



ORKUSTOFNUN  
JARÐHITAEILD

# HITAVEITA AKUREYRAR

RANNSÓKN JARÐHITA Í EYJAFIRÐI

ÁFANGASKÝRSLA 1978

HITAVEITA AKUREYRAR

RANNSÓKN JARÐHITA Í EYJAFIRÐI

AFANGASKÝRSLA ÁGÚST 1978

Höfundar:

Axel Björnsson  
Kristján Sæmundsson  
Sigmundur Einarsson  
Freyr Þórarinnsson  
Stefán Arnórsson  
Hrefna Kristmannsdóttir  
Ásgrímur Guðmundsson  
Benedikt Steingrímsson  
Þorsteinn Thorsteinsson

Verkefnisstjóri:

Axel Björnsson

E F N I S Y F I R L I T

	bls.
0. <u>Ágrip, helstu niðurstöður</u>	6
1. <u>Inngangur</u>	7
2. <u>Jarðfræði</u>	11
2.1. Jarðlagastaflinn	11
2.2. Jarðlagahalli	12
2.3. Gangar	13
2.4. Misgengi	14
2.5. Holufyllingar	15
2.6. Tengsl lauga við bergganga	15
2.7. Viðbótarrannsóknir í jarðfræði.	16
3. <u>Dreifing náttúrulegs jarðhita</u>	17
3.1. Öngulsstaðahreppur	17
3.2. Akureyri og Hrafnagilshreppur	21
4. <u>Segulmælingar</u>	25
4.1. Eðli segulmælinga	25
4.2. Segulmælingar í Eyjafirði	26
5. <u>Viðnámsmælingar</u>	
5.1. Staðsetning mælinga	29
5.2. Schlumberger-viðnámsmælingar	30
5.3. Tvípólmælingar	32
5.4. Helstu niðurstöður og frekari rannsóknir.	35
6. <u>Efnafræði heita vatnsins</u>	
6.1. Inngangur	37
6.2. Mat á hitastigi í berggrunni	39
6.3. Afmörkun vatnskerfa	41
6.4. Reikniaðferðir	41
6.5. Samanburður á mældu hitastigi í borholum við kísilhita og Na-K-Ca-hita.	42

## Efnisyfirlit - framhald

	bls.
6.6. Niðurstöður um hitastig	43
6.7. Niðurstöður um vatnskerfi	45
6.8. Túlkun niðurstaðna fyrir einstaka áhugaverða staði.	47
7. <u>Boranir</u>	
7.1. Borun einstakra hola	51
7.2. Jarðlög í borholum	61
7.3. Ummyndun bergs í borholum	62
7.4. Hrun í borholum.	63
8. <u>Borholumælingar</u>	66
8.1. Hitamælingar	67
8.2. Hallamælingar í borholum	68
8.3. Viðnámsmælingar í holum.	70
9. <u>Rennsliseiginleikar, vatnsstöðumælingar</u>	
9.1. Inngangur	72
9.2. Mælingarstaðir	72
9.3. Rennsli og vatnsvinnsla	73
9.4. Vatnsstöðu- og þrýstingsmælingar	75
9.5. Úrvinnsla mælinga	76
9.6. Afköst einstakra hola, fjöldi vinnsluhola	78
9.7. Djúpdælur	80
9.8. Niðurstöður.	81
10. <u>Helstu niðurstöður</u>	
10.1. Uppruni jarðhitavatnsins	84
10.2. Rennslisleið	84
10.3. Þrýstingur og hitastig	86
10.4. Uppstreymi - laugar - jarðhitasvæði	86
10.5. Hittni borhola	88
11. <u>Tillögur um frekari rannsóknir og boranir</u>	90

MYNDIR

	Frumritanr.
2.1. Jarðhiti og gangar í Eyjafirði	17213
2.2. Jarðlagasnið í nágrenni Laugaland	16799
2.3. Þykkt, stefna og halli ganga	17349
4.1. Segulkort, Öngulsstaðahreppur	16467
4.2. Segulkort, Hrafnagilshreppur	16466
4.3. Línuleg frávik í segulkortum	17950
5.1. Viðnámsmælingar, staðsetning og stefnur	16819
5.2. Equatorial-tvípólmæling, staðsetning	16824
5.3. Polar-tvípólmæling, staðsetning	16818
5.4. Viðnámsmælingar, jafngildislinur sýndarviðnáms	16820
5.5. Viðnámsmælingar án lágviðnáms	16821
5.6. Viðnámsmælingar - lágviðnámslög	16822
5.7. Viðnámsmælingar - óeðlilega krappar	16823
5.8. Viðnámsmælingar - flokkun eftir útliti	16846
5.9. Frávik í viðnámsmælingum	16851
5.10. NNV-línur gegnum frávik í viðnámsmælingum	16847
5.11. Tvípól-uppsetningar	16825
5.12. Equatorial-tvípólmæliferlar	16849
5.13. Spennu- og straumskaut - dýptaráhrif	16848
5.14. Dýptaráhrif í tvípólmælingum	16850
5.15. Equatorial-tvípólmælingar, snið	16827
5.16. Tvípólmælingar-lágviðnámsfrávik	16845
5.17. Polar-tvípólmælingar	16826
6.1. Kleyfnistuðull kísilsýru	16863
6.2. Samband reiknaðs og mælds hitastigs	16864
6.3. Samanburður kísilhita og alkalihita	16865
6.4. Kísilhiti í borholum og uppsprettum	16866
6.5. Kalkmettun jarðhitavatns	16867
6.6. Sýrustig - kæling jarðhitavatns	16868
6.7. Samband klórs og bórs í jarðhitavatni	16869
6.8. Samband klórs og súlfats	16870
6.9. Flúor í jarðhitavatni	16871
7.1. Jarðlagasnið úr borholum, SV-NA	17325
7.2. Jarðlagasnið úr borholum, SA-NV	17326
7.3. Ummyndun í borholum	13861

	Frumritanr.
7.4. Jarðlagasnið, vídd, viðnám GG-1	16363
7.5. Jarðlagasnið, vídd, viðnám GG-1	16363
8.1. Hitamælingar úr LJ-8	15710
8.2. Vatnsæðar í borholum, yfirlit	17183
9.1. Vatnsmagn og vatnsstaða 1975-1978	14658
9.2. Rennsli og vatnsstaða 1978	17743
9.3. Vatnsstaða LJ-5	17284
9.4. Rennslisstuðlar milli LJ-5 og LJ-7	17285
9.5. Dæluafköst - vinnsluferlar	16626
9.6. Þreparennisli úr TN-1	17771
9.7. Nýtni mismunandi dælugerða	16806
9.8. Halli á holum LJ-5 og LJ-7	16805
10.1. Jarðhitasvæði - borholur	18014

#### TÖFLUR

	bls.
3.1. Yfirlit um náttúrulegan jarðhita	18
6.1. Efnainnihald í jarðhitavatni	38
6.8. Samanburður reiknaðs og mælds hitastigs	44
7.1. Borholur á Laugalandi - yfirlit	52
8.1. Borholumælingar - yfirlit	67
8.2. Hallamælingar í borholum	69/70
9.1. Samanburður á dælum, vatnsborð 140 m	82
9.2. Samanburður á dælum, vatnsborð 190 m	83
9.3. Samanburður á dælum, vatnsborð 240 m	83

0. ÁGRIP, HELSTU NIÐURSTÖÐUR (AB)

Undanfarin ár hefur Orkustofnun gert all umfangsmiklar rannsóknir í grennd við Akureyri í þeim tilgangi að afla vatns til upphitunar húsa í bænum. Í þessu skyni hefur verið unnið að jarðfræðilegri kortlagningu, athugaður náttúrulegur jarðhiti og framkvæmdar ýmsar jarðeðlisfræðilegar mælingar til leitar að vænlegum vinnslusvæðum. Niðurstöður rannsókna leiddu til borana að Laugalandi, Ytritjörnum og Grísará. Boraðar hafa verið alls 10 holur fyrir Hitaveitu Akureyrar og sú ellefta er í borun. Latur nærri að önnur hver hola hafi hitt í nýtanlegar vatnsæðar en verulegir erfiðleikar hafa orðið við framkvæmd borunarinnar sjálfrar. Áætlað er að fá megi um 150 l/s af vinnslusvæðinu við Laugaland og um 100 l/s af Ytritjarnasvæðinu með borun fleiri hola. Til frekari vatnsöflunar er nauðsynlegt að fylla upp í fengna mynd af jarðhitasvæðum í grennd við Akureyri með áframhaldandi rannsóknum og borunum á nýjum vinnslusvæðum.

1. INNGANGUR (AB)

Tilraunir til þess að nýta jarðvarma til hitunar húsa á Akureyri eiga sér nokkuð langa sögu. Þær hófust árið 1933, er lögð var leiðsla frá laugunum í Glerárgili að sundlaug bæjarins. Um svipað leyti var farið að bora eftir heitu vatni í grennd við Kristnes. Jarðhitaleit var haldið áfram árið 1940 með borunum að Laugalandi, á Þelamörk og í Glerárgili. Einnig var borað að Kristnesi á næstu árum fyrir byggðina þar. Árangur þessarar jarðhitaleitar var fremur neikvæður og lágu frekari boranir niðri þangað til árin 1964-1965, þegar enn er borað á Þelamörk og í Glerárgili. Auk ofangreindra staða var einnig reynt að bora eftir heitu vatni fyrir ýmsa aðila að Hrafnagili, Syðra-Laugalandi, Hóli, Reykhúsum og víðar í grennd við Akureyri, en árangur varð hvergi nægjanlegur til þess að hagkvæmt mætti telja að leiða heita vatnið til Akureyrar og nota það þar til húshitunar. Upp úr 1970 virðist það vera orðin almenn skoðun flestra, að Akureyri verði ekki hituð upp með jarðvarma heldur með raforku eða olíu. Þessi skoðun kemur meðal annars fram í skýrslu Orkustofnunar frá árinu 1972 (Guðmundur Guðmundsson og Kristján Sæmundsson, 1972). Helsta niðurstaða skýrslunnar er sú, að jarðfræðilegar aðstæður í grennd við Akureyri séu þannig, að þar sé ekki unnt að vinna nægjanlegt vatn til hitunar húsa í bænum. Þess ber að gæta, að niðurstöður skýrslunnar voru byggðar á grunnnum mælingum gerðum með þáverandi mælitækni og með hliðsjón af aðeins 1000 m bordýpi, sem þá var hámarks bordýpi á landinu utan Reykjavíkursvæðisins.

Haustið 1973 skall olíukreppan svokallaða á. Við það breyttust öll viðhorf til húshitunarmála hér á landi og áhugi á nýtingu jarðhitavatns óx. Flestar hagkvæmnisáætlanir um jarðvarmaveitur, sem mið höfðu tekið af olíu- eða rafhitun, urðu úreltar og það virtist verða hagkvæmt að leiða heitt vatn um mun lengri veg og kosta meiru til rannsókna og borana en áður var réttlætánlegt. Vegna breyttra aðstæðna skipaði bæjarstjórn Akureyrar í árslok 1973, nefnd (Hitaveitunefnd) til þess að leita að hagkvæmstu lausn á húshitunarmálum bæjarins.



Nefndin lét meðal annars kanna hagkvæmni hitaveitu frá Bjarnarflagi í Mývatnssveit og frá Hveravöllum í Reykjahverfi. Liggja fyrir skýrslur frá Verkfræðistofu Sigurðar Thoroddsen (VST apríl 1974 og VST maí 1975) svo og skýrsla frá Orkustofnun (Kristján Sæmundsson og Karl Ragnars 1974) frá október 1974 sem bentu til þess að hagkvæmt gæti verið að leiða heitt vatn um allt að 70 km leið þrátt fyrir mikinn stofnkostnað.

Í apríl 1975 sendi Orkustofnun skýrslu til Hitaveitunefndarinnar með nýjum tillögum um frekari jarðhitaleit í nágrenni bæjarins (Axel Björnsson, Guðmundur Pálmason og Kristján Sæmundsson, 1975). Ástæður til þess að gera þessar tillögur voru einkum þær hversu dýr hitaveitulögn úr þingeyjarsýslum mundi verða og því erfitt að taka ákvörðun um slíkt mannvirki fyrr en búið væri að kanna til hlítar þá vatnsöflunarmöguleika er nær kynnu að leynast. Auk þess höfðu viðhorf til jarðhitaleitar með mælingum og borunum breyst talsvert á árunum 1972 - 1974. Mælingar mátti gera niður á mun meira dýpi eða allt að 5 km með nýjum tækjabúnaði og nýr bor Orkustofnunar átti að geta borað niður á 3,5 km. Borið saman við 1 km dýpi sem fyrri jarðhitaleit miðaðist við var því um mjög breytt viðhorf að ræða.

Hitaveitunefndin féllst á tillögur Orkustofnunar og voru gerðir all-  
umfangsmiklar jarðhitarannsóknir sumarið 1975 er náðu til Eyjafjarðar-  
svæðisins, Svalbarðsstrandar, Höfðahverfis, Fnjóskadals og Ljósavatns-  
skarðs. Einkum var beitt viðnámsmælingum og jarðfræðikortlagningu auk  
þess sem ein hitastigulshola var boruð í Ljósavatnsskarði. Bráðabirgða-  
niðurstöður rannsóknanna lágu fyrir í september 1975 en heildarskýrsla  
kom út í desember 1975 (Axel Björnsson og Kristján Sæmundsson, 1975).  
Helstu niðurstöður rannsóknanna voru þær, að þrjú jarðhitasvæði í grennd  
við Akureyri væru einna álitlegust til frekari könnunar með borunum.  
Þetta eru 1) jarðhitasvæðið um miðbik Eyjafjarðar, sem afmarkast af  
Kristnesi, Hrafnagili, Björk og Grýtu, 2) Reykir í Fnjóskadal og  
3) Stóru Tjarnir í Ljósavatnsskarði. Vegna jarðfræðilegra aðstæðna  
að Reykjum var sá staður talinn vænlegastur til að gefa nægjanlegt vatn  
til upphitunar á Akureyri en vegna nálægðar Eyjafjarðarsvæðisins við  
bæinn var lagt til, að fyrst yrði boruð ein hola við Syðra-Laugaland

með jarðbornum Jötni niður á allt að 3.500 m dýpi. Ef árangur yrði góður var lagt til að halda áfram borunum á þessu svæði. Yrði árangur enginn var lagt til að kanna Reykjasvæðið með 1500-2000 m djúpri holu.

Veturinn 1975-1976 voru boraðar þrjár holur að Syðra-Laugalandi með Jötni. Tvær þeirra gáfu um 80 sekúndulítra af 95°C heitu vatni í sjálfrennsli en sú þriðja gaf ekki vatn. Þessi góði árangur leiddi til þess, að Hitaveitunefndin lét hanna hitaveitu fyrir Akureyri og lá sú hönnun fyrir í október 1976. Var hún unnin af Verkfræðistofu Norðurlands og Verkfræðistofu Sigurðar Thoroddsen. Eftir árangur borana veturinn 1975-1976 þótti sjálfsagt að reyna að ná meira vatni af jarðhitasvæðinu um miðbik Eyjafjarðar. Var yfirborðsrannsóknnum haldið áfram og ein hola boruð í viðbót með Jötni á Laugalandi veturinn 1976-1977. Veturinn 1977-1978 voru síðan boraðar þrjár holur með Dofra og í október 1977 hófst borun með Narfa, sem stendur enn yfir.

Árangur þessara borana varð mun lakari en af fyrstu þremur holunum. Aðeins ein holanna gæti gefið meira en 20 sekúndulítra með dælingu, þrjár gefa innan við 10 sekúndulítra en 2 lítið sem ekkert. Ástæður fyrir þessu eru margþættar og engan veginn augljósar en benda má á nokkur atriði. Berglög eru þétt og yfirleitt illa vatnsgeng. Vatnsrásir eru einkum tengdar fáum lóðréttum berggöngum, sem erfitt er að hitta á miklu dýpi. Verulegir bortaknilegir erfiðleikar urðu við borun allra holanna með Jötni og Dofra. Staðsetningar holanna voru ekki eins vel undirbúnar eins og æskilegt hefði verið vegna mikils framkvæmdahraða við borunina. Þó verður að segja, að heildarárangur borananna sé góður miðað við afköst borhola á blágrýtismyndunum landsins.

Framhaldsrannsóknir, sem einkum voru unnar sumrin 1976 og 1977, fólust í nákvæmri jarðfræðikortlagningu, frekari jarðeðlisfræðilegum mælingum, athugunum á efnainnihaldi vatns úr laugum og borholum, svo og athugunum á rennsliseiginleikum borholanna. Þessar rannsóknir hafa ásamt upplýsingum úr borholunum verulega aukið og bætt þá mynd, sem menn gera sér af jarðhitakerfinu í Eyjafirði, þó enn séu vandkvæði á því að gera líkan af þessu kerfi, er lýsir öllum eiginleikum þess og eyðir verulega óvissu í staðsetningu borhola.

Í þessari skýrslu verða birtar niðurstöður þeirra yfirborðsrannsókna, er fram hafa farið í Eyjafirði síðustu tvö árin, en þær eru jarðfræðikortlagning (kafla 2), kortlagning náttúrulegs jarðhita (kafla 3), jarðeðlisfræðilegar mælingar (kaflar 4 og 5) og rannsókn á efnainnihaldi heita vatnsins (kafla 6). Einnig verður greint frá helstu niðurstöðum borana (kaflar 7 og 8) og frá rennsliseiginleikum holanna (kafla 9). Níu höfundar standa að skýrslunni og eru einstakir kaflar einkennir með upphafsstöfum þess eða þeirra, sem þá skrifa. Leitast hefur verið við að samræma framsetningu að vissu marki og draga saman helstu niðurstöður hinna ýmsu rannsóknaraðferða í kafla 10 eftir því sem slíkt er unnt á þessu stigi málsins. Ljóst er að bora þarf meira til frekari vatnsöflunar. Við það bætast upplýsingar í heildarmynd svæðisins. Úrvinnslu mæligagna er engan veginn lokið ennþá og ýmsar rannsóknir eru æskilegar samhliða eða á undan frekari borunum. Skýrsla þessi inniheldur því ekki lokaniðurstöður, enda ber hún heitið áfangaskýrsla.

Í kafla 11 eru tillögur um framhald rannsókna og borana, sem mælt er með við frekari vatnsöflun fyrir Hitaveitu Akureyrar.

#### Heimildir:

Axel Björnsson og Kristján Sæmundsson, 1975. Jarðhiti í nágrenni Akureyrar. Skýrsla OS JHD 7557, desember 1975.

Guðmundur Guðmundsson og Kristján Sæmundsson, 1972. Jarðhiti í nágrenni Akureyrar. Skýrsla OS, júlí 1972.

Áætlun um hitaveitu Akureyrar, 1976. Skýrsla Verkfræðistofu Norðurlands og Verkfræðistofu Sigurðar Thoroddsens, október 1976.

Axel Björnsson, Guðmundur Pálmason, Kristján Sæmundsson, Áætlun um lokaáfangi í forrannsókn á jarðhita í Eyjafirði, Fnjóskadal og Ljósavatnsskarði, með tilliti til hitaveitu á Akureyri, Apríl 1975.

## 2. JARÐFRÆÐI. (K.S.)

Í fyrri skýrslu eftir Axel Björnsson og Kristján Sæmundsson (OS JHD 7557) var stutt jarðfræðilýsing af nærsvæðum Akureyrar. Síðan sú skýrsla var skrifuð hefur ýmsu verið bætt við m.a. í næsta umhverfi jarðhitasvæðisins, sem Hitaveita Akureyrar fær nú vatn sitt frá. Hér á eftir fylgir jarðfræðilýsing á berggrunni þessa svæðis. Þegar dreifing jarðhitans er athuguð svo og niðurstöður borana, sem hvortveggja er lýst síðar í þessari skýrslu, virðist ljóst, að berggangarnir skipta þarna langmestu máli fyrir heitavatnsöflunina, eins og annars staðar kringum Eyjafjörð. Áhersla hefur því verið lögð á rannsóknir þeirra (sjá mynd 2.1). Neðan við 300 m hæð í landinu sést berggrunnurinn sjaldan samfelld á löngum kafla nema í árgljúfrum eða gilskorningum. Þess vegna verður jarðfræðikort fremur ófullkomið, einkum eru eyðurnar tilfinnanlegar kringum jarðhita- staðina sjálfa. Segulmælingar bæta hér nokkuð úr (sbr. 4. kafla), en með þeim er unnt að rekja bergganga ef jarðgrunnur er ekki of þykkur. Með jarðfræðilegu yfirliti er reynt að draga fram atriði, sem einkenna gerð jarðhitasvæðisins og leitt geta til skilnings á jarðhitakerfinu, þ.e. að- streymi og vatnsleiðurum. Útfærsla og túlkun jarðeðlisfræðilegra mælinga byggir á vitneskju um jarðfræðilega gerð rannsóknasvæðanna. Annað, sem skiptir meginmáli, er að finna tengsl lauganna við þá sérstöku jarðfræðipætti sem ákvarða uppstreymið á tilteknum stað. Verður vikið nánar að því í 3. kafla skýrslunnar, er fjallar um dreifingu náttúrulegs jarðhita.

### 2.1. Jarðlagastaflinn

Á mynd 2.2 eru sýnd jarðlagasnið af 1700-1800 m þykkum jarðlagastafla, sem mæld voru og rannsökuð í austurhlíðum Eyjafjarðar milli Meyjarhóls á Svalbarósströnd og Þverár innri. Neðsti hluti jarðlagasniðsins samsvarar efstu 700-800 m í borholunum á Laugalandi. Jarðlögin í heild sinni tilheyra Eyjafjarðarbasaltinu eins og það var skilgreint í fyrri skýrslu (OS JHD 7557). Jarðlagastaflinn er að langmestu leyti basalhraunlög af ýmsum gerðum og má auðveldlega aðgreina syrpur úr einsleitum lögum.

Einkennandi lög sem auðvelt er að þekkja og rekja sig eftir eru fremur fá, en eru þó til. Má nefna sem dæmi þykk dílótt hraunlög ofan við Hvamm í Hrafnagilshreppi, sem sjást aftur austan ár rétt norðan við vegamótin hjá Kaupangi og rekjast þaðan upp í Vaðlaheiði. Einkennandi beltótt dýngjuhraun finnst neðst í Þverá ytri og rekst þaðan norður í Fiskilæk

og Bíldsá. Lag af súru túffi, 2 m á þykkt, sem inniheldur granófýrhnyðlinga, finnst í um það bil 700 m hæð í fjallinu ofan við Uppsali. Ofan á túffinu er andesít-hraunlag. Bæði þessi lög rekjast suður fjallshlíðina ofan í Þverárdal. Neðan við túffið og andesít-hraunið eru nokkur lög af völubergi og sandsteini, sum allt að 20 m á þykkt. Óvíst er um upptök súra bergsins en grunur fellur á svæðið vestan megin í Eyjafirði þar sem líparít er algengt.

Setlög eru annars fáséð í jarðlagastaflanum, önnur en þunn rauðalög. Neðsta meiri háttar setlagið, yfir 18 m þykkt, sést neðst í Gilsá sunnan við Ytragil. Neðstu 6 m sem sjást eru brúnleitir leirsteinn með láréttri lagskiptingu og ofan á honum brúnn skálögóttur sandsteinn. Lagið sést hvergi nema þarna, en það markar fyrir því sem grunnum slakka í hlíðinni þarna upp af. Sennilega er annað setlag um það bil 100-150 m neðar, undir klettabeltunum ofan við Hamra (sunnan við Akureyri) hins vegar tókst hvergi að finna það í opnum. Á jarðfræðikortinu (mynd 2.1) er sýnt hvernig jarðlög þessi og jarðlagaskil liggja.

Engar aldursákvarðanir liggja fyrir, sem segja nánar til um aldur jarðlagastaflans, en ráðið var af líkum í fyrri skýrslu (OS JHD 7557). Upphleðsla jarðlaganna virðist hafa verið jöfn og ekkert mislægi kemur fram í staflanum. Setlög in miðhlíðis í Staðarbyggðarfjalli ganga áfram norður í Fiskilæk (sbr. fyrri skýrslu OS JHD 7557), en þau geta með engu móti verið þau sömu og marka mislægið milli Eyjafjarðarbasaltsins og Kinnarfjallabasaltsins eins og látið var að liggja í þeirri skýrslu (OS JHD 7557). Þótt mikil jarðsöguleg eyða sé í staflanum milli Vaðlaheiðar og Kinnarfjalla, er óvíst hvort slík eyða sé til staðar þegar haldið er inn eftir Eyjafirði.

## 2.2. Jarðlagahalli

Jarðlagahalli var mældur á nokkrum stöðum og eru gildin sýnd á jarðfræðikortinu (mynd 2.1). Hallastefnan er yfirleitt svipuð og liggur á milli SSA og SA. Í brún Vaðlaheiðar er hallinn mun austlægari, þar er líklega farið að geta sveigjunnar niður til Fnjóskadals. Jarðlagahallinn er mestur niðri undir dalbotni 7-10° en minni efst í fjöllumunum. Lætur nærri að hallinn minnki um 1° fyrir hverja 150-200 m sem kemur hærra í landinu. Búast má við svipaðri breytingu hallans niður á við í berggrunnum. Ekki er unnt að koma við mælingum á jarðlagahalla við Laugaland, en út frá því

sem sést í nálægum opnum, má gera ráð fyrir, að hann sé kringum 8° og mjög svipaður niðri í dalbotni vestan ár.

### 2.3. Gangar

Gangar voru athugaðir á árgljúfrum Þveráanna, Glerár og Gilsár og á nokkrum stöðum öðrum þar sem opnur voru þó ekki jafnsamfelldar. Á jarðfræðikortinu (mynd 2.1) er sýnd dreifing ganganna og stefna á athugunarstað. Upplýsingum um þykkt og halla er sleppt á kortinu, en þar er að finna á mynd 2.3. Þar er stefna ganganna teiknuð á stólparit og skilið á milli ganga austan og vestanmegin í dalnum. Dálitlu munar á meðalstefnunni, þannig að gangastefnan er heldur austlægari austan megin í dalnum, eða nálægt N 10°A, á móti N-S meðalstefnu vestan megin. Enn meiri munur kemur fram á ríkjandi stefnum á segulkortunum (sjá síðar). Suðvestast á því svæði, sem athugað var, þ.e. í gili Þverár innri og við Syðra-Laugaland, hafa gangarnir á heildina litið vestlægari stefnu. Þar eru gangar sem stefna N 5-20° V miklu algengari en annars staðar, þar sem gangastefnan var athuguð. Fáeinir gangar hafa áberandi mikið austlægari stefnu en þarna sést að öllum jafnaði, og fylgir jarðhiti sumum þeirra, t.d. í Glerárgili, í Gilsá og ofan við Kristnes.

Rúmur helmingur ganganna er á bilinu 1-3 m á þykkt, en einstöku miklu þykkari, um og yfir 10 m. Þar sem til sést, koma laugarnar eingöngu upp í eða við mjög þykka ganga. Þykku gangarnir eru ýmist óskiptir og þá oftast úr dóleríti eða samsettir úr mörgum einingum. Þykktardreifing 125 ganga í Glerá og Þveránum er sýnd á stöplariti (mynd 2.3).

Halli ganganna er yfirleitt nokkrar gráður til vesturs frá lóðréttu: Neðra stólparitið á mynd 2.3 sýnir hvernig hallagildin dreifast fyrir 72 ganga, þar sem hægt var að ákvarða hallann með viðunandi nákvæmni. Flestir hinna höfðu vestlægan halla. Nokkuð er vandasamt að ákvarða halla ganganna, þannig að hætt er við allstórum skekkjum. Þó er nokkuð öruggt að 60-70% ganganna eru með yfir 5° halla til vesturs frá lóðréttu. Kemur þetta allvel heim við þá gamalkunnu reglu, að gangarnir standa næstum hornrétt á lögin sem þeir skera, enda er hér lítið horn á milli gangastefnu og strikstefnu jarðlaganna.

Ógerlegt er að fylgja göngunum langa leið á yfirborði með augunum einum saman, vegna þess hvað opnur eru takmarkaðar. Í einstöku tilfellum var unnt að rekja sama ganginn nokkur hundruð metra jafnvel yfir 1 km og hélst stefnan furðu bein. Oft má líka sjá gangana sveiflast nokkuð til frá heildarstefnunni, jafnvel á stuttu bili. Gildir það fremur um mjórri gangana.

Á jarðfræðikortinu (mynd 2.1) er sýndur gangaþéttleikinn í % af öllu bergi yfir ákveðið bil, 1 km eða meira. Mestur gangaþéttleiki er um og yfir 7% neðst í hliðum dalsins en minnkar til hliðanna þegar landið hækkar. Svo kann að virðast sem gangasveimur liggi eftir Eyjafirði og hefur það reyndar verið skoðun höfundar (K.S.). Þetta er þó engan veginn víst, því að landslagið gæti villt um, því að eðlilegt er að göngum fækki, þegar hærri kemur í landið. Ekki verða séð nein ákveðin tengsl milli jarðhitans og gangaþéttleika. Þótt jarðhitinn komi aðallega upp þar sem gangaþéttleikinn er mestur virðast aðrir þættir ráða því að uppstreymið er bundið þessu svæði. Einnig er hugsanlegt að tveir gangasveimar liggi eftir dalnum hvor sínu megin en samanburður við breidd annarra gangakerfa bendir ekki til að svo sé.

#### 2.4. Misgengi

Misgengi eru algeng á því svæði, sem kortið nær yfir og stefna þeirra yfirleitt sú sama og ganganna. Misgengin eru mest áberandi vestan Eyjafjarðarár á um það bil 2 km breiðu beltinu sunnan við Akureyri. Austan ár sjást færri misgengi en þeirra verður vart í Fiskilæk og Þveránum. Misgengi með aust-norðaustlæga stefnu sást í fjallinu ofan við Uppsali. Engin tengsl eru sýnileg milli misgengja og jarðhitans. Þorkell Þorkelsson (1930) telur líklegt, að jarðhitinn vestan megin við Eyjafjarðará fylgi "neðanjarðar misfelli eða sprungu", sem stefni N20°V og nái norður í Laugaland í Hörgárdal. Nefnir Þorkell, "að hamrabeltið sunnan við Akureyri sé hugsanlega merki um þetta misgengi. Hins vegar stefni það N48°V og geti því allt eins verið framhald misgengis þess, sem markaði upphaf Garðsárdals." Svipaðar hugmyndir hafa komið upp nú 50 árum síðar (Freyr Þórarinnsson, 1977). Ekkert hefur komið fram við jarðfræðirannsóknir ennþá, sem bendir til, að misgengi ráði þarna nokkru. Sumir bergganganna, sem sjást við Syðra-Laugaland og í Þverá innri, stefna örlítið vestan við norður. Þeir koma einnig fram á segulkortunum.

### 2.5. Holufylling.

Holufylling berglaganna er breytileg eftir hæð í landinu og eftir berggerð. Í blágrýtinu er mest um glerhalla en zeólítar meira í ólivínbasalti og dílabasalti. Þar sem einsleitar syrpur af þessum berggerðum skiptast á, er skörp breyting í holufyllingum, t.d. í Þverá innri. Í Súlum ná zeólítar alveg upp að líparítinu í 1000 m hæð, en í Staðarbyggðarfjalli upp í rúma 950 m. Efri mörk þess beltis þar sem mesólít og skólesít eru einkennandi holufyllingar eru í kringum 200-300 m hæð, líklega nær efri mörkunum. Neðstu djújaveitur á lagmótum sjást í ca. 500 m hæð í Staðarbyggðarfjalli. Niðri undir dalbotni er því varla að búast við neinu verulegu gegnumstreymi vatns í berggrunni nema við ganga eða misgengi.

### 2.6. Tengsl lauga við bergganga.

Á örfáum stöðum er hægt að sjá við hverskonar aðstæður heita vatnið kemur upp. Þessir staðir eru Glerárgil, Gilsá, Garðsá, Kristnes og Syðra-Laugaland. Á öllum þessum stöðum kemur heita vatnið upp í eða við þykka dólerítganga með norðlæga stefnu. Við Kristneslaug og í Gilsá eru einnig til staðar gangar með austlægrri stefnu sem liggja um laugararnar. Af segulkortunum er ljóst, að margar fleiri laugar eru tengdar berggöngum. Má þar nefna laugarnar við Reykhús, og laugarnar við Grísará og Hrafnagil. Enda þótt gangana megi rekja langa vegalengd, ná laugasvæðin aðeins yfir stutt bil, í mesta lagi 200 m, og mestallt vatnið og jafnframt það heitasta kemur upp í einni eða fáum laugum á smábletti. Enn er ekki vitað hvað ræður mestu um vatnsleiðni bergganganna, hvort það séu skil í samsettum göngum, samdráttarsprungur vegna kælingar eða gliðsprungur, sem kvika hefur ekki náð að fylla. Stundum eru laugarnar ekki í göngunum sjálfum heldur í grannberginu við jaðrana, sem þá er maskað sundur í breksíu. Þannig virðist hafa til við Stokkahlaðir og í Glerárgili. Sennilega fylgir gangurinn í þeim tilfellum misgengisprungu.



## 2.7. Viðbótarrannsóknir í jarðfræði.

Því ítarlegri sem jarðfræðirannsóknir eru, þeim mun fyllri mynd hlýtur að fást af jarðhitnum og umhverfi hans. Vandinn er að ákveða takmörk slíkrar rannsóknar að því leyti, sem tekur til jarðhitans. Í sambandi við jarðeðlisfræðilegar mælingar hljóta alltaf að koma upp spurningar um túlkun, þar sem jarðfræðirannsóknir gætu hjálpað til að velja og hafna. Hér skal minnst á nokkur atriði, sem þörf er á að rannsaka nánar.

- 1) Kanna dreifingu ganga inn eftir Eyjafirði.
- 2) Kanna afstöðu ANA ganganna til N-S gangasveimsins og jafnframt afstöðu þeirra til líparítgossvæðisins upp af Glerárdal.
- 3) Kortleggja jarðhita í Saurbæjarhreppi og næsta umhverfi hans.
- 4) Loks er full ástæða til að hefja vandaða rannsókn á því, hvað ræður vatnsleiðni í berggöngum.
- 5) Gera kort yfir jarðlagahalla og brotahreyfingar á hálendinu upp af Eyjafirði, þar sem ætla má að aðrennslissvæði jarðhitakerfisins sé.

### Heimildir:

Axel Björnsson og Kristján Sæmundsson, 1975. Jarðhiti í nágrenni Akureyrar. Skýrsla OS JHD 7557, des. 1975.

Freyr Þórarinsson, 1977. Um höggun Miðnorðurlands. Jarðfræðifélag Íslands. Dagskrá og ágrip. Ráðstefna um íslenska jarðfræði, 24-25. nóv. 1977.

Þorkell Þorkelsson, 1930. Some additional notes on thermal activity in Iceland. - Vísindafélag Ísl. V. 31 bls.

### 3. DREIFING NÁTTÚRULEGS JARÐHITA. (K.S., S.E.)

Dreifing og eðli náttúrulegs jarðhita eru oft bestu vísbendingarnar um hvar staðsetja skuli borholur til vatnsöflunar. Þessi atriði gefa einnig mikilvægar upplýsingar um eðli heitavatskerfisins, sem jarðhitinn er tengdur. Náttúrulegur jarðhiti hefur breyst nokkuð undanfarin ár í Eyjafirði einkum vegna borana og annarra aðgerða á laugasvæðunum. Það þótti því rétt að gefa yfirlit um jarðhitastaðina, jarðfræðilegar aðstæður og helstu aðgerðir, sem framkvæmdar hafa verið til að auka vatnsmagnið áður en frekari röskun ætti sér stað og laugar þornuðu vegna aukinna borana. Upplýsingar um jarðhita innan við Akureyri er að finna í ýmsum heimildum, sbr. tilvitnanir aftan við þennan kafla. Hér hafa þessi gögn verið dregin saman og aukin.

Allir jarðhitastaðirnir voru skoðaðir á ný fyrri hluta árs 1978 og sérstök áhersla lögð á nákvæma kortlagningu lauganna. Þær laugar, sem falla innan segulkortanna, eru sýndar þar, sjá kafla 4. Um hinar vísast í yfirlitskort (2.1). Í töflu 3.1 hér aftan við er yfirlit yfir náttúrulega jarðhitann, áður en borað var á jarðhitasvæðinu. Um borholur boraðar fyrir 1975 vísast í fyrri skýrslu "Jarðhiti í nágrenni Akureyrar" OS JHD 7557 eftir Axel Björnsson og Kristján Sæmundsson.

#### 3.1 Öngulsstaðahreppur.

1. Garðsá. Garðsárlaug er í 95 m hæð y.s., um 400 m SSV af bænum Garðsá, ofan í gili Þverár ytri. Aðallaugin er 19°C og kemur upp úr sprunginni klöpp undir háum bakka. Rennsli er óverulegt (<0,1 l/s). Önnur laug 12°C heit, er 10 m norðar. Berg sést ekki nema fast við ána neðan við laugina og svo aftur rétt innan við hana í hlykk á ánni. Þar er um 10 m þykkur dólerítgangur, sem liggur N10°A og hallar 8-10°V frá lóðréttu. Virðist laugin koma upp vestan við eða vestan í þessum gangi. Gangurinn sést aftur í læk milli bæjarins og laugarinnar.

2. Björk - Ytritjarnir. Í mýrinni niðri á flatlendinu er óregluleg röð af laugum rétt við brekkuræturnar og liggur yfir landamerkjalinuna milli Bjarkar og Ytritjarna. Laugalínan er 150 m löng og stefnir nokkurn veginn N25°A og er þá eitt auga undanskilið. Segulmælingar gefa til kynna, að jarðhitinn sé tengdur gangi eða göngum. Í mars 1978 mældist hitinn í

Tafla 3.1 Yfirlit yfir náttúrulegan jarðhita í Öngulstaðahreppi, Hrafnagilshreppi og í Akureyrarlandi, áður en boranir hófust.

	°/C max	heilðarrennsli	Umhverfi.	Tengsl við ganga.
Garðsá	19,7° 1)	< 0,1 l/s KS77	Þykkur dólertgangur sést sunnan við laugina.	
Bjarkarlaug	27,5° 1)	0,5-1,0 l/s SE78	Í mýri.	
Hólslaugar	52° 4)	ca. 1,0 l/s 4)	Í mýri.	
Syðra Laugaland	55° 3)	ca. 2,0 l/s 3)	> 2 m þykkur gangur sést norðan við efstu laug.	
Brúnalaug (efri laugar)	66,2° 3)	1,35 l/s 3)	Í gróinni brekku.	
" (neðri laugar)	57° SE78		Í mýri.	
Gryta	34,0° 3)	0,8 l/s 4)	Í mýri.	
Glerárgil	51° 2)	1,5 l/s 2)	Laugarnar koma upp við þykkann gang (N30°A).	
Ytragil				
Gilsárlaug	48,4° 2)	0,4 l/s 2)	Í miðjum þykkum dólertgangi. Einnig A-V gangur.	
Kristnes	61° 1)	1,5 l/s 3)	Í þykkum dólertgangi (N-S). Einnig NA-SV gangur.	
Reykhús (efri laugar)	74,7° 1)	> 1,4 l/s 4)	Í gróinni brekku.	
" (neðri laugar)	53°	> 1 l/s 4)	Í mýri.	
Grísará	41,2° 1)	> 0,1 l/s 4)	Í mýri.	
Hrafnagilslaug nyrðri	47° 1)	< 1 l/s 1)	Líkl allt tengt sama ganginum (N 17°A).	
" syðri	57° 4)	> 0,8 l/s 4)	Þykkur dólertgangur 300 m norður frá laugunum.	
Stokkahláðir	23° KS78	ca. 0,2 l/s KS78		

- 1) Þorkell Þorkelsson (1920)
- 2) Þorkell Þorkelsson (1930)
- 3) Trausti Einarsson (1942)
- 4) Skýrsla Rannsóknaráðs (1944)

laugunum 10-23°C, hæst í Bjarkarlaug, en þar hefur áður mælst um 28°C hiti. Heildarrennsli úr laugunum er áætlað 0,5-1,0 l/s. Um 20 m þykkur jarðgrunnur er á svæðinu og því líklegt, að aðeins hluti þess vatns, sem streymir úr berggrunninum, nái til yfirborðs.

3. Hóll. Hólslaugar voru í mómýri austan þjóðveggar í um 90 m hæð y.s. Þær þornuðu alveg veturinn 1977-1978, þegar farið var að dæla úr borholu á Laugalandi. Þegar Þorkell Þorkelsson lýsti laugunum (Þ.Þ. 1920) voru þær 8 og hiti í þeim á bilinu 37,5-47,5°C. Þorkell lýsir eingöngu efstu laugunum, sem lágu í röð eftir línu nál. N20°A. Næstu mælingar eru frá 1944 (skýrsla Rannsóknarráðs). Þá höfðu laugarnar verið grafnar upp og byrgðar, og vatn úr þeim leitt heim. Hitastig var á bilinu 44-52°C og heildarrennslið 1 l/s. Við Hólslaugar hafa verið boraðar 5 grunnar borholur, sú dýpsta 100 m. Áður en borað var á Laugalandi, var rennsli úr þeim tveimur, sem gáfu vatn nálægt 1 1/2 l/s af 60°C heitu vatni (mælt í sept. 1974). Gangar með stefnu N10°A liggja yfir laugasvæðið (sjá segulkort með þessari skýrslu). Viðsnúnir hitaferlar í öllum borholunum benda til að vatnið í laugunum sé aðrunnið frá efsta ganginum eftir lausum jarðlögum ofan á berggrunninum. Engin af holunum nær að skera þann gang.

4. Syðra-Laugaland. Á Syðra-Laugalandi var upphaflega ein laug í mel í um 70 m hæð y.s. rétt sunnan við Laugalandslækinn og afætublettur í melnum 20 m ofar. Þarna er grunnt á klöpp, varla nema 4-5 m. Ýmsar upplýsingar um rennsli og hitastig eru til. Þorkell Þorkelsson (1920) mældi 54°C. Í skýrslu Rannsóknarráðs (1944) er rennslið sagt vera 2 l/s úr tveimur þróm, en önnur þeirra var grafin í afætublettinn. Gunnar Böðvarsson (1951) segir aðallaugina gefa um 1,5 l/s af 55°C heitu vatni og úr þrónni í afætublettinum fékkst auk þess nokkurt vatn. Fjórar holur voru boraðar á árunum 1947-1948 við laugarnar, og er sú dýpsta 80 m. Árangur varð enginn. Gangar með stefnu nálægt N10°A liggja yfir laugasvæðið og sjást í læknum rétt norðan við laugarnar (sbr. einnig segulkort í þessari skýrslu). Uppstreymið virðist tengt austasta ganginum af þremur, sem þarna sjást. Efsta laugin kemur upp í eða við hann, og eina holan, sem hitnaði niður og náði sama hitastigi og laugin, er boruð neðan við þessa laug rétt utan í ganginum (Kristján Sæmundsson og Guðmundur Guðmundsson 1971). Laugarnar hafa þornað eftir að dæling hófst úr holu 5 á Syðra-Laugalandi.

5. Brúnalaug - Klauf - Uppsálar. Við Brúnalaug (Brúnhúsalaug) eru margar laugar og volgrur, sem greinast í tvær þyrpingar. Annars vegar eru laugar uppi í brekkunni, við húsin og hins vegar laugar í mýrinni við brekkufótinn og eru þær nokkrú norðar.

a) Efri laugarnar. Efri þyrpingin samanstendur af a.m.k. 7 jarðhitaaugum, sem raðast óreglulega á 150 m langa línu með stefnu u.þ.b. N25°A. Í mars 1978 mældist hæsti hiti 58°C í 5 m djúpri borholu, en þá var mjög farið að gæta áhrifa frá dælingu úr borholu við Laugaland. Áður fyrr var heitasta laugin í þyrpingunni, Brúnhúsalaug, 66,2°C og rennsli úr tveimur heitustu laugunum 1,35 l/s (Trausti Einarsson 1942). Í vegaskorn- ingi ofan við húsin beint upp af heitustu laugunum sjást miklar ópalútfell- ingar í malarframburði. Bendir það til að upptök heitavatnsins séu ofan við laugarnar. Haustið 1947 voru boraðar fjórar grunnar holur (12-14 m) við Brúnalaug, þar af tvær í heitustu laugarnar. Rennsli jókst við borunina, þannig að með dælingu mátti fá um 3 l/s af 70°C heitu vatni úr þeirri holunni, sem mest gaf.

b) Neðri laugarnar. Neðri þyrpingin myndar 160 m langa línu með stefnu u.þ.b. N10°A og samanstendur af 5 jarðhitaaugum. Öll augun eru í mýri og ekkert rennsli sjáanlegt. Í mars 1978 mældist hiti 8-57°C á 0,5-1,0 m dýpi.

Línuleg dreifing lauganna við Brúnalaug, bæði þeirra efri og neðri, gæti bent til sambands við ganga en segulmælingar skera ekki úr um það atriði. Klöpp sést hvergi við laugarnar. Laugarnar gætu einnig verið afleiðing lárétts rennslis ofan úr hlíðinni á litlu dýpi, en ekki verður skorið úr um þetta nema með frekari athugunum og borunum.

6. Grýta. Við brekkufótinn, beint neðan við bæinn er laug í mýri og mældist hitinn í henni 31,5°C í mars 1978. Afætur eru í röð suður frá lauginni og um 25 m sunnan við hana seytlar vatn úr skurðbakka. Rennsli er tæplega 1 l/sek. 250 m norðan við laugina eru nokkur 5-7°C heit dý og er rennsli úr þeim allt að 2 l/sek. Sama hitastig hefur fundist í skurðum á flatlendinu um 100 m NV frá dýjunum. Segulmælingar benda til að Grýtulaug sé tengd gangi, sem stefnir u.þ.b. N10°A. Berg sést ekki nærri lauginni.

### 3.2 Akureyri og Hrafnagilshreppur.

1. Glerárgil. Laugarnar koma upp á ca. 150 m löngum kafla 150-170 m hátt y.s. í SA-barmi gilsins, sem þarna er um 50 m djúpt. Vatnið kemur aðallega upp austan megin við og í gangi, sem stefnir nál. N30°A og er yfir 10 m breiður margskiptur og að hluta úr dóleríti. Honum hallar til V en hallinn sýnist vera innan við 5° frá lóðréttu. Aðrir gangar í Glerárgili hafa norðlægari stefnu. Engir slíkir sáust á þeim kafla, sem laugarnar spanna, en 3 gangar með N10°A stefnu liggja rétt innan við innstu laugarnar. Glerárgilslaugum er lýst í ritgerð Þorkels Þorkelssonar (1930) og í T.F.W. Barth (1950) og fylgja uppdrættir lýsingum þeirra. Borað hefur verið í þrígang hjá laugunum í Glerárgili, fyrst 1930, 100 m djúp hola og síðan aftur 1940 tvær holur 80 og 30 m djúpar. Árangur varð enginn. Síðast var borað við Glerárgil 1965, 634 m djúp hola. Sú hola er rétt vestan við N30°A ganginn við SV endann á laugalínunni. Ekki er vitað hvort borholan skar ganginn. Eldri holurnar eru í eða austan við þennan sama gang.

2. Ytragil. Gilsá rennur í djúpu gili næstum þráðbeinu á löngum kafla. Hér og þar í gilinu sést berggangur, sem liggur eftir því og er stefna hans N70-75°A. Aðallaugin (48°C, ca. 0,4 l/s) er í 140 m hæð y.s. niðri í gilbotni, ofan við foss, en gilið er þarna grunnt. Við laugina er 13 m þykkur gangur, sem liggur N-S og kemur laugin upp í honum miðjum. Rétt neðan við aðallaugina koma óverulegar volgrur (um 20°C) út úr völubergs-samrýskju í gilbakkanum að norðanverðu. Enn austar niðri í gilinu vætlar 10-12° heitt vatn út úr A-V ganginum. Gangurinn, sem liggur eftir gilinu, sést ekki samfelld og um halla hans verður ekki dæmt af neinu öryggi. Hins vegar er greinilegur vesturhalli á N-S ganginum við aðallaugina. Þorkell Þorkelsson (1930) lýsir Gilsárlaus, en nefnir ekki ANA-VSV-ganginn.

3. Kristnes. Kristneslaug er í gilskorningi í 100 m hæð y.s. um 400 m SV af hælínu. Hún var fyrrum 61°C heit og rennsli 1 l/s. Laugin kemur upp í miðjum dólerítgangi, sem er tæpir 10 m á breidd og stefnir N10°A. Gangur liggur í stefnu skorningsins, N60°A í átt að Reykhúsalaugum (sbr. segulkort). Tvær holur hafa verið boraðar við Kristneslaug (402 m og 79 m djúpar), en báðar urðu árangurslausar (sjá Gunnar Böðvarsson, 1951).

Aftur var borað í Kristnesi 1964, en nú suður af efri Reykhúsalaugunum neðan við hælið. Holan er 240 m djúp. Árangur varð enginn. Holan er sýnd á segulkortinu, kölluð þar KF3. Mun hún hafa verið of grunn eða of langt frá NS gangi, sem laugarnar eru við, til þess að hitta ganginn og þar með vatnsæðar.

#### 4. Reykhús.

a) Efri laugarnar. Í norðausturframhaldi gilskorningsins ofan við Kristnes eru Reykhúsalaugar í um 30 m hæð y.s.. Laugarnar koma upp á mótum tveggja ganga og liggur annar í stefnu skorningsins,  $N60^\circ A$ , en hinn  $N10^\circ A$ , báðir fundnir með segulmælingum. Samkvæmt Trausta Einarssyni (1942) var hitastig í laugunum  $50-74^\circ C$  og rennsli um 3,0 l/sek. Á árunum 1946-1974 voru boraðar 5 grunnar holur við laugarnar, sú dýpsta 160 m. Þrjár af holunum gáfu vatn samtals um 1,5 l/s, sú efsta mest, en hún skar gang á 125 m dýpi (Gunnar Böðvarsson 1951).

b) Neðri laugarnar. Í mýrinni neðan við þjóðveginn eru 5 augu á 280 m langri línu sem stefnir  $N20^\circ A$ . Í mars 1978 var hitinn  $6-36^\circ C$ , en ekki var hægt að mæla hita í þró, sem dælt er úr. Úr þrónni hefur verið dælt rúmlega 1 l/s af ca.  $55^\circ C$  heitu vatni. Árið 1910 mældi Þorkell Þorkelsson (1920)  $53^\circ C$  hita á þeim stað sem þróin er nú. Línuleg dreifing lauganna bendir til sambands við berggang eða misgengi, en segulmælingarnar ná ekki enn sem komið er yfir þetta svæði. Árið 1946 var boruð 36 m djúp hola við heitustu laugina. Árangur varð enginn. Holan er fast við þróna vestan megin, en fóðurrörið ryðgað sundur og holan komin á kaf í mýrina.

5. Grísará. Tvær laugar eru í mýri beint niður undan bænum og liggur þjóðvegurinn á milli þeirra. Laugin ofan vegar var að jafnaði  $40^\circ C$  heit, en kólnaði eftir að borað var á Grísará sumarið 1977 og mældist í henni  $29^\circ C$  hiti í mars 1978. Laugin neðan við veg er 35 m austar. Hún var áður fyrr  $41^\circ C$ . Árið 1970 var boruð hjá henni 10 m djúp hola með handbor. Úr henni var dælt tæplega 0,3 l/s af  $43^\circ$  heitu vatni. Við örari dælingu dró dælan inn kalt vatn. Við borunina á Grísará 1977 minnkaði vatnið og kólnaði. Laugarnar á Grísará eru við berggang, sem kemur fram við segulmælingar og stefnir h.u.b.  $N20^\circ A$ . Grísarárholan, sem boruð var með Dofra sumarið 1977, var staðsett með hliðsjón af þessum gangi og skar hann á 320-460 m dýpi án þess þó að vatn kæmi í holuna fyrr en 100 m neðar.

Þetta er sami gangurinn og liggur yfir þinghúsplaníð á Hrafnagili (sjá um Hrafnagilslaug ytri).

## 6. Hrafnagil.

a) Hrafnagilslaug ytri. Til er lýsing á Hrafnagilslaug ytri áður en jarðrask byrjaði (Þorkell Þorkelsson 1920). Þá voru þarna laugar í röð frá NA til SV og um 40 m á milli þeirrar syðstu og nyrstu. Hitastig í þeim var á bilinu 40-50°C og heildarrennsli um 1 l/s. Laugarnar komu fram við norðurjaðarinn á Hrafnagilshól, sem var framan við Reykárgilið. Á árunum eftir 1940 var hóllinn numinn burt að mestu leyti, og breyttust þá uppkomuaugun. Heitt jarðvatn, allt að 54°C, fannst í botni malar-gryfjunnar, mest syðst og austast þar nærri sem hola 2 er nú. Við hita-mælingar í ca. 15 m djúpum borro-holum, sem boraðar voru 1973, kom fram heitur pollur (hámarkshiti 57°C) í malarlögum um 60-70 m suður af gamla þinghúsinu. Uppstreymið hefur verið talið tengt berggangi, sem fundist hefur þar undir og hefur stefnuna N20°A. 5 holur, 500-600 m djúpar, hafa verið boraðar á Hrafnagili, þar af þrjár, sem ætlað var að hitta ganginn, en engin þeirra gaf vatn nema hola 1, sem er sennilega boruð beint í ganginn. Vatn kom í þá holu í 300-350 m dýpi og nam ca. 1/2 l/s af 55° heitu vatni.

b) Hrafnagilslaug syðri (einnig nefnd Botnslaug) er stærsta laugin af mörgum, sem liggja á um 200 m langri línu meðfram þjóðveginum gegnt afleggjaranum að Botni. Laugarnar eru a.m.k. 11 talsins, allar í mýri. Hiti er 6-57°C, en rennsli er erfitt að áætla. 1944 mældist rennslið í vatnsmestu lauginni 0,8 l/s, en líklegt er, að ekki nái allt vatn til yfirborðs, sem streymir upp úr berggrunnum. Stefna laugalínunnar er N20°A. Við segulmælingar 1971 fannst gangur með norðlægri stefnu ofan við veginn, vestan lauganna. (Guðmundur Guðmundsson og Kristján Sæmundsson 1971). Líkur eru á að uppstreymið sé tengt honum. Ca. 300 m norðar í lækjarfarvegi bak við fjárhúsin frá Hrafnagili sést > 10 m þykkur dólerít-gangur. Líklega er það sami gangurinn.

7. Stokkahlaðir. Í 100 m hæð y.s., í grunnum gilskorningi ofan við Stokkahlaðir eru tvær smávolgrur 22° og 23°C heitar og 5 m á milli. Rennsli er óverulegt, ca. 0,2 l/s, heldur meira í efri og heitari lauginni. Vatnið seytlar fram úr sprungum í breksíuklökk. Ekkert ganglag sést í



berginu við volgrurnar. Segulmælingar hafa sýnt, að gangur með aust-vestlaga stefnu er niðri í gilinu við volgrurnar og sést hann á nokkrum stöðum í gilinu.

Í þessu yfirliti er sleppt nokkrum vafasömum jarðhitastöðum, þar sem ekki hefur tekist að fá fulla vissu fyrir því að um jarðhita sé að ræða.

Heimildir:

Axel Björnsson og Kristján Sæmundsson, 1975. Jarðhiti í nágrenni Akureyrar. Skýrsla OS JHD 7557, des. 1975.

Freyr Þórarinnsson 1977. Um höggun Miðnorðurlands. Jarðfræðafélag Íslands. Dagskrá og ágrip. Ráðstefna um íslenska jarðfræði 24.-25. nóv. 1977.

Guðmundur Guðmundsson og Kristján Sæmundsson 1971. Jarðhitaathugun við Hrafnagilslaug syðri í Eyjafirði. Skýrsla Orkustofnunar.

Gunnar Böðvarsson, 1951. Skýrsla um rannsóknir á jarðhita í Hengli, Hveragerði og nágrenni, árin 1947-1949. Fyrri hluti. - Tím. V.F.Í. 36. ár, 1-2 h. bls. 1-48.

Kristján Sæmundsson og Guðmundur Guðmundsson 1971. Greinargerð um Jarðhitaathuganir á Laugalandi í Eyjafirði. Skýrsla Orkustofnunar.

N.N. 1944. Alkalísk jarðhitasvæði. Skýrsla Rannsóknaráðs. Handrit í fórum Jarðhitadeildar.

T.F.W. Barth 1950. Volcanic Geology hot springs and geysers of Iceland. Carnegie Inst. Publ. 587.

Trausti Einarsson 1942. Über das Wesen der heissen Quellen Islands. Vísindafél. Ísl. 26.

Þorkell Þorkelsson, 1920. Undersøgelse af nogle varme kilder på Nordisland. - Det Kgl. Danske Vid. Selsk., Math.-fys. Medd. III, 1. 30 bls.

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

#### 4. SEGULMÆLINGAR. (A.B.)

##### 4.1. Eðli segulmælinga

Hraunkvika, sem rennur í segulsviði jarðar, segulmagnast varanlega um leið og hún storknar og myndar fast hraun. Fær segulsviðið í hrauninu sömu stefnu og jarðsviðið hafði, þegar kvikan storknaði. Styrkur segulsviðs hraunsins er háður styrk jarðsviðsins og magni segulmagnanlegra steintegunda í kvikunni. Segulsvið jarðar er stöðugum breytingum undir orpið og hefur margsinnis breytt um stefnu og styrk á síðustu milljónum ára. Markverðasta breytingin er sú, að stefna sviðsins snýst alveg við með óreglulegu millibili. Þetta veldur því, að hraunlög úr ólíku efni og frá mismunandi jarðsögulegum tíma eru yfirleitt ekki eins segulmögnuð. Stefna segulsviðsins hér á landi er núna hallandi niður til norðurs um 70° frá láréttu og 22° til vesturs frá réttvísandi norðri. Er þetta oft kölluð rétt segulstefna. Öfug segulstefna er í gagnstæða átt rísandi til suðurs. Áætla má að um 60 kollsteypur hafi orðið á segulsviði jarðar síðustu 20 milljón árin, þ.e. á þeim tíma, er Ísland hefur verið að hlaðast upp, mest úr einstökum hraunlögum hverju ofan á annað. Með því að mæla segulsvið í hraunum má oft bæði ákvarða aldur þeirra og eins greina í sundur jarðmyndanir, er ekki verða aðgreindar á annan hátt.

Segulmælingar hafa mikið verið notaðar hér á landi við að kortleggja jarðfræðilegar misfellur eins og ganga, misgengi og sprungur, svo og hraunlög, sem hulin eru lausum yfirborðslögum eins og t.d. árframburði, skriðum og jarðvegi. Hefur notkun þeirra gefist einkar vel við kortlagningu ganga í grennd við jarðhitasvæði á blágrýtissvæðum landsins. Gangur er hraunkvika, sem storknað hefur í sprungum og standa þeir venjulega lóðréttir á nærliggjandi hraunlög. Stefna segulsviðs ganga er yfirleitt annaðhvort rétt eða öfug í samræmi við stefnu jarðsviðsins þegar gangurinn myndaðist. Sé segulsvið mælt yfir gangi, kemur venjulega fram frávik frá ótrufluðu jarðsviði, jákvætt frávik þ.e. sterkara segulsvið yfir rétt segulmögnum gangi, en neikvætt frávik yfir öfugt segulmögnum gangi.

Segulmælingar eru oftast gerðar með segulmæli, sem mælir heildarstyrk sviðsins (prótónusegulmælir). Er mælt í um það bil 3-4 m hæð yfir jörðu á ákveðnum línunum eða neti. Fjarlægð á milli lína eða punkta í neti fer eftir því, hve örar breytingar verða á segulsviðinu og þeirri nákvæmni og upplausn, sem krafist er í hvert skipti. Við kortlagningu ganga er

oftast mælt eftir beinum línunum og hafðir 20 m á milli mælilína en 5 m á milli punkta á hverri línu. Netið er lagt út með hornamælingum eða mælisnúrum áður en segulmælingar hefjast. Tveir menn framkvæma segulmælingar og lætur nærri að þeir komist yfir um 3-4 km á dag eftir aðstæðum (6-8 hektara). Niðurstöður eru venjulega birtar á korti með jafnsviðslínunum og helstu kennileitum. Það fer eftir stærð og lögun segulfrávika hve þéttar jafnsviðslínur eru dregnar en oft er nægjanlegt að hafa eitt mikroTesla (1000 gamma) á milli jafnsviðslína.

#### 4.2. Segulmælingar í Eyjafirði

Á Miðnorðurlandi sjást víða nán tengsl bergganga og jarðhita. Laugar raða sér gjarnan á beinar línur langs eftir göngum og sums staðar má finna laugar er streyma beint upp úr gangi. Borun eftir heitu vatni í þessum landshluta hefur einnig leitt í ljós að vatnsæðar koma mjög oft í holur þar sem þær skera ganga. Þessi tengsl ganga og heits vatns eru þó ekki sjáanleg á öllum jarðhitastöðum á Miðnorðurlandi, en grunur leikur á að þau séu víða fyrir hendi þrátt fyrir það.

Til þess að athuga þessi tengsl ganga og lauga nánar á vinnslusvæði Hitaveitu Akureyrar var 1976 hafist handa við gerð nákvæms segulkorts af svæðinu. Kortið er af tveimur svæðum. Er annað vestan megin í dalnum og nær frá Reykhúsum að Hrafnagili, en hitt er að austanverðu og nær frá Björk suður að Grýtu. Kort sem þessi eru ekki eingöngu gerð til þess að kortleggja ganga og kanna tengsl þeirra við jarðhita, heldur eru þau einnig auðsynleg forsenda þess, að unnt sé að staðsetja með nægjanlegri nákvæmni borholur, sem ætlað er að skera ákveðna ganga á fyrirfram ákveðnu dýpi.

Mælingarnar voru gerðar með prótónumæli og var nemi mælisins í 2,5 m hæð frá jörð. Mælt var eftir línunum sem liggja nokkurn veginn austur-vestur hornrétt á ríkjandi gangastefnu. Venjulega voru 20 m á milli lína en 5 m á milli punkta á hverri línu. Niðurstöður mælinganna eru teiknaðar inn á tvö meðfylgjandi kort, myndir 4.1 og 4.2. Jafnsviðslínur eru dregnar með 1 mikroTesla ( T) millibili. Enn fremur er merkt inn á kortin allur jarðhiti og borholur á því svæði, sem þau ná til.

Úrvinnslu mælinganna er ekki endanlega lokið ennþá, t.d. á eftir að bera betur saman niðurstöður á kortunum við beinar athuganir á göngum, þar sem þeir sjást í náttúrunni. Einnig er verið að framlengja bæði kortin til suðurs þannig að þau nái yfir jarðhitann sunnan Hrafnagils og að Borgarhóli. Þrátt fyrir þetta eru meginniðurstöðurnar þó þegar ljósar og verður hér greint frá því helsta er máli skiptir.

1) Ríkjandi gangastefna er norðlæg eða nánar tiltekið  $10-20^\circ$  austan við norður að austanverðu í dalnum, en  $5-10^\circ$  austan við norður að vestan. Þetta er lítið eitt meiri munur en kemur fram í stefnu ganga þar sem þeir sjást á yfirborði (sjá kafla 2).

2) Nokkrir ganga sem stefna örlítið vestan við norður, allt að  $N20^\circ V$ , sjást einnig á kortunum. Einkum er þessi stefna greinileg við Laugaland. Gangar með þessa stefnu finnast í felti í grennd við Laugaland, en þeir eru færri en norðlægu gangarnir. Ekki er ástæða til að ætla annað en allir gangar tilheyri sama gangakerfinu þar sem dreifing á stefnu þeirra er nokkuð jöfn um meðalgildi.

3) Einn öfugt seglmagnaður gangur með stefnuna  $N30^\circ A$  sést greinilega við Kristnes. Gangurinn sést ekki á yfirborði en lítill gilskorningur hefur grafið eftir ganginum. Fleiri gangar með svipaða stefnu koma ekki fram á kortinu en nokkrir hafa fundist á yfirborði utan kortsins t.d. í Gilsá og Glerárgili.

4) Greinileg tengsl sjást víðast hvar á milli lauga og ganga t.d. á Grísará, við Kristnes, að Ytritjörnum, Laugalandi og víðar. Undantekning frá þessu er Brúnalaug þar sem bein tengsl eru óljós þótt gangar séu í næsta nágrenni jarðhitans.

5) Tengsl bergganga og vatnsæða í borholum eru enn nokkuð óljós. Þar sem borað hefur verið án bergganga, sem greinilega eru tengdir laugum á yfirborði, hefur árangur verið mjög misjafn. Á Grísará og Ytritjörnum komu vatnsæðar í holur þar sem þær skáru ganga. Á Syðra-Laugalandi (LG-11) varð aftur á móti enginn árangur af borun í þá ganga, er hinar upprunalegu laugar komu upp með. Hugsanleg skýring á þessu er, að heita vatnið renni ekki ávallt upp með einum ákveðnum gangi neðan af miklu dýpi, heldur geti runnið lárétt eftir millilögum lengri eða skemmri veg á milli einstakra

ganga eða gangakerfa. Nokkur atriði benda til þess að Hólslaugar og laugarnar að Syðra-Laugalandi séu afleiðingar lárétts rennslis á litlu dýpi út frá lóðréttri meginuppstreymisrás heita vatnsins. Til þessa bendir árangur borunar LG-11, snögg og mikil áhrif rennslis úr borholum að Syðra-Laugalandi á rennslis úr laugunum. Viðsnúnir hitaferlar í grunnum borholum við Hólslaug benda einnig til lárétts rennslis á litlu dýpi.

6) Nokkrar athuganir benda til þess að flestar eða allar laugar og æðar í borholum á Eyjafjarðarsvæðinu séu tengdar tveimur meginuppstreymisrásum annarri vestan megin en hinn austan megin í dalnum. Vestari rásin er gangur sem nær frá Reykhúsum í gegnum Grísará og suður fyrir Hrafnagils-laug syðri. Allar laugar og allar vatnsæðar í borholum á þessu svæði gætu verið tengdar þessum gangi nema ef til vill laugarnar ofan við Kristnes, sem liggja á NA-SV gangi er sker meginganginn við Reykhús. Austan megin í dalnum má á svipaðan hátt tengja vatnsæðar í holum að Ytritjörnum svo og í holum LN-10, LJ-5 og LJ-7 á Syðra-Laugalandi við einn og sama ganginn, eða greinar af honum.

7) Þegar litið er á segulkortin í heild sést að segulsviðið er mjög mismunandi reglulegt eða rólegt á hinum ýmsu svæðum. Einkum er áberandi hve óreglulegt sviðið er umhverfis Syðra-Laugaland en rólegt norðan og sunnan við. Á Laugalandssvæðinu ber einna mest á norðnorðvestlægu gangastefnunni og er hugsanlegt að óregla sviðsins sé á einhvern hátt tengd því að þar skerast tvær gangastefnur þ.e. N20°A og N5-10°V. Þykkt lausra yfirborðsjarðlaga ofan á berggrunninum hefur veruleg áhrif á það hversu reglulegt segulsviðið mælist á hverjum stað, það er því unnt að skýra þennan útlitsmun á segulsviðinu að hluta með breytingu í þykkt yfirborðslaga en ekki þó að öllu leyti.

## 5. VIÐNÁMSMÆLINGAR. (F. Þ.)

### 5.1 Staðsetning mælinga.

Þær viðnámsmælingar sem hér verður fjallað um eru tvennskonaar, tvíþól-viðnámsmælingar, sem hér verða nefndar tvíþólmælingar, eins og venja er, og Schlumberger-viðnámsmælingar, sem málvenja hefur verið að kalla viðnámsmælingar og verður því haldið hér. Gagnvart viðnámsmælingunum er rannsóknarsvæðið í Eyjafirði skilgreint þannig að það takmarkast að austan og vestan af hæðarlínu 200 m yfir sjó og nær sunnan frá Rifkelsstöðum norður að Ytra-Gili.

Í Eyjafirði innan Akureyrar hafa verið mældar alls 44 viðnámsmælingar, þar af 36 á rannsóknarsvæðinu sjálfu. Þær eru:

- 11 mælingar, A-14 til A-24, mældar 1971, AB/2 max = 900 m.
- 9 mælingar, AK-40 til AK-51, mældar 1975, AB/2 max = 1500 m.
- 12 mælingar, AK-55 til AK-66, mældar 1976, AB/2 max = 1500 m
- 4 mælingar, AK-68 til AK-71, mældar 1977, AB/2 max = 1500 m.

Staðsetning þessara mælinga er sýnd á mynd 5.1.

Tvíþólmælingar sem teygja sig inn á rannsóknarsvæðið eru 17 talsins. Þær eru:

- 6 mælingar, TEF-2 til TEF-8, mældar 1975, meðallengd 5,8 km.
- 4 mælingar, T-7604 til T-7607, mældar 1976, meðallengd 5,5 km.
- 7 mælingar, T-7718 til T-7724, mældar 1977, meðallengd 1,6 km.

Tvíþólmælingar frá 1975 og 1976 eru mældar með "equatorial"-uppsetningu en stuttu mælingarnar frá 1977 eru samfelldar mælingar með "polar"-uppsetningu. Staðsetning tvíþólmælinganna er sýnd á myndum 5.2 og 5.3.

## 5.2 Schlumberger - viðnámsmælingar.

Viðnámsmælingar eru þannig framkvæmdar að milli tveggja skauta, sem rekin eru í jörðina, er sendur rafstraumur og spennufallið mitt á milli þeirra er mælt með öðrum tveimur skautum. Fyrri skautin eru nefnd straumskaut, A og B, en þau síðarnefndu spennuskaut, M og N. Straumstyrkleikinn, spennufallið og fjarlægðin milli skautanna eru reiknuð yfir í sýndarviðnám, en það er einskönar vegið meðaltal af eðlisviðnámi þeirra jarðlaga sem straumurinn fer um og jafngildir því eðlisviðnámi sem hómógen jörð þyrfti að hafa til að gefa sömu mæliniðurstöðu (mælieining eðlisviðnáms er  $\Omega m$ , ohm-metrar). Viðnámsmælingin er fólgin í því að sýndarviðnámið er mælt fyrir sívaxandi fjarlægð milli straumskauta og svarar sýndarviðnámið þá til eðlisviðnáms sífellt dýpri jarðlaga. Sýndarviðnámið er svo teiknað á móti straumarmi, þ.e. hálfri fjarlægðinni milli straumskauta,  $AB/2$ . Það línurit eða mæliferill er svo túlkað sem endurspeglun af viðnámslögum jarðarinnar, þykkt þeirra og eðlisviðnámi.

Til þess að unnt sé að túlka mæliferilinn til upplýsingar um jarðargerð þarf að leggja til grundvallar einhverjar almennar og reikningslegar forsendur. Þessar forsendur eru einfalt líkan af jörðinni með nógu fáum viðmálum (parameter) til þess að unnt sé að reikna gildi þeirra út frá mæliferlinum. Það líkan sem algengast er að nota við túlkun viðnámsmælinga er að jörðin sé lárétt lagskipt í óendanlega víðáttumikil hómógen viðnámslög. Þetta líkan hefur tvo meginkosti. Það er oft jarðfræðilega sennilegt og það leiðir til þess að sérhver mæliferill svarar til nákvæmlega einnar ákveðinnar lagskiptingar jarðar, reikningslega séð, bæði hvað varðar eðlisviðnám og þykkt viðnámslaga. Milli lagskiptingar og mæliferils er með öðrum orðum reikningslega einkvæmt samband samkvæmt þessu líkani. Í reyndinni er þetta þó þannig, að endanlegur fjöldi mælipunkta, mæliskekkjur og óreglur í gerð jarð- eða viðnámslaga gera túlkun mælinga yfir í lárétt viðnámslög óvissari, og ekki er alltaf hægt að greina rétta lagskiptingu jarðar út úr mæliferlinum.

Þegar túlkaðar eru margar mælingar frá sama svæði skiptir miklu að samræmi sé í túlkun mælinganna og að þær gefi heillega mynd af svæðinu. Til þess að þetta megi verða þarf oft að gera ráð fyrir því að sumir hlutar mæliferils sýni frávik vegna lóðréttra viðnámslaga, t.d. ganga eða sprungna. Þessi þáttur túlkunarinnar orkar stundum nokkuð tvímælis en á jafnmikinn rétt á sér fyrir því.

Í þessum forsendum fyrir túlkun viðnámsmælinga, sem lýst er hér að framan, er oft fólgin mestri vandi túlkunar viðnámsmælinga frá svæðum eins og Eyjafirði. Ekki er fyrirfram ljóst hvernig háttáð er lögun, útbreiðslu og eiginleikum þeirra fyrirbæra, sem valda viðnáms-anómaliðum. Í Eyjafirði er ekki heldur ljóst, hvernig háttáð er sambandi jarðhitarása og lágviðnáms-skrokka. Enda þótt mælingarnar séu eftir sem áður skoðaðar í ljósi fyrrgreinds líkans af lárétt lagskiptri jörð með lóðréttum viðnámslögum á stöku stað, er það ekki fullnægjandi lýsing á gerð viðnámslaga á Eyjafjarðarsvæðinu. Af því leiðir m.a. að ekki er unnt að setja upplýsingar úr viðnámsmælingum fram sem viðnáms-þversnið gegnum jarðhitasvæðið, heldur verður að leita annarra ráða.

Mynd 5.4 sýnir 80  $\Omega$ m jafngildislínur sýndarviðnáms við 500 m, 1000 m og 1500 m straumarm. Mælingar A-14 til A-24 eru framlengdar úr 900 m í 1000 m. Þessar línur á landakortinu sýna, að svæðið frá Grýtu skammt norður fyrir Kristnes er frábrugðið í viðnámi svo verulegum mælifrávikum veldur. Á hvern hátt það er frábrugðið, sést ekki með vissu. Áhrif t.d. mjög lágs viðnáms í mýrinni þarna hefði mikil áhrif á jafngildislínur sýndarviðnáma. Þó má benda á, að 1) Kristnes-svæðið er frábrugðið í því að línurnar þrjár fylgjast ekki að, 2) línurnar fylgjast að sunnan megin (upp í grunnvatnsstrauminn) en dragast sundur norðan megin, 3) túlkun þessara aðskildu lína norðanmegin svarar til lágviðnáms/háviðnáms-skila á 800-1200 m dýpi.

Myndir 5.5, 5.6 og 5.7 sýna flokkun AK-mælinganna eftir útliti og almennum einkennum. Í fyrsta lagi er hér um að ræða mælingar, sem ekkert lágviðnámslag sýna (mynd 5.5). Sýndarviðnám fyrir alla mælipunkta í þessum ferlum er um eða yfir 100  $\Omega$ m. Þessar mælingar eru allar staðsettar utan við 80  $\Omega$ m jafngildislínu 500 metra straumarms, samanber mynd 5.4. Í öðru lagi er um að ræða viðnámsmælingar, sem eftir venjulegri túlkun sýna lágviðnámslag. Þessar mælingar falla raunar í tvo flokka. Annars vegar er um að ræða mælingar, sem sýna lágviðnám einhvers staðar milli 100 og 1000 m dýpis og unnt er að túlka með venjulegum móðurferlum sem lárétt lög (mynd 5.6). Þessum mælingum er öllum það sameiginlegt, að þær sýna eftir venjulegri túlkun háviðnámslag fyrir neðan 800-1200 m. Hins vegar er um að ræða mælingar AK-68 til AK-71, mældar 1977 (mynd 5.7). Þessar mælingar sýna allar svo krappa lágviðnámsferla (H-ferla), að ekki er unnt að túlka þá með venjulegum móðurferlum sem áhrif frá lárétt liggjandi lágviðnámslagi. Þetta lágviðnám



mundi þar að auki reiknast ná niður á 100-300 m dýpi, sem er verulega miklu minna dýpi en í öðrum mælingum, sem sýna lágviðnám. Það liggur beinast við að túlka þetta krappa frávik sem áhrif frá lágviðnámsskrokk sem liggja N-S í setfyllingunni í miðjum dalnum. Þessi skrokkur gæti sem best verið salt í jarðlögum. Allar þessar framangreindu lágviðnámslags-mælingar liggja innan 80  $\Omega$ m jafngildislínu 500 m straumarms. Það má því segja að jafngildislínurnar sem sýndar eru á mynd 5.4 spegla tvennskonar mæliferla, þ.e. mæliferla sem sýna lágviðnám og mæliferla sem ekkert lágviðnám sýna. Á mynd 5.8 er sýnd afstaða jafngildislínanna til framangreindrar flokkunar viðnámsmælinganna.

Á mynd 5.5.C eru sýndar mælingar sem erfitt er að útskýra öðruvísi en þannig að lóðrétt viðnámslög valdi verulegum frávikum í mæliferlinum. Enda þótt þessar þrjár mælingar séu langmest áberandi í þessu tilliti, eru þó fleiri mælingar sem eðlilegt er að túlka þannig að lóðrétt viðnámslög valdi nokkrum frávikum í mæliferlinum. Þær mælingar sem mest eru áberandi í þessu tilliti eru sýndar á mynd 5.9. Það er mögulegt að tengja orsakavalda þessara truflana með beinum línunum og það hefur verið gert á mynd 5.10. Þessar línur, sem stefna NNV, hafa verið umdeildar síðan viðnámsmælingarnar voru fyrst túlkaðar á þennan hátt enda hafa ekki fundist við jarðfræðikortlagningu nein misgengi eða gangar með þessa stefnu. Þó er ljóst að þessarar stefnu gætir mjög í landmótun í Eyjafirði og hún hefur greinileg áhrif á tvípólmælingarnar. Athyglisverðast er þó í þessu sambandi að draga má nokkurn veginn beina línu með þessa stefnu gegnum Syðra-Laugaland, Kristnes, Glerárgilslaugarnar og Laugaland í Hörgárdal, þ.e. nokkra helstu jarðhitastaðina á þessum slóðum. Að þessu verður nánar vikið í kafla 5.4.

### 5.3 Tvípólmælingar.

Tvípólmælingar eru þannig gerðar að milli tveggja straumskauta, A og B, er sendur rafstraumur og spennufall mælt milli tveggja spennuskauta, M og N. Straumskautin eru kyrr en spennuskautin færð til, öfugt við viðnámsmælingar. Tvípólmælingar eru nefndar ýmsum nöfnum eftir afstöðu spennuskautanna til straumskautanna. Þær mælingar sem hér verður fjallað um eru af "equatorial"- og "polar"-gerð, og mynd 5.11 sýnir afstöðu straum- og spennuskauta í þessum gerðum tvípólmælinga. Straumur, spennufall og fjarlægð milli skauta er reiknað yfir í sýndarviðnám á sama hátt og í viðnámsmælingum, og við sívaxandi fjarlægð milli straumskauta svarar

sýndarviðnámið til eðlisviðnáms sífellt dýpri jarðlaga. Sýndarviðnámin eru teiknuð á móti fjarlægðinni milli skautanna og spennuskauta,  $r$ , og sá mæliferill túlkaður á svipaðan hátt og viðnámsferlarnir.

Helsti kostur tvíþólmælinga fram yfir viðnámsmælingar er hversu djúpt í jörðina má hæglega skyggast með þeim. Þannig er straumarmur viðnámsmælinga í Eyjafirði mest 1500 m, en sambærileg fjarlægð í tvíþólmælingum allt að 7-8 km. Höfuðókostur tvíþólmælinganna er að spennuskautin eru sífellt færð til. Þetta leiðir til þess að öll frávik frá líkani lárétt lagskiptrar jarðar með hómógen viðnámslögum hafa miklu meiri áhrif en í viðnámsmælingum þar sem straumskautin eru færð.

Mæliferlar "equatorial"-tvíþólmælinganna eru sýndir á mynd 5.12. Það er augljóslega ekki hægt að túlka hverja mælingu fyrir sig með venjulegum móðurferlum fyrir lárétt lagskipta jörð. Hér verður reynt að leysa mælingarnar upp í þrjá þætti, en sú túlkun er að nokkru leyti smekksatriði þess sem túlkar. Þessir þættir eru í fyrsta lagi breyting viðnáms með dýpi, í öðru lagi lóðrétt viðnámskil og í þriðja lagi áhrif góðrar leiðni í setfyllingunni í miðjum dalnum.

Verða þessir þættir ræddir hér hver fyrir sig:

1) Viðnám á rannsóknarsvæðinu breytist með vaxandi dýpi. Þessi þáttur ætti að vera svipaður í öllum mælingum, eins konar grunntónn. Áhrif annarra þátta eru hinsvegar yfirgnæfandi í mælingunum eins og þær koma fyrir. Til þess að draga dýptaráhrifin fram er ímynduð tvíþólmæling sett saman úr öllum mælingum austan ár. Hún er þannig hugsuð, að spennuskautin séu kyrr en straumskautin færð. Staðsetning þeirra straum- og spennuskauta, sem notuð eru í mælinguna, er sýnd á mynd 5.13. Mæligildin fyrir hinar þrjár stöður spennuskautanna eru samræmd með því að láta sýndarviðnám vera  $350 \Omega$  í  $r = 5000$  m fyrir alla spennuskautahópana. Til þess þarf aðeins að breyta gildunum fyrir spennuskautahóp 3 úr  $465 \Omega$  í  $350 \Omega$  í  $r = 5000$  m, og samsvarandi fyrir önnur mæligildi. Þessi samsetta tvíþólmæling er sýnd á mynd 5.14, bæði ein sér og í samanburði við þá viðnámsmælingu sem næst er spennuskautunum, AK-58. Tvíþólmælingin staðfestir niðurstöður viðnámsmælinganna um herra viðnám neðan u.þ.b. 1 km dýpis undir rannsóknarsvæðinu.

2) Mælt er yfir lóðrétt viðnámslög. Slíkar truflanir geta komið fram hvar sem er í mælingunni, en eiga að sjást á sama stað í samhliða mælingum. Í þessum flokki er langmest áberandi kröpp og djúp lögð í mælingum TEF-4 og T-7604, þar sem þær fara yfir lágviðnámsvæði vestur af Laugalandi. Slík lögð kemur ekki fram annarsstaðar á rannsóknarsvæðinu, en þess ber þó að gæta, að aðrar tvípólmælingar teygja sig ekki langt út á setfyllinguna eins og þessar tvær gera einmitt þarna. Það má tengja saman mælingar þannig að þær sýni snið yfir þetta svæði og það er gert á mynd 5.15. Á mynd 5.12 eru allar "equatorial"-tvípólmælingarnar teiknaðar upp, sýndarviðnám sem fall af  $r$ , og á þá mynd eru merkt með "L" þeir staðir í mælingunum sem ástæða þykir að kalla lágviðnámsfrávik af völdum lóðréttra viðnámslaga og er þá bæði tekið tillit til hins samsetta dýptar-tvípóls (sjá lið 1) og áhrifa setfyllingarinnar (sjá lið 3). Þessir lágviðnámsstaðir eru merktir á kort á mynd 5.16. Þar sést að þeir hrúgast saman en dreifast ekki óreglulega og styður það þessa túlkun, að um lóðrétt viðnámskil sé að ræða. Ekki skal miklum getum leitt að því hér, hver séu tengsl þessara lágviðnámsfrávika við þau viðnámskil viðnámsmælinganna, sem sýnd eru á mynd 5.10, en svo virðist sem um sé að ræða tvær hliðar á sama máli.

3) Sumar tvípólmælingarnar virðast sýna, í sömu fjarlægðum  $r = 1500-2500$  m, of krappan dal til að unnt sé að skýra hann með láréttu viðnámslagi. Ef slíkt viðnámslag er fyrir hendi ætti það að koma fram í öllum mælingunum, en svo er ekki. Ennfremur eru þess engin merki í samsetta tvípólnum á mynd 5.14. Þessi dalur kemur aðeins fram í þeim mælingum, sem mældar eru á landi lægra en 20 m yfir sjó, þ.e. á setfyllingunni. Þennan þátt mælinganna skýri ég því sem áhrif frá lágviðnámskrokk, sem liggur N-S í setfyllingunni samsíða mælingunum. Þessi þáttur túlkunarinnar er að vísu vafasamari en hinir tveir en styðst þó við túlkun viðnámsmælinga AK-68 til AK-71, sbr. kafla 5.2. Það skal tekið fram að þessi frávik í mælingunum eru ekki merkt á mynd 5.12.

Vikjum þá að lokum að "polar"-tvípólmælingunum. Þessar mælingar voru gerðar sumarið 1977, fyrst og fremst sem tilraun til þess að staðsetja lóðrétt viðnámslög með tvípólmælingum. Staðsetning mælinganna er sýnd á mynd 5.3 en niðurstöðurnar á mynd 5.17. Ekki væri sanngjarnt að segja að þessar tilraunir hafi verið unnar fyrir gýg, en á hinn bóginn bata þær eftir á að hyggja litlu við þá vitneskju sem þegar var hægt að fá við túlkun viðnámsmælinganna og "eq"-tvípólmælinganna. Helsti ókostur "polar"-tvípólmælinganna er hversu seinlegar þær eru í framkvæmd og mælilínur eru

Þess vegna yfirleitt of stuttar til að þjóna öðrum tilgangi en að skoða fyrirfram valin svæði. Þau svæði eru hinsvegar valin í ljósi túlkana á viðnámsmælingum og þannig aflast engin ný vitneskja. Það er ekki ástæða til að fara mörgum orðum um túlkanir "polar"-tvíþóla hér, en upplýsingar úr þeim eru notaðir á mynd 5.16.

#### 5.4 Helstu niðurstöður og frekari rannsóknir.

Niðurstöður túlkunar viðnáms- og tvíþólmælinganna eru þessar helstar:

- 1) Jarðhitasvæðið kemur fram sem lágviðnámsvæði í mælingunum. Þetta sýnir t.d. mynd 5.4, þar sem jafngildislínur 80  $\Omega\text{m}$  sýndarviðnáms lokast utanum mestallan jarðhita á rannsóknarsvæðinu.
- 2) Það eru aðeins efstu 1000-1200 m jarðskorpunnar á jarðhitasvæðinu sem hafa lágt við nám, 60-80  $\Omega\text{m}$ . Þar fyrir neðan tekur við hávið nám, 200-500  $\Omega\text{m}$  (myndir 5.6 og 5.14). Utan jarðhitasvæðisins, þ.e. utan þess lágviðnámsvæðis sem jafngildislínur 80  $\Omega\text{m}$  sýndarviðnáms afmarka, er við nám jarðskorpunnar 100-150  $\Omega\text{m}$  eins langt niður og viðnámsmælingarnar ná (12-1300 m). Þetta sést á mynd 5.5 og 5.14.
- 3) Yfir rannsóknarsvæðið ganga línuleg frávik í viðnámsmælingum og tvíþólmælingum (mynd 5.10 og 5.16). Stefna þessara fyrirbæra er u.þ.b.  $N20^\circ V$ . Rétt er að benda á að landslag í Eyjafirði er mjög mótað í þessa stefnu og nokkurn veginn beina línu með þessa stefnu má draga gegnum jarðhitastaðina við Syðra-Laugaland, Kristnes, í Glerárgili og við Laugaland í Hörgárdal.
- 4) Í setfyllingunni virðast vera lágviðnámsvæði eða lágviðnámskrokkar með N-S stefnu og er við nám í þeim væntanlega minna en 10  $\Omega\text{m}$ . Þessi fyrirbæri valda miklum lágviðnáms-frávikum í viðnámsmælingum AK-68 til AK-71, mældum á eystri árbakkanum, og í þeim tvíþólmælingum sem mældar eru á setfyllingunni. Sömu áhrifa gætir örugglega í öðrum mælingum þó í minna mæli sé. Sennileg skýring á þessu lágviðnámi er hátt saltinnihald í hluta setlaganna. Engin ástæða er til að halda að þetta fyrirbæri standi í sambandi við jarðhitann.

Bent hefur verið á, að niðurstöður viðnáms- og tvípólmælinganna og mikið af öðrum gögnum, sem fjallað er um í þessari skýrslu, megi skýra einfaldlega með því að gera ráð fyrir að á kílómetra dýpi sé grafinn gangasveimur er stefni  $N20^{\circ}V$  (Freyr Þórarinsson, 1977). Auk þess að skýra mæligögn og rannsóknaniðurstöður myndi þetta skýra hversvegna jarðhitinn leitar upp einmitt þarna í þeim gangasveim sem liggur N-S í Eyjafirði. Jarðhitasvæðið væri einfaldlega á skurðpunkti tveggja gangasveima. Enn mætti halda áfram og túlka dreifingu alls jarðhita á Miðnorðurlandi í ljósi slíkrar kenningar, en út í þá sálma verður ekki farið hér.

Frekari jarðeðlisfræðilegar rannsóknir, aðrar en segulmælingar, sem ástæða er til að gera í Eyjafirði falla í þrjá flokka. Í fyrsta lagi eru staðbundnar mælingar sem miða að vali á borstæði á svipaðan hátt og segulmælingar. Þannig rannsóknir eru ákveðnar jafnóðum og nýrra borstaða er leitað. Í öðru lagi eru mælingar sem eiga að bæta túlkun þeirra mælinga sem hér hefur verið lýst. Fleiri viðnámsmælingar þarf að gera fyrir norðan Kristnes og víðar. Hljóðhraðamælingar þarf að gera á setfyllingunni, helst af hljóðspeglunargerð (seismic reflection), til að kanna þykkt og lögun hennar, en slík vitneskja myndi gera kleift að túlka viðnámsmælingarnar af meiri nákvæmni en nú er unnt. Vel kæmi til greina að gera tvípólmælingar af þeirri gerð sem á ensku nefnist "roving-dipole", en þá er mælipunktum dreift um allt svæðið í stað þess að mæla á beinni línu. Með svona mælingum mætti m.a. sennilega staðfesta og rekja  $N20^{\circ}V$  stefnuna sem kemur fram á mynd 5.16. Í þriðja lagi er svo tölvurannsókn á þyngdarkortinu sem til er af Miðnorðurlandi. Niðurstöður slíkrar rannsóknar verður að reyna að tengja höggun svæðisins, enda er sennilegt að aukinn skilningur á högguninni fyrr og síðar sé greiðasta leiðin til frekari skilnings á uppkomu og eðli jarðhitans í Eyjafirði.

## 6. EFNAFRÆÐI HEITA VATNSINS. (S.A.)

### 6.1 Inngangur.

Í þessum kafla verður gerð grein fyrir niðurstöðum athugana á efnainnihaldi heits vatns í borholum og uppsprettum á Laugalandssvæðinu og í næsta nágrenni. Þessar athuganir beinast einkum að því að áætla hitastigul á jarðhitavatninu út frá efnasamsetningu vatns í uppsprettum og grunnum borholum. Ennfremur gefur efnainnihald vatnsins oft vísbendingu um hvort og hvernig jarðhiti innan ákveðins svæðis tengist einu eða fleiri vatnskerfum. Nýting með borunum í eitt vatnskerfi ætti ekki að rýra nýtingarmöguleika annars óháðs vatnskerfis. Er því mjög æskilegt að geta greint að mismunandi kerfi.

Samantekt hefur verið gerð á öllum efnagreiningum af heitu vatni á Eyjafjarðarsvæðinu, sem eru til í förum Orkustofnunar. Sumar eldri efnagreiningar eru ófullkomnar að því leyti, að tiltölulega fá efni hafa verið mæld. Við þá úrvinnslu, sem hér er gerð, er eingöngu stuðst við efnagreiningar, þar sem öll aðalefni hafa verið mæld. Þessar greiningar eru 39 að tölu. Niðurstöður eru sýndar í töflu 6.1. Flestum sýnunum var safnað á tímabilinu 1975-1977, eftir að boranir hófust við Laugaland fyrir Hitaveitu Akureyrar, eða 32. Af þeim eru 17 úr djúpu borholunum við Laugaland og Gríсарá.

Á jarðhitasvæðum eins og í Eyjafirði hefur það sýnt sig, að breytileiki á efnainnihaldi vatns í uppsprettum og borholum innan hvers svæðis er lítil og oft ekki miklu meiri en nemur skekkju í mælingu hinna ýmsu efna. Af þessu er ljóst, að sérstakrar nákvæmni er þörf í efnagreiningum, eigi að verða full not af rannsókn á efnainnihaldi heita vatnsins. Var þetta haft í huga við söfnun 22 sýna í október, 1977, og efnagreiningu þeirra. Vegna anna á efnarannsóknastofu Orkustofnunar, var Raunvísindastofnun Háskólans beðin að taka að sér efnagreiningu sýnanna og önnuðust þeir Sigurður Steinþórsson, dósent og Evar Jóhannsson það verk. Eins og síðar verður vikið að, hefur aukin vinna til að bæta nákvæmni efnagreininga gert túlkun niðurstaða öruggari. Betra samræmi hefur fengist milli hlutfalla hinna ýmsu efna í vatninu og við hitastig í borholum og uppsprettum. Þó væri þörf á því að bæta söfnunaraðferðir til þess að hindra afloftun vatnsins samfara sýnatöku.

TAFLA 6.1 Efnainnihald í jarðhitavatni í Eyjafirði. Styrkur í ppm.

Staður	Dags	Sýni nr.	Djúp- sý.m	°C	Ωm	pH/°C	SiO <sub>2</sub>	B	Na	K	Ca	Mg	CO <sub>2</sub> <sup>a</sup>	SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> S <sup>b</sup>	Cl	F	Uppl. efni
Glerárgil	11.09.69	0111	-	48		9.94/23	72		40.5	0.93	2.44	0.03	15.0	27.8	<0.10	7.5	0.60	209
Reykhús, hola 1	11.09.69	0112	-	75		9.89/24	90		64.5	1.04	3.41	0.03	14.0	41.5	<0.10	10.6	0.60	250
Hleiðargarður	11.09.69	0113	-	16		9.92/24	64		45.0	0.78	2.57	0.03	26.0	17.3	<0.10	21.0	0.60	196
Hólsgerói	11.09.69	0114	-	42		9.76/24	81		71.0	1.18	5.84	0.06	8.5	66.2	<0.10	37.7	2.60	324
Brúnalaug	11.09.69	0115	-	66		9.89/24	89		45.0	0.90	2.00	0.03	12.5	28.3	<0.10	6.3	0.60	227
Hólslaug	05.09.72	0202	-	57	38.5	9.65/20	107		69.0	0.90	3.00	0.05	3.5	35.6	0.10	9.7	0.50	245
Hólslaug	08.02.73	0044	-	57		9.81/17	109.5		57.7	1.00	2.30	0.04	18.5	34.4	<0.10	11.2	0.30	254
Laugaland LJ-5	17.12.75	0188	0	90	43.5	9.81/20	106		47.5	1.20	2.90	0.15	16.2	33.8	<0.10	10.6	0.41	286
Laugaland LJ-5	05.01.76	0004	0	90	41.2	9.83/20	96		47.5	1.30	3.30	0.02	22.7	30.5	<0.10	10.8	0.36	244
Grísará	02.05.76	0045	-	39	44.4	10.02/17	76		43.0	0.70	4.20	0.07	22.2	37.0	<0.10	8.3	0.56	221
Hrafnagil, borh v/fjárr	0205.76	0046	-	48	40.5	10.11/18	92		48.0	1.10	2.20	0.01	19.9	38.0	<0.10	10.0	0.74	238
Hrafnagil, laug	02.05.76	0047	-	57	23.5	10.03/17	84		69.0	6.1?	7.4	0.02	13.3	45.0	<0.10	75.8?	0.62	334
Laugaland LJ-6	02.05.76	0048	0	59	39.7	10.04/17	83		47.0	0.80	4.20	0.05	12.0	52.7	<0.10	11.3	0.54	252
Laugaland LJ-5	02.05.76	0049	0	93	45.0	10.00/18	96		42.0	1.20	2.60	0.03	16.3	38.1	<0.10	10.1	0.37	251
Laugaland, brunnur	02.05.76	0050	-	45	49.5	10.14/18	82		41.3	0.70	2.50	<0.01	15.3	29.1	<0.10	9.2	0.48	232
Grýta	02.05.76	0051	-	30	29.0	9.86/18	92		60.6	1.30	4.10	0.01	30.4	65.7	<0.10	24.6	0.61	310
Brúnalaug	02.05.76	0052	-	66	49.5	10.17/18	81		41.5	0.80	2.00	0.01	15.6	33.4	<0.10	8.9	0.48	230
Grísará, GG-1	22.10.77	0161	0	71	61.7	10.13/16	82.8	0.23	49.7	1.01	3.99	0.005	20.7	34.0	<0.10	7.5	0.62	213
Grísará, GG-1	22.10.77	0162	500	80	64.0	10.11/16	82.8	0.29	49.8	1.00	3.84	0.013	20.6	32.9	<0.10	7.5	0.61	267
Björk	22.10.77	0163	-	26	62.5	9.96/16	91.5	0.22	50.0	0.63	1.59	0.009	24.2	21.5	<0.10	8.0	0.48	184
Hrafnagil, Botnsl.	22.10.77	0164	-	57	62.1	10.05/14	80.4	0.23	49.7	0.86	2.09	0.018	18.7	36.0	0.17	7.5	0.64	204
Grísará, GG-1	22.10.77	0165	1206	87	57.1	10.03/14	88.0	0.31	50.2	0.92	2.56	0.076	22.4	33.4	<0.10	7.5	0.64	243
Laugaland LJ-7	23.10.77	0166	0	93	63.7	9.88/16	101.7	0.38	51.1	1.20	1.79	0.003	25.5	27.2	0.17	10.3	0.38	206
Laugaland LJ-8	23.10.77	0167	0	88	56.8	9.92/20	105.6	0.27	55.3	1.35	2.10	0.003	26.4	35.5	<0.10	10.5	0.44	233
Grýta	23.10.77	0168	-	30	40.2	9.62/22	91.5	0.55	75.2	1.35	3.24	0.005	34.5	56.9	<0.10	29.5	0.60	302
Helgastaðir	23.10.77	0169	-	10	102.0	9.67/22	29.7	0.18	32.8	0.18	2.28	0.038	26.6	11.2	<0.10	10.4	0.47	117
Laugaland LJ-8	24.10.77	0170	150	96	58.1	9.92/18	102.3	0.33	56.0	1.35	2.29	0.037	26.0	34.4	<0.10	10.6	0.44	270
Laugaland LJ-8	24.10.77	0171	400	96	56.1	9.90/21	104.6	0.31	55.8	1.37	2.20	0.020	27.5	35.9	<0.10	11.5	0.46	275
Laugaland LJ-8	24.10.77	0172	1250	97	56.2	9.91/20	106.2	0.51	55.8	1.37	2.24	0.080	27.3	36.3	0.03	10.3	0.44	276
Laugaland LJ-8	24.10.77	0173	2300	96	42.6	9.99/23	116.1	0.29	72.1	2.59	3.87	0.087	27.7	63.9	<0.10	13.8	0.53	304
Laugaland LJ-8	24.10.77	0174	1800	96	43.3	9.83/22	102.3	0.44	67.1	1.79	5.77	0.081	24.0	66.7	<0.10	17.3	0.41	296
Garósá	25.10.77	0175	-	19	55.0	9.92/23	55.9	0.23	54.0	0.50	3.64	0.009	22.0	40.3	<0.10	21.6	0.40	204
Reykhús	25.10.77	0176	-	75	55.6	9.96/23	93.9	0.23	56.1	1.04	2.21	0.003	22.9	41.1	0.13	13.4	0.61	236
Kristnes	25.10.77	0177	-	60	62.1	9.97/23	88.4	0.27	50.7	0.84	1.92	0.002	24.4	34.4	<0.10	10.7	0.64	249
Laugaland LJ-7	26.10.77	0178	0	94	62.5	9.84/20	97.9	0.26	51.8	1.21	1.76	0.002	26.4	28.7	0.14	10.5	0.37	236
Laugaland LJ-7	26.10.77	0179	1050	91	62.5	9.88/25	101.3	0.23	51.0	1.19	1.76	0.015	26.6	27.4	0.12	11.0	0.38	218
Laugaland LJ-7	26.10.77	0180	1360	91	62.5	9.82/25	98.6	0.42	50.2	1.25	1.98	0.2	26.0	29.2	<0.10	11.0	0.36	230
Hólsgerói	26.10.77	0181	-	46	37.0	9.78/21	80.6	0.39	80.3	1.40	3.73	0.015	25.5	63.6	<0.10	40.6	4.51	302
Ytra-Gil	27.10.77	0182	-	48	58.5	10.11/22	61.0	0.39	51.5	0.53	2.92	0.015	18.5	36.1	0.11	14.0	0.62	211

a) heildarkarbonsat ( $H_2CO_3 + HCO_3^- + CO_3^{2-}$ )b) heildarsúlfíð ( $H_2S + HS^- + S^{2-}$ )

## 6.2 Mat á hitastigi í berggrunni.

Þau efni, uppleyst í vatni, sem fyrst og fremst hafa verið notuð til þess að áætla hitastig í berggrunni eru kísill ( $\text{SiO}_2$ ), natríum (Na), kalí (K) og kalsíum (Ca). Er styrkur kísils í vatninu mælikvarði á hitastigið. Styrkurinn ákveðst af uppleysanleika kísilsteindarinnar kalsedons í berginu og vex uppleysanleikinn með hitastigi. Eftirfarandi líking sýnir samband hitastigs og kísils í lausn (í ppm) miðað við kalsedón uppleysanleika.

$$t^{\circ}\text{C} = \frac{1015.1}{4.655 - \log \text{SiO}_2} - 273.15 \quad (1)$$

Þessi líking er fengin frá Truesdell (1975). Uppleysanleiki kalsedóns við mismunandi hitastig hefur verið fundinn með tilraunum (Fournier, 1973).

Innbyrðis hlutfall natríums, kalís og kalsíums í vatninu samkvæmt neðan-greindri líkingu má einnig nota sem mælikvarða á hitastig. Þessi líking

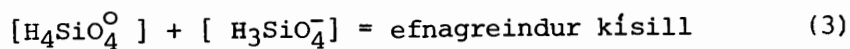
$$t^{\circ}\text{C} = \frac{1647}{\log \text{Na/K} + 4/3 \log \sqrt{\text{Ca/Na}} + 2.24} - 273.15 \quad (2)$$

gildir, þegar hitastig er lægra en  $100^{\circ}\text{C}$ . Hún er fengin frá Fournier og Truesdell (1973).

Notagildi efnahitamálanna, þ.e. kísilhita og Na-K-Ca-hita byggir á því, að efnajafnvægi náist í jarðhitageyminum milli steinda í berginu og nefndra efna í vatninu, en að breytingar á efnainnihaldi vatnsins verði engar samfara kælingu í uppstreymisrásum. Þannig getur styrkur kísils og innbyrðishlutfall natríums, kalís og kalsíums í uppsprettum og grunnum borholum gefið vísbendingu um hærri hitastig í berggrunni en svarar mældu hitastigi á yfirborði. Segja mætti, að notkun efnahitamálanna feli í sér að rýna í hitastig djúpt í berggrunni í gegnum kælingu, sem verður í uppstreymisrásum.



Þegar um mjög basískt vatn er að ræða ( $\text{pH} > 9.5$ ) eins og tilfellið er í Eyjafirði, kemur upp sérstakt vandamál við útreikning á kísilhita. Uppleystur kísill hagar sér sem veik sýra og er hluti hennar klofinn í sýru ( $\text{H}^+$ ) og sýruleif ( $\text{H}_3\text{SiO}_4^-$ ). Efnagreining mælir bæði klofna og óklofna kísilsýru, en sýrustig vatnsins ræður því hversu stór hluti hins efnagreinda kísils er óklofinn, en það er eingöngu hin óklofna kísilsýra í lausn, sem er virk í jafnvægi við kalsedón. Við útreikning á kísilhita þarf því að reikna út frá efnagreindum kísil þann hluta sem er óklofinn og setja síðarnefndu töluna inn í líkingu (1). Þessi reikningur felur í sér lausn á eftirtöldum líkingum:



$$\frac{[\text{H}^+] [\text{H}_3\text{SiO}_4^-]}{[\text{H}_4\text{SiO}_4^0]} = K_{\text{H}_4\text{SiO}_4} \quad (4)$$

Reikningurinn krefst þekkingar á gildi kleyfnisstuðuls kísilsýru ( $K_{\text{H}_4\text{SiO}_4}$ ) og nákvæmrar mælingar á sýrustigi. Gögn eru nokkuð á reiki um gildið á  $K_{\text{H}_4\text{SiO}_4}$ . Það gildi, sem hér er notað, er fengið með framlengingu á mæliniðurstöðum Seward's (1974), sbr. mynd 6.1.

Gagnstætt kísilhitamælinum, sem byggir á tilraunum um uppleysanleika kalsedons, grundvallast kvörðun Na-K-Ca-hitamælisins á beinum samanburði á mældu hitastigi í borholum við styrk efnanna í jarðhitavatninu. Sú kvörðun, sem hér er notuð, er fengin frá Fournier og Truesdell (1973).

Ef heita vatnið blandast köldu í uppstreymisrásunum fæst lágur kísilhiti og Na-K-Ca-hiti. Stafar það af því, að kalda vatnið er tiltölulega kísilsnautt, en inniheldur - í flestum tilfellum a.m.k. - meira kalsíum. Blöndunin veldur þannig lækun á styrk kísils en hækkun á styrk kalsíums.

### 6.3 Afmörkun vatnskerfa.

Sum efni, sem uppleyst eru í heitu vatni eins og klór og bór, taka ekki þátt í efnajafnvæggjum við steindir í berginu. Styrkur þessara efna ræðst því af þeim aðstæðum, sem ráða flutningi þeirra í vatnið. Á lág-hitasvæðum eins og í Eyjafirði, munu þessi efni komin úr grannberginu við útskolun. Eftirtalin ytri skilyrði hafa áhrif á styrk þeirra í vatninu:

- (1) styrkur þeirra í berginu
- (2) snertiflötur milli vatns og bergs
- (3) hlutfall vatns og bergs í jarðhitakerfinu
- (4) sá tími, sem ákveðið vatnsmagn er í snertingu við ákveðinn bergmassa
- (5) aldur jarðhitakerfisins

Ef einhverjir hinna 5 ofantöldu þátta eru mismunandi milli vatnskerfa, má gera ráð fyrir því, að þau séu aðgreinanleg á grundvelli innihalds klórs og bórs í vatninu. Hentugt er að einkenna vatnskerfi með klór/bór hlutfallinu. Með því móti koma ekki fram truflandi áhrif frá blöndun með köldu vatni, þar sem kalt vatn inniheldur mun minna klór og bór en heitt vatn.

Við kælingu í uppstreymisrásum breytist styrkur flúors í vatni líklega mjög hægt, en hann ákveðst af seltu og hita vatnsins í jarðhitageyminum. Búist er við því, að tilhneiging sé til útskolunar samfara kælingu í uppstreymisrásum, en að hún gangi mjög hægt fyrir sig vegna lágs styrks flúors í berginu. Má því hugsanlega nota flúor til að greina að vatnskerfi, þegar þau hafa breytilega seltu og/eða hita.

### 6.4 Reikniaðferðir.

Nákvæmir reikningar á kísilhita og ýmsum öðrum þáttum, sem varða túlkun á efnasamsetningu vatnsins, eru allflóknir. Það er ekki innan ramma þessara skýrslu að útskýra reikningsaðferðirnar, sem hér er beitt. Þeim eru gerð nokkur skil í grein eftir Stefán Arnórsson o.fl. (1978).

## 6.5 Samanburður á mældu hitastigi í borholum við kísilhita og Na-K-Ca-hita.

Á mynd 6.2 má sjá hvernig útreiknuðum kísilhita (kalsedónhita) ber saman við mælt hitastig í djúpu borholunum. Er bæði um að ræða sýni tekin í stút og djúpsýni. Í fyrra tilfellinu er miðað við mælt hitastig í holurennslinu en í síðara tilfellinu við mælt hitastig á því dýpi, sem sýnið var tekið af.

Í djúpu holunum við Laugaland er kalsedónhitinn yfirleitt nokkrum gráðum lægri en mældur hiti. Að meðaltali er frávikíð  $4.5^{\circ}\text{C}$ . Er þá hola LJ-6 undanskilin. Eitt sýni úr stút á þeirri holu gefur kísilhita, sem er  $17^{\circ}$  hærri en mældur hiti. Dræmt rennsli hefur líklegast í för með sér kælingu á vatninu, er það streymir upp holuna og veldur þessum mun á kísilhita og mældum hita.

Kísilhiti er svipaður mældum hita í sýni teknu úr stút úr djúpu holunni við Grísará. Djúpsýni úr þessari holu sýna hins vegar talsvert lægri kísilhita en mældan hita eða sem svarar  $12^{\circ}$  og  $16^{\circ}\text{C}$ . Sá möguleiki er fyrir hendi, að þessar lágu kísilhitatölur stafi af því, að vatnið hafi afloftast við sýnatökuna, en það hækkar sýrustig þess. Er ástæða til þess að endurtaka töku djúpsýna úr þessari holu.

Fylgni kísilhita við mældan hita í djúpu borholunum gefur til kynna með hvaða nákvæmni kísilhiti í uppsprettum og grunnum borholum segir um hitastig djúpt í berggrunni.

Eins og áður var nefnt ríkir nokkur óvissa um hvert hið rétta gildi á kleyfnistuðli kísilsýru er. Samsvarandi óvissa er því um kísilhita þess vegna var gerð athugun á því, hvernig útreiknaður kísilhiti miðað við (A) jafnvægi við kalsedón og (B) jafnvægi við kvars passaði við mældan hita í djúpu borholunum með því að nota mismunandi gildi á kleyfnistuðli kísilsýru. Væri notaður ferill frá Pitzer (1937) passaði kísilhiti miðað við kvarsjafnvægi sámilega við mældan hita í djúpu borholunum (mynd 6.2.B). Væri stuðst á þennan hátt við kísilhita fékkst hins vegar útreiknað sýrustigsgildi við hitastig vatnsins sem samsvaraði því, að vatnið væri talsvert yfirmettað af kalki. Yfirmettun virðist heldur ólíkleg. Þess vegna er ályktað að gildi Pitzers (1937) á kleyfnistuðli kísilsýru sé naumast rétt og þar með að kísilhiti skuli ekki miðast við kvars heldur kalsedón.

Na-K-Ca-hiti gefur alltaf nokkru lægri gildi en kísilhitinn (mynd 6.2) en þó er góð fylgni þar á milli, (mynd 6.3.A) a.m.k. á sýnum teknum 1977, en þau voru efnagreind með sérstakri nákvæmni. Fyrir djúpu holurnar er Na-K-Ca-hitinn að meðaltali 16°C lægri en mældur hiti. Þetta hlýtur að stafa af því, að þessi empíríski jarðhitamælir er ekki rétt kvarðaður, a.m.k. fyrir heitt vatn í Eyjafirði. Ekki verður séð, að samræmi milli kísilhita og Na-K-Ca-hita sé háð yfirmettun (mynd 6.3.B). Gefur það til kynna, að svörun efnajafnvægja við kælingu sé álíka treg fyrir kísil og natríum, kalí og kalsíum. Tafla 6.2 sýnir samanburð á mældu hitastigi, kísilhita og Na-K-Ca hita í jarðhitavatni í Eyjafirði.

#### 6.6 Niðurstöður um hitastig.

Kísilhiti í uppsprettum og borholum austanmegin í Eyjafirði á svæðinu umhverfis Laugaland er á bilinu 70-98°C, en vestanmegin í dalnum frá Hrafnagili að Reykhúsum er hann 67-82°C (mynd 6.4). Þessar niðurstöður og samanburður kísilhita við mældan hita í djúpu borholunum gefa því til kynna 75-100°C hita á Ytritjarna-Grýtusvæðinu og 70-85°C hita á Hrafnagils-Kristnessvæðinu.

Na-K-Ca-hiti á þessum tveimur svæðum er 53-75°C og 45-72°C. Kvörðun Na-K-Ca-hitamælisins út frá borholugögnum gefur því til kynna 70-90°C austan megin í dalnum og 60-90°C vestan megin.

Af þessum niðurstöðum er ályktað, að yfirleitt sé heldur hærra hitastigs að vanta á Laugalandssvæðinu en á Hrafnagils-Kristnessvæðinu, eða sem svarar 5-15°C.

Lægri kísilhiti og Na-K-Ca-hiti á Ytra-Gili (54°, 45°C) og við Garðsá (56°, 40°C) bendir til fallandi hitastigs í berggrunni, þegar kemur út fyrir Reykhús annars vegar og Björk hins vegar. Hliðstæð mynd fæst til suðurs frá Hrafnagili og Grýtu, þótt langt sé í næsta jarðhita. Austan megin eru Helgastaðir með 37° og 18° í kísilhita og Na-K-Ca-hita og vestan megin Hleiðargarður með 61°C í kísilhita og 57°C í Na-K-Ca-hita.

TAFLA 6.2

## SKRÁ YFIR MÆLT HITASTIG, KÍSILHITA OG Na-K-Ca HITA Í JARÐHITAVATNI Í EYJAFIRÐI.

Sýni nr.	Staður	Mældur hiti	Kísilhiti	Na-K-Ca hiti
09690112	Kristnes, hola 1	75	82	63
09720202	Hólslaug, borholur	57	98	62
02730044	Hólslaug, borhola	57	98	65
12750188	Laugaland LJ-5, stútur	90	96	67
01760004	Laugaland LJ-5, stútur	91	88	67
05760046	Hrafnagil, borholur	48	75	72
05760048	Laugaland LJ-6, stútur	59	76	48
05760049	Laugaland LJ-5, stútur	93	84	69
01770161	Grísará GG 1, stútur	71	67	58
10770162	Grísará GG 1, 500 m	80	68	58
10770165	Grísará GG 1, 1206 m	87	71	64
10770166	Laugaland LJ-7, stútur	93	88	79
10770167	Laugaland LJ-8, stútur	88	89	81
10770170	Laugaland LJ-8, 150 m	96	88	79
10770171	Laugaland LJ-8, 400 m	96	89	80
10770172	Laugaland LJ-8, 125 m	97	90	80
10770173	Laugaland LJ-8, 2300 m	96	88	94
10770174	Laugaland LJ-8, 1800 m	96	90	71
10770178	Laugaland LJ-7, stútur	94	88	80
10770179	Laugaland LJ-7, 1050 m	91	85	80
10770180	Laugaland LJ-7, 1360	91	87	78
09690111	Glerárgil	48	69	61
09690113	Hleiðargarður	16	61	57
09690114	Hólsgærði	42	82	56
09690115	Brúnalaug	66	84	64
05760045	Grísará	39	67	45
05760047	Hrafnagil	57	77	-
05780050	Laugaland, brunnur	45	70	53
05760051	Grýta	30	82	67
05760052	Brúnalaug	66	67	62
10770163	Björk	26	79	61
10770164	Hrafnagil, Botnslaug	57	68	65
10770168	Grýta	30	89	75
10770169	Helgastaðir	10	37	18
10770175	Garðsá	19	56	40
10770176	Reykhús	75	80	72
10770177	Kristnes	60	76	67
10770181	Hólsgærði	46	79	73
10770182	Ytra-Gil	48	54	45

Reikningar sýna, að vatnið er oft aðeins yfirmettað af kalki bæði miðað við mælt hitastig í borholum og uppsprettum og kísilhita (mynd 6.5). Við því er að búast, að jarðhitavatn sé nákvæmlega kalkmettað. Talið er, að þessi yfirmettun stafi af afloftun við sýnatöku en afloftunin veldur hækkun sýrustigs sem aftur leiðir til yfirmettunar á kalki. Of hátt sýrustig leiðir til þess, að útreiknaður kísilhiti verður lægri en ella. Gæti það skýrt frávik kísilhita frá mældum hita í djúpu borholunum, en þar koma einnig til greina ýmsar aðrar skýringar.

Á mynd 6.6 er sýnt hvernig sýrustig breytist samfara kælingu. Til þess að sýna þessa breytingu var valið sýni af rennsli úr holu LJ-7. Ef vatnið úr þessari holu er einkennandi fyrir djúpvatn á svæðinu og efnahvörf eru hverfandi í uppstreymisrásum, ætti mælt sýrustig við ákveðinn hita í öðrum sýnum að falla á þennan pH feril. Flest sýnin sýna þó hærri pH, sem er í samræmi við ályktunina hér að ofan, að afloftun samfara sýnatöku hafi hækkað sýrustigið.

Sum sýnin sýna allmikla kalkyfirmettun, þegar miðað er við kísilhita. Að því er varðar uppsprettur, þá er það sameiginlegt með þessum punktum, að talsverður munur er á mældum hita og kísilhita. Reiknuð yfirmettun við kísilhita stafar að nokkru af því, að kalkmettunarjafnvægi hefur nálgast eða náðst samfara kælingunni.

#### 6.7 Niðurstöður um vatnskerfi.

Mismunur á styrk klórs og natríums er svo lítil miðað við skekkjumörk í efnagreiningu, að ekki verður dæmt um með neinni vissu á þeim grundvelli, hvort jarðhitinn í nágrenni Laugalands og Hrafnagils-Kristness tilheyri fleiri en einu vatnskerfi. Þó skera sig uppspretturnar við Garðsá og Grýtu úr með um helmingi hærri klórstyrk (27 og 22 ppm) en annað heitt vatn á þessu svæði. Sömuleiðis eru sýni af 1800 og 2300 m dýpi úr holu LJ-8 með merkjanlega hærri klórstyrk (17 og 14 ppm) en vatn af minna dýpi í djúpu holunum við Laugaland (10,3 - 11,5 ppm). Gæti þetta bent til þess, að neðan við um 1500 m sé komið í annað vatnskerfi en það, sem vatn fæst nú úr í djúpu borholurnar. Á það skal bent, að jarðefnafræðileg greining í vatnskerfi, felur ekki nauðsynlega í sér, að þau séu grunnvatnsfræðilega aðskilin.

Ekki er hlutfallið klór/bór í sýnum af 1800 og 2300 metra dýpi í holu LJ-8 svo frábrugðið öðrum sýnum, að greina megi þau til annars vatnskerfis á þeim grundvelli, þótt svo sé um uppspretturarnar við Garðsá og Grýtu (mynd 6.7). Sú skýring kemur vissulega til greina að herra klór í þessum uppsprettum stafi af útskolun úr veggjum uppstremismisrásanna. Væri hún þetta mikil vegna dræms rennslis, en hinn stóri mismunur á mældum hita í uppsprettunum og kísilhita gefur til kynna, að rennslí sé dræmt. Af efnagreiningargögnunum virðist sem styrkur kalsíums og súlfats sé heldur meiri í uppsprettunum við Garðsá og Grýtu og í holu LJ-8 á 1800 og 2300 metra dýpi en í öðru vatni (mynd 6.8). Upplýsingar, að vísu ófullkomnar, benda til þess að lághitavatn eins og í Eyjafirði sé í jafnvægi við járnsúlfíð steindirnar pýrít og pýrhótít og að hlutfall járns og vetnisjóna sé konstant við ákveðið hitastig. Unnt er að sýna fram á, að margfeldið  $\text{Ca}^{+2} \cdot \text{SO}_4^{-2}$  er eingöngu háð hitastigi við þessar aðstæður og að það fari vaxandi með lakkandi hitastigi. Ekki verður séð, að herra kalsíum og súlfat í vatninu af 1800 og 2300 metra dýpi í holu LJ-8 skýrist með lægra hitastigi. Sýnist líklegra að önnur efnajafnvægi ráði styrk þessara efna í þessu vatni og uppsprettunum við Garðsá og Grýtu, heldur en á sér stað með annað jarðhitavatn á svæðinu. Ekki má þó útiloka þann möguleika að sýnin af 1800 og 2300 metra dýpi í holu LJ-8 sýni áhrif kælingar í borun og að efnajafnvægi hafi ekki enn komist á við það hitastig sem mældist í holunni þegar sýnin voru tekin. Úr þessu fengist ekki skorið nema með endurtekinni sýnatöku.

Svo virðist sem styrkur klórs fari heldur lakkandi til suðurs, vestan megin Eyjafjarðar frá Reykhúsum að Hrafnagili. Gæti lakkunin bent til blöndunar við kalt vatn. Þá er og mögulegt, að styrkur klórs sé heldur lægri í Brúnalaug og Björk en í djúpu holunum við Laugaland og mundi það benda til blöndunar við kalt vatn. Breytingar á klórstyrknum eru þó það litlar, að naumast verður sagt með sannri að þær séu marktækar.

Í uppsprettum og borholum vestan megin Eyjafjarðar er styrkur flúors yfirleitt milli 0.60 og 0.65 ppm en austan megin liggur styrkurinn yfirleitt á bilinu 0.30 - 0.55 ppm (mynd 6.9) nema við Grýtu sem er eina undantekningin. Þar er flúorinnihaldið um 0.6 ppm eða svipað því að vestan. Í lághitavatni sem er neðan við 100°C, bendir vitneskja til þess - að vísu ófullkomin - að styrkur flúors aukist í vatninu samfara

kælingu, haldist jafnvægi. Kæling í uppstreymisrásum hefði því í för með sér útskolun á flúor úr berginu. Vegna þess hve styrkur flúors er lágur í basalti, hlýtur slík útskolun að vera treg og þar með breyting á styrk flúors í vatninu, þótt kæling verði í uppstreymisrásunum. Tvær skýringar virðast koma til greina fyrir túlkun á styrk flúors í jarðhitavatninu. Í fyrsta lagi skipting á vatninu í tvo hópa sem samsvara jarðhita austan megin í dalnum annars vegar og vestan megin hins vegar. Í öðru lagi hækkun í flúorinnihaldi í allar áttir út frá Laugalandi. Fyrri möguleikann má túlka á þann veg, að um tvö vatnskerfi sé að ræða, sem einkennast af því að vera misheit. Það sem er austan megin er nokkru heitara eða sem svarar um  $10^{\circ}\text{C}$  eftir kísilhita og alkali-hita að dæma. Undantekningin austan megin Eyjafjarðar, uppsprettan við Grýtu, má þá túlka með útskolun samfara kælingu í uppstreyminu. Hitastig í uppsprettunni er  $30^{\circ}\text{C}$  en kísilhiti um  $85^{\circ}\text{C}$ .

Seinni möguleikann má túlka á þann veg, að aðaluppstreymið sé við Laugaland og annað hvort lárétt streymi þar að eða tregara uppstreymi á öðrum stöðum.

#### 6.8. Túlkun niðurstaðna fyrir einstaka áhugaverða staði.

Sú umræða og túlkun, sem hér fer á eftir, varðar vitneskju, sem efna-innihald vatnsins veitir um hitastig í berggrunni. Ekki má skilja þessa túlkun á þann veg, að borun við uppsprettuna gæfi þann árangur sem vænst yrði samkvæmt túlkuninni. Uppstreymisrásir þurfa ekki að vera lóðréttar. Staðsetning borholu, sem tæki mið af efnafræði vatnsins, þarf líka að taka mið af gerð jarðlaga en hún ákveður legu og eðli vatnsrásar.

Glerárgil: Kísilhiti er  $69^{\circ}\text{C}$  og Na-K-Ca-hiti  $61^{\circ}\text{C}$  en mældur hiti í uppsprettunum  $48^{\circ}\text{C}$ . Með samanburði á kísilhita og Na-K-Ca-hita við mældan hita í djúpu borholunum má búast við, að borun á þessum stað gæti gefið um  $70^{\circ}\text{C}$  heitt vatn. Vegna nálægðar við Akureyri þyrfti að gera frekari athugun á þessum stað. Sýnið af uppsprettunni er frá 1969. Ástæða er til þess að taka aftur sýni til efnagreiningar með sem bestri nákvæmni.



Kristnes - Reykhús: Á þessum stað má búast við hæstum hita vestan megin í dalnum eða 80-85°C, samkvæmt kísilhita, sem er 80-82°C, og Na-K-Ca-hiti, sem er 62-72°C. Samkvæmt efnafræði vatnsins er þessi staður því álitlegastur til borunar vesta megin í Eyjafirði. Sérstaklega ætti að hafa í huga borun vestan megin í dalnum, ef þar er um annað vatnskerfi að ræða en austan megin eins og túlkun á flúor gefur til kynna. Áhrif vatnsborðslækkunar við nýtingu holanna að Laugalandi á vatnsstöðu á Hrafnagils - Kristnes svæðinu ætti að skera úr um þetta.

Grýta: Kísilhiti og Na-K-Ca-hiti í uppsprettunni gefur til kynna um 90°C hita í berggrunni. Samanburður á niðurstöðum efnahitamælanna er góður. Er þá tekið mið af meðalfráviki þessara hitamæla frá mældum hita í djúpu borholunum. Hið háa hitastig samkvæmt efnahitamælunum gefur vissulega tilefni til þess að athuga af fullri alvöru borun við Grýtu. Uppsprettan við Grýtu sker sig frá öðrum jarðhita austan megin Eyjafjarðar að því er varðar flúorinnihald en klórinnihald vatnsins er einnig tiltölulega hátt. Hallast er að þeirri skýringu, að aukið klór og flúor í vatninu stafi af útskolun úr berginu samfara kælingu í uppstreymisrásum. Hin mikla kæling í uppstreyminu sem orðið hefur, ef dæma má út frá efnahitamælum og mældum hita, bendir til lélegrar vatnsleiðni jarðlaganna. Þessi lélega vatnsleiðni gæti þó verið bundin við uppstreymið en ekki gangakerfin á meira dýpi.

Brúnalaug: Tvær efnagreiningar eru til af heita vatninu úr Brúnalaug. Að því er varðar kísilhita ber þeim fremur illa saman. Margt bendir til þess, að sýrustig sé of lágt í sýni frá 1969 og þess vegna er hinn hái kísilhiti fyrir þetta sýni óáreiðanlegur. Nauðsynlegt er að taka aftur sýni úr þessari uppsprettu. Na-K-Ca-hitinn er 62°-64°C. Nú er alkali-hiti að meðaltali 16°C lægri en mælt hitastig í djúpu borholunum, líklegast vegna skakkrar kvörðunar á þessum efnahitamæli fyrir heita vatnið í Eyjafirði. Alkalihitinn bendir því til tæplega 80°C hita í berggrunni sem er svipað meðal kísilhita í sýninu frá 1969 og 1976. Samkvæmt þessum niðurstöðum er þess að vanta að svipað eða örlítið herra hitastig gæti fengist með borun við Brúnalaug en nú hefur fengist að Ytritjörnum, en líklegast eitthvað lægra en í djúpu borholunum við Laugaland. Af þessum ástæðum væru fýsilegt að athuga borun við Brúnalaug.

Hólslaug: Tvö sýni úr grunnum borholum við Hólslaug gefa  $98^{\circ}\text{C}$  í kísilhita eða samsvarandi um  $100^{\circ}\text{C}$  í berggrunni. Na-K-Ca hitamælirinn gefur tiltölulega lægra gildi eða sem svarar um  $80^{\circ}\text{C}$ , ef hann er samræmdur mældu hitastigi í djúpu borholunum. Meira vægi er sett á efnagreiningu kísils í þessum gömlu sýnum en efnagreiningu natríums, kalís og kalsíum. Því er kísilhiti talinn áreiðanlegri en Na-K-Ca-hitinn en hann gefur herra hitastig en annað uppsprettuvatn á Laugalandssvæðinu og svipað og mælist í djúpu holunum. Samkvæmt því er ályktað að heita vatnið við Hólslaug sé í beinni tengslum við vatnsæðar djúpu holanna en aðrar uppsprettur á svæðinu.

Björk: Til þess að meta gildi niðurstaðna fyrir fyrirtalda jarðhita staði, þykir ástæða til að bera saman túlkun á efnainnihaldi uppsprettunnar við Björk og árangur borunar að Ytritjörnum rétt við þessa uppsprettu. Útreiknaður kísilhiti og samanburður hans við mældan hita í djúpu borholunum gaf til kynna rúmlega  $80^{\circ}\text{C}$  hita í berggrunni. Samsvarandi gaf Na-K-Ca-hiti um  $75^{\circ}\text{C}$ . Hitastig í uppsprettunni er hins vegar aðeins  $26^{\circ}\text{C}$ . Í borholunni TN-1 að Ytritjörnum mældist hiti  $81^{\circ}\text{C}$  á 1000 metra dýpi 29. mars 1978, en vatnið sem rann úr holunni (20-30 l/sek) var  $73^{\circ}\text{C}$ .

Grísará: Í  $39^{\circ}\text{C}$  heitri uppsprettu gefur kísilhiti vísbendingu um  $71^{\circ}\text{C}$  hita, en Na-K-Ca-hitamælirinn  $61^{\circ}\text{C}$  og hefur þá í báðum tilfellum verið leiðrétt fyrir ósamræmi milli þessara efnahitamæla við mælt hitastig í djúpu borholunum. Í borholu við Hrafnagil, sem er með  $48^{\circ}\text{C}$  heitu vatni gefur kísilhitinn og Na-K-Ca-hitinn samsvarandi  $80^{\circ}\text{C}$  og  $88^{\circ}\text{C}$ . Þessar tölur skyldu bora saman við árangur af borun GG-1 við Grísará. Holan er staðsett 50-100 m frá  $39^{\circ}\text{C}$  uppsprettunni við Grísará og í nálægt 600 m fjarlægð frá borholunum við Hrafnagil. Á botni holunnar (1206 m) hefur mælst  $87^{\circ}\text{C}$  hiti, en  $71^{\circ}\text{C}$  í stút.

Tilvitnanir.

Arnórsson, S., Grönvold, K. og Sigurósson, S. (1978): Aquifer chemistry of four high-temperature geothermal areas in Iceland. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, v. 42, bls. 523-536.

Fournier, R.O. (1973): Silica in thermal waters: laboratory and field investigations. In proceedings International Symposium on Hydrogeochemistry and Biogeochemistry, Japan, 1970, v. 1., Hydrogeochemistry: Washington D.C., J.W. Clark, bls. 122-139.

Fournier, R.O. og Truesdell, A.H. (1973): An empirical Na-K-Ca geothermometer for natural waters. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, v. 37, bls. 1255-75.

Pitzer, K.S. (1937): The heats of ionization of water, ammonium hydroxide, carbonic, phosphoric and sulphuric acids. The variation of ionization constants with temperature and entropy change with ionization. *J. Amer. Chem. Soc.* v. 59, bls. 2365-71.

Seward, T.M. (1974): Determination of the first ionization constant of silicic acid from quartz solubility and borate buffer solutions to 350°C. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, v. 38, bls. 1651-1664.

Truesdell, A.H. (1975): *Geochemical Techniques in Exploration*. In proceedings of the Second United Nations Symposium on the Development and Use of Geothermal Resources, v. 1, bls. 53-60.

## 7. BORANIR. (H.K., Á.G)

Eftirfarandi kafli fjallar um framvindu borana fyrir Hitaveitu Akureyrar frá árinu 1975 fram á árið 1978 svo og um niðurstöður um jarðlög í holunum. Holurnar eru auðkenndar með hlaupandi númerum. T.d. táknar LJ-5 fimmtu boraða hola að Laugalandi og að holan sé boruð með Jötni. Í töflu 7.1 er sýnt yfirlit yfir dýpi, vídd, fóðringar, bortíma, botnhita og rennsli úr öllum holunum. Auk þess er gerð grein fyrir ástandi holanna.

Áfangaskýrslur um borun og niðurstöður svarfgreiningar og fyrstu mælingu í holum eru komnar út fyrir LJ-5 (OSJHD 7628), LJ-6 (OSJHD 7629 og OSJHD 7809), LJ-7 (OSJHD 7642), LJ-8 (OSJHD 7724), LG-9 (OSJHD 7807), LN-10 (JHD7808) GG-1 (OS JHD 7833) og LG-11 (OS JHD 7852). Ennfremur er komin út greinargerð um þrýstidælingar í borholum á Laugalandi í Eyjafirði (OSJHD 7719).

### 7.1 Borun einstakra hola

#### LJ-5

Holan var staðsett 140 m vestur af húsmæðraskólanum og 20 m suður af bænum Ytri-Laugalandi í 34 m h.y.s. Forsenda staðsetningar holunnar var sú að lægst eðlisviðnám hafði mælst á Laugalandssvæðinu. Ákveðið var að bora allt að 3600 m djúpa hola með jarðbornum Jötni og holustæðið síðan valið með tilliti til þess, hvar best væri að setja niður borinn sem næst miðju viðnámslögðarinnar.

Borun hófst 22. nóv., 1975, og lauk 12. jan., 1976. Holan varð 1303 m djúp. Ekki var unnt að bora dýpra vegna mikils vatnsrennslis úr holunni. Á 618 m dýpi komu um 23 l/s, á 660 m dýpi komu 3-5 l/s og á 1296 m kom inn stór æð og var þá heildarrennslið 95-100 l/s af yfir 90°C heitu vatni. Á um það bil 200 m dýpi svo og á 570 og 588 m komu smáæðar minni en 1 l/s. Hitastig þeirra er óþekkt. Tæpum tveim mánuðum eftir að borun lauk eða dagana 10. - 11. mars var holan rennslismæld við mismunandi þrýsting. Kom þá í ljós, að vatnsmagnið hafði minnkað niður í 70 l/s, og þegar hola LJ-7 var boruð minnkaði rennslið á ný í 40-50 l/s.

TAFLA 7.1 Borholur á Laugalandssvæði og nágrenni, Eyjafirði

Hola	Staður	Dýpi í m	Fóðring vídd" dýpi m	Holuviðd neðan "fóðringar d í m.	Bortími	Botnhiti °C	Rennsli í lok borunar l/s	Fyrirstaða d í m	Athugasemdir
LJ-5	Syðra-Laugland	1303	13 1/2" í 101	12 1/4 í 629 8 1/2 í 1303	22.11.75- 12.01.76	> 95	80-100	260	
LJ-6	Syðra-Laugland	1870	13 1/2" í 145	12 1/4 í 574 8 1/2 í 1870	02.02.76 04.04.76	> 90	1- 2	550	8 álagsstangir eru grafnar í holu. Áhrifa þrýstidælingar gætir enn í rennsli í borlok.
LJ-7	Syðra-Laugland	1940	14" í 150 9 5/8" í 949	8 1/2 í 1524	11.04.76 25.06.76	96.1	46	1361	
LJ-8	Ytra-Laugland	2820	14" 199 m	8 3/4 í 1112 8 1/2 í 2820	13.01.77 29.06.77	102.8	5		Skáhola
GG-1	Grísará	1338	13 5/8" í 199	8 3/4 í 1338	07.08.77- 24.09.77	> 84	7		Rennsli í borlok truflað vegna þrýstidælingar.
LG-9	Syðra-Laugland	1962	9 5/8" í 35	8 3/4 í 1962	29.09.77 04.12.77	> 90 (84.8)	1	740	Níu álagsstangir grafnar í holunni
LN-10	Ytra-Laugland	1606	engin	8 1/2 í 1378 7 7/8 í 1606	26.11.77 08.02.78	96.3	6		
LG-11	Syðra-Laugland	1734	10" í 327	8 3/4 í 1734	13.12.77- 13.03.78	(93)	0	1626	Borkróna og 10 álagsliggja í botni holunnar
TN-1	Ytri-Tjarnir	1108 1.04.78		8 1/2	20.02.78	81°C 23.03.78	>20		Borun ekki lokið

Annar stafur í nafni borhola er skammstöfun fyrir bortækið, sem verkið vann, J = Jötunn, G = Gufubor, N = Narfi

Holan var tvisvar hitamæld í borun og var holudýpið þá 1289 m. Eftir að borun lauk hefur ekki tekist að hitamæla niður fyrir 300 m vegna fyrirstöðu í holunni.

Í nóv. 1977, var reynt að dýpka holuna með jarðbornum Narfa, en borinn lenti í festum þegar komið var niður á 1000-1100 m. Töldu bormenn, að járn væri í holunni og var hætt. Tekið var til að rýma holuna með 324 mm rýmra í 241 m. Vegna óhappa tapaðist enn járn í holunni á 260 m dýpi. Þegar Narfi reyndi að dýpka holuna varð smávægileg festa, sem stíflaði neðri æðina og kom í ljós, að efri æðarnar höfðu minnkað niður fyrir 10 l/s.

Eftir áramót 77-78 hófst dæling úr holu LJ-7, sem veldur niðurdrætti á svæðinu, og hætti þá að renna úr holu LJ-5.

Jarðlög í holunni eru nær eingöngu basalhraun og rauð þunn millilög. Stóru vatnsæðarnar á 618 m og 1296 m dýpi eru við rauð millilög og aðrar æðar má einnig tengja lagmótum. Bein tengsl við bergganga sást ekki. Við grófgreiningu á holunni sást engir berggangar en í þunnsneiðum sést dreif af grófkornóttu gangbergi á 400, 1000, og 1200 m dýpi.

#### LJ-6

Annarri holu Jötuns á Laugalandi, LJ-6 var valinn staður um 720 m suðvestur af bænum Syðra-Laugalandi, í brekkurótunum. Holan er nokkurn veginn mitt á milli LJ-5 og jarðhitasvæðisins að Brúnalaug. Vegna hins góða árangurs í LJ-5 voru sömu forsendur við staðsetningu, LJ-6 og skyldi bora eins djúpt og Jötunn kæmist.

Borun hófst 2. febr. 1976 og lauk 4. apríl sama ár. Þá var holudýpi 1870 m. Af þessum tíma fór hálfur mánuður í verkfall, frídaga og óhapp er varð í lok borunar.

Vart varð smávægilegrar skolvatnsaukningar (líklega innan við 1/2 l/s) í borun á 200-300 m dýpi. Hitamælingar í borlok sýndu merki vatnsæða á 725-750 m, rétt ofan 1300 m og á tæplega 1500 m. Smáæð gæti einnig verið í 375 m. Þrýstidæling var gerð dagana 26.-27. mars. Ekki var unnt

að mæla árangur hennar, en í bakrennslisvatni kom allmikið upp af holu-  
fyllingum, líklega ættuðum úr æðinni á 740 m. Benti það til þess, að  
tekist hefði að víkka æðina út. Fyrirstaða á 650 m, eftir þrýstidælingu,  
kom í veg fyrir hitamælingu. Farið var þá ofan í holuna á ný með bor-  
stangir og reynt að hreinsa hana. Á 1176 m lenti borinn í grófu hruni  
og var stangarlengjan tekin upp. Þá varð það óhapp að 8 álagsstangir  
féllu niður í holuna og náðust ekki upp. Samfara því lokaðist holan á  
rúmmum 550 m. Aukning hafði orðið á upprennslu (tæpir 2 l/s), en síðan  
minnkaði það á ný niður fyrir 1 sekúndulíttra. Aukningin gæti hafa verið  
áhrif frá undangenginni þrýstidælingu.

Í holunni skiptast á hraunlög, setmillilög og basaltkargi. Millilögin  
eru flest þunn, en örfá ná 4-10 m þykkt. Í efstu 600 m ber talsvert á  
ólivín-þóleítbasaltlögum og plagíoklasdílóttu basalti. Neðan 600 m er  
mun minna um þessar basaltgerðir og þóleítbasalt er ráðandi. Holan  
sker nokkra bergganga og eru þeir þykkustu á um 1350, 1820 og 1860 m  
dýpi. Neðan 800 m dýpis fór að bera á hruni í holunni og jókst það  
mikið á 900-1100 m dýpi. Neðst í holunni var algjört hrun, sem stöðvaði  
frekari borun. Sjá töflu 7.1.

#### LJ-7

Þriðja hola Jötuns, LJ-7 var staðsett 130 m vestur af bænum Syðra-  
Laugalandi og 160 m SV af LJ-5 í 14.5 m hæð yfir sjávarmáli. Sömu  
forsendur voru notaðar við staðsetningu hennar og LJ-5, auk viðbótar-  
upplýsinga, sem bæst höfðu við með borun LJ-5 og LJ-6.

Borun hófst 11. apríl 1976 og lauk 25. júní sama ár. Holudýpi var þá  
1924 m. Ekki tókst að bora dýpra, þar sem Jötunn var fluttur í annað  
verk við Kröflu. Talsverðar tafir voru í borun vegna yfirvinnubanns  
bormann, viðgerða á holu, svo og festu. Losað var úr festunni með  
fóðurröraborun utan yfir stangarlengju niður á 949 m dýpi. Tvær stórar  
vatnsæðar komu inn á 1124 m og 1490 m. Sú fyrri gaf 19-20 l/s og sú  
seinni 23-24 l/s. Ein minni æð 1-2 l/s kom inn á 1450 m. Fylgst var  
með rennslu úr LJ-5 á meðan LJ-7 var boruð. Minnkaði það greinilega  
þegar stóru æðarnar komu inn í þá síðarnefndu, þannig að samanlagt

rennsli úr báðum holunum var svipað og úr LJ-5 áður en LJ-7 var boruð. Engin áreiðanleg hitamæling er til fyrir neðan 1361 m. Holan var hitamæld fjórum sinnum í borun og var dýpi þá 935 m. Samkvæmt þeim komu inn tvær smáæðar á 680-700 m og 800-820 m, en ekki varð vart við neina skolvatnsaukningu. Ein hitamæling er til frá borlokum, sem nær niður í 1435 m. Ekki koma neinar æðar fram á henni, en botnhiti er tæpar 100°C. Síðasta mæling var gerð 25. nóv. 1977 og náði niður á 1361 m. Eina æðin sem vottaði fyrir var í 1124 m, en hún kom inn sem kælipunktur á hitaferlinum. Botnhiti mældist 96.2°C.

Í nóvember 1977 skar jarðborinn Narfi 180 m ofan af 244 mm (9 5/8") fódoringu og víkkaði holuna út í 330 mm (13") niður í 171 m.

Jarðlög í holunni eru basalhraunlög og millilög, en engin áberandi setlög fundust. Samsettir berggangar eru á 990 til 1060 m dýpi. Ekki finnast önnur þykk innskotslög. Allmikil blöndun er neðan 1600 m og dreif af dólerítmolum, sem gætu þýtt innskot á því dýpi eða hrunmola að ofan.

#### LJ-8

Fjórða hola Jötuns, LJ-8 var staðsett rúmum 200 m NNA af LJ-5 í 37.4 m hæð yfir sjávarmáli. Sömu forsendur voru notaðar við staðsetningu og áður og skyldi bora niður á 3600 m dýpi.

Borun hófst 13. janúar 1977 og lauk 29. júní. Holan var þá 2820 m djúp og sú dýpsta sem boruð hafði verið til þess tíma hér á landi. Margvíslegar tafir urðu í borun. Ber fyrst að telja festu á 462 m, sem tók einn og hálfan mánuð að losna úr og voru þá eftir niðri í holunni neðsta álagsstöngin og fódurrörsbútur. Holan var fóðruð niður á 194 m og lá mikill kostnaður bundinn þar í. Til þess að nýta hana var settur niður stýrisfleygur og skáborað út úr aðalholunni á 210-215 m dýpi. Borað var með geli niður á 1335 m, en þar kom fyrsta og eina verulega vatnsæðin. Eftir það var borað með vatni. Þegar líða tók á borun tafðist borun bæði vegna þess að gat kom á stangir og vegna þess að þær brotnuðu. Aðrar tafir voru vegna yfirvinnubanns og viðgerða á holu.



Holan var víddar-, viðnáms- og hitamæld, þegar ástæða þótti til í borun. Í borlok voru allar fyrrnefndar mælingar gerðar ásamt þrýstidælingu. Samkvæmt hitamælingu eru æðar á 320 m, 600 m, 1335 m, 1860 m, 1985 m, 2335 m, 2395 m og 2440 m. Skolvatnsaukning varð í borun á 1335 m og 1830 m dýpi. Ein hitamæling var gerð tæpum fjórum mánuðum eftir borlok eða 23. okt. 1977. Þá komu fram æðar á 180-190 m (innan fóðurrörs), 320 m, 600 m, tæpum 1900 m, (2230-2240 m) og 2440 m. Samkvæmt mælingunni er botnhiti 102.8°C.

Jarðlög eru basaltlög og millilög. Innskotslög eru algengari í þessari holu en öðrum á svæðinu. Basaltlögin eru þrenns konar; ólivín-þóleít, þóleít og dílabasalt.

Ólivín-þóleít og dílabasalt eru algeng í efri hluta holunnar niður á tæpa 700 m. Frá tæpum 800 m og niður á tæpa 1500 m, frá 1750 í 1900 m, í 2450 m og í botni eru innskotslög mjög tíð eða samfelld (mynd 7.1). Þóleítbasalt er algengast á öllum öðrum dýptarbilum. Engar setsyrpur sjást í holunni.

Bein tengsl vatnsæða og innskota má sjá á þremur stöðum, þ.e.á 1360 og 1895 m dýpi (koma inn í miðjum gangi) og í 2440 m ofan við berggang. Aðrar æðar koma inn á hraunlagamótum.

#### GG-1

Fyrsta hola Gufubors, GG-1, í Eyjafirði fyrir Hitaveitu Aukureyrar var boruð sunnan við bæinn Grísará um 60 m vestur af vestari uppsprettunni. Staðsetning holunnar miðaðist við að skera berggang á 600 m dýpi, sem kemur vel fram í segulmælingum.

Borun hófst 7. ágúst 1977 og lauk 24. sept. Þá var holudýpi 1338 m. Borun gekk vel fram að mánaðamótum ágúst-sept., en þegar dýpið var 1297 m hrundi að krónu. Frá þeim tíma voru aðeins boraðir 41 m og fór mestur tími í steypuaðgerðir. Ekki tókst að koma í veg fyrir stöðugt hrun í botni og því ekki tekin frekari áhætta með áframhaldandi borun.

í borun var holan víddar- og hitamæld, og í borlok var hún víddar-, viðnáms- og hitamæld. Auk þess var dælt á hana lofti og að lokum þrepa-dælt (sjá skýrslu OSJHD 7823). Vart varð við tvær vatnsæðar í borun á 530 m og 1230 m, hvor um sig var um 2 l/s. Komu þær inn á lagmótum. Samkvæmt hitamælingum er smáæðahröngl frá 650 m í 900 m og í botni.

Meginþorri hraunlaga niður á 325 m eru ólivín-þóleít og plagióklasdílótt basalt. Þá taka við samsettir gangar niður á 466 m. Frá 466 m niður á 1288 m er nær eingöngu þóleítbasalt, en á bilinu 646 m - 774 m eru all-þykk setlög. Frá 1288 m og niður í botn á 1338 m dýpi er mjög sprungið og leirfyllt gangberg.

#### LG-9

Önnur hola Gufubors í Eyjafirði er LG-9. Hún var staðsett í túninu fyrir ofan bæinn á Syðra-Laugalandi, í um það bil 45 m hæð yfir sjávarmáli, suðaustur af LJ-5 og LJ-7. Samkvæmt nýrri túlkun á viðnámsmælingum virtust NV-SA línur koma vel fram í mælingum þrátt fyrir að þeirra gæti lítið í jarðlögum á yfirborði. Holunni var valinn staður með tilliti til þessara línu. Einnig var holan höfð skammt frá og þess vænst að hitta í sama vatnskerfi og fæðir þær holur.

Breyting var gerð á hönnun holunnar frá því sem áður var, þannig að hún var boruð jafn víð frá toppi í botn, en áður var borað fyrir 13 3/8 eða 14" fóðringum niður á allt að 200 m dýpi og síðan grennra áfram niður. Tvennt átti að vinnast með þessu, annars vegar að spara fóðringu ef holan reyndist ekki vinnsluhæf, hins vegar að halda skolhraða í lágmarki til þess að valda síður hruni úr veggjum holunnar í borun.

Borun hófst 29. september og lauk 16. nóvember, þá var dýpið 1962 m. Við upptekt í borlok festist borlengjan á rúmlega 200 m dýpi, þar á meðal allar álagsstangirnar. Við losun féll lengjan niður og situr þar. Núverandi holudýpi er því 740 m. Vegna þessa atviks tafðist borinn við holuna fram í byrjun desember, en áður hafði verið  $5\frac{1}{2}$  sólarhrings töf í borun vegna viðgerða á holu. Ein hitamæling er til frá því að holan var í borun, er hún var 896 m djúp. Vegna fyrirstöðu komst mælirinn

ekki niður fyrir 542 m. Samkvæmt mælingunni er smáæð á 260 m og e.t.v. smáæðahröngl á 300-400 m. Rennsli var þá 1 l/s og breyttist ekkert út borunina. Eftir að dæling hófst úr holu LJ-7, hætti að renna úr holunni og vatnsborðið seig rólega. Þá var holan hitamæld niður í 740 m og komu tvær æðar í ljós, á 170 m og á 210 m dýpi.

Jarðlög eru aðallega basaltlög og rauð eða marglit millilög. Eitt móbergslag sést á 900-920 m dýpi.

Í efstu 545 m eru ólivín-þóleít og plagióklasdílótt basalt ráðandi en þar fyrir neðan er nær eingöngu þóleítbasalt. Innskot eru afar fá og þunn. Í kringum 1000 m og 1220-1240 m virðist vera dólerít. Sjá mynd 7.2.

#### LN-10

Fyrsta hola jarðborsins Narfa, boruð fyrir Hitaveitu Akureyrar er LN-10. Hún var staðsett 50 m vestur af bænum Ytra-Laugalandi og var ætlað að skera berggang á um 800 m dýpi, þann sem líkur eru á að fæði holur LJ-5 og LJ-7.

Borun hófst 26. nóvember 1977 og lauk 8. febrúar 1978. Þá var holudýpi 1606 m. Ekki var unnt að bora dýpra vegna skorts á nothæfum borstöngum, en vel gæti komið til greina að dýpka holuna síðar meir. Smávægilegar tafir urðu tvívegis vegna stangabrota, auk þess sem viðgerð á holunni tók rúmlega fjóra sólarhringa. Holan var hönnuð á sama hátt og LG-9, þ.e. jafnvíð frá toppi í botn. Fljótlega eftir að borun hófst fór að renna 1 l/s upp, svipað því sem verið hefur í hinum holunum á efstu 300 metrunum. Á 600 m dýpi mældu bormenn 15-20 l/s rennslisaukningu, en rennslið minnkaði fljótlega þegar bætt var í stöng á 615 m datt vatnsborðið um tíma niður um 2.5 m. Tvær hitamælingar voru gerðar í borun og ein tæpum hálfum mánuði eftir borun, einnig var holan víddarmæld. Fyrsta hitamælingin var gerð þegar holan var 879 m djúp og kom fram æð í tæpum 600 m, en æðahröngl þar fyrir neðan. Einnig voru smáæðar í efstu 200 metrunum. Rennsli var um 3 l/s. Önnur mælingin náði niður á 1350 m og var rennsli 5 l/s. Æðar komu geinilega í ljós á 170 m, 600 m og á bilinu 1040-1140 m. Sambærilegar niðurstöður komu út úr síðustu mælingunni, en botnhitinn var þá kominn yfir 96°C, Æðarnar koma inn í holuna

við lagmót og æðin á 600 m er vafalaust tengd sama millilaginu og 618 m æðin í LJ-5. Er borun lauk var holan loftdæld.

Jarðlög eru basaltlög, rauð og marglit millilög, innskot og líklega eitt móbergslag á 820-830 m dýpi. Efstu 440 m eru aðallega ólivínþóleít og plagióklasdílótt basalt, en þar fyrir neðan þóleítbasalt. Tveir allmiklir berggangar eru skornir á 710-790 m og 840-960 m. Sjá mynd 7.1.

#### LG-11

Þriðja hola Gufubors í Eyjafirði er LG-11. Var hún staðsett 60 m vestur af laugunum á Syðra-Laugalandi í 60-65 m hæð yfir sjávarmáli. Fyrirhugað var að skera tvo bergganga, sem laugarnar koma upp með á 600-1000 m dýpi og svo þriðja ganginn dýpra, en hann sést á yfirborði rétt austan vegar.

Borun hófst 13. desember 1977, en 19. febrúar 1978, þegar holudýpi var 1734 m brotnaði álagsstöng og í upptekt festist stangalengjan á rúmlega 600 m. Þann 7. mars var losað úr festu með fóðurröraborun utan yfir stangalengju, en eftir sátu 10 álagsstangir á botni. Næstu viku var reynt að fiska þær upp, en það tókst ekki. Raunverulegt holudýpi er samkvæmt hitamælingu 1626 m. Vegna erfiðleika við borun í upphafi, þ.e. mikið hrun og smáfestu, var holan fóðruð með 254 mm (10") rörum niður í 327 m og borað síðan með geli niður á endanlegt dýpi. Ekki varð nein aukning né tap á skolvatni meðan á borun stóð. Í hitamælingu þann 13. mars vottaði fyrir einni smáæð í 700 m. Holan var þrýstidæld undir pakkara í 680 m og tók við um 2 l/s. Í hitamælingu á eftir sást greinileg æð í 1120 m, sem ekki hafði orðið vart við áður.

Jarðlagastaflinn er byggður upp af basaltlögum og rauðum eða marglitum millilögum ásamt fjölda innskota. Ólivín-þóleít og dílabasalt eru ríkjandi niður á 660 m dýpi. Þar fyrir neðan er þóleítbasalt mest áberandi. Allmikið er um innskot á 660-716 m, á 733-776 m, á 1000-1085 m, á 1180-1290 m, á 1325-1350 m og á 1414-1450 m, (mynd 7.2).

TN-1

Önnur hola Narfa í Eyjafirði er TN-1. Hún var staðsett að Ytritjörnum rétt við landamerkin að Björk. Hæð yfir sjó er líklega rúmlega 1 metri. Holunni var valinn staður 60 m vestan við berggang, sem liggur í brekkurótunum og kemur vel fram í segulmælingum. Rétt vestan við ganginn liggja nokkrar laugar á um það bil 150 m kafla í sömu stefnu og gangurinn, þar á meðal Bjarkarlaug.

Borun hófst 20. febrúar 1978 og er ekki lokið er þetta var skráð (maí, 1978), en þá var holudýpi 1108 m. Holan hefur verið hitamæld fjórum sinnum. Greinilegar vatnsæðar koma inn á 80 m, 140 m, 470 m og 530 m. Einnig telja bormenn að æð hafi komið inn í kringum 1000 m. Sjálfrennsli nú er 20-30 l/s.

Jarðlagastaflinn er byggður upp af basaltlögum og rauðum eða marglitum millilögum ásamt innskotsbergi og eitt móbergslag sést á 416-430 m dýpi. Efstu 375 m eru að mestu ólivín-þóleít og plagióklasdílótt basalt, en þar fyrir neðan aðallega þóleítbasalt. Þrjú berggangar voru skornir, á 450-480 m, á 590-640 m og á 670-740 m. Fyrsta stóra æðin, um það bil 20 l/s, kom inn í holuna, þegar verið var að bora út úr bergganginum á 450-480 m dýpi (mynd 7.1).

## 7.2 Jarðlög í borholum

Með greiningu svarfs úr borholum á Laugalands-Ytritjarnarsvæðinu hefur tekist að fá sæmilega mynd að jarðfræðilegri uppbyggingu jarðlagastaflans undir þessu svæði. Í jarðlagastaflanum finnast sömu aðaljarðmyndanirnar í öllum borholusniðunum. Einstök jarðlög er hins vegar erfitt að rekja milli borhola. Stafar það af því að svarfsýnin úr holunum eru blanda bergbrota frá nokkra metra kafla og eftir því sem neðar dregur í holuna eru staðsetningar jarðlaga óruggari, einkum ef útvíkkarir eru í henni: Á myndun 7.1 og 7.2 eru sýnd einfölduð jarðlagasnið; annars vegar þversnið frá SV til NA gegnum holu LJ-6, LJ-7, LJ-10, LJ-8 og TN-1, hins vegar snið, hornrétt á hið fyrrnefnda, þvert í gegnum LJ-7, LG-9 og LG-11.

Erfitt er að bera saman jarðlagastaflann í borholunum og þann hluta hans, sem kortlagður hefur verið á yfirborði. Stafar það af því að yfirborðskortlagningin nær aðeins til þess sem svarar efstu 600 m í holunum og ekki hafa fundist nein einkennandi lög, sem tengja má á milli yfirborðs og hola né milli einstakra hola.

Jarðlagastaflinn í borholunum er hlaðinn upp af hraunlögum og setmillilögum, sem skorin eru af berggöngum (innskotum). Frá yfirborði og niður á 400-700 m eru ólivínþóleít og plagióklasdílótt basalt ráðandi, en það fyrrnefnda er um eða yfir 30% (af hraunlögnum). Dílabasaltlögin má tengja þar saman af nokkru öryggi. Þóleítbasalt er algengast neðan 700 m. Setmillilög eru úr sandi, leir og oft gjalli. Algengust eru rauðu millilögin svokölluðu og eru þau yfirleitt um eða innan við 1 m á þykkt. Einstaka þykkari setlög finnast. Þykkari lögin eru jafnan marglit, þ.e. rauð, brún, græn og gul, en erfitt er að rekja þau milli borhola. Gæti það bent til þess að um staðbundnar setfyllingar væri að ræða eða þá að lögin séu misþykk. Vegna þess hversu setlögin eru mörg og lík hvort öðru sem mulningur (svarf), er erfitt að nota þau við jarðlagatengingar. Hins vegar er oft auðveldara að rekja þykk kargalög frá hraunyfirborði langar vegalengdir, t.d. á milli borhola.

Innskot eru mismunandi tíð í holunum eins og búast mátti við út frá staðsetningu þeirra. Í sumum eru þau óverulegur hluti af berginu,

en í öðrum yfir 30% af heildarsniðinu. Þess ber þó að gæta, að þegar borholusnið er skoðað, að ákvörðun á magnhlutfalli innskotsbergs er óörugg. Í fyrsta lagi er ekki alltaf hægt að greina innskotsberg frá hraunlögum, í svarfi, t.d. myndu fínkornóttir gangar með auðkennileg lagmót oft vera greindir sem hraunlög. Í öðru lagi eru gangar oftast nærri því að vera lóðréttir (halli um 8°) og því í borun getur borinn fylgt jaðri eins og sama gangs langa vegalengd. Þótt ekki sé auðvelt að ákveða gangaþéttleika út frá borholugögnum, má sjá úr jarðlagasniðunum að hlutfall innskotsbergs eykst með dýpi. Þegar gangar eru skornir í borholu truflar það tengingar við lagskiptu jarðlögin í nærliggjandi borholum. Ef skornir eru margir gangar og einkum ef borinn fylgir ganga-jaðri um langa vegalengd minnka því mjög möguleikar á jarðlagatengingum milli borholanna. Öruggt má telja að innskotsbergið sem kemur fram í svarfgreiningu sé gangberg, því engin innskotslög hefur verið hægt að tengja milli borhola.

### 7.3 Ummyndun bergs í borholum

Við rennsli heits vatns gegnum berg leysir það upp efni úr berginu, nýjar steindir myndast í stað eldri og steindir falla út úr vökvanum í holrými í berginu, þ.e. bergið ummyndast. Ummyndun bergsins er aðallega háð berghitastigi og vatnsrennsli.

Í tertíerum jarðlagastafla eins og í Eyjafirði koma fram ummyndunarbelti með auknu dýpi, sem einkennast af ákveðnum steindum í holufyllingum. Þessi ummyndun átti sér stað þegar jarðlögin voru grafin á meira dýpi en nú og berghitastig var hærra. Í efstu 150-200 m í slíkum stafla eru holur opnar. Síðan tekur við um það bil 450 m belti þar sem zeolítin kabasít/tomsonít eru einkennandi holufyllingar í ólivínþóleít hraunlögum. Þar fyrir neðan er belti með analsími sem einkennissteind (450 m) og síðan um 600 m belti með zeolítunum mesolít/skólesít sem einkennandi holufyllingum. Neðsta zeolítabeltið hefur laumontít sem einkennissteind. Epidót-ummyndunarbelti tekur við neðan zeolítabeltanna. Þéttleiki berglaga vex með aukinni ummyndun. Í mesólít/skólesít belti og beltunum neðan við það er gegnumstreymi vatns orðið tregt í berginu.

Holufylling jarðlaga og ummyndun var athuguð í borholusvarfinu úr holum í Eyjafirði. Var það gert til að rannsaka framhald zeolítabelta í jarðlagastaflanum og einnig til að kanna tengsl núverandi jarðhitavirkni og ummyndunar bergsins. Eins og fram kom í kafla 2.5 eru efri mörk mesólít/skólesít beltis í 200-300 m hæð yfir sjó og borholurnar á Laugalandssvæðinu byrja í því ummyndunarbelti. Laumontít-belti tekur við á 400-700 m dýpi. Epidót finnst einungis í dýpstu borholunum á 1900-2200 m dýpi. Berggrunnur á Laugalandssvæðinu er því þettaður af útfellingum og líklega illa vatnsgengur. Mikils vatnsrennslis er því aðeins að vænta við misgengi, jaðra bergganga eða einstök gróf kargamillilög.

Ummyndun í berginu virðist að mestu vera steingerð frá því að berglöggin voru grafin á meira dýpi en nú er. Lítil tengsl hafa fundist milli ummyndunar og núverandi jarðhitavirkni og berghitastigs. Þó sést greinileg truflun á steingerða ummyndunarmynstrinu við sumar vatnsmestu æðarnar í borholum. Mynd 7.3 sýnir dæmi um þetta. Á myndinni er sýnd dreifing ummyndunarsteinda í holu LJ-5 og hvernig zeolítabeltin eru afmörkuð. Við vatnsmikla æð á 618 m dýpi kemur fram zeolítinn laumontít á þröngu dýptarbili ofan laumontítzeolítabeltisins. Hitastig vatnsins á Laugalandi er svipað og ríkt hefur við ummyndun bergsins á mörkum mesólít/skólesít beltis og laumontít beltis. Í þessum beltum gæti því verið erfitt að skilja steingerða ummyndun frá nýmyndun. Endurskreið ummyndun flestra steinda er hæg við svo lágt hitastig, sem jarðhitavatnið hefur. Með tilliti til þessa og einnig hversu þettað bergið er orðið af útfellingum er vart við því að búast að jarðhitavirknin nái að setja verulega mark sitt á ummyndunarmynstur.

Ummyndunarrannsóknir hafa því einkum aukið almenna þekkingu á berggrunni Laugalandssvæðisins, en verið til lítilla nota varðandi vinnslu jarðhitavæðisins. Lítil áhersla hefur því verið lögð á þær eftir borun fyrstu holanna á svæðinu.

#### 7.4 Hrun í borholum

Tilgangur svarfgreiningar samhliða borun er einkum sá að reyna að finna líklega hrunkafla og hvort verulegar útvíkkarir hafi átt sér stað. Ákveðin jarðlög eru hrungjarnari en önnur, til dæmis millilögin, sem eru



linari en grannbergið og skolast auðveldlegar út. Auk þess eiga þau til að hrynja inn í holurnar. Oft má styðjast við borhraða við staðsetningu á líklegum hrunköflum, en það er alls ekki einhlítt. Ólivínþóleít basalt virðist hrungjarnara en annað berg enda oft með allmiklum leirsprungufyllingum. Ólivínþóleít er ríkjandi í efstu 600-700 metrunum í holunum. Einnig er umhverfi innskota oft uppbrotið og leirfyllt enda eru margir hættulegir hrunkaflar einmitt við gangajaðra. Með tilkomu víddarmælis (kalipersmælis) hefur verið hægt að mæla útvíkkarir í holum og staðsetja þær nákvæmlega. Á myndum 7.4 og 7.5 er teiknað sem dæmi jarðlagasnið, samhliða borhraða og víddarmælingu úr borholu GG-1 við Grísará. Greinileg fylgni er með útvíkkunum borhraða og millilögum, t.d. er holan jafnvíð gegnum bergganginn (lágur borhraði) en alls staðar í lagskipta berginu er hún meira og minna útvíkkuð og borhraði ójafn. Ekki eru þó nein bein línuleg tengsl á milli borhraða og stærð útvíkkana.

Áhrif skolunar á myndun útvíkkana í holum (skápamyndun) er mikil. Mynd 7.5 sýnir tvær víddarmælingar felldar yfir hvora aðra. Fyrri mælingin var gerð þegar holan var 889 m djúp, en þá var 14" útvíkkun í 830-840 m. Seinni mælingin var gerð í borlok þá var útvíkkunin orðin yfir 20". Til þess að koma í veg fyrir slíka skolum úr berglögum er nauðsynlegt að nota eins lítið vatn til skolunar og mögulegt er. Unnt er að minnka vatnsmagn verulega ef holan er jafnvíð frá topp og niður í botn.

#### Heimildir:

OSJHD 7628. Borun við Syðra-Laugaland í Eyjafirði. Hola LJ-5.

Axel Björnsson, Hrefna Kristmannsdóttir, Stefán Arnórsson.

OSJHD 7629. Borun holu LJ-6, Syðra-Laugalandi í Eyjafirði. Hrefna Kristmannsdóttir, Axel Björnsson.

OSJHD 7642. Hola 7, Syðra-Laugalandi. Framvinduskýrsla um borun, jarðlög og ummyndun. Margrét Kjartansdóttir, Hrefna Kristmannsdóttir, Ásgrímur Guðmundsson.

OSJHD 7719. Þrýstidæling í borholum á Laugalandi í Eyjafirði.

Hrefna Kristmannsdóttir.

OSJHD 7724. Borun við Ytra-Laugaland í Eyjafirði. Hola LJ-8, borun, jarðlög og frumtúlkun mælinga. Hrefna Kristmannsdóttir, Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt Steingrímsson.

OSJHD 7807. Hola LG-9 á Syðra-Laugalandi í Eyjafirði. Borun og lýsing jarðlaga. Hrefna Kristmannsdóttir, Ásgrímur Guðmundsson.

OSJHD 7808. Hola LN-10 á Ytra-Laugalandi í Eyjafirði. Borun, jarðlög og frumtúlkun mælinga. Ásgrímur Guðmundsson, Hrefna Kristmannsdóttir.

OSJHD 7809. Hola LJ-6 á Syðra-Laugalandi í Eyjafirði. Jarðlög og ummyndun. Hrefna Kristmannsdóttir.

OSJHD 7833. Borun holu GG-1 á Grísará í Eyjafirði. Ásgrímur Guðmundsson, Hrefna Kristmannsdóttir, Þorsteinn Thorsteinsson.

OSJHD 7852. Hola LG-11. Borun, jarðlög og frumtúlkun mælinga. Ásgrímur Guðmundsson, Hrefna Kristmannsdóttir og Þorsteinn Thorsteinsson.

8. BORHOLUMÆLINGAR. (Á.G., H.K., B.S., A.B.)

Ýmsar mælingar er unnt að gera í borholum til þess að afla upplýsinga um vatnskerfi þau, sem holurnar eru boraðar í, svo og vitneskju um ástand og eðli einstakra hola. Er hægt að gera þessar mælingar bæði á meðan borun stendur, þ.e. í borhléum og eins eftir að borun er lokið. Tilgangur borholumælinga er einkum tvíþættur. Í fyrsta lagi eru gerðar mælingar til þess að kanna ástand hola í borun og fá með þeim upplýsingar er notaðar eru við ákvarðanatöku um framhald borunarinnar. Má sem dæmi nefna víddarmælingar og hallamælingar, sem gefa upplýsingar um óæskilega útvíkkun vegna skolunar svo og halla hola, sem valdið getur erfiðleikum og festum við borun, verði hann of mikill. Í öðru lagi er unnt að gera margvíslegar eðlisfræðilegar mælingar eftir að borun er lokið til þess að kanna jarðlög og vatnsæðar í holum. Má þar nefna sem dæmi hitamælingar, sem einkum eru gerðar til þess að kanna hitastigul og staðsetja vatnsæðar, rennslismælingar til þess að skoða upp- eða niðurstreymi á milli æða, geislavirkniaðferðir til athugunar á þéttleika bergs og vatnsmagni í því svo og viðnámsmælingar sem virðast hentugar til þess að finna lagskiptingu í holum.

Borholumælingar og túlkun þeirra er að vissu leyti á frumstigi hér á landi. Til skamms tíma var hér einungis unnt að mæla hitastig í borholum og ófullkomin tæki voru til fyrir hallamælingar. Á síðustu árum hefur tækjakostur til borholumælinga aukist verulega en þessum búnaði hefur ekki enn sem komið er verið beitt á kerfisbundinn hátt í Eyjafirði, og enn vantar mikilvægan tækjabúnað t.d. til nákvæmra hallamælinga. Þó hafa verið gerðar alltiðar hitamælingar í borholum í Eyjafirði svo og nokkrar halla-, víddar- og viðnámsmælingar og verður þeirra getið í þessum kafla.

Tafla 8.1 sýnir yfirlit yfir borholumælingar í Eyjafirði fyrir HA. Í töflunni eru einnig upplýsingar um þær aðgerðir í holum er fram hafa farið í borlok til könnunar á afkastagetu holanna.

Tafla 8.1. Yfirlit yfir borholumælingar.

	LJ-5	LJ-6	LJ-7	LJ-8	GG-1	LG-9	LN-10	LG-11	TN-1
Hitamæling	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Víddarmæling				x	x	x	x	x	
Viðnámsmæling				x	x				
Hallamæling	x		x			x	x		
Loftdæling					x		x		
Þrepaðæling					x				
Þrýstidæling		x		x				x	

### 8.1 Hitamælingar.

Hitamælingar í borholum eru í fyrsta lagi framkvæmdar til þess að kanna afstöðu hola til nærliggjandi jarðhitavatnskerfa og frávik hitastigs í þeim frá eðlilegum hitastigli viðkomandi svæðis eða landshluta. Í öðru lagi er með hitamælingum reynt að fá sem gleggsta mynd af legu einstakra vatnsæða í holum og hitastigi þeirra. Til þess að sem bestur árangur náist er nauðsynlegt að hitamælt sé sem oftast, bæði meðan á borun stendur og að borun lokinni þegar holan er að hitna upp eftir kælingu skolvatnsins.

Sem dæmi um niðurstöður hitamælinga eru 6 mælingar úr LJ-8 teiknaðar upp á mynd 8.1. Elstu mælingarnar sýna greinilega vatnsæðar á 320 m, 600 m, 1335 m, 1860 m og 2440 m dýpi. Einnig sést hvernig holan hitnar smám saman upp og í síðustu mælingunni er vart mögulegt að greina einstakar æðar lengur. Af þeirri mælingu sést að hitastigull er hár í efstu 300-400 metrum holunnar en víðan lágur allt niður á 2500 m dýpi. Þar fyrir neðan tekur við hærri hitastigull. Þetta má túlka á þann veg að efstu æðar vatnskerfisins náí upp í 300-400 m dýpi á þeim stað sem holan er staðsett (efsta æðin kom fram í 320 m) en að vatnskerfið sjálft

nái niður á um það bil 2500 m dýpi. Hitastig í vatnskerfinu er 95-98°C. Hóla LJ-8 er langdýpsta hólun á Laugalandssvæðinu og sú eina er sýnir hækkandi hitastigul í botni. Það verður því ekki full- yrt með neinni vissu að hún nái niður úr heitavatskerfinu, þó það sé sennilegasta skýringin á vaxandi hitastigli neðan 2500 m.

Á mynd 8.2 er tekið saman yfirlit yfir allar æðar í fyrstu borholunum að Laugalandi og Ytritjörnum eins og þær komu fram í hitamælingum (sjá kafla 7 um einstakar holur). Allar meiri háttar æðar í Laugalandsholunum eru á dýptarbilinu 600-1500 m. Lítið er unnt að segja um vatnsgengd vatns- kerfisins á mismunandi dýpi út frá þessum upplýsingum þar sem líklegt má telja að nær lóðréttir gangar hafi veruleg áhrif á vatnsrennslið og stað- setning holanna með tilliti til þeirra ráði því miklu um dýpt æðanna.

## 8.2 Hallamælingar í borholum.

Borhóla fylgir aldrei lóðlínu frá holutoppi niður í botn. Munurinn á stefnu holunnar og lóðlínu á hverju dýpi er kallaður halli holunnar á viðkomandi dýpi. Holum hallar mismikið og getur halli í hverri þeirra verið mjög breytilegur bæði hvað stefnu og stærð snertir. Sé halli innan við 1-2° telst hólun nokkuð bein, en mjög skakkar holur halla um 10° eða meira.

Ýmsir þættir ráða því að holur verði hallandi við borun. Talið er þó að mestu ráði þar um ólík harka mismunandi berglaga. Búast má því við að halli hólun breytist við bergganga, og er álitnið að hún sveigist nær stefnu gangansins. Sömuleiðis er talið að í lagskiptum berggrunni leitist borinn við að skera lögin undir réttu horni (90°). Séu lögin ekki lárétt sveigist hólun því að halla, sem nemur jarðlagahalla.

Ekki hefur verið lögð nægileg rækt við hallamælingar í borholum á Íslandi. Er það í nokkurri mótsögn við þær forsendur, sem iðulega liggja fyrir staðsetningu borholanna einkum á gangasvæðum. Mjög algengt er, að hólun sé staðsett þannig að hún skeri berggang á ákveðnu dýpi fylgi hún lóðlínu. Hallamæling í hólunni við borlok getur í slíku til- viki skorið úr um hvort forsendur hafi staðist, eða hvort hólun hafi farið víðsfjarri því marki, sem miðað var við. Sem dæmi má taka að 1000 m hólun, sem hallar að jafnaði um 5°, hliðrast frá lóðlínu um samtals 87 m.

Fyrir jarðhitasvæði, sem þétt er borað í, er nauðsynlegt að þekkja halla og hallastefnu borholanna, til að nákvæmur samanburður á gögnum úr mismunandi borholum á svæðinu sé mögulegur. Í þessum tilgangi hefur verið reynt að hallamæla sem flestar borholanna á Laugalandssvæðinu. Minna hefur þó orðið úr þessum mælingum, en til stóð. Ræður þar mestu, að hallamælir JHD hefur reynst illa við hærri hita en 80°C. Mælingar hafa því tekið mun lengri tíma en ella og sumar mistekist með öllu.

Í töflu 8.2 eru sýndar þær hallamælingar, sem til eru úr borholunum. Halli mælist yfirleitt á bilinu 1-3°. Mestur er hann í LJ-5 um 4°. Hallastefnan er hins vegar mjög reikul, einkum í LJ-9 og LN-10. Virðast þær stefna fyrst í eina átt og síðan í aðra. Að meðaltali hallar LG-9 þó greinilega í vesturátt, en LN-10 frekar til austurs.

Stefnubreytingarnar eru mun meiri en mælst hefur í borholum annars staðar. Stefnan er fengin við aflestur af áttavita, og kann að vera að segulstefna á Laugalandi sé mjög breytileg með dýpi t.d. vegna tíðra bergganga. Sé svo verður að grípa til annarra aðferða við hallamælingar á þessu svæði.

Tafla 8.2. Hallamælingar í borholum.

LJ-7, 8. des. '77			LJ-5, 9. des. '77		
Dýpi	Halli	Stefna	Dýpi	Halli	Stefna
50 m	0.5°	-	50 m	1.0°	-
100 m	1.0°	-	75 m	2.0°	-
140 m	1.0°	-	100 m	3.0°	-
180 m	1.0°	N25A	150 m	4.0°	N25V
			200 m	4.0°	N25V
			280 m	3.0°	N25V
LN-10, 22. febr. '78			LG-9, 22. febr. '78		
Dýpi	Halli	Stefna	Dýpi	Halli	Stefna
50 m	1.5°	S25A	50 m	1.0°	S45V
100 m	1.0°	S65A	100 m	1.5°	S45V
150 m	1.0°	N5V	150 m	1.5°	N85V
200 m	1.5°	N5A	200 m	2.0°	N65V

Tafla 8.2. Frh.

Dýpi	Halli	Stefna	Dýpi	Halli	Stefna
300 m	2.0°	N25V	300 m	2.0°	N35V
400 m	2.5°	S25A	400 m	2.0°	N25V
600 m	3.5°	S25A	500 m	2.7°	N55V
1000 m	2.0°	N5V			

### 8.3. Viðnámsmælingar í borholum.

Frankvæmd viðnámsmælinga í borholum og tilgangi með slíkum mælingum hefur verið lýst í skýrslum OS. Verður þessum atriðum ekki gerð frekari skil hér en vísað í viðkomandi skýrslur. Sjá t.d. skýrslur um borun LJ-8 að Laugalandi og GG-1 að Grísará.

Viðnám hefur verið mælt í tveimur holum í Eyjafirði, holum LJ-8 og GG-1 og eru mæliferlarnir birtir í skýrslum um borun þessara hola.

Úrvinnsla mælinganna hefur einkum verið fólgin í samanburði á viðnámsferli og jarðlagasniði, sem fengið er við athuganir á svarfi en gögn um borhraða og vídd holunnar höfð til hliðsjónar. Tæmandi skil á niðurstöðum mælinganna verða ekki gerð hér, heldur aðeins sýnd dæmi um hvernig þær eru notaðar við jarðlagagreiningu og samanburð á vatnsinnihaldi mismunandi berglaga.

Á myndum 7.4 og 7.5 eru sýndir tveir valdir hlutar úr borholum að Grísará. Eru það viðnáms- og víddarferlar auk jarðlagasniðs og borhraðalínurits. Fyrri myndin nær yfir dýptarbilið 340-540 m. Einkennist þessi hluti af berggangasyrpu, sem nær niður í um 470 m dýpi. Samkvæmt jarðlagasniðinu er hér um fjóra ganga að ræða og eru sett skil á um 350 m, 370 m og 470 m dýpi. Vídd holunnar mælist óbreytt á bilinu 380 m í 450 m, en breytileg þar fyrir utan. Bendir þetta til að bergið í stærsta ganginum sé hart og lítið sprungið, ef frá eru taldir jaðrar gangsins. Í samræmi við þetta var borhraði lágur á þessu dýpi.

Viðnámsmælingin sýnir um 300  $\Omega$  við nám í efsta ganginum, síðan fellur viðnámið í 100  $\Omega$  en er um 400-900  $\Omega$  í dýpsta bilinu 380-470 m. Þó viðnámsferillinn fylgi jarðlagasniðinu og við nám breytist við mót ganganna, er verulegur munur á viðnámi í göngunum. Við nám í vatns-sósa bergi er mælikvarði á poruhluta bergsins og eykst við nám með minnkandi poruhluta. Munurinn á göngunum, sem kemur fram á mynd 7.4 er því fyrst og fremst munur í poruhluta þessara ganga. Gangurinn, sem er á 350-370 m dýpi, virðist t.d. vera mun vatnsmeiri en gangarnir sitt hvoru megin við hann.

Neðan 470 m dýpis tekur við lagskiptur stafli. Má glögglega sjá lagskiptin í viðnámsferlinum. Mælist viðnámið lægst í millilögum en hæst á móts við miðju hraunlaga. Á 525-527 m dýpi sést vel hvernig rautt millilag kemur fram í þessum athugunum. Þar er borhraði mjög hár, við nám lágt og vídd holunnar um 5" meiri en þvermál borkrónunnar.

Mynd 7.5 sýnir mjög vel hvernig hinar ýmsu mælingar spegla lagskiptingu í jarðlagastaflanum. Fyrir lagskiptan stafla er notagildi viðnámsmælingar einkum bundið við staðsetningu lagmóta. Vegna blöndunar á svarfi á leið til yfirborðs er aðeins hægt að fá takmarkaða upplausn við svarfathuganir og staðsetning lagmóta bundin nokkurri óvissu. Viðnámsmæling getur dregið verulega úr þessari óvissu og er því við endanlega gerð jarðlagasniðs tekið tillit til lagmóta, sem koma fram í viðnámsferlinum og þau metin með öðrum gögnum.

#### Heimildir.

1. OS JHD 7724.
2. OS JHD 7833.

Sjá tilvitnanir á eftir kafla 7.



## 9. RENNSLISEIGINLEIKAR, VATNSSTÖÐUMÆLINGAR. (Þ.Th.)

### 9.1 Inngangur

Reglubundnar rennslis- og vatnsstöðumælingar hafa verið gerðar í borholum við Syðra Laugaland og Hrafnagil síðan í júlí 1976 og í borholum og laugum um miðbik Eyjafjarðar síðan í febrúar 1978. Tilgangur mælinganna er í stórum dráttum þríþættur. Í fyrsta lagi mat á rennsliseiginleikum heitavatnskerfisins við Syðra-Laugaland og viðbrögðum vatnsstöðu þess við langtíma vatnsvinnslu og þar með afkastagetu kerfisins. Í öðru lagi mælingar á afköstum einstakra borhola til hönnunar á djúpdælum þeirra og til ákvörðunar á hagkvæmum fjölda vinnsluhola. Í þriðja lagi könnun á áhrifum vatnsvinnslunnar við Syðra-Laugaland á vatnsstöðu og rennsli borhola og lauga á jarðhitasvæðum um miðbik Eyjafjarðar allt frá Grýtu og Botni annars vegar og norður að Garðsá og Reykhúsum hins vegar, vegna hugsanlegrar hólfunar svæðisins í aðskilin jarðhitakerfi.

Mælingarnar 1976 og 1977 beindust einkum að borholum í Syðra-Laugalandskerfinu og holum við Hrafnagil því að gert var ráð fyrir að minnkun rennslis úr laugum og borholum við t.d. Reykhús, Kristnes og Botn yrði fljótlega vart í vatnsskortri til upphitunar byggðarinnar þar, vegna þess hve naumt rennslið var þar fyrir. Við gangsetningu djúpdælu í holu LJ-7 í febrúar 1978 var mælistöðum hins vegar fjölgað og reglubundnar mælingar gerðar á hita og vatnsstöðu eða rennsli flestra borhola og lauga um miðbik Eyjafjarðar.

Mælingarnar hafa annast Hjörleifur Tryggvason, Ytra-Laugalandi, fram í febrúar 1978, en síðan starfsmenn Hitaveitu Aukureyrar, Ari Rögnvaldsson og Snælaugur Stefánsson. Umsjón með mælingunum höfðu starfsmenn Orkustofnunar.

### 9.2 Mælingarstaðir.

Mælingarstaðir, sem notaðir hafa verið til rennslis- og vatnsstöðumælinga, eru alls 22, þar af eru laugar og grunnar borholur 9, en borholur dýpri en 400 m, 13 talsins. Mælistaðirnir eru eftirfarandi:

Borholur dýpri en 400 mLaugar og grunnar borholur

LJ-5	Laugaland	Garðsá (laug)
LJ-6	"	Björk (laug)
LJ-7	"	Ytritjarnir (laugar)
LJ-8	"	Hóll (borholur)
LG-9	"	Brúnalaug (borholur)
LN-10	"	Grýta (laugar)
LG-11	"	Reykhús (laugar, borholur)
TN-1	Ytritjarnir	Kristnes (borholur)
TN-2	"	Hrafnagil (laug)
GG-1	Grísará	Hrafnagilslaug (syðri)
H-1	Hrafnagil	
H-3	"	
H-7	"	
H-8	"	

Staðirnir eru merktir inn á segulkortin, sjá myndir 4.1 og 4.2.

9.3 Rennsli og vatnsvinnsla

Reglubundnar mælingar á rennsli og vatnsvinnslu úr holunum við S-Laugaland hafa verið gerðar frá því í júlí 1976. (myndir 9.1 og 9.2). Lokað var fyrir holu LJ-7 8. júlí 1976, en úr henni hafði runnið 40-70 l/s frá 9. júní sama ár, og síðan fyrir holu LJ-5 21. júlí 1976, en runnið hafði óhindrað úr henni síðan í desember 1975.

Opnað var aftur fyrir um 50 l/s rennsli úr holu LJ-7 17. ágúst og reynt að halda því að mestu óbreyttu, þar til aftur var lokað fyrir holuna 16. janúar 1977, eftir 5 mánaða samfelld rennsli. Rennslið var þó aukið í 60-70 l/s í fjóra daga í nóvember 1976 til könnunar á hugsanlegum áhrifum frá iðustreymi við aukið vatnsmagn. Djúpdæla af LKH gerð, sem komið var fyrir á 93 m dýpi í LJ-7 í janúar 1978, var gangsett 8. febrúar og látin dæla 78-89 l/s í 54 daga, samtals um 260.000 m<sup>3</sup> af 94°C heitu vatni, til 4. apríl 1978. Afköst dælnnar voru þá minnkuð í 40-65 l/s til þess að hækka vatnsstöðu jarðhitakerfisins vegna gangsetningar djúpdælu í holu LJ-5, hinn 8. júlí 1978. Afköst LJ-7 voru þá aftur aukin í 70-80 l/s þar til 21. júní, er dæla hennar var stöðvuð. Heildarvatnsmagn LJ-5 og LJ-7 hafði þá numið 110-130 l/s í 12 daga samfelld.

Hola LJ-5 var opnuð í nokkrar klukkustundir í september 1976 til mælinga á iðustreymisstuðli og síðan opnuð öðru hvoru á tímabilinu jan.-júlí 1977 til afnota fyrir Jötunn við borun holu LJ-8, en auk þess runnu úr henni að staðaldri 1-2 l/s vegna byggðarinnar við Laugaland. Hún var einnig opin (rennsli 65-70 l/s) í einn sólarhring 21. september 1977 til mælinga. Holur LJ-5, LJ-7 og LJ-8 voru að miklu leyti opnar vegna viðgerða og rennslis í aðveituæð, frá því okt. 1977 til feb. 1978 er dælan var gangsett í LJ-7 og vatnsstaða holanna lækkaði niður fyrir jarðar-yfirborð. Djúpdæla af gerðinni FKL sem sett var á 90 m dýpi, var gangsett í LJ-5 hinn 8. júní 1978 og dældi hún 35-58 l/s fram til 21. júní, en síðan 40-50 l/s í aðveituæð.

Lokað var fyrir 0.5 l/s rennsli úr holu LJ-6, 21. júlí 1976, en opnað aftur 30. nóv. 1976 og látið renna til í apríl 1977 að henni var aftur lokað til vatnsstöðumælinga. Holu LJ-8 var lokað 1. júlí 1977, að aflokinni borun, en opnuð skamma stund til afkastamælinga 15. sept. 1977 og síðan aftur 26. sept. 1977 til mælinga og til afnota fyrir hitaveituna og byggðina við Laugaland. Rennsli var úr holu LG-9 og LN-10 (1-6 l/s) frá borlokum og þar til vatnsstaða þeirra dróst niður fyrir holutopp vegna vatnsvinnslunnar. Óhindrað rennsli (4-6 l/s) var úr holu GG-1 við Grísará frá borlokum til 27. jan. 1978, er rennslið var minnkað í 2-3 l/s vegna þrýstingsmælinga.

Rennsli, sem nam 20-40 l/s, var úr holu TN-1 við Ytritjarnir, frá því hún varð 475 m djúp, hinn 7. mars 1978 og þar til 31. maí 1978 er henni var lokað til þrýstingsmælinga. Rennsli úr TN-2 hófst 16. júní 1978, er hún var 909 m djúp og var orðið 20 l/s í 1001 m dýpi, 18. júní, en snérist þá við í um 20 l/s skoltap í 1422.5 m dýpi hinn 14. júlí 1978.

Rennsli hola LJ-5, LJ-7 og TN-1 var mælt með vinkilyfirfalli, þegar því varð við komið, en holur LJ-6, LJ-8, LD-9, LN-10 og GD-1 með skeiðklukku og mælistampi. Dæluafköst LJ-5 og LJ-7 hafa verið ákvörðuð reglulega í samræmi við vinnsluferla dælanna (mynd 9.5) og auk þess nokkrum sinnum í skilju við dælustöð.

#### 9.4 Vatnsstöðu- og þrýstingsmælingar

Vatnsstaða holanna við Syðra Laugaland var frá byrjun (21. júlí 1976), mæld því sem næst daglega með Bourdon þrýstimælum en þéttari mælingar

gerðar í 2-3 sólarhringa fyrst eftir opnun og lokun holanna, til könnunar á rennslisstuðlum jarðhitakerfisins. Vatnshæðarsíritar voru látnir í holur LJ-5, LJ-8, LG-9 og LN-10 fljótlega eftir að vatnsstaða þeirra lækkaði niður fyrir holutopp, eftir gangsetningu dælnnar í LJ-7, en áður hafði síriti skráð vatnsstöðu holu 7 við Hrafnagil. Yfirlit yfir vatnsstöðu holanna er að finna á myndum 9.1 og 9.2.

Sveiflur vatnsstöðunnar orsakast fyrst og fremst af vatnsvinnslu. Á Laugalandssvæðinu mældist vatnsstaða hæst +140 m frá holutopp LJ-5 í desember 1975 þegar holan var orðin 1296 m djúp, en lægst í júní 1978 meðan dælt var 110-130 l/s samtímis úr LJ-5 og LJ-7. Vatnsstaða á Ytritjarna svæðinu mældist hæst í júní 1978, +29 m frá holutoppi TN-1, en hafði lækkað í +6.5 m eftir 17-20 l/s rennsli í mánaðartíma úr TN-2.

Minniháttar sveiflur vatnsstöðunnar, sem fram koma á síritum, orsakast af loftþyngdarbreytingum, áhrifum tungls og sólar (earth tides), og áhrifum frá fjarlægum jarðskjálftum. Sveiflur vegna loftþyngdarbreytinga hafa mælst 64.3% af sveiflu loftþyngdar (1 mb  $\pm$  1 cm V.S.) í LJ-5 en 60.8% í LG-9. Áhrif tungls og sólar eru mest 4-5 sm, þegar tungl er fullt eða nýtt, og eru þær sömu í holum LJ-5, LJ-8, LG-9 og LN-10. Áhrifa frá langbylgjum tveggja fjarlæggra jarðskjálfta gætti í vatnsstöðu LJ-5, 24. mars 1978. Skjálfti á Kurileyjun, í um 7700 km fjarlægð frá Syðra Laugalandi, 7.3° á Richter kvarða, olli 7 cm sveiflu vatnsstöðunnar, en skjálfti í Kazakstan í Sovétríkjunum, 7.0° á Richter kvarða, í um 6100 km fjarlægð, olli 1 cm sveiflu. Áhrifa frá skjálftunum gætti ekki í vatnsstöðu LJ-8 og LD-9.

Beinna áhrifa frá vatnsvinnslu á Laugalandssvæðinu hefur enn sem komið er ekki orðið vart í vatnsstöðu TN-1 við Ytritjarnir, né heldur hefur rennsli úr TN-1 og TN-2 haft merkjanlega áhrif á vatnsstöðu Laugalandsholanna, LJ-5, LJ-8, LG-9 og LN-10, sem skráð hefur verið með síritum. Það er því gert ráð fyrir tveimur aðskildum jarðhitakerfum við Syðra Laugaland og Ytri Tjarnir, þar til annað kynni að koma í ljós. Áhrifa frá Laugalandsvatnsvinnslunni hefur ekki gætt í vestanverðum Eyjafirði, á Hrafnagili, Grísará og Kristnesi, en varð fljótlega vart við Brúna-laug þar sem rennsli minnkaði um helming í febrúar- mars, 1978, eftir gangsetningu dælu í LJ-7.

Áhrifa frá rennsli úr holum Ytritjarnasvæðisins hefur ekki orðið vart við Hrafnagilslaug syðri eða Kristnes. Hins vegar gæti lökkun vatnsstöðu holu H-3 við Hrafnagil, um 7 m, og GG-1 við Grísará, um 11 m, frá því í mars 1978, eftir að rennsli hófst úr TN-1, verið vísbending um tengsl þessara hola við Ytritjarna kerfið.

### 9.5 Úrvinnsla mælinga

Viðbrögð vatnsstöðu hola LJ-5, LJ-7 og að nokkru leyti LN-10 við vatnsvinnslu úr LJ-5 og LJ-7 eru á þann hátt sem vænta má vegna vatnsgengra víðáttumikilla jarðlaga milli holanna, sem afmörkuð eru á tvo eða fleiri vegu af óvatnsgengum eða minna vatnsgengum jarðmyndunum. Viðbrögðin eru sambærileg við viðbrögð vatnsstöðu margra annarra lághitavatnskerfa hér á landi, t.d. Elliðaár- og Laugarneskerfanna í Reykjavík, sem nýtt hafa verið um áratuga skeið. Vatnsstaða þessara vatnskerfa hefur frá upphafi verið í samræmi við misvægislíkingu Theis frá 1935 um samband vatnsvinnslu og vatnsstöðu í víðáttumiklum lokuðum vatnsleiðara.

$$\text{Misvægislíking Theis } h = h_0 - \frac{Q}{4\pi T} \int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du$$

er lausnin á diffurjöfnunni  $\frac{d^2h}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dh}{dr} = \frac{S}{T} \frac{dh}{dt}$ , sem gildir

fyrir óstöðugt tveggja vídda rennsli í víðáttumiklum vatnsleiðara þar sem,

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt}$$

$t$  = tími liðinn frá upphafi eða lokum dælinga (sek).

$h_0$  = upphafleg vatnsstaða (m).

$h$  = vatnsstöðuhækkun eða lökkun (m).

$Q$  = vatnsmagn vinnsluhola ( $m^3/s$ ).

$r$  = fjarlægð mælingaholu frá vinnsluholum (m).

$T$  = heildarvatnsleiðni ( $m^3/s \cdot /m$ ) = ( $m^2/s$ ).

Rennsli er mælt í  $m^3/s$ , við ríkjandi hita og 100% þrýstingsfall, um 1 meters breiða ræmu, sem er þykkt vatnsleiðarans, í metrum á hæð.  $S$  = rýmd, rúmmál vatnsins sem leiðarinn missir eða fær á hvern flatarmeter við 1 meters þrýstingslökkun eða hækkun.

Líkingin gerir ráð fyrir fjaðurmögnuðu, eingerðu vatnsgengu jarðlagi, endalausum viðáttu, milli tveggja vatnsþéttra jarðlaga. Ennfremur að leiðnin,  $T$ , sé alls staðar hin sama og að vatnið losni úr laginu vegna samþjöppunar þess og þenslu vatnsins við lækkaðan þrýsting.

Lausnin á  $\int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du$  sem oft er skrifað  $W(u)$  er röðin

$$(-0.5772 - \ln u + u - \frac{u^2}{2.2!} + \frac{u^3}{3.3!} - \frac{u^4}{4.4!} \dots)$$

Töflur eru til yfir gildi  $W(u)$  og  $u$ .

Rennslisstuðlana,  $T$  og  $S$ , má finna með samanburði á mældum ferli  $h$  á móti  $t$  og ferlinum  $W(u)$  á móti  $1/u$ . Þá má einnig finna úr líkingunni

$$h = \frac{2.3 \cdot Q}{4T} \log \frac{2.25 \cdot T \cdot t}{r^2 S}$$

eftir að  $u$  er orðið lítið í samanburði við  $\ln u$ . Ferill líkingarinnar verður þá bein lína á lín-log pappír og hefur hallann  $\frac{2.3Q}{4T}$ . Út frá rennslisstuðlunum,  $T$  og  $S$ , er síðan, fræðilega séð, hægt að reikna vatnsstöðu hvar og hvenær sem er innan áhrifasvæðis vinnsluholu, ef unnt er að staðsetja óvatnsgengar afmarkanir heitavatnskerfisins.

Lökkun vatnsstöðu holu LJ-5 og LJ-7, eftir að rennsli hófst úr LJ-7, 17. ágúst 1976, er í samræmi við hækkun vatnsstöðu holanna eftir að lokað var fyrir 53 l/s rennsli úr LJ-7, hinn 16. jan. 1977. Vatnsstaða holu LJ-5 var orðin +98 m, 22. sept. 1977, en holu LJ-7 +116 m frá holu-topp, og hafði hækkað í báðum holunum um 75-80 m á þeim 8 mánuðum síðan LJ-7 var lokað. Sama máli gegnir um skammtíma hækkun og lökkun vatnsstöðunnar, sem sýnd er á mynd 9.3, er 90 mínútna dæluhlé var gert í LJ-7, 30. mars 1978, og síriti skráði vatnsstöðu LJ-5. Rennslisstuðlar vatnsleiðaranna milli LJ-5 og LJ-7 eru ákvarðaðir á mynd 9.4 með samanburði á skráðum vatnsstöðuferli LJ-5 og ferli Theis,  $T = 0.0026 m^2/sek$  en  $S = 0.00014$ .

Samkvæmt ofangreindu má búast við um 220 m vatnsstöðulækkun í jarðhitakerfinu við Syðra-Laugaland vegna 140 l/s samfelldrar vatnsvinnslu í 7-8 mánuði, að því tilskildu að aðrennsli úr kerfinu haldist lagstreymt við aukna vatnsvinnslu, eins og það reyndist við 110-130 l/s vatnsvinnslu úr LJ-5 og LJ-7 í júní 1978. Lækkun vatnsstöðunnar fer minnkandi með tímanum en gæti þó orðið 40 m til viðbótar næstu 3-4 árin miðað við 140 l/s samfellda vatnsvinnslu, ef áhrif óvatnsgengra afmarkana hafa að fullu verið komin fram í sept. 1977, eftir 8 mánaða lokun LJ-7. Sé gert ráð fyrir upphaflegu vatnsstöðunni +100 m í LJ-5 og 140 l/s samfelldri vatnsvinnslu getur lagstreymisvatnsstaða LJ-5 að nokkrum árum liðnum verið orðin -160 m frá holutopp. Árstíðabundin vatnsvinnsla t.d. 140 l/s í 6 mánuði en 50 l/s í næstu 6 mánuði ylli um 20 m minni lækkun á sama tímabili. Við vatnsstöðulækkun jarðhitakerfisins vegna lagstreymis bætist ennfremur lækkun í vinnsluholum vegna iðustreymismótstöðu þeirra sem rætt verður um hér á eftir.

Við Ytritjarnir eru mælingar færri og skammvinnari en við Syðra-Laugaland. Vatnsleiðni kerfisins hefur verið reiknuð út frá rennslis- og þrýstiprófunum hola TN-1 og TN-2 og fengust  $T = 0.0021 \text{ m}^2/\text{sek}$ , og rýmd  $S = 0.00014$ . Vatnsgæfni er áætluð 0.5 l/s á hvern m vatnsstöðulækkunar miðað við 1 árs samfellda vatnsvinnslu. Upphaflegur stöðuprýstingur kerfisins er áætlaður +40 m og lagstreymisvatnsstaða eftir 100 l/s vatnsvinnslu í 1 ár -160 m frá holutopp.

Vatnsmagnið 140 l/s við Syðra-Laugaland er miðað við -190 m vinnsluvatnsstöðu holann, sem tiltækar eru á svæðinu sumarið 1978, 50 l/s úr LJ-5, 80 l/s úr LJ-7 en 10 l/s úr LJ-8 og/eða LN-10. Vinnsluvatnsstaðan, -190 m, takmarkast af hönnunarforsendum djúpdælanna og afköstum vinnsluholanna, auk lagstreymislækkunar jarðhitakerfisins. Við Ytritjarnir er vatnsmagnið 100 l/s einnig miðað við vinnsluvatnsstöðuna -190 m í þremur vinnsluholum. Er þetta gert í samræmi við mæld afköst hola TN-1 og TN-2 og vatnsgæfni svæðisins, sem að vísu er áætluð út frá tiltölulega skammvinnnum rennslisprófunum, auk þess að ekki er öruggt að kerfin séu algerlega afmörkuð hvort frá öðru.

#### 9.6 Afköst einstakra hola, fjöldi vinnsluhola

Afköst flestra holanna hafa verið ákvörðuð með þreparennslis og þrepa-

dælingum. Gert er ráð fyrir að vatnsstöðulækkun,  $h$ , í vinnsluholu eigi sér tvær megin orsakir. Annars vegar er lækkun í jarðhitakerfinu vegna lagstreymis, sem rætt er um hér að framan, og sem er í beinu hlutfalli við vatnsmagnið,  $Q$ , og logaritma af tíma frá upphafi dælingar eða rennslis. Hins vegar er lækkun í holunni sjálfri og í næsta námunda við hana, sem verður í beinu hlutfalli við  $Q^2$  en er óháð tíma, eða  $h = EQ + CQ^2$ . Mynd 9.6 sýnir niðurstöður þreparennslisprófunar í holu TN-1, 31. maí 1978. Látið er renna úr holunni í 4 þrepum, 8, 15, 20 og 22 l/s, í 1 klst við hvert þrep, og vatnsstöðulækkun hvern l/s reiknuð fyrir hvert þrep. Lagstreymisstuðullinn,  $B$ , varð 0.19 m/(l/s) en iðustreymisstuðullinn,  $C$ , 0.019 m/(l/s)<sup>2</sup>. Niðurstöður þrepaprófanna í öðrum holum er að finna í eftirfarandi töflu.

Hola	B m/(l/s)	C m/(l/s)	Dags.	
LJ-5	0.36	0.010	76.03.10	rennslis
LJ-5		0.018	78.06.20	djúpdæla
LJ-7	0.12	0.007	78.09.18	djúpdæla
LJ-8	3.2	0.9	77.09.16	rennslis
LN-10		0.07	78.02.08	loftdæling
TN-1	0.19	0.019	78.05.31	rennslis
TN-2	0.50	0.39	78.09.14	dælt á topp
GD-1	7.3	0.175	77.09.24	dælt á topp

Allmikil óvissa er um iðustreymisstuðul LJ-5, sem mældist 0.01 eftir borun í mars 1976 en er áætlaður 0.018 eftir þrepaðælingu með djúpdælu 20. júní 1978, og er hugsanlegt að æðin í 1297 m dýpi, 6 m frá botni holunnar, sé að einhverju leyti stífluð. Hola LN-10 hefur ekki verið þrýstiprófuð en loftdæling 8. feb. 1978 bendir til mikillar lagstreymismótstöðu við holuna, sem e.t.v. gæti minnkað væri holan þrýstiprófuð. Hrun er í holum LJ-6 og LD-9 en jarðlög LG-11 eru að kalla óvatnsgegn, sbr. þrýstiprófun 15. mars 1978.

Lækkun vegna iðustreymis í LJ-5 og LJ-7 við 50 og 80 l/s vatnsvinnslu verður skv. ofangreindum  $C$  stuðlum 45 m í báðum holum. Væru fleiri vinnsluholur tiltækar á Laugalandssvæðinu þannig að vatnsvinnsla LJ-5 og LJ-7 yrði 30 og 60 l/s, verður lækkunin 16 m og 25 m, og má þá lagstreymisvatnsstaða kerfisins lækka um 29 m miðað við vinnsluvatnsstöðuna -190 í LJ-5, sem stendur 20.5 m hærra en LJ-7. Aukning vatnsvinnslu úr



kerfinu verður þá 17-18 l/s en til þess vantar eina vinnsluholu sam-  
bærilega við LJ-7 eða tvær svipaðar LJ-5, í viðbót við LJ-5, LJ-7 og  
LN-10.

Vatnsgæfni Ytritjarnarkerfisins var áætluð 100 l/s, miðað við vinnslu-  
vatnsstöðuna -190 m og að því tilskildu að kerfið sé ekki í tengslum  
við Syðra-Laugalandskerfið. Til þess að afkasta þessu magni vantar  
a.m.k. tvær vinnsluholur svipaðar TN-1, í viðbót við TN-2, ef fóðring  
TN-1 reynist lokuð fyrir djúpdælu neðan við 125 m dýpi.

### 9.7 Djúpdælur

Það hefur komið fram hér að framan að lökkun vinnsluvatnsstöðu í vinnslu-  
holu eykur innstreymi úr jarðhitakerfinu inn í holuna í samræmi við iðu-  
streymismótstöðu hennar, og að jafnframt aukist aðstreymi úr kerfinu með  
lökkun lagstreymisvatnsstöðu þess umhverfis holuna. Til þess að lækka  
vatnsstöðu vinnsluholu er því æskilegt að dæla úr henni með djúpdælu.

Dýpi dælanna takmarkast af lyftihæð þeirra og tognun öxla því að lóð-  
rétt hlaup dælusnúðanna, sem í öxlunum hanga, er takmarkað. Tognun  
öxlanna er í beinu hlutfalli við dýpi dælu, lyftihæð hennar og þrýsti-  
stuðul viðkomandi dælugerðar, K, en í öfugu hlutfalli við öxulþver-  
málið. Í töflum 9.1, 9.2 og 9.3 hefur verið reiknaður þrepafjöldi,  
tognun og þvermál öxla, og aflþörf mismunandi dælugerða (Floway) fyrir  
dæludýpin 150 m, 200 m og 250 m. Þar kemur í ljós að hagkvæmar dælu-  
gerðir niður undir 200 m dýpi eru 12 LKH, 1460 sn/mín, og 8 JKH, 2900  
sn/mín. Við þær má nota 1 11/16" öxla, sem er staðlað öxulþvermál hér-  
lendis, ásamt samsvarandi smurrörum og dælurörum. Niður undir 250 m  
dýpi verða öxlar sverari, um og yfir 2" í þvermál, með samsvarandi  
víkkun smur- og dæluröra. Nýtni mismunandi dælugerða miðað við vatns-  
magn er sýnd á mynd 9.7.

Það er því talið hagkvæmt, a.m.k. fyrst um sinn, að miða dæludýpi við  
200 m og vinnsluvatnsstöðuna við 190 m, þar til nokkur reynsla hefur  
fengist á rekstri dælanna í því dýpi, en vegna tiltölulega mikils halla,  
t.d. holu LJ-5, (mynd 9.8) er nokkur vafi á rekstraröryggi dælanna, og  
þá sérstaklega 8" 2900 sn/mín dælanna, á miklu dýpi. Ekki er heldur

útilokað að fleiri virkjanleg jarðhitakerfi finnist í Eyjafirði þannig að vatnspörf Akureyrarbæjar verði fullnægt án þess að lækka þurfi ofangreinda vinnsluvatnsstöðu við Syðra-Laugaland og Ytritjarnir.

#### 9.8 Niðurstöður

Beinna áhrifa frá vatnsvinnslu á Syðra-Laugalands svæðinu hefur ekki gætt annars staðar í Eyjafirði en við Hól og Brúnalaug. Áhrif rennslis úr TN-1 og TN-2 við Ytritjarnir hafa heldur ekki komið fram á vatnsstöðusíritum í holum við Syðra-Laugaland né í mældu rennsli borhola og lauga við Hrafnagilslaug syrðri, Kristnes og Reykhús. Lækkun vatnsstöðu hola GG-1 við Grísará og H-3 við Hrafnagil eftir að rennsli hófst úr TN-1 og TN-2 gæti verið vísbending um vatnsfræðileg tengsl holanna við Ytritjarna kerfið.

Vatnsleiðni Syðra-Laugalands kerfisins hefur verið reiknuð  $T = 0.0026$  m<sup>2</sup>/sek og rýmd  $S = 0.00014$ . Vatnsgæfni kerfisins, miðað við vinnsluholur tiltækar sumarið 1978 og vinnsluvatnsstöðuna -190 m er áætluð 140 l/s. Ný hola jafngóð LJ-7 eða tvær holur svipaðar LJ-5 myndu auka vatnsgæfni í 158 l/s miðað við sömu vinnsluvatnsstöðu.

Vatnsleiðni Ytritjarna kerfisins hefur verið reiknuð  $T = 0.0021$  m<sup>2</sup>/sek en rýmd  $S = 0.00014$ . Vatnsgæfni er áætluð 100 l/s, miðað við ofangreinda vinnsluvatnsstöðu í þremur vinnsluholum, TN-2 og tveimur óboruðum holum.

TAFLA 9.1

Dýpi dælu= 150 m Vatnsborð = - 140 m  $P = 1.0 \text{ kg/cm}^2$ .

Dæla	Sn/mín	l/s	Þrep	Öxul þvermál	Tognun mm.	Hlaup mm.	K kg/m	Ha	Nýtni.
12 LKH	1450	35	10	1 11/16	7,1	22,2	8,94	116	73,0
-	-	45	10	1 11/16	7,1	22,2	8,94	133	80,2
-	-	60	11	1 11/16	7,2	22,2	8,94	167	82,2
12 FKL	-	35	10	1 11/16	18,2	25,4	23,10	133	60,0
-	-	45	11	1 11/16	18,3	25,4	23,10	150	68,0
-	-	60	12	1 11/16	18,6	25,4	23,10	169	78,0
10 HKH	-	35	17	1 11/16	10,1	22,2	12,96	115	73,0
-	-	45	18	1 11/16	10,1	22,2	12,96	130	77,5
-	-	54	21	1 11/16	10,3	22,2	12,96	160	72,5
10 FKH	-	35	16	1 11/16	15,4	19,0	19,82	157	<70
-	-	45	20	1 11/16	15,6	19,0	19,82	173	<70
-	-	60	22	1 11/16	15,9	19,0	19,82	189	73,0
8 HKH	2900	35	9	1 11/16	8,2	12,7	10,28	130	68,0
-	-	45	9	1 11/16	8,2	12,7	10,28	155	75,0
-	-	60	10	1 11/16	8,3	12,7	10,28	195	76,0
8 JKH	-	35	7	1 11/16	5,6	19,0	7,05	123	79,0
-	-	45	8	1 11/16	5,6	19,0	7,05	149	76,0
6 JKH	-	15	13	1 11/16	4,2	12,7	5,36	67	77,5

Tafla 9.2

Dýpi dælu = 200 m Vatnsborð = 190 m P = 1.0 kg/cm<sup>2</sup>

Dæla	Sn/mín	l/s	Þrep	Öxul þvermál	Tognun mm	Hlaup mm	K kg/m	ha
12 LKH	1450	45	13	1 11/16	12,6	22,2	8,94	173
-	-	60	15	1 11/16	12,7	22,2	8,94	227
10 FKH	-	45	27	2	19,8	19,0	19,82	240
8 HKH	2900	45	12	2	10,2	12,7	10,28	215
-	-	60	13	2	10,5	12,7	10,28	262
8 JKH	-	45	11	1 11/16	9,8	19,0	7,00	204
6 JKH	-	15	17	1 11/16	7,3	12,7	5,36	88

TAFLA 9.3

Dýpi dælu = 250 m Vatnsborð 240 m P = 1.0 kg/cm<sup>2</sup>

Dæla	Sn/mín	l/s	þrep	Öxul þverm "	Tognun mm	Hlaup mm	K kg/m	ha
12 LKH	1450	45	16	1 11/16	19,5	22,2	8,94	213
-	-	45	16	2	13,9	22,2	8,94	219
-	-	60	19	2	14,2	22,2	8,94	292
8 JKH	2900	45	13	1 11/16	15,4	19,0	7,00	243
-	-	45	13	2	11,0	19,0	7,00	253
6 JKH	-	15	21	1 11/16	11,4	12,7	5,36	101
-	-	15	21	2	8,2	12,7	5,36	101

10. HELSTU NIÐURSTÖÐUR.

(A.B.)

Í þessum kafla verður leitast við að draga saman í eina heildarmynd niðurstöður hinna ýmsu rannsóknarþátta. Tilraun er gerð til þess að setja fram líkan af jarðhitasvæðinu, sem skýrt getur niðurstöður athugananna. Þó kemur í ljós að ekki er unnt á því stigi, sem rannsóknirnar nú eru, að setja fram eitt einhlítt sannfærandi líkan. Veldur þar mestu að enn skortir ýmsar upplýsingar, bæði athuganir og mælingar svo og nánari úrvinnslu fyrirbyggjandi gagna. Stefna verður að því að fullkomna þá mynd, er nú hefur fengist af jarðhitasvæðinu, á næstu mánuðum og árum. Hér á eftir verða rakin þau helstu atriði, er varpað geta ljósi á eðli jarðhitasvæðisins í Eyjafirði.

10.1. Uppruni jarðhitavatnsins.

Telja verður nokkuð víst, að allt jarðhitavatn á Eyjafjarðarsvæðinu sé að uppruna regn, sem fallið hefur á hálendinu suður af Eyjafjarðardal og á svæðinu þaðan alla leið suðsuðaustur í Vatnajökul. Þetta er í samræmi við kenningar Trausta Einarssonar (1937, 1942) um uppruna lághitavatns á Íslandi, en verk hans eru brautryðjandi á þessu sviði. Mælingar Braga Árnasonar (1976) á deuteriuminnihaldi heita vatnsins styðja þessar kenningar eindregið. Samkvæmt þeim sígur regnvatn um sprungur niður í berggrunninn á hálendinu og leitar síðan undan halla landsins og kemur fram í laugum og lindum á láglandi. Hitastig vatnsins ræðst fyrst og fremst af því dýpi, sem það rennur á og ríkjandi hitastigi í jarðskorpunni á viðkomandi landshluta.

10.2. Rennslisleið.

Ógerlegt er að segja með vissu til um það hvaða leið heita vatnið rennur í berggrunninum. Lekt (permeability) hinna ýmsu berglaga er mjög mismunandi eftir gerð. Helstu vatnsleiðarar (nýyrði: veitir) í berglögum á Eyjafjarðarsvæðinu, sem er lagskiptur tertíer basaltstafli, eru væntanlega sprungur við ganga og misgengi, svo og grófur hraunkargi, sem fylgir sumum laganna. Helstu óvatnsgengu lögin (nýyrði: stemmir) eru innri hlutar þéttra basalhrauna og fíngerð setlög. Það gefur auga leið að lekt jarðlagastafllans hlýtur að vera mun meiri samsíða lagskiptingunni heldur en þvert á lögin. Að öllu jöfnu ætti því lekt að vera meiri samsíða stríkstefnu jarðlaga heldur en þvert á hana.

Telja verður sennilegt, að megingrunnvatnsstraumurinn gegnum jarðhitakerfið í Eyjafirði og á sama hátt meginrennslisstefna heita vatnsins suður-norður, ráðist af landslagi. Samkvæmt því liggur straumstefnan nokkurn veginn eftir Eyjafjarðardal. Í innri hluta dalsins er straumstefna samkvæmt því þvert á strikstefnu jarðlaganna en utan til nokkurn veginn samsíða henni. Ganga- og sprungustefna á svæðinu öllu liggur hins vegar samsíða áætlaðri stefnu grunnvatnsstraumsins. Sú staðreynd að þessar stefnur falla allar nokkurn veginn saman á þessu svæði er væntanlega frumorsök þess að veruleg jarðhitasvæði eru í Eyjafirði.

Samkvæmt greiningu berglaga í borholum á Laugalandi og Ytritjörnum eru efstu 300-500 metrarnir í jarðlagastaflanum úr ólivín-þóleít-hraunlögum. Slík lög renna yfirleitt sem þunn helluhraun og millilög eru þunn. Hraunlög af þessari gerð eru mjög lek í fyrstu (sbr. vegg í Ásbyrgis), en þau ummyndast og holufyllast fyrr en aðrar gerðir basalts og við ummyndunina verða þau mjög þétt. Þessi hluti staflans er því væntanlega þéttur og lekt lítil. Engar verulegar æðar eru í borholum á þessu dýptarbili. Neðan við helluhraunin taka við þóleít-lög. Þau eru þykkari, renna oft sem apalhraun og er karginn næst yfirborði þeirra þykkari og grófgerðari heldur en á helluhraununum. Þessi kargalög eru því fremur líklegar aðstreymisrásir heits vatns ofan frá hálandinu í átt til sjávar.

Þegar litið er á jarðlagastaflann í heild vex ummyndun og þar með þéttleiki bergsins með dýpi. Ekki er ljóst hversu mikil áhrif þetta hefur á lekt hinna mismunandi jarðlaga, en ljóst er að lekt ætti að minnka með dýpi. Á móti vaxandi ummyndun með dýpt kemur vaxandi hiti niður á við. Seigja vatns minnkar um það bil þrefalt við hitastigshækkun úr 20°C í 90°C og auðveldar það rennsli með vaxandi dýpi.

Berggangar skera jarðlagastaflann frá yfirborði og niður á nokkurra kílómetra dýpi. Lárétt rennsli eftir lóðréttum göngum, eða sprungum meðfram göngum, er einnig sennilegt á sama hátt og eftir láréttum lögum. Hversu mikinn þátt gangarnir eiga í aðstreymi heita vatnsins djúpt í jörðu og hversu mikið rennur eftir lögum eða lagmótum er ógerlegt að segja til um. Hvorugt nægir eitt sér til að skýra aðstreymi heits vatns alla leið innan frá jöklum út til Eyjafjarðar.

### 10.3 Þrýstingur og hitastig.

Lokunarþrýstingur fyrstu holanna, sem boraðar voru við Laugaland og Grísará var hár. Í holu LJ-5 mældist t.d. um 14 kp/cm<sup>2</sup> eftir að fyrsta æðin kom í holuna, en það svarar til 140 m vatnssúlu. Þessi mikli þrýstingur hlýtur að vera afleiðing hæðarmunar í aðstreymisrás heita vatnsins, er kemur úr suðri frá hálendinu (hydrostatiskur þrýstingur). Hæðarmunur á botni Eyjafjarðardals og hálendisins er um 1000 m. Til þess að slíkur þrýstingur geti myndast er nauðsynlegt að vatnið renni eftir meira eða minna lokaðri rás, þ.e. að ofan á rennslisleiðinni séu þétt jarðlög, sem vatnið geti aðeins treglega leitað upp í gegnum. Ætla má, að þéttu helluhraunslögin (ólivín-þóleítlögin) í efstu 300-500 metrunum virki sem lok á rennslisrásina, allavega innan sjálfs jarðhitasvæðisins og næst sunnan við það.

Ótruflaður hitastigull á Miðnorðurlandi og þar með á rennslisleið heita vatnsins og í grennd við jarðhitasvæðið í Eyjafirði er um 60°C/km. Hitastig vatnsins úr borholunum er hæst um 96°C. Þetta hitastig ætti að vera ríkjandi á 1600 m dýpi ef mið er tekið af hitastiglinum. Efnafreðilegu hitamælarnir benda ekki til verulega herra hitastigs á djúpvatninu. Þessar athuganir benda því til þess að heita vatnið fái varma sinn úr berginu niður á a.m.k. 1600 m dýpi og að meginrennsli heita grunnvatnsins sé á þessu dýpi og þar fyrir neðan. Hitamælingar úr dýpstu holunni LJ-8, svo og öðrum holum, sýna vatnsæðar með hitastig á bilinu 90-98°C allt niður á 2400 m, en þar fyrir neðan vex hitastigið nokkuð jafnt upp í tæpar 103°C á 2800 m dýpi í holu LJ-8. Þetta bendir til þess að vatnsleiðarinn geti legið á bilinu frá neðri mörkum helluhraunslaganna og niður á 2400 m dýpi en þar taki við þéttara berg. Þetta er í ágætu samræmi við að meginrennsli eða miðja leiðarans sé um eða neðan 1600 m dýpis ef gert er ráð fyrir einhverri lóðréttri blöndun vatns innan vatnskerfisins t.d. meðfram göngum.

### 10.4 Uppstreymi - laugar - jarðhitasvæði.

Langflestar, ef ekki allar laugar á jarðhitasvæðinu í Eyjafirði, eru tengdar göngum. Sumsstaðar má sjá vatnið koma upp í eða meðfram gangi og víða raða laugarnar sér á beinar línur samsíða gangi. Á nokkrum stöðum eru laugar nærri skurðpunkti tveggja ganga með mismunandi stefnu. Af þessu má draga þá ályktun að uppstreymi heita vatnsins til yfirborðs neðan úr vatnsleiðaranum, sem það rennur eftir frá suðri til norðurs

sé bundið við ganga. Aftur á móti er einnig ljóst að ekki leiða allir gangar vatn til yfirborðs. Lekt gangs er að sjálfsögðu háð gerð hans, sem aftur á móti er afleiðing ýmissa þátta eins og efnasamsetningar, storknunarsögu hans og spennuástandi í jarðskorpunni þegar gangurinn varð til. Dreifing náttúrulegs jarðhita austan og vestan megin í Eyjafirði svo og árangur borana bendir til þess að allur jarðhiti og uppstreymi jarðhitavatns sé tengt örfáum og jafnvel aðeins tveimur göngum hvor sínu megin í dalnum.

Þeirri brennandi spurningu hvers vegna jarðhiti er takmarkaður við fá afmörkuð svæði á allri rennslisleið heita vatnsins er enn ósvarað. Það svæði í Eyjafirði, sem takmarkast af Stokkahlöðum og Ytra-Gili að vestan en Björk og Grýtu að austan er eitt jarðhitasvæði samkvæmt niðurstöðum viðnámsmælinga og jarðfræðikortlagningar. Engin augljós merki sjást í jarðfræði á yfirborði hvers vegna heita vatnið streymir frekar þarna upp til yfirborðs í gegnum þéttu yfirborðslögin (hellu- hraunlögin). Aftur á móti koma fram í viðnámsmælingum línulegar misfellingur, sem stefna  $N20^{\circ}V$  og túlkaðar hafa verið sem gangar, er ekki nái upp til yfirborðs. Sé þetta rétt skerast tvö gangabelti á þessu svæði og ætti það að auka lekt berglaga og auðvelda rennsli heita vatnsins upp á við. Víða annars staðar á landinu eru jarðhitasvæði tengd skurðpunkti tveggja brotalama eða misfella í jarðskorpunni. Sem dæmi má nefna Reyki í Fnjóskadal, sem liggja annars vegar á brotalöm með mjög hallandi jarðlögum, sem stefnir norður-suður eftir Vaðlaheiðinni austanverðri og hins vegar á sprungubelti, sem stefnir norðnorðaustur í átt að Stórutjörnum.

Þótt jarðhitastaðirnir bæði austan og vestan megin í Eyjafirði séu hér taldir til sama jarðhitasvæðis á grundvelli viðnámsmælinga og jarðfræðilegrar uppbyggingar svæðisins, þarf það ekki að vera í mótsögn við þann mun á hitastigi og efnasamsetningu jarðhitavatnsins, sem fundist hefur innan svæðisins. Þennan mun má t.d. skýra með mismunandi dýpi niður á meginvatnskerfið og þar með lægra hitastigi þar sem dýpið er minna. Jarðlögum hallar líklega um  $8^{\circ}$  til suðausturs á svæðinu þannig að jarðlag, sem er á 1600 m dýpi undir Laugalandi, er á um það bil 1300 m dýpi undir Kristnesi. Miðað við hitastigul, sem nemur  $60^{\circ}C/km$  svarar það til  $96^{\circ}C$  hitastigs undir Laugalandi en  $78^{\circ}C$  undir Kristnesi. Á mynd 10.1 er sýnt jarðlagasnið undir línu, sem tengir



Kristnes og Laugaland. Sniðið er nokkurn vegin hornrétt á stríkstefnu og rennslisstefnu heita grunnvatnsins.

#### 10.5 Hittni borhola - vatnsæðar.

Vatnsæðar í borholum að Laugalandi eru mjög misstórar eða frá broti úr sekúndulítra og upp í 20-40 l/s. Sumar holur hafa óverulegar og nær engar vatnsæðar, en í öðrum holum eru margar stærri æðar. Þessi munur er einkum athyglisverður þar sem frekar stutt er á milli hola og bendir hann eindregið til þess að stærri æðarnar séu tengdar lóðréttum göngum en ekki láréttum millilögum. Reyndar koma fram æðar á ákveðnu dýpi í fleiri en einni holu, en þessar æðar eru yfirleitt litlar eða innan við 1 l/s. Sem dæmi má nefna æðar á um það bil 200 m og á 600 m dýpi, sem koma fram í mörgum holum. Þetta sýnir að lekt millilaganna, sem vatnið rennur eftir, er lítil og að ekki sé vænlegt að bora eingöngu í þau. Skurðflötur einnar holu við vatnsleiðandi millilag er allt of lítil til að verulegt vatn megi fá úr laginu með borun einnar holu. Til þess að draga saman vatn í verulega stórar æðar við þessar aðstæður er nauðsynlegt að ná vatni úr hinu vatnsleiðandi lagi á sem stærstum fleti. Slíkir snertifletir geta auðveldlega myndast á skurðlínu millilagsins og gangs, sem storknar t.d. sem lekt bólstraberg í vatnsósa millilagi. Gangurinn gæti á þennan hátt dregið vatn úr millilaginu á mörg hundruð eða jafnvel kílómetra löngum kafla. Hann virkaði þá svipað og holræsi í mýri eða skolplögn meðfram húsi, sem safnar vatni af stóru svæði. Ef gangurinn er mjög lekur getur á sama hátt safnast í hann vatn á stóru dýptarbili úr mörgum millilögum. Slíkur gangur getur einnig verið góður leiðari (veitir) jarðhitavatnsins frá hálendinu og norður eftir án þess að millilög þurfi að koma til. Borun í slíkan gang ætti að gefa mun stærri vatnsæðar en borun í millilag eingöngu. Samkvæmt ofansögðu ættu þær holur, sem skera bæði vatnsleiðandi millilag og lekan gang á sama dýpi að vera vatnsgæfustu holurnar (sjá mynd 10.1).

Niðurstöður borana á Laugalandi og Ytritjörnum benda til þess að allar stærri vatnsæðar séu tengdar einum og sama ganginum eða greinum af honum. Holur LJ-5, LJ-7 og LN-12 hafa allar stórar æðar og eru þannig staðsettar að þær ættu að skera leka ganginn. Sama máli gegnir um holur TN-1 og TN-2. Eina undantekningin er LN-10, en hugsanlegt er að hún sé ekki nógu djúp. Aðrar holur, sem staðsettar eru of fjarri þessum gangi til þess að skera hann (LJ-6) eða öfugu megin við hann eins og LG-9, LG-11 og LJ-8, hafa litlar eða óverulegar vatnsæðar. Athyglisvert

er í þessu sambandi, að LG-11 gefur ekkert vatn þrátt fyrir það að hún sker þá ganga, sem upprunalegu laugarnar komu upp með. Þetta sýnir vel hve lekt í einstökum göngum er misgóð. Hún gæti jafnvel verið breytileg eftir berggerð grannbergsins t.d. gætu sumir gangar verið lekir í apalhraunum neðan til í jarðlagastaflanum en þéttir ofan til í helluhraununum, eða öfugt.

Hittni hola á Laugalandi og Ytritjörnum hefur verið að meðaltali 50% þ.e. önnur hver hola hefur hitt á góða vatnsæð. Þrjár síðustu holur, sem staðsettar voru eftir að grunur féll á einn gang, hafa allar hitt í vatn. Verður að telja þennan árangur góðan miðað við hittni hola á blágrýtissvæðum landsins almennt.

#### Heimildir.

Trausti Einarsson: Über eine Beziehung zwischen heißen Quellen und Gängen in der Isländischen Basaltformationen. Greinar I. 2., 135-145, 1937.

Trausti Einarsson: Über das Wesen der heißen Quellen Islands. Rit XXVI, 1942.

Bragi Árnason: Groundwater systems in Iceland. Rit XLII, 1976.

11. TILLÖGUR UM FREKARI RANNSÓKNIR OG BORANIR. (A.B.)

Ljóst er að afla þarf meira vatns fyrir Hitaveitu Akureyrar og eru einkum tvö sjónarmið, sem ráða stefnunni í því máli:

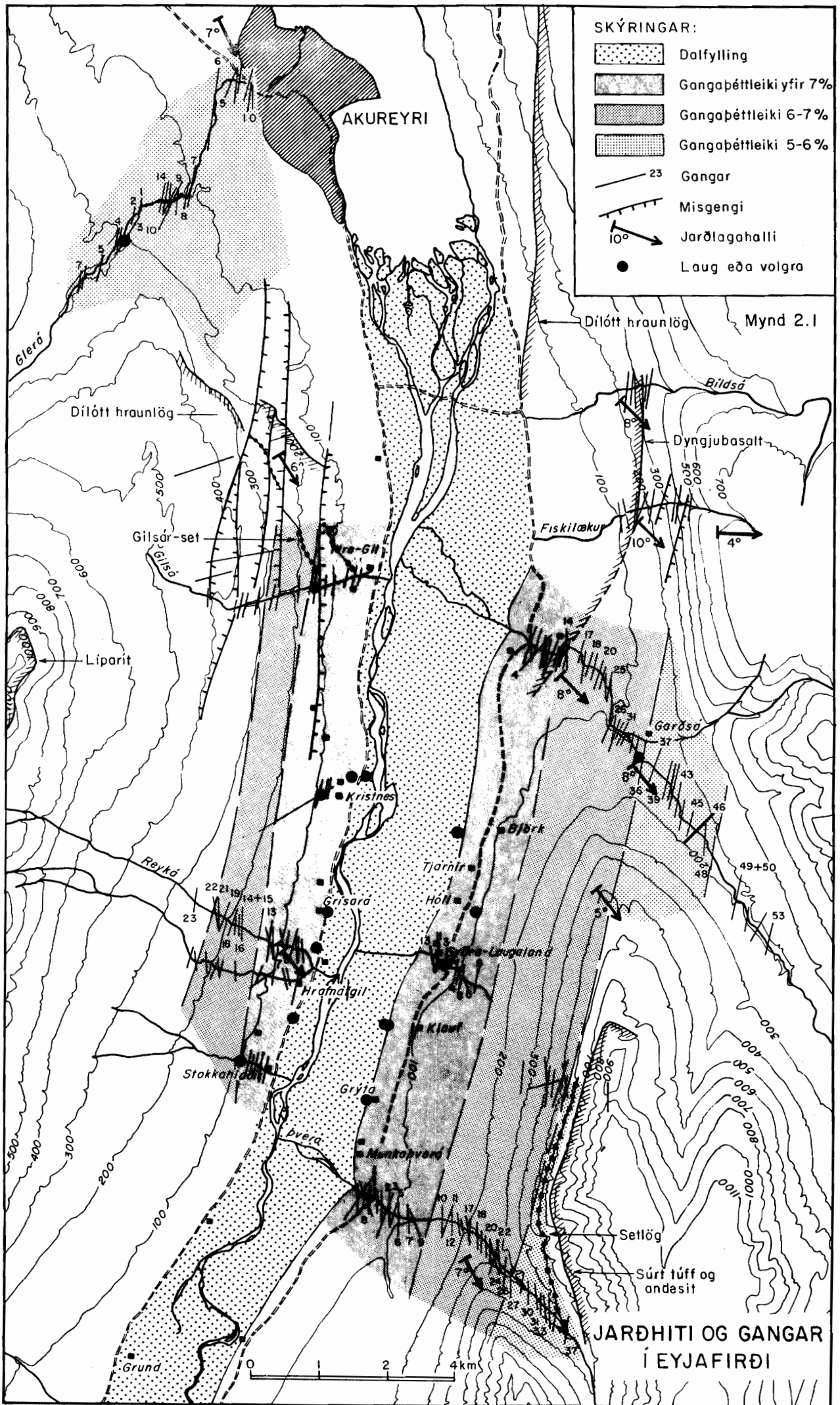
- A. Áframhaldandi borun á núverandi vinnslusvæðum að Laugalandi og Ytritjörnum ásamt endurbótum og viðgerðum á eldri holum eins og LN-12, TN-1 og TN-2. Með þessu er einkum stefnt að því að tryggja vinnslu þess vatnsmagns, sem álitíð er að ná megi af svæðunum tveimur auk þess að reyna að fá meira vatn.
- B. Leit að auknu vatnsmagni á öðrum jarðhitasvæðum, sem eru lítt eða ekki tengd núverandi vinnslusvæðum. Álitlegustu jarðhitastaðirnir í næsta nágrenni Akureyrar og núverandi mannvirkja H.A. í þessu skyni eru við Brúnalaug, Grýtu og jafnvel Kristnes. Á þessum stöðum er forrannsóknnum að mestu lokið. Einnig koma til álita svæðin á Þelamörk, í Ytra-Gili og Glerárgili, en þau eru þó talin síður vænleg til árangurs. Forrannsóknir eru þar of skammt á veg komnar til að unnt sé að staðsetja borholur. Hvað fjarlægari jarðhitasvæði snertir eru Reykir í Fnjóskadal langvænlegasta svæðið til vatnsöflunar.

Gera þarf margvíslegar rannsóknir bæði til þess að staðsetja einstakar borholur og eins til þess að fylla upp í þá mynd, er fengist hefur af vinnslusvæðum HA. Þessum rannsóknnum mætti skipta í eftirtalda fimm flokka:

1. Þjónusta við boranir. Hér er átt við ýmsar mælingar í borholum eins og hitamælingar, hallamælingar o.fl., sem gerðar eru til að auðvelda ákvarðanatöku um framkvæmd borunar meðan á borun stendur og eins til að afla upplýsinga um eiginleika einstakra hola og jarðhitasvæðið. Til þessa flokks teljast einnig þrýstiprófanir á holum í borlok og svarfgreining, sem fer fram á borstað.
2. Eftirlit með jarðhitasvæði í vinnslu. Mjög mikilvægt er að fylgjast með öllum breytingum á jarðhitasvæðinu, einkum þeim, sem eru afleiðingar borana og vatnsvinnslu. Í þessu skyni þarf að mæla reglulega vatnsstöðu og þrýsting á sem flestum stöðum á svæðinu. Einnig

væri rétt að gera nákvæmar ( $\pm 1$  cm) hæðarmælingar eftir nokkrum línunum yfir vinnslusvæðin til þess að fylgjast með hugsanlegu landsigi samfara vatnsvinnslunni. Mælingar slíkra hæðarbreytinga gætu gefið upplýsingar um eðli vatnskerfisins

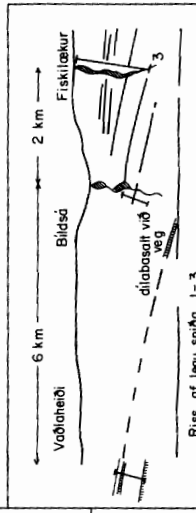
3. Heildarkönnun Eyjafjarðarsvæðisins. Þrátt fyrir viðamiklar rannsóknir, sem fram hafa farið á jarðhitasvæðinu í Eyjafirði, bæði með mælingum og borunum, skortir enn ýmsar upplýsingar til þess að setja fram sannfærandi heildarmynd af jarðhitakerfinu og vinnslueiginleikum þess. Nauðsynlegt er að gera nokkrar frekari athuganir og mælingar. Má þar einkum nefna framlengingu segulkorta, nánari athugun á efnafræði heita vatnsins og jarðfræðikortlagningu lengra suður í hálendið, svo og athugun tengsla jarðhita og ganga. Einnig þarf að vinna áfram úr þegar fengnum gögnum og gera líkanreikninga. Mjög mikilvægt væri að finna tölfræðilegt líkan, er skýrði helstu atriði um rennslisleiðir og rennsliseiginleika jarðhitavatnsins.
4. Staðsetning borhola á Eyjafjarðarsvæðinu. Gera þarf nokkrar athuganir, bæði jarðfræðilega kortlagningu og jarðeðlisfræðilegar mælingar, áður en unnt er að staðsetja fleiri holur á jarðhitasvæðinu. Þetta á einkum við um Grýtu, en nær öllum forrannsóknum er lokið við Laugaland, Ytritjarnir, Brúnalaug og Kristnes.
5. Rannsókn nýrra jarðhitasvæða. Hefja ætti forrannsóknir á öðrum þeim jarðhitastöðum, er til greina koma til vatnsöflunar fyrir HA. Slíkar rannsóknir væru fyrst og fremst jarðfræðikortlagning og ýmsar mælingar, sem hefðu það að markmiði að staðsetja eina eða fleiri rannsóknarholur. Þau svæði, sem rétt væri að athuga, eru við Gilsá (Ytra-Gil), að Laugalandi á Þelamörk, í Glerárgili og að Reykjum í Fnjóskadal.



# Jarðlagasnið í nágrenni Laugalands/Eyjafirði.

1100 m  
1000 m  
900 m  
800 m  
700 m  
600 m  
500 m  
400 m  
300 m  
200 m  
100 m  
0

1100 m  
1000 m  
900 m  
800 m  
700 m  
600 m  
500 m  
400 m  
300 m  
200 m  
100 m  
0



- SKÝRINGAR
- Rétt pölun
  - Ólög pölun
  - ▲ Óreglugleið pölun
  - ▨ Pöleit
  - ▧ Ólavin pöleit (einflöð lög)
  - ▩ Ólavin pöleit (beltuð lög)
  - Dillt basait
  - Setlag

Riss af legu sniða 1-3

Færsla austur að gili

Farið upp mikinn bratta, klettött

Slakki, Óli dýpkar

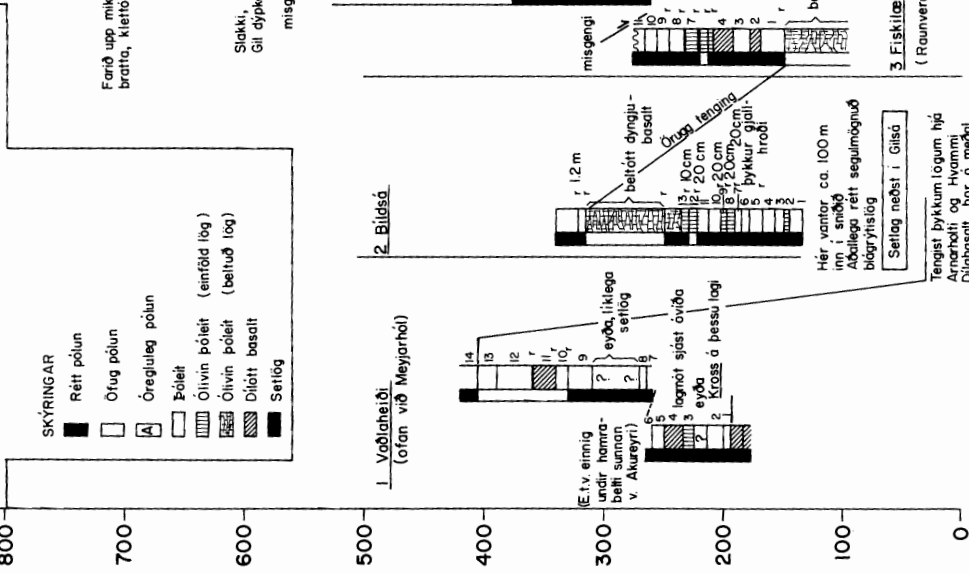
misgengi

Örugg tenging

Örugg tenging

Örugg tenging

Örugg tenging



Hér, vantar ca. 100 m Áttalegrætt segumagnuð þögrytslög bykkur gíall-hroði  
Tengist þykkum lögum hjá Arnarhöfili og Hvammi Dálbasaiti þar á meðal

Í E.t.v. einnig undir hámra-belli sunnan v. Akureyri  
Hér, vantar ca. 100 m Áttalegrætt segumagnuð þögrytslög bykkur gíall-hroði

Hér, vantar ca. 100 m Áttalegrætt segumagnuð þögrytslög bykkur gíall-hroði

Hér, vantar ca. 100 m Áttalegrætt segumagnuð þögrytslög bykkur gíall-hroði

Hér, vantar ca. 100 m Áttalegrætt segumagnuð þögrytslög bykkur gíall-hroði

Hér, vantar ca. 100 m Áttalegrætt segumagnuð þögrytslög bykkur gíall-hroði

Hér, vantar ca. 100 m Áttalegrætt segumagnuð þögrytslög bykkur gíall-hroði

Hér, vantar ca. 100 m Áttalegrætt segumagnuð þögrytslög bykkur gíall-hroði

Hér, vantar ca. 100 m Áttalegrætt segumagnuð þögrytslög bykkur gíall-hroði

Hér, vantar ca. 100 m Áttalegrætt segumagnuð þögrytslög bykkur gíall-hroði

Hér, vantar ca. 100 m Áttalegrætt segumagnuð þögrytslög bykkur gíall-hroði

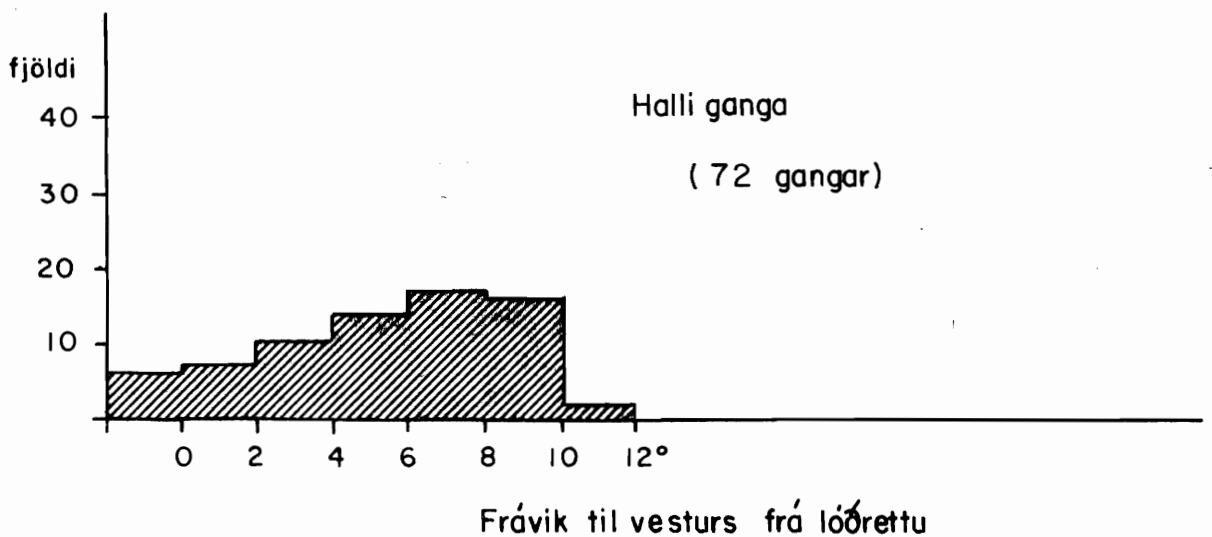
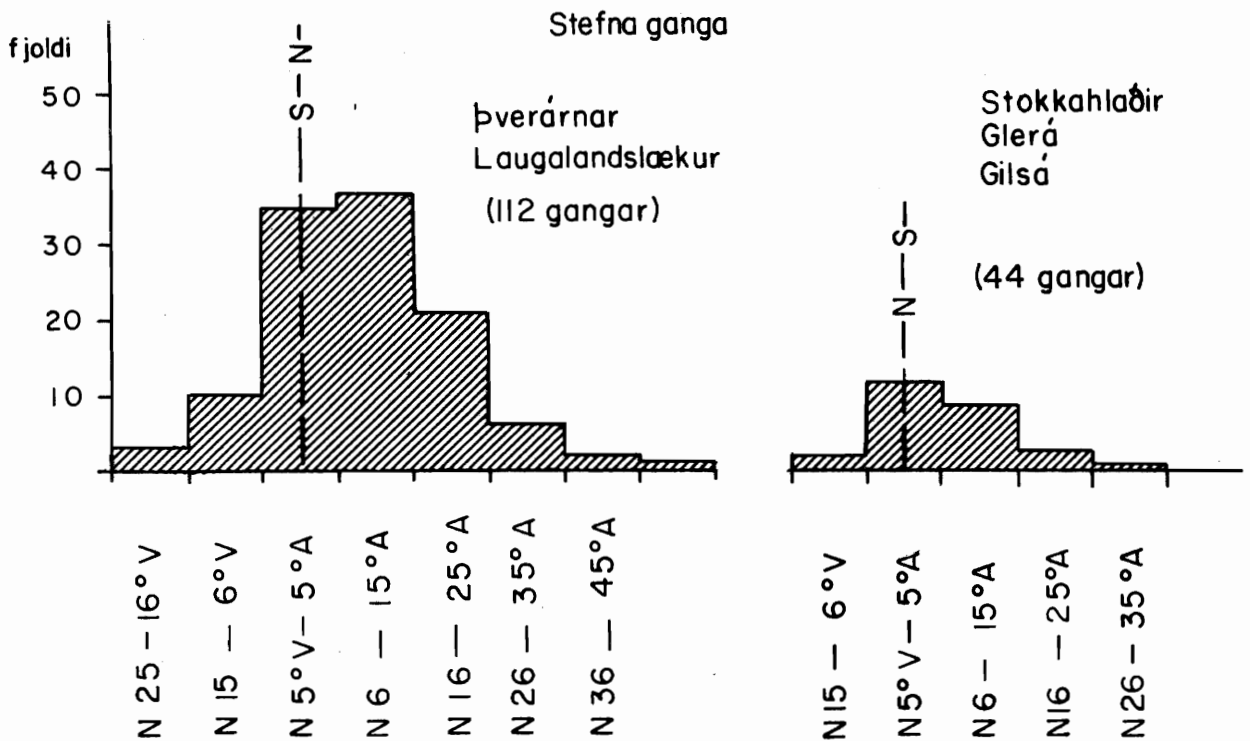
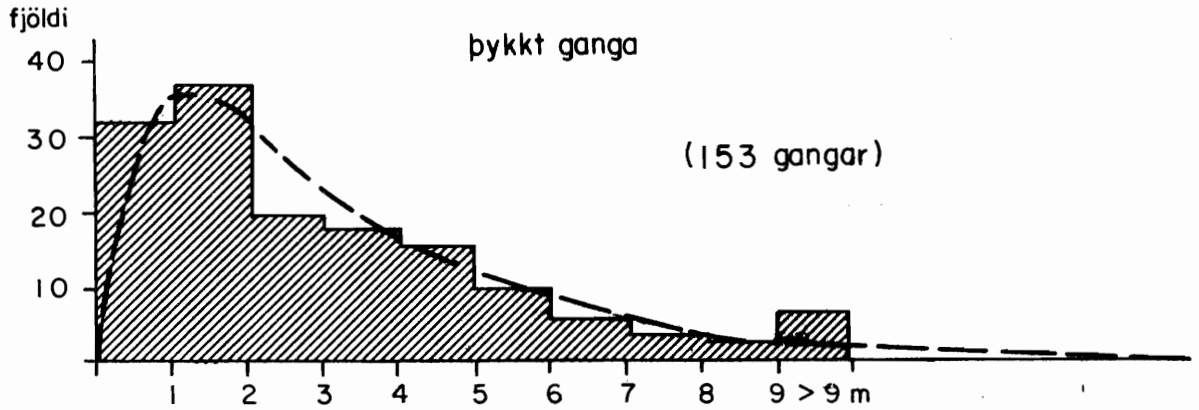
Hér, vantar ca. 100 m Áttalegrætt segumagnuð þögrytslög bykkur gíall-hroði

Hér, vantar ca. 100 m Áttalegrætt segumagnuð þögrytslög bykkur gíall-hroði



þykkt stefna og halli ganga  
í Eyjafirði mælt í folti

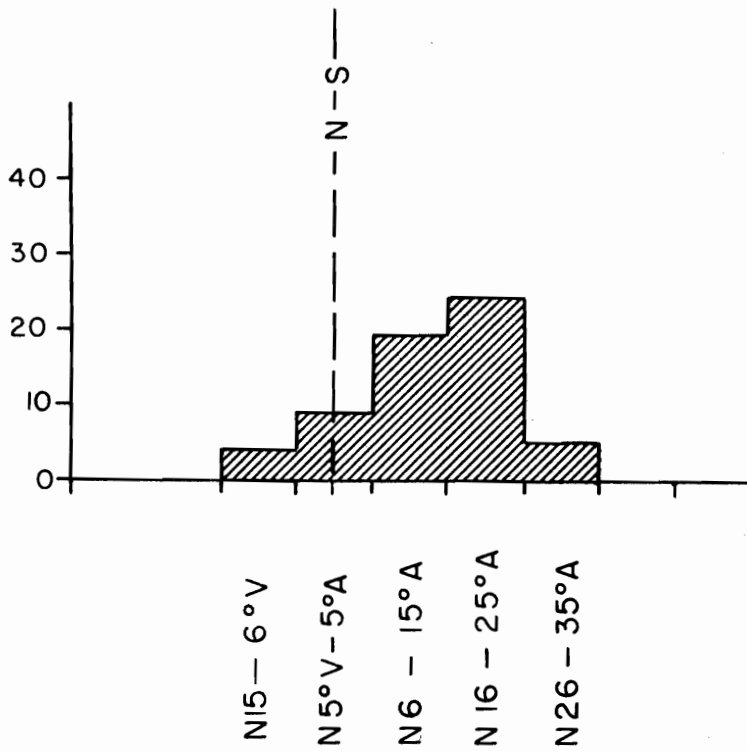
Mynd 2.3



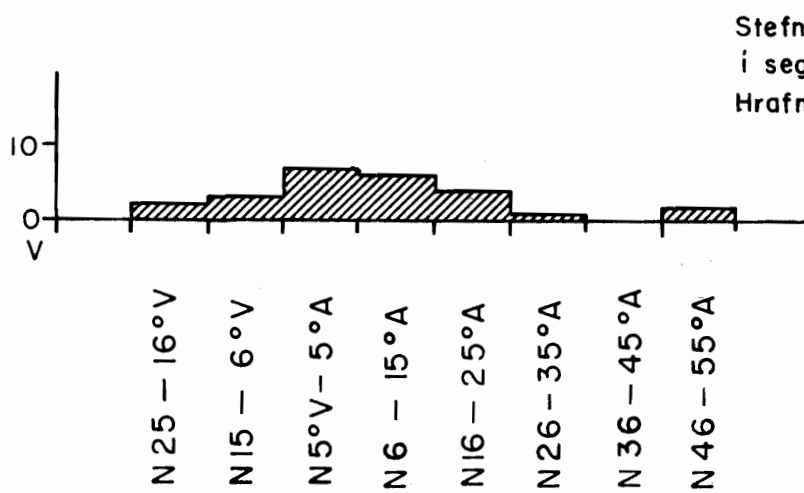


Línuleg frávik í segulkorti

Mynd 4.3



Stefna línulegra frávika  
í segulkorti  
Björk — Grýta



Stefna línulegra frávika  
í segulkorti  
Hrafnagil — Reykhús





ORKUSTOFNUN  
Jarðkönnunardeild

SCHLUMBERGER - MÆLINGAR

Staðsetning og stefnur

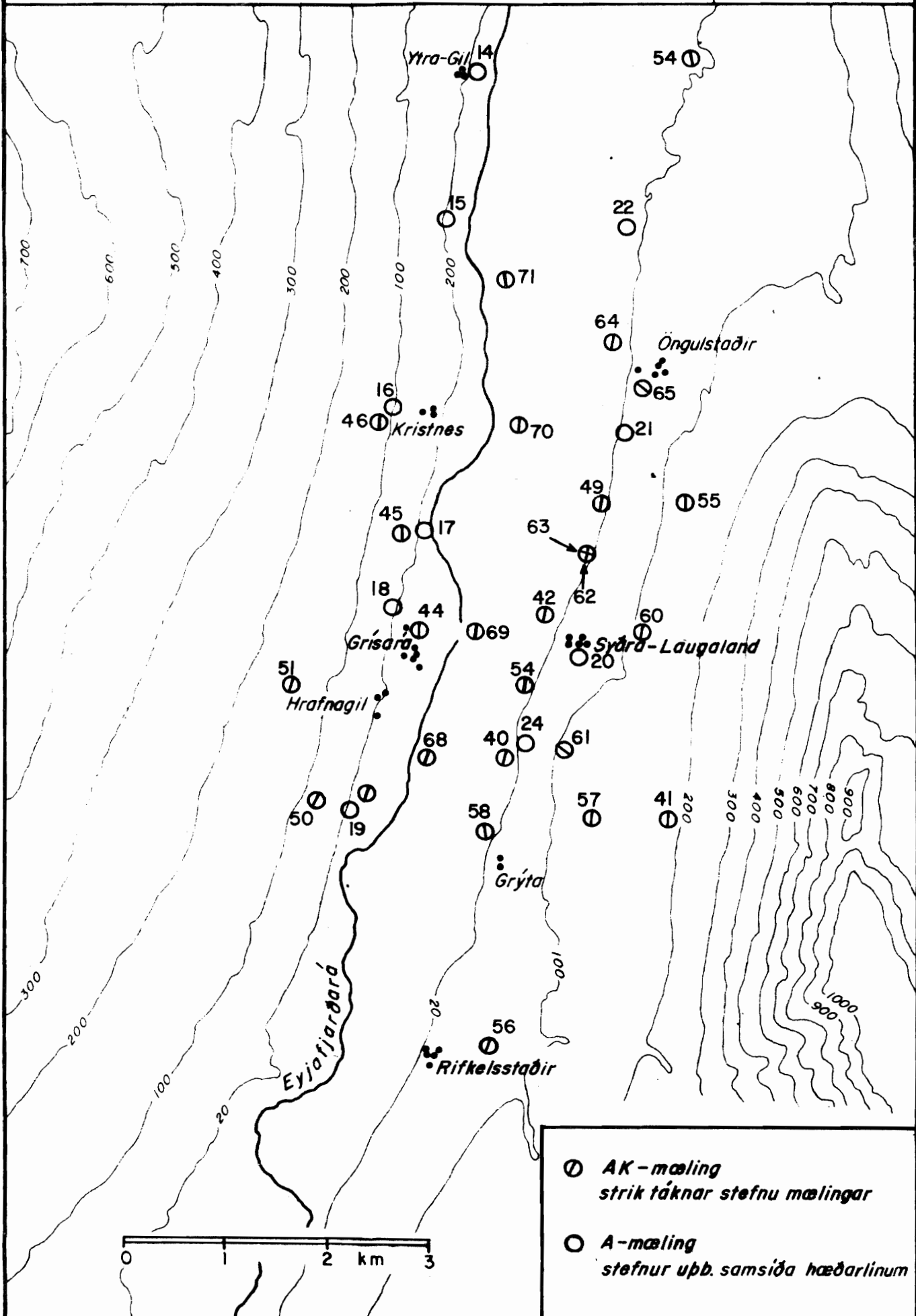
Mynd 5.1

11.4.1978 F.P./Gyða

T-2213 T-162

Viðnám J-Eyjafj.

F-16819



- ⊙ AK-mæling  
strik táknað stefnu mælingar
- A-mæling  
stefnur upp. samsíða hæðarlínum



ORKUSTOFNUN  
Jarðkönnunardeild

EQUATORIAL - TVÍPÓLMÆLINGAR  
Staðsetning

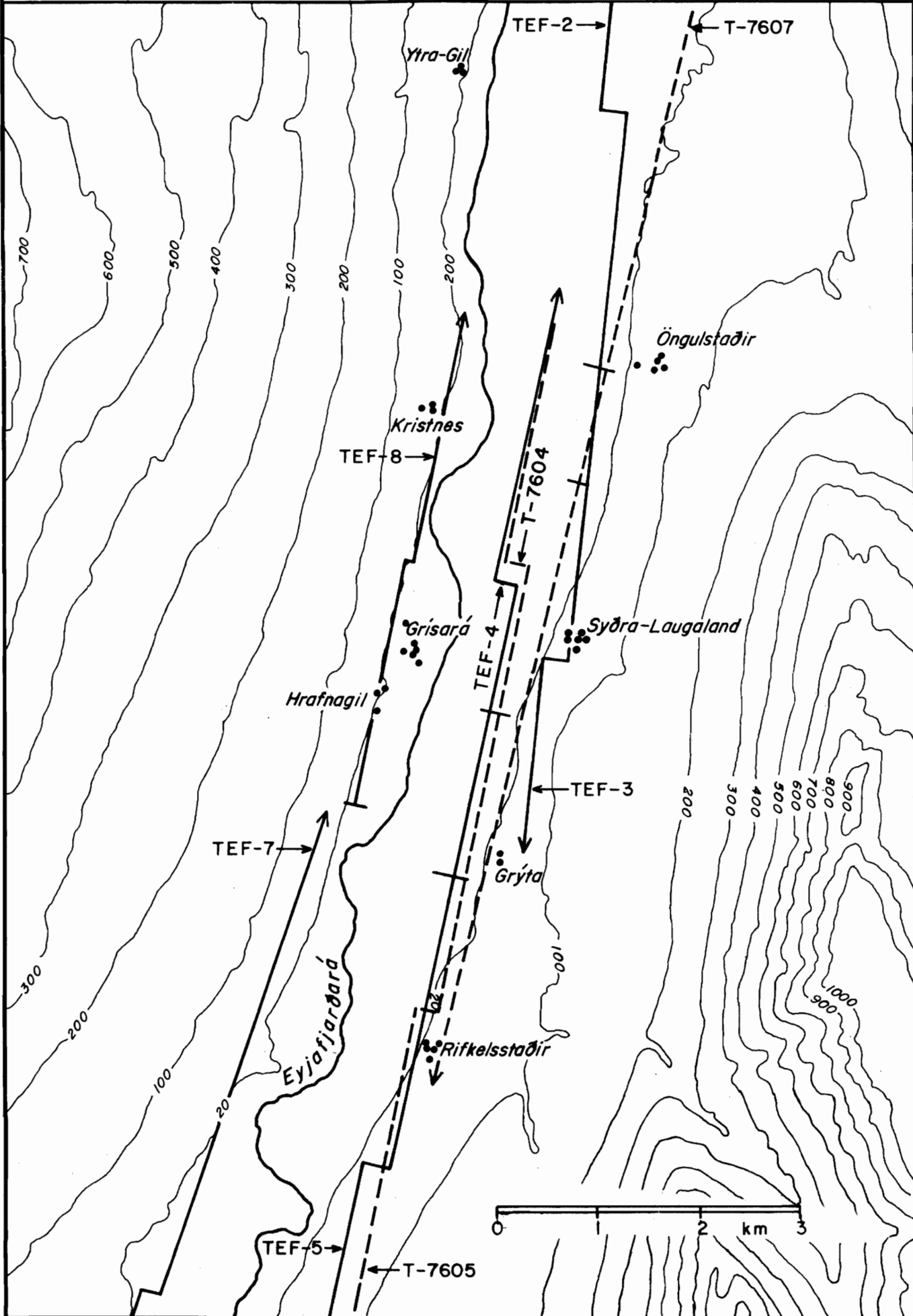
12.4.1978 F.Þ. / Gyða

T-2218 T-167

Viðnám J - Eyjafj.

F-16824

Mynd 5.2





ORKUSTOFNUN

Jarðkönnunardeild

PÓLAR - TVÍPÓLMÆLINGAR

Staðsetning

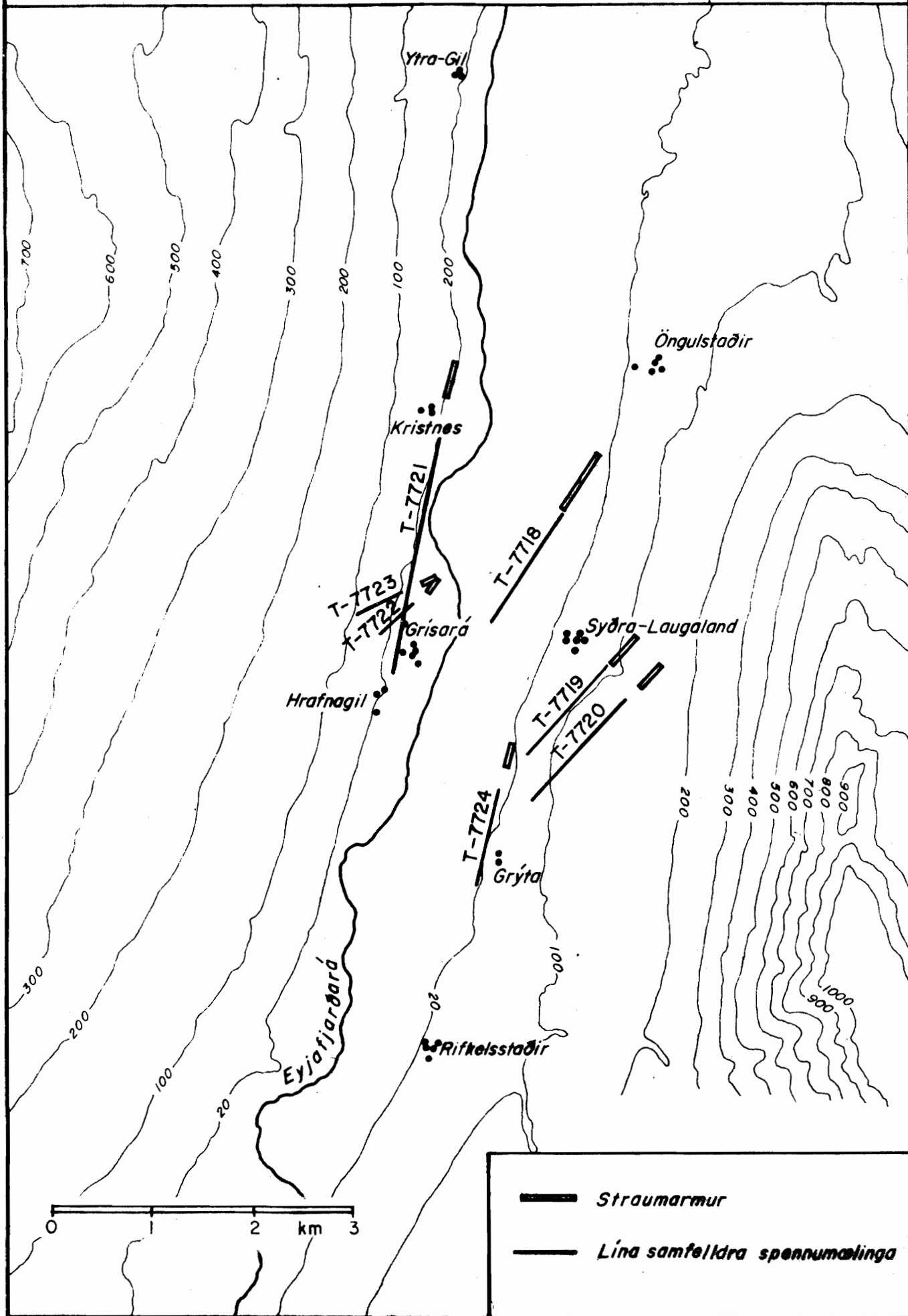
11.4.1978 FP/Gyða

T-2212 T-161

Viðnám J-Eyjafj.

Mynd 5.3

F-16818





ORKUSTOFNUN  
Jarðkönnunardeild

SCHLUMBERGER - MÆLINGAR  
Jafngildislínur sýndarviðnáms

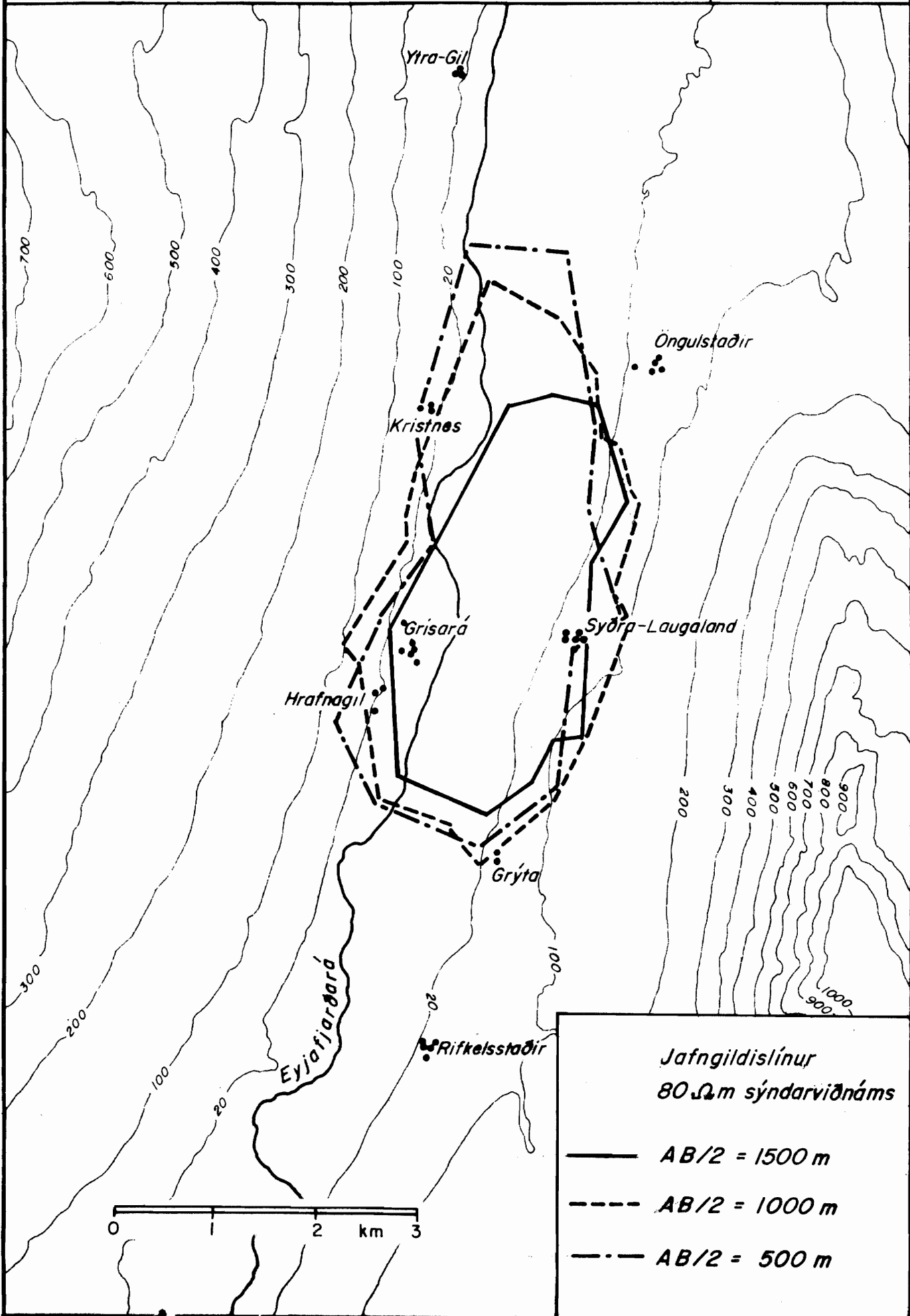
Mynd 5.4

II.4.1978 FP/Gyða

T-2214 T-163

Viðnám J-Eyjafj.

F-16820

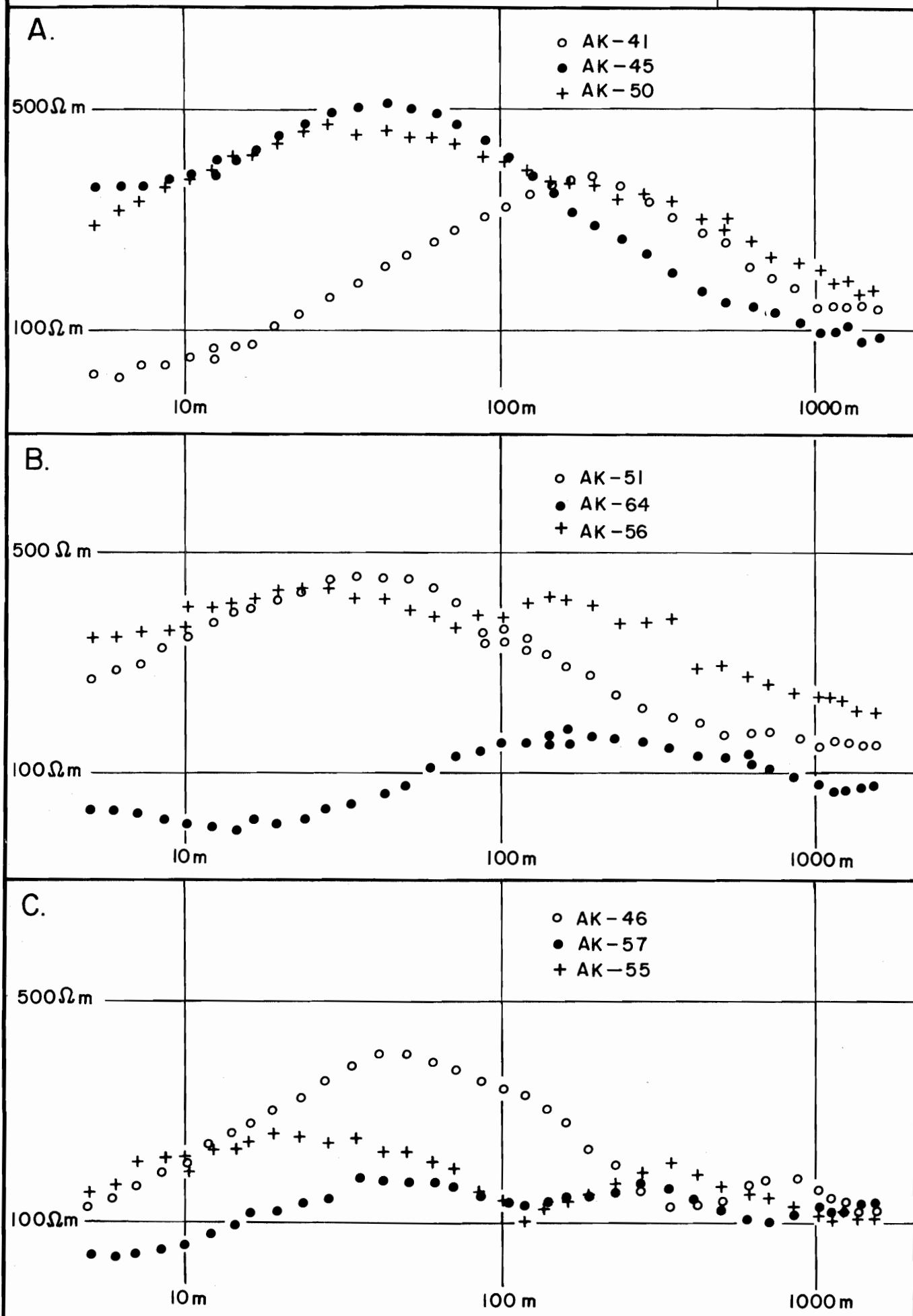


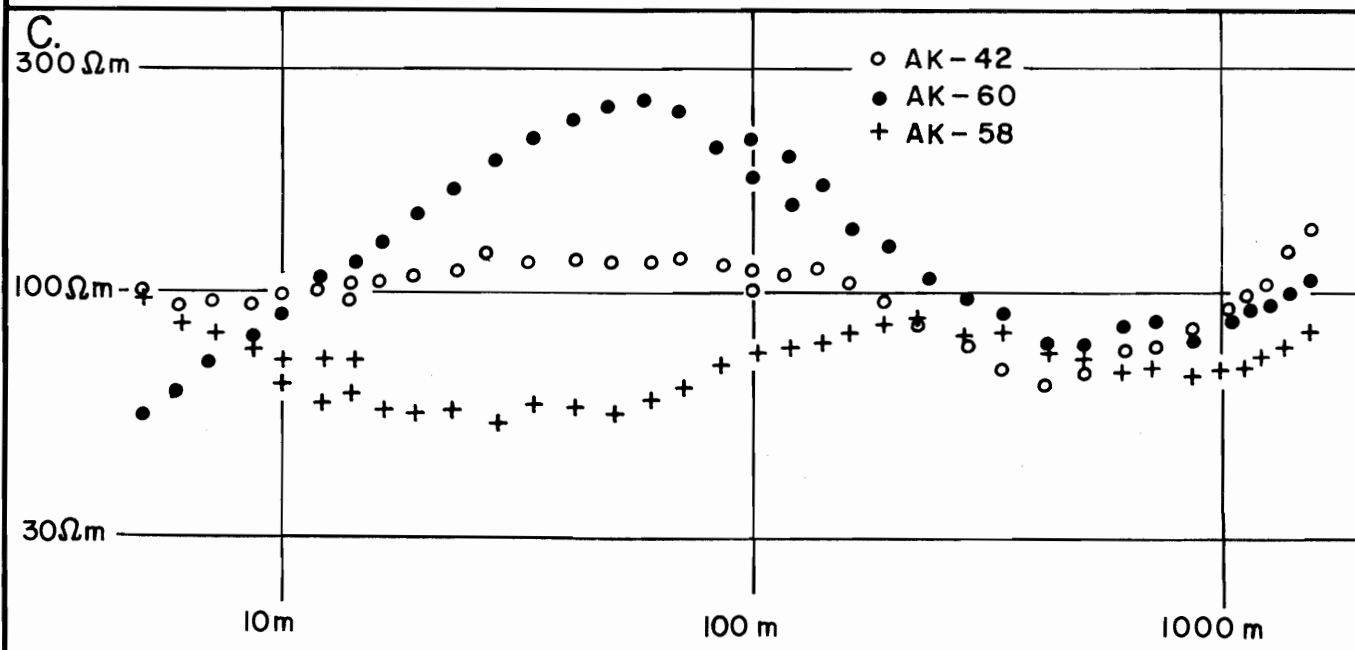
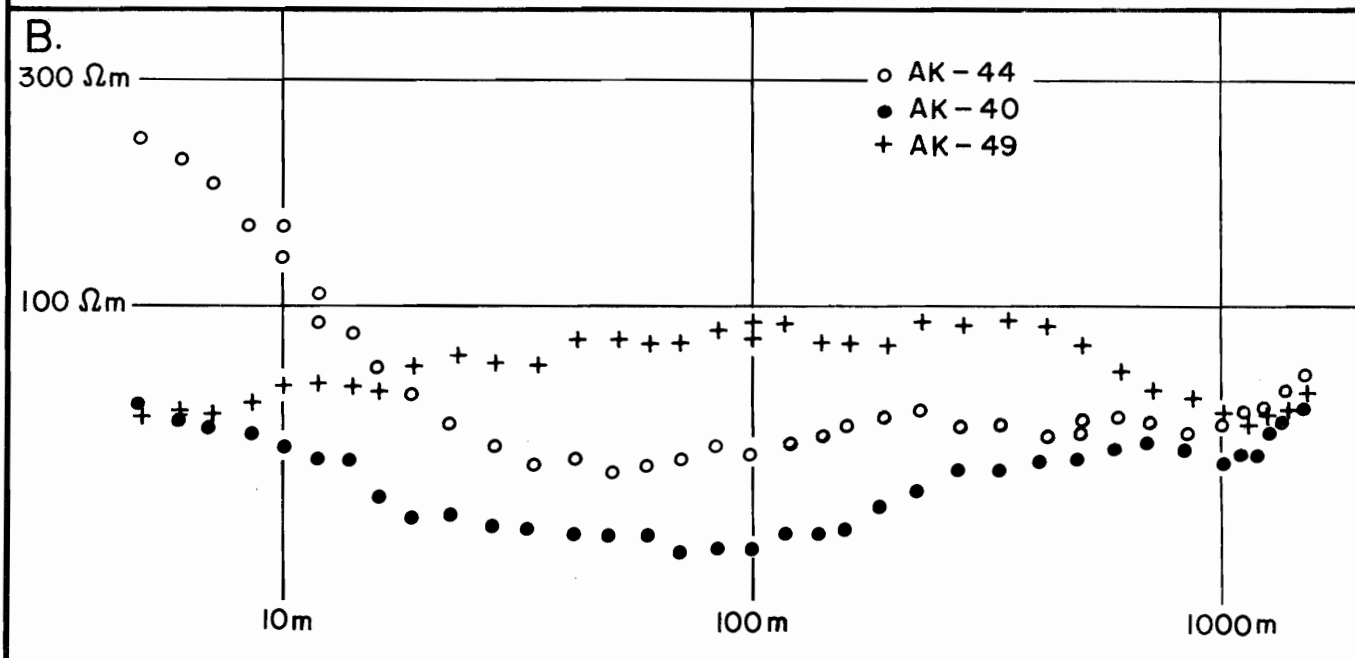
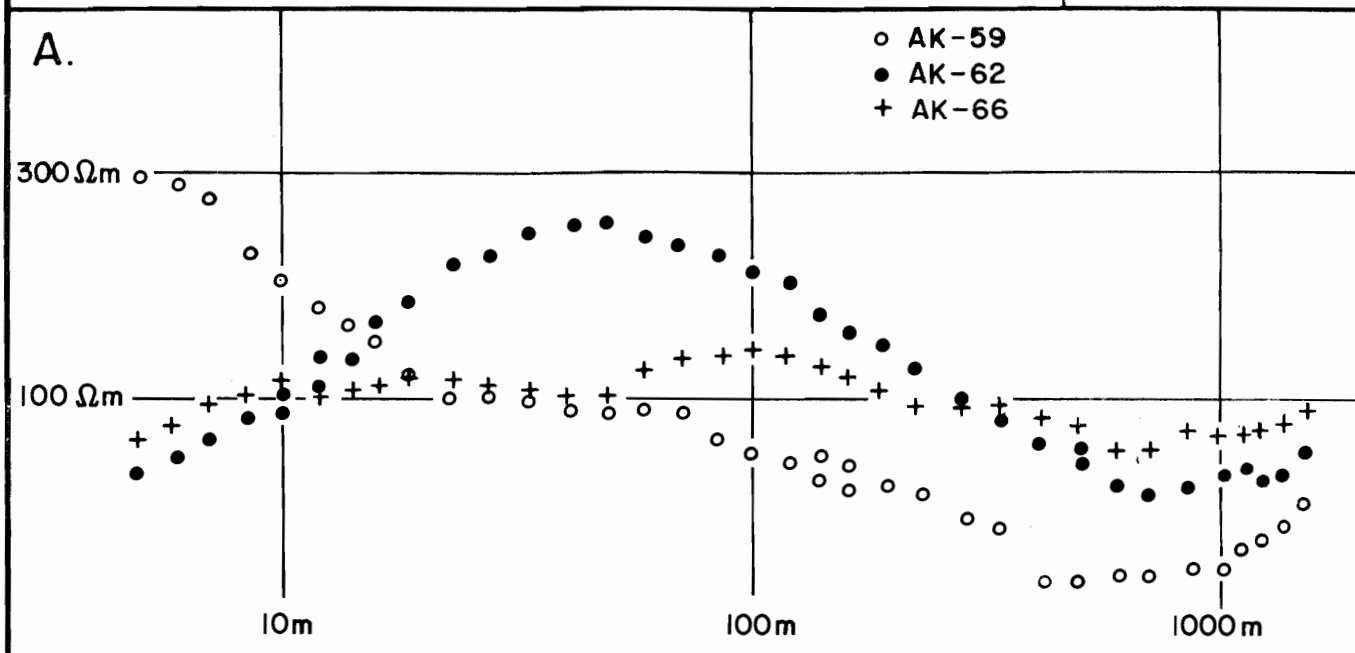
Jafngildislínur  
80  $\Omega$  m sýndarviðnáms

—  $AB/2 = 1500\text{ m}$

- - -  $AB/2 = 1000\text{ m}$

- · -  $AB/2 = 500\text{ m}$







ORKUSTOFNUN

Jarðkönnunardeild

Schlumberger - mælingar

Óeðlilega krappir ferlar og túlkun þeirra sem lárétt viðnámslög

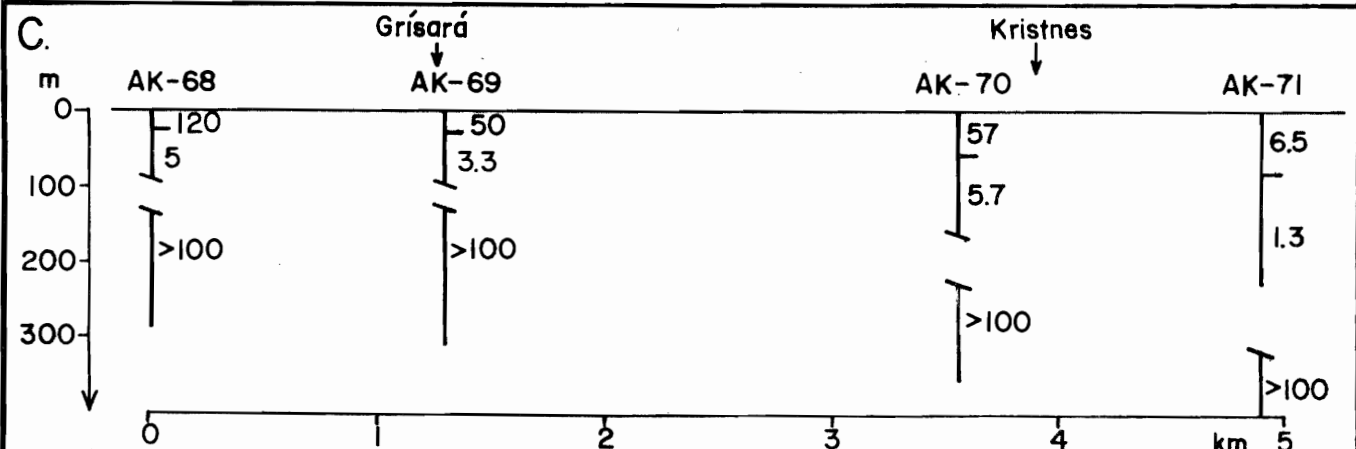
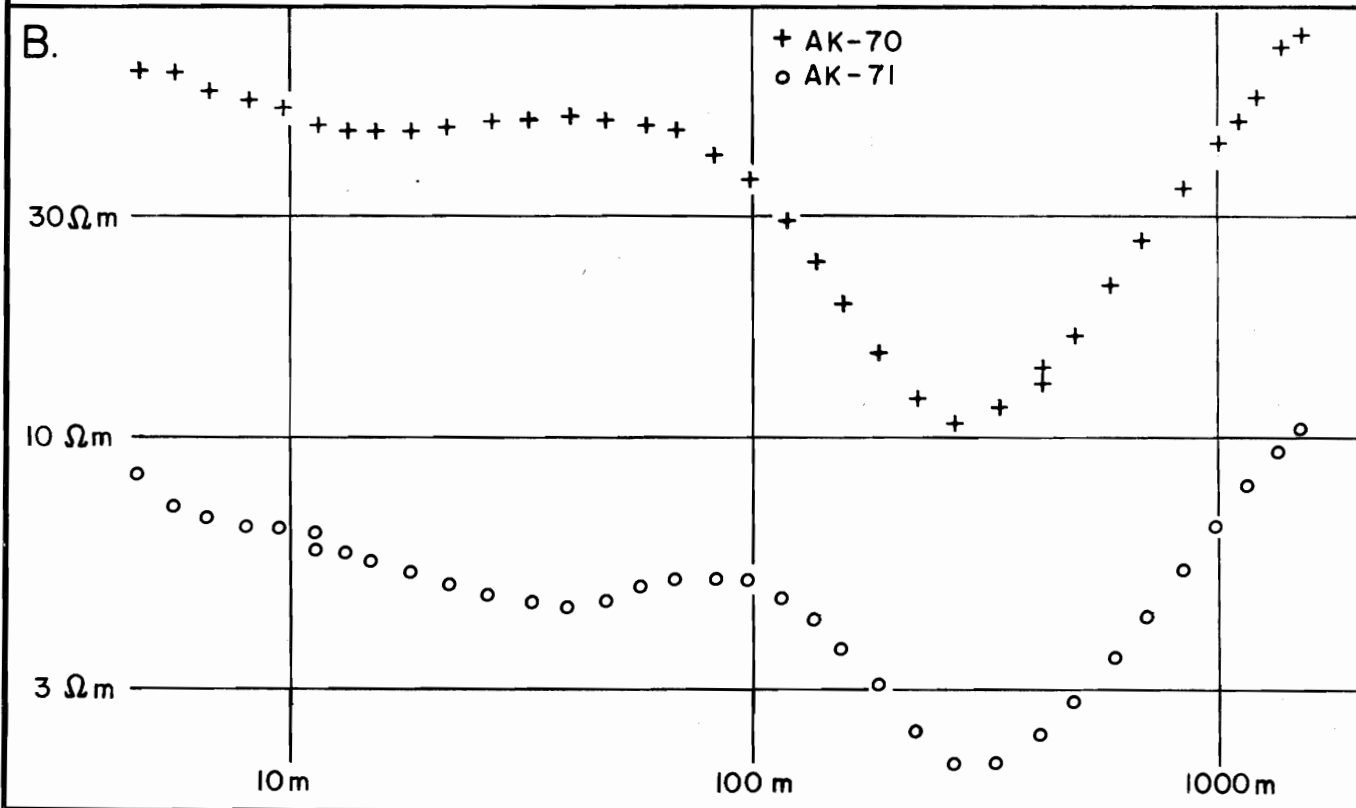
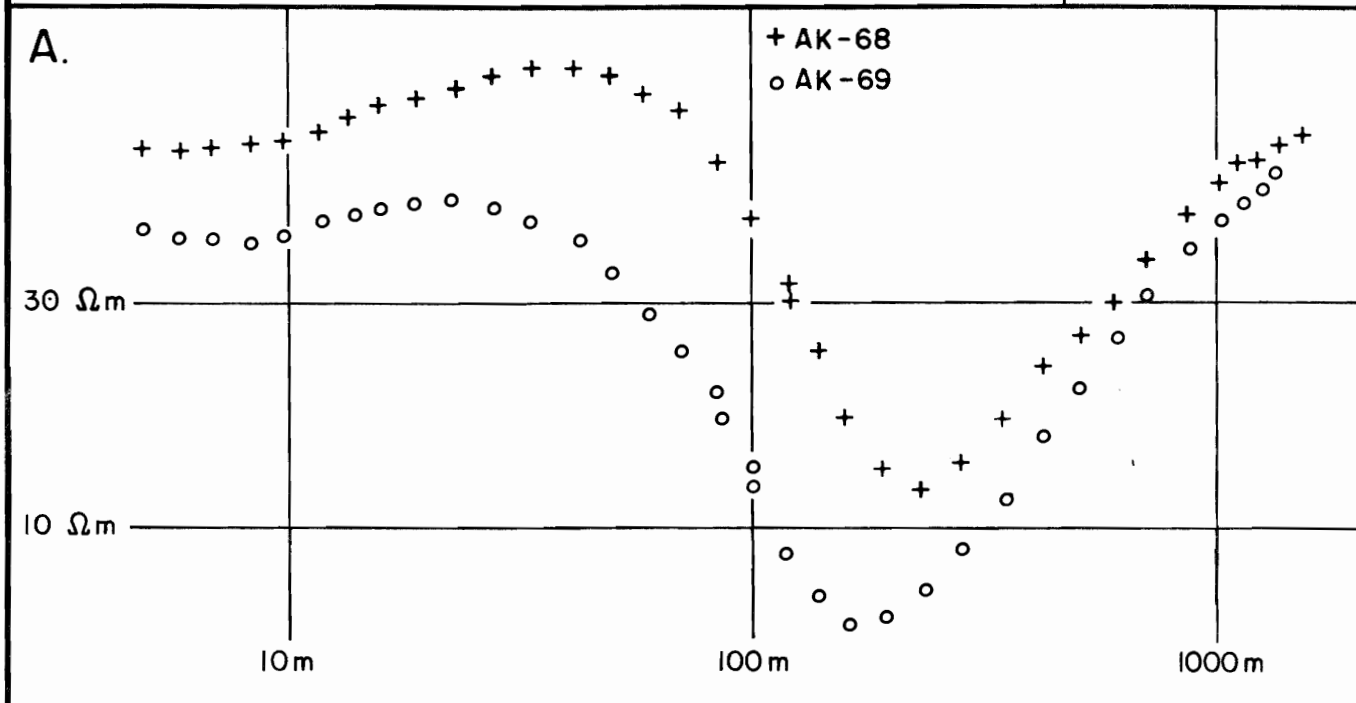
Mynd 5.7

5.4.1978 F.P./Gyða

T-2217 T-166

Viðnám J-Eyjafj.

F-16823





ORKUSTOFNUN

Jarðkönnunardeild

SCHLUMBERGER - MÆLINGAR

Flokkun eftir útliti

78.04.26. FP/GSJ

T.2223

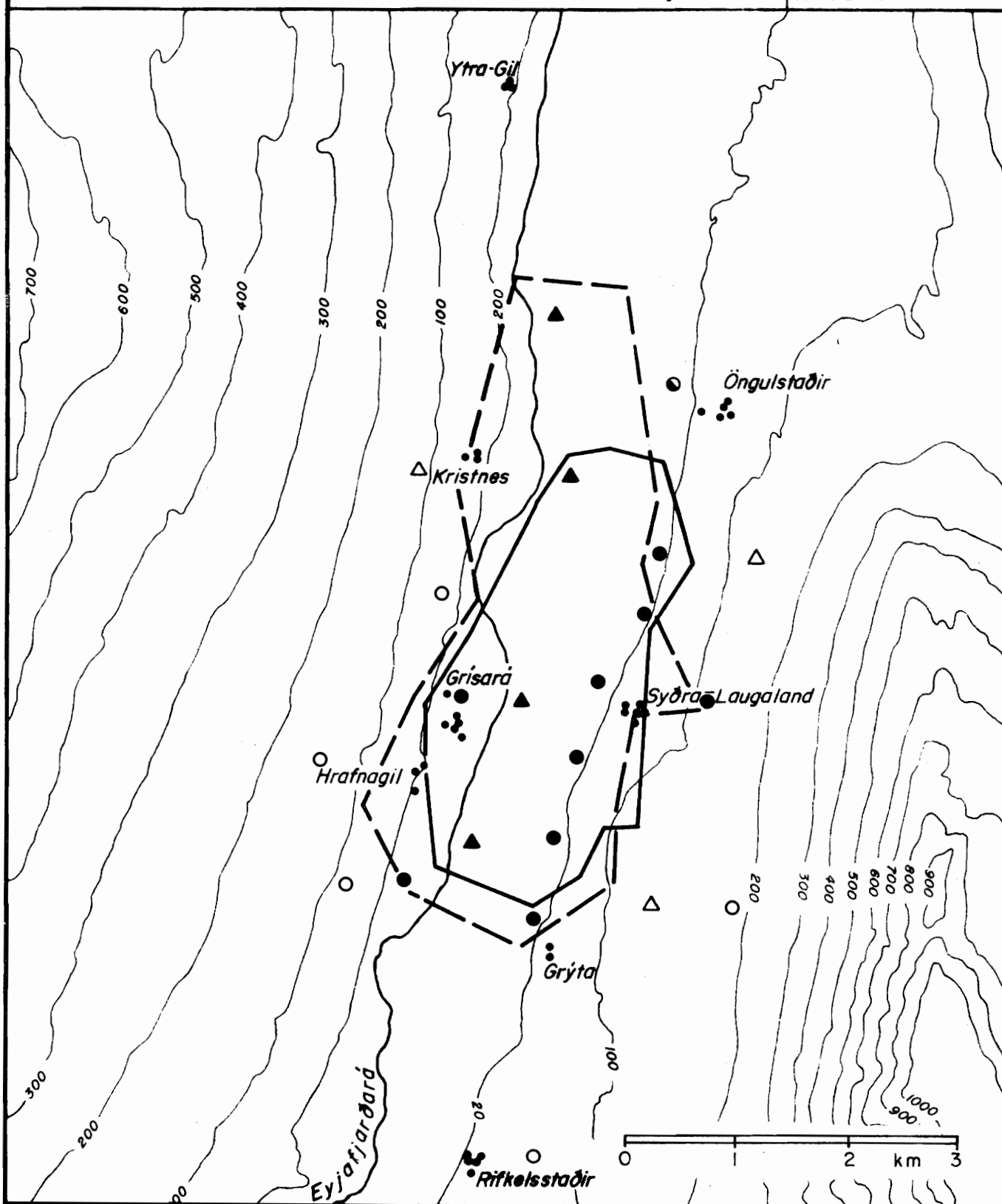
T.172

Viðnám

J-Eyjafj.

Mynd 5.8

F.16846



● Mæling sýnir lág-viðnám, <math>< 100 \Omega m</math>  
sbr. mynd 5.6

▲ Óæðlilega krappir H-færlar,  
sbr. mynd 5.7

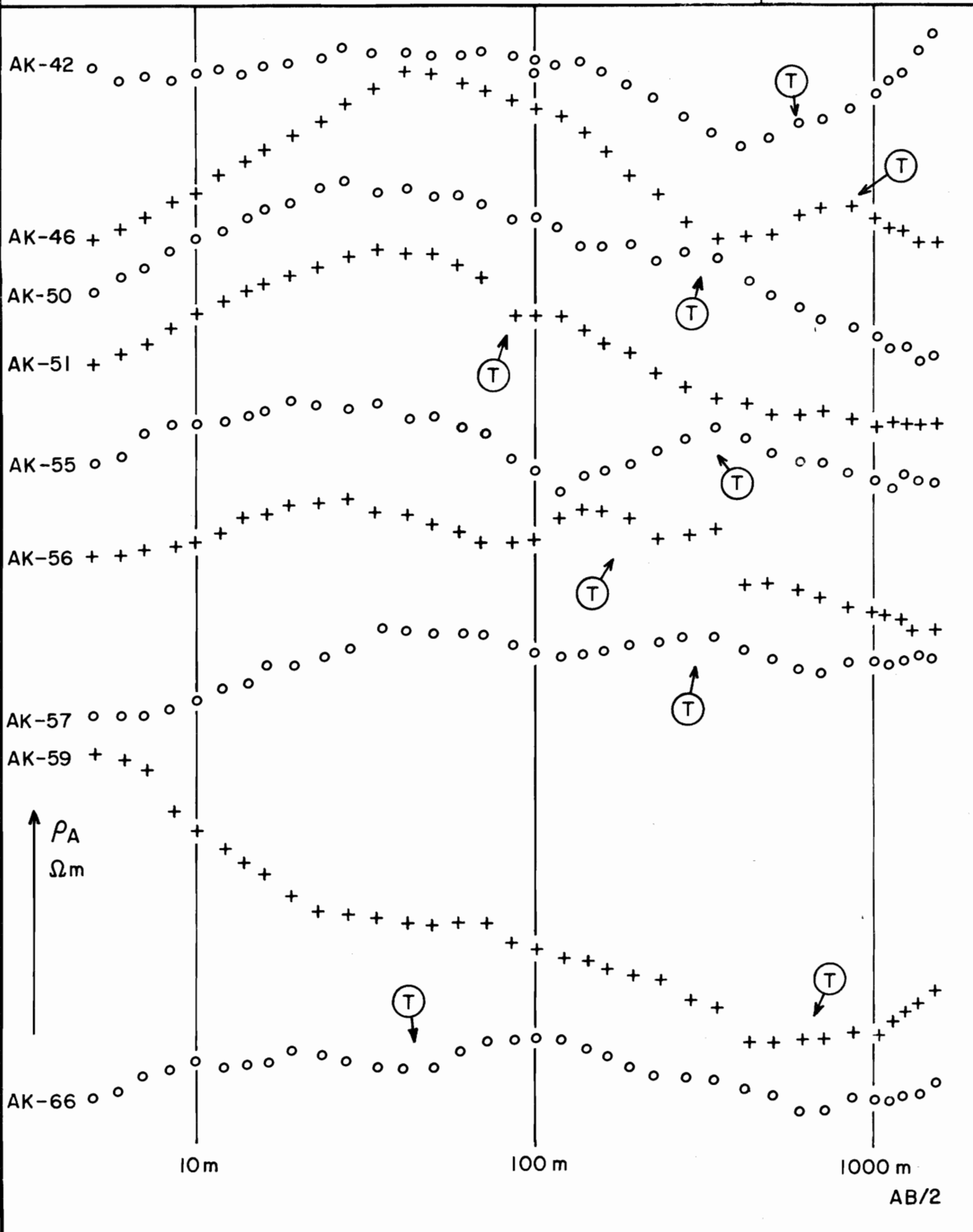
== Jafngildislínur sýndarviðnáma,  
sbr. mynd 5.4

○ Mæling sýnir ekki lágviðnám,  
sbr. mynd 5.5 ., a og b

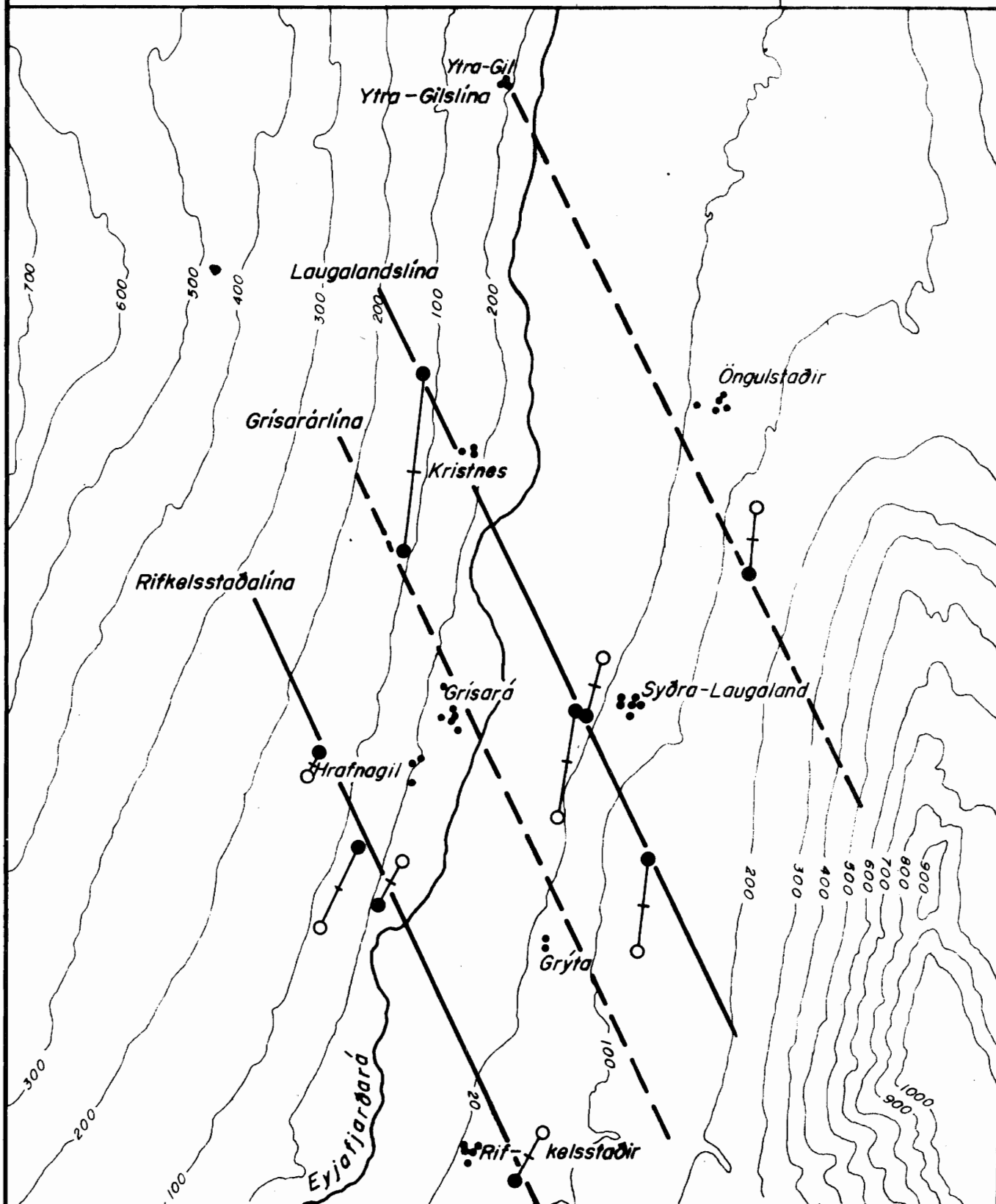
△ Mæling trufluð af lóðréttum  
viðnámsskilum, sbr. mynd 5.5 ., c

⊙ Mæling AK-64, flokkun vafasöm,  
sbr. mynd 5.5 ., b





Frávik í mælingu, talið stafa af lóðréttum viðnámsskilum  
Sbr. mynd 5.10

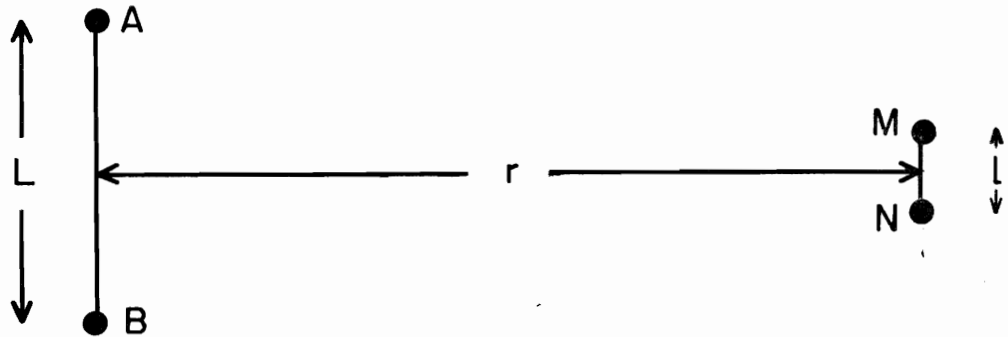


○—● Schl.-mæling sem talin er fara yfir lóðrétt viðnámskil, sbr. mynd 5.9

● Sá endi mælingar, sem talin er fara yfir lóðrétt viðnámskil

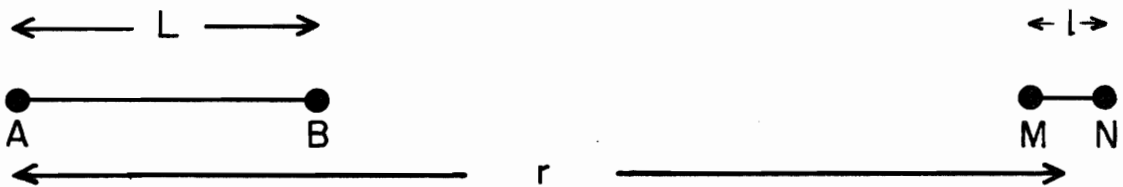


EQUATORIAL - UPPSETNING



AB samsíða MN

PÓLAR - UPPSETNING



AB samsíða MN

AB : Straumarmur, lengd L

MN : Straumarmur, lengd l

r : Fjarlægð milli AB og MN



ORKUSTOFNUN  
Raforkudeild

# EQUATORIAL - TVÍPÓLMÆLINGAR

MÆLIFERLAR OG STAÐSETNING LÁGVÍÐNÁMS-FRÁVIKA

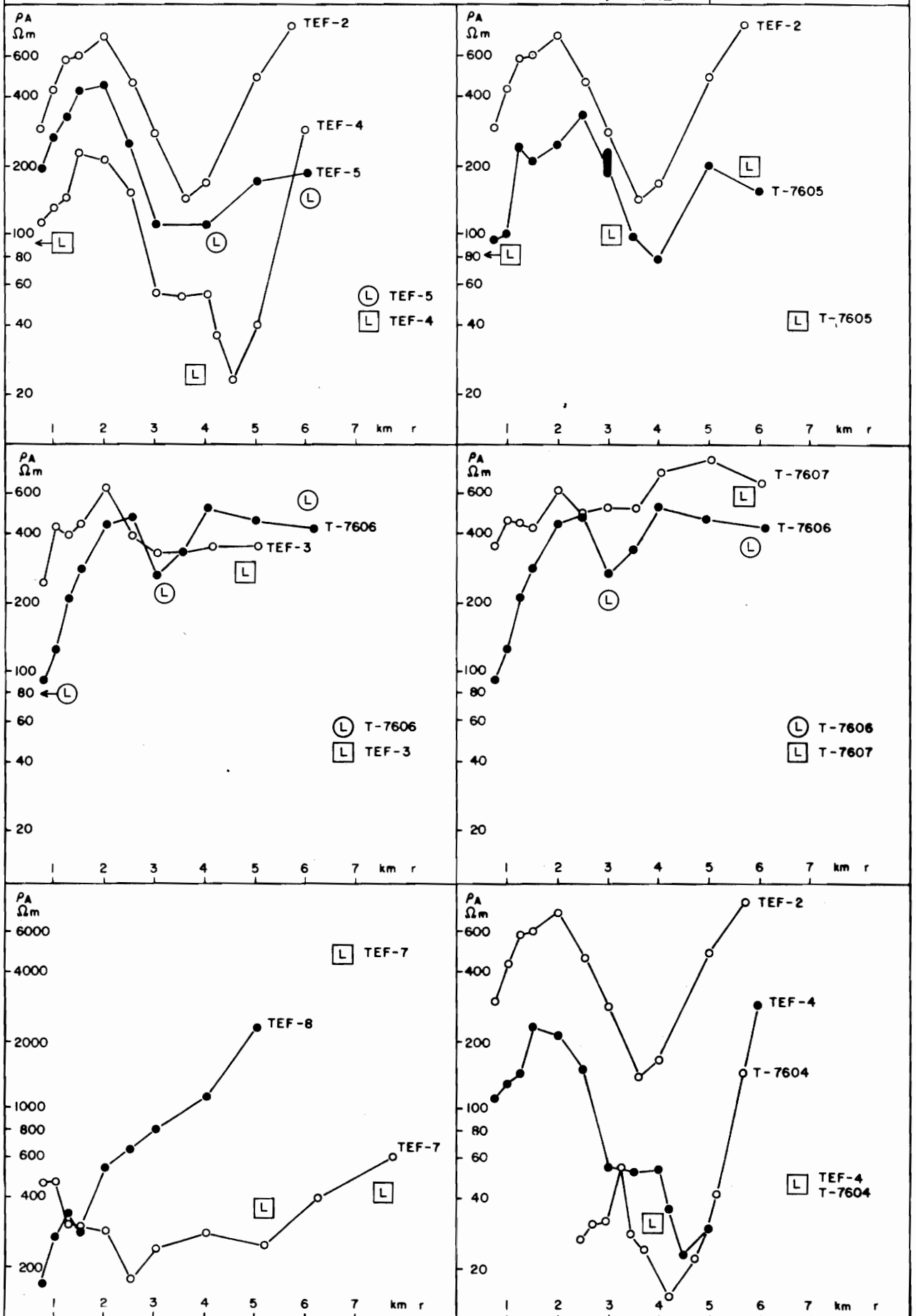
24.4.1978 F Þ / Gyða

T-2226 T-175

Viðnám J-Eyjafj.

F-16849

Mynd 5.12



☐ og ○ eru sérstök lágviðnámsfrávik



ORKUSTOFNUN

Jarðkönnunardeild

Staðsetning straum- og spennuskauta  
til að reikna dýptaráhrif í tvíþólum

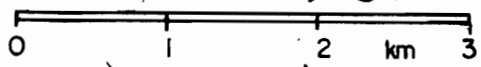
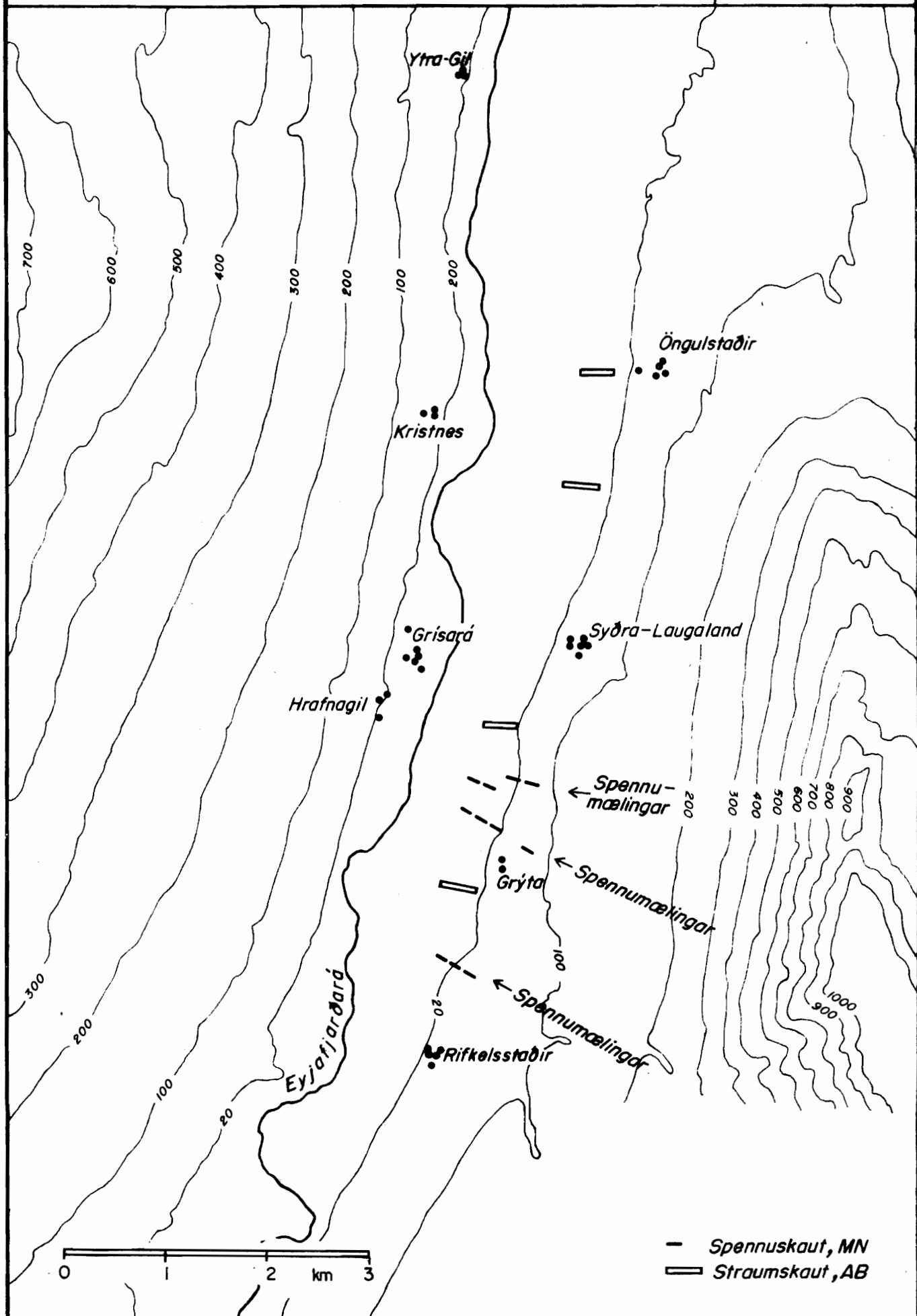
Mynd 5.13

78.04.26. FP/GSJ

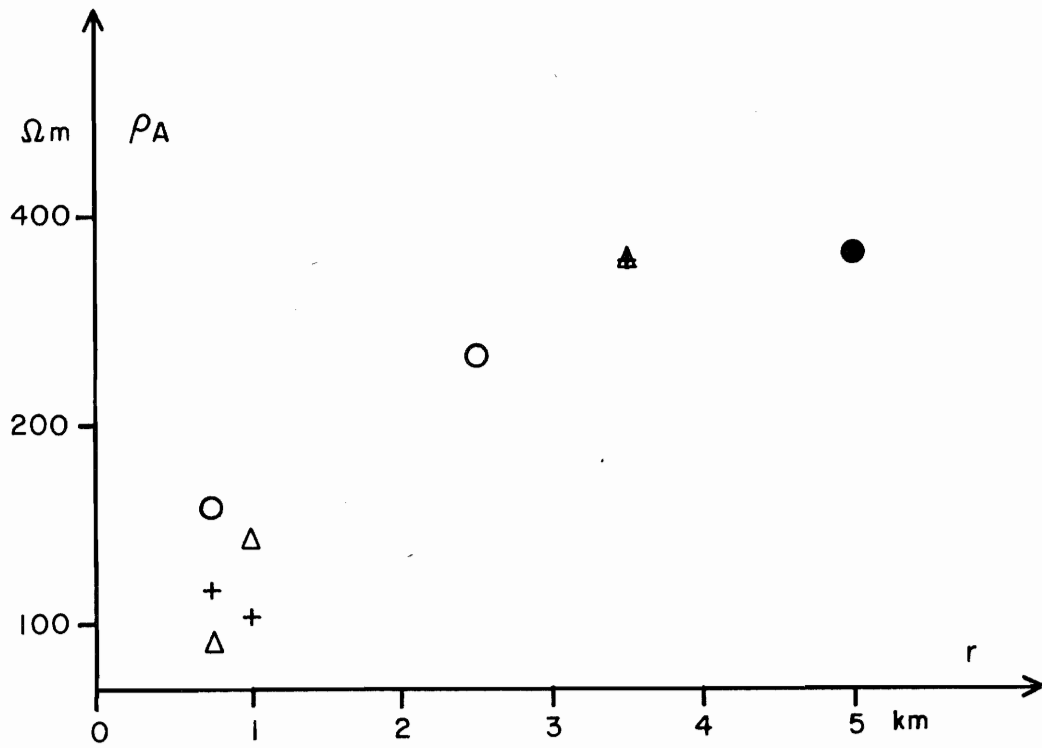
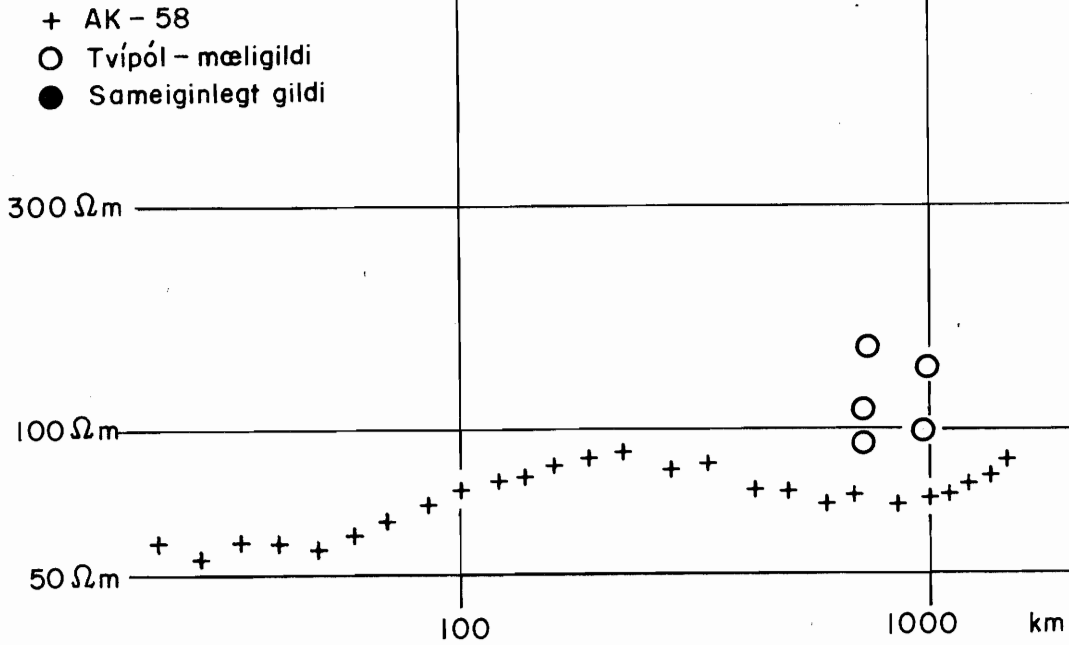
T. 2225 T. 174

Viðnám J-Eyjafj.

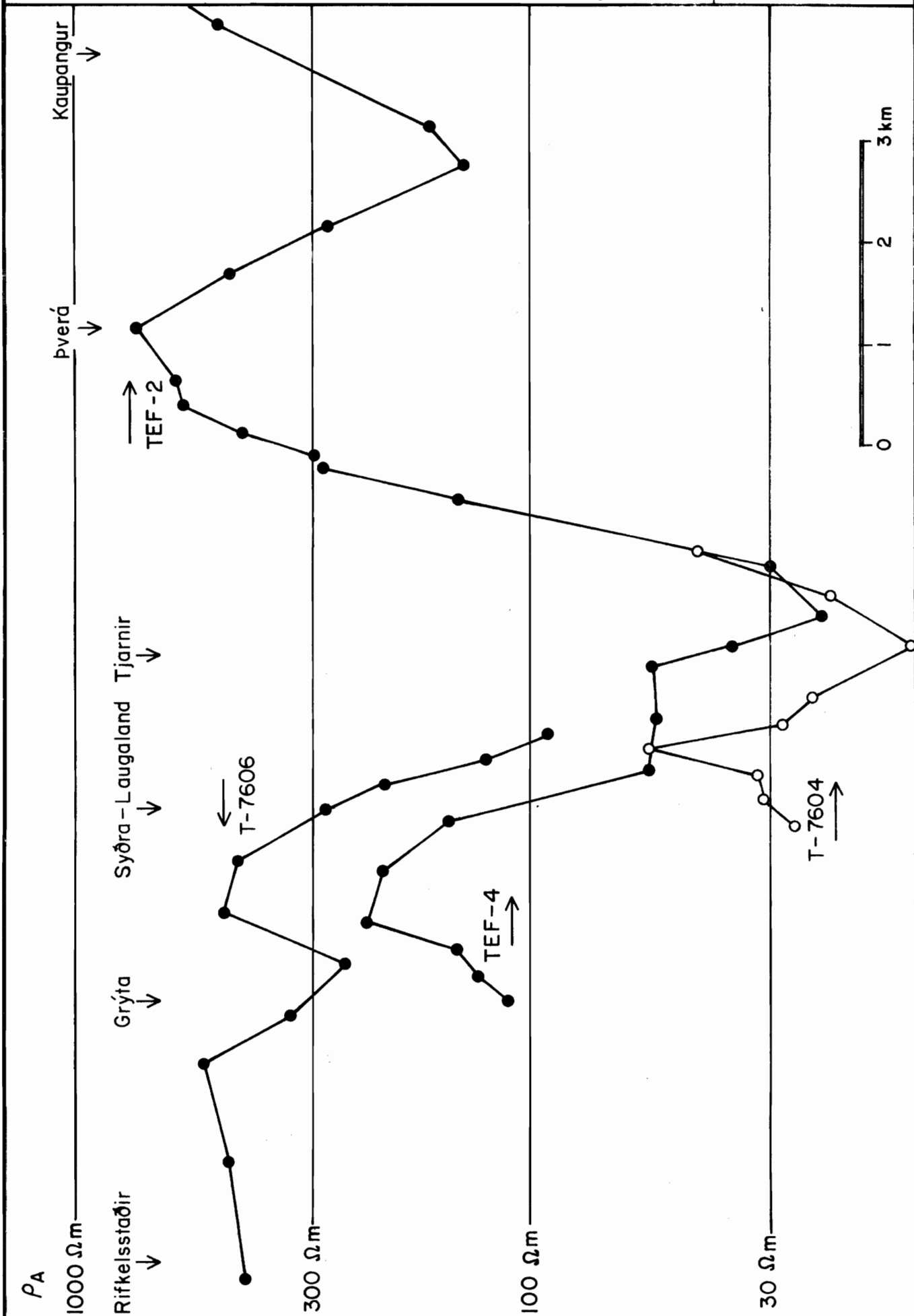
F. 16848



- Spennuskaut, MN  
 — Straumskaut, AB



- Spennumælingar 1. sbr. mynd 5.13
- + Spennumælingar 2. sbr. mynd 5.13
- Δ Spennumælingar 3. sbr. mynd 5.13





ORKUSTOFNUN

Jarðkönnunardeild

TVÍPÓL - MÆLINGAR  
Staðsetning lágviðnáms - frávíka



78.04.26. FÞ/GSJ

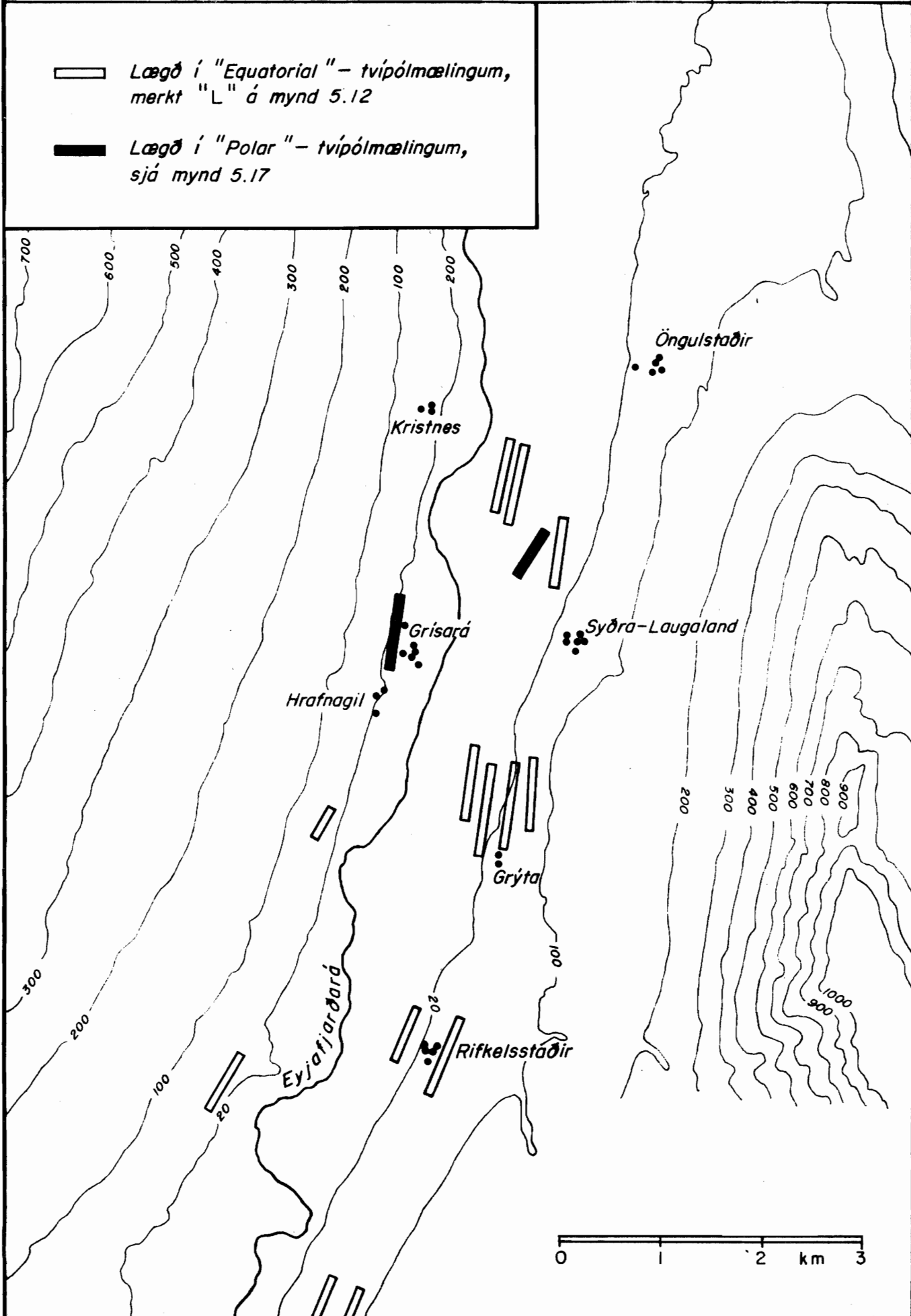
T.2222 T.-171

Viðnám J-Eyjafj.

F. 16845

Mynd 5.16

-  Lægð í "Equatorial" - tvíþólmælingum, merkt "L" á mynd 5.12
-  Lægð í "Polar" - tvíþólmælingum, sjá mynd 5.17







# ORKUSTOFNUN

Jarðkönnunardeild

## PÓLAR - TVÍPÓLAR

Mæliferlar

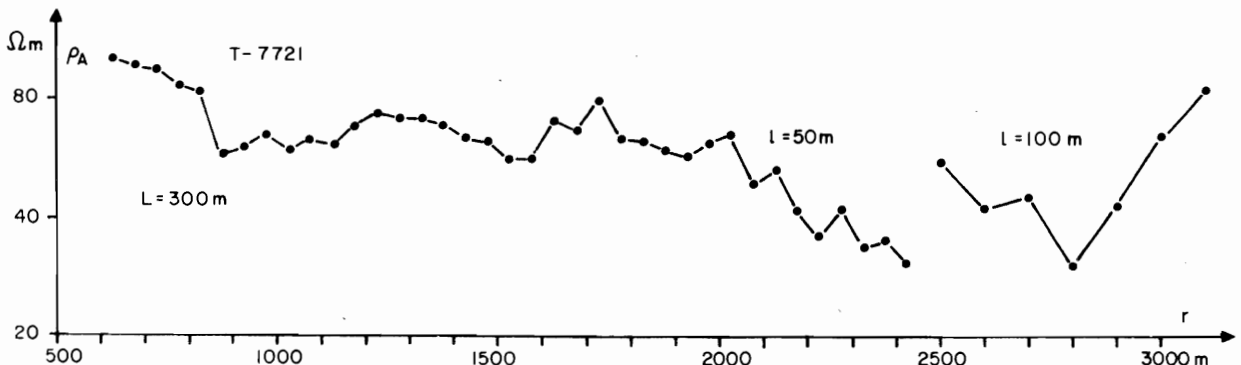
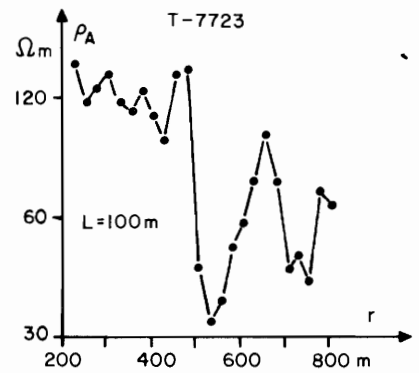
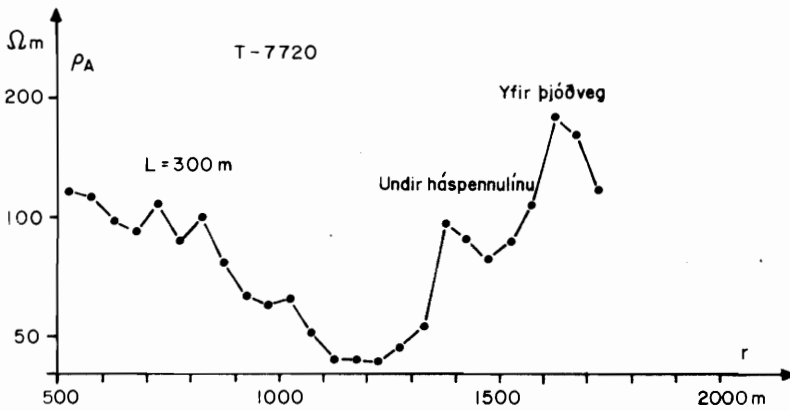
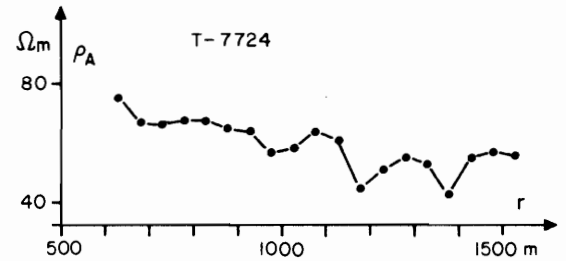
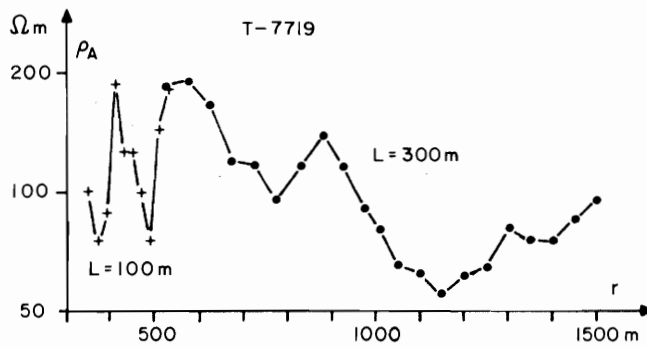
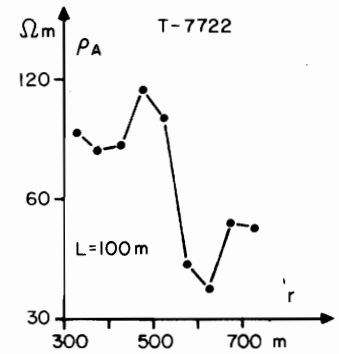
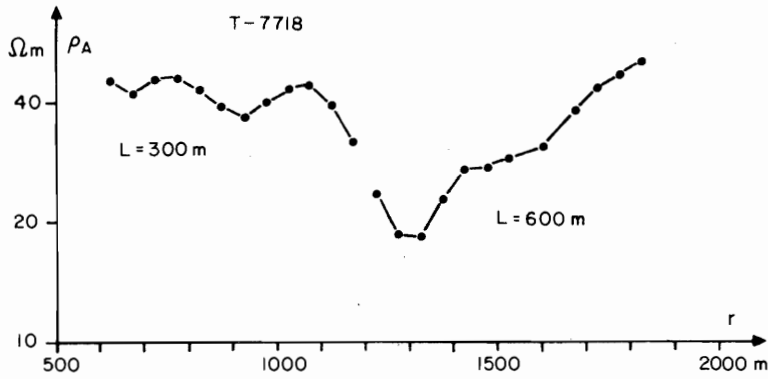
10.4.1978 FP/Gyða

T-2220 T-169

Viðnám J-Eyjafj.

F-16826

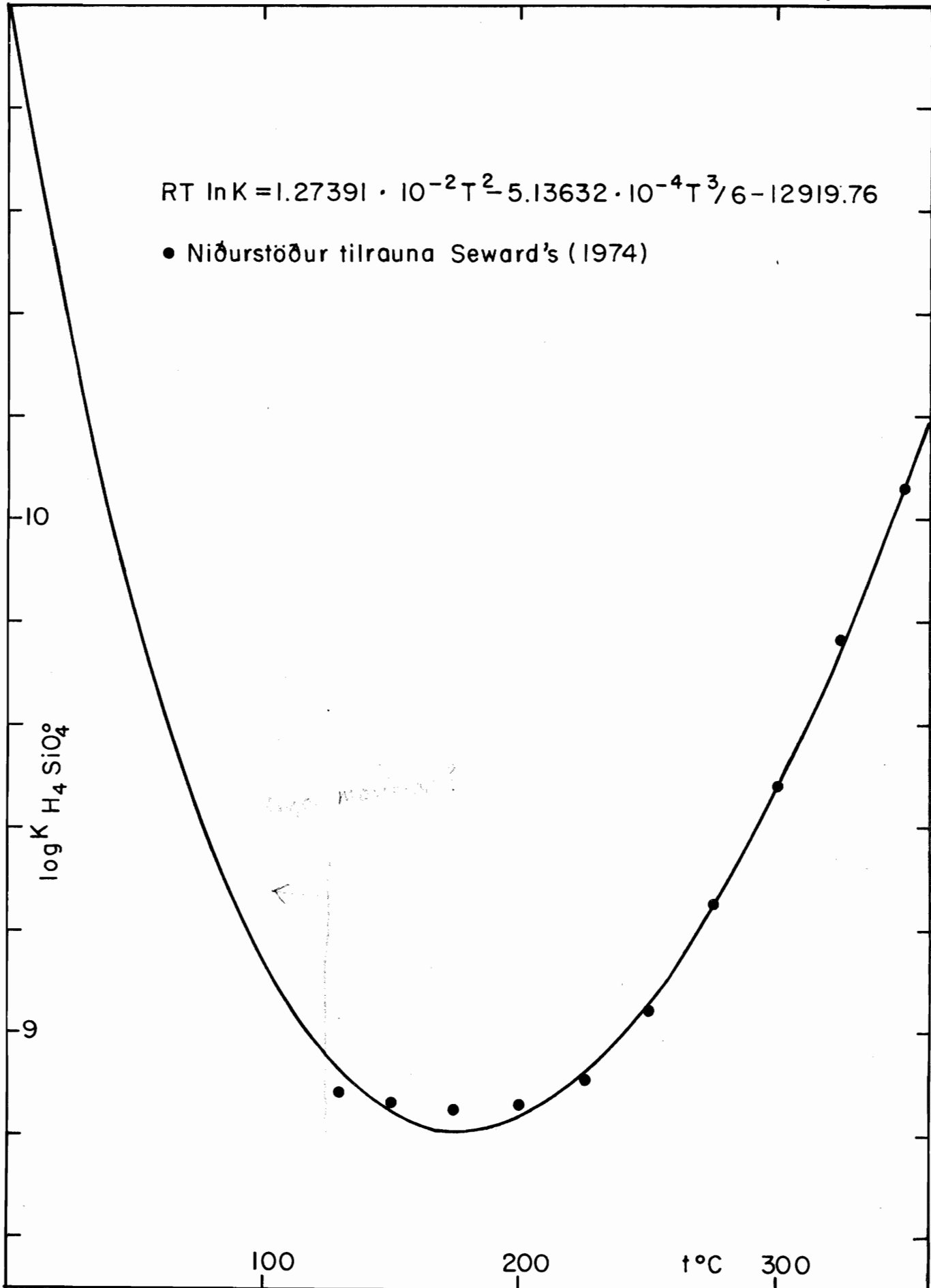
Mynd 5.17



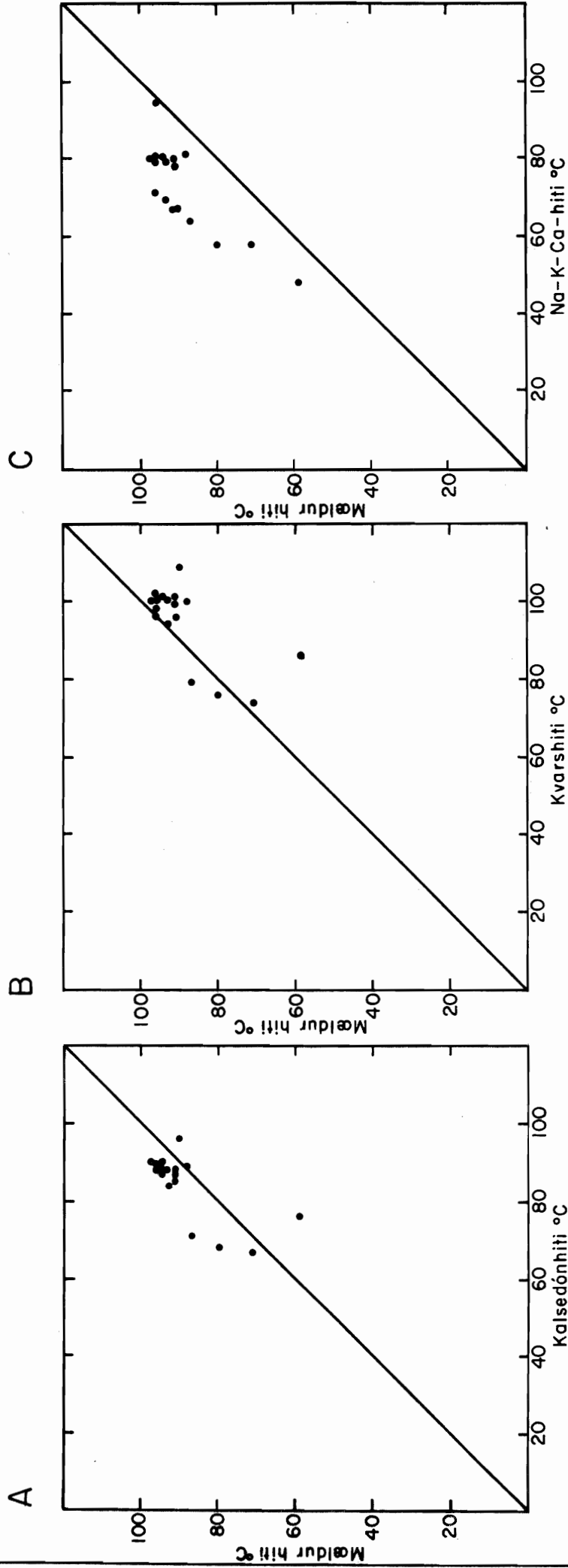


Kleyfnistuðull kisilsýru á bilinu 0-360 °C.

Mynd 6.1



Mynd 6.2



ORKUSTOFNUN

Jarðhitadeild

Samband kísilhita (kalsedón-og kvarshita), og Na-K-Ca-hita við mælt hitastig í djúpum borholum að Laugalandi og Grísaró

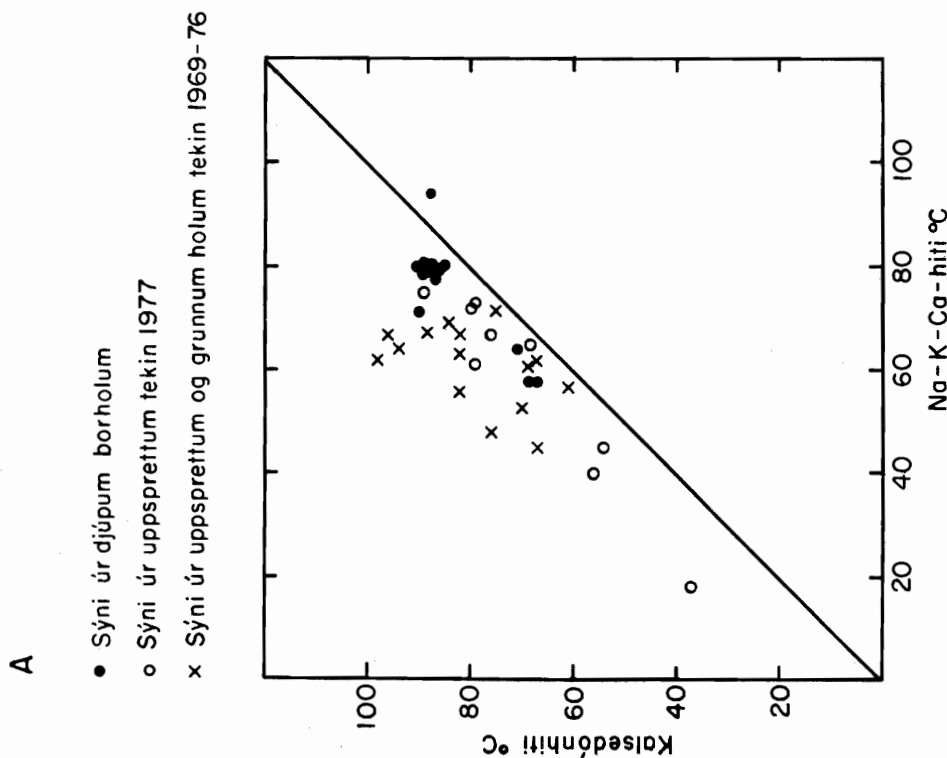
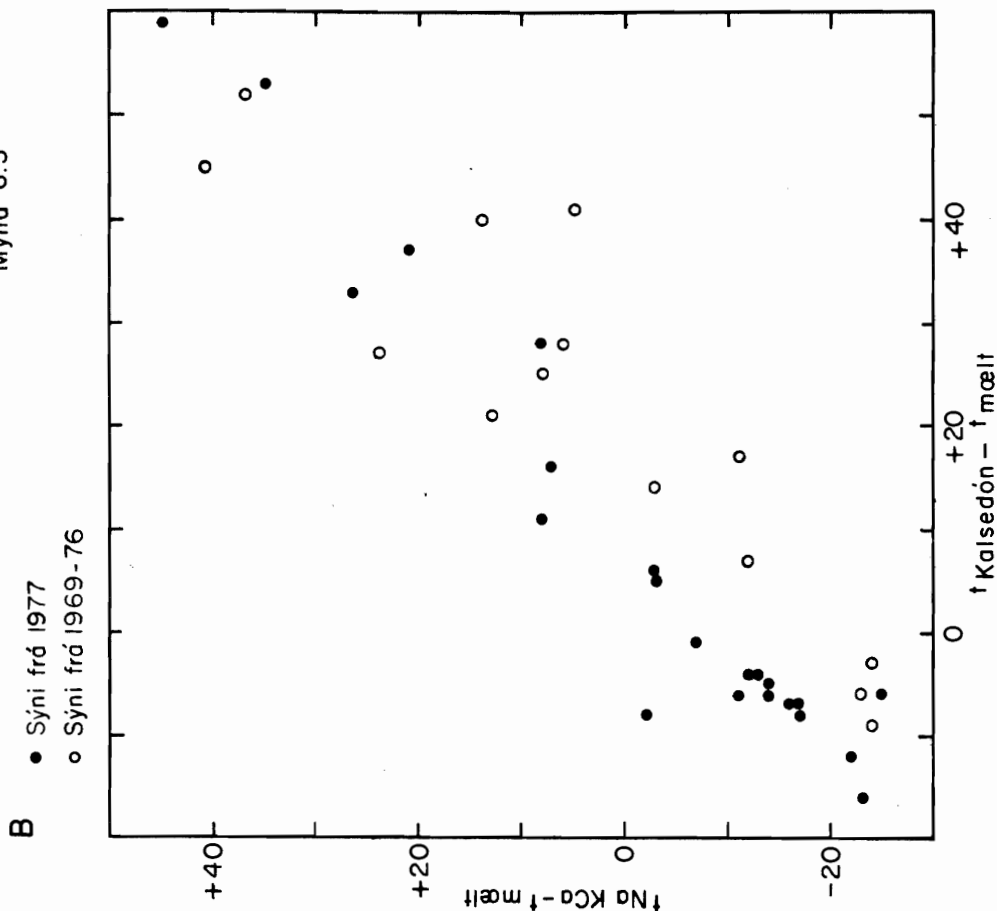
78-5-2 SA/IS

T-179 T-266

Eyjafj. Jarðefnafr.

F-16864

Mynd 6.3



**ORKUSTOFNUN**  
Jarðhitadeild

Samanburður á kísilhita og Na-K-Ca-hita í jarðhitavatni  
í Eyjafirði (A) fyrir mismunandi yfimeittun (B)

78-5-2 SA/IS  
T-267 T-180  
Jarðefnafr.Eyjafj.  
F-16865



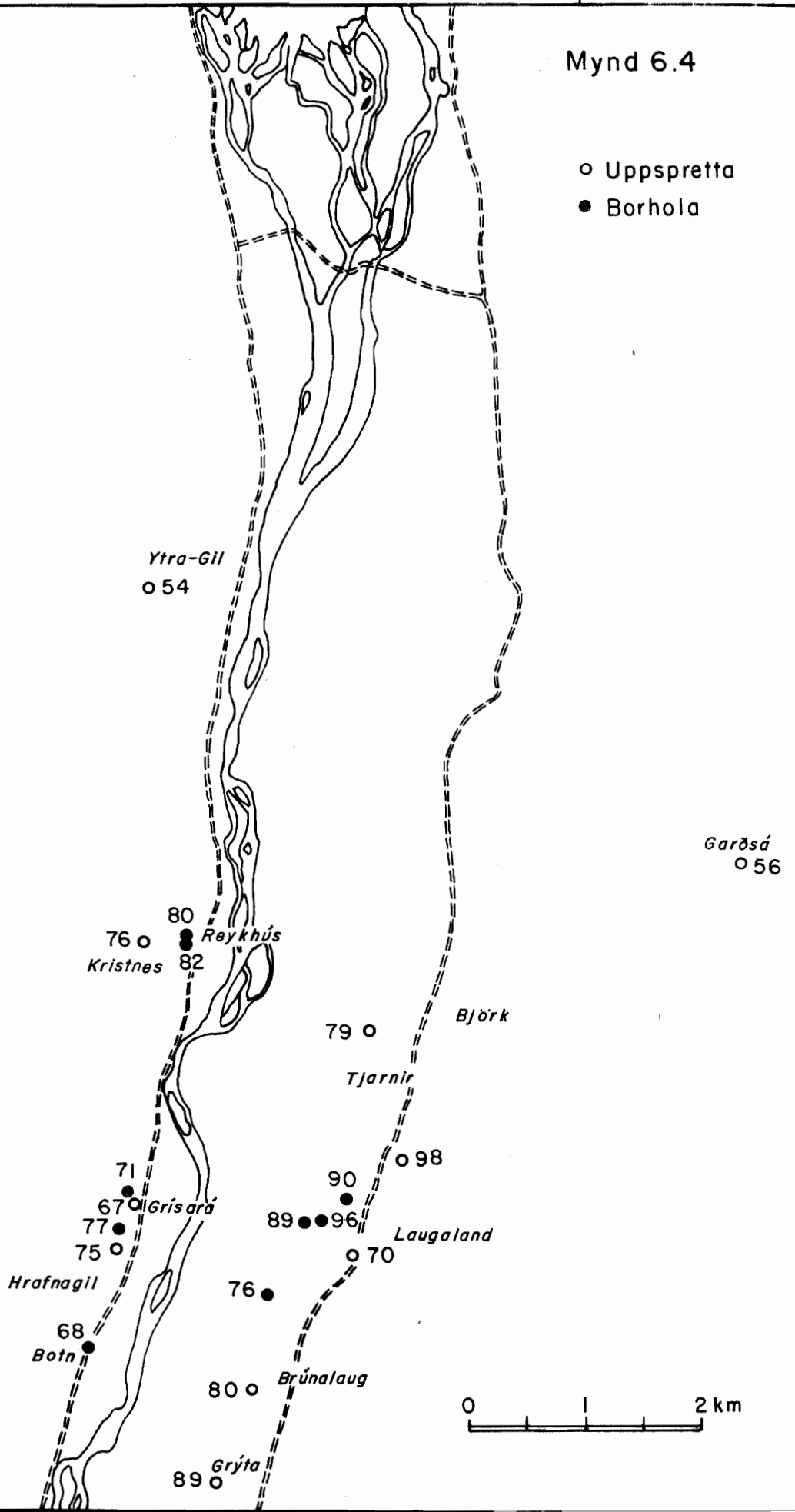
Kísilhiti í borholum og uppsprettum í utanverðum Eyjafirði

o 69

Glerárgil

Mynd 6.4

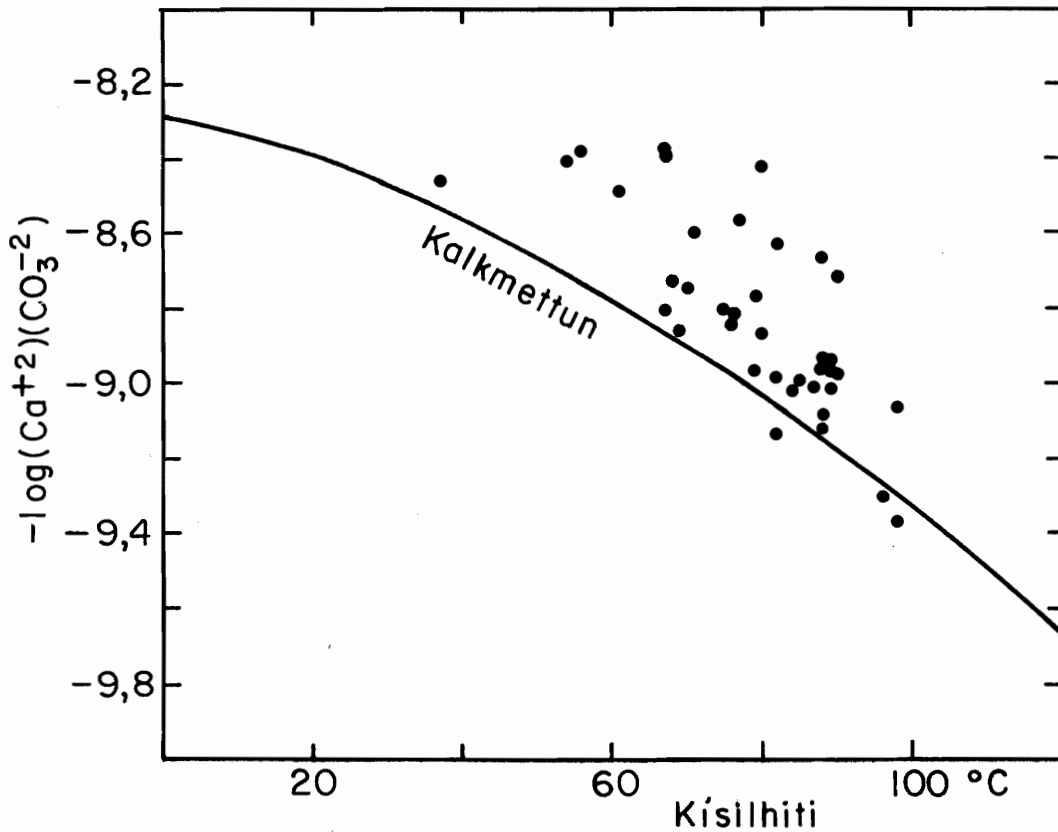
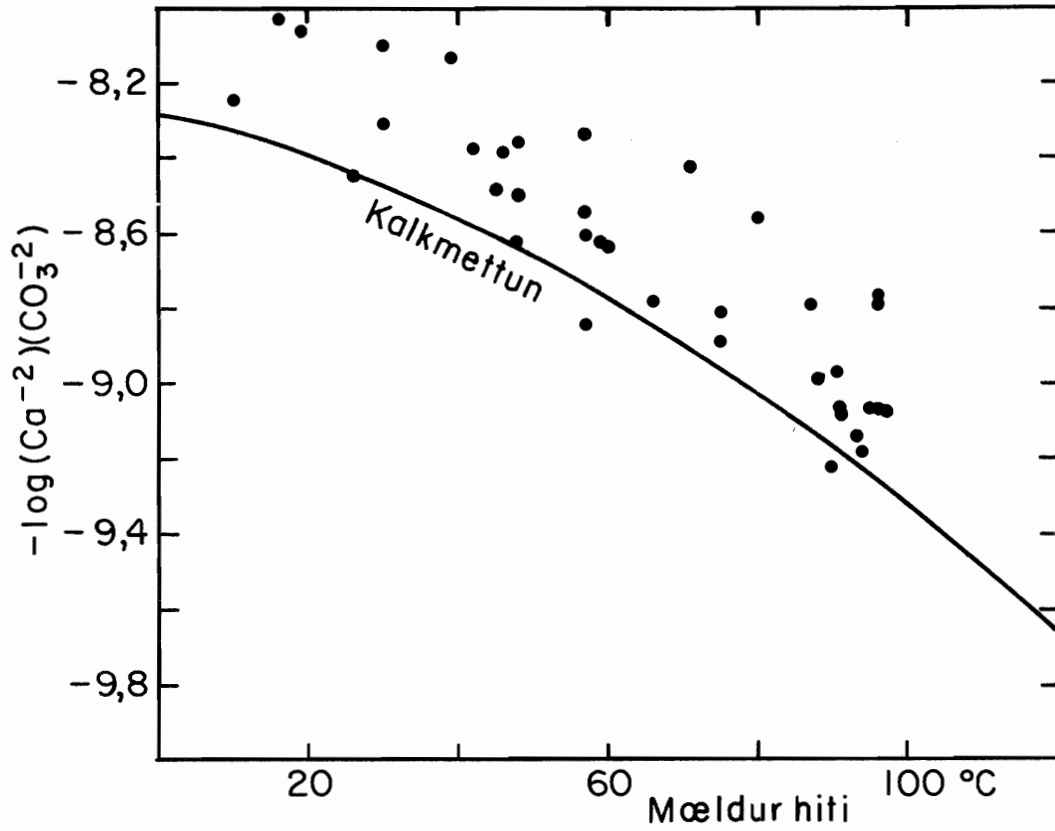
- o Uppspretta
- Borhola





Kalkmettunarástand í jarðhitavatni í Eyjafirði  
miðað við mælt hitastig og kísilhita

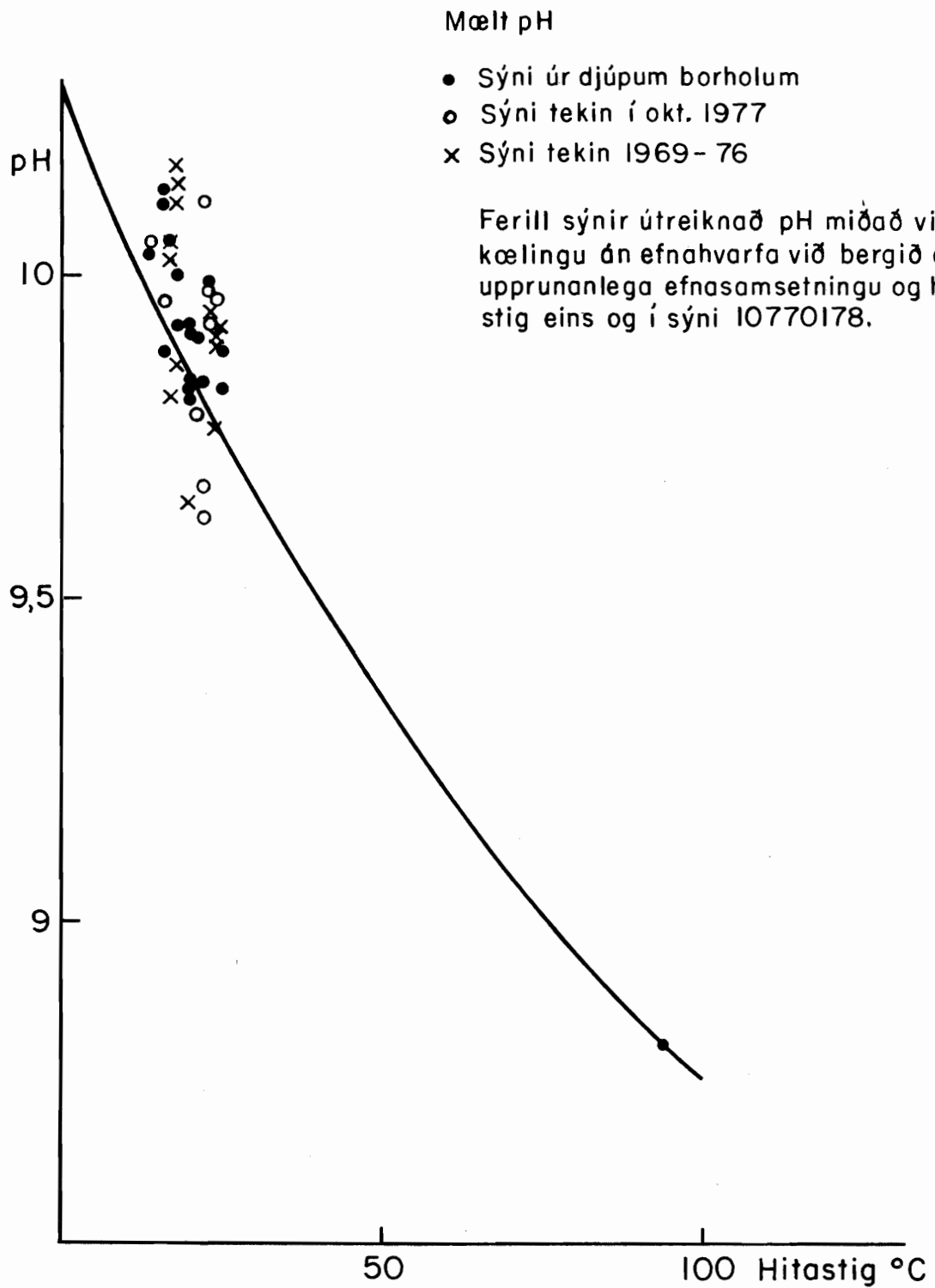
Mynd 6.5





Sýrustig í jarðhitavatni í Eyjafirði

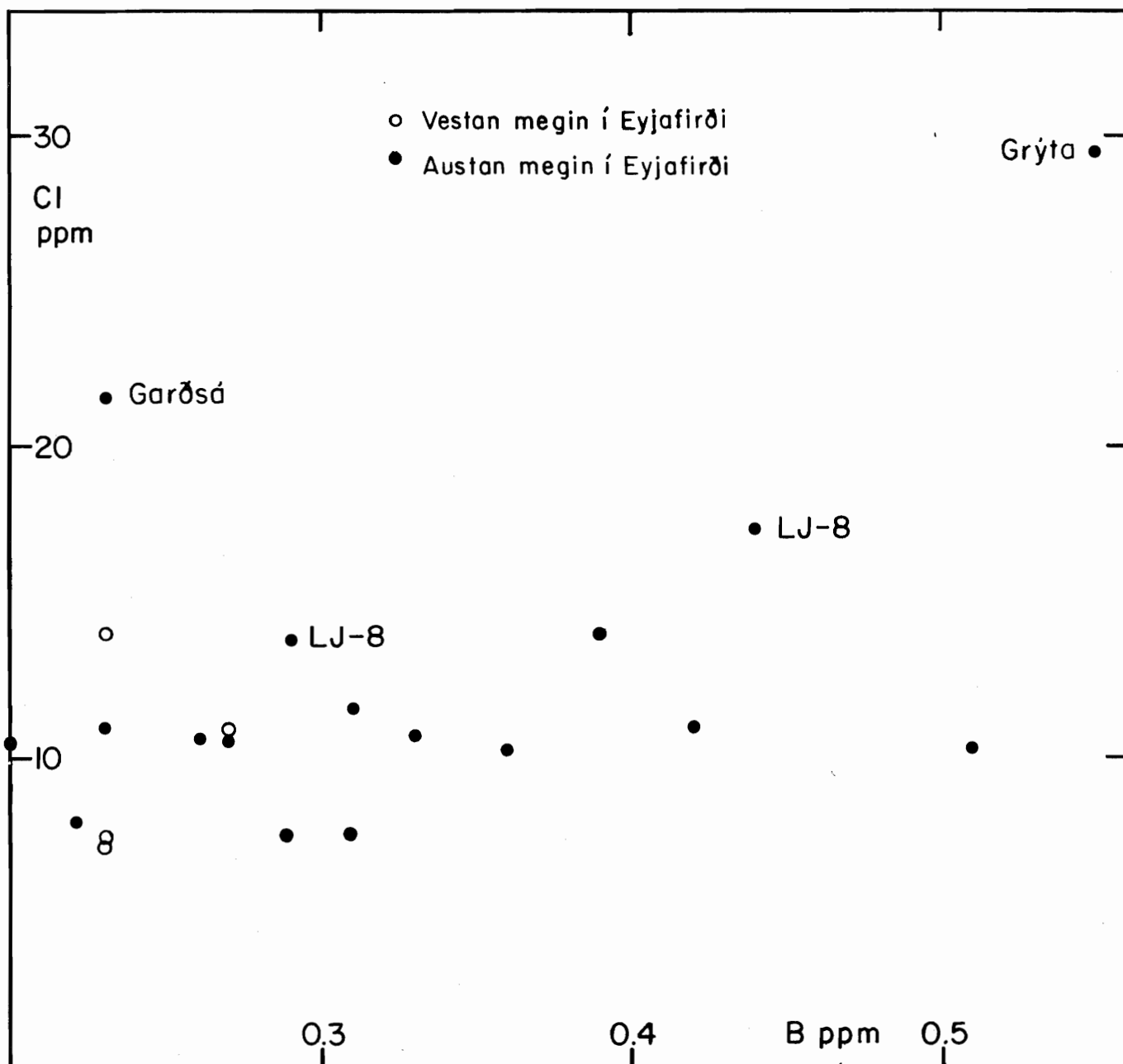
Mynd 6.6





### Samband klórs og bórs í jarðhitavatni í Eyjafirði

Mynd 6.7

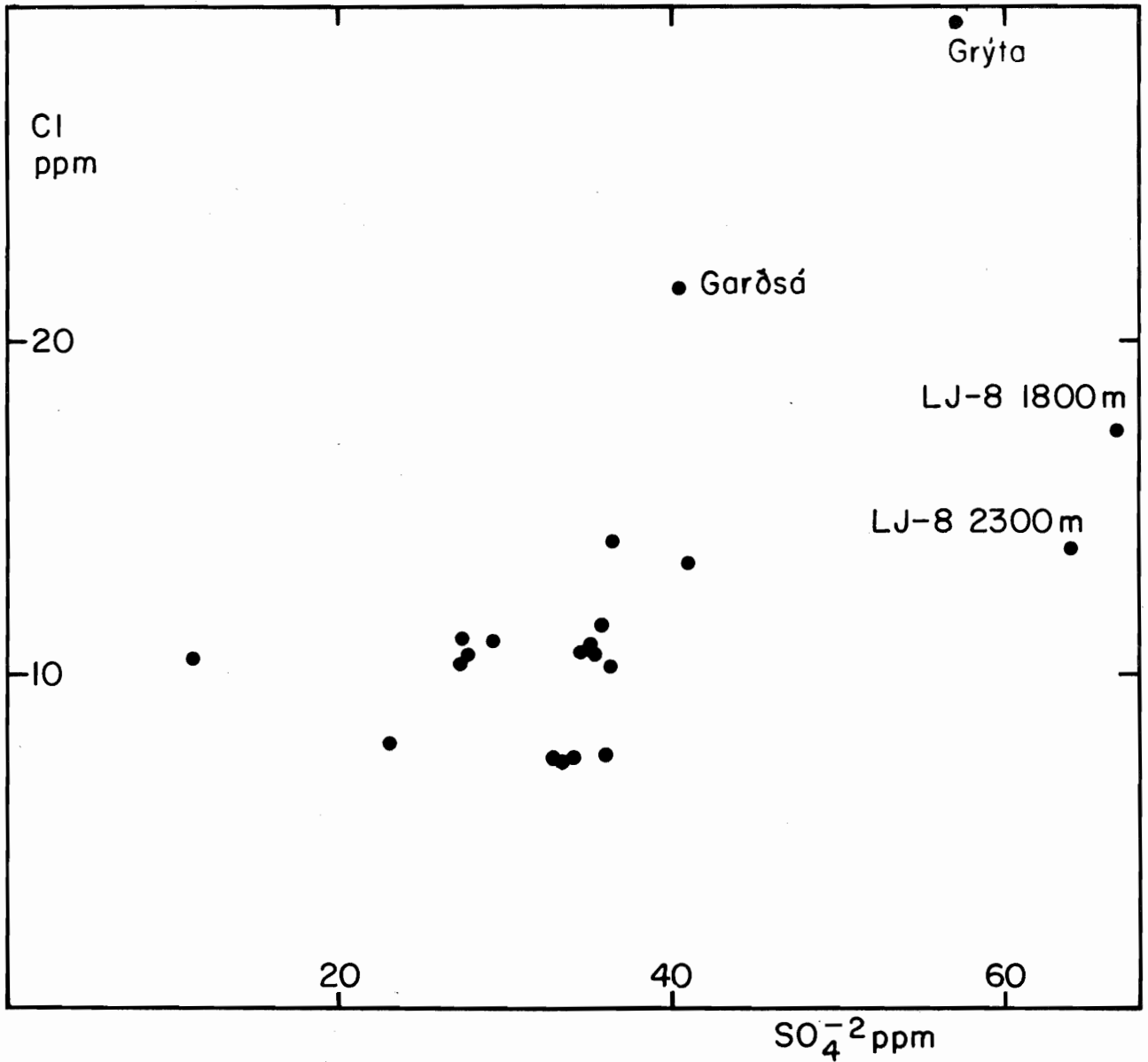






Samband klórs og súlfats í jarðhitavatni í Eyjafirði

Mynd 6.8



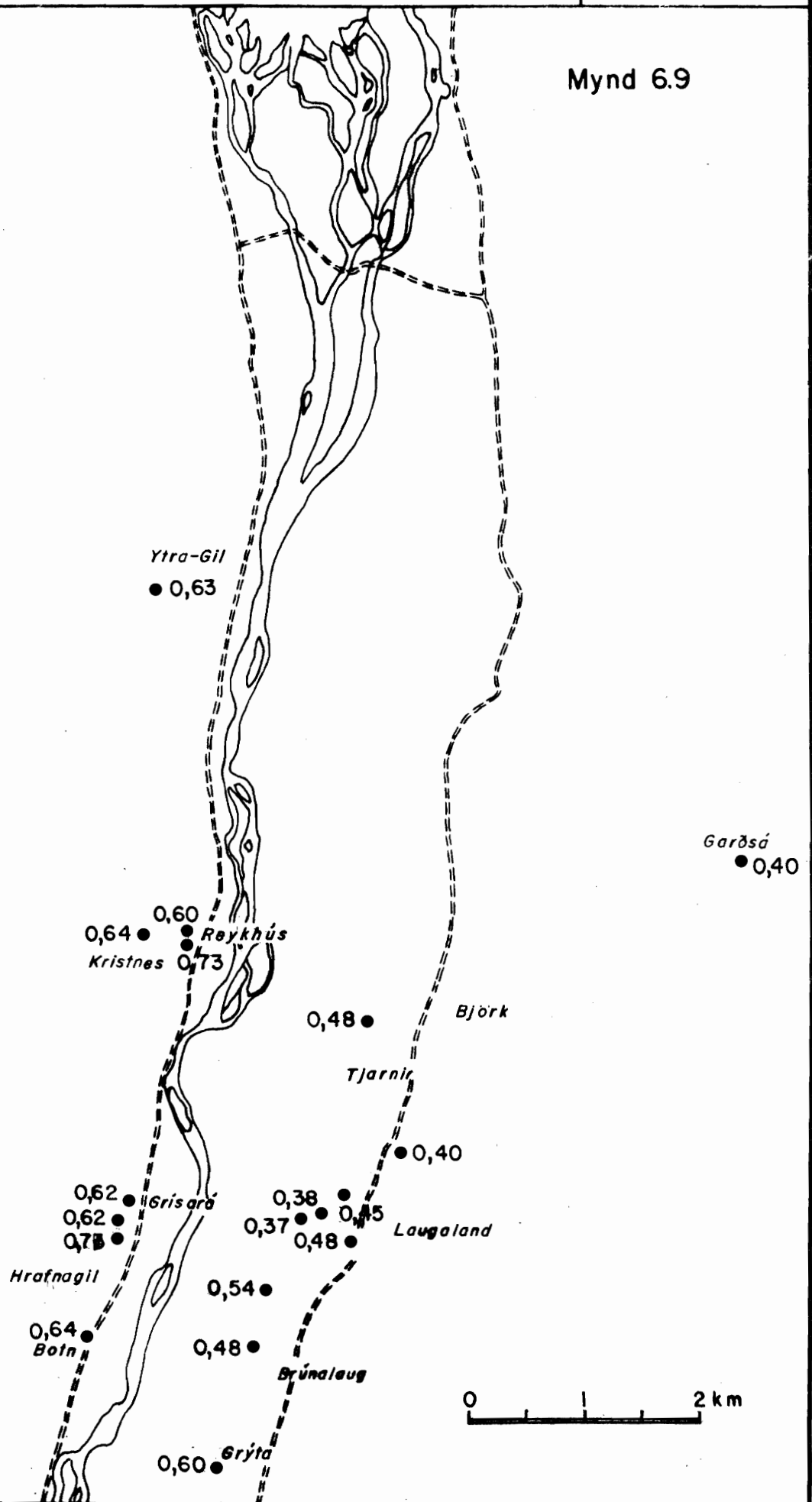


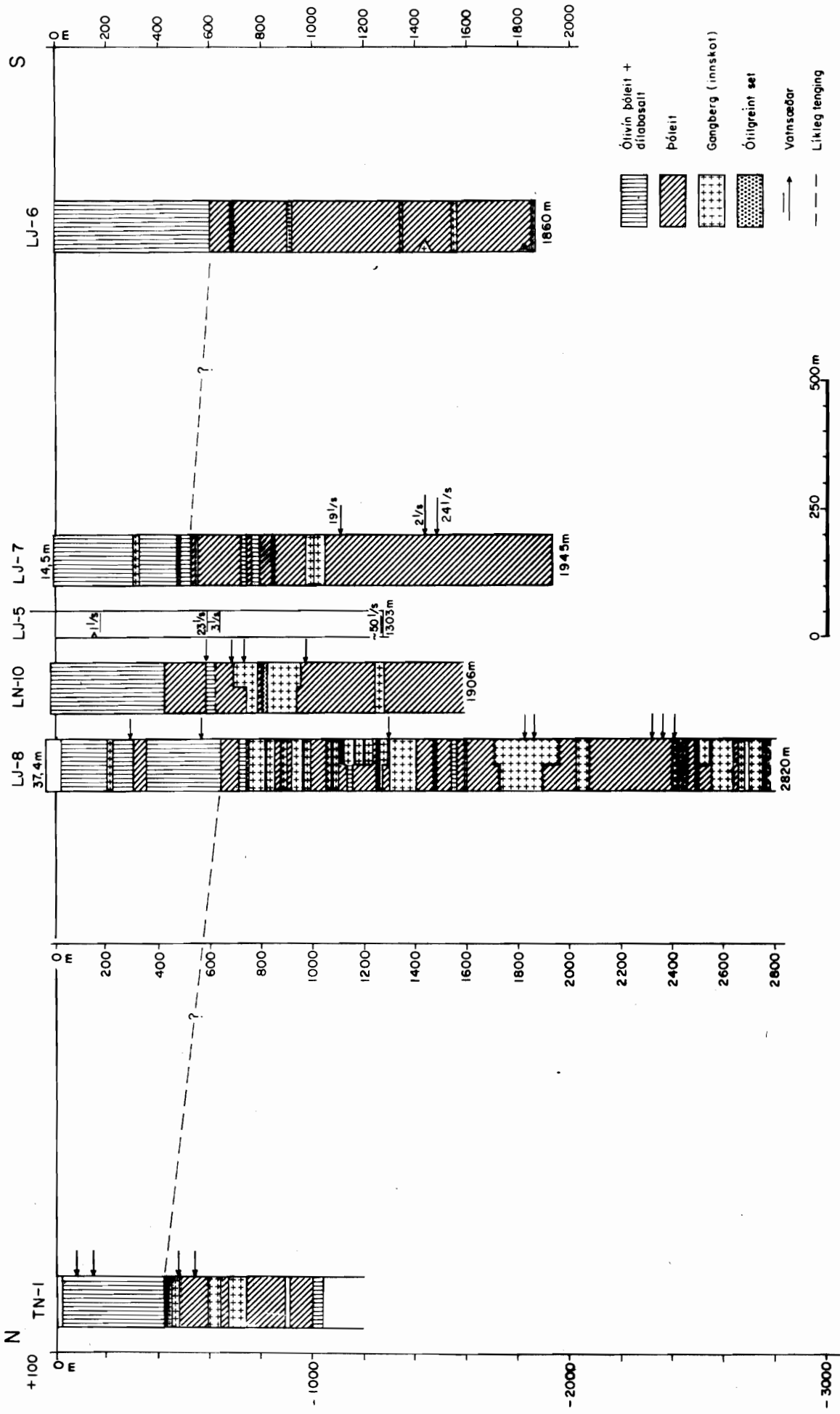
Flúor (ppm) í jarðhitavatni í utanverðum Eyjafirði

● 0,60

Glerárgil

Mynd 6.9

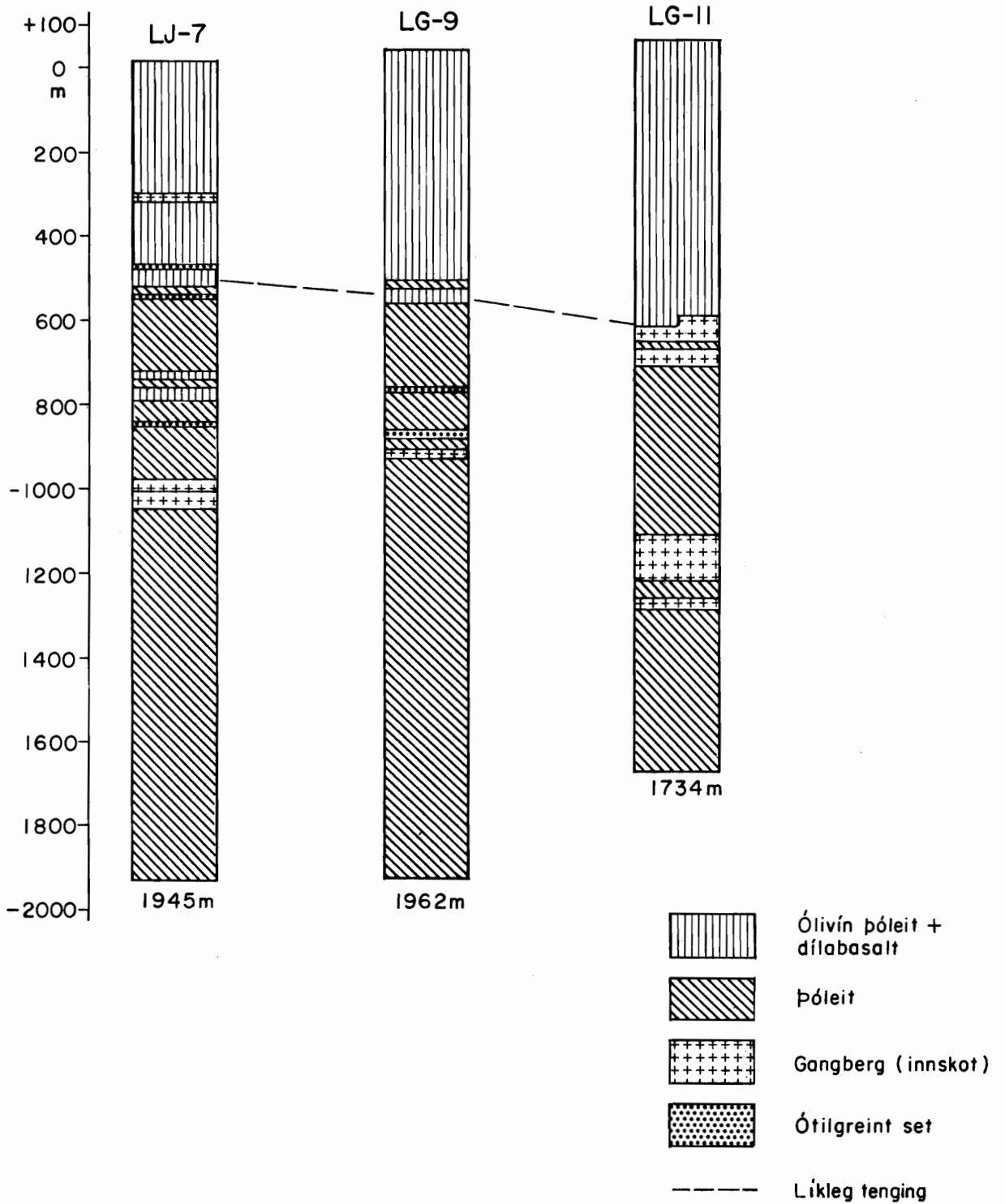




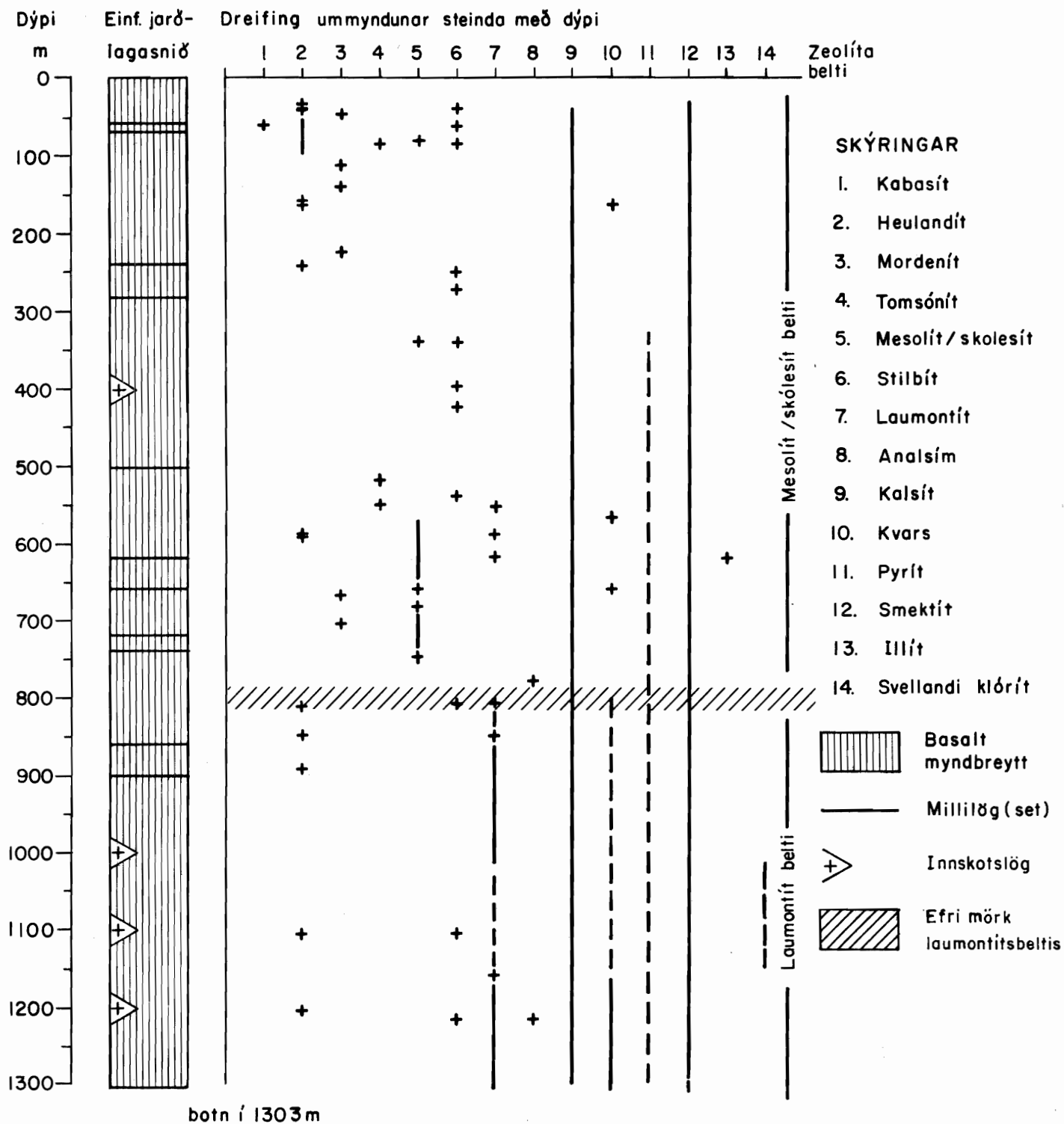
Mynd 7.1



Mynd 7.2



0 250 500 m



Mynd 7,3

ORKUSTOFNUN

Syðra - Laugaland LJ-5  
Jarðlagasnið og steindagreining

23.1.76 HK/EK  
Tnr. 38 Tnr. 199  
J-Laugal. J-Jarðe.  
Fnr. 13861

Mynd 7.4

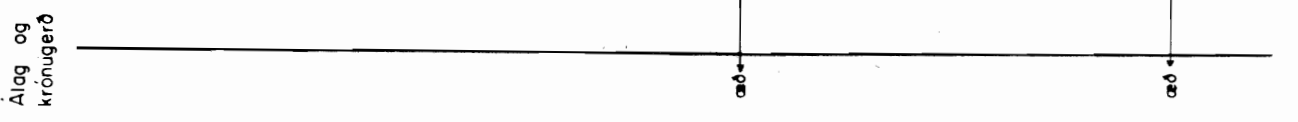
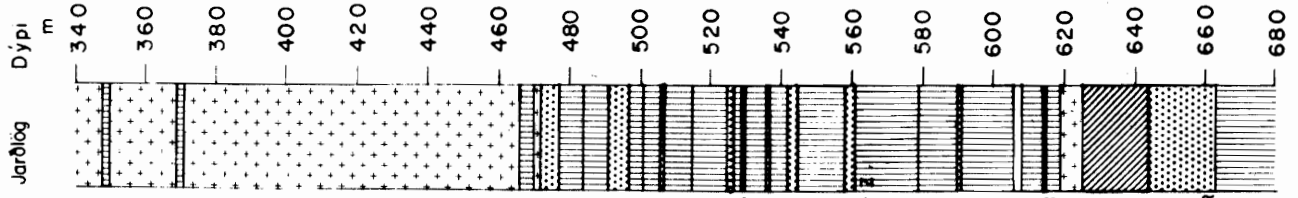
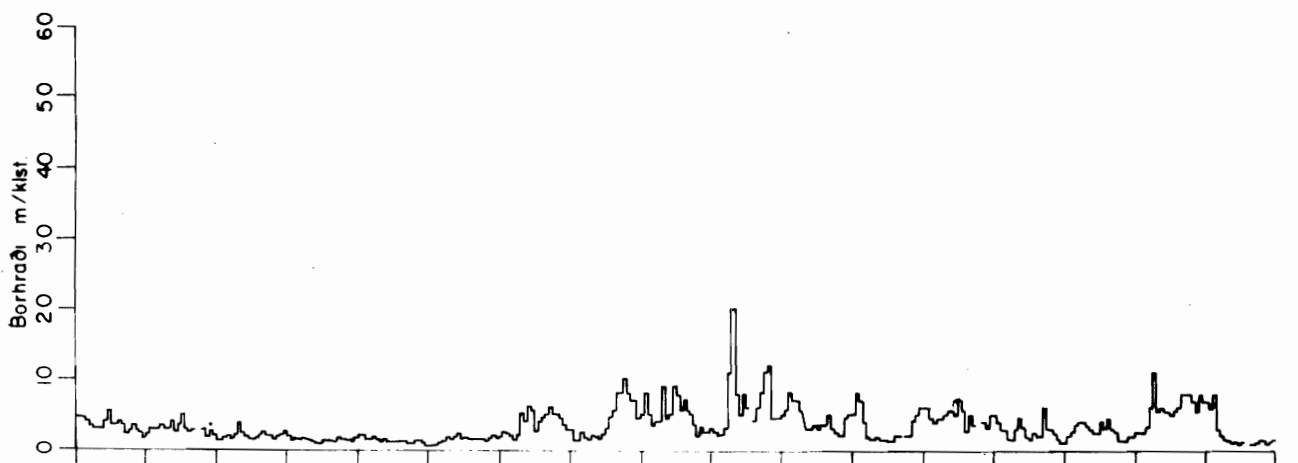
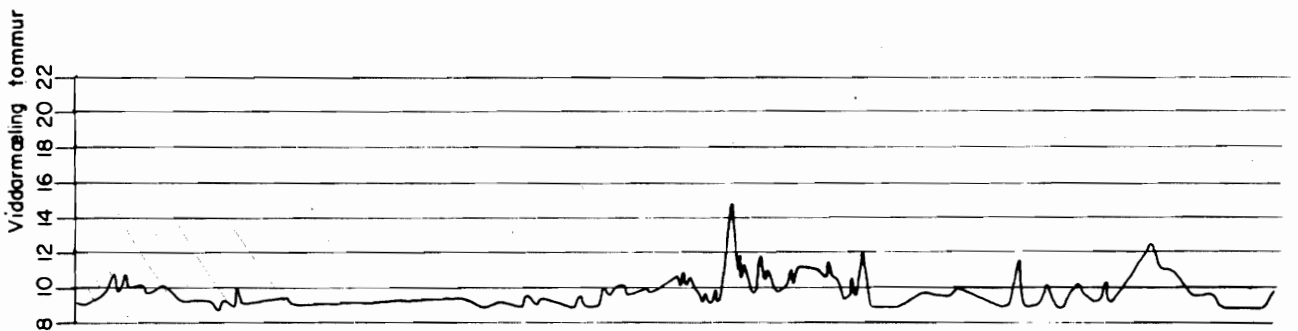
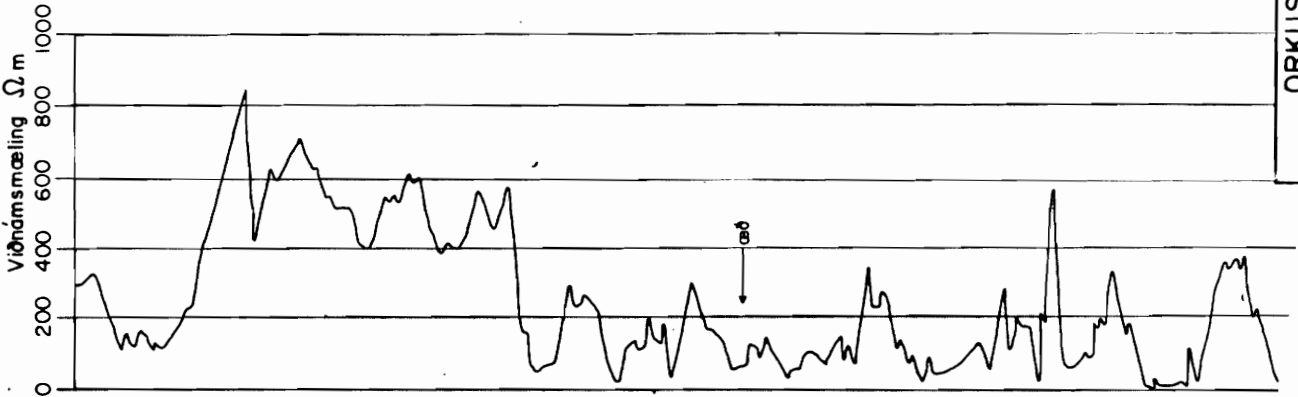
ORKUSTOFNUN

JARÐLAGASNIÐ

Viddar- og Viðnámsmælingar af GG-

Bl. 2 af 4 Viðnáms-Ex. af. T. 53

F 16363



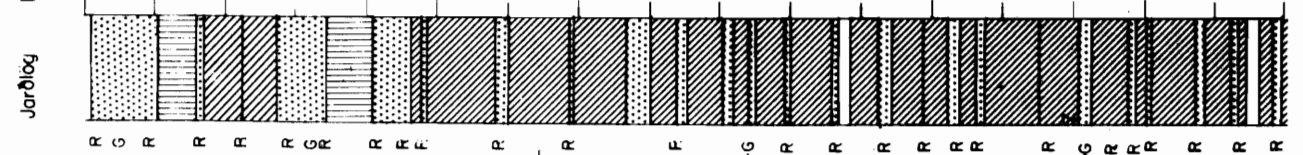
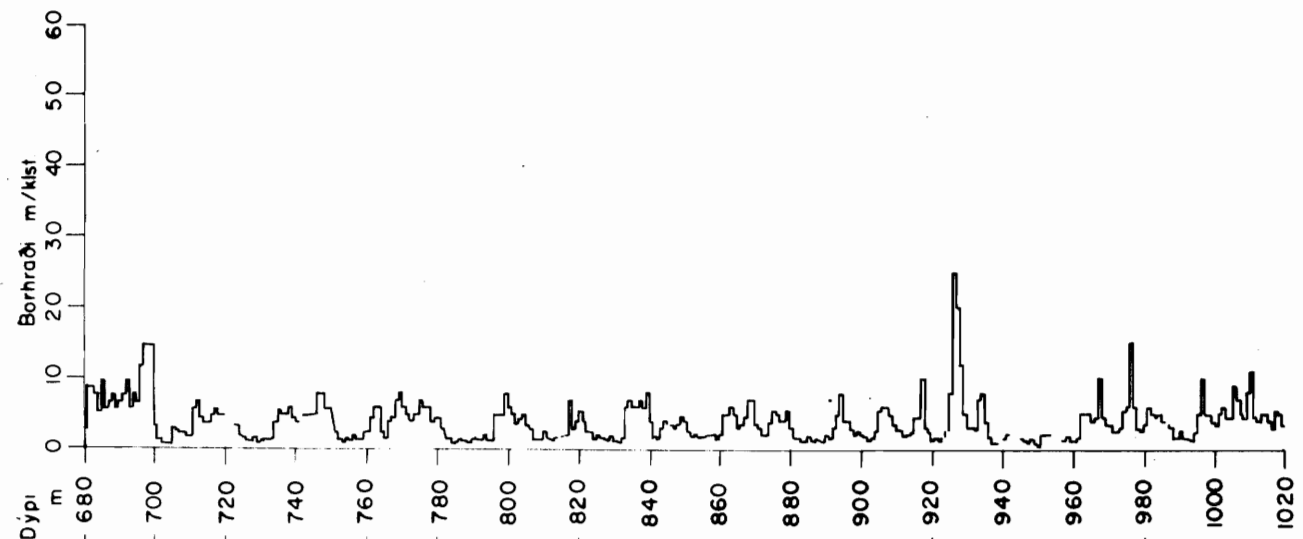
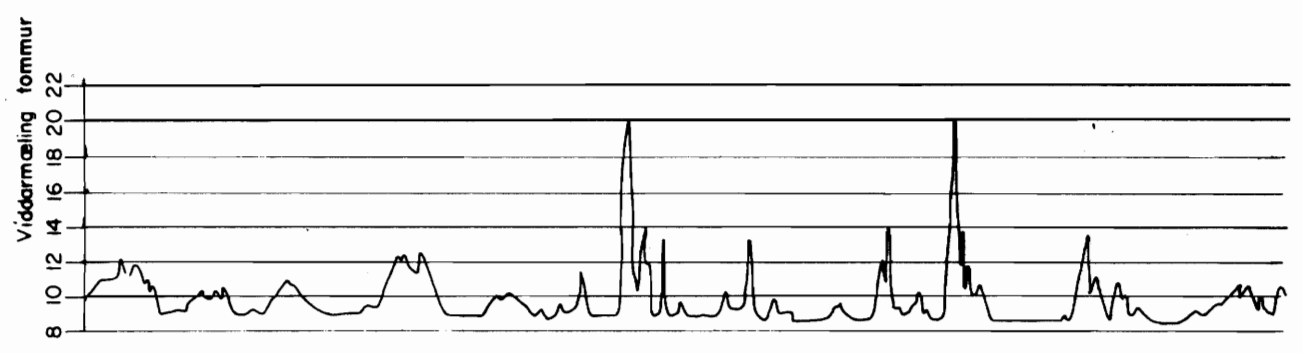
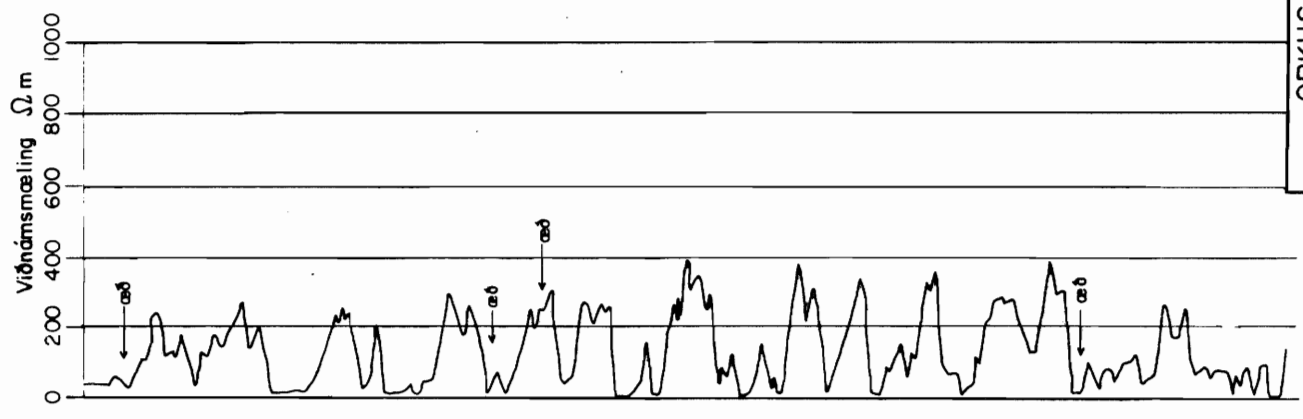
Mynd 7.5

ORKUSTOFNUN

JARÐLAGASNIÐ

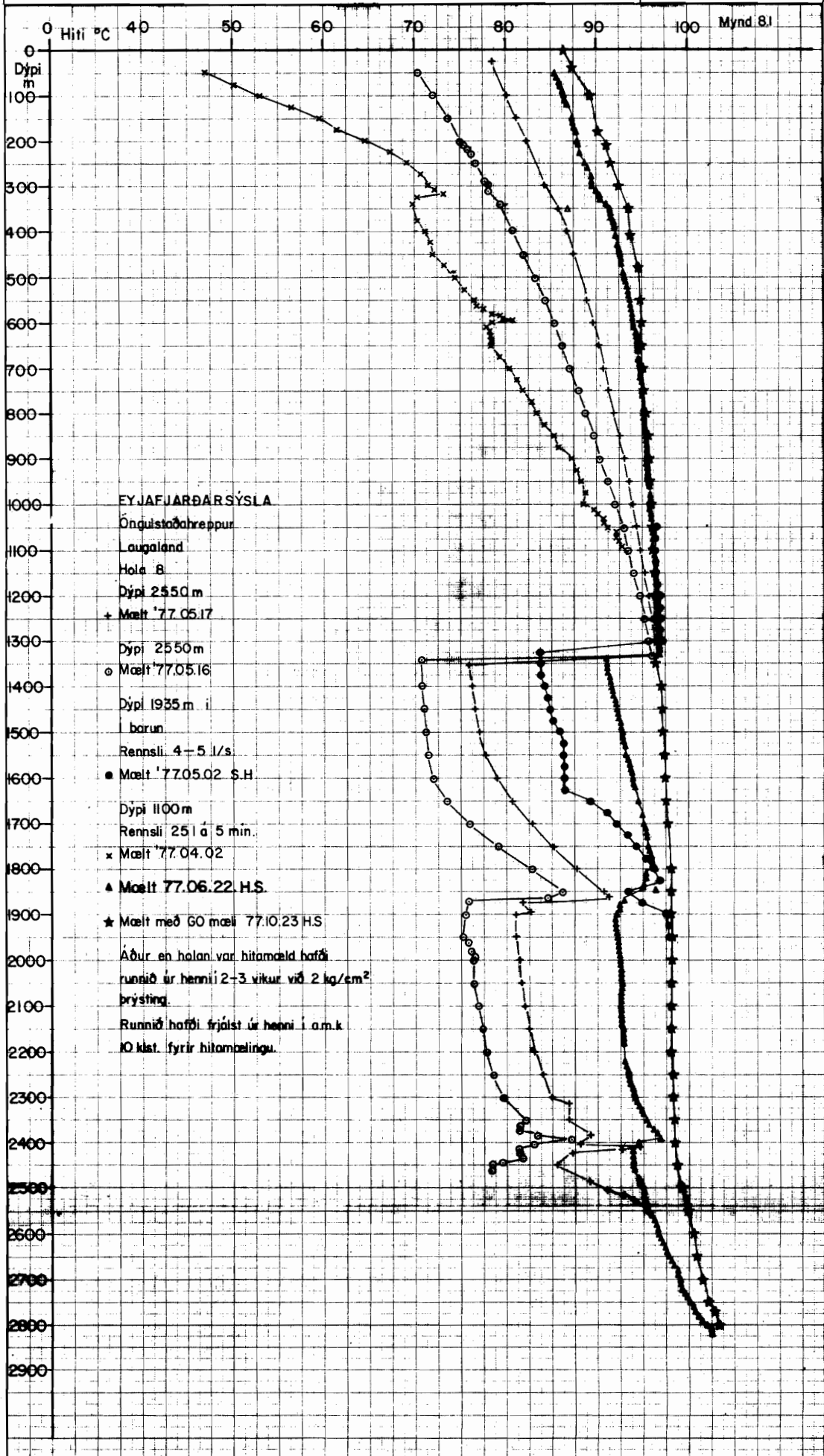
Viddar- og Viðnámsmælingar af GG-1

17.02.2006 46/AA3 1:24 1:153  
Blað 3 af 4 1.00mm Kvadr.

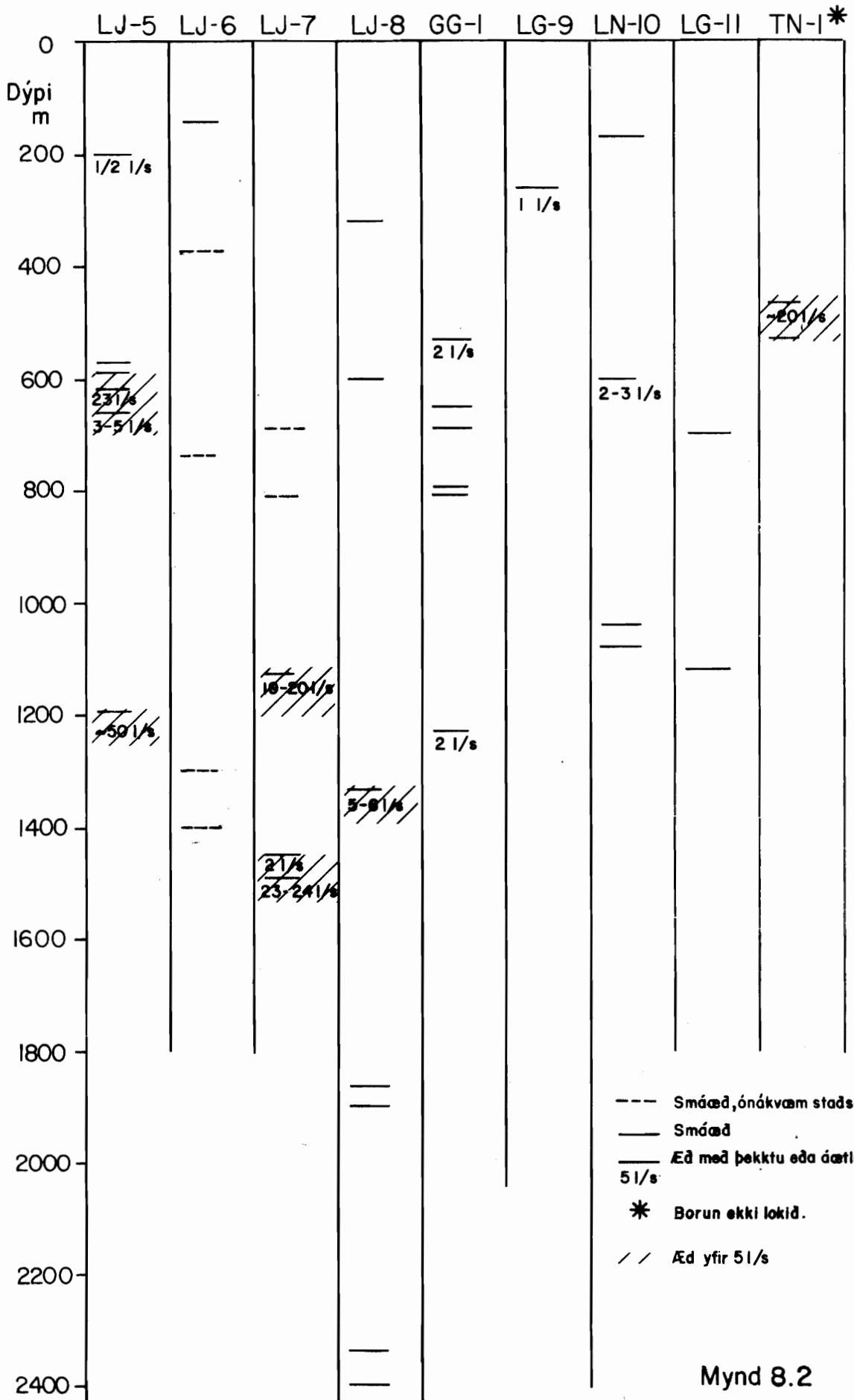




Hitamælingar í borholum

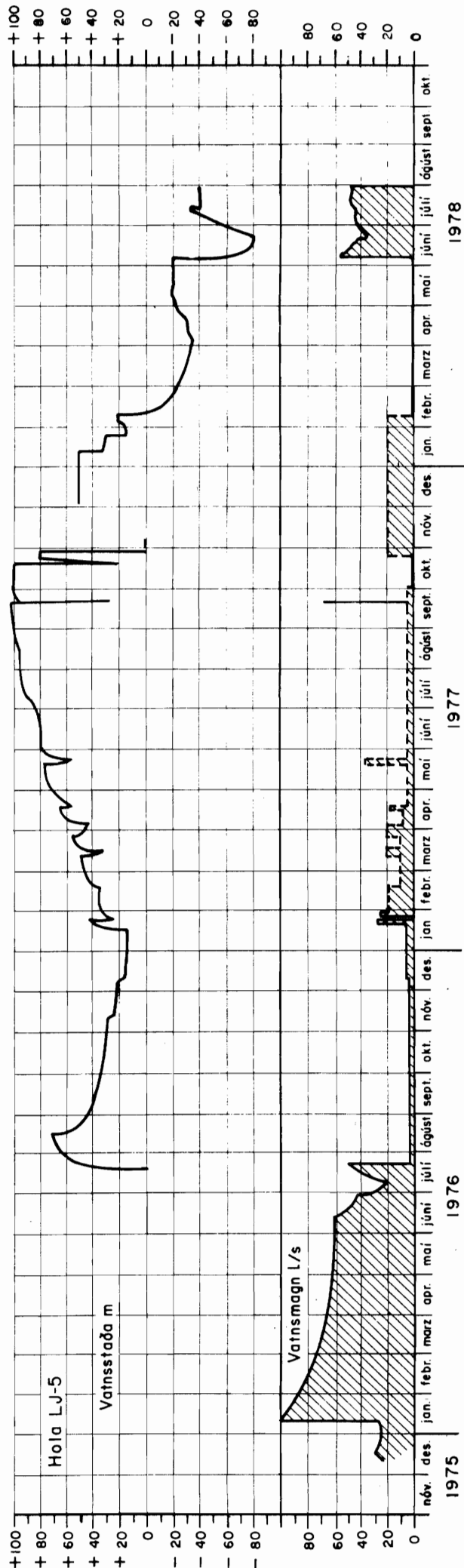
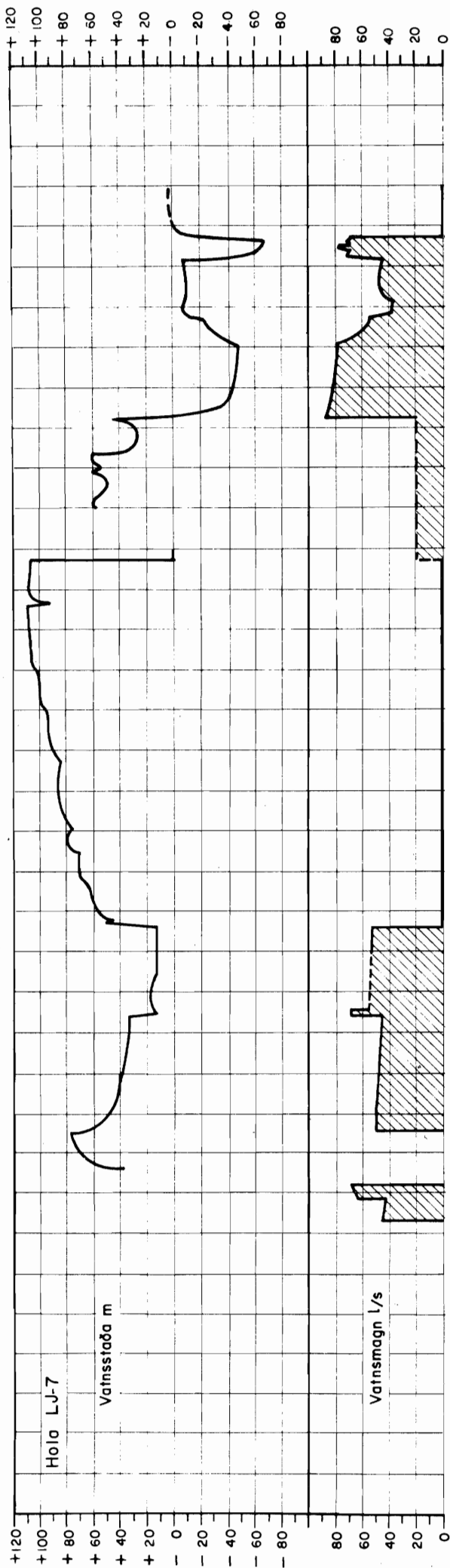


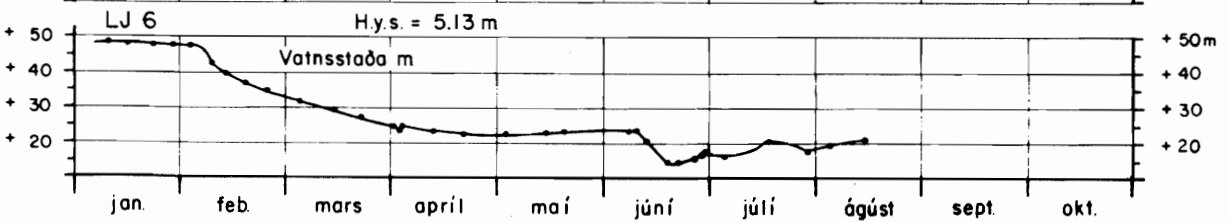
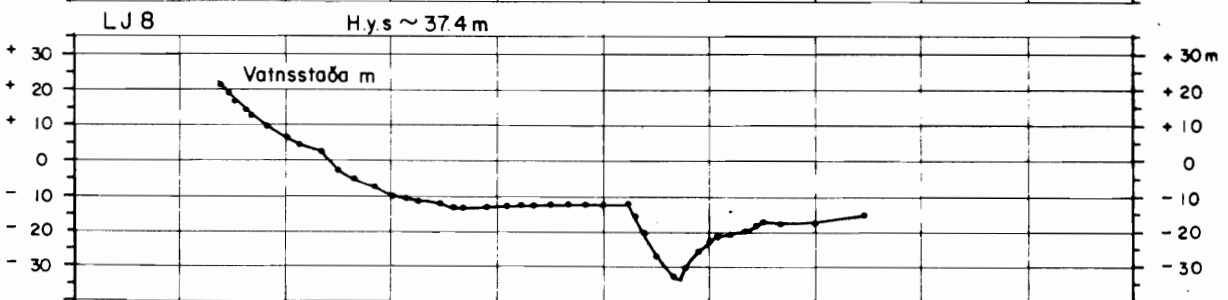
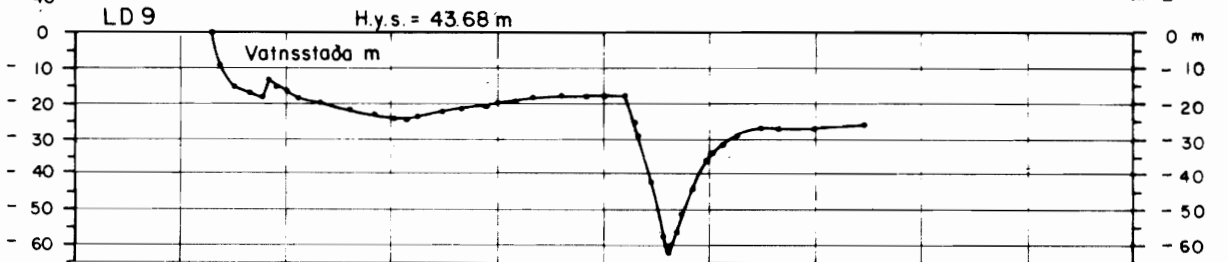
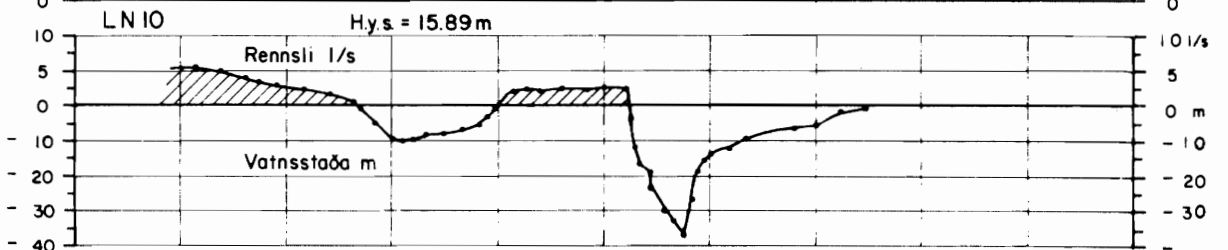
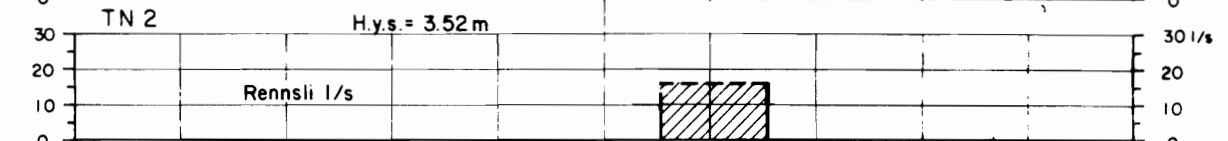
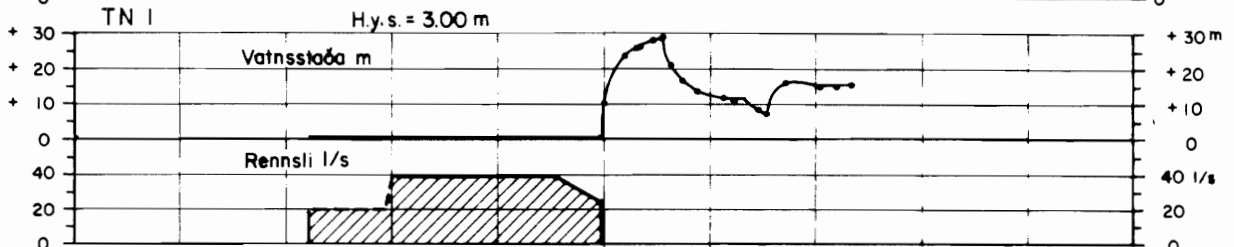
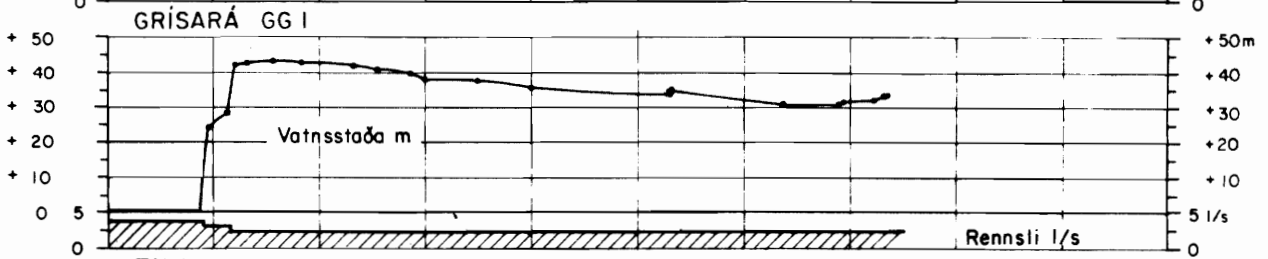
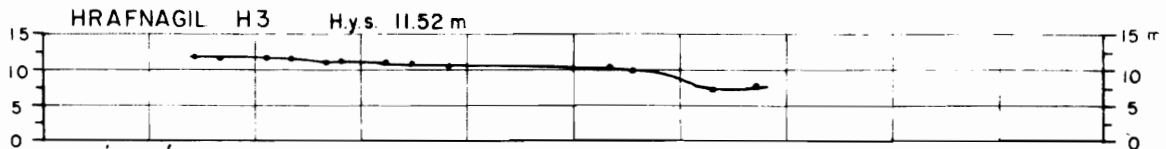




Holur LJ-5 og 7 við Laugaland, Eyjafirði  
 Vatnsmagn og vatnsstaða 1975-1978

Mynd 9.1





jan. feb. mars apríl maí júní júlí ágúst sept. októ.

1978

ORKUSTOFNUN		
Holar GG I, TN 1, TN 2, LN 10, LD 9, LJ 8 og LJ 6 í Eyjafirði Rennsli og vatnsstaða 1978		
D.Th/EK	78 10 19	17743
	Laugaland	



ORKUSTOFNUN

HOLA LJ 5

Vatnsstaða 78.03.30

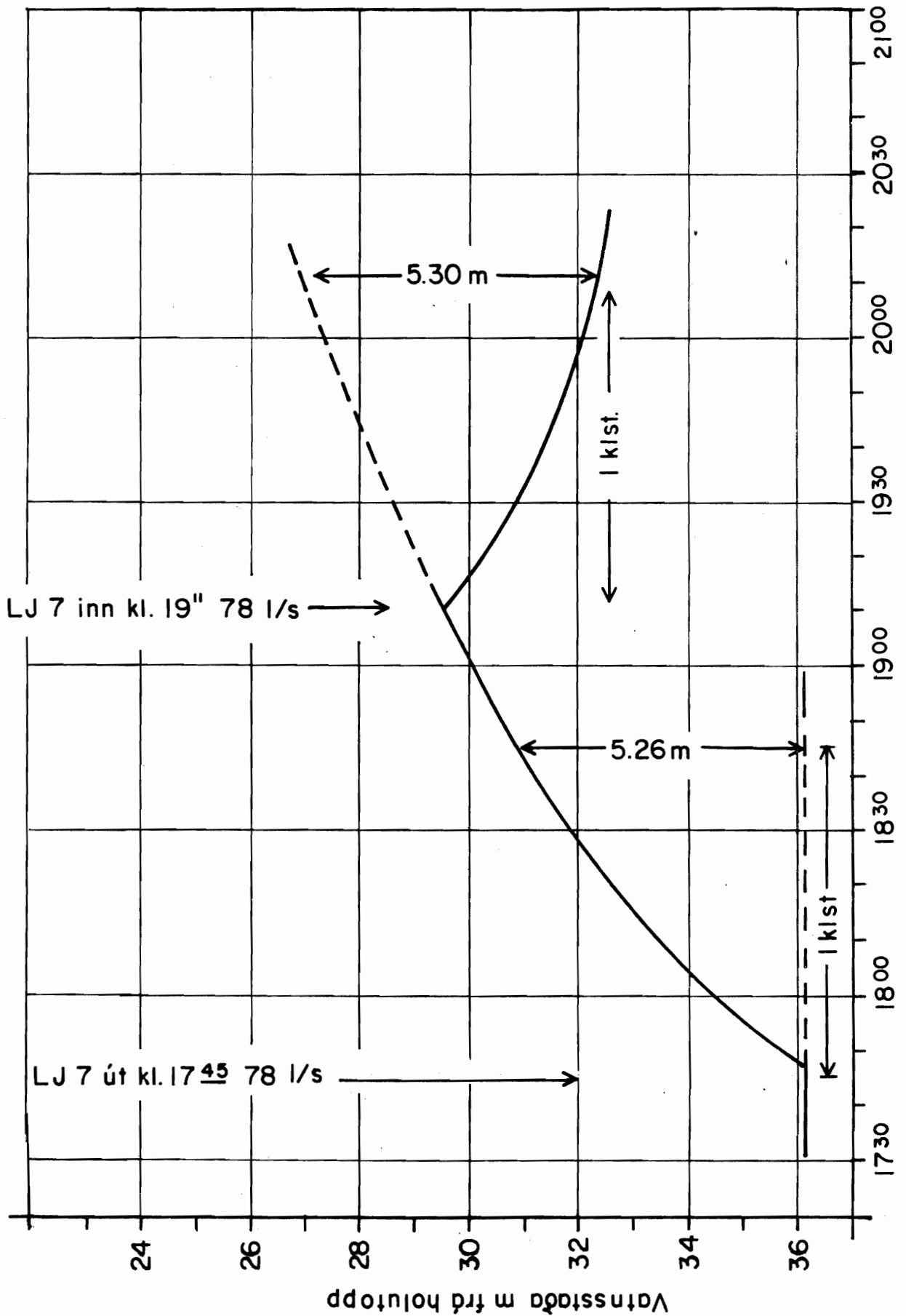
78.06.19 Þ.M/ÆK

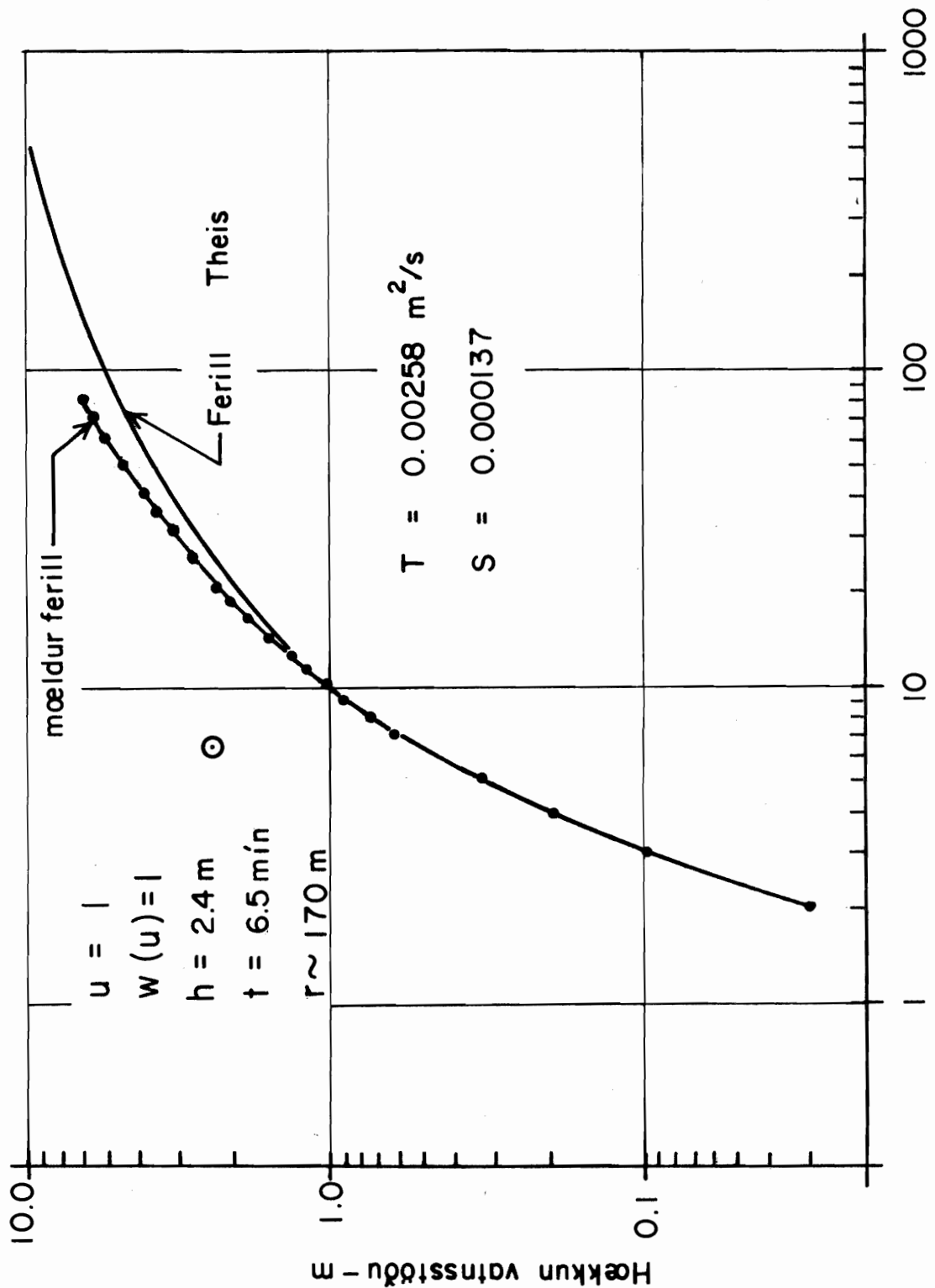
T-97

Laugal.

F-17284

Mynd 9.3







ORKUSTOFNUN

Syðra-Laugaland, Eyjafirði  
Dæluafköst  
Dýpi dælu = 90 m

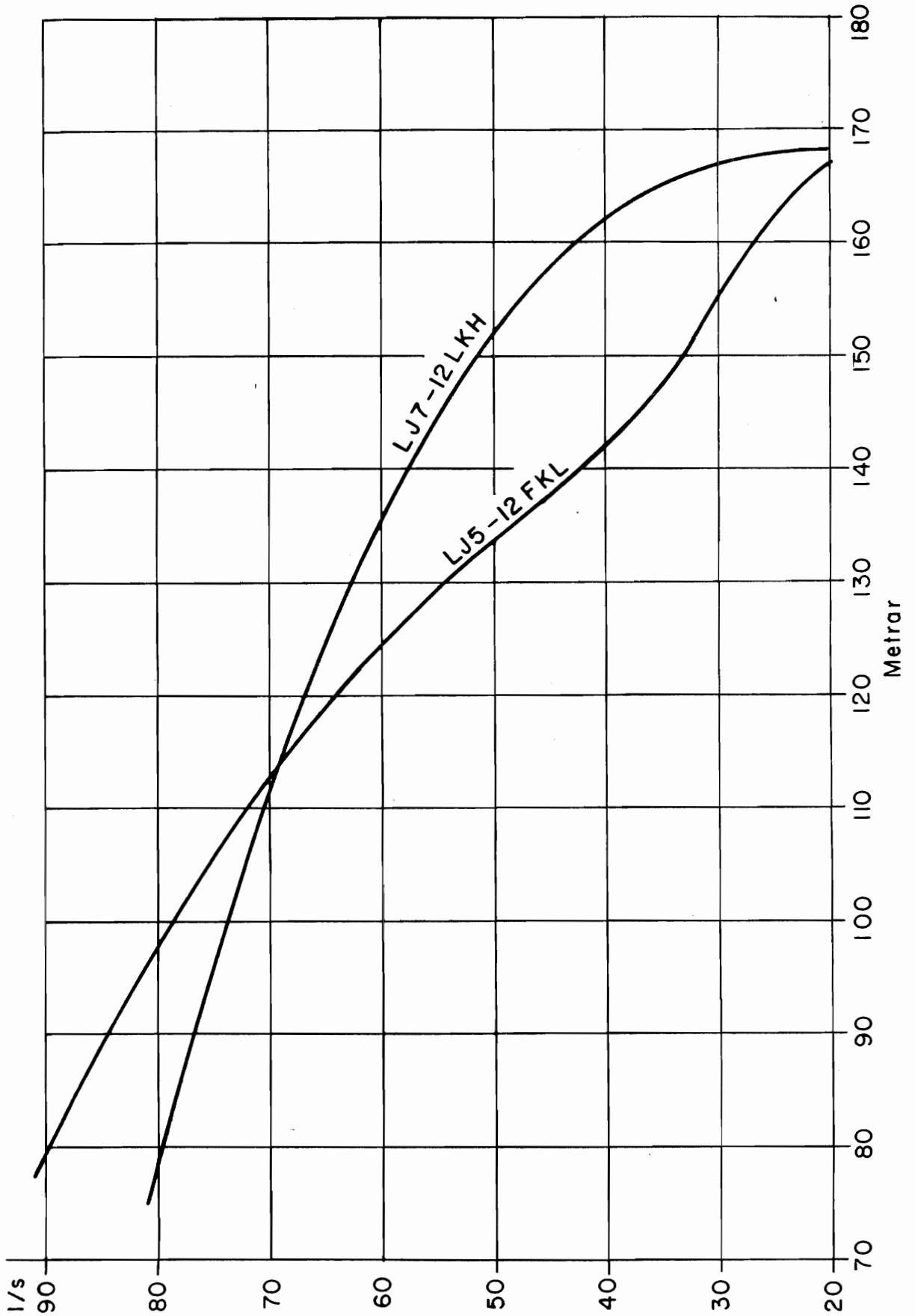
78-4-7 Þ.Th/IS

T-78

Laugaland

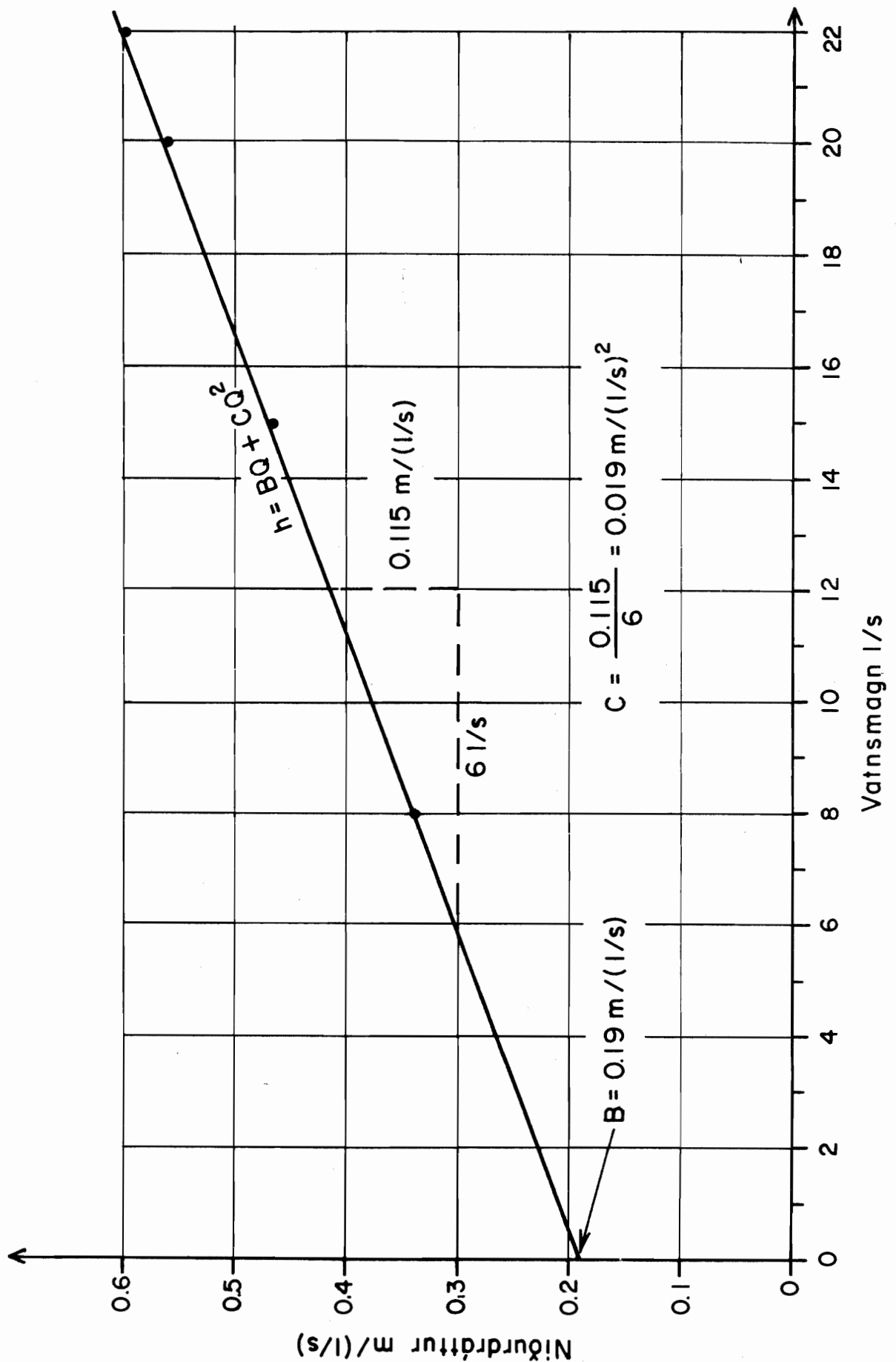
F-16626

Mynd 9.5





Mynd 9.6

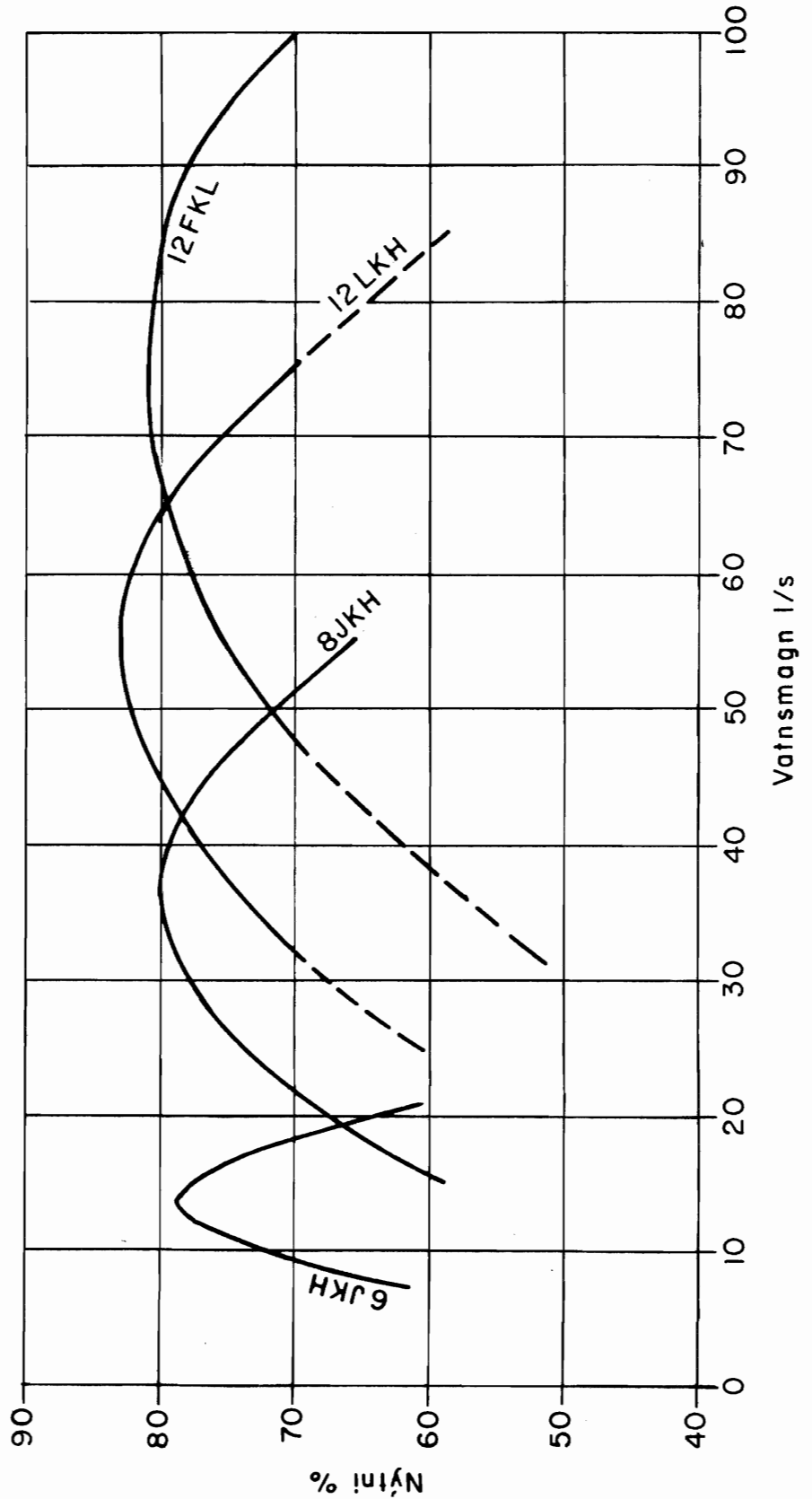




Floway djúpdælar, vatnsmagn og nýtni

Mynd 9.7

FLOWAY DJÚPDÆLAR  
VATNSMAGN OG NÝTNI  
2900 sn/mín. 6 JKH, 8 JKH  
1450 sn/mín. 12 LKH, 12 FKL







Holur LJ5 og LJ7 við Syðra-Laugaland  
Hallamæling

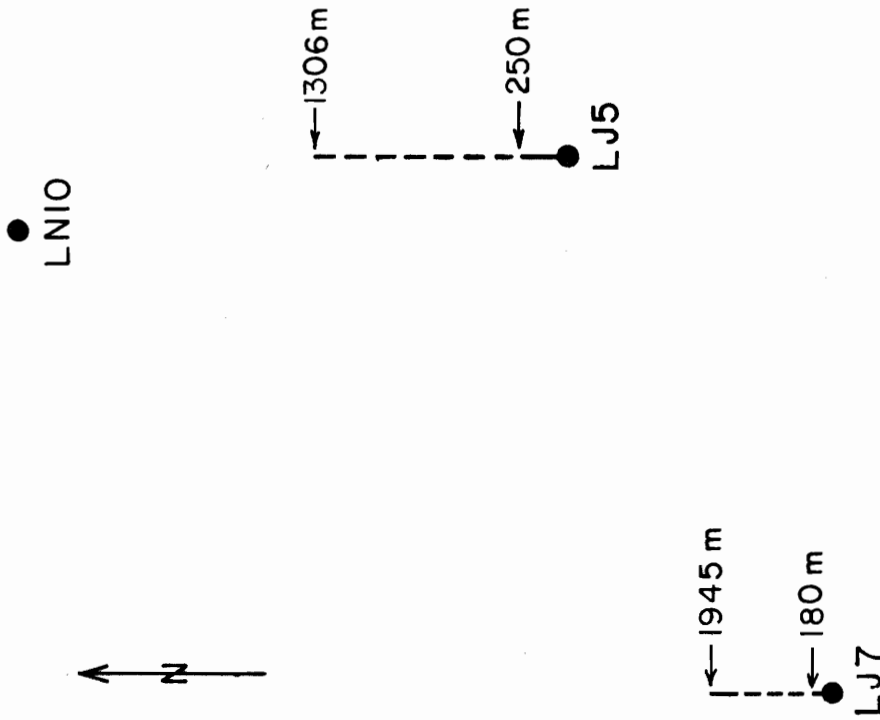
78-4-7 Þ.Th/IS

T-94

Laugaland

F-16805

Mynd 9.8.



AFSTÖÐUMYND

M = 1:2000

