



ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

REYKIR Í FNJÓSKADAL

Jarðeðlisfræðileg forathugun
jarðhitasvæðisins
Áfangaskýrsla nr. 1

Ólafur G. Flóvenz

OS80009/JHD05
Reykjavík, maí 1980

Unnið fyrir
Hitaveitu Akureyrar

REYKIR Í FNJÓSKADAL

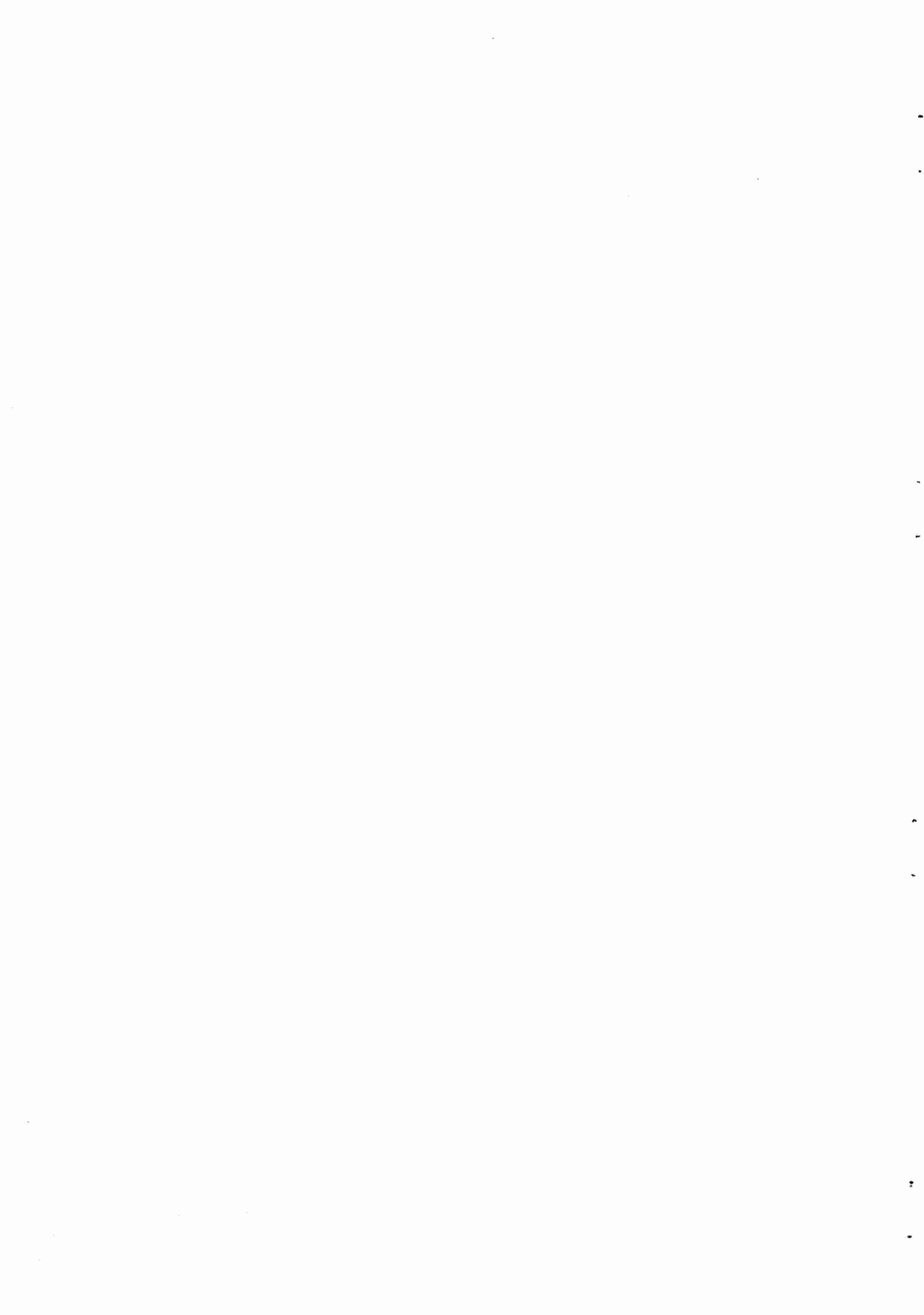
**Jarðeðlisfræðileg forathugun
jarðhitasvæðisins**

Áfangaskýrsla nr.1

Ólafur G. Flóvenz

OS80009/JHD05
Reykjavík, maí 1980

**Unnið fyrir
Hitaveitu Akureyrar**



AGRIP

Greint er frá ýmsum jarðeðlisfræðilegum athugunum á jarðhitasvæðinu að Reykjum í Fnjóskadal. Beitt var viðnámsmælingum, segulmælingum, hitamælingum í jarðvegi og sjálfspennumælingum. Jarðfræðikortlagning hafði áður sýnt að N-S misgengisbelti liggur um svæðið og veruleg hallaukning verður á jarðlöögum í fjöllunum vestan Reykja.

Viðnámsmælingarnar sýna mjög lágt viðnám miðað við gerð jarðlaga, viða minna en 20 Ωm . Svo lágt viðnám á blágrýtissvæði hefur fram að þessu aðeins fundist við meiri háttar jarðhita í Borgarfirði. Lágviðnáms-svæðið virðist teygt í NV-SA stefnu. Segulmælingar benda til þess að gangur með þessa sömu stefnu liggi skammt frá laugunum. Að auki gefa segulmælingarnar vísbindingu um nokkur N-S misgengi skammt austan Fnjóskár. Hitamælingar í jarðvegi og sjálfspennumælingar benda til þess að uppstreymi vatnsins úr berggrunninum, sem hulinn er lausum jarðlöögum, sé á línu sem liggur frá norðri til suðurs. Sett er fram sú tilgáta að vatnið berist eftir mörgum göngum sem stefna N-S og/eða misgengjum framan af hálandinu. NV-SA gangur sem liggur þvert á þá, virkar sem eins konar safnæð fyrir vatnið. Það berst síðan til yfirborðs þar sem safnæðin sker vel vatnsleiðandi misgengi.

Niðurstöður þessarar jarðhitaathugunar eru mjög jákvæðar svo langt sem þær ná og talið líklegt að vinna megi fleiri tugi sekúndulítra af 90°C vatni af svæðinu. Bent er á að nauðsynlegt sé að sannreyna þessa niðurstöðu með borunum.

Gerðar eru tillögur um framhald rannsókna meðal annars með borunum, þó að því tilskildu að hagkvæmt verði talið að leiða vatnið til Akureyrar.

EFNISYFIRLIT

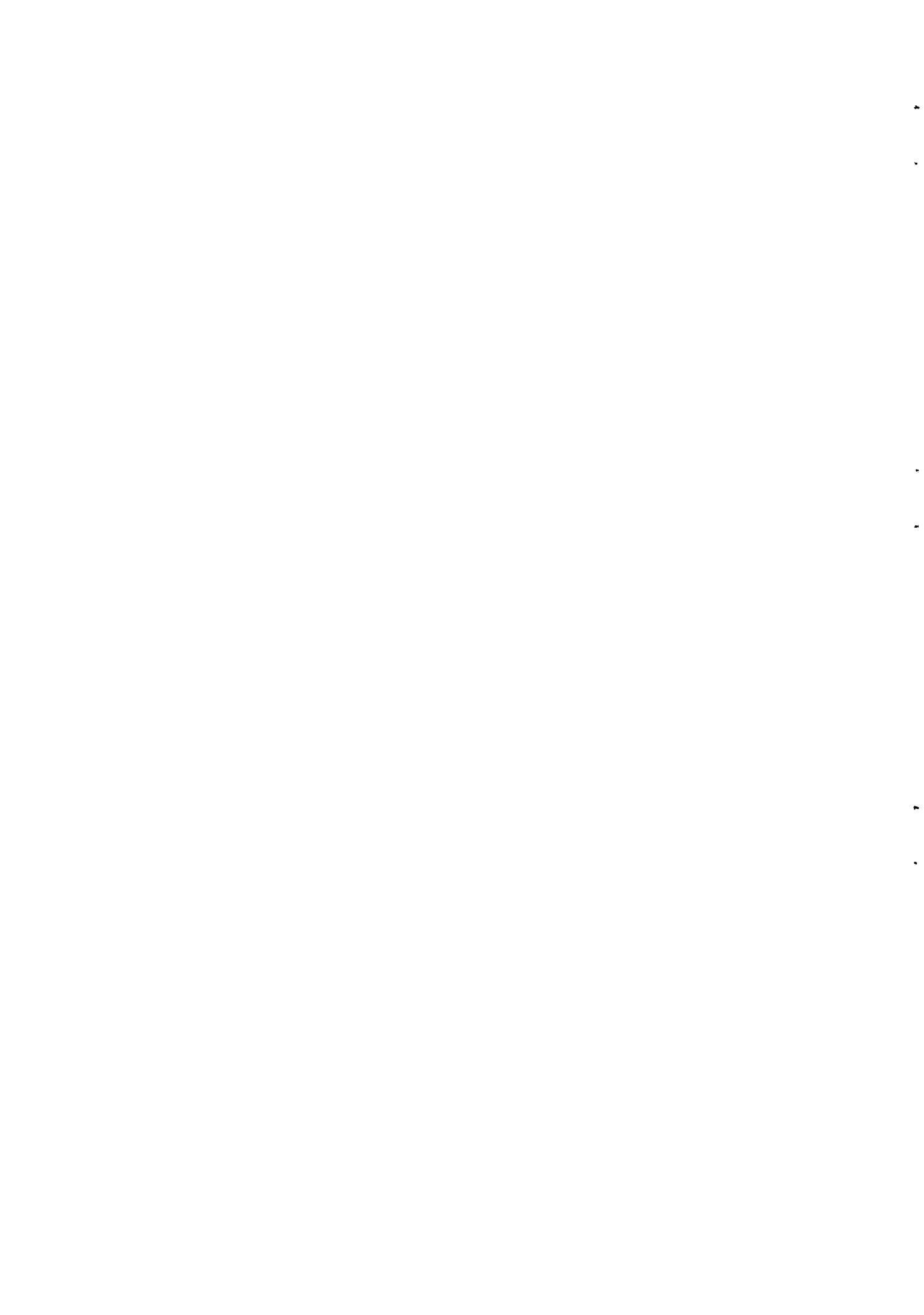
	Bls.
ÁGRIP	3
EFNISYFIRLIT	5
SKRÁ YFIR MYNDIR	5
SKRÁ YFIR VIÐAUKA	5
1 INNGANGUR	7
2 JARÐHITINN Á REYKJUM	8
3 VIÐNÁMSMÆLINGAR	8
4 SEGULMÆLINGAR	13
5 HITAMÆLINGAR í JARÐVEGI	15
5.1 Almennt um hitamælingar í jarðvegi	15
5.2 Hitamælingar í jarðvegi við Reyki í Fnjóskadal	17
6 SJÁLFSPENNUMÆLINGAR (SP-mælingar)	19
7 NIÐURSTÖÐUR	22
8 FRAMHALD RANNSÓKNA	25
HEIMILDASKRÁ	26
MYNDIR	27
 TAFLA 1 Viðnám á blágrýtissvæðum	12

SKRÁ YFIR MYNDIR

1 Staðsetning viðnámsmælinga	29
2 Dýpi á lágviðnámslagið og viðnámið í því	30
3 Viðnámskort	31
4 N-S snið af viðnámi, hita í jarðvegi og sjálfspennu	32
5 Hitamælingar í jarðvegi	33
6 Sjálfspenna í millivoltum	34
7 Sjálfspennufrávik yfir laugunum við Reyki	35
8 Samantekt mæliniðurstaðna	36

SKRÁ YFIR VIÐAUKA

A Viðnámslinurit og túlkun þeirra	37
B Reykir í Fnjóskadal, segulkort	43
C Samband veðurfars og hitastigs í jarðvegi	47
D Athugun á varmastreymi vegna varmaleiðni	53



1 INNGANGUR

í skýrslu Orkustofnunar "Jarðhiti í nágrenni Akureyrar" (Axel Björnsson & Kristján Sæmundsson 1975) er lagt til að ráðist verði í boranir að Reykjum í Fnjóskadal verði niðurstöður borana við Laugaland í Eyjafirði neikvæðar. Sú niðurstaða er byggð á viðnámsmælingum sumarsins 1975 og jarðfræðilegum aðstæðum við Reyki, en þar skerast tvö misfellubelti og ætti lekt jarðlaga því að vera góð.

Þegar búið er að fullnýta jarðhitasvæðin í Eyjafirði er jarðhitasvæðið við Reyki í Fnjóskadal næsti virkjunarkostur. Það er hins vegar dýrt að leiða vatnið frá Reykjum til Akureyrar, vegna fjalllendisins á milli. Loftlinna frá Reykjum að núverandi vinnslusvæði Hitaveitu Akureyrar er hins vegar aðeins 13 km.

Eðlilegt er að hyggja að jarðhitinum á Reykjum, kanna hversu mikils vatns sé þaðan að vænta og hversu auðveldlega gengur að afla þess. Á grundvelli upplýsinga um jarðhitann má síðan meta hagkvænni þess að dæla vatninu frá Reykjum og ákveða hvort og hvenær í það verður ráðist.

Undirbúningsrannsóknir til staðsetningar tilraunaborhola að Reykjum voru gerðar sumarið 1979. Þær fólust í jarðeðlisfræðilegum mælingum. Með viðnámsmælingum var reynt að ákvarða stærð jarðhitasvæðisins og með segulmælingum, hitamælingum og sjálfspennumælingum var reynt að ákvarða legu uppstreymisrásar heita vatnsins úr berggrunninum. Þessi skýrsla fjallar um framkvæmd og niðurstöður þessara rannsókna og gerðar eru tillögur um viðbótarrannsóknir og staðsetningu borhola.

2 JARÐHITINN Á REYKJUM

Laugarnar á Reykjum koma upp út malarlögum sem þekja botn Fnjóskadals. Þykkt malarlaganna er ekki þekkt og hvergi sér á fast berg í grennd lauganna. Vatnsmestu laugarnar eru skammt frá gróðurhúsunum og er rennsli þeirra talið nálega 5 l/s af 90°C vatni (Kristján Sæmundsson & Karl Ragnars 1974). Vatnsmeiri laugin hefur verið hulin grjóti og möl og eru nú ræktaðar kartöflur þarna með góðum árangri. Þá mældist í sumar 61°C laug í Fnjóskárbokkum rétt SSV af laugunum en rennsli úr henni var óverulegt. Þá eru spurnir af laug úti í Fnjóskánni skammt frá þeim stað þar sem laugin er á árbakkanum. Að sögn Guðmundar Gunnarssonar bónda á Reykjum mun þar hafa mælst um 60°C hiti vetur einn milli 1930 og 1940 er klakastífla varð í ánni. Auk þessa finnst viða velgja við árbakkann en óvist er hvort um uppstreymi sé að ræða.

Kísilhiti var mældur árið 1969 og reyndist 70,7° sem augljóslega er rangt. Nýtt sýni var tekið í mars 1980 og gefa bráðabirgðaniðurstöður til kynna að kísilhiti vatnsins sé 107°C, miðað við jafnvægi við kalseðón (Hrefna Kristmannsdóttir 1980, munnl. uppl.).

3 VIÐNÁMSMÆLINGAR

Sumarið 1975 voru mældar allmargar viðnámsmælingar í Fnjóskadal meðal annars í grennd Reykja. Niðurstöður þeirra mælinga ásamt jarðfræðilegum aðstæðum voru forsenda þeirrar umsagnar sem þá var gefin um Reykjasvæðið (Axel Björnsson & Kristján Sæmundsson 1975). Þessar mælingar hafa nú verið endurtúlkaðar með hjálp töluforrits sem reiknar út hvernig mælingi gildi ákveðið viðnámslíkan gefur, þegar reiknað er með lárétt lagskiptum viðnámslögum. Sú endurtúlkun leiddi ekki til neinna stórvægilegra breytinga á fyrri túlkun.

Mæliaðferðinni sjálfri, kostum og annmörkum hefur áður verið lýst í skýrslum Orkustofnunar til Hitaveitu Akureyrar (Axel Björnsson o.fl. 1979, Axel Björnsson & Kristján Sæmundsson 1975).

Síðastliðið sumar voru mældar 8 viðnámsmælingar í nágrenni Reykja. Tilgangur þeirra var að afmarka nánar lágviðnámssvæðið þar. Staðsetning

allra viðnámsmælinga við Reyki er sýnd á mynd 1 og túlkun einstakra mælinga ásamt útreiknuðum mæliferli (heildregin lína) sem svarar til túlkunarinnar er sýnd í viðauka A.

Mælingunum í innanverðum Fnjóskadal og Ljósavatnsskarði má skipta í two flokka. Í öðrum floknum eru mælingar með tvö einkennandi viðnámslög neðan þunnra yfirborðslaga. Viðnámið í efra laginu er nálægt 100 Ω m og nær það niður á 60-300 m dýpi og dýpkar í austur. Þetta viðnámsgildi er dæmigert fyrir viðnám í fremur lítið holufylltu basalti utan jarðhitasvæða. Viðnámið í neðra laginu er um 40 Ω m, sem er lágt miðað við blágrýtissvæði. Hitastigull í holu Háls í Ljósavatnsskarði er $62^\circ/\text{km}$ (Axel Björnsson & Kristján Sæmundsson 1975). Þessi lági stigull bendir ekki til þess að hár hiti valdi lágu viðnámi neðra lagsins. Sennilegra er að vatnsinnihald bergsins sé með meira móti. Líta má á 40 Ω m lagið sem svæðisbundið djúpviðnám (á 300-1000 m dýpi) í innanverðum Fnjóskadal.

Í hinum floknum eru þrjú einkennandi viðnámslög. Efsta lagið hefur 100-200 Ω m viðnám, nema næst laugunum á Reykjum, og er sambærilegt við efra lagið í fyrrnefnda floknum. Neðan þess tekur við lágviðnámslag og loks hærra viðnám þar fyrir neðan. Lágviðnámslagið kemur fram í 11 mælingum næst Reykjum. Viðnámið í því liggur á bilinu 5-30 Ω m, meðalgildi þess er 19 Ω m í þessum ellefu mælingum og staðalfrávik 9 Ω m. Svona lágt viðnám á blágrýtissvæðum hefur hingað til einungis fundist við meiriháttar jarðhita í Borgarfirði (sjá töflu 1). Þar sem svæðisbundið viðnám er þarna nálægt 40 Ω m utan jarðhitans má líta á 25 Ω m viðnám sem merki um allnokkurn jarðhita.

Varla verður dregið í efa að lágviðnámslagið orsakist af jarðhita, laugarnar við Reyki með sínu 90°C heita vatni staðfesta það. Óvist er hversu langt til suðurs og norðurs lágviðnámsvæðið nær. Er æskilegt að kanna það með frekari mælingum. Neðan lágviðnámslagsins hækkar viðnám á ný. Í mælingunum næst laugunum (FN-1 og AK 17) hækkar viðnámið þó lítið með dýpinu eða aðeins í 15-22 Ω m. Í öllum öðrum mælingum þar sem lágviðnámslagið finnst, er um mun meiri viðnámshækkun að ræða, í 50-150 Ω m. Þetta er mun hærra gildi en á sama dýpi utan lágviðnámssvæðisins.

Það virðist í fyrstu svolitið ankannalegt að mælt viðnám skuli vera hærra undir lágviðnámslaginu (jarðhitum) en á sama dýpi utan þess. Skýringin kann að liggja í meiri holufyllingum eða innskotum undir jarðhitum en utan hans. Þess ber þó að gæta að sýndarviðnámið við mesta bil milli straumskauta er yfirleitt á bilinu 35-55 °m en ferillinn er þar á uppleið (sjá viðauka A) og bendir halli hans til 50-150 °m viðnáms í neðsta laginu. Hugsanlegt er að þau frávik frá lárétttri lagskiptingu í viðnámi sem þynning, viðnámshækun lágviðnámslagsins og breytingar á dýpinu niður að því ráði hér einhverju um.

Á mynd 2 er dýpið niður á lágviðnámslagið teiknað. Kemur þar fram að grynnst er á það við laugarnar á Reykjum. Áberandi er hversu mikið minni dýptaraukningin á lágviðnámslagið er í stefnu N-S misgengjanna, heldur en þvert á þau.

Á mynd 3 eru dregnar inn 15, 20 og 30 °m jafnviðnámslinur. Það er áberandi að lægsta viðnámið virðist fylgja stefnu um 30° vestan við norður. Það gæti bent til þess að jarðhitinn tengist á einhvern hátt jarðmyndun með þessa stefnu.

Á mynd 4 er sýnt viðnámssvið með N-S stefnu í gegnum Reyki. Þar má glögglega sjá að viðnámið er lægst við Reykjalaug og þar er jafnframt ekkert hátt botnviðnám undir. Það er einnig áberandi hvernig viðnámið í lágviðnámslaginu hækkar til norðurs og suðurs út frá Reykjum.

Gerð var tilraun til að meta þykkt lausra jarðlaga út frá mælingunum. Viðnám í þeim og bergeninu undir virðist það áþekkt og breytilegt að ekki reyndist unnt að fá neinar trúverðugar niðurstöður.

Hafa ber í huga í sambandi við þá túlkun mælinga sem sett er fram hér, að hún gerir ráð fyrir því að viðnámslögin séu lárétt og hafi óendanlega útbreiðslu. Telja má skilyrðinu um óendanlega útbreiðslu sé sámi-lega fullnægt ef engar meiriháttar breytingar á viðnámi í láréttu stefnu eru á svæði sem nær 1-1,5 km út frá miðpunktum mælingar. Þegar litið er á myndir 2-4 er augljóst að þessu skilyrði er alls ekki fullnægt, né heldur skilyrðinu um lárétt lög. Orkustofnun ræður enn sem komið er ekki yfir þeirri úrvinnslutækni sem nauðsynlegt er að beita á slik vandamál, en nú er verið að afla nauðsynlegra forrita erlendis frá til

að bæta hér úr. Í ljósi þessa ber að skoða allar niðurstöður viðnámsmælinganna hér þannig að þær sýni grófa yfirlitsmynd af viðnámslögum af svæðinu en varast ber að reyna að taka smáatriðin of bókstaflega.

TAFLA 1

Viðnám á blágrytissvæðum

		Viðnám Ωm	Hiti °C	Kísil- hiti °C
Borgarfjörður	Deildartunga- Kleppj-Reykir	15-20	100	123
	Hurðarbak	25	101	126
	Runnur-Klettur	30-40	92	111
	Bær Svæðisbundlað utan jarðh.sv.	20-40 50-80		
Dalvík	Hamar	70		
	Svæðisb. utan jarðh. svæða	100-250		
Siglufjörður	Við jarðhita í Skútudal	80	67	88
	Utan jarðhitans	150-200		
Ólafsfjörður	Við jarðhita v/borholur hita- veitunnar	180	65	68
	Utan jarðhitans	250		
Vestur-Fljót	Við jarðhita Utan jarðhitasv.	40-60	64	104
		90-250		
Hjaltadalur	Við jarðhita Utan jarðhita	80-90	56	
		120-150		
Egilsstaðir	Við jarðhita Utan jarðhita	120		
		200-300		
Reykir í Fnjóskadal	Við jarðhita Utan jarðhita	15-20		
		40		

4 SEGULMÆLINGAR

Þar sem heita vatnið á Reykjum kemur upp úr berggrunninum undir allþykkum lausum jarðögum er ekki unnt að sjá með berum augum hvað veitir heita vatninu upp, né hvar það kemur upp úr berggrunninum. Því verður að notast við jarðeðlisfræðilegar mælingar til að reyna að finna þetta út. Í svipuðum tilfellum er vaninn að býta segulmælingum. Í skýrslu jarðhitadeildar til Hitaveitu Akureyrar (Axel Björnsson o.fl. 1978) er kafli með lýsingu á mæliaðferðinni. Gangar koma oftast fram í segulmælingum og misgengi sömuleiðis ef aðstæður eru hagstæðar. Þar sem lausu jarðögum við Reyki eru fremur þykk, eru segulfráviken frá göngum og þó sérstaklega frá misgengjum dauf en engu að síður er oft unnt að rekja þau. Þess vegna var ákveðið að gera segulkort af allstóru svæði umhverfis Reyki. Mælt var eftir mælilínum sem lágu austur-vestur. Höfð var 25 m fjarlægð milli línanna og mælt með 5 m bili eftir línunum. Segulkortið er birt í viðauka B. Eins og sjá má er kortið ekki skyggt í hlutfalli við segulsviðsstyrkinn eins og oft er gert. Ástæðan er hversu óreglulegt segulkortið er og því lítil bót að skyggingu. Hafi lesandi áhuga á að athuga kortið vel er honum bent á að lita það með mismunandi litblýontum til að skýra það. Erfitt er að draga nokkrar ályktanir af kortinu við fyrstu sýn. Línuleg segulfrávik eru ekki mjög áberandi. Inn á kortið eru merkt átta segulfrávik sem sérstaklega þarf að athuga. Frávik 1 og 2 eru aðeins að litlu leyti inni á kortinu og liggja auk þess fjarri jarðhitum. Sá litli hluti sem sést bendir til þess að stefna þeirra sé norðaustlæg. Hér gæti verið um ganga að ræða.

Svæðið sem liggur vestan- og sunnanvert við veginn frá Reykjabænum og til suðurs fram að laugunum að vestan er afar mishæðótt. Þarna hefur orðið framhlaup úr fjallinu til austurs. Mishæðirnar valda segulfrávikum nr. 3-6.

Segulfrávik nr. 7 er á marflötu landi. Það hefur stefnu rétt austan við norður. Þetta er sama stefnan og misgengin yfir að Stóru-Tjörnum hafa. Telja verður nokkrar líkur á að þarna sé um misgengi að ræða.

Segulfrávik nr. 8 er athyglisvert að tvennu leyti; Það liggur nærri laugunum og virðist stefna í stórt gil yst í Tungufjalli. Frávikið

er hins vegar fremur dauft og breitt og út frá lögum þess er hæpið að það stafi af einum stökum gangi. Tveir samsíða gangar gætu hins vegar skýrt það. Þess ber þó að gæta að mælilínurnar liggja ekki þvert á frávikið og setþykkt virðist hvað mest þarna og því túlkun erfið. Til að athuga þetta nánar fóru tveir mælingamenn sem voru við segulmælingar í Eyjafirði í mars 1980 einn dag að Reykjam og mældu nokkrar segullínur þvert yfir gilkjaftinn í Tungufjalli. Niðurstöður þeirra eru sýndar á mynd 8. Þar koma fram tvö línuleg segulfrávik sem trúlega stafa frá göngum. Stefna þess sem gefur stærra segulfrávik er N45°V. Minna frávikið er ekki vel greinilegt nema í mælilínum 2 og 3. Stefna þess virðist þar heldur vestlægari en stefna þess stærra. Ekkert er hægt að fullyrða út frá fyrirliggjandi gögnum hvort hér er um að ræða two ganga sem skerast eða hvort þeir eru samsíða. Nauðsynlegt er að rekja gangana með segulmælingum lengra til vesturs til að sjá hvort þeir gangi jafnnærri laugunum og ætla mætti út frá segulkortinu.

Að auki má út frá þessum fimm mælilínum leiða líkur að því að þrjú norður-suður misgengi skeri mælilínurnar. Þau koma bæði fram sem stallar í mælilínunum. Það austara liggur inn í gil eitt í norður-suðurstefnu er kallast Grænagil. Þar bræðir kröftuglega af sér en ekki hefur verið mældur hiti þar.

5 HITAMÆLINGAR í JARÐVEGI

5.1 Almennt um hitamælingar í jarðvegi

Hitamælingar í jarðvegi hafa lítið verið notaðar hérlandis við könnun á jarðhita ef frá er talið jarðvegshitakort sem gert var af háhitasvæðinu á Reykjanesi fyrir fáeinum árum og jarðhitasvæðinu við Bæ í Andakílshreppi.

Slikar hitamælingar beinast að því að finna staði þar sem hitastig er óvenjulega hátt.

Hitastig jarðvegs á ákveðnu dýpi er háð tvennu, varmastreymi neðan frá og veðurfari. Gera má ráð fyrir að varmastrauðurinn neðan frá sé svo til jafn allt árið en veðurfarssveiflur eru hins vegar miklar. Áhrif verðurfars eru aðallega vegna sveifla í lofthita en úrkoma getur einnig komið við sögu. Til að fá svolitið mat á þessi áhrif hafa verið fengin mæligögn frá Veðurstofu Íslands (Hreinn Hjartarsson munnl. uppl.). Skoðaðar hafa verið hitamælingar í jarðvegi frá Reykjavík, Möðruvöllum í Hörgárdal og Reykjum í Ölfusi frá tímabilinu maí-sept. 1979. Samanburður þessara mælinga við lofthita er sýndur í viðauka C.

Á 0,5 m dýpi virðist árssveiflan ná um 90% af hlaupandi meðalgildi loft-hitasveiflunnar miðað við dagsmeðaltal. Dægursveiflunnar, sem getur verið mjög mikil, gætir aðeins í efstu sentimetrunum og hitasveiflna með nokkurra daga sveiflutíma gætir óverulega niður á 0,5 m dýpi en eru vel greinanlegar á 0,2 m dýpi. Hámark árssveiflunnar á 0,5 m dýpi kemur fram 22-25 dögum á eftir hámarki lofthitasveiflunnar. Ákvarðast það af varmaleiðni jarðvegsins.

Ef varmaleiðni þess svæðis sem mælt er á er mjög misjöfn ofan mælidýpis, einkum rétt ofan þess, er hámark árssveiflunnar ekki alls staðar jafnlangt á eftir hámarki lofthitasveiflunnar. Þetta getur valdið hitamismun á 0,5 m dýpi á svæðinu sem á ekkert skyld við jarðhita. Til að draga úr hitanum vegna mismunandi varmaleiðni jarðvegs er best að mæla þegar lofthiti hefur verið svipaður í lengri tíma. Ákjósanlegasti tíminn er þá oft frá miðjum júlí og fram í byrjun september.

Eðlisvarmi jarðvegs hefur mikil áhrif á hitastigið í jarðveginum. Sé eðlisvarminn hár verður dempun árssveiflunnar niður á við mun meiri. Ef vatnsinnihald jarðvegs er mjög mikið t.d. í myri, er eðlisvarminn hár og myrin kemur fram sem fremur kalt svæði í mælingum að sumri en hlýtt svæði í mælingum að hausti.

Áhrifa úrkому á hitastig á 0,5 m dýpi virðast ekki gæta merkjanlega á linuritunum í viðauka C. Áhrif úrkommunnar eru líkast til mest í þá átt að kæla yfirborð jarðar. Munar þar mest um varma þann sem uppgufun vatns dregur úr yfirborði jarðar en mun minna um þann varma sem regnið flytur vegna hitamismunar þess og jarðvegsins. Ef vel er að gætt má sjá þessi áhrif í viðauka C, einkum í Reykjavík og Reykjum í Ölfusi þar sem úrkoma er mikil. Meðan jarðvegur er að hitna fram eftir sumri koma miklar rigningar fram þannig að jarðvegshitinn hættir að aukast eða eykst lítið næstu sólarhringa eftir regnið. Meðan jarðvegur er að kólna að hausti valda auknar rigningar örari kólnun jarðvegs en ella. Af linuritunum í viðauka C virðist mega draga þann lærðom að áhrif úrkому á hitastig á 0,5 m dýpi í jarðvegi séu óveruleg nema úrkoman nemi tugum mm á 2-3 sólarhringa í röð.

Þegar leggja skal mat á hitamælingar í jarðvegi ber að hafa eftirfarandi atriði í huga:

- 1) Athuga hvort jarðvegsgerð á mælisvæðinu er mjög misjöfn þannig að búast megi við breytilegri varmaleiðni eða breytilegum eðlisvarma í jarðvegi innan svæðisins (t.d. myrlendi eða gamall árfarvegur á hluta svæðisins).
- 2) Athuga ber veðurfar undanfarinna tveggja mánaða. Best er að mæla að sumri, helst ekki fyrr en mánuði eftir að frost er farið úr jörðu og eftir að meðalhiti sólarhrings hefur verið stöðugur um 2-3 vikna skeið og úrkoma verið lítil.
- 3) Ef mælt er við hagstæð skilyrði á 0,5 m dýpi (sbr. lið 2) má telja hitastig sem er a.m.k. 1 °C yfir 90% af meðalhita undanfarandi viku og a.m.k. 1 °C yfir meðalhita undanfarandi 5 vikna marktækt frávik vegna varmastreymis neðan frá.

Utan háhitasvæða er hitastigull venjulega á bilinu $50\text{--}100^{\circ}\text{C}/\text{km}$ sem jafngildir $0,05\text{--}0,1^{\circ}\text{C}/\text{m}$. Þess vegna er út í hött að búast við því að unnt sé að ákvarða breytingar í hitastigli með hitamælingum í jarðvegi. Sé hins vegar lítil laug eða volgra hulin lausum jarðögum þannig að hennar verður eigi vart á yfirborði, er mögulegt að kanna það með jarðvegshitamælingum. Þannig getur 60°C heit laug undir 10 m þykkum jarðvegi valdið um $2\text{--}3^{\circ}\text{C}$ hitastigsaukningu á 0,5 m dýpi í jarðveginum.

Hitamælingar í jarðvegi geta því fyrst og fremst komið að gagni til að finna laugar eða volgrur undir lausum jarðögum og geta þannig hjálpað til við að kortleggja útbreiðslu jarðhitans.

5.2 Hitamælingar í jarðvegi við Reyki í Fnjóskadal

Hitamælingar við Reyki hófust 23. júlí 1979 og stóðu fram í byrjun ágúst. Mæld var $0,3\text{--}0,4 \text{ km}^2$ spilda milli vesturbakka Fnjóskár og fjalls. Unnt er að leggja mat á veðurfar undanfarandi vikna með því að skoða veðurathuganir frá Vöglum sem birtar eru í viðauka C. Þar má sjá að um 2 mánuðir eru liðnir frá því vetrarfrostum linnti og hlýna tók í veðri. Meðalhiti júní og júlí mánaða eru um $8,5^{\circ}\text{C}$ á Vöglum og sólarhringsmeðalhitinn fer sjaldan yfir 10°C . Má því telja svæði þar sem hitastig jarðvegs á 0,5 m dýpi er meir en 10°C afbrigðilega heitt.

Niðurstöður hitamælinganna eru birtar á mynd 5. Kemur fram allstórt afbrigðilega heitt svæði umhverfis laugarnar við gróðurhúsin og annað svæði í grennd við laugina á árbakkanum. Þá er einnig yfir 10° hiti (um 13°) við læk skammt sunnan Reykja II. Að sögn Guðmundar Hafsteinsonar bónda á Reykjum II mun einhverju sinni hafa mælst þarna 12°C hiti síðla hausts.

A svæðinu þar sem hitinn á kortinu er sýndur minni en 6°C var viða frost í jörðu.

Þótt lögun hitasvæðisins sé dálitið óregluleg má samt greina áberandi N-S tilhneigingu.

Jarðvegsgerð á svæði því sem mælingarnar ná yfir er nokkuð svipuð að því er best er vitað. Er þar um að ræða þunnt moldar- og gróðurlag ofan á mel. Mýrlendi er ekkert.

Vegna þess hve hitastig jarðvegsins er hátt á stóru svæði er ljóst að rennsli úr laugunum undir melnum hlýtur að vera nokkru meira en það magn sem nær yfirborði og rennur í heita læknum út í ána. Út frá hitamælingunum má meta gróflega þann varma sem leiðir úr melnum út í loftið og finna hve mörgum sekúndulítrum af 90°C vatni það samsvarar miðað við nýtingu niður í 30°C . Þetta er gert í viðauka D. Reynast þetta vera 1-2 l/s. Heildarrennslið af svæðinu er því líklega 6-7 l/s af 90°C vatni þegar undan er skilið það óþekkta magn sem rennur úr lauginni í ánni.

Hitamælingar voru ekki gerðar austan Fnjóskár en í ljósi þess hve mikill hiti mælist í árbakkanum sunnan gróðurhúsanna væri rétt að mæla spildu austan ár.

6 SJÁLFSPENNUMÆLINGAR (SP-mælingar)

Sums staðar erlendis hefur komið í ljós að rafsvið myndast á yfirborði jarðar yfir jarðhitasvæðum. Rafsviðið veldur því að spennumunur myndast milli einstakra punkta á yfirborði jarðar. Kerfisbundnar mælingar á spennumun milli einhvers valins viðmiðunarpunktar og rafskauta sem stungið er niður á við og dreif um svæðið kallast sjálfspennumælingar. Niðurstöður þeirra eru venjulega teiknaðar á kort og jafnspennulinur dregnar.

Sjálfspennumælingar eru enn á tilraunastigi bæði hér og erlendis. Hafa Bandaríkjamenn verið brautryðjendur á þessu sviði. Fyrstu tilraunir hérlendis með sjálfspennumælingar voru gerðar 1963 (Freysteinn Sigurðsson 1964). Þeim tilraunum var hins vegar ekkert fylgt eftir. Tilraunir með SP-mælingar hófust að nýju 1977. Var fyrst í stað einungis mælt á háhitasvæðum. Reykir voru fyrsta lághitasvæðið þar sem mælingarnar voru reyndar.

Framkvæmd mælinganna og tækjabúnaður er í raun mjög einfaldur. Notaður er venjulegur stafrænn spennumælir til að mæla spennu milli rafskautanna, sem eru úr kopar í mettaðri koparsúlfatlausn. Valinn var einn viðmiðunarpunktur og mælt út frá honum.

Helstu óvissupættir í mælingunum eru mismunandi rakastig jarðvegs, staðbundnar óreglur í yfirborðslagi, pólarisering rafskauta, hitastigsmunur rafskauta og spanstraumar vegna sveiflna í segulsþiði jarðar. Tilraun sem gerð var á Reykjum sýndi allt að 20mV mismun eftir því hvort mælt var í skraufþurrum eða rennblautum sandi. Af þessu leiðir að æskilegast er að mæla í landi þar sem yfirborðslög halda svipuðu rakastigi. Mælingar sem gerðar eru í vætusamri tíð eru ónákvæmari en ef mælt er í þurrki.

Staðbundnar óreglur í yfirborðslagi við mælipunkt geta numið $\pm 7\text{mV}$ við mælingar innan eins fermetra. Breytilegir efnafræðilegir eiginleikar, mismunandi snertiviðnám rafskauts við jarðveg, mismunandi rakastig o.fl. er talið valda þessu. Í mælingunum á Reykjum var dregið verulega úr þessum óvissupætti með því að mæla sex gildi á um það bil 1 m^2 svæði og nota meðalgildið.

Pólarísering rafskauta verður er koparsúlfatlausnin í rafskautinu mengast vegna snertingar við grunnvatn sem hefur að geyma mikið magn uppleystra efna. Þessu er mætt með því að mæla fljótt eftir að skautinu er stungið í jörðina.

Mismunandi hitastig rafskautanna veldur einnig spennumun. Hann nemur $0,5 \text{ mV} / {}^\circ\text{C}$ fyrir kopar-koparsúlfat skaut. Eins og fram kemur á kortinu yfir hitamælingar í jarðvegi (mynd 4) er á hálfs metra dýpi allt að 50°C hitamunur í viðmiðunarpunkti SP-mælinganna og öðrum mælipunktum. Við SP-mælingarnar ná rafskautin um 15 cm niður og eru það skamman tíma í jörðu að hitajafnvægi næst ekki. Er því varla við því að búast að skekkja vegna hitamunar sé meiri en örfá mV.

Spanstraumar vegna segulsveiflna geta valdið mjög mikilli skekkju, jafnvel svo fleiri tugum mV nemi. Með því að hafa sírita milli tveggja fastra punkta meðan mæling fer fram sést hvort teljandi spanstraumar hafa verið á meðan. Hafi svo verið er nauðsynlegt að endurtaka mælinguna.

Á Reykjum er yfirborð lands á því svæði sem mælt var svipað. Helst eru það melarnir næst Fnjóská sem skera sig úr. Veðurfar var stöðugt og burrt meðan mælingar fóru fram og segulspanstraumar litlir. Má því áætla að mælinákvænnin sé nálægt $\pm 10 \text{ mV}$.

Niðurstöður mælinganna á Reykjum eru sýndar á mynd 6. Kortið þar sýnir jafnspennulinur miðað við að spennan sé núll í viðmiðunarpunktinum R1. Við mælingarnar austan Fnjóskár var notaður aukaviðmiðunarpunktur. Spenna hans miðuð við R1 var ákvörðuð með síritatengingu yfir Fnjóská.

Þéttleiki mælipunkta var mismunandi eftir þörfum. Þar sem frávik voru hvað mest var mælt með 5 m bili eftir línum og nafðir 25 m milli lína. Austan Fnjóskár var mælt í 50 m x 50 m neti.

Af kortinu á mynd 6 má lesa eftirfarandi atriði:

1. Meðalgildi spennusviðsins af svæðinu er u.b.b. $0-10 \text{ mV}$.
2. Fnjóská fylgir $+20 \text{ mV}$ spennufráviki.
3. Umhverfis jarðhitann á Reykjum kemur fram neikvætt spennufrávik sem nemur allt að -70 mV . Frávikið stefnir í norður.

4. Neikvæða frávikið sem fylgir jarðhitanum er klofið í tvennt af jákvæðu fráviki sem fylgir heita afrennslislæknum frá laugunum.
5. -30 mV frávik mælist í grennd við laugina í Fnjóská. Ef reikna má með að streymið í Fnjóská valdi um +20 mV spennu kringum sig er líklegt að raunverulegt frávik vegna laugarinnar í ánni sé allt að 50 mV.
6. Laugarnar liggja rétt utan við mestu sjálfspennufrávakin gagnstætt því sem hitastigsfrávakin liggja.
7. Riflega -10 mV spennufrávik mælist austan Fnjóskár nærri ánni í beinu framhaldi til suðurs af neikvæða frávakinu við laugarnar. Ekki er vitað til þess að þarna sé jarðhiti á yfirborði.

Nú er það svo að úrvinnslutækni SP-mælinga er afar skammt á veg komin bæði hér og erlendis. Því má m.a. kenna um að orsakir sjálfspennunnar í yfirborði eru ekki með öllu þekktar. Þó er vitað um ýmis fyrirbrigði sem valdið geta sjálfspennu. Hitamismunur í bergi, núningsrafmagn vegna streymis vatns um berg eru taldar líklegustu orsakirnar (Corwin & Hoover 1979). Fræðilegir útreikningar sýna að þessir tveir orsakavaldar geti hvor um sig skapað hvort sem er jákvætt eða neikvætt sjálfspennufrávik. Fer það eftir aðstæðum hverju sinni.

Flest þau erlendu dæmi um niðurstöður sjálfspennumælinga á jarðhitasvæðum sem birt hafa verið sýna sjálfspennufrávik sem eru nokkrir km að breidd eða mun breiðari en frávikið við Reyki sem virðist um það bil 150 m breitt. Einnig hefur það sýnt sig að sjálfspennufrávik við misgengi eru oft tvípóllöguð (bæði jákvæð og neikvæð).

A mynd 7 eru teiknuð þversnið gegnum sjálfspennufrávikið við Reyki. Efst á myndinni er sýnt meðalfrávikið sem fengið er með því að taka meðaltal í stefnu fráviksins (N-S), allra frávika neðar á myndinni. Ekki er með góðu móti hægt að sjá að um tvípóla frávik sé að ræða þó ekki verði loka fyrir það skotið vegna þess hve skammt var hægt að mæla vestur fyrir laugarnar vegna ójafns landslags.

Vegna þess hversu mjótt sjálfspennufrávikið er má ætla að orsakarinnar sé ekki djúpt að leita, e.t.v. rétt undir melnum þar sem heita vatnið streymir úr berggrunninum. Af stefnu fráviksins má ráða að uppstreymisrásin sé eftir N-S liggjandi sprungu, misgengi eða gangi.

Þar sem orsakir sjálfspennufráviksins eru óþekktar að öðru leyti en því að telja má það tengt uppstreymi heita vatnsins úr berggrunninum er ekki unnt að finna tengsl hugsanlegrar sprungu eða misgengis og fráviksins. Þó er freistandi að giska á að sprungan eða misgengið fylgi frávakinu þar sem það er mest. Ef þessi tilgáta er rétt liggur uppstreymisrásin í N-S stefnu rétt vestan gróðurhúsanna á Reykjum. Á móti þessu mælir að laugarnar eru um 20-30 m vestar. Gera má ráð fyrir að grunnvatnsstraumar í melnum liggi aðallega frá vestri til austurs, þ.e. frá fjalli í átt til Fnjóská, þá yrði heita vatnið að leita upp á móti grunnvatnsstraumnum í melnum sem er ekki ýkja sennilegt.

7 NIÐURSTÖÐUR

Draga má meginniðurstöður þeirra rannsókna sem gerðar hafa verið að Reykjum saman á eftirfarandi hátt:

- 1) Viðnámsmælingar sýna mjög lágt viðnám umhverfis jarðhitann á Reykjum, víða minna en 20 ðm. Svo lágt viðnám er hvergi þekkt á blágrýtisvæðum nema við meiri háttar jarðhita í Borgarfirði eða þar sem umtalsverð selta er í jarðvatni.
- 2) Grynnst er á lágviðnámslagið við laugarnar en dýpkar þaðan til allra átta, þó áberandi minnst í stefnu N-S misgengjanna. Lægsta viðnámið fylgir hins vegar norðvestur-suðaustur stefnu.
- 3) Svæðisbundið viðnám í framanverðum Fnjóskadal og Ljósavatnsskarði er nálægt 40 ðm eða meir en tvöfalt hærra en lágviðnámið við Reyki.
- 4) Skilyrði til viðnámsmælinga við Reyki eru góð. Þarna eru engin lágviðnámssetlög eða sjór nærri sem gætu haft áhrif á mælinguna. Því verður að telja niðurstöður viðnámsmælinganna áreiðanlegar, þótt túlkun þeirra kunni að orka tvímælis vegna þess að gert er ráð fyrir láréttum óendanlega útbreiddum viðnámslögum við túlkunina.
- 5) Ekki reyndist unnt að meta þykkt lausu jarðlaganna með viðnámsmælingunum.
- 6) Segulmælingarnar gefa viðbendingu um gang (einn eða two) með stefnu $N45^\circ V$ sem virðist liggja 20-30 m suðvestan við laugarnar. Þá benda

segulmælingar til þess að nokkur misgengi með norður-suður stefnu liggi um Tunguna og inn á Bleiksmýrardal. Segulmælingarnar gáfu enga vísbendingu um slík misgengi nálægt laugunum. Það útilokar þau samt ekki þar.

- 7) Hitamælingar í jarðvegi sýna að verulegur hiti er grunnt í jörðu á allstóru svæði umhverfis laugarnar. Til að skýra þann hita þarf rennsli úr berggrunninum að vera 1-2 l/s meira en kemur upp úr laugunum í melnum. Því til viðbótar er svo það magn sem kann að koma upp í lauginni í ánni.
- 8) Hitamælingarnar benda til þess að uppstreymisrás heita vatnsins liggi í N-S stefnu.
- 9) Sjálfspennumælingarnar sýna neikvætt frávik með N-S stefnu rétt við laugarnar.

Gerðar hafa verið tvívetnismælingar á vatninu úr laugunum á Reykjum (Bragi Árnason 1976). Tvívetnismagn vatnsins bendir til þess að það hafi fallið sem úrkoma á miðhálendinu. Þar hripar það niður í jörðina og hitnar og streymir til norðurs. Tvívetnisinnihald heita vatnsins á Stóru-Tjörnum er svipað og á Reykjum og koma laugarnar þar upp á sama misgengisbeltinu og liggur um Reyki. Ljóst er því að vatnið kemur sunnan að. Hitastig þess bendir til þess að rennslisleið þess sé neðan 1500 m dýpis en vart dýpra en á 3000 m dýpi.

Niðurstöður viðnámsmælinga, hitastig vatnsins og hagstæð jarðfræðileg skilyrði gefa til kynna að unnt sé að afla mikils vatns af svæðinu, a.m.k. svo nokkrum tugum sekúndulítra nem. Rétt er, í ljósi fenginnar reynslu, að vara sterkelega við því að líta á ályktun þessa sem óvífengjanlega staðreynd. Endanlegt svar fæst einungis með rannsóknarborunum.

Niðurstöður segulmælinga, sjálfspennumælinga, hitamælinga í jarðvegi og viðnámsmælinga benda til þess að laugarnar séu á mótum N-S misgengisbeltis og NV-SA liggjandi berggangs eða ganga.

Sú staðreynd að lægsta viðnámið fylgir norð-vestur stefnu bendir til þess að NV-SA gangarnir beri vatnið að misgenginu þar sem það streymir til yfirborðs og einnig út eftir vel vatnsleiðandi brotflötum N-S misgengisins.

Þar eð vatnið er ættað úr suðri er NV-SA gangurinn ekki aðal flutningsæð vatnsins framan af hálendi. Líklegast er að heita vatnið fylgi göngum og misgengjum ellegar vel leiðandi millilögum í hraunastaflanum á leið sinni frá hálendinu. NV-SA gangurinn liggur þvert á rennslisleið vatnsins og gæti því virkað sem safnæð fyrir vatn sem berst úr suðri eftir hinum ýmsu göngum og öðrum hugsanlegum vatnsleiðurum.

Ef þetta líkan, sem hér er sett fram, er rétt er eðlilegast að reyna að bora í NV-SA ganginn fremur en N-S misgengið. Þá er enn fremur sennilegt að vinna megi úr ganginum austan Fnjóskár einkum þar sem misgengi skera hann.

Ekki er þó rétt að útiloka þann möguleika að N-S misgengi sé meginæstreymisæð heita vatnsins en skurðpunktur þess og NV-SA gangsins skapi aðstæður sem veita vatninu til yfirborðs. Ef það er rétt yrðu boranir að miðast við að skera misgengið.

Ef bora ætti t.d. eina 1000 m holu væri eðlilegast að miða að því að hitta skurðpunkt gangs og misgengis á 700-800 m dýpi. Sá ljóður er þó á, að hvorki lega gangs og misgengis né halli þeirra eru þekkt. Yrði því næsta lítið öryggi í staðsetningu slíkrar holu og upplýsingagildi hennar gæti orðið næsta lítið. Með ítarlegri jarðfræðikortlagningu á nærliggjandi fjöllum má kannski fá mat á halla gangsins og e.t.v. misgengisins líka, þótt það sé erfiðara. Svolitlar segulmælingar til viðbótar gætu hjálpað til að rekja ganginn nær laugunum en hann finnst nú. Slikt gæti aukið eitthvað líkur á markvissri staðsetningu borholunnar.

Það er mat höfundar þessarar skýrslu að mun ítarlegri upplýsingar fengjust með borun margra grunnra hola (80-150 m). Slikt verk mætti vinna með jarðbornum ými. Væri unnt að fá 5-10 slíkar holur fyrir hluta af verði einna 1000 m holu. Margar grunnar holur gætu veitt upplýsingar um halla og legu gangs og misgengis og gert staðsetningu dýpri rannsókarholu til muna öruggari.

8 FRAMHALD RANNSÓKNA

Niðurstöður þeirra jarðeðlisfræðilegu athugana sem gerð hefur verið grein fyrir hér að framan eru mjög jákvæðar. Gefa þær eindregið til kynna að rétt sé að halda rannsóknum áfram, ef á annað borð er hagkvæmt að leiða vatn frá Reykjum til Akureyrar.

Næsti hluti rannsóknar jarðhitans á Reykjum er mun dýrari en sá sem þegar hefur verið unninn. Felur hann í sér boranir og nokkra viðbót yfirborðsrannsókna.

- 1) Yfirborðsrannsóknir: Áður en boranir hefjast er rétt að freista þess að mæla fáeinarr segullínur til að rekja NV-SA ganginn sem næst laugunum. Einnig er rétt að jarðfræðingar kanni gilið í Tungufjalli og athugi hvort gangurinn sést þar og hvort og þá hvernig honum hallar.

Á komandi sumri er rétt að kortleggja gaumgæfilega jarðlög í fjöllunum kringum Reyki, með það sérstaklega fyrir augum að reyna að fá mat á halla ganga og misgengja.

Þá er enn fremur rétt að auka nokkuð við viðnámsmælingar til þess að afmarka betur mörk lágvíðnámssvæðisins og lögun þess.

Rétt er að gera hitamælingar í jarðvegi þar sem NV-SA gangurinn liggar í tungunni, einkum í grennd við Grænagil.

- 2) Boranir: Borun 1000 m rannsóknarholu er dýr miðuð við upplýsingar-gildi á þessu stigi málsins. Er það vegna margra óvissupáttar í vali borstaðar. Borun 5-10 100 m djúpra borhola með jarðbornum Ými, sem varla kostaði meir en helming af verði 1000 m holu gæfi væntanlega mun betri upplýsingar um svæðið. Því leggur höfundur þessarar skýrslu til að fyrst verði boraðar súkar grunnar holur og síðar, á grundvelli upplýsinga sem þær gefa, yrði 1000 m holu valinn staður.

HEIMILDASKRÁ

Axel Björnsson & Kristján Sæmundsson 1975: Jarðhiti í nágrenni Akureyrar. Orkustofnun, OS-JHD-7557, 53 s.

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

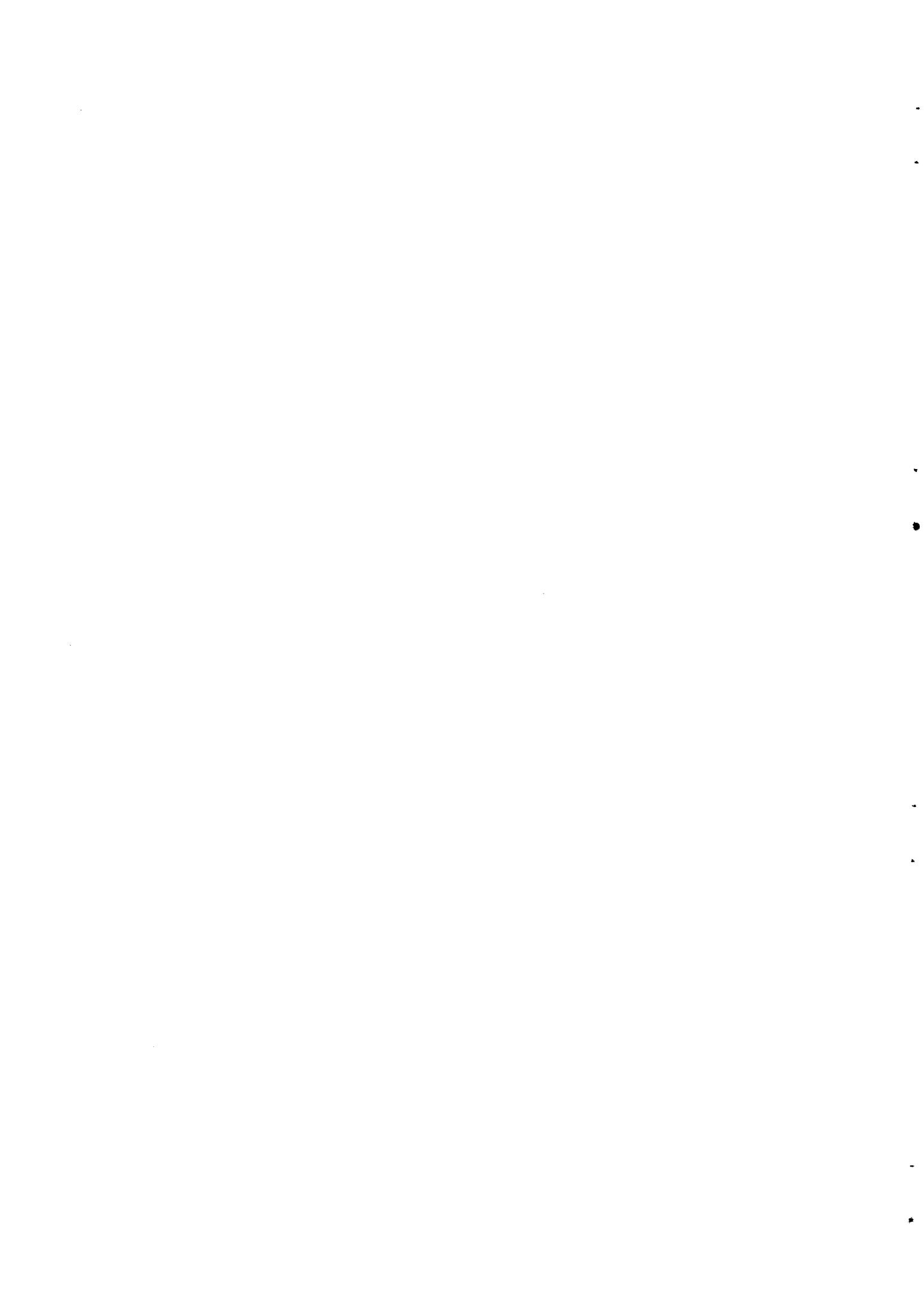
Bragi Árnason, 1976: Groundwater systems in Iceland traced by deuterium. Vísindafélag íslendinga. Rit 42, 236 s.

Corwin, R.F., Hoover D.B., 1979: The self-potential method in geothermal exploration. Geophysics, 44, 226-245.

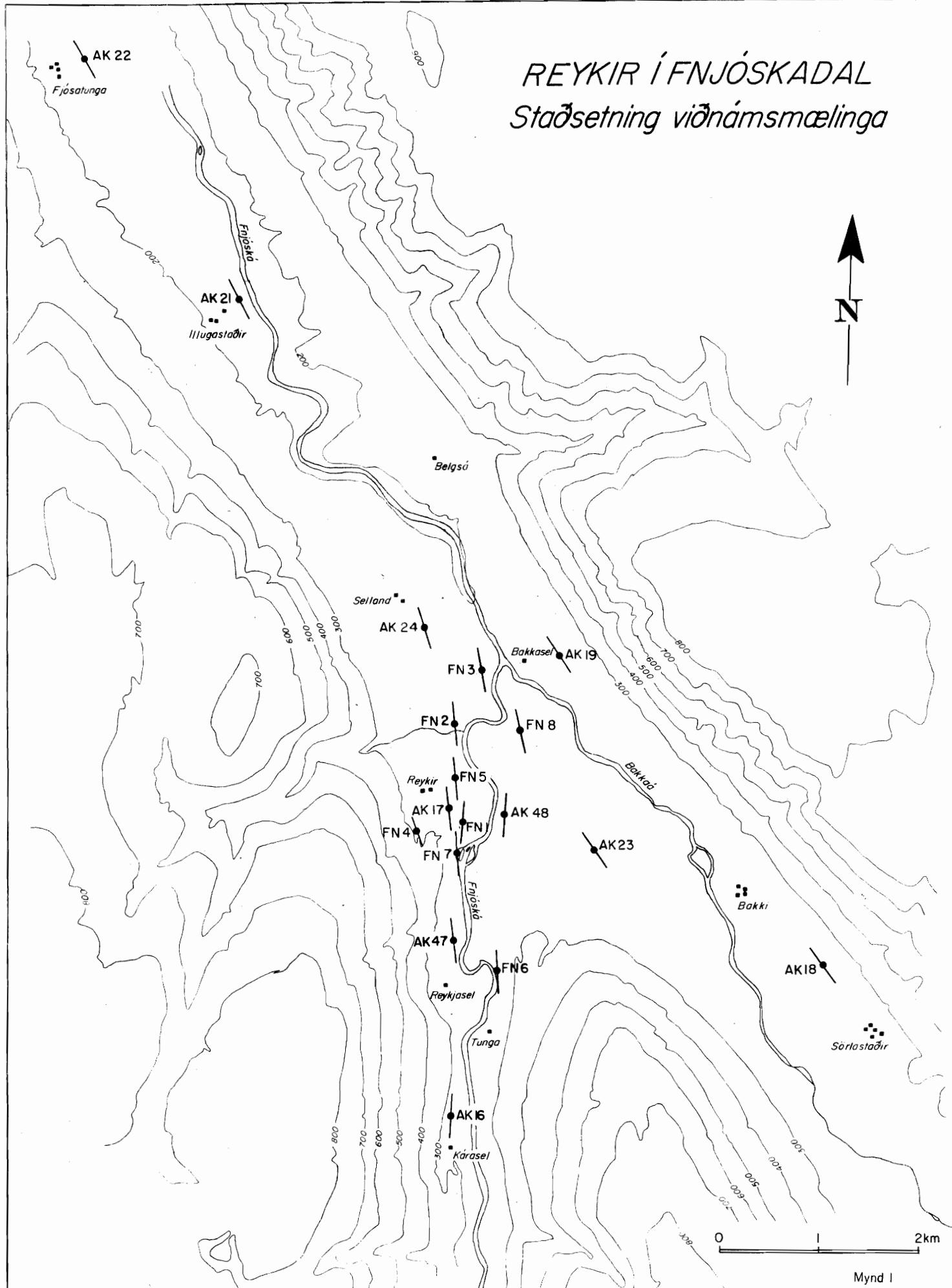
Freysteinn Sigurðsson, 1964: Skýrsla um jarðspennumælingar, ágúst september 1963. Raforkumálastjóri, jarðhitadeild, 24 s.

Kristján Sæmundsson & Karl Ragnars, 1974: Jarðfræðileg umsögn um jarðhitasvæðin í Suður-Þingeyjarsýslu með tilliti til hitaveitu fyrir Akureyri. Orkustofnun, OS-JHD-21, 6 s.

M Y N D I R



REYKIR í FNJÓSKADAL
Staðsetning viðnámsmælinga



REYKIR í FNJÓSKADAL

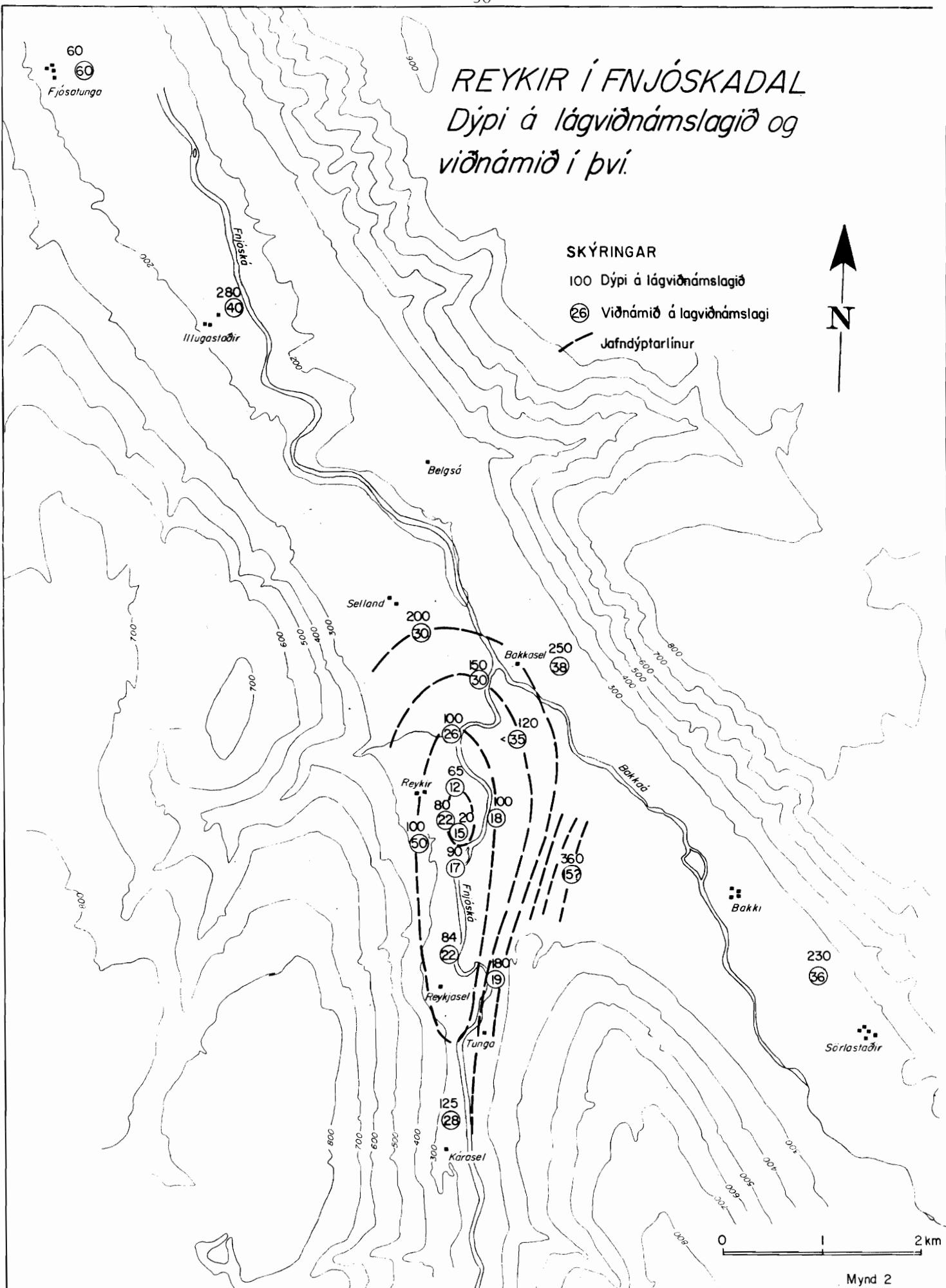
Dýpi á lágvíðnámslagið og viðnámið í því.

SKÝRINGAR

100 Dýpi á lágvíðnámslagið

26 Viðnámið á lagvíðnámslagi

Jafndýptarlinur



Mynd 2

REYKIR í FNJÓSKADAL
Viðnámskort

60

2

Hugastad

• Bokas

SKÝRINGAR

100 Dýpi á lágvíðnámslagið

㉖ Viðnámið í lagviðnámslaginu

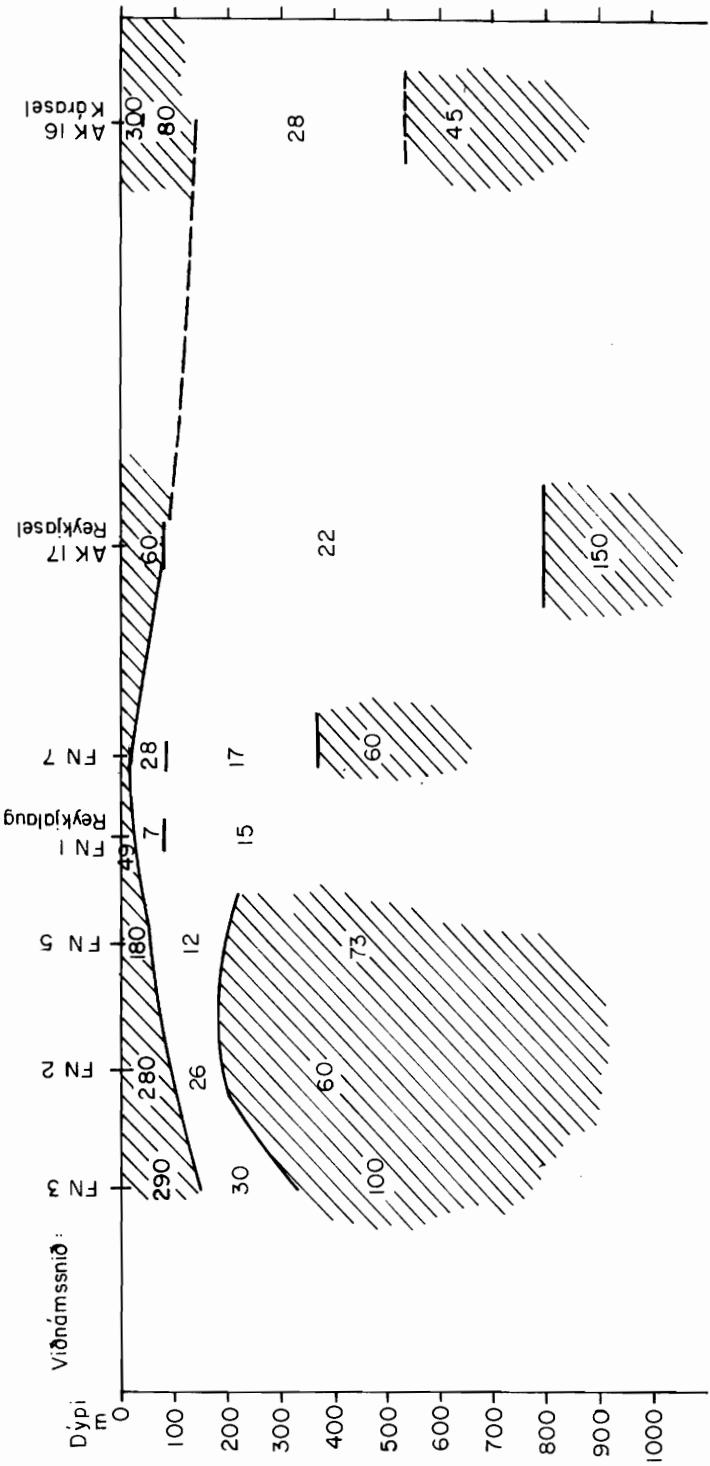
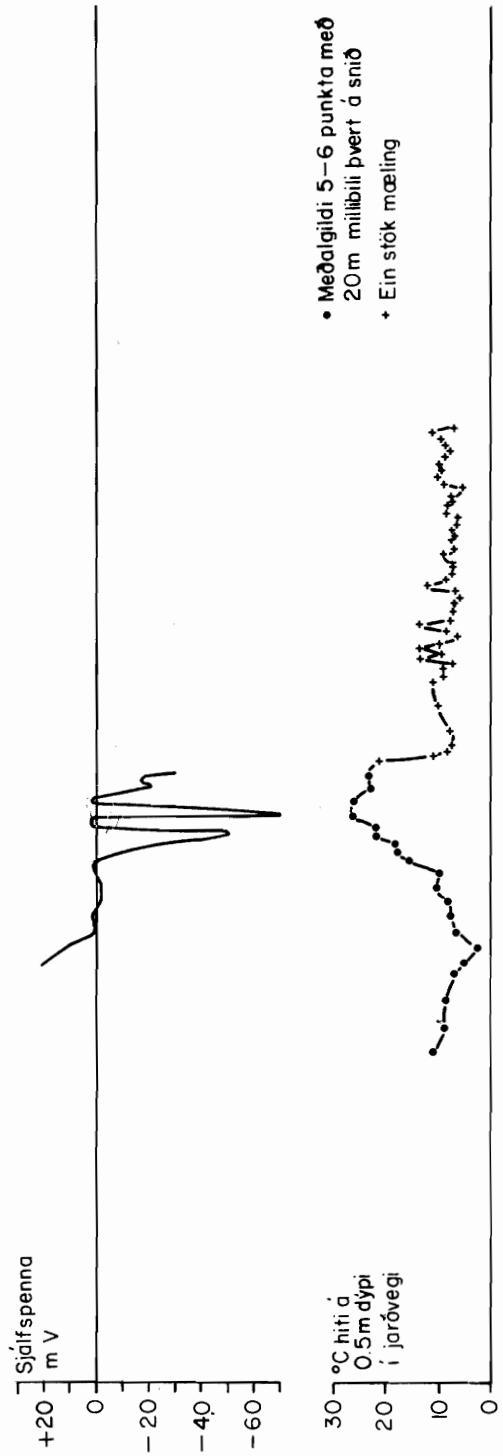
Jafnvíðnámslinur

$30\Omega_m$

230
36

Sörlastad

A horizontal scale bar with tick marks at 0, 1, and 2 km.



Mynd 4

I-1 ORKUSTOFNUN

REYKIR í FNJÓSKADAL

N-S snið af viðnámi, hita i jarðvegi og sjálfspennu

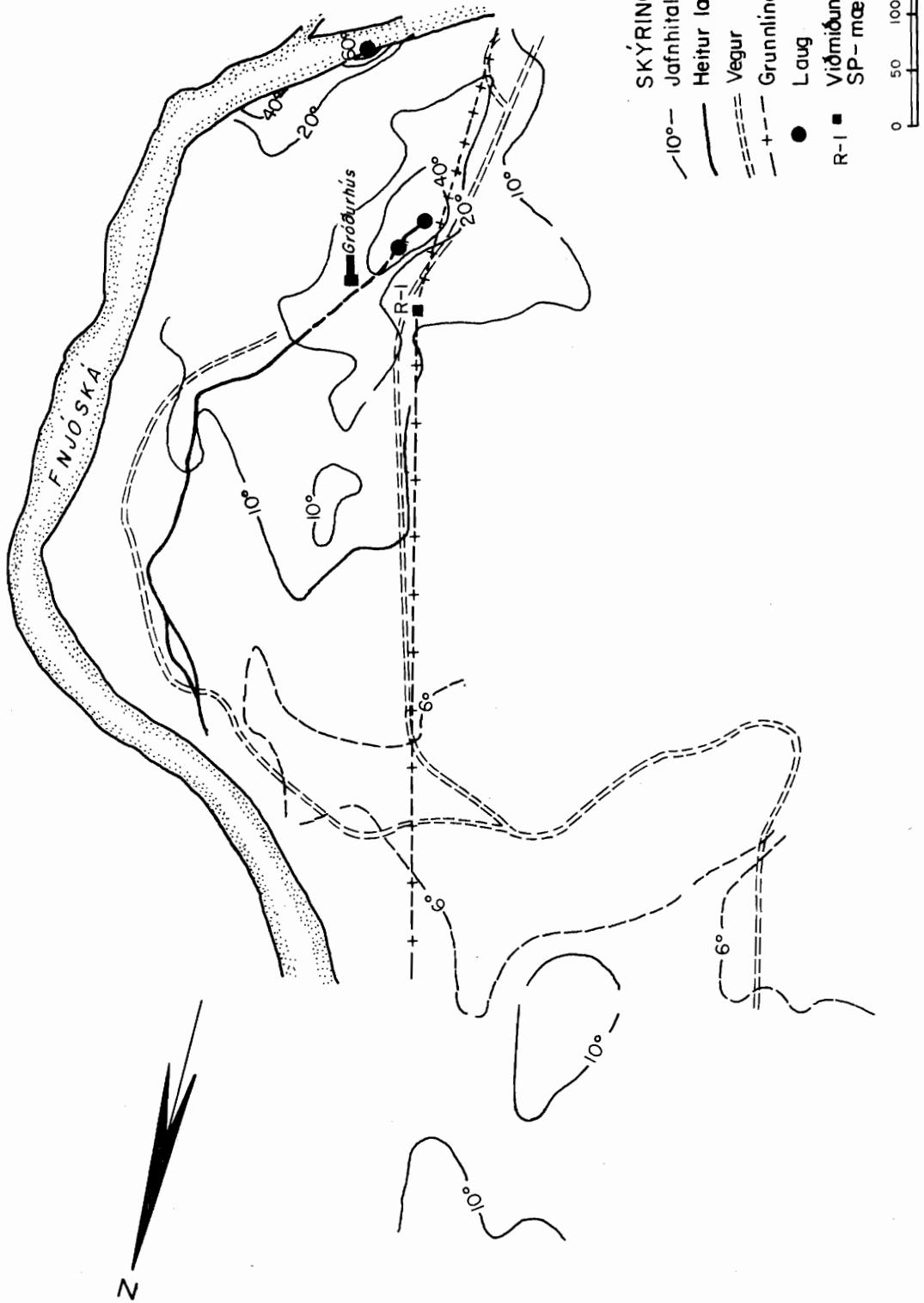
'79.10.19

'OGF / AA

S-þing. Viðn.

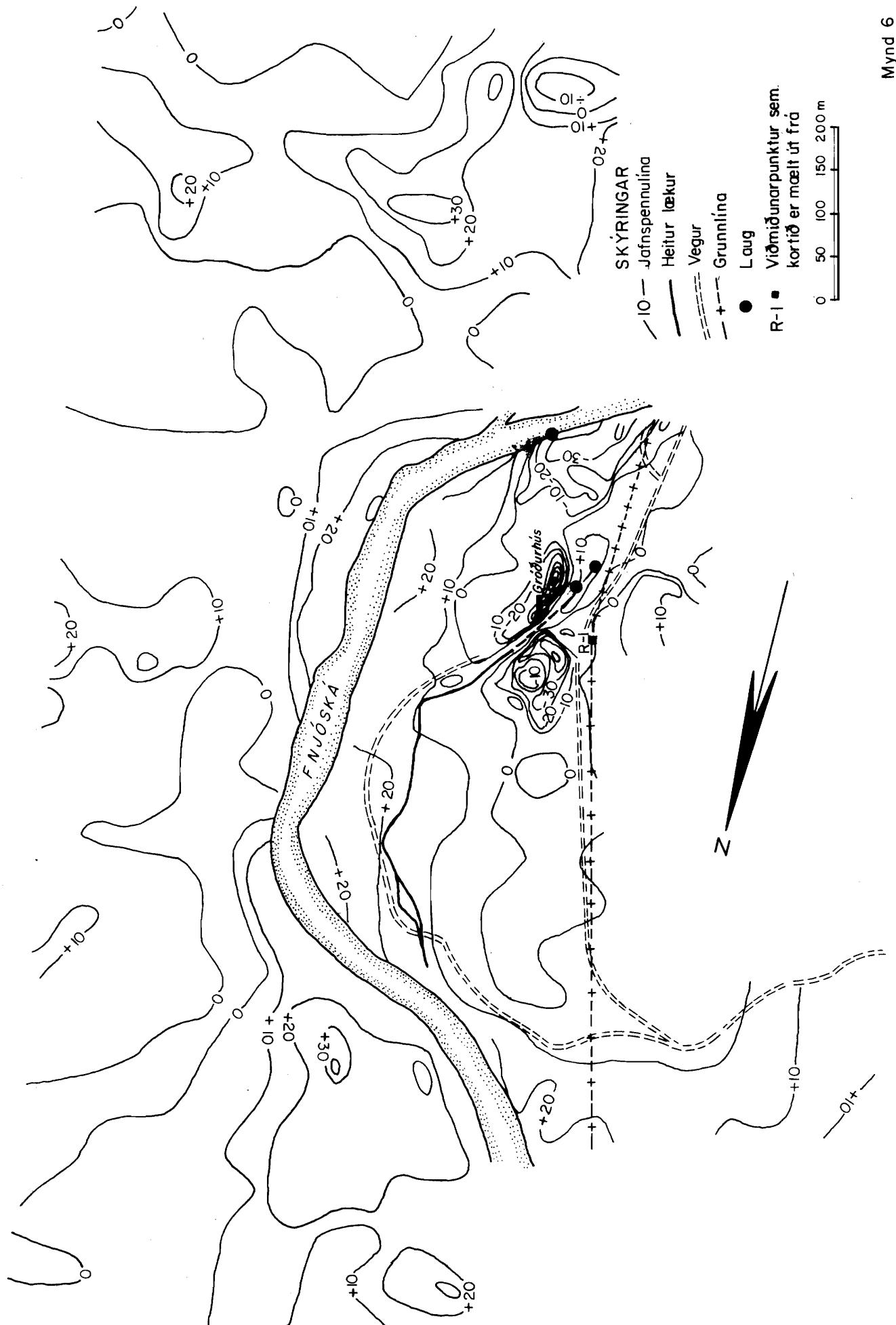
F 18753

Mynd 4



ORKUSTOFNUN	
REYKIR í FNJÓSKADAL	'80.02.11
Hitamælingar í jarðvegi	OGF / AA
Mælt á 0,5m dýpi í júlí '79	S - Ping Hitam
	F (9154)

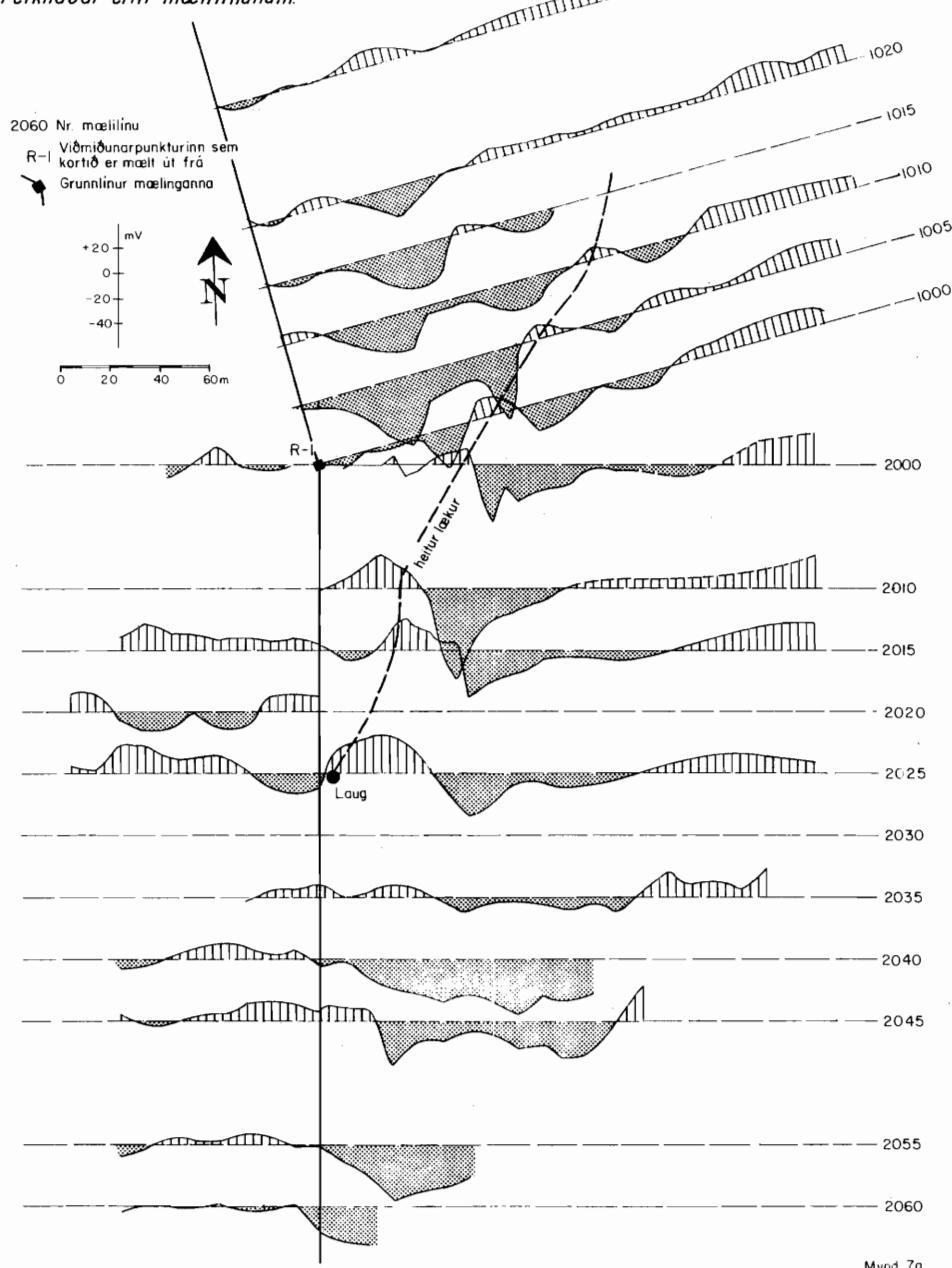
Mynd 5



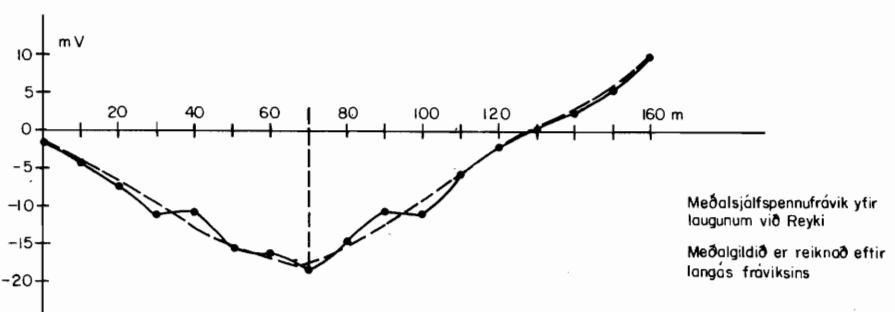
ORKUSTOFNUN

N	REYKIR í FNJÓSKADAL Sjálfspenna í millivoltum	'80.01.22 ÓGG/AÁ S - þing. F 18996
---	--------------------------------------------------	---------------------------------------------

REYKIR í FNJÓSKADAL
SP-mælingar næst laugunum
teiknaðar eftir mælilinunum.

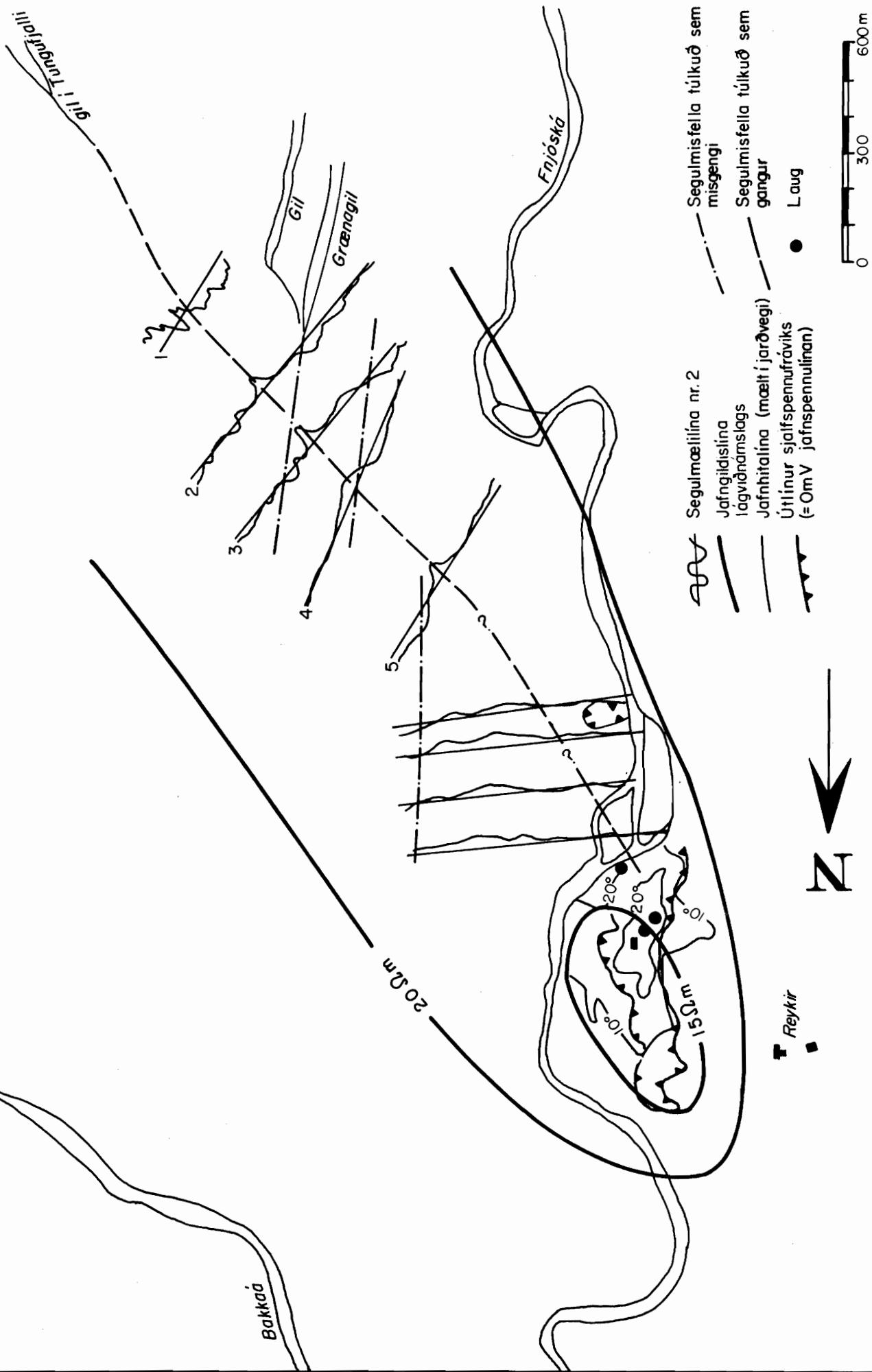


5.02.14 ÓGF/AÁ 5-þung F 19169



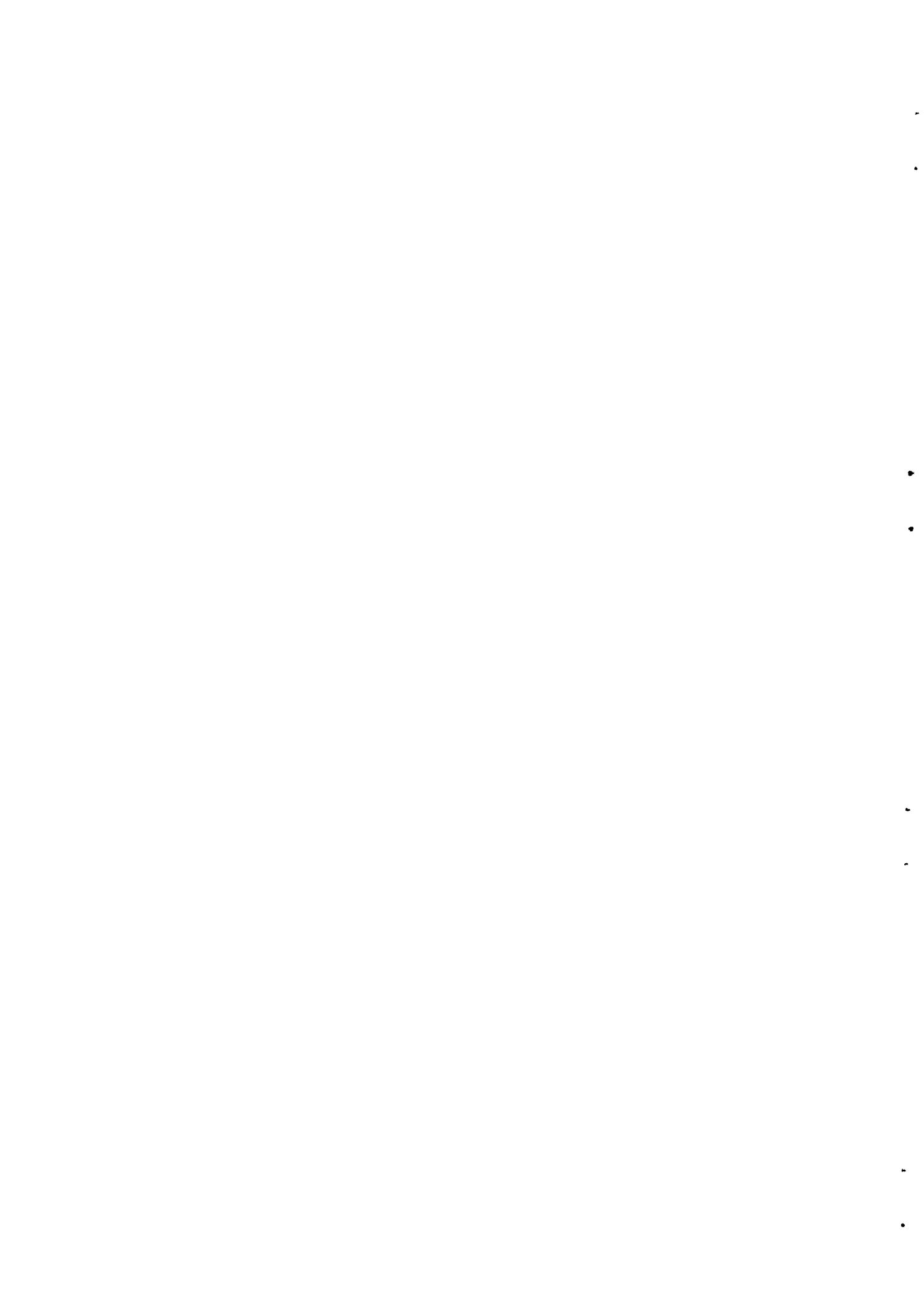
Mynd 7b

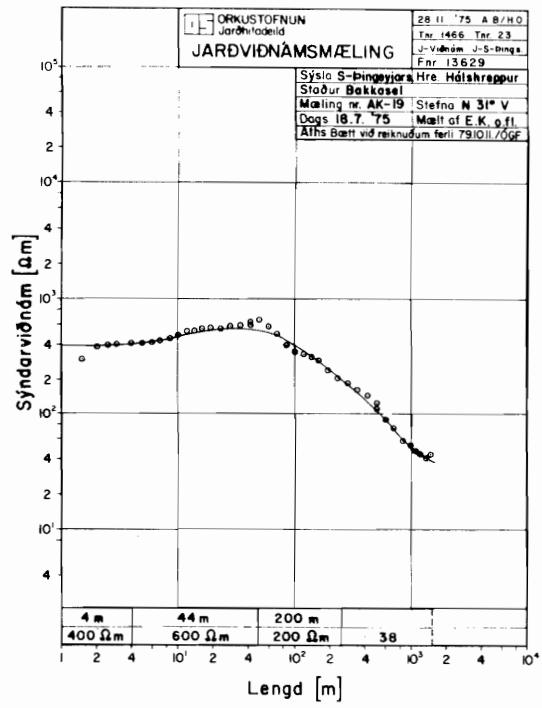
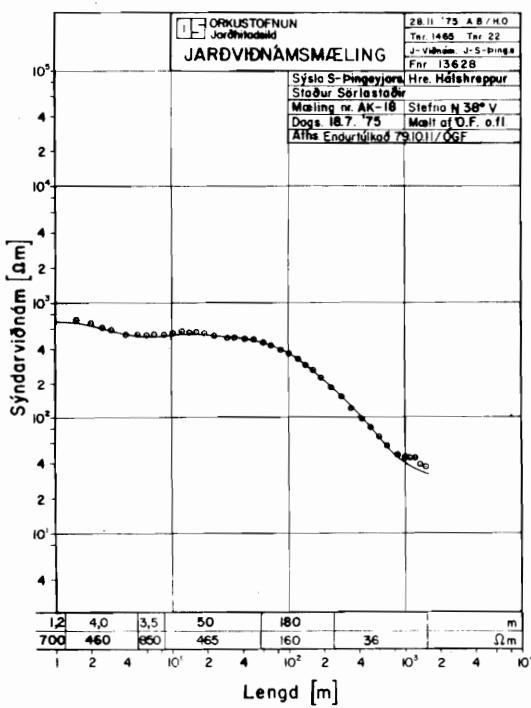
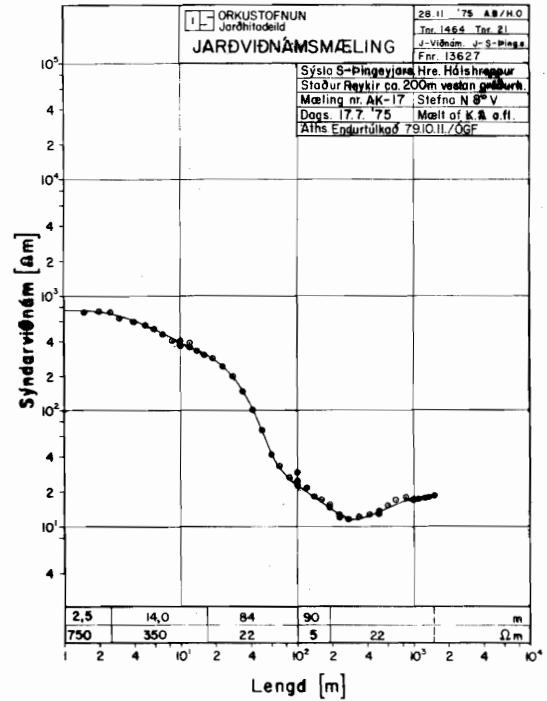
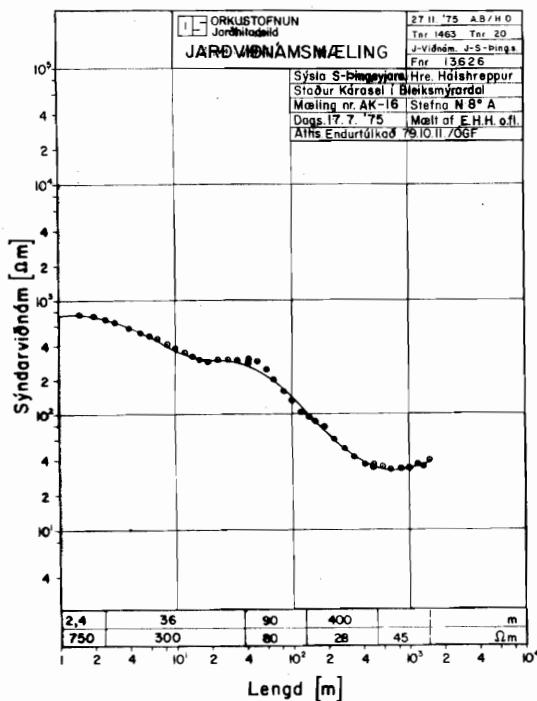
F 19170

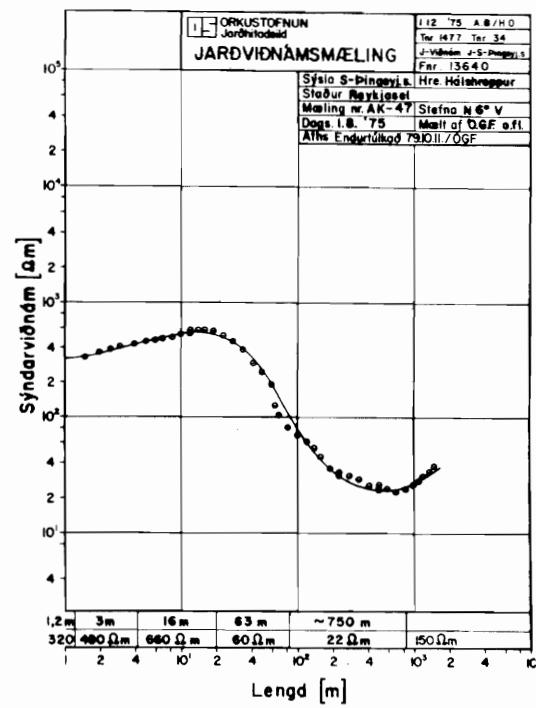
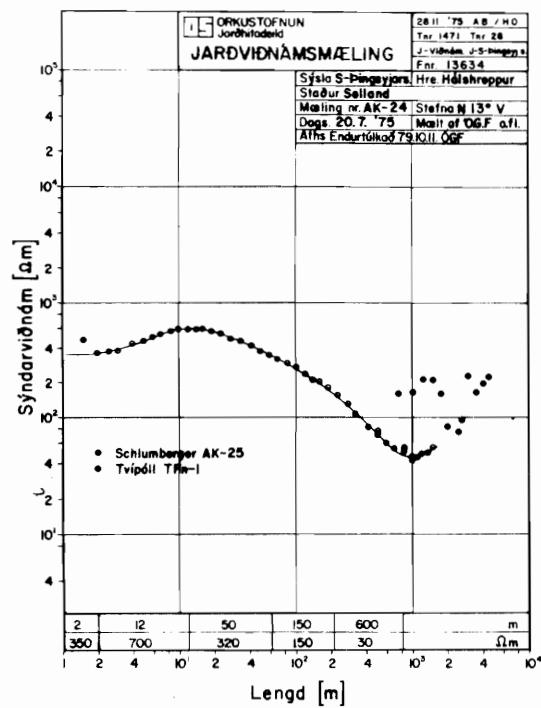
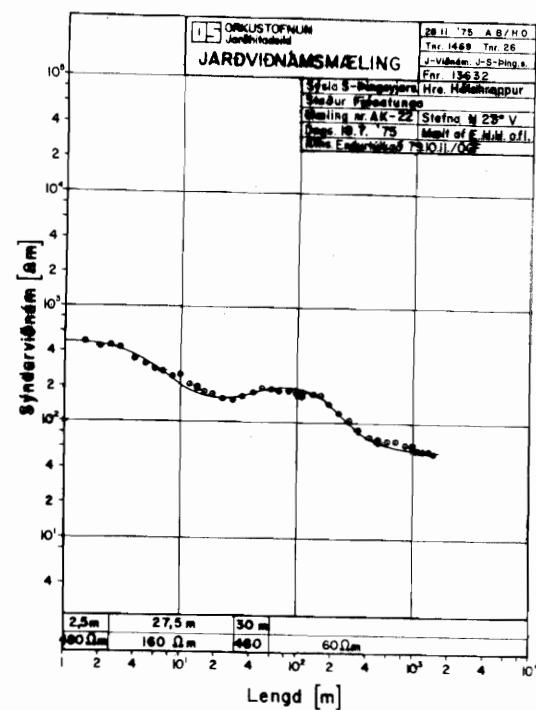
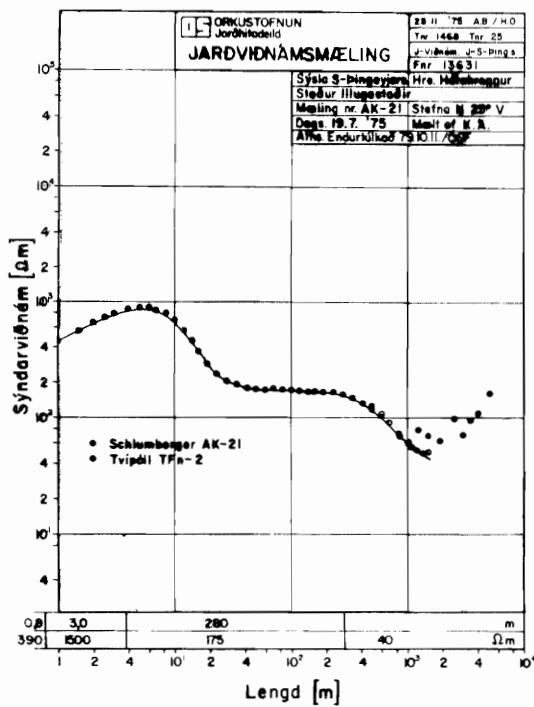


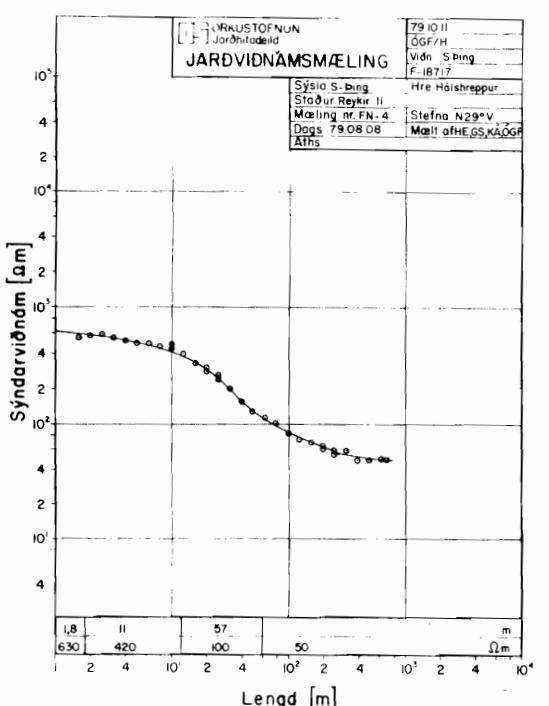
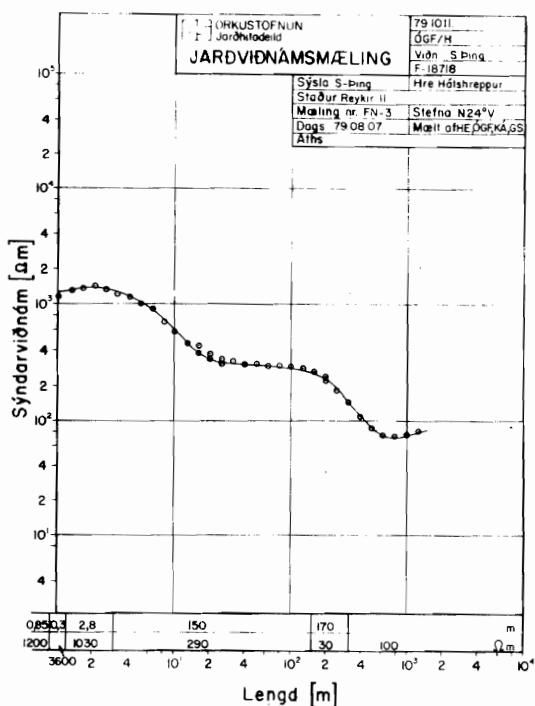
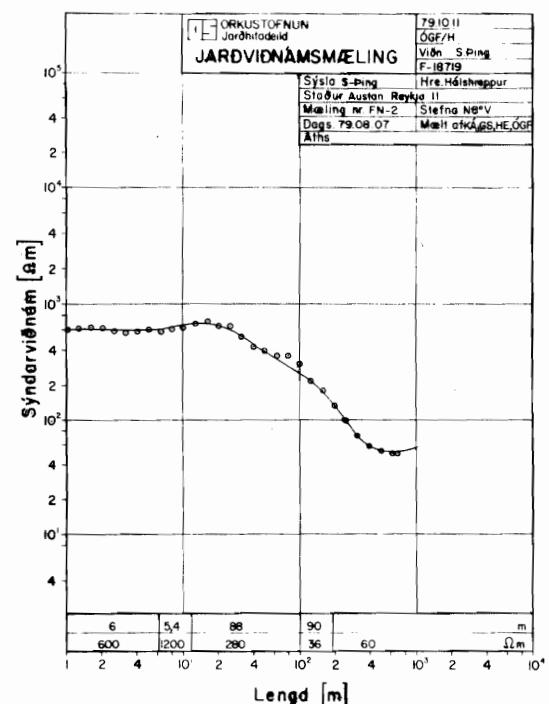
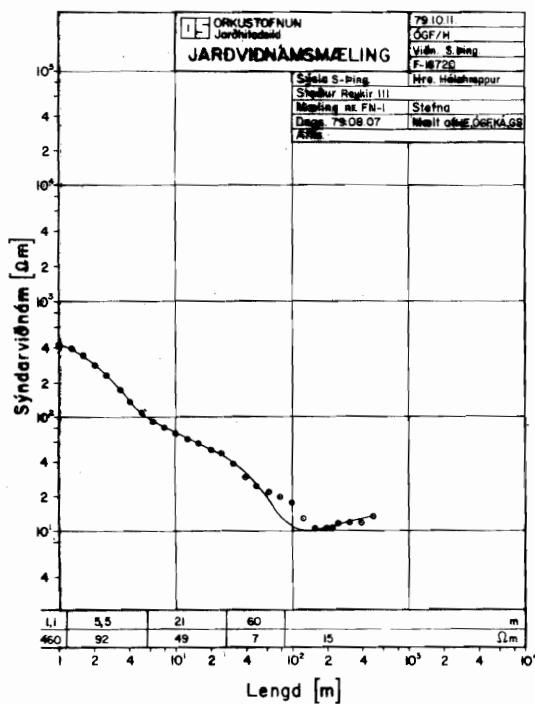
VIÐAUKI A

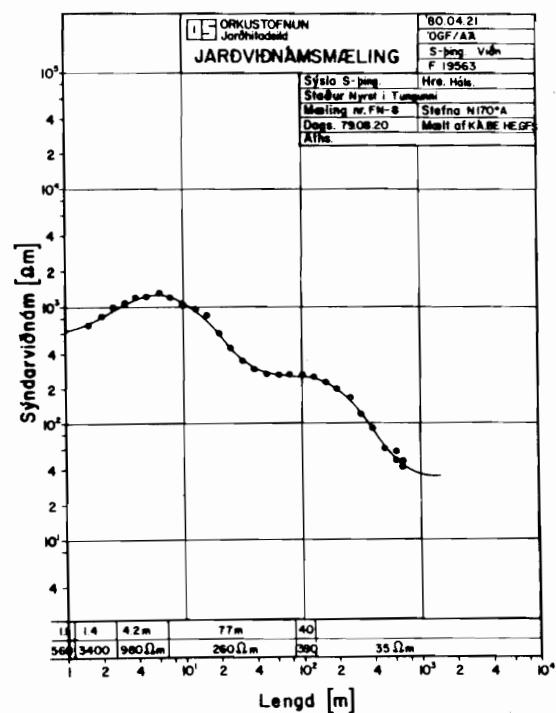
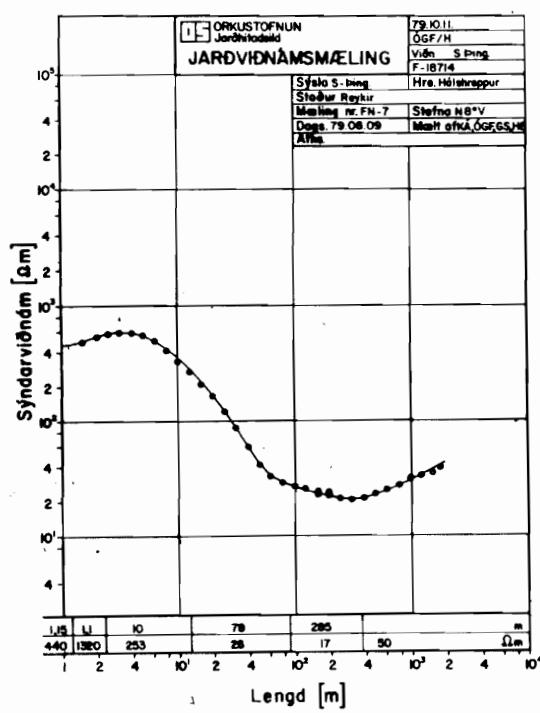
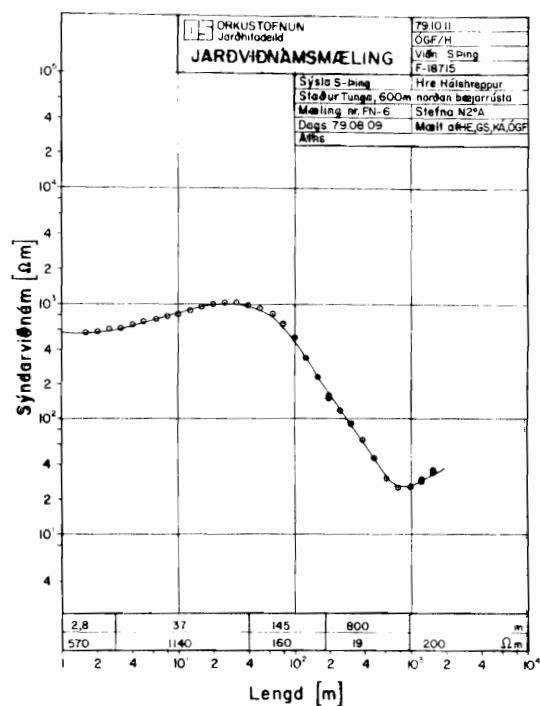
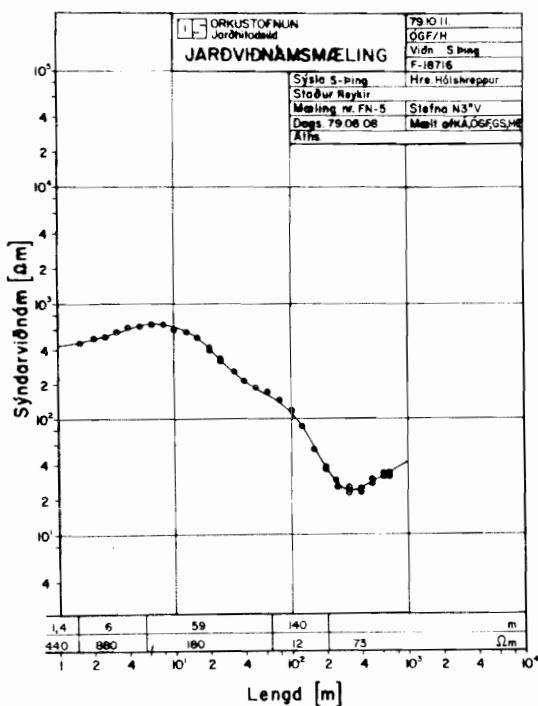
Viðnámslinurit
og túlkun þeirra





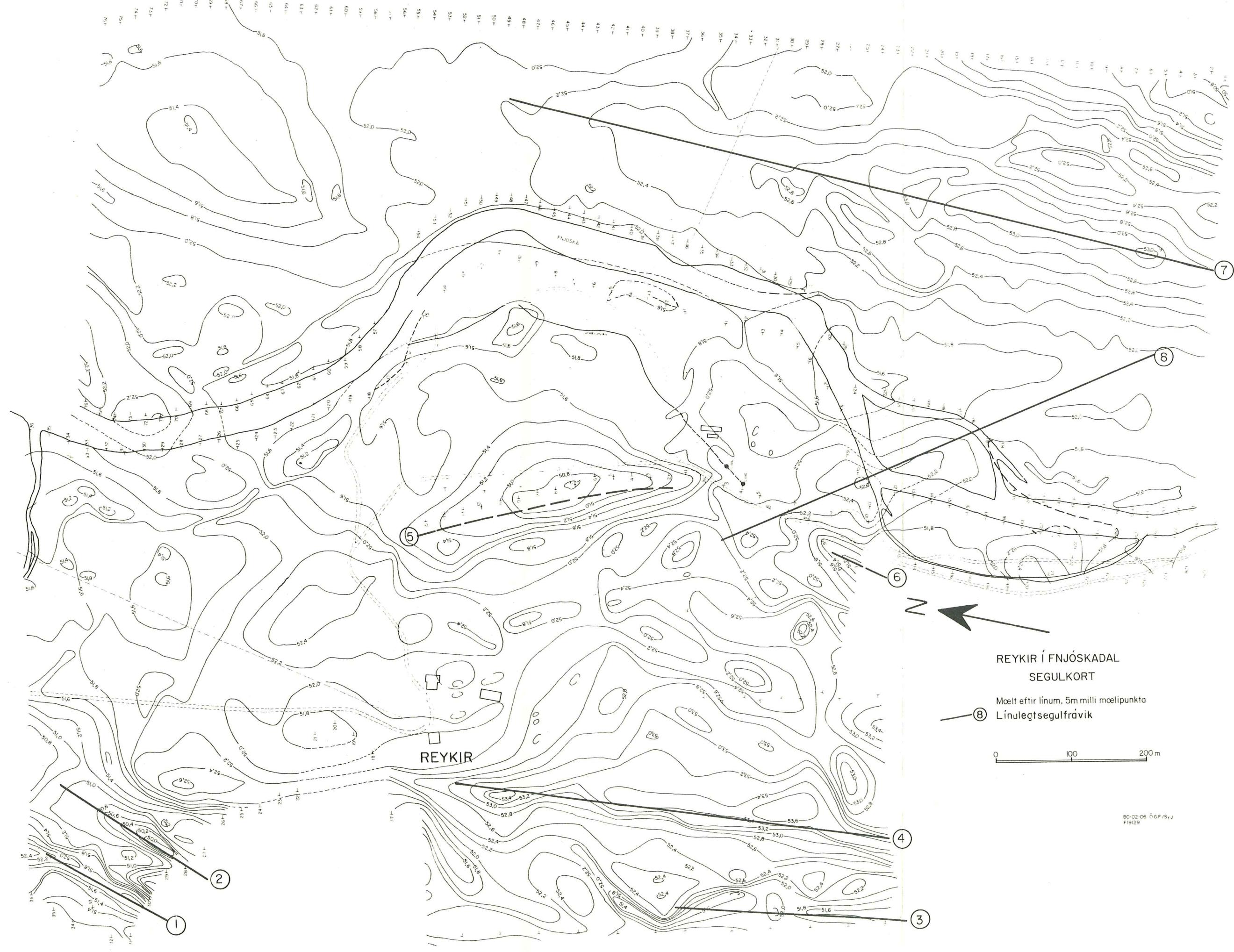






VIÐAUKI B

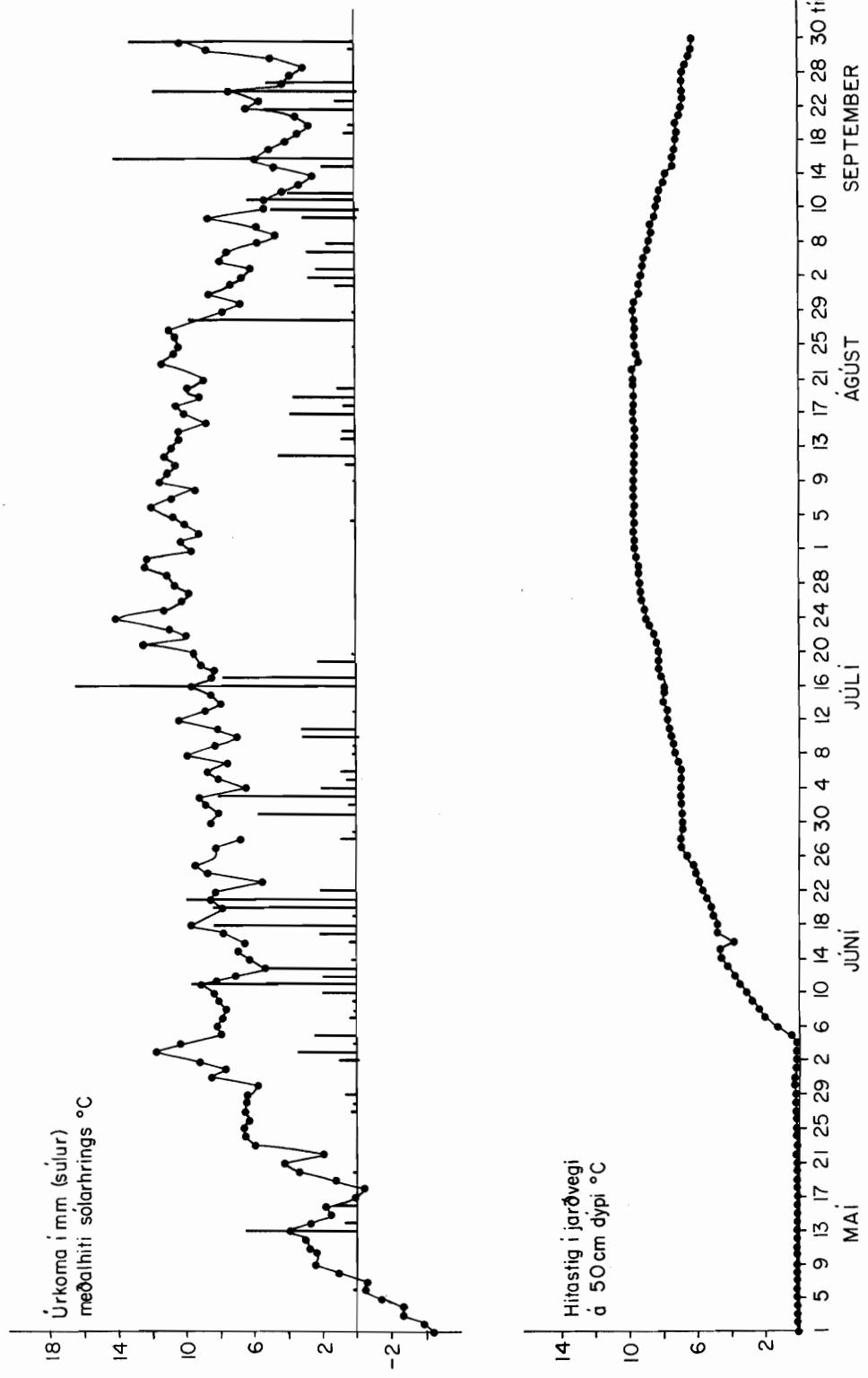
Segulkort



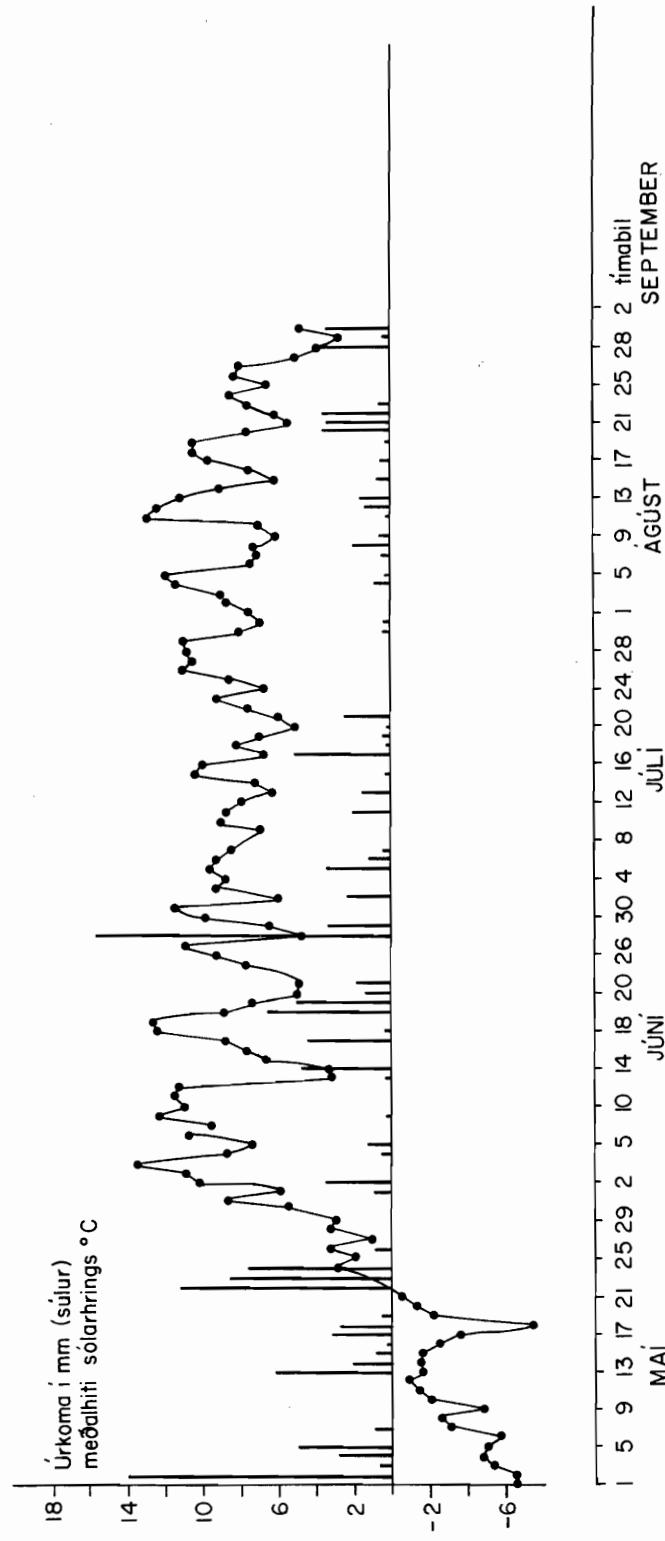
VIÐAUKI C

Samband veðurfars
og hitastigs í jarðvegi

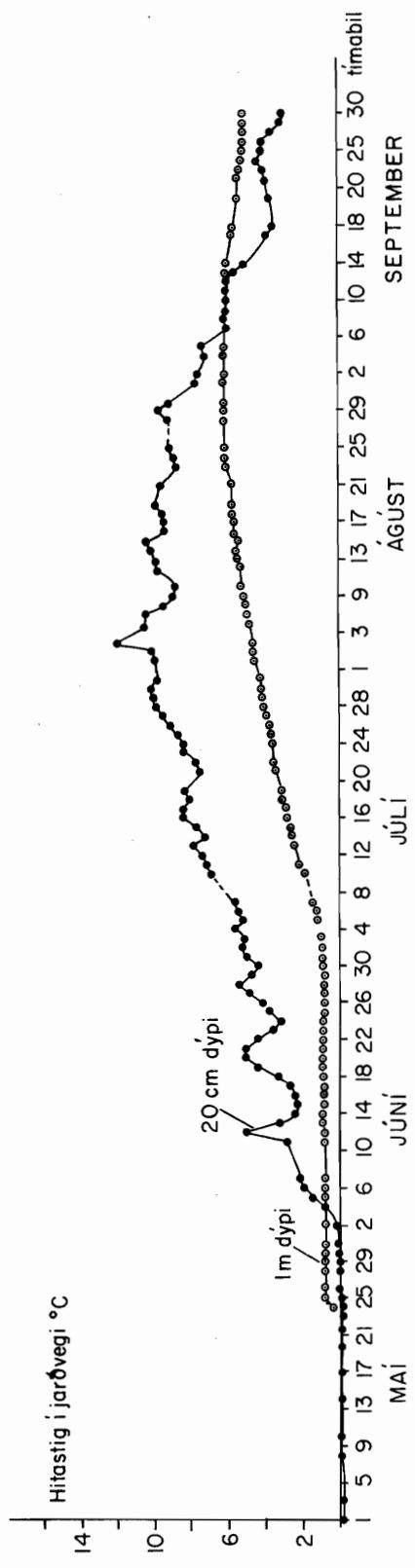
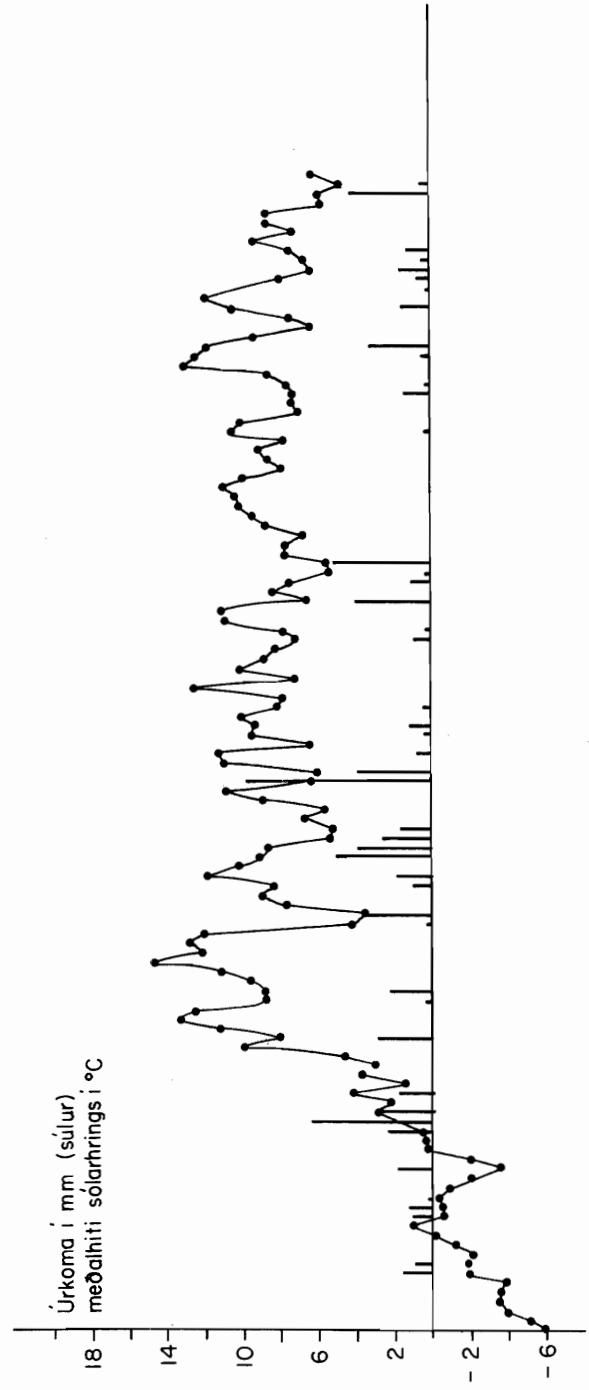
Samanburður á úrkoma, meðalhitu sólarhrings og hitastigi
í jarðvegi á 0.5m dýpi á Öskjuhlíð, Reykjavík frá 1.5 - 30. 9 '79

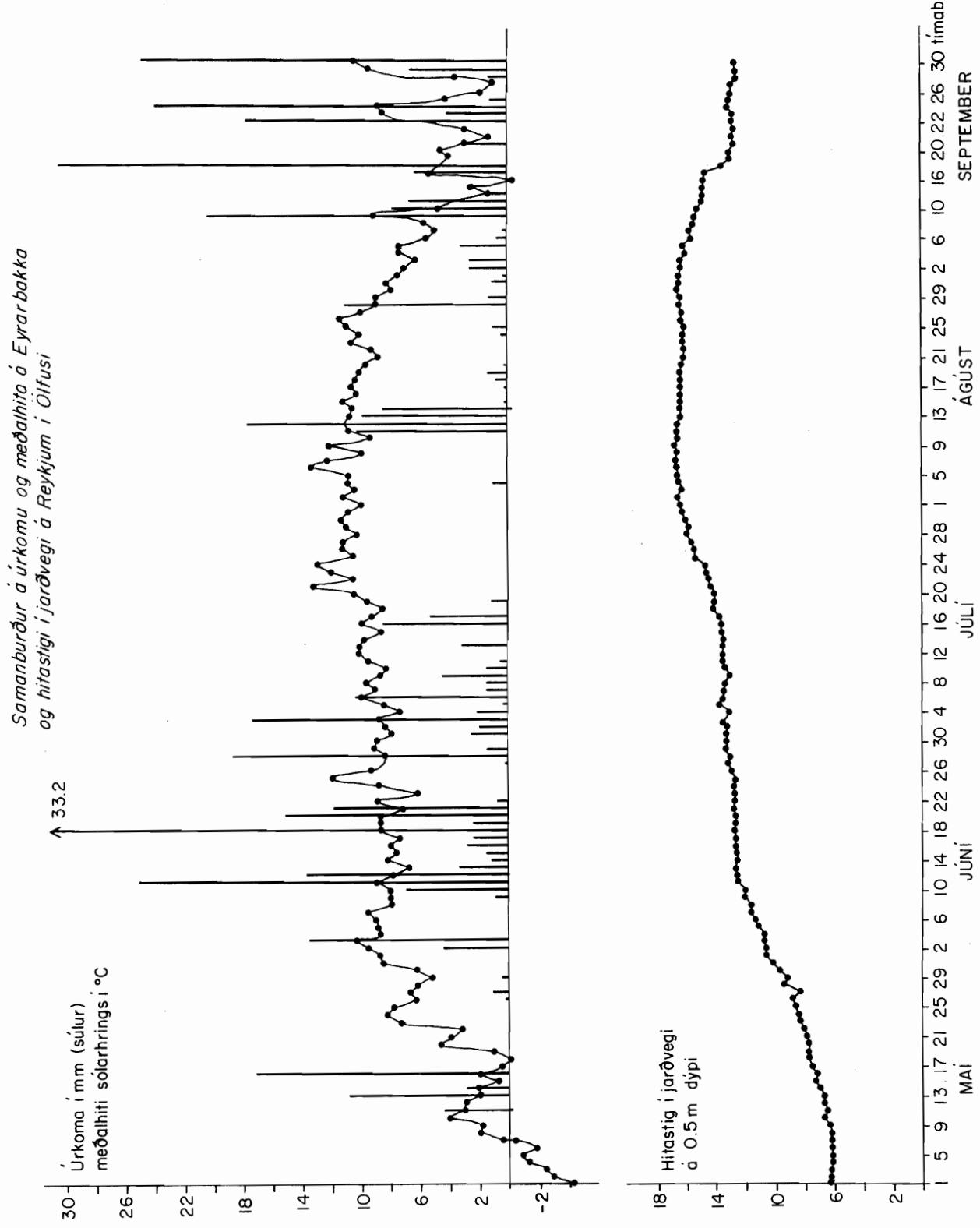


Hittastig og úrkoma á Vöglum í Fnjóskadal sumarið 1979



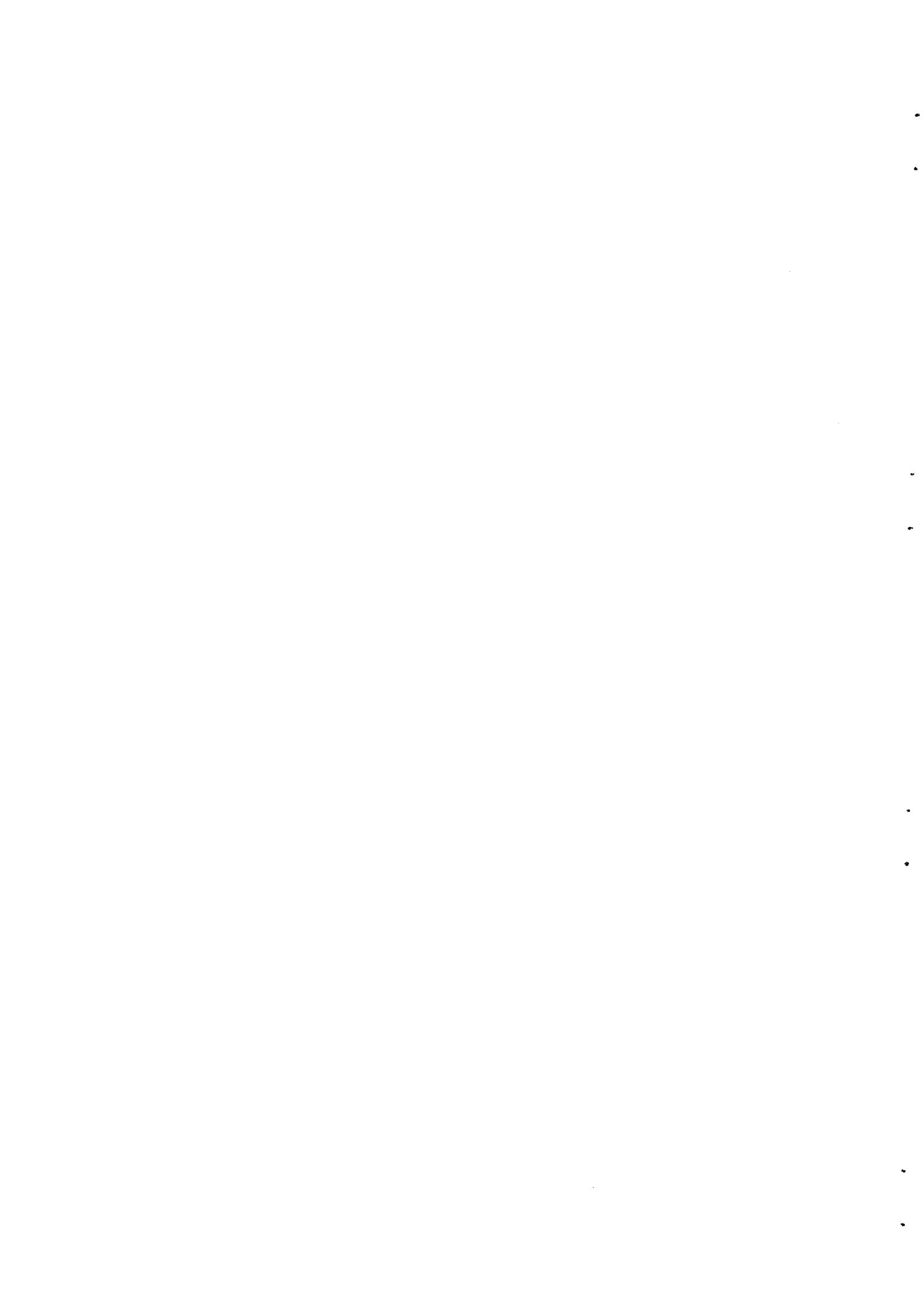
Meðalhitití sólárhrings og úrkoma á Akureyri sumarið 1979
borið saman við hitastig á 0.2 og 1 m dýpi á Möðruvöllum í Hörgardal





VIÐAUKI D

Athugun á varmastreymi
vegna varmaleiðni



VIÐAUKI DAthugun á varmastreymi vegna varmaleiðni

Varmaleiðni í efni þar sem engin varmaframleiðsla fer fram er lýst með svokallaðri varmaleiðnijöfnu:

$$\nabla^2 T = 0 \quad (1) \quad \text{þar sem } T = \text{hitastig}$$

þar sem engin varmaframleiðsla fer fram.

Ef gert er ráð fyrir að hitabreytingar lárétt séu hverfandi fæst:

$$\frac{\delta^2 T}{\delta z^2} = 0 \quad (2) \quad \text{ef } z\text{-ásinn er í lóðréttu stefnu niður.}$$

Ef um er að ræða varmaleiðni milli tveggja láréttliggjandi flata með fast hitastig er lausnin á jöfnunni einföld:

$$T = T_0 + az \quad (3) \quad \text{þar sem } a \text{ er hitastigullinn.}$$

Um varmaflæði á flatarmálseiningu gildir jafnan:

$$F_T = k \cdot a \quad (4) \quad \text{þar sem } k \text{ er varmaleiðnistuðullinn og } F_T \text{ varmaflæði á flatareiningu. Varmaleiðnistuðulinna má meta á eftirfarandi hátt:}$$

Ef yfirborð jarðar ($z = 0$) verður fyrir reglubundnum sveiflum í hitastigi sem lýsa má með einfaldri harmonískri sveiflu á forminu:

$$T\gamma = T_0 + A \sin \gamma t \quad (5) \quad \text{er lausnin á varmaleiðnilikingunni}$$

$$T = T_0 + Ae^{Bz} \sin (\gamma t - Bz), \quad z < 0 \quad (6) \quad \text{og}$$

$$B = \frac{\gamma}{2k_T} = \frac{c\rho\gamma}{2k} \quad (7) \quad \text{þar sem}$$

γ = tíðni yfirborðssveiflunnar

T_0 = meðalgildi yfirborðssveiflunnar

A = mesta frávik yfirborðssveiflu frá meðalgildi

t = tími

c = eðlisvarmi jarðvegs

k = varmaleiðnistuðull jarðvegs

k_T = "thermal diffusivity"

Pessi lausn á varmaleiðnijöfnunni svarar þá til varmabylgju sem berst niður á við sem einföld harmonísk sveifla og dempast með veldisfalli niður á við.

Nálga má árssveiflu hitastigs í lofti með slíkri harmonískri sveiflu sem hér er lýst. Hún veldur því dempaðri harmónískri sveiflu niður í jörðina og fasahornið Bz er mælikvarði á seinkun varmabylgjunnar með dýpi miðað við yfirborðssveifluna.

Með því að líta á lofthitasveifluna á myndunum í viðauka 4 sem hluta sinus falls sem sveiflast um hitastigið $T_0 = 0$ og finna fasahornið Bz út frá tímamismun á hámarki sveiflunnar við yfirborð og á ákveðnu dýpi, z (0,5 m eða 1 m), er unnt að reikna B og það sett inn í jöfnu 7 gefur k_T = thermal diffusivity. Með því að notast við mælingar af 0,5 m dýpi úr Reykjavík og Peykjum í Ölfusi og af 1,0 m dýpi frá Möðruvöllum í Hörgárdal fæst $k_T = 1,2 - 1,7 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{sek}$ eða meðalgildi $1,4 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{sek}$. Með því að áætla eðlismassa jarðvegsins $2,0 \text{ g/m}^3$ og eðlismassa jarðvegs $0,4 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ fæst varmaleiðnistuðull jarðvegsins, $k = 0,47 \text{ W/m}^\circ\text{C}$.

Þessa niðurstöðu ásamt hitamælingunum í jarðvegi á Reykjum í Fnjóskadal má nota til að meta varmaútstreymið úr jörðinni kringum laugarnar, þ.e. meta það varmamagn sem leiðir út í loftið en er ekki hluti af því varmamagni sem felst í því vatni sem kemur til yfirborðs í laugunum. Með því að áætla meðalgildi yfirborðshita 8°C og nota síðan mældan hita á 0,5 m dýpi til að finna hitastigulinn má reikna varmaútstreymi pr. flatareiningu skv. jöfnunni (4) þar sem F_T = varmaútstreymi á flatareiningu.

Ég hef skipt því svæði þar sem hitinn á 0,5 m dýpi er meiri en 10° upp í fernt, svæði þar sem jarðvegshiti er $10^\circ-20^\circ$, $20^\circ-30^\circ$, $30^\circ-40^\circ$ og $> 40^\circ$, reiknað meðalhitastigið og flatarmál hvers svæðis og reiknað síðan heildarvarmaflæðið með margfeldi F_T um jöfnu (4) og flatarmálsins. Á þann hátt fæst að varmaflæðið er 410 KW. Svarar það til 1,6 l/sek af 90° vatni sem kólnar niður í 30°C . Nú eru reikningar þessir mjög ónákvæmir, einkum ágiskað gildi eðlismassa og eðlisvarma jarðvegs. Má þó gróflega slá því fram að varmaflæðið út úr melnum vegna varmaleiðni gegnum yfirborðið svari til þess að 1-2 l/sek af 90° heitu vatni komi upp úr berggrunninum til viðbótar við það magn sem kemur upp úr laugunum á yfirborði.