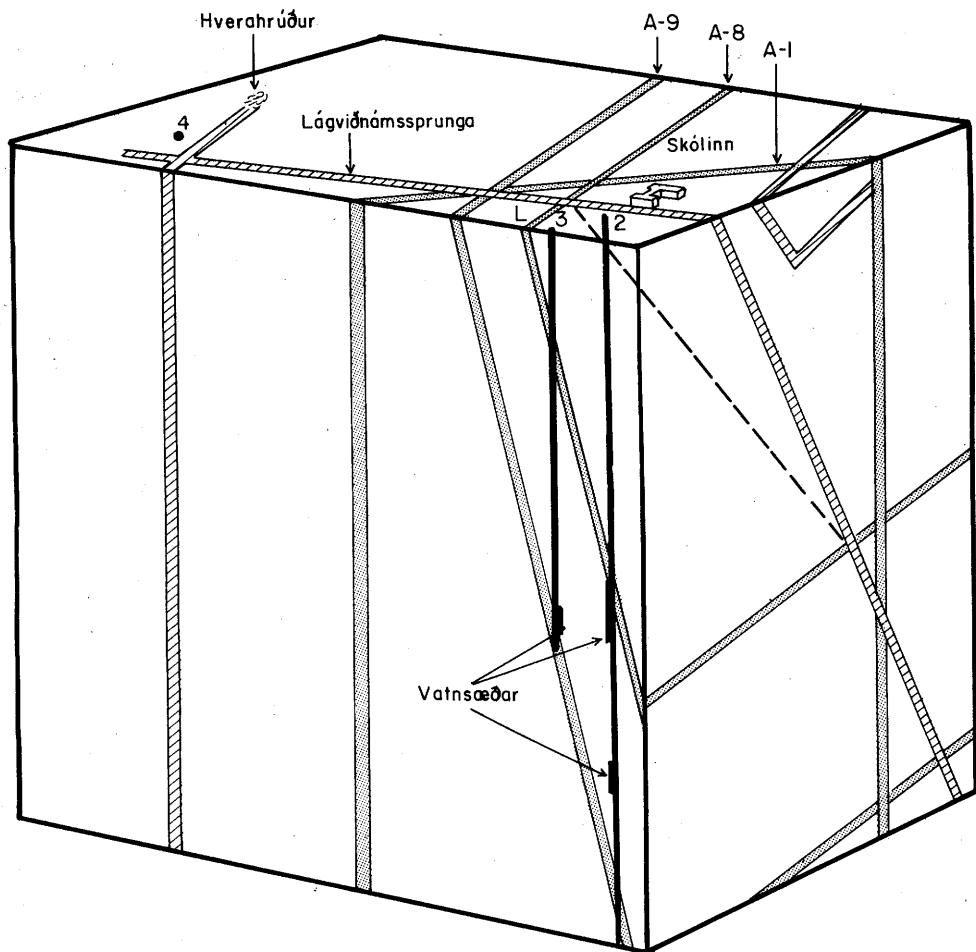
Dæmi um líkönin sem reynd voru eru sýnd í viðauka E. Í öllum tilfellum er gert ráð fyrir því að hitastig sé  $50^\circ\text{C}$  á yfirborði (í laugunum) og hann vaxi í fyrstu línulega niður í  $77^\circ\text{C}$  á 100m dýpi, þaðan línulega í  $85^\circ\text{C}$  á 375 m dýpi (stuðst við hitamælingar í holu 1), síðan línulega í  $92^\circ\text{C}$  á 660 m (gögn úr holu 2), haldist þar fastur niður á 1100 m. Miðað við hitastigul sem er ótruflaður af heitavatns-rennsli ætti hitastig að vera orðið  $100^\circ\text{C}$  á 1600 m dýpi. Því var í sumum líkananna gert ráð fyrir að hitastigið yxi línulega úr 1100 m í  $100^\circ\text{C}$  á 1600 m dýpi en í öðrum var gert ráð fyrir að hitastigið héldist fast,  $92^\circ\text{C}$  í sprungunni alveg niður á 1600 m dýpi. Slík hegðun er í samræmi við hitafar á jarðhitasvæðum eins og Syðra-Laugalandi og á Svalbarðseyri.

Ef forsendur varmaleiðnireikninganna standast (að um tvívitt rennsli í afmörkuðum sprungum í bergrunni sem að öðru leyti er þéttur og rennslið hafi staðið nær óbreytt í nægjanlega langan tíma til að varmajafnvægi hafi náðst) má af þessum útreikningum draga eftirfarandi ályktanir:

1. Ógerlegt er að skýra hitaferilinn í holu 2 (kólununa neða 661 m) með tvívíðu líkani með því að gera ráð fyrir því að sprungunni halli til vesturs.
2. Ef sprungunni hallar í austur verður hallinn að víkja talsvert frá lóðréttu. Jafnframt verður að gera ráð fyrir að vatnsæðarnar sem fram koma í holum 1 - 3 tengist láréttu rennsli út frá sprungunni í eða meðfram göngum (A1, A8 eða A9) fremur en að um sé að ræða rennsli eftir tiltölulega víðáttumiklum millilögum í hraunlagastaflanum. Ennfremur verður að gera ráð fyrir því að hitinn í sprungunni vaxi ekki mikil yfir  $92^\circ\text{C}$  ofan 1600 m dýpis.

JHD - JEÐ - 6509 OG  
AA  
84.12.1573

## LAUGALAND Á ÞELAMÖRK



MYND 10 Einfolduð þrívidaarmynd sem sýnir líklegustu afstöðu borhola, ganga og lágvíðnámssprungu. Göngum A8 og A9 hallar um  $4 - 5^\circ$  til vesturs og eru þeir skornir af holum 2 og 3. Gangur A1 er hins vegar nærrí því lóðréttur því fara borholurnar ekki í gegnum hann né heldur lágvíðnámssprunguna sem talin er hafa austlægan halla. Vatnið sem fram kemur í holunum tengist því láréttu streymi heits vatns eftir göngunum út frá lágvíðnámssprungunni.

Miðað við að forsendur varmaleiðnireikninganna standist má draga upp einfaldaða þrívíddarmynd af jarðhitasvæðinu (mynd 10). Vatnið kemur þá upp með sprungunni með árbakkanum sem hallar talsvert til austurs. Jafnframt leitar það lárétt út frá sprungunni eftir göngunum sem merktir eru Al, A8 og A9 á myndinni. Ef þetta líkan er rétt væri vánlegast að bora austan sprungunnar til að hitta á hana, þ.e. fjær ánni en gert hefur verið fram að þessu.

Nú er að sjálfsögðu ekkert víst að forsendur varmaleiðnilíkananna standist. Jarðhitaummerki á yfirborði benda að vísu til að jarðhitinn hafi verið virkur á Laugalandi mjög lengi þannig að lítil ástæða er til að ætla að forsendur um tíma standist ekki. Hins vegar er líklegra að forsendan um tvívít kerfi sé vafasöm. Að vísu benda viðnámssniðsmælingarnar eindregið til þess að um langa sprungu sé að ræða samsíða árbakkanum. Hún þarf hins vegar alls ekki að vera jafnheit alls staðar. Vel má hugsa sér að heita vatnið komi af miklu dýpi eftir sprunguflitinum talsvert frá laugunum og holu 2, breiðist síðan lárétt út eftir sprungunni ofan 660 m dýpis og flæmist síðan eitthvað út í gangana sem næst liggja laugunum í efstu 500 metrunum. Ef þetta er rétt þyrfti að bora í sprunguna talsvert frá jarðhitanum, annað hvort norðar eða sunnar, til að hitta í uppstreymið á meira dýpi en 660 m. Líklegra er að leita þurfi í suður miðað við lágan hitastigul í holu 4.

Samkvæmt niðurstöðum viðnámsmælinganna liggur lágvíðnámsveggur um 70 m vestan við holu 4 og annar um 100 m norðan hennar. Ef um vatnsleiðandi sprungu er að ræða vestan holunnar (stefnir í áttina að hverahrúðrinu uppi í hlíðinni) er líklegra miðað við ríkjandi gangahalla að henni halli til vesturs, þ.e. holan fjarlægist sprunguna eftir því sem neðar kemur. Með því að gera ráð fyrir því varmi frá sprungunni berist aðeins út í bergið við varmaleiðni má leggja nokkurt mat á hitastig vatnsins í sprungunni þar sem hún er næst holu 4. Búið var til varmaleiðnilíkan svipað og lýst er hér að ofan og reynt að meta hversu hátt hitastigið í sprungunni getur mest verið til að samræmast hitamælingunni í holu 4. Ef gert er ráð fyrir  $6^{\circ}$  halla á sprungunni til vesturs er ekki við því að búast að hitastigið hafi náð  $75^{\circ}\text{C}$  fyrr en á tæplega 700 m dýpi. Ef halli sprungunnar er minni verður dýpið enn meira, hvað þá ef hallinn er til austurs eins og varmaleiðnilíkönin frá holu 2 benda til. Þetta samrýmist ágætlega þeirri niðurstöðu af greiningu útfellinga úr holu 4 að hitastig bergsins þar hafi aldrei verið yfir  $100^{\circ}\text{C}$ .

## II HAGKVÆMNI VIRKJUNAR Á LAUGALANDI

Hér að framan hafa verið leiddar að því líkur að fá mætti 20 - 40 l/s af 92 °C vatni á Laugalandi. Það er þó háð því að það takist að hitta á aðfærsluæðar kerfisins, sem telja verður umtalsverða líkur á í ljósi niðurstaða viðnámssniðsmælinganna.

Hér á eftir verður reynt að meta orkuverð frá virkjun við Laugaland miðað við þrjár mismunandi forsendur varðandi boranir og árangur þeirra. Til að stilla bjartsýni í hóf verður reiknað með því að í minnsta lagi fáist um 20 l/s af svæðinu en í besta lagi 30 l/s, sem leiða mætti til Akureyrar. Allar kostnaðartölur miðast við verðlag eins og það var í desember í 1984 (byggingavístitala 168).

Reiknað er með að bora þurfi grunnar rannsóknarholur til undirbúnings staðsetningar vinnsluhola. Miðað er við að slíkar holur verði boraðar með lofthamri niður á 200 m dýpi og kostnaður verði 500 þús. á hverja holu. Ennfremur er gert ráð fyrir því að vinnsluholur verði um 1400 m djúpar, fóðraðar 400 m niður og kosti 11 Mkr. Þessar viðmiðunartölur um borkostnað eru fengnar hjá Kárlí Ragnars forstjóra Jarðborana ríkisins. Þá er rannsókna og eftirlitskostnaður í tengslum við boranir metinn 5% af borkostnaði.

Ef vel tekst til, sem nokkrar líkur eru á vegna umfangs forrannsókna, gæti ein vinnsluhola, 1400 m djúp, og 4 grunnar rannsóknarholur dugað til að ná umræddu vatnsmagni. Í líklegasta tilfelli má búast við að tvær 1400 m vinnsluholur og 6 grunnar rannsóknarholur þyrfti til, og í því versta fjórar vinnsluholur og 8 grunnar rannsóknarholur.

Samkvæmt upplýsingum Maríu Jónu Gunnarsdóttur, sem fæst við áætlana-gerð fyrir nýjar hitaveitur, má reikna með að kostnaður við aðveituæð sé um 2,7 Mkr/km. Er þá reiknað með 200 mm stálþípu einangraðri með úretan í plastkápu. Kostnaður við uppsetningu og brunna er meðtalinn. Kólunun í slíkri lög er um  $0,6^{\circ}\text{C}/\text{km}$  miðað við 20 sekúndulítra rennsli en  $0,4^{\circ}\text{C}$  miðað við 30 sekúndulítra rennsli. Fjarlægðin frá Laugalandi að dælustöð hitaveitunnar við þórunnarstræti er um 13 km eftir þjóðveginum þannig að heildarkostnaður við aðveituæðina yrði 35,1 Mkr og vatnið kólnaði um 5 - 8 °C á leiðinni.

Þá er reiknað með að virkjunarkostnaður verði 4,0 Mkr þar af 1,0 Mkr vegna nýs spennis og raflagna sem nauðsynlegar eru. Reiknað er með að árlegur dælingarkostnaður sé 1,6 Mkr við 20 l/s stöðuga dælingu, 2,0 Mkr við 25 l/s stöðuga dælingu og 2,4 Mkr ef dæling er 30 l/s allan ársins hring. Reiknað er með að raforka sé keypt á taxta Bl af Rafmagnsveitum ríkisins og lyftihæð vatnsins sé 300 m

Miðað er við 8% vexti 15 ára afskriftatíma og að 1,5% af stofnkostnaði aðveituæðar, virkjunarbúnaðar og einnar vinnsluholu fari í árlegan rekstur eða 0,75 Mkr.

Hér skal einnig vakin athygli á því að miðað er við 15 ára afskriftatíma en ekki 25 ár eins og venja er í slíkum áætlunum. Þetta er gert vegna þess að reynslan af sumum virkjunarstöðunum í Eyjafirði bendir ekki til þess að líftími jarðhitasvæðanna sé mikið meiri en 15 ár á þeim afköstum sem þau eru rekin nú.

Þess ber að geta hér að Laugalandssvæðið er nánast ósnert og örugglega ótengt öðrum vinnslusvæðum hitaveitunnar. Því er yfirþrýstingur í kerfinu þannig að hætta á skoltapi og meðfylgjandi borvandræðum af þeim sökum er lítil. Ennfremur má benda á að holur eru nú að jafnaði hallamældar í borun og reynt að halda þeim sem næst lóðréttum til að koma í veg fyrir borfestur af þeim sökum. Þá er innihald brennisteinsvetnis mun herra í vatnskerfinu á Laugalandi á Þelamörk en í öðrum vinnslusvæðum veitunnar, það hamrar gegn súrefni í vatninu og dregur því úr tæringarhraða.

1. Besta tilfelli:

30 l/s fást með borun einnar vinnsluholu. Kólunun í aðveituæð 5°C.

4 grunnar rannsóknarholur.....	2,0 Mkr
1 1400 m vinnsluhola.....	11,0 Mkr
Rannsóknar og eftirlitskostnaður.....	0,6 Mkr
Virkjunarkostnaður.....	4,0 Mkr
Aðveituæð.....	35,1 mkr
Stofnkostnaður samtals.....	52,9 Mkr

Árlegur fjármagns- og afskriftakostnaður 0,1168 \* 52,9 6,2 Mkr

Raforkukostnaður við dælingu.....	2,4 Mkr
Annar rekstur.....	0,8 Mkr

Árlegur rekstrarkostnaður..... 3,2 Mkr 3,2 Mkr

Heildarkostnaður við orkuvinnsluna á ári:..... 9,4Mkr

Vatnið er 87°C við komuna til Akureyrar þ.a. heildarorkuvinnsla á ári er 51,5 GWh (gígawattstundir). Orkuverðið yrði því í besta tilfelli 0,18 kr/kwh, eða 18 aurar á hverja kílowattstund af varmaorku sem komin er í dælustöð í þórunnarstræti.

1. Líklegasta tilfelli:

25 l/s fast með borun tveggja vinnsluhola. Kólnun í aðveituæð 6°C.

6 grunnar rannsóknarholur.....	3,0 Mkr
2 1400 m vinnsluhola.....	22,0 Mkr
Rannsóknar og eftirlitskostnaður.....	1,1 Mkr
Virkjunarkostnaður.....	4,0 Mkr
Aðveituæð.....	35,1 mkr

Stofnkostnaður samtals.....65,2 Mkr

Árlegur fjármagns- og afskriftakostnaður 0,1168 \* 65,2 7,6 Mkr

Raforkukostnaður við dælingu.....	2,0 Mkr
Annar rekstur.....	0,8 Mkr

Árlegur rekstrarkostnaður.....2,8 Mkr 2,8 Mkr

Heildarkostnaður við orkuvinnsluna á ári:.....10,4 Mkr

Vatnið er 86°C við komuna til Akureyrar þ.a. heildarorkuvinnsla á ári er 42,0 GWh (gígawattstundir). Orkuverðið yrði því í besta tilfelli 0,25 kr/kWh, eða 18 aurar á hverja kílowattstund af varmaorku sem komin er í dælustöð í þórunnarstræti.

1. Versta tilfelli:

20 l/s fást með borun fjögurra vinnsluhola. Kólnun í aðveituæð 8°C.

8 grunnar rannsóknarholur.....	4,0 Mkr
4 1400 m vinnsluhola.....	44,0 Mkr
Rannsóknar og eftirlitskostnaður.....	2,4 Mkr
Virkjunarkostnaður.....	4,0 Mkr
Aðveituæð.....	35,1 mkr

Stofnkostnaður samtals.....89,5 Mkr

Árlegur fjármagns- og afskriftakostnaður 0,1168 \* 89,5 10,5 Mkr

Raforkukostnaður við dælingu.....	1,6 Mkr
Annar rekstur.....	0,8 Mkr

Árlegur rekstrarkostnaður.....2,4 Mkr 2,4 Mkr

Heildarkostnaður við orkuvinnsluna á ári:.....12,9Mkr

Vatnið er 84°C við komuna til Akureyrar þ.a. heildarorkuvinnsla á ári er 32,1 GWh (gígawattstundir). Orkuverðið yrði því í versta lagi 0,40 kr/kWh, eða 40 aurar á hverja kílówattstund af varmaorku sem komin er í dælustöð í þórunnarstræti.

Þessar tölur um orkuverð eru nokkuð hærri en í skýrslunni "Vatnsöflun Hitaveitu Akureyrar" (Ólafur G. Flóvenz og Þorsteinn Thorsteinsson 1983). Veldur því einkum þrennt. Verðlag hefur hækkað nokkuð síðan sú áætlun var gerð, hér er miðað við hærri raforkutaxta til dælingar en þær var gert og loks er fremur reynt að hafa kostnaðarliði nær hærri mörkum til að hafa vaðið fyrir neðan sig. Engu að síður má sjá af þessum tölum að fyrir besta og líklegasta tilfelli er um hagkvæman virkjunarkost að ræða fyrir hitaveituna að ræða.

## 12 NIÐURSTÖÐUR OG TILLÖGUR

Helstu niðurstöður þessarar úttektar á jarðhitasvæðinu á Laugalandi á Þelamörk má draga saman á eftirfarandi hátt:

1. Virkjun Laugalandssvæðisins er talinn álitlegur kostur fyrir Hitaveitu Akureyrar og orkuöflunarkostnaður þar yrði líklega nálægt 0,25 kr/kWst á verðlagi í des 1984 (byggingarvísitala 168).
2. Talið er líklegt að fá megi 20 -40 l/s af liðlega 90 °C vatni af svæðinu.
3. Vatnið inniheldur nokkuð af brennisteinsvetni sem hamrar gegn súrefnisupptöku og þar með gegn tæringu.
4. Viðnámssniðsmælingar sýna að rafleiðandi sprunga liggur um jarðhitasvæðið. Sú rafleiðni er talin tilkomín vegna rennslis heits vatns í henni.
5. Sprungan virðist ekki falla saman við neinar þekktar misfellur sem fundist hafa með jarðfræðikortlagningu eða segulmælingum.
6. Ljóst er að heita vatnið sem kemur í holur 2 og 3 tengist berggöngum þótt ekki sé fullljóst um hvaða bergganga sé að ráða.
7. Hitamælingar sýna að hola 2 kólnar neðan 660 m dýpis. Það er túlkað sem vísbending um að sprungunni halli talsvert til austurs frá lóðréttu eða að heita vatnið berist lárétt eftir sprungunni að laugasvæðinu við Hörgá. Ef seinni kenningin er rétt er talið líklegra að aðrennslið sé úr suðvestri og er þá stuðst við hitamælingar og greiningu ummyndunarsteinda úr holu 4.
8. Jarðhitinn sem myndaði hverahrúðursbreiðurnar í hlíðinni ofan Laugalands er talinn löngu kulnaður, a.m.k. næst yfirborði. Því er talið álitlegra að beina borunum að laugasvæðinu við Hörgá neðan Þelamerkurkóla.
9. Við Laugaland virðast tvö gangakerfi skerast. Annað kerfið stefnir nálægt því norður-suður. Halli þeirra ganga virðist vera nærri lóðréttu eða örlítið vestlægur ( $1 - 2^\circ$ ). Hitt gangakerfið hefur norðvestlæga stefnu. Hvergi sér í ganga sem tilheyra því kerfi en af þeim göngum sem finnast í holum 2 og 3 má ráða að halli þeirra sé  $4 - 6^\circ$  til vesturs frá lóðréttu.

Af ofansögðu má ráða að hagkvæmt geti reynst fyrir Hitaveitu Akureyrar

að nýta vatn frá Lægalandi á Þelamörk. Telja verður líklegt að þær holur sem fram að þessu hafa verið boraðar hafi ekki hitt á aðal-aðstreymissprungu jarðhitasvæðisins. Talið er að aðstreymi heita vatnsins sé eftir lágviðhnámsprungunni. Halli hennar er ekki þekktur en vissar líkur benda til þess að hún hafi austurhalla, þ.e. holur 1 -3 nái aldrei að skera hana. Þó gæti allt eins verið að um lárétt rennsli ofan 660 m sé að ræða í sprungunni, a.m.k. í nágrenni holu 2. Í því tilfelli þyrfti að leita með borunum að þeim stað á sprungunni þar sem vatnið kemur upp af meira dýpi. Ekki er talið að hjálp yrði í frekari yfirborðsrannsóknum að sinni. Í ljósi þessara niðurstaða er eftir-farandi lagt til:

Boraðar verði 2- 4 um 200 m djúpar loftborsholur austanvert við sprunguna á móts við holu 2. Markmiðið væri að kanna halla sprungunnar. Í framhaldi af því yrði líklega ein holanna dýpkuð með það fyrir augum að skera hana og kanna hvort um lárétt rennsli er að ræða. Ef i ljós kæmi að um lárétt rennsli væri að ræða yrði að leita fyrir sér með fleiri loftborsholum sunnan og vestan Laugalandsskóla.

## HEIMILDASKRA

Axel Björnsson, Kristján Sæmundsson, Sigurður Einarsson, Freyr Þórarinsson, Stefán Arnórsson, Hrefna Kristmannsdóttir, Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt Steingrímsson & Þorsteinn Thorsteinsson 1979: Hitaveita Akureyrar. Rannsókn jarðhita í Eyjafirði. Áfangaskýrsla 1978. Orkustofnun, OS-JHD 7827, 91 s.

Bára Björgvinsdóttir, 1982: Segulmælingar í Hrafnagilshreppi í Eyjafirði Orkustofnun, OS82100/JHD15, 21s.

Eggert Ólafsson 1943: Ferðabók Eggerts Ólafssonar og Bjarna Pálssonar II. Reykjavík, 317 s.

Guðmundur Guðmundsson og Kristján Sæmundsson, 1972: Jarðhiti í nágrenni Akureyrar. Orkustofnun, 8 s.

Gunnar Böðvarsson 1947: Bréf til bæjarstjórans á Akureyri dags.  
3.5.1947

Jarðboranir ríkisins 1965: Norðurlandsbor, borskýrslur.

Jarðboranir ríkisins 1970: Norðurbor, borskýrslur.

Jónas Hallgrímsson, 19 : Dagbækur, yfirlitsgreinar og fleira III.  
Ísafoldarprentsmiðja, 309s.

Kristján Sæmundsson, Sigurður Benediktsson, Þorsteinn Thorsteinsson og Ísleifur Jónsson, 1972: Rannsóknir á jarðhita á Laugalandi,  
Hörgárdal. Orkustofnun, 4ls.

Ólafur G. Flóvenz, 1980: Laugaland á þelamörk: Rannsóknir 1979 og tillögur um framhald þeirra. Orkustofnun, greinargerð ÓGF-80/04, 3 s.

Ólafur G. Flóvenz, Bára Björgvinsdóttir, Sigmundur Einarsson og Hrefna Kristmannsdóttir 1981: Kristnes-Reykhús. Úttekt á hálfrar aldar árangurslítili jarðhitaleit. Orkustofnun, OS81026/JHD15, 55 s.

Ólafur G. Flóvenz og Brynjólfur Eyjólfsson, 1981: Viðnámsmælingar og mat á jarðhitastöðum í Eyjafirði. Orkustofnun, OS81029/JHD17, 65s.

Ólafur G. Flóvenz, Sigmundur Einarsson, Ásgrímur Guðmundsson, Þorsteinn Thorsteinsson og Hrefna Kristmannsdóttir 1984: Jarðhitarannsóknir á

Glerárdal 1980 - 1983. Orkustofnun, OS84075/JHD13, 89s.

Rannsóknaráð ríkisins 1944: Jarðhiti á Íslandi. I Alkalísk jarðhita-svæði. Rannsóknaráð ríkisins, (177) s.

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

Borkell Borkelsson, 1920: Undersögelse af nogle varme kilder pa Nord-Island. Det Kgl. Danske Vid. Selsk., Math-fys. Medd. III, 1, 30 s.

Borvaldur Thoroddsen 1910: De varme Kilder paa Island, Deres fysisk-geologiske Forhold og geografiske Udbredelse. D.K.D. Vid. Selsk. Oveos. No 2 og 3, 257 s.

Borsteinn Thorsteinsson, 1981: Dæluprófun við Laugaland í Hörgárdal í október, 1970. Orkustofnun, greinargerð, bTh-81/05, 8 s.



VIÐAUKI A:

Lýsing jarðlagastaflans

## LÝSING JARÐLAGASTAFLANS

Jarðlagasniðin eru sýnd á meðfylgjandi mynd. Neðstu þrjár einingarnar eru þó ekki sýndar vegna þess hve opnur í þær voru stopular eins og fram kemur í lýsingunum hér á eftir.

Eining A: Hér er átt við nokkur þóleiítlög sem koma fram á hæðunum utan við Fagraskóg. Opnur eru ekki góðar á þessu svæði þannig að í raun eru þetta efri mörk einingarinnar, þar eð athugunin náði ekki lengra til norðurs. Þóleiítlögin eru þykk 15-80 m.

Eining B: Þóleiít með smáum plagioklasdílum. Einingin er samtals nál. 130 m þykk. Opnan er sem fyrr mjög léleg. Um miðja eininguna er um 40 m þykkt lag sem myndar lágt klettabelti í um 250 m hæð í brekkunni ofan við Fagraskóg.

Eining C: Þóleiít. Einingin er um 200 m þykk, en opnan er mjög léleg og aðeins sést í þóleiítið á þremur stöðum og því ekki víst að hér sé eingöngu þóleiít. Ekkert er vitað um þykktir hraunlaga, fjölda þeirra eða millilög.

Eining D: Dílabasalt. Neðstu löggin mynda klettabelti í um 500 m hæð í hlíðinni ofan við Fagraskóg. Þessi lög koma fram neðst í gilinu ofan við Syðri-Reistará. Heildarþykkt einingarinnar er um 75 m. Í gilinu við Reistará samanstendur hún af 6 lögum sem eru 10-15 m þykkt. Dílarnir eru yfirleitt plagióklas, 1-4 m í þvermál og slæður af smáum pýroxendílum. Sum löggin eru morkin og holufyllt. Á tveimur stöðum sér í þunn rauð millilög.

Eining E: Þóleiít og smádílótt dílabasalt. Einingin er um 100 m þykk og sést öll í gilinu við Syðri-Reistará. Samtals eru þetta 7 lög ýmist dílalaus eða með smáum plagióklas og pýroxendílum. Lítið er um holufyllingar. Þunn rauð millilög.

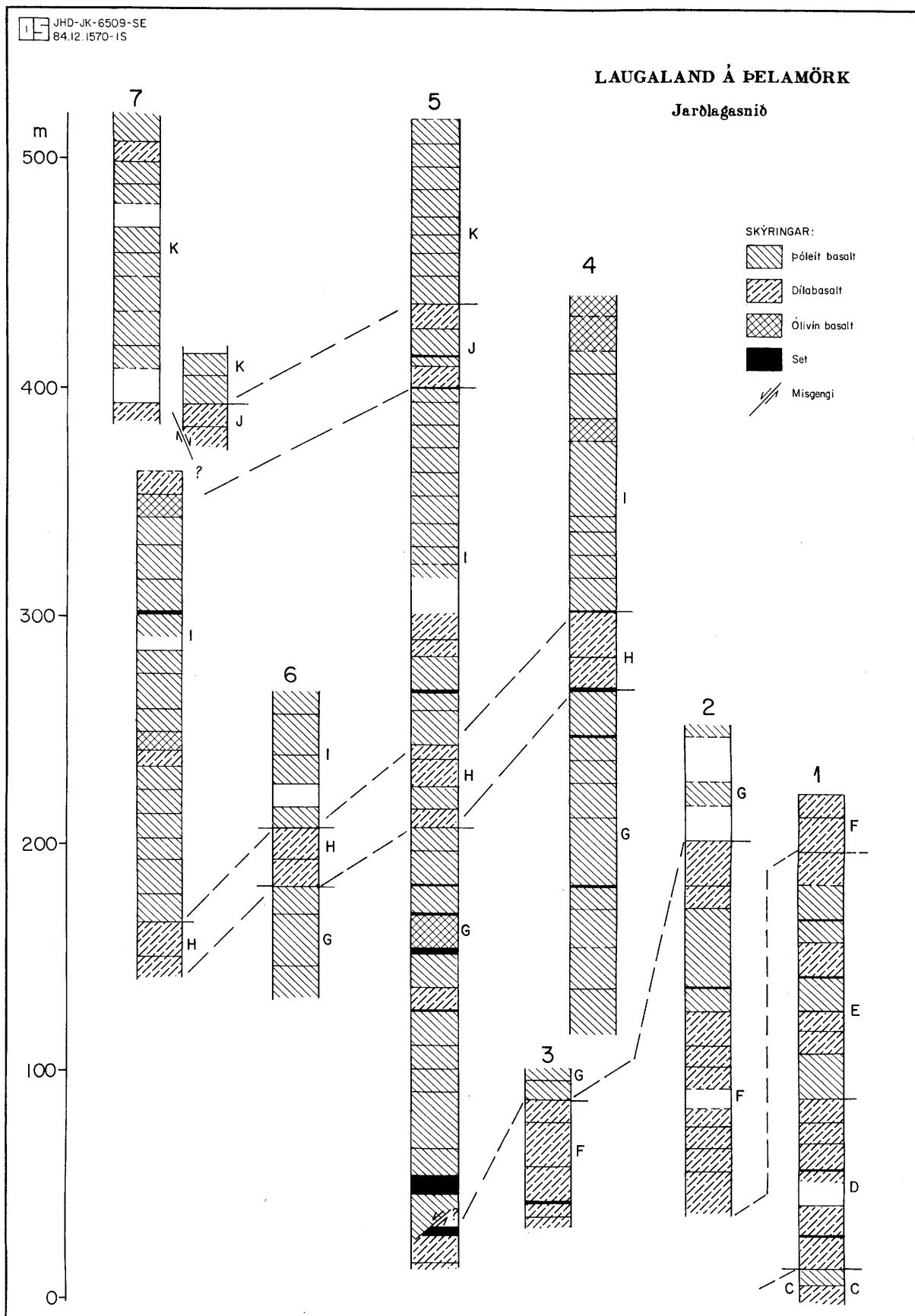
Eining F: Dílabasalt. Basaltið yfirleitt stakdílótt og smádílótt, samtals rúmlega 200 m. Heildarþykkt er óviss þar sem ekki fengust öruggar tengingar milli opna. Alls eru þetta um 15 lög og sést einingin mestöll í gilinu ofan við Syðra-Brekkukot.

Eining G: Þóleiít. Einingin einkennist af misþykkum þóleiítlögum, samtals um 180 m. Besta opnan í þessa einingu er neðst í

gili Krossastaðaár. Neðst í einingunni koma fram þykk setlög. Sniðið er tiltölulega flatt og því töluverð hætta á skekkju í mati á þykkt laga. Líklegt er að þessi eining sé nokkru þykkari en áætlað var, eða allt að 250 m.

Eining H: Þessi eining er í raun aðeins 2-3 díla basaltlög, en hefur allnokkra útbreiðslu. Hún kemur fram á svæðinu frá Fálkahaus og austur í Væðlaheiði. Dílar eru smáir, plagíoklas og pýroxen.

Eining I: Þóleiít. Einingin kemur fram ofarlega í gili Krossastaðaár, samtals um 160 m. Mæling á þykkt er ónákvæm þar eð sniðið er tiltölulega flatt. Hraunlögin sem koma fram víða innanbæjar á Akureyri tilheyra þessari einingu. Setlög eru fá og þunn.

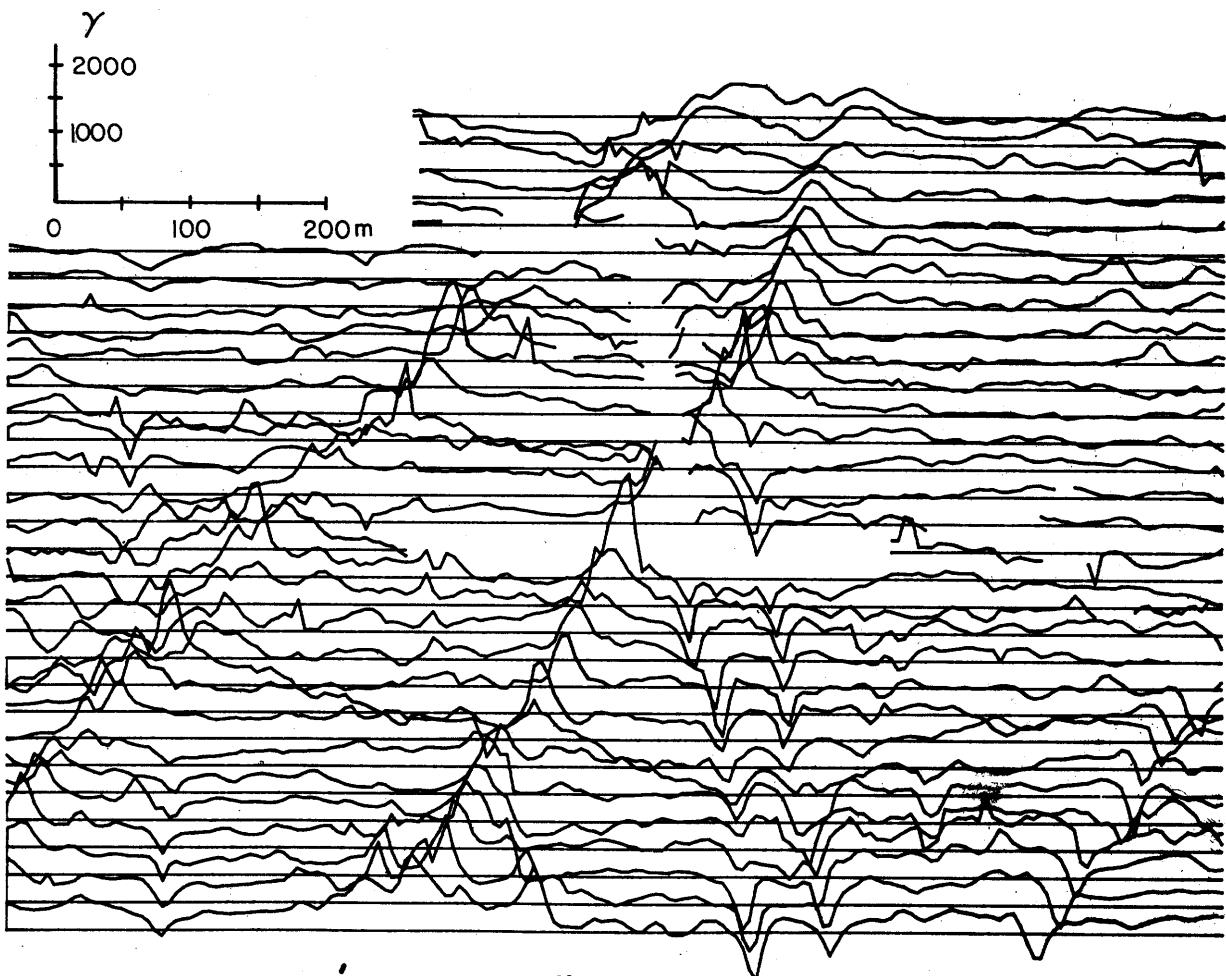


VIÐAUKI B:

Segulkort



JHD-JEÐ-6000 ÖGF  
83.10.1512 A'A

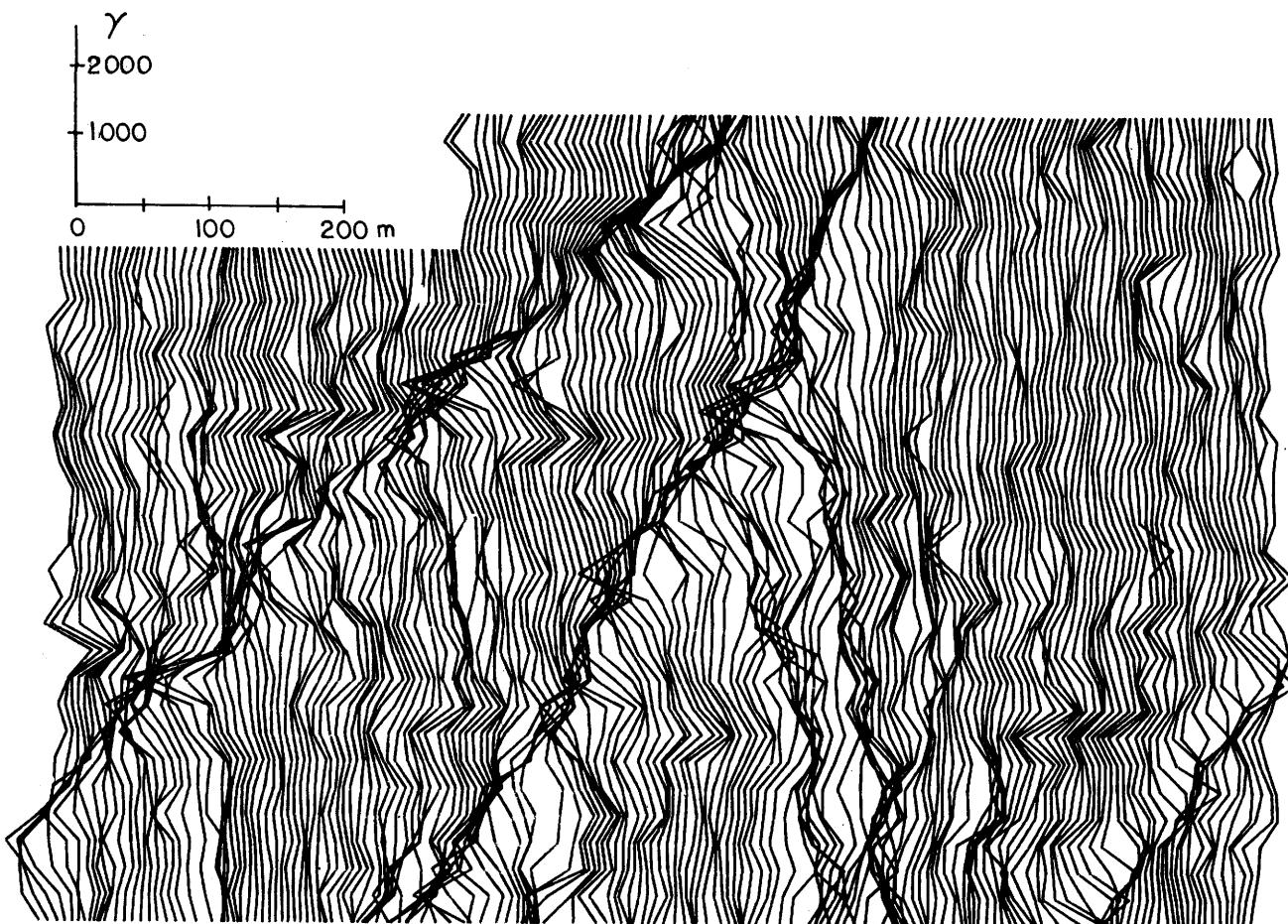


## LAUGALAND Á ÞELAMÖRK

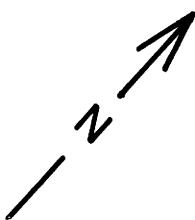
SEGULSVIÐSFERLAR TEIKNAÐIR EFTIR MÆLLILÍNUM  
BAKGRUNNSSVIÐ 51500 γ



JHD-JEÐ-6000 ÖGF  
83.10.15II AÁ

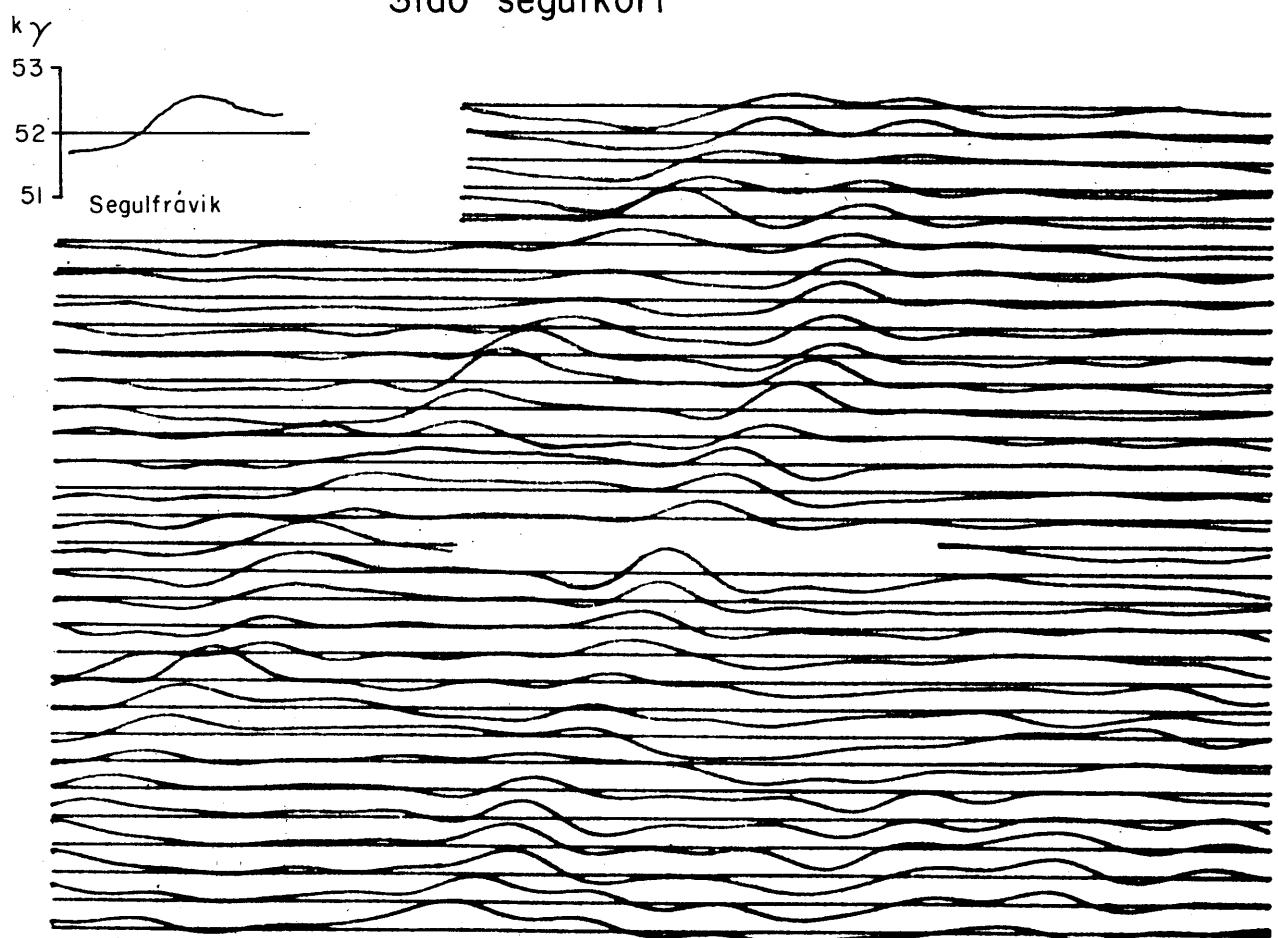


LAUGALAND Á PELAMÖRK  
SEGULSVÍDSFERLAR TEIKNADIR EFTIR MÆLILÍNUM  
BAKGRUNNSSVIÐ 51500 γ



JHD-JEP-6509 ÓGF  
84.12.1652 T

LAUGALAND Á ÞELAMÖRK  
Síð segulkort





VIÐAUJKI C:

Viðnámsniðsmælingar, líkön og frumgögn

JHD - JED-6509 OG  
84.12.1592 T

LAUGALAND Á ÞELAMÓRK

Lína 1.

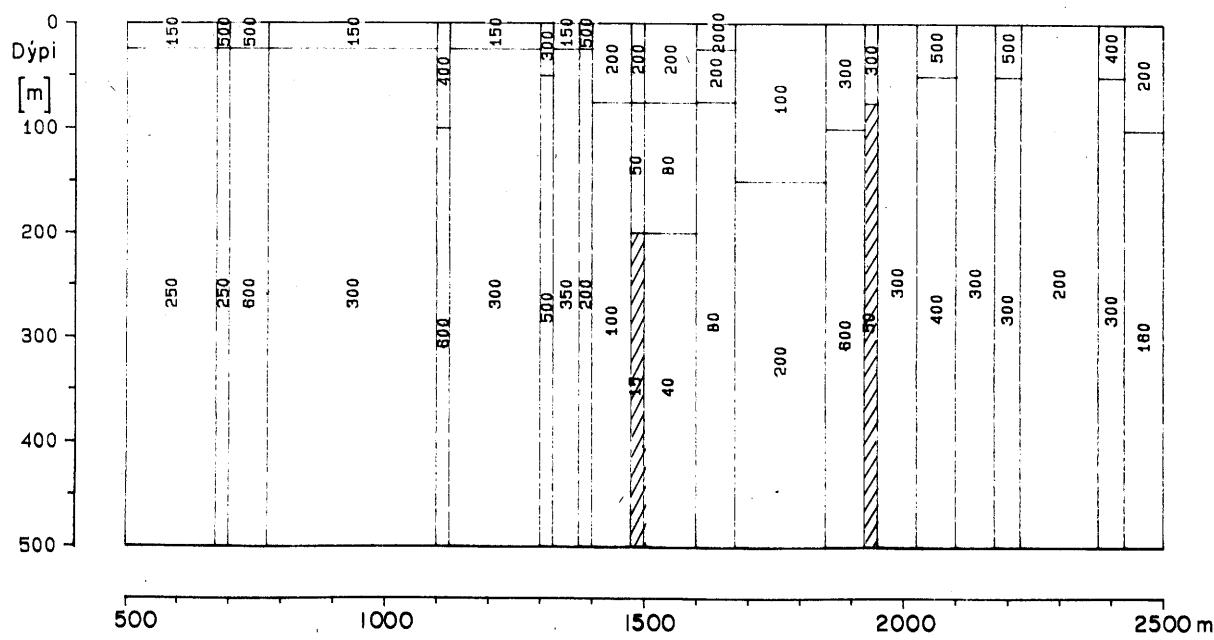
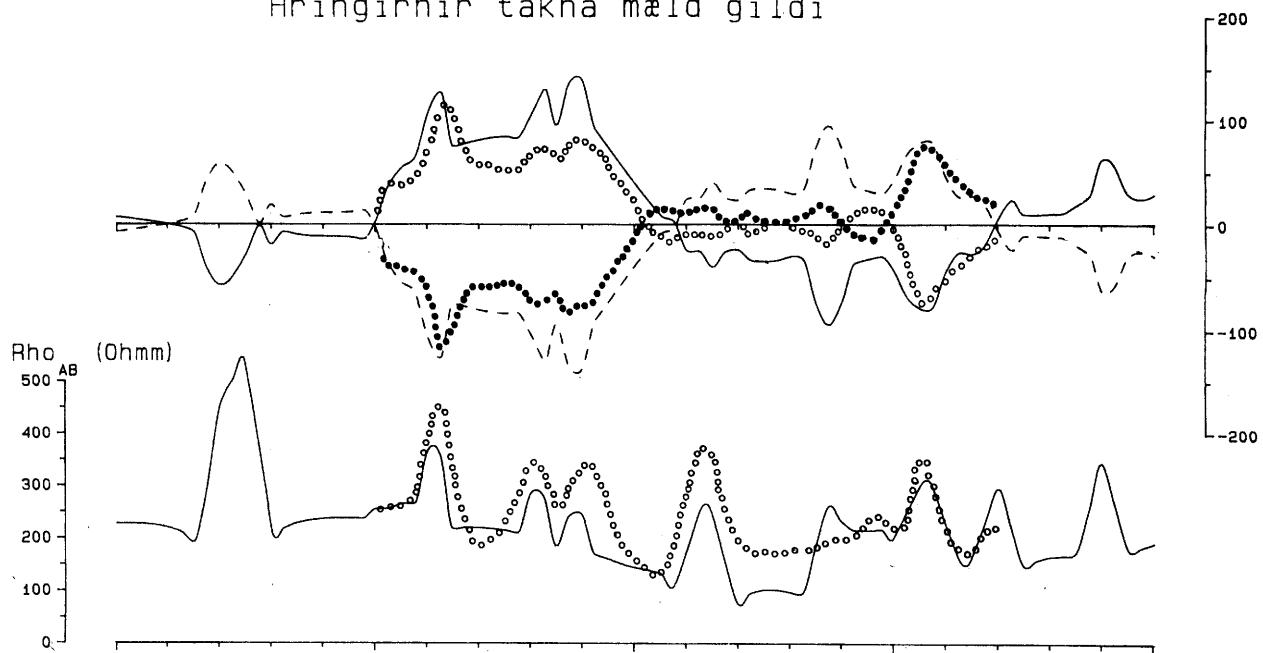
AB/2 = 300m MN/2 = 25m

Fjarlægðir vaxa til norðausturs

BC er austar.

Hringirnir tákna mæld gildi

— Rho<sub>AC-AB</sub>  
--- Rho<sub>BC-AB</sub>  
(Ohmm)



JHD-JED-6509 ÖGF  
84.12.1593 T

LAUGALAND Á ÞELAMÖRK

Lína 1.

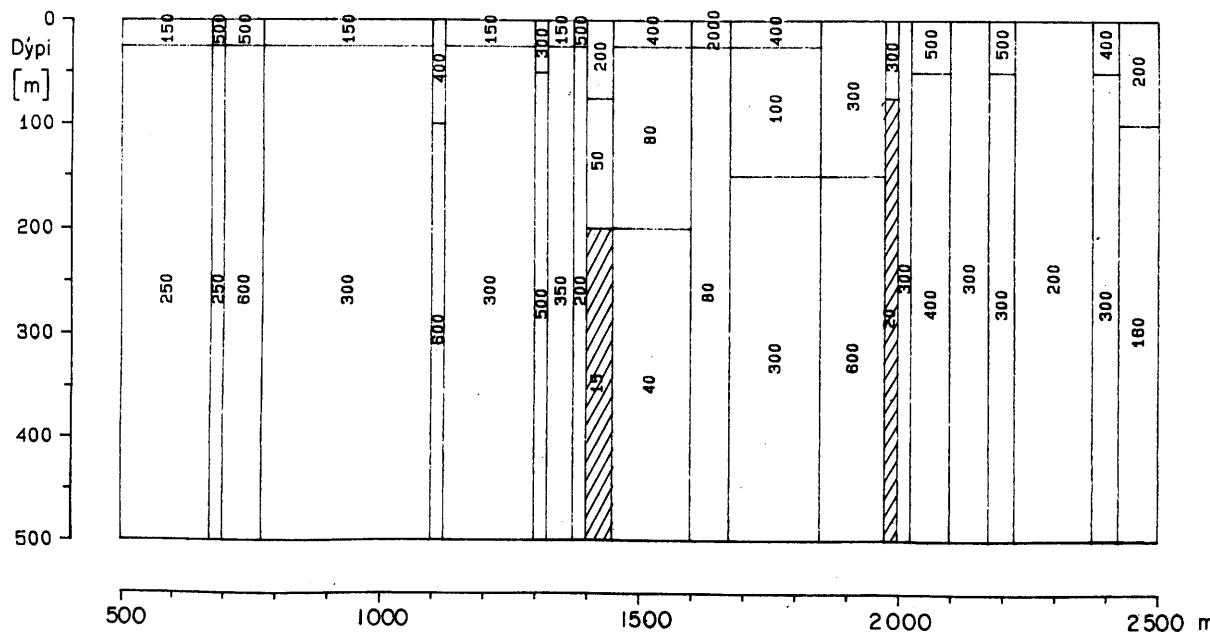
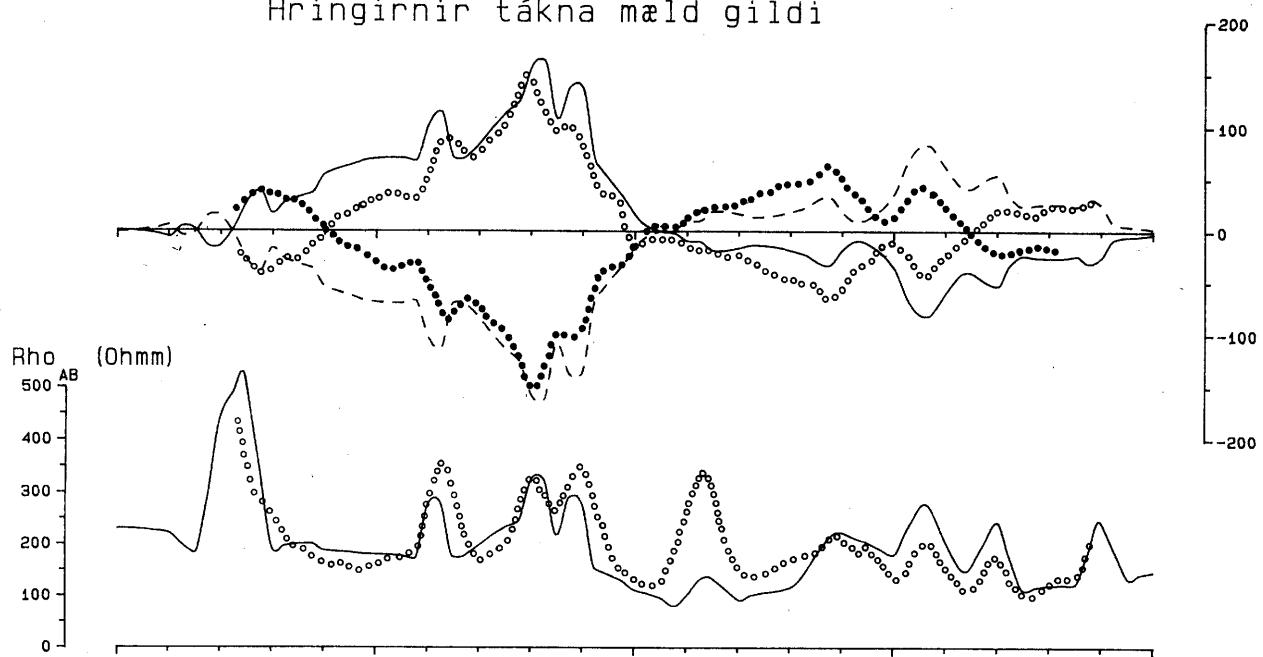
AB/2 = 500m MN/2 = 25m

Fjarlægðir vaxa til norðausturs

BC er austar.

Hringirnir tákna mæld gildi

— Rho<sub>AC-AB</sub>  
--- Rho<sub>BC-AB</sub>  
(Ohmm)



JHD-JEÐ-6509 ÓGF  
84.12.1579 T

LAUGALAND Á ÞELAMÓRK

Lína 2.

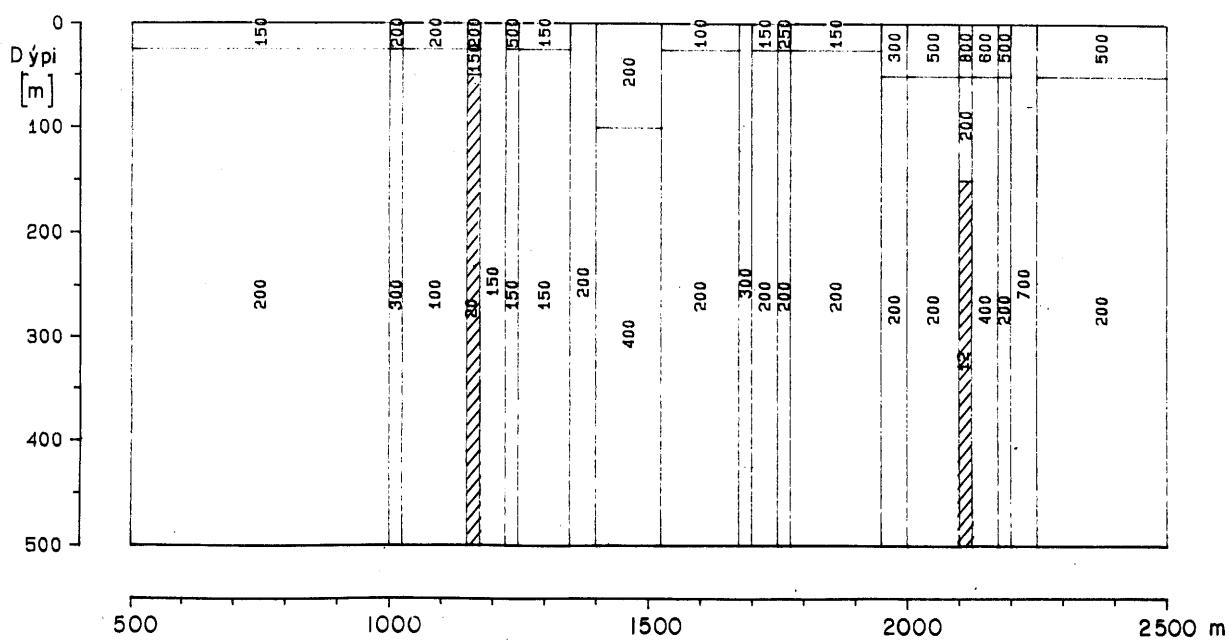
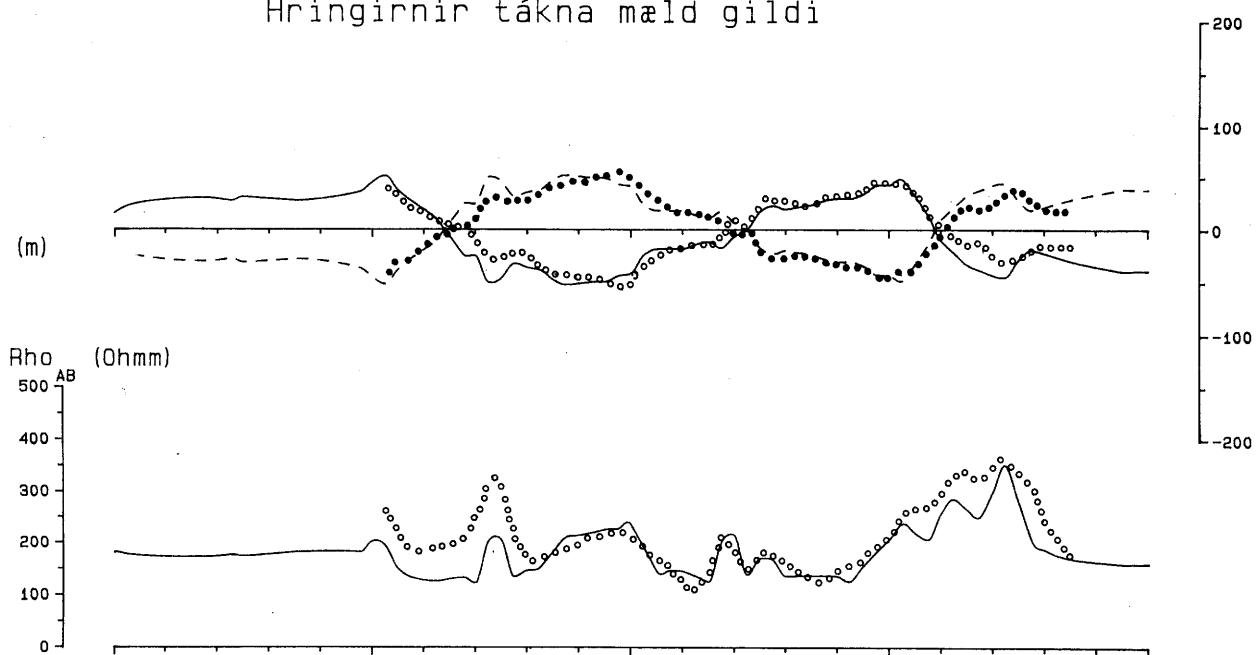
AB/2 = 500m MN/2 = 25m

Fjarlægðir vaxa til norðausturs

BC er austar.

Hringirnir tákna mæld gildi

— Rho<sub>AC-AB</sub>  
--- Rho<sub>BC-AB</sub>  
(Ohmm)



JHD - JED - 6509 OGF  
84.12.1582 T

## LAUGALAND Á ÞEILAMORK

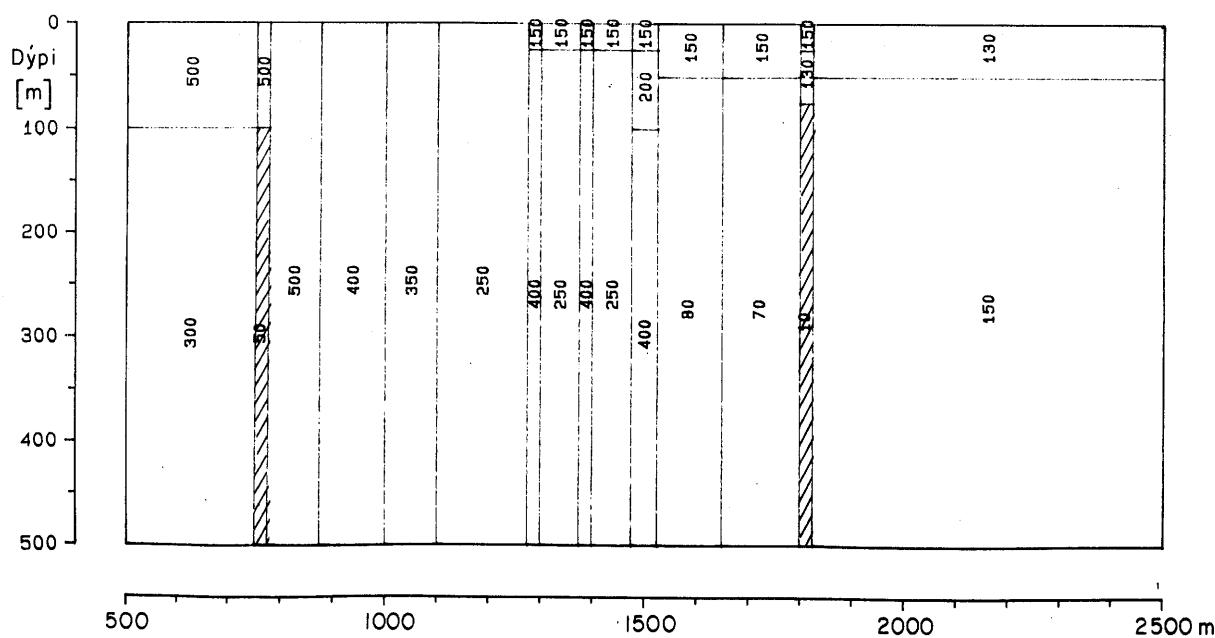
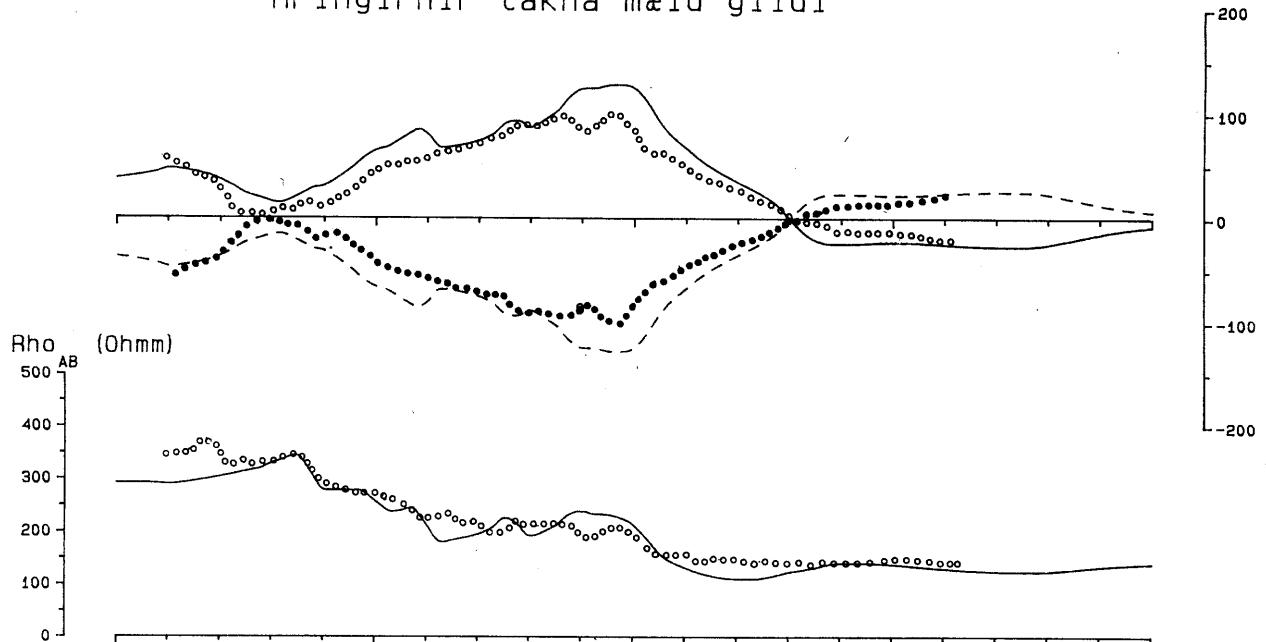
Lína 4.

$$AB/2 = 500\text{m} \quad MN/2 = 25\text{m}$$

Fjarlægðir vaxa til norðausturs

BC er austar

Hringirnir tákna mæld gildi



JHD-JEÐ-6509 ÓGF  
84.12.1581 T

LAUGALAND Á ÞELAMORK

Lína 3.

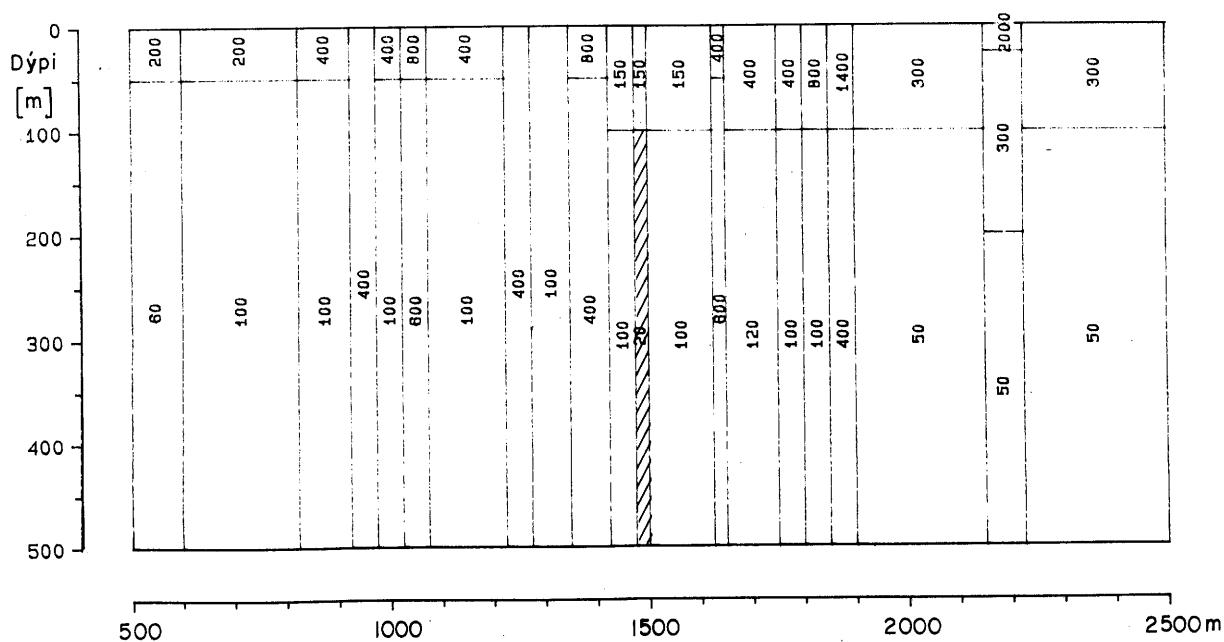
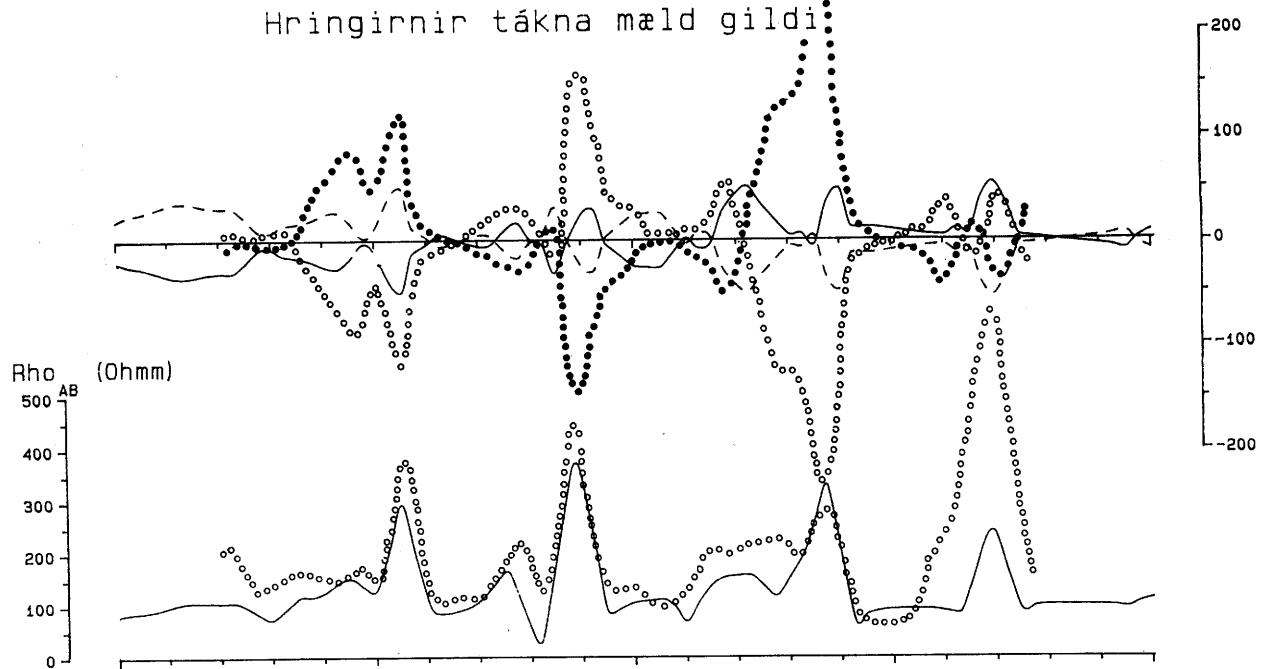
AB/2 = 300m MN/2 = 25m

Fjarlægðir vaxa til norðausturs

BC er austar.

Hringirnir tákna mæld gildi

— Rho<sub>AC-AB</sub>  
--- Rho<sub>BC-AB</sub>  
(Ohmm)



JHD-JEÐ-6509 ÓGF  
84.12.1580 T

LAUGALAND Á ÞELAMORK

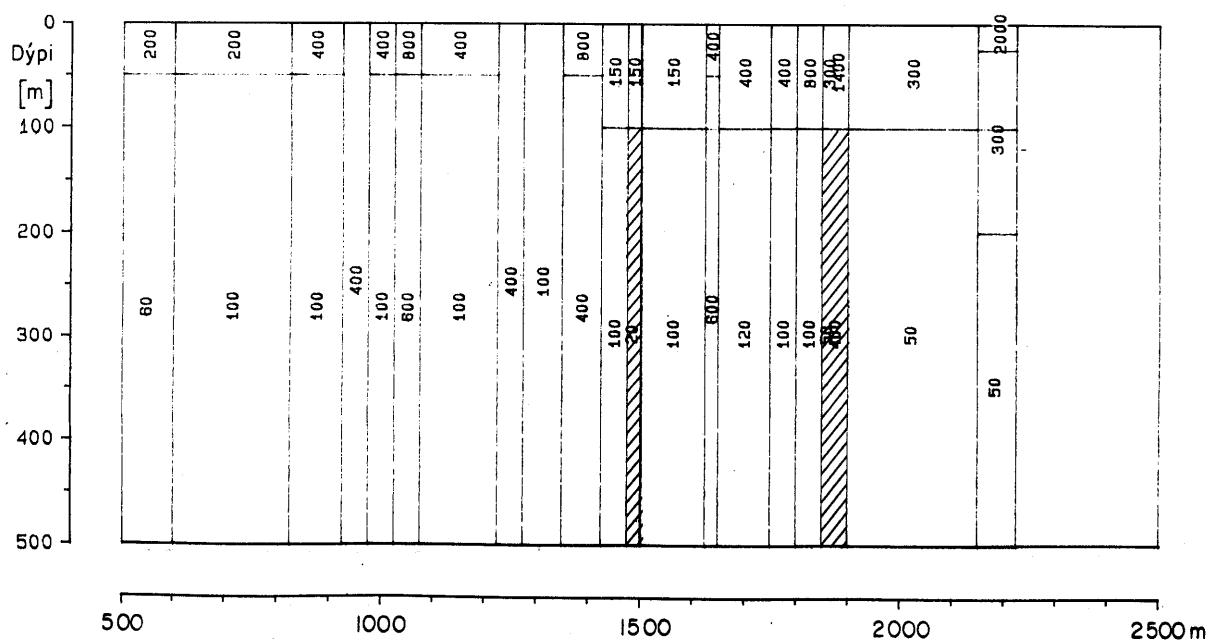
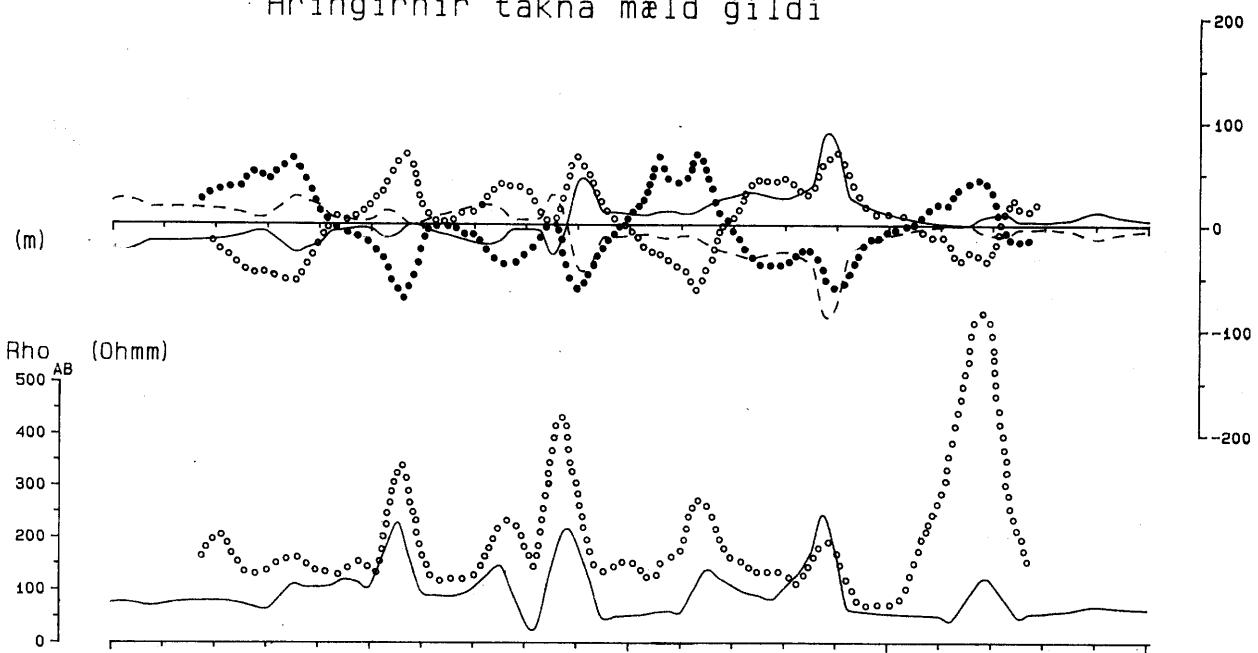
Lína 3.

AB/2 = 500m MN/2 = 25m

Fjarlægðir vaxa til norðausturs  
BC er austar.

Hringirnir tákna mæld gildi

— Rho<sub>AC-AB</sub>  
--- Rho<sub>BC-AB</sub>  
(Ohmm)



JHD-JEÐ-6509 ÖGF  
84.12.1583 T

LAUGALAND Á ÞELAMÖRK

Lína 5

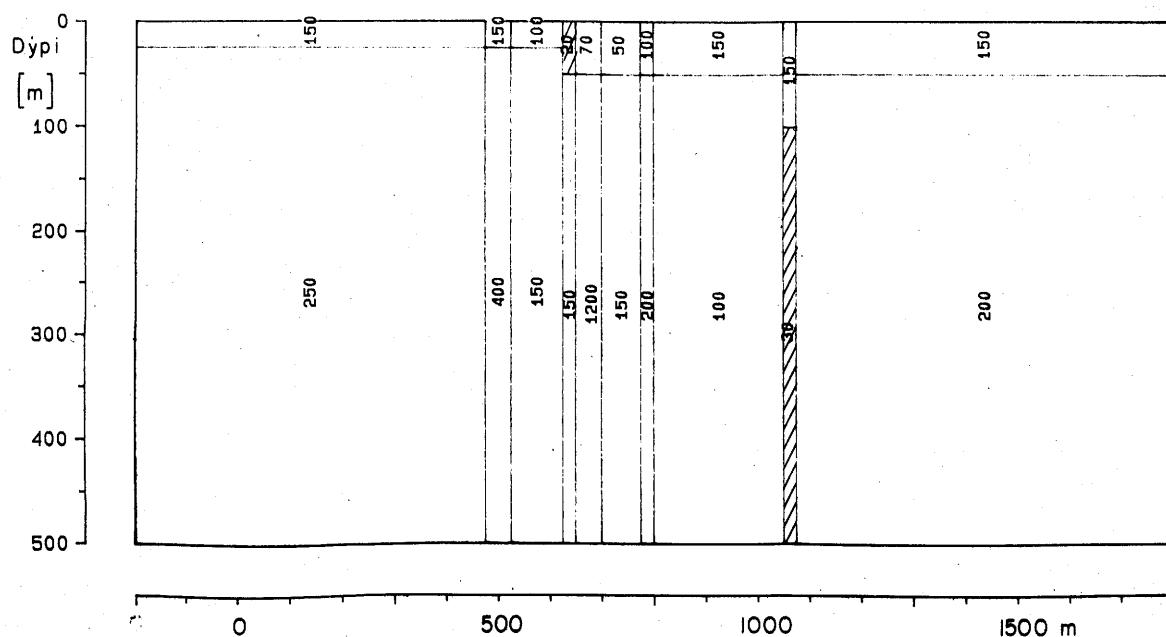
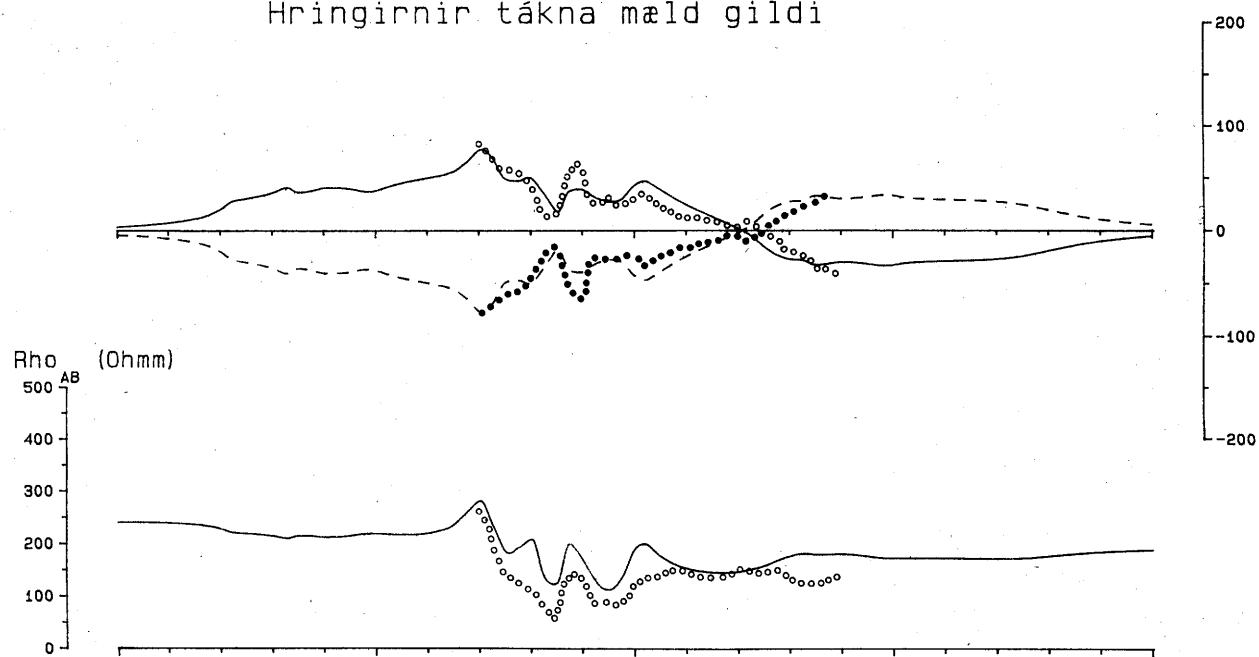
AB/2 = 500m MN/2 = 25m

Fjarlægðir vaxa til norðausturs

BC er austar.

Hringirnir tákna mæld gildi

— Rho<sub>AC-AB</sub>  
--- Rho<sub>BC-AB</sub>  
(Ohmm)



JHD-JED-6509 ÖGF  
84.12.1584 T

LAUGALAND Á ÞELAMÖRK

Lína 6

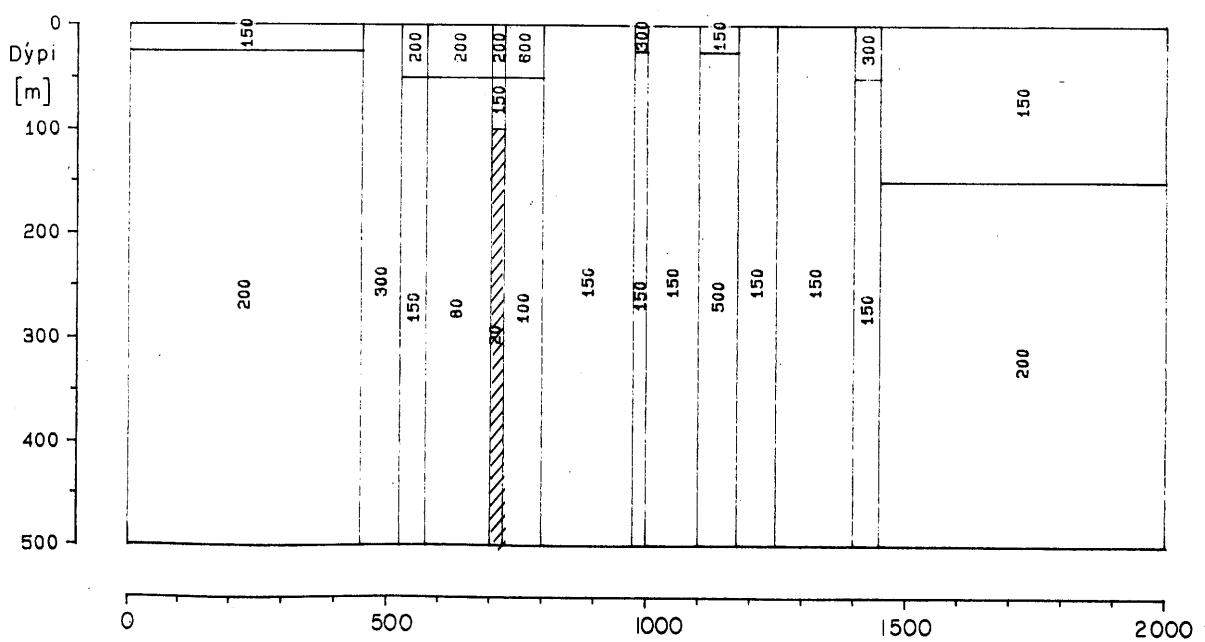
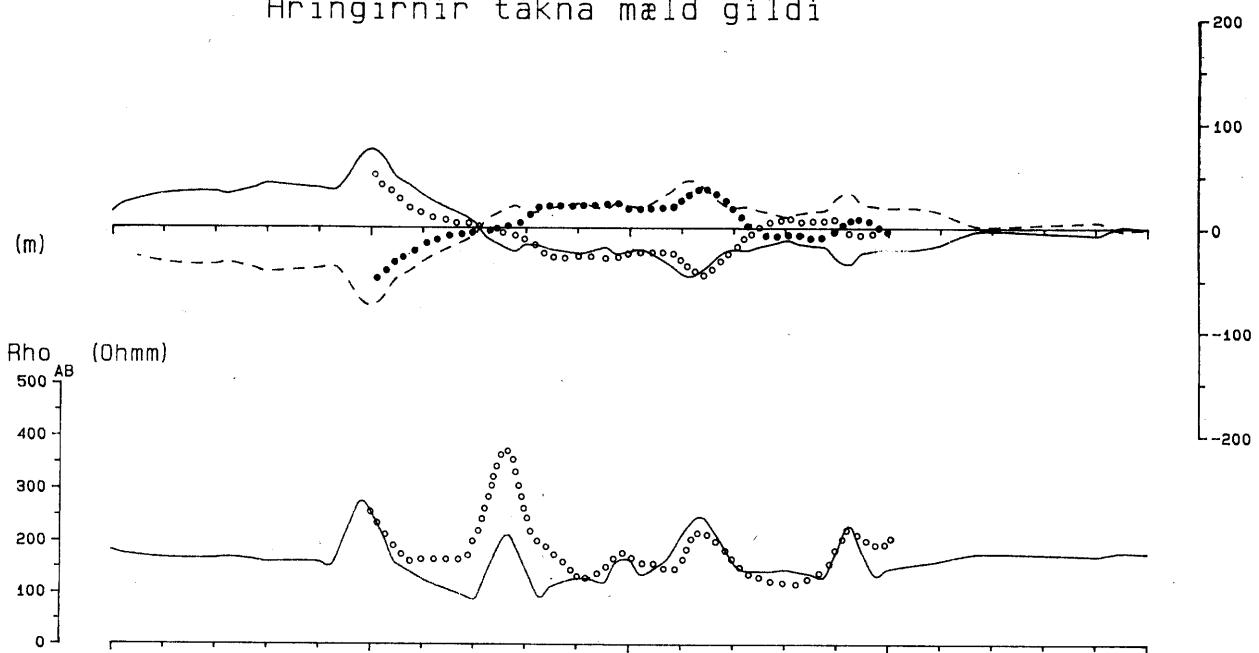
AB/2 = 500m MN/2 = 25m

Fjarlægðir vaxa til norðausturs

BC er austar.

Hringirnir tákna mæld gildi

— Rho<sub>AC-AB</sub>  
--- Rho<sub>BC-AB</sub>  
(Ohmm)



JHD-JED-6509 OGF  
84.12.1585 T

LAUGALAND Á ÞEÐAMORK

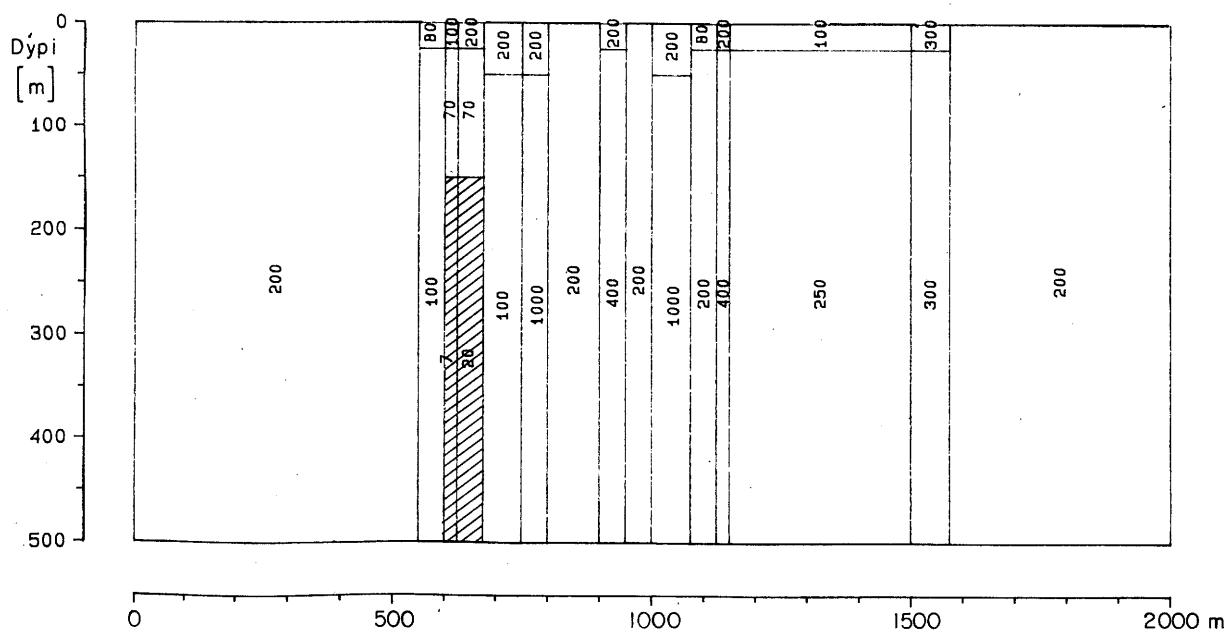
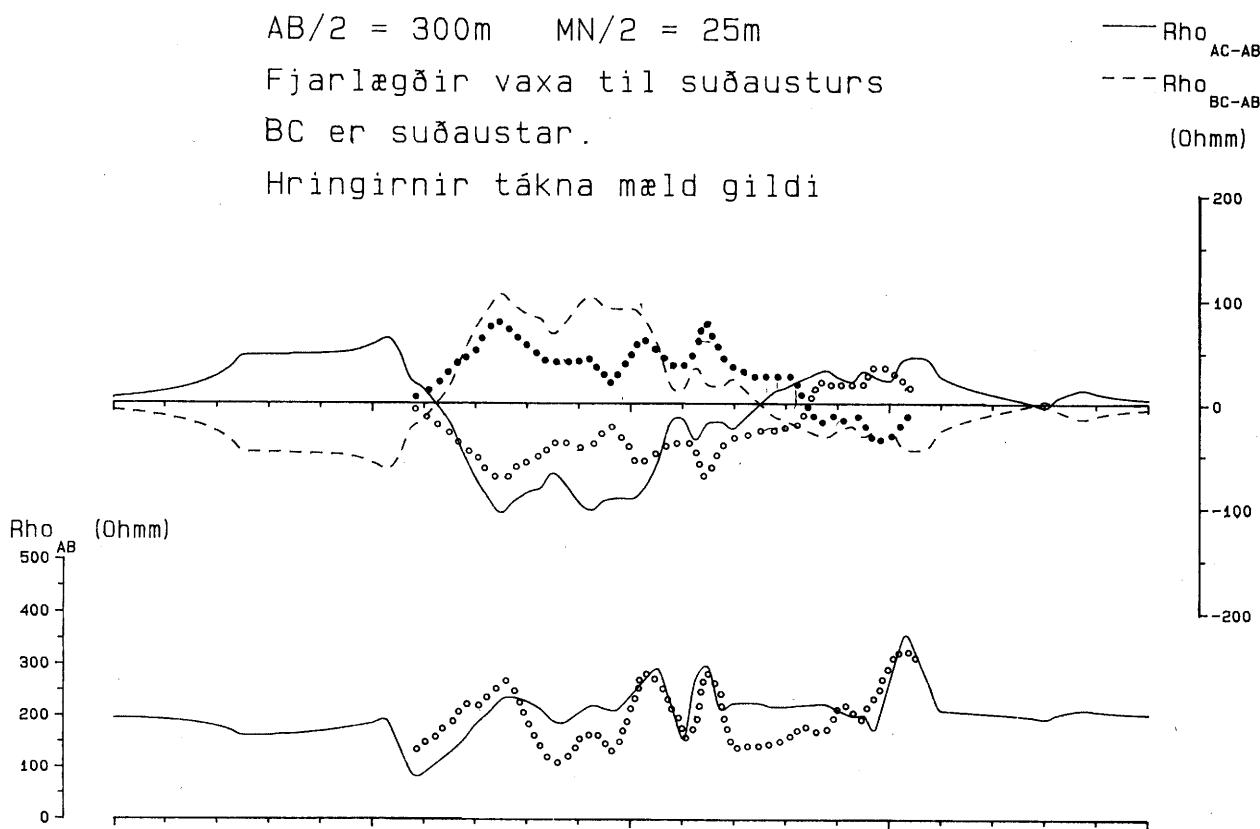
Línea 7.

$$AB/2 = 300\text{m} \quad MN/2 = 25\text{m}$$

Fjarlægðir vaxa til suðausturs

BC er suðaustar

Hringirnir tákna mæld gildi



JHD-JED-6509 ÓGF  
84.12.1586 T

LAUGALAND Á ÞELAMÖRK

Lína 7.

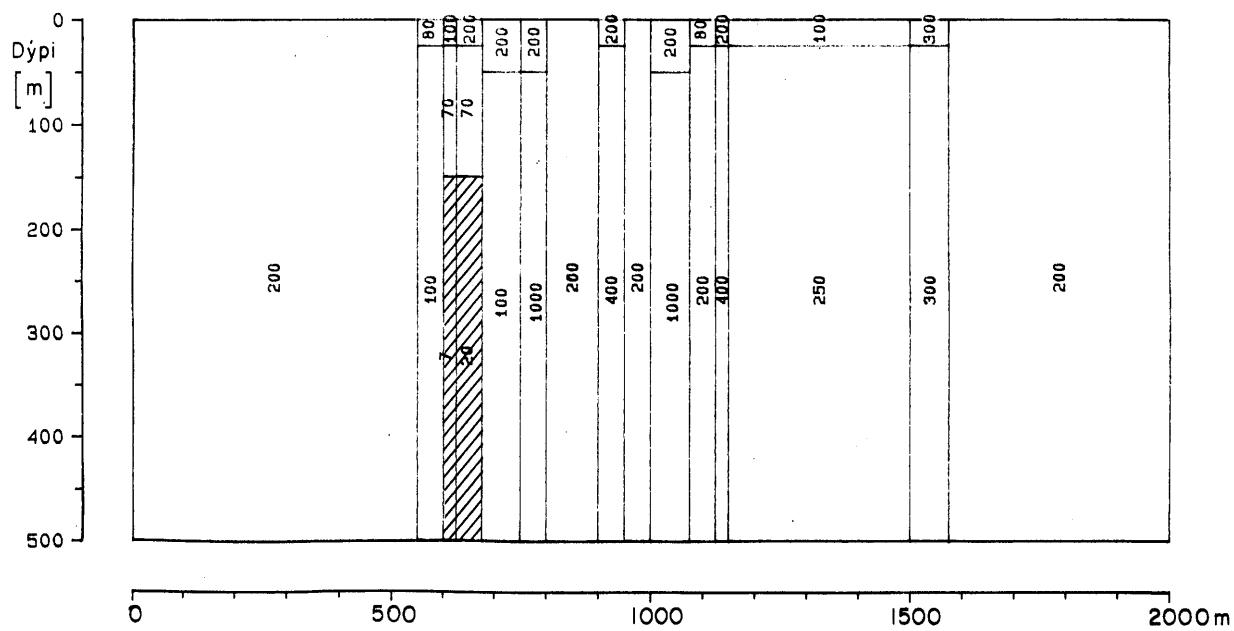
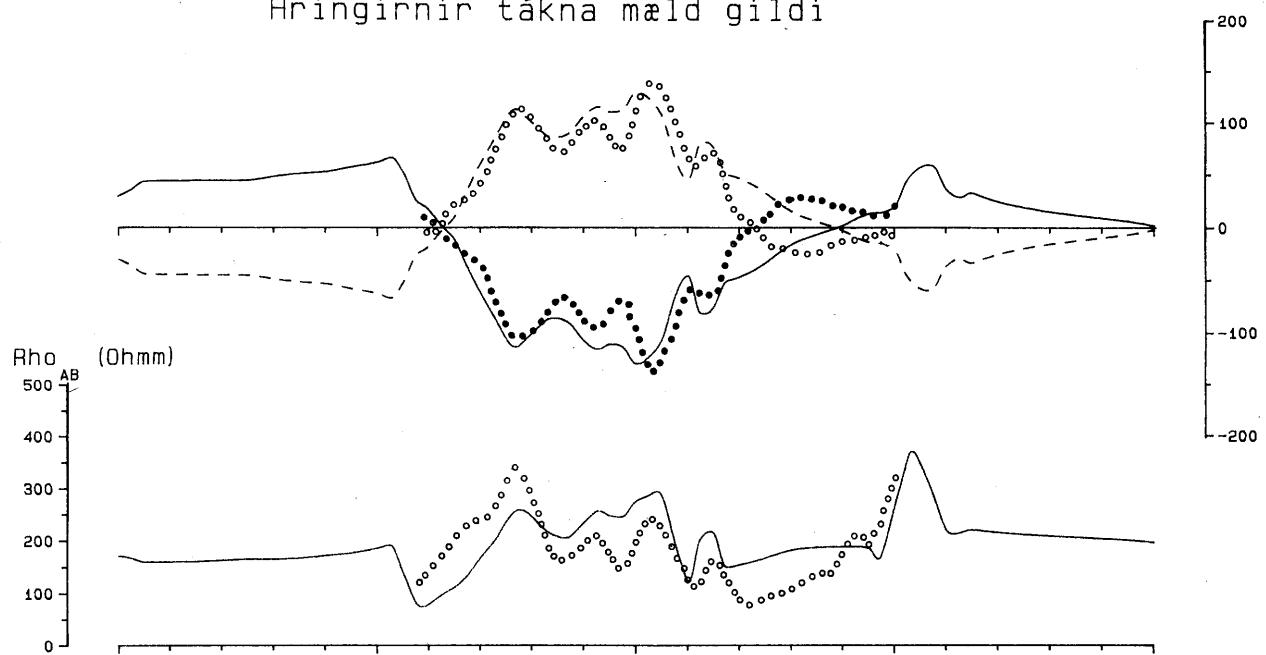
AB/2 = 500m MN/2 = 25m

Fjarlægðir vaxa til suðausturs

BC er suðaustar.

Hringirnir tákna mæld gildi

— Rho<sub>AC-AB</sub>  
--- Rho<sub>BC-AB</sub>  
(Ohmm)



IS

JHD-JED-6509 ÖGF  
84.12.1588 T

LAUGALAND Á ÞELAMÓRK

Lína 8.

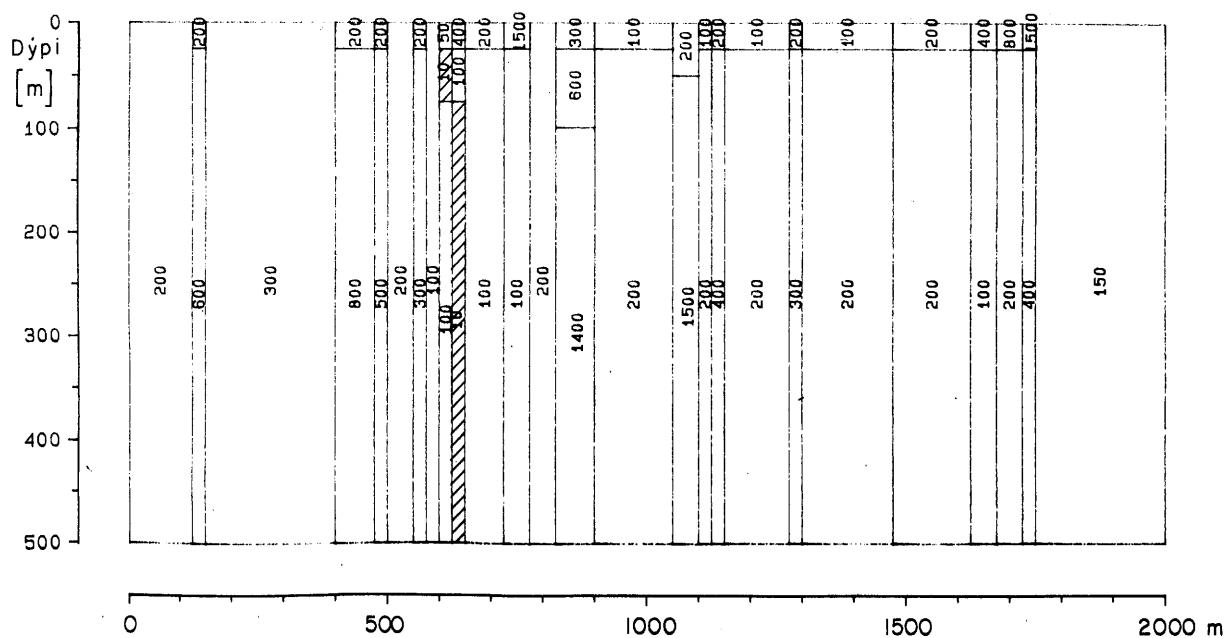
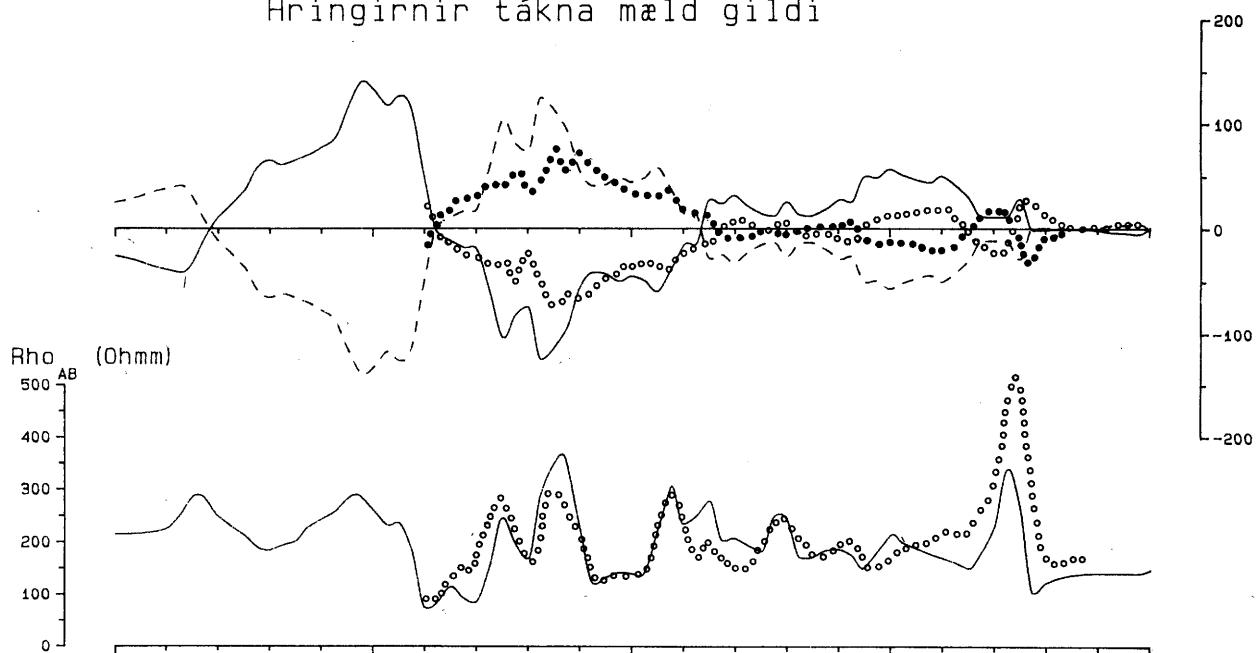
AB/2 = 300m MN/2 = 25m

Fjarlægðir vaxa til suðausturs

BC er suðaustar.

Hringirnir tákna mæld gildi

— Rho<sub>AC-AB</sub>  
--- Rho<sub>BC-AB</sub>  
(Ohmm)



JHD-JEÐ-6509 ÓGF  
84.12.1587 T

LAUGALAND Á ÞELAMORK

Lína 8.

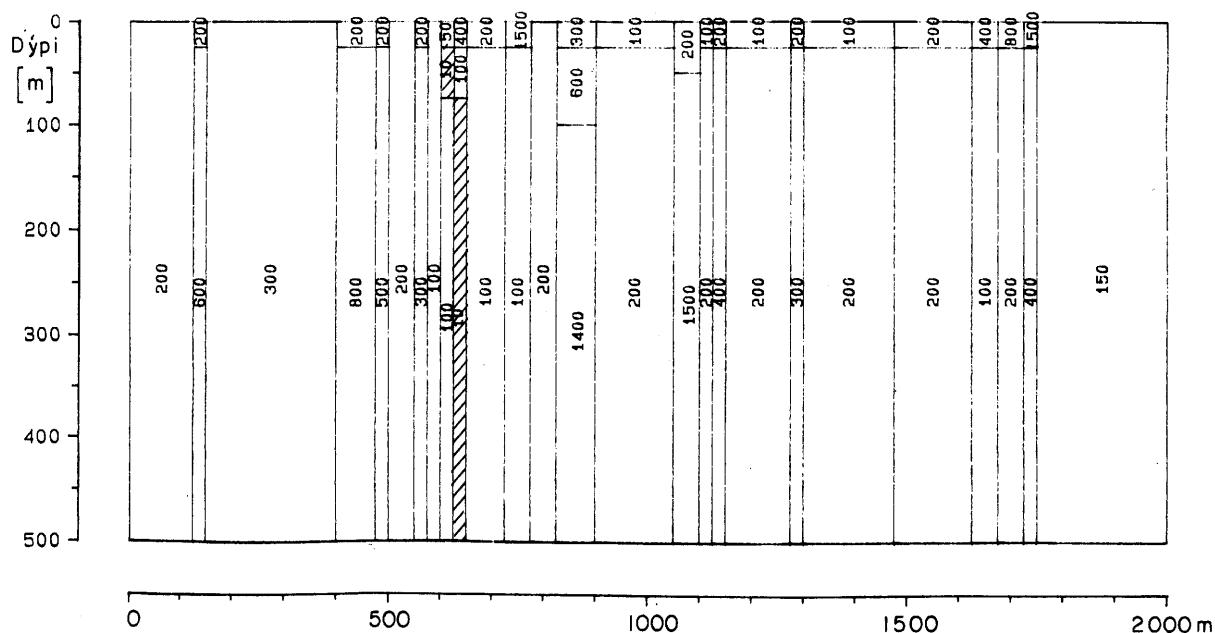
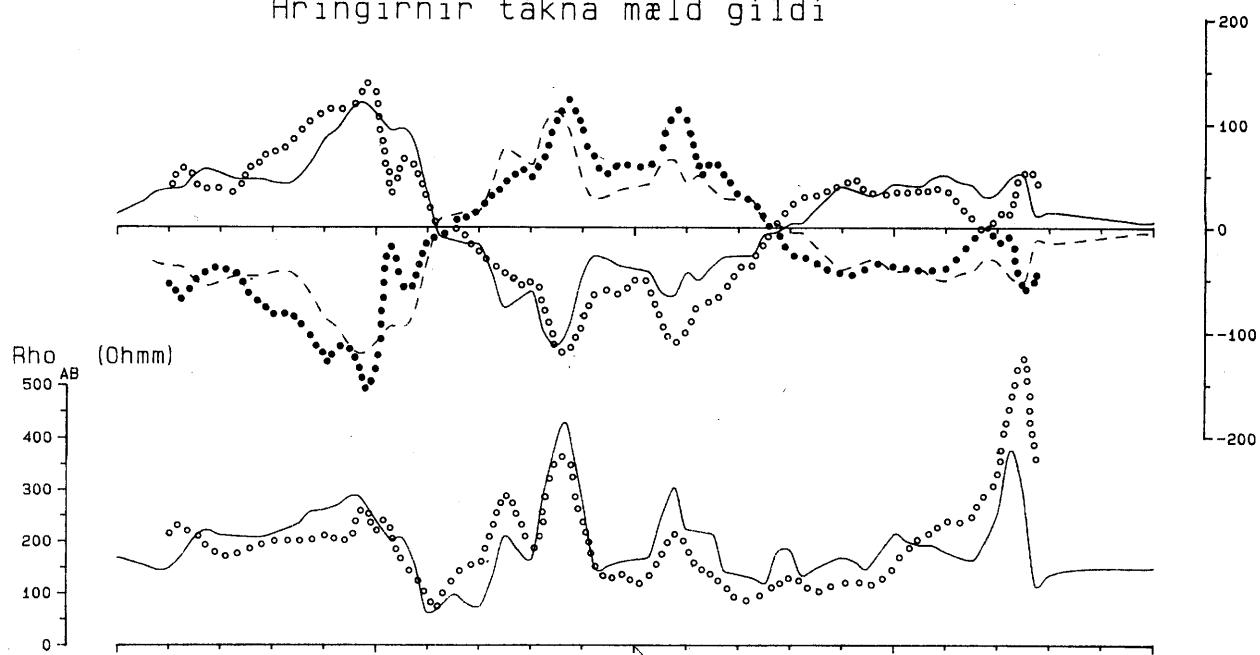
AB/2 = 500m MN/2 = 25m

Fjarlægðir vaxa til suðausturs

BC er suðaustar.

Hringirnir tákna mæld gildi

Rho<sub>AC-AB</sub>  
Rho<sub>BC-AB</sub>  
(Ohmm)



JHD-JED-6509 OGF  
84.12.1590 T

LAUGALAND Á ÞELAMÖRK

Lína 9.

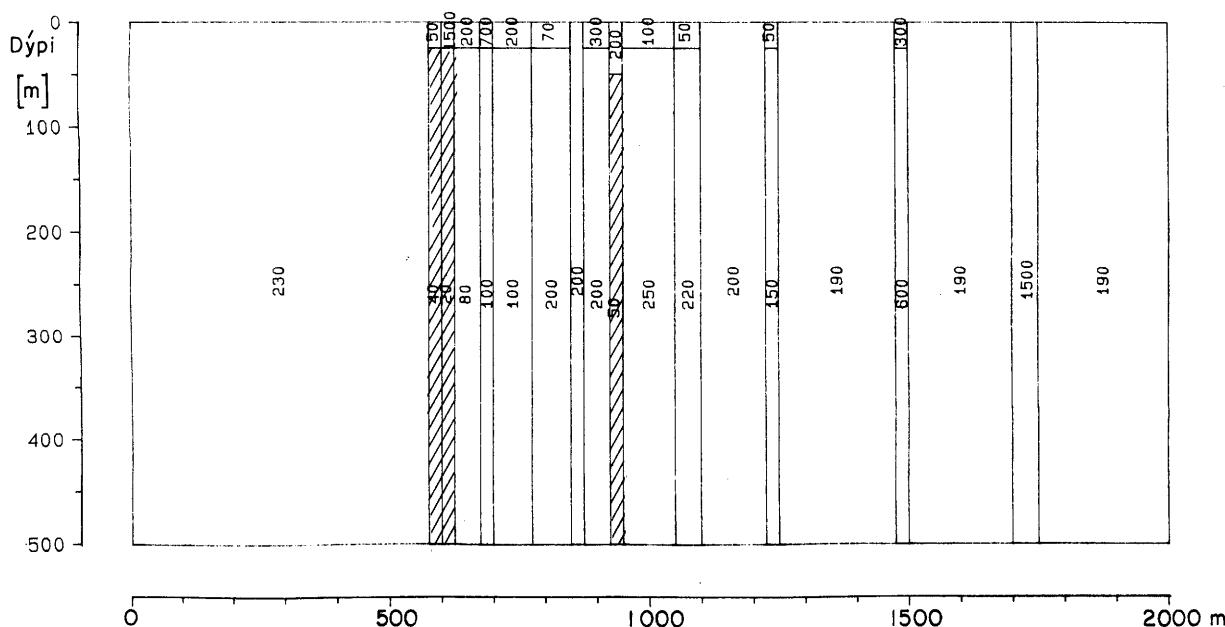
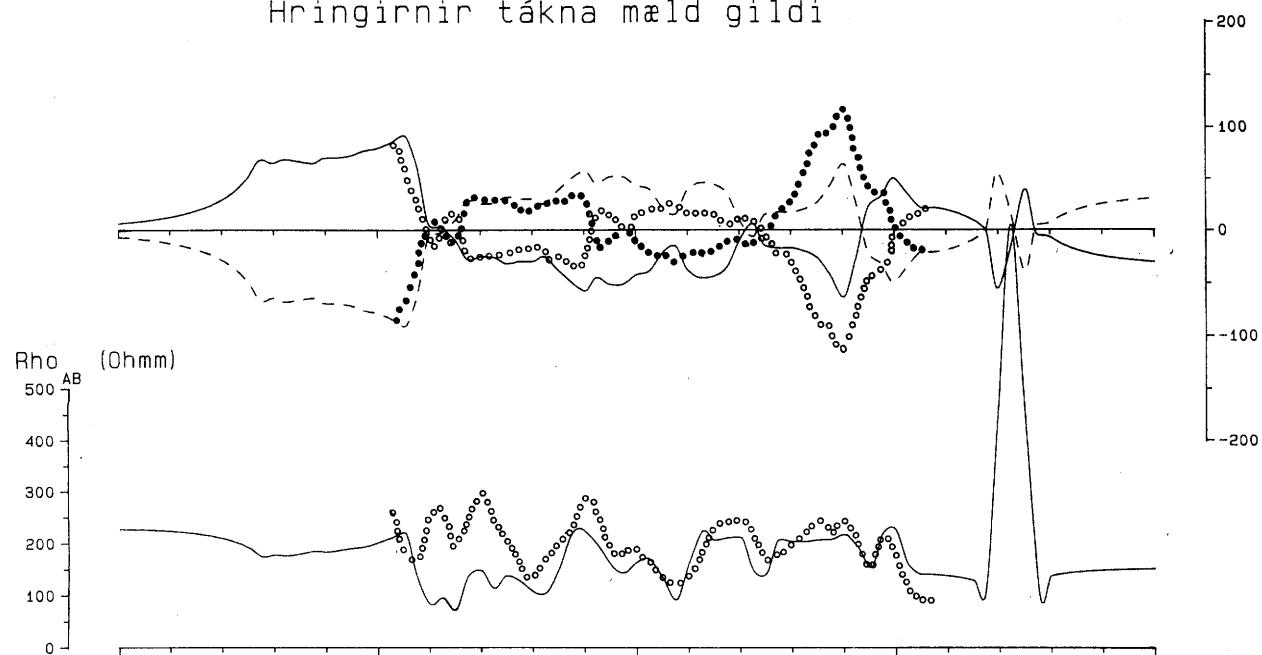
AB/2 = 300m MN/2 = 25m

Fjarlægðir vaxa til suðausturs

BC er suðaustar.

Hringirnir tákna mæld gildi

— Rho<sub>AC-AB</sub>  
--- Rho<sub>BC-AB</sub>  
(Ohmm)





JHD-JED-6509-ÓGF

84.12.1589 T

LAUGALAND Á ÞEÐAMÖRK

Lína 9.

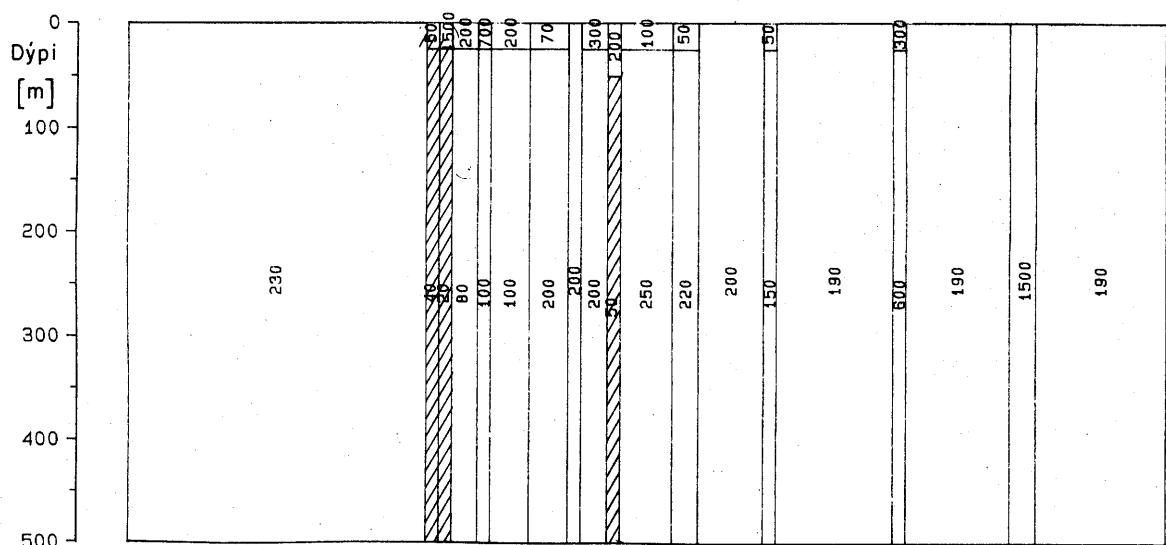
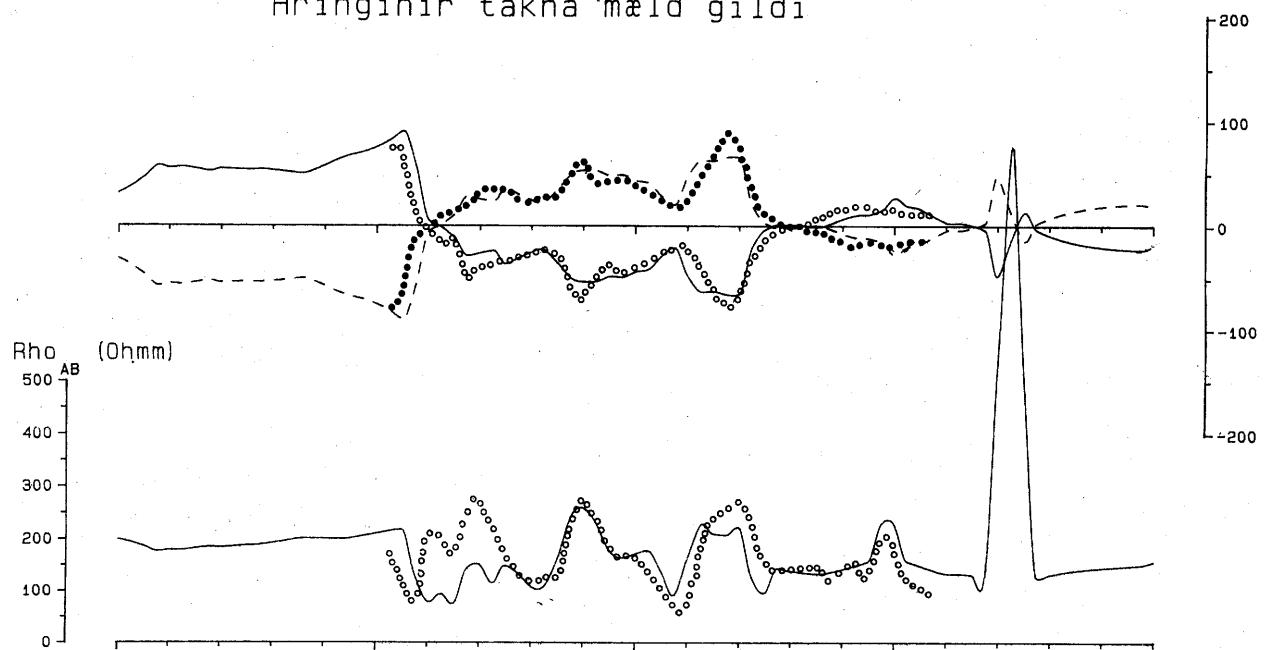
AB/2 = 500m MN/2 = 25m

Fjarlægðir vaxa til suðausturs

BC er suðaustar.

Hringinir tákna mæld gildi

— Rho<sub>AC-AB</sub>  
--- Rho<sub>BC-AB</sub>  
(Ohmm)



0 500 1000 1500 2000 m

JHD-JEÐ-6509 ÓGF  
84.12.1578 T

LAUGALAND Á ÞELAMÖRK

Lína 10.

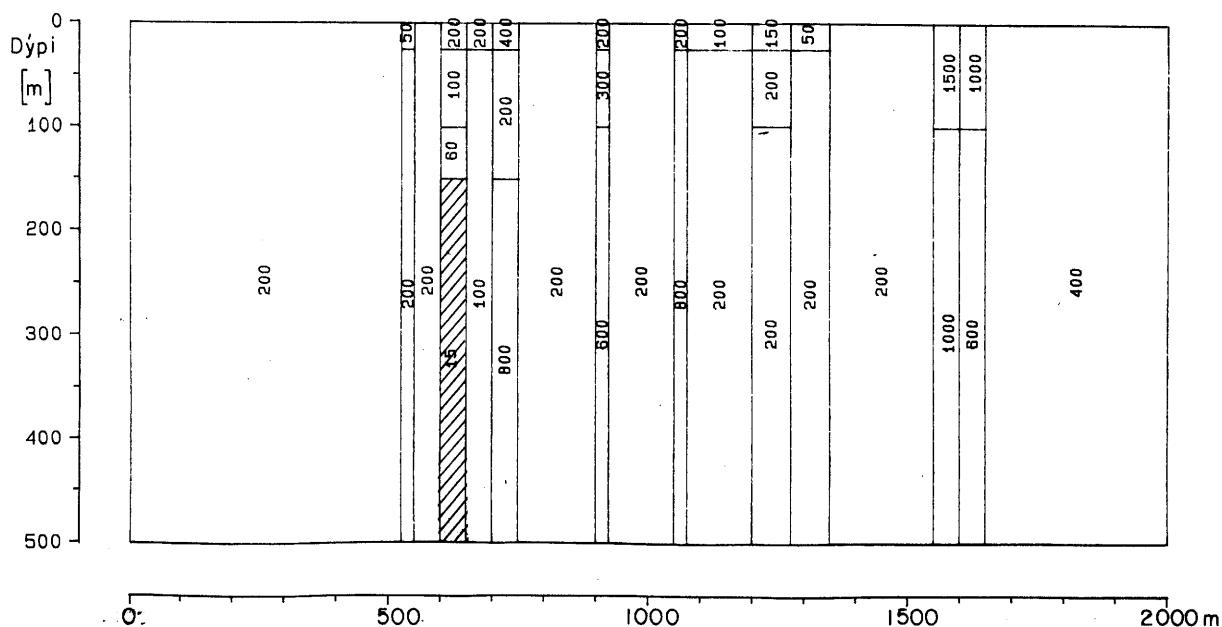
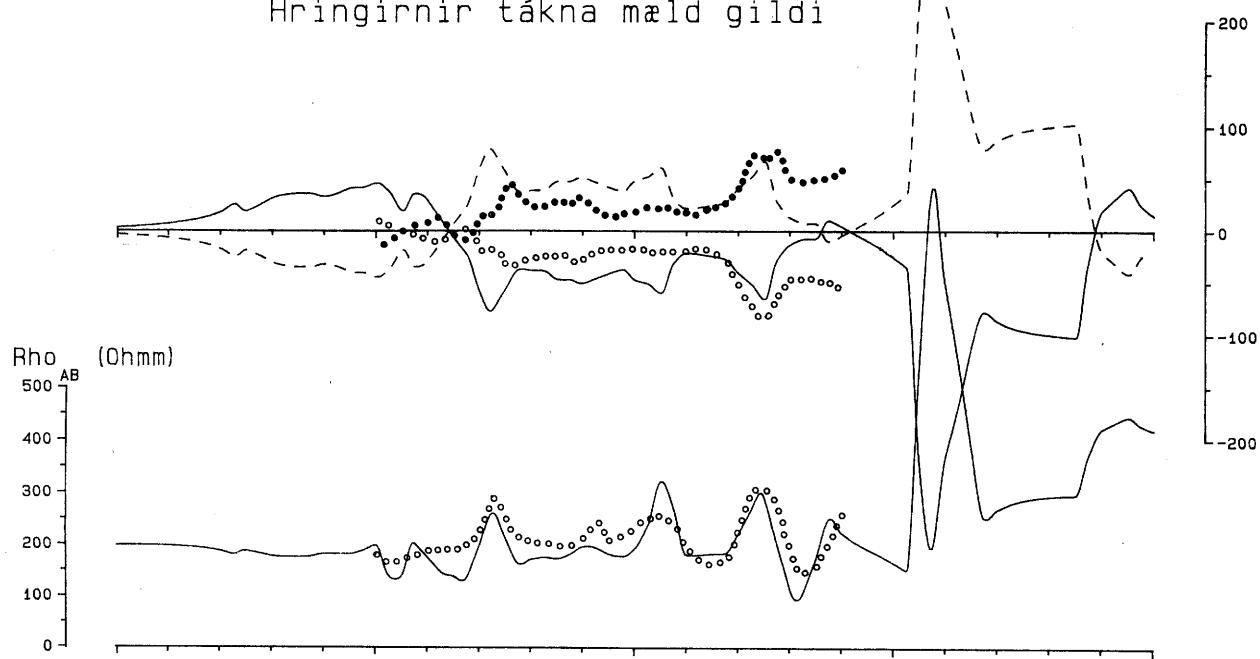
$$AB/2 = 300\text{m} \quad MN/2 = 25\text{m}$$

Fjarlægðir vaxa til suðausturs

BC er suðaustar.

Hringirnir tákna mæld gildi

— Rho<sub>AC-AB</sub>  
--- Rho<sub>BC-AB</sub>  
(Ohmm)



JHD-JED-6509 OGF  
84.12.1591 T

## LAUGALAND A ÞELAMÓRK

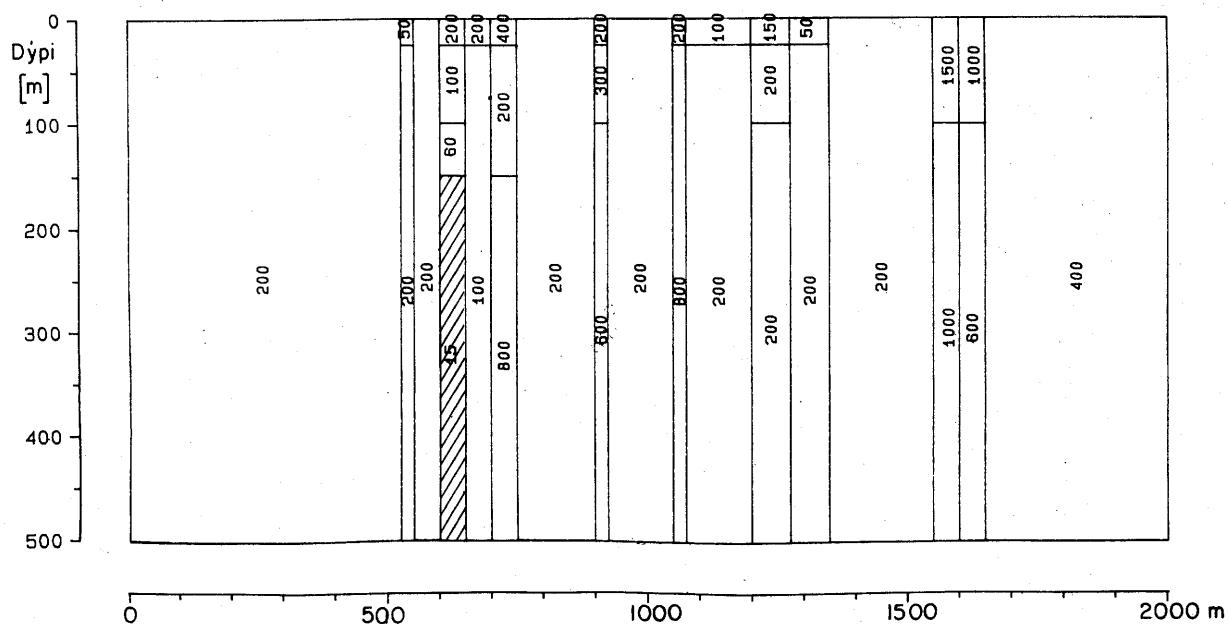
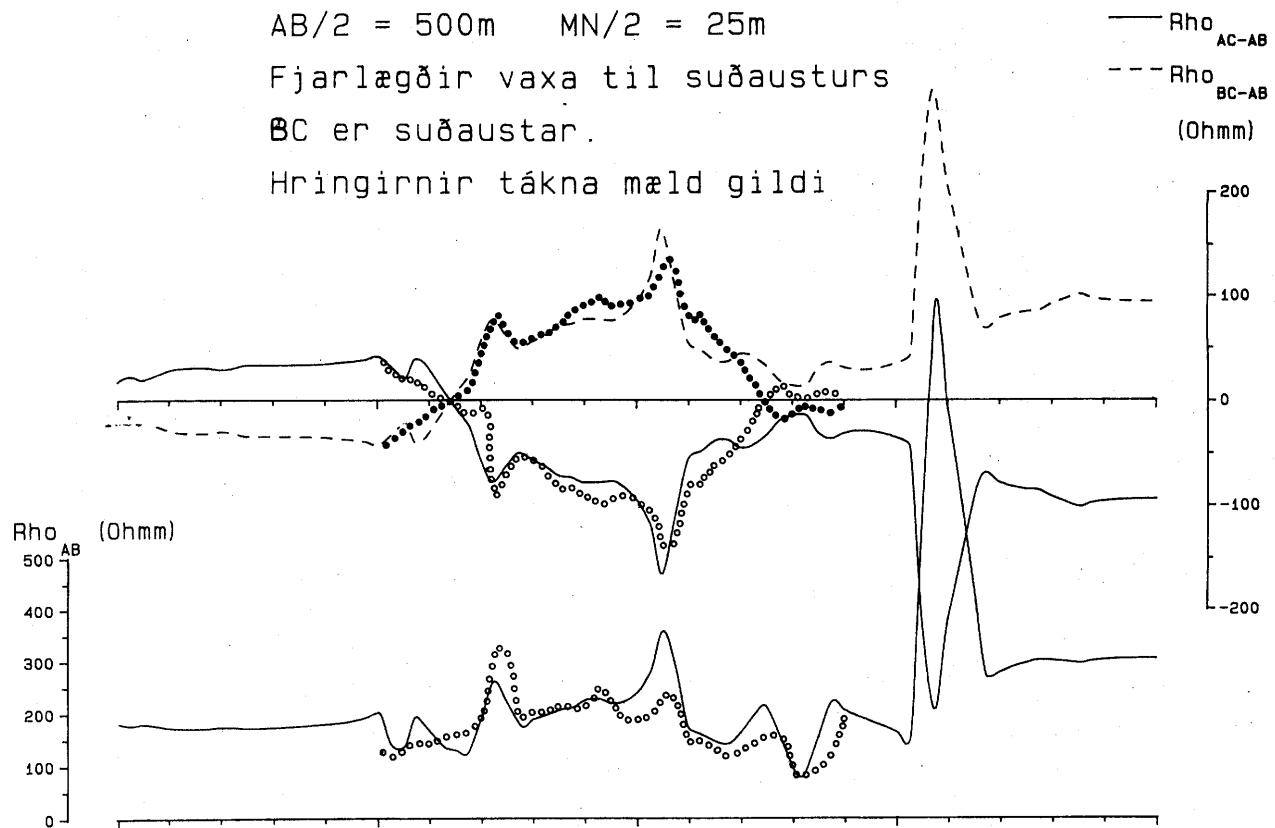
Lína 10.

$$AB/2 = 500\text{m} \quad MN/2 = 25\text{m}$$

Fjarlægðir vaxa til suðausturs

BC er suðaustar.

Hringirnir tákna mæld gildi





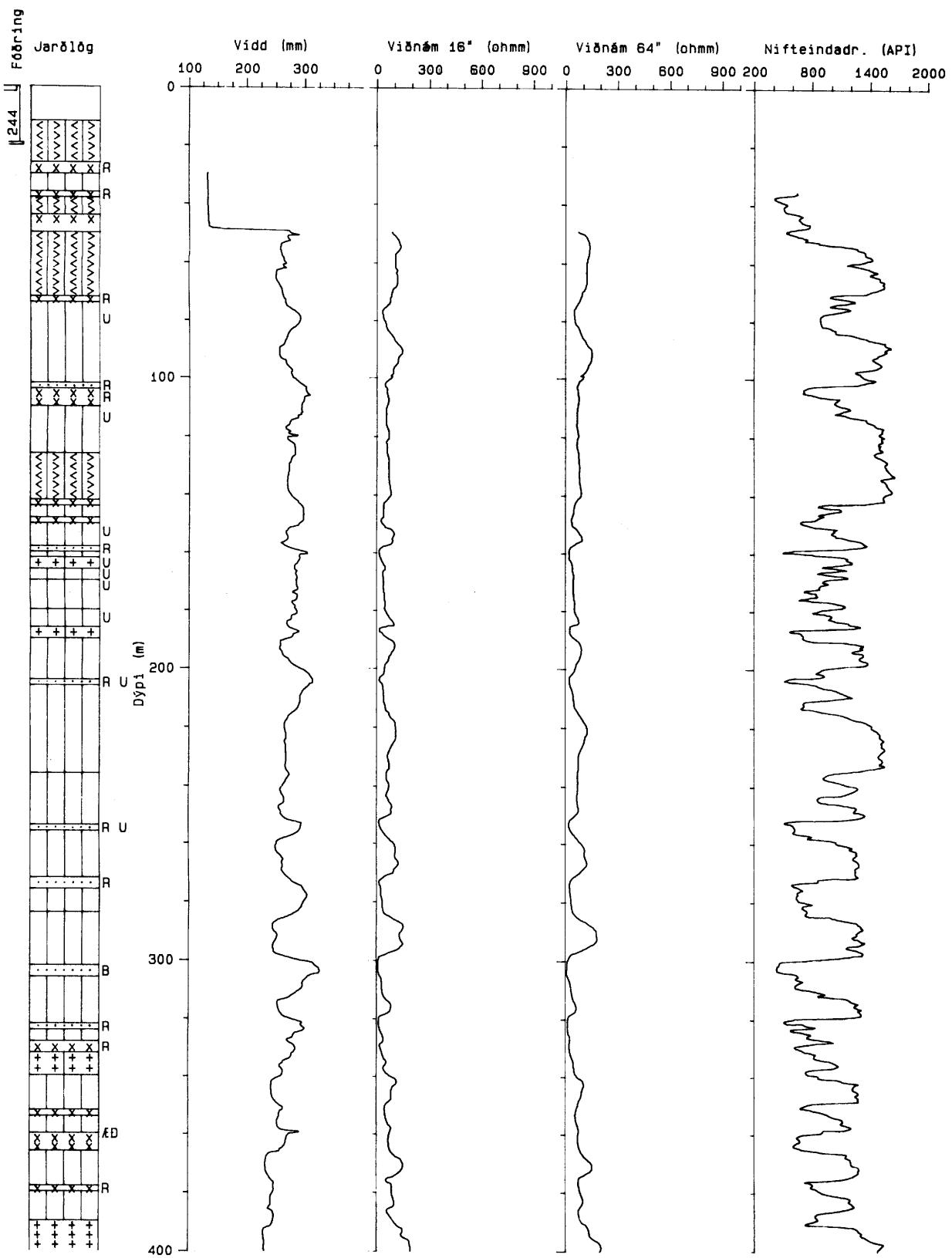
VIÐAUKI D:

Borholumælingar og jærðlagasnið

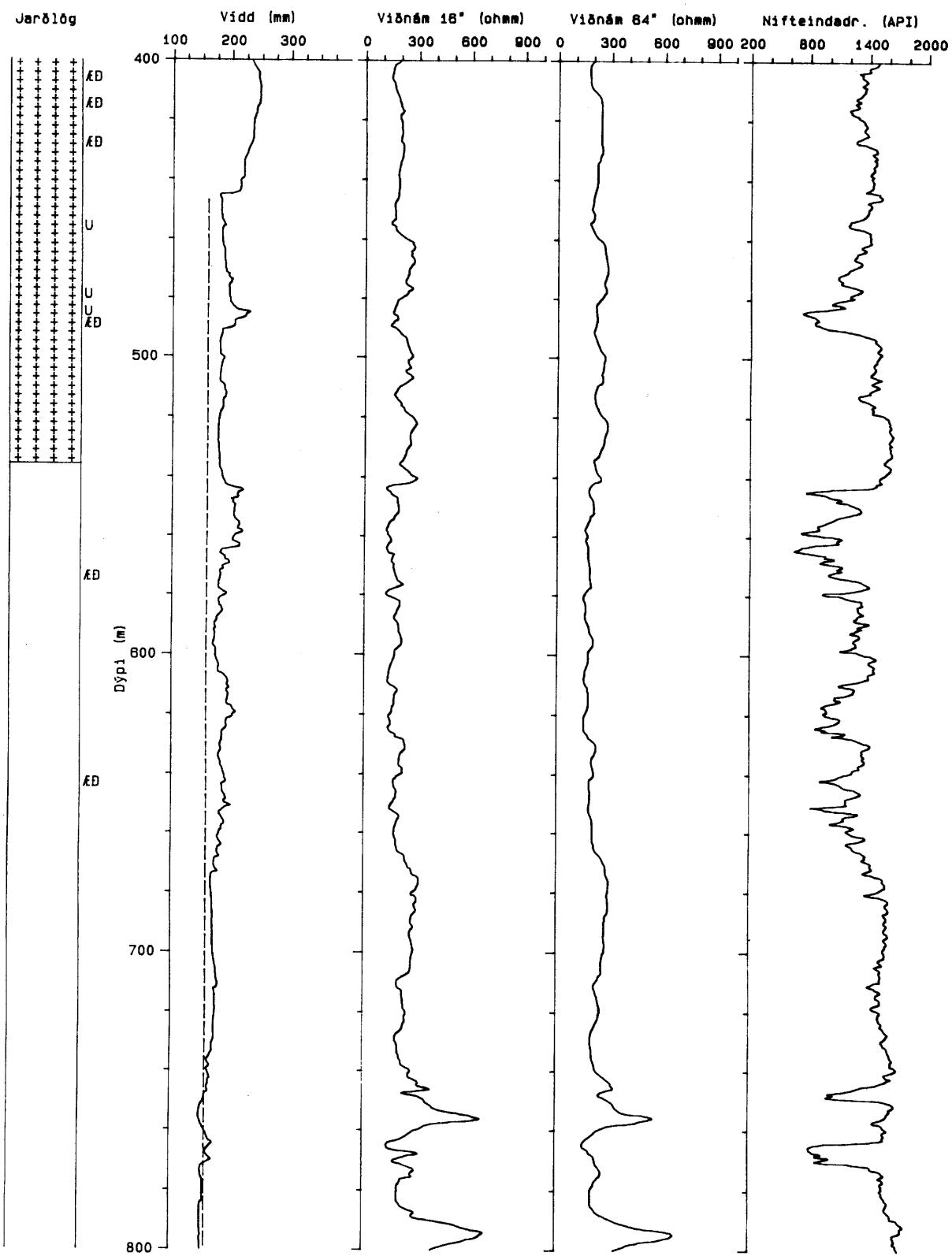
JHD-BJ-6509. MK  
84.07.0844. T

# LAUGALAND Á ÞEÐAMÖRK HOLA2

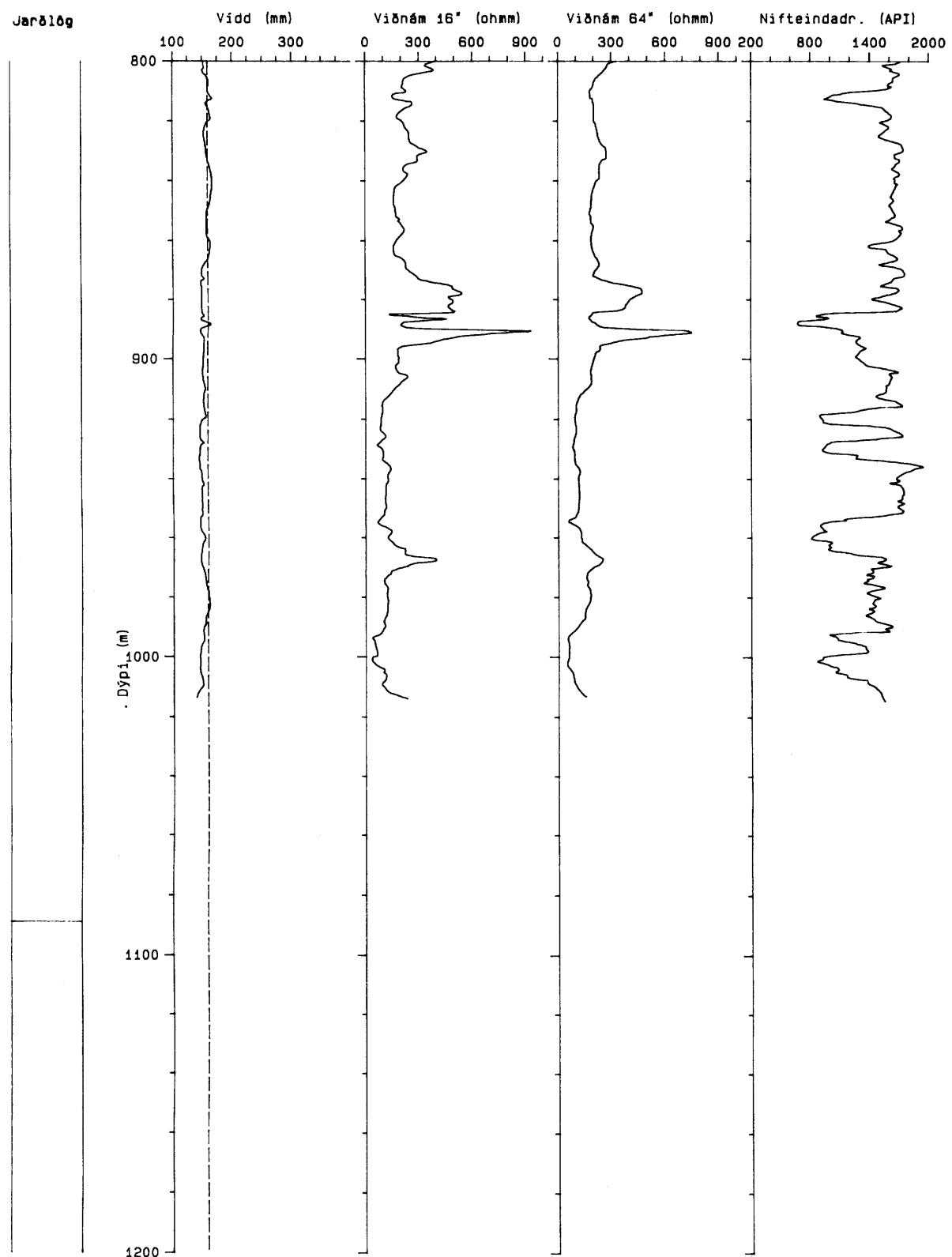
## *Jarðlög og mælingar*



Frh.



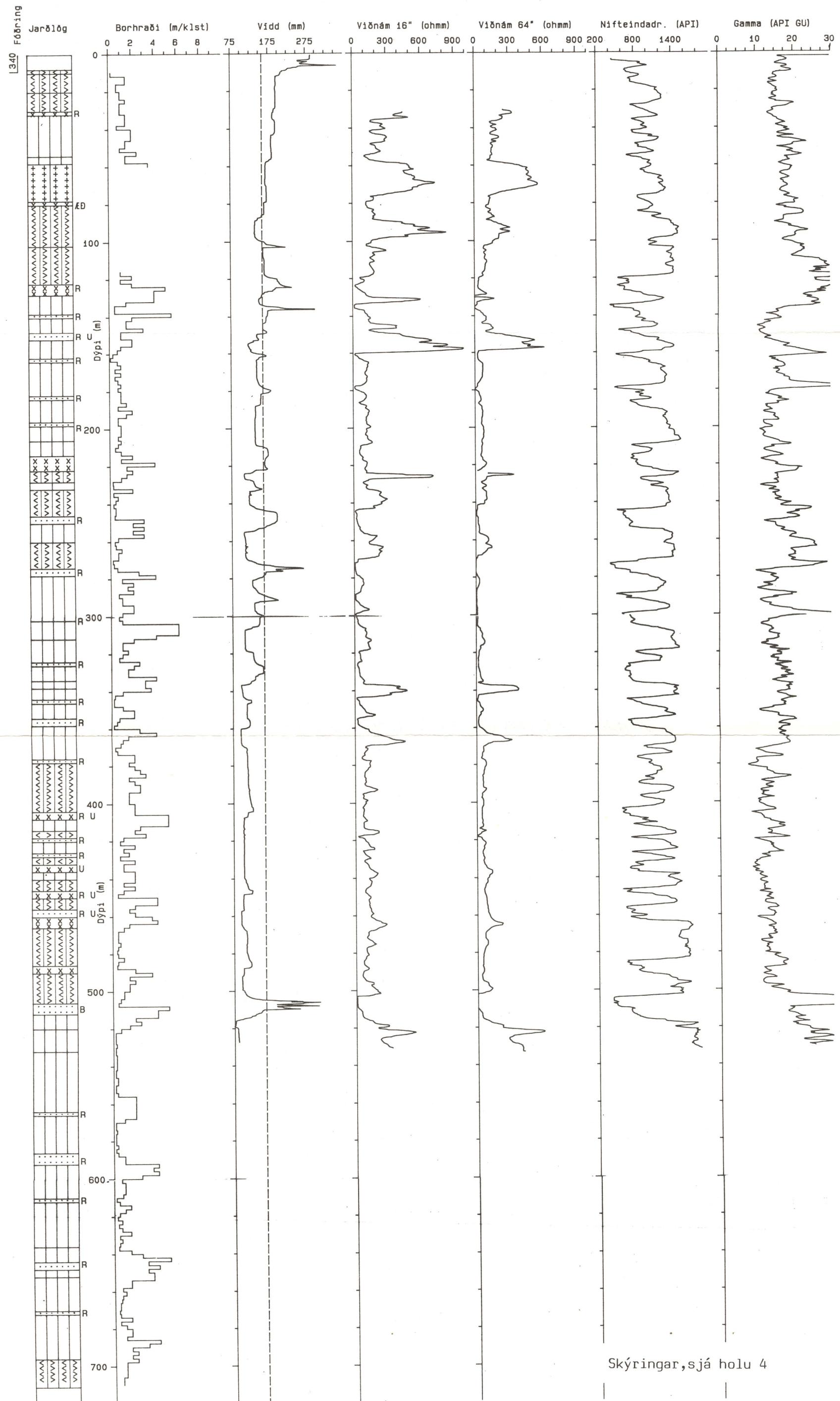
Frh.



Skýringar, sjá holu 4

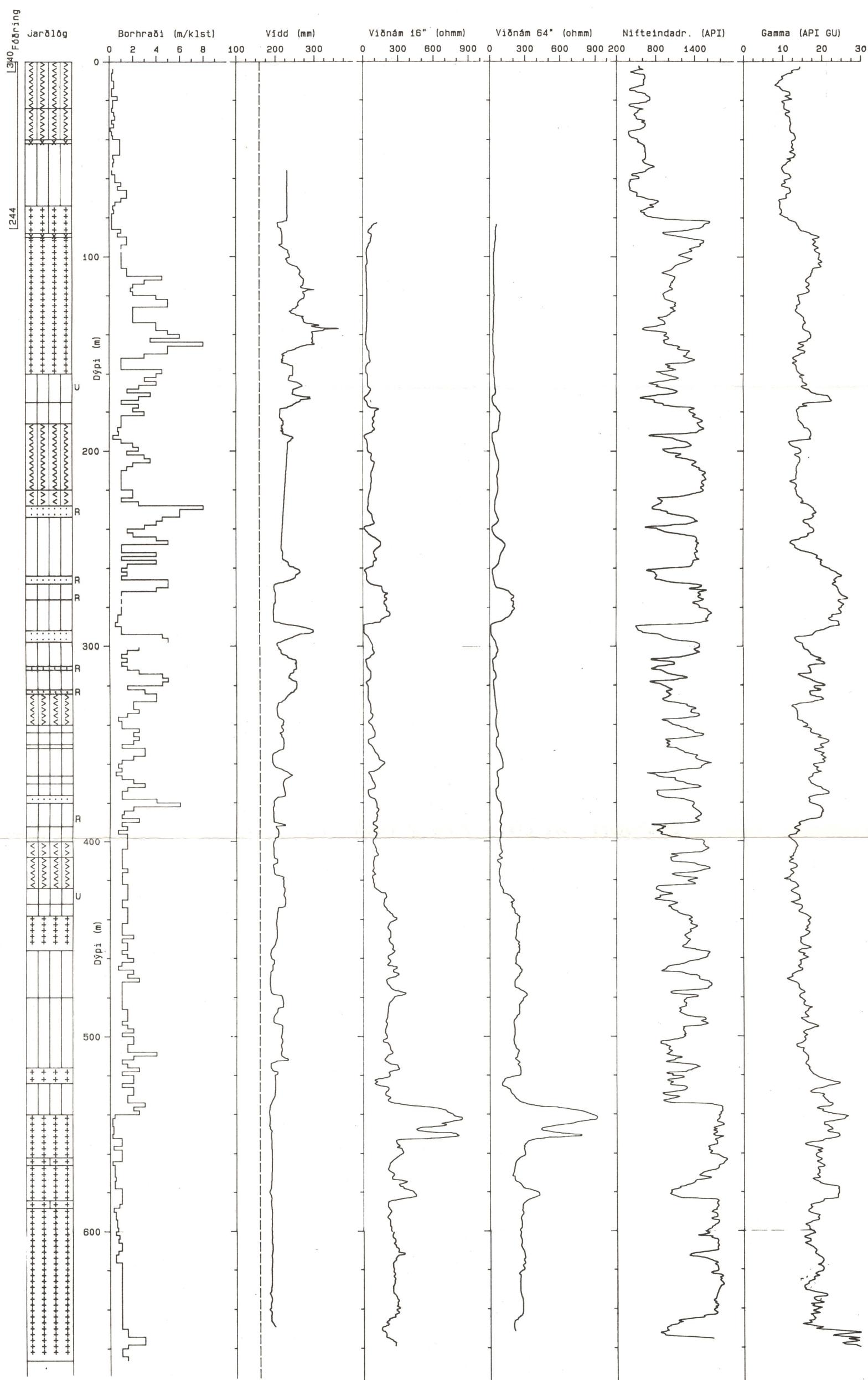
LAUGALAND Á ÞELAMÖRK HOLA 3

## *Jardlög og møelingar*



## LAUGALAND Á ÞELAMÖRK HOLA 4

Jarðlög og mælingar



## Skýringar

[Fernklegt fin-meðalkorna basalt]	[Basaltík breksa]	R Rauðleitt set
[Umynddað fin-meðalkorna basalt]	[Dílótt basalt]	B Brúnleitt set
[Fernklegt meðal-grófkorna basalt]	[Fínkornótt set]	U Holu-og/æða sprungufyllingar
[Dólerít inniskot]	[Svarf vantar]	ÆD Vatnssö

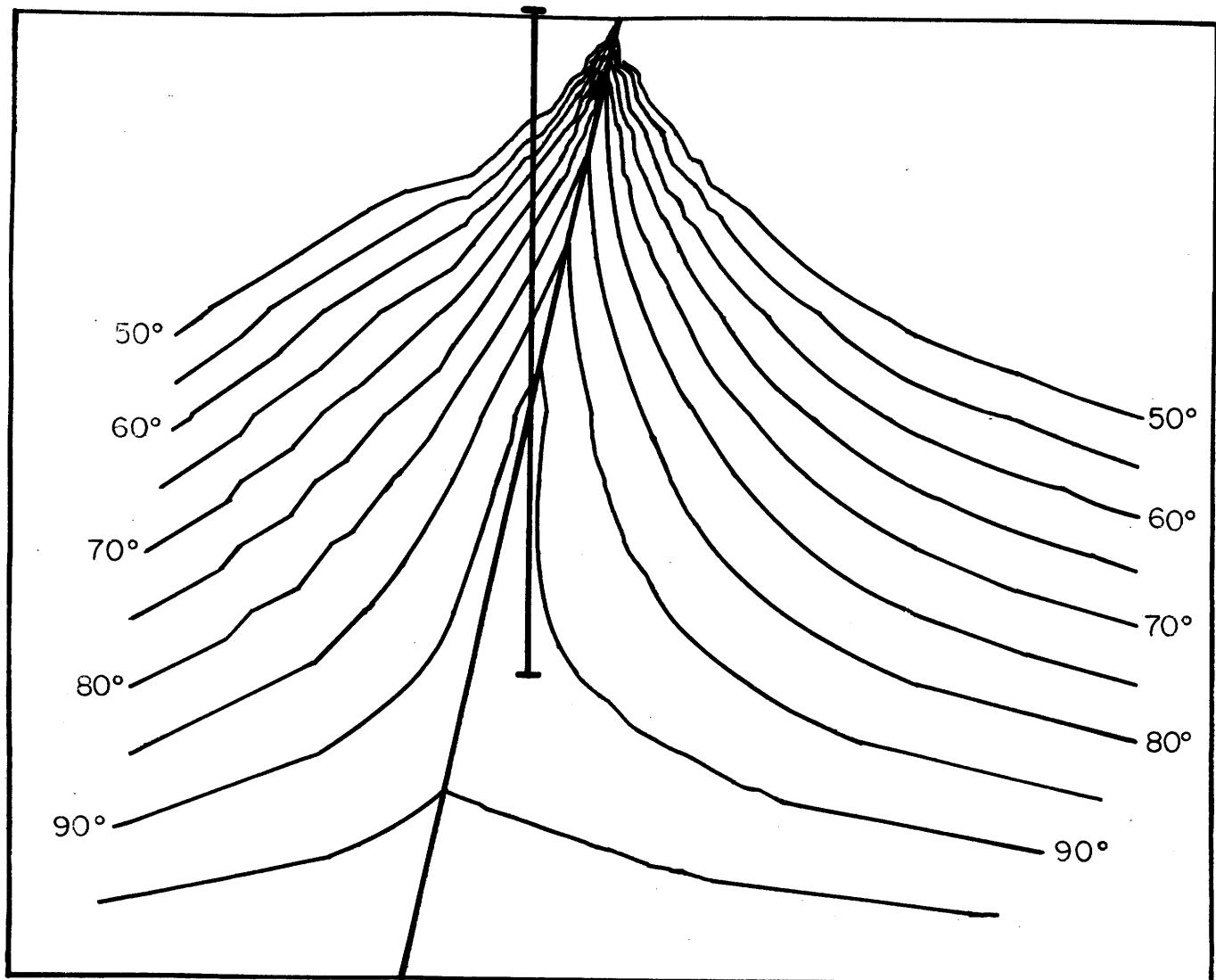
VIÐAUKI E:

Varmaleiðnilíkön

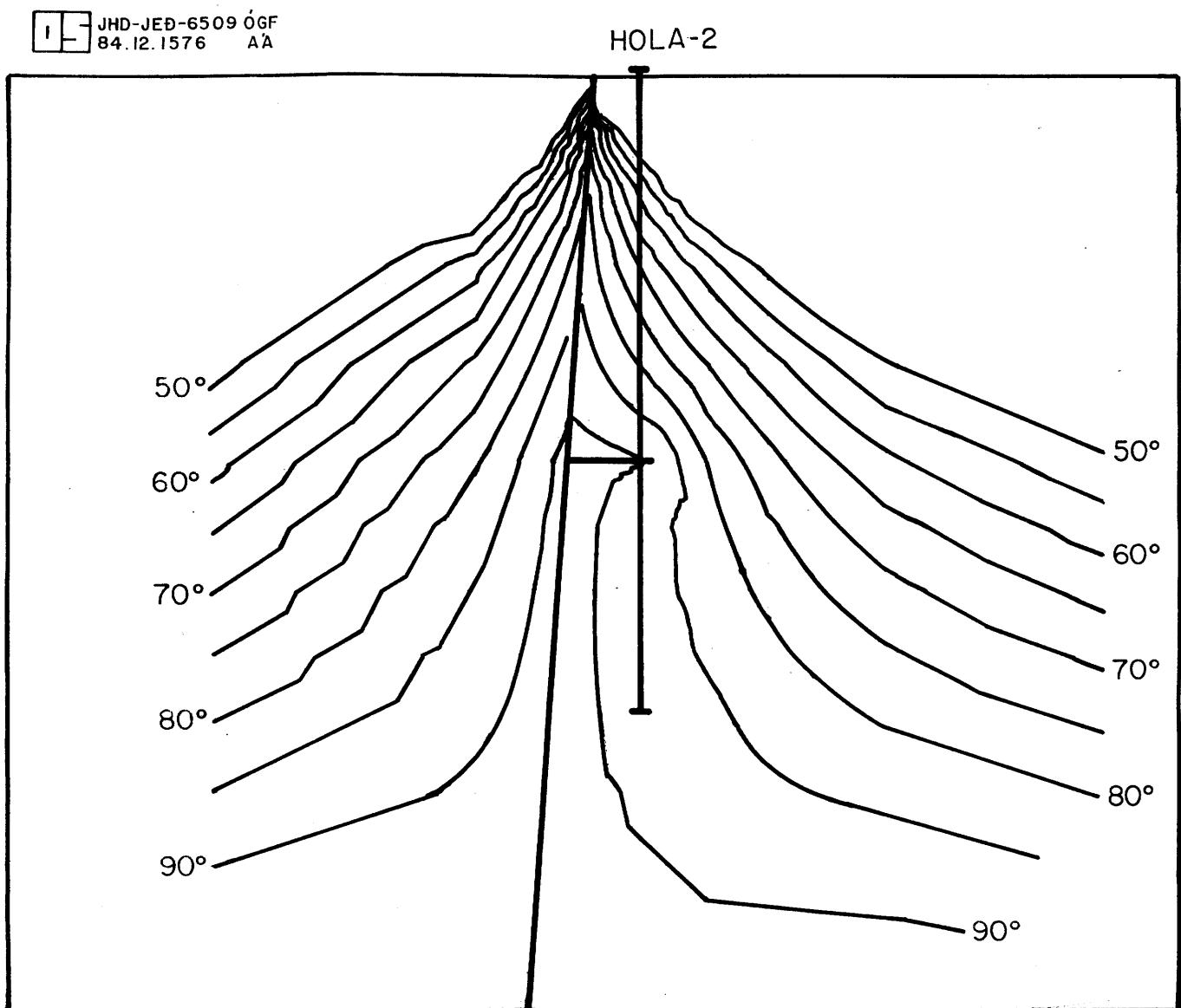
Halli sprungunnar er hér  $12^\circ$  til vesturs þannig að holur 2 og 3 hafa hér farið í gegnum hana. Hiti er látinna vaxa í  $100^\circ\text{C}$  á 1600 m dýpi. Samkvæmt þessu líkani myndi hola 2 kólna um h.u.b.  $1^\circ\text{C}$  neðan sprungunnar en hitana síðan með dýpi.

JHD-JEØ-6509 OG  
84.12.1578 AA

HOLA-2



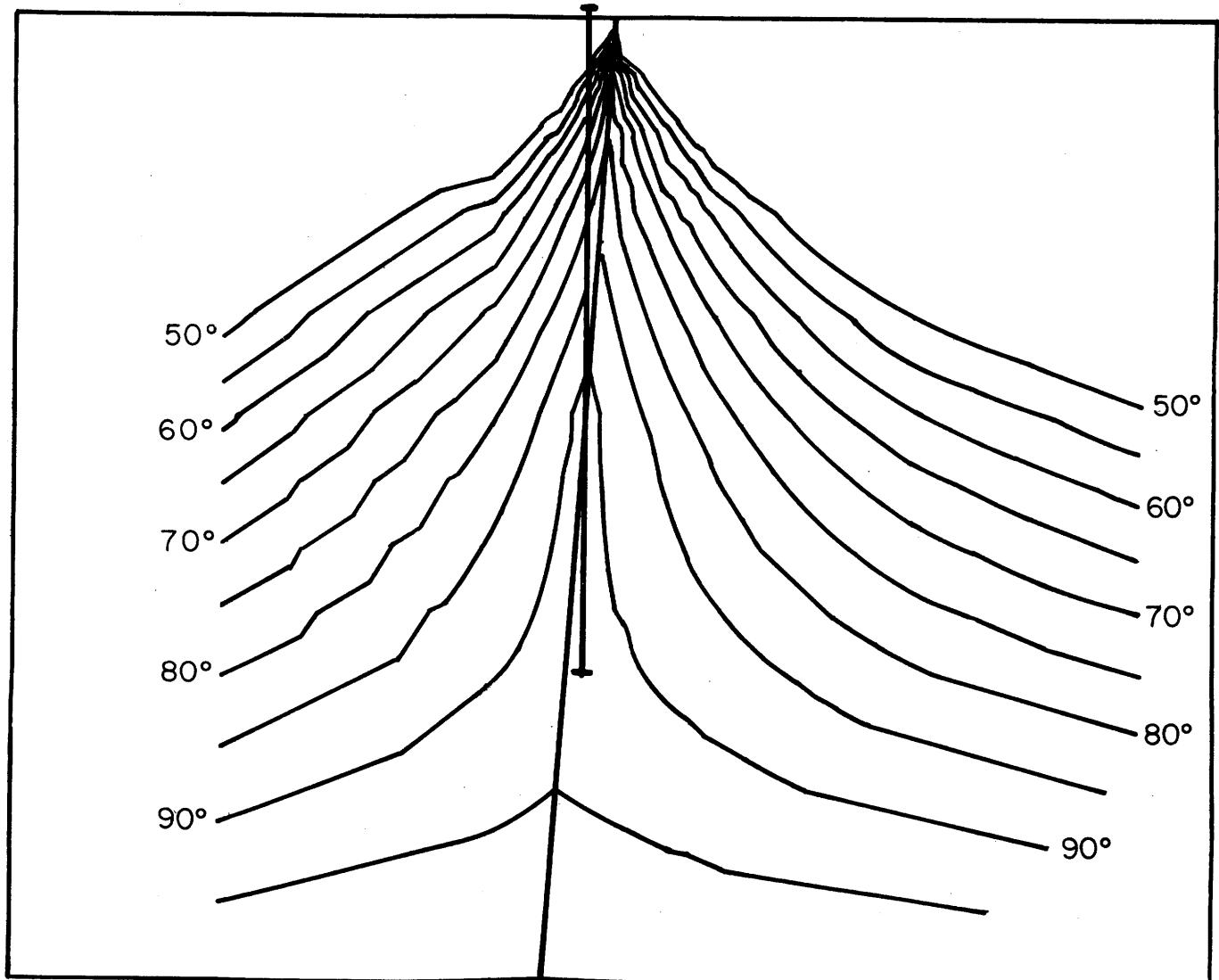
Halli sprungunnar er hér  $4^{\circ}$  til austurs og út frá henni gengur lárétt æð um 60 m til vesturs. Hitastig er látið vera  $92^{\circ}\text{C}$  alla leið niður á 1600 m dýpi. Borhola sem skæri láréttu æðina (hola 2) myndi kólna úr  $92^{\circ}\text{C}$  í æðinni og rétt niður fyrir  $89^{\circ}\text{C}$  á 850 m dýpi en hitna úr því, gagnstætt því sem hola 2 gerir í raun og veru.



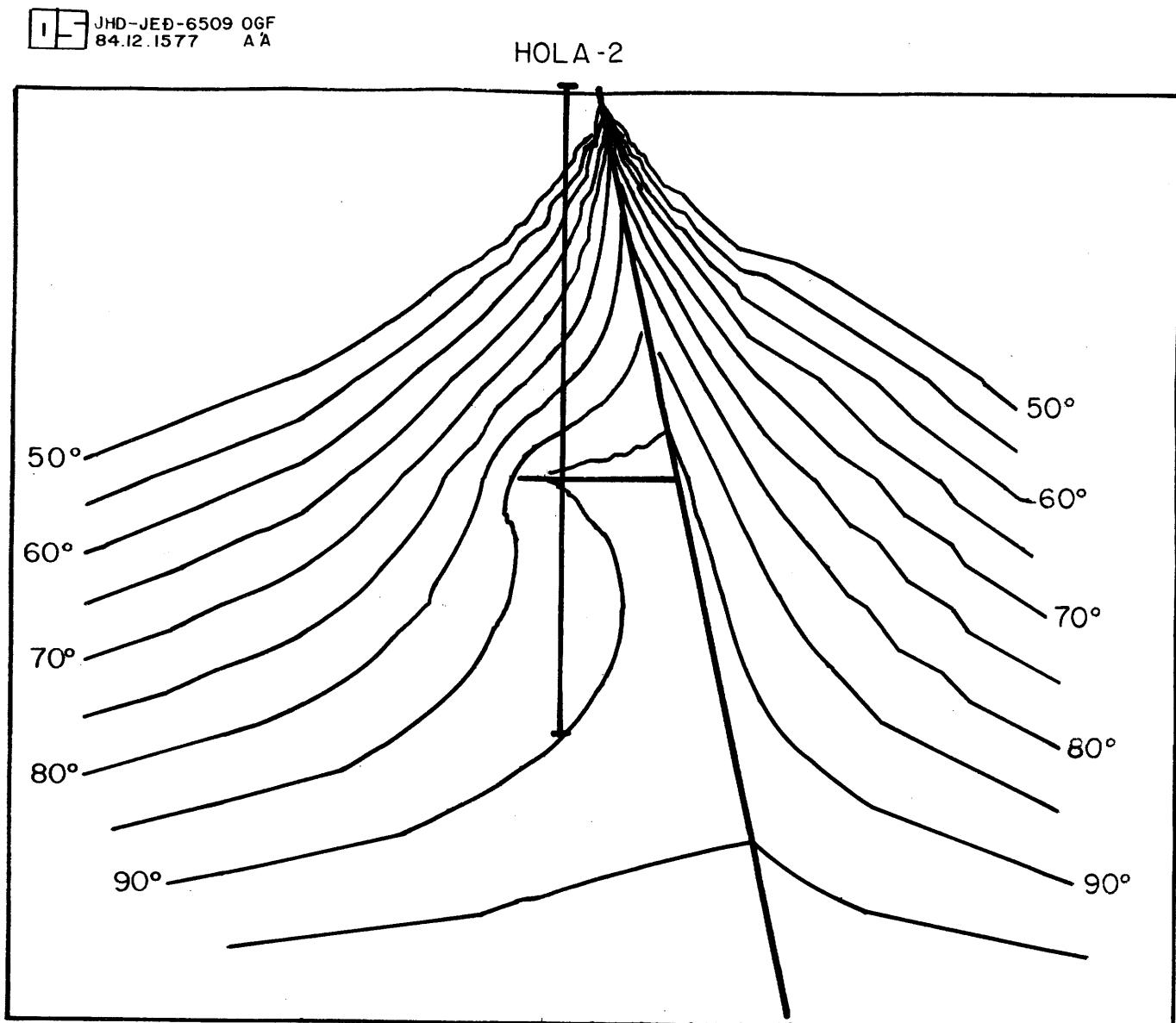
Vesturhallandi vatnsæð með 4° halla. Hitastig vex í 100°C á 1600 m dýpi. Slíkt líkan getur ekki skýrt viðsnúinn hitaferil í nærliggjandi borholum.

[I-E] JHD-JEB-6509 OG  
84.12.1574 AA

HOLA-2



Halli sprungunnar er hér  $12^\circ$  til austurs og út frá henni gengur lárétt æð til vesturs á 660 m dýpi. Nær æðin 100 m út frá sprungunni. Hitastig í spungunni vex hér í  $100^\circ$  á 1600 m dýpi. Miðað við að hola 2 sé 50 m frá sprungunni á yfirborði gæti hún kólnað úr  $92^\circ\text{C}$  á 660 m í tópar  $88^\circ\text{C}$  á 850 m en hitnaði úr því með dýpi. Hola 2 kólnar hins vegar alla leið frá 660 m og niður á botn.



Sprunga með 12° halla til vesturs þannig að holur 2 og 3 hafa skorið hana. Að auki er hitastig látið vera 92°C í sprungunni alveg niður á 1600 m dýpi. Þetta nægir augljóslega ekki til að skapa hitaferil sem er viðsnúinn svo neinu nemi í holu sem sker sprunguna.

[I-] JHD-JED-6509 OG  
84.12.1575 AA

HOLA-2

