



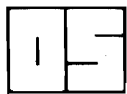
ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

Ólafur G. Flóvenz
Brynjólfur Eyjólfsson

**VIÐNÁMSMÆLINGAR OG MAT Á
JARÐHITASTÖÐUM Í EYJAFIRÐI**

OS81029/JHD17
Reykjavík, desember 1981

Unnið fyrir
Hitaveitu Akureyrar



ORKUSTOFNUN

Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

**Ólafur G. Flóvenz
Brynjólfur Eyjólfsson**

VIÐNÁMSMÆLINGAR OG MAT Á JARÐHITASTÖÐUM Í EYJAFIRÐI

OS81029/JHD17
Reykjavík, desember 1981

**Unnið fyrir
Hitaveitu Akureyrar**

ÁGRIP

Beitt er tvívíðri túlkun á viðnámsmælingar í Eyjafirði til að greina sundur áhrif frá eðlisviðnámi í berglögum og frá söltum setlögum á dalbotninum. Með því móti fást upplýsingar um breytingar í eðlisviðnámi með dýpi frá einum stað í Eyjafirði til annars. Slíkar breytingar í eðlisviðnámi basalthraunlaga, endurspeglar breytingar í vatnsinnihaldi berggrunnsins. Því má nota eðlisviðnám til að fá grófa hugmynd um líklega vatnsgæfni einstakra jarðhitastaða. Slíkt vatnsgæfnismat er gert fyrir hina ýmsu jarðhitastaði í Eyjafirði og út frá því og fyrir- liggjandi upplýsingum um hitastig í hinum einstöku jarðhitakerfum er afl svæðanna metið. Varað er við því að taka afl og vatnsgæfnismatið of bókstaflega, heldur bent á að líta á það sem leiðbeiningu um, hvert beina skuli athyglinni í heitavatnsleit komandi ára. Niðurstaðan er sú að Hrafnagilssvæðið sé vænlegasta vinnslusvæðið af þeim svæðum sem ekki er þegar hafin vinnsla á. Því næst koma Grýta og Glerárdalur og síðan Grís- ará og Kristnes. Sá fyrirvari er þó gerður að svæðin séu lítt tengd öðrum vinnslusvæðum. Staðir eins og Reykhús, Stokkahlaðir, Garðsá og Ytra-Gil eru taldir lítt vænlegir til heitavatnsvinnslu miðað við fyrir- liggjandi upplýsingar. Upplýsingar um Laugaland á Þelamörk og Mjaðmár- dal eru of ófullnægjandi til að unnt sé að taka þessi svæði inn í afl- matið.

EFNISYFIRLIT

	Bls.
ÁGRIP	3
EFNISYFIRLIT	5
SKRÁ YFIR TÖFLUR	5
SKRÁ YFIR MYNDIR	6
1 INNGANGUR	7
2 VIÐNÁMSMÆLINGAR, FRAMKVÆMD OG ÚRVINNSLA	8
3 VIÐNÁMSMÆLINGAR Í EYJAFIRÐI FRAM TIL 1980	14
4 MÆLINGAR 1980 OG 1981	19
5 TÚLKUN MÆLINGANNA	20
5.1 Mælingar um miðbik Eyjafjarðar	20
5.2 Mælingar á Mjaðmárdal	26
5.3 Mælingar á Garðsárdal	29
5.4 Mælingar í nágrenni Akureyrar	30
6 TILRAUN TIL AÐ META AFL JARÐHITASVÆÐANNA	34
7 NIÐURSTÖÐUR	40
ABSTRACT IN ENGLISH	44
VIÐAUKI A Mæld og reiknuð sýndarviðnámssnið	47
VIÐAUKI B Eðlisviðnám undir mælimiðju einstakra mælinga	51
VIÐAUKI C Viðnámsmælingar við Akureyri. Mæliferlar og túlkun	57

SKRÁ YFIR TÖFLUR

1 Viðnám og vatnsvinnsla á nokkrum jarðhitastöðum	34
2 Eðlisviðnám, hlutfallslegt eðlisviðnám, hitastig og afkastamat á nokkrum jarðhitastöðum í Eyjafirði	41

SKRÁ YFIR MYNDIR

	Bls.
1 Viðnámsmælingar, skýringarmynd	8
2 Viðnámsmælingar í nágrenni Akureyrar 1971. Eðlisviðnám á 600 m dýpi	15
3 Eðlisviðnám á 600 m dýpi	16
4 Schlumbergermælingar, jafngildislínur sýndarviðnáms	18
5 Staðsetning viðnámsmælinga um miðbik Eyjafjarðar	21
6 Viðnámsenni A-B séð úr norðri	22
7 Viðnámsenni C-D séð úr norðri	23
8 Lægsta viðnám á 300-800 m dýpi	25
9 Öngulsstaðahreppur, viðnámsenni frá norðri til suðurs	27
10 Hrafnagilshreppur, viðnámsenni frá norðri til suðurs	27
11 Staðsetning mælinga á Mjaðmárdal	28
12 Mjaðmárdalur, viðnámsenni	29
13 Viðnámsmælingar á Garðsárdal	30
14 Staðsetning mælinga í nágrenni Akureyrar	31
15 Viðnám á 400 m dýpi undir sjávarmáli við Akureyri	32
16 Tengsl viðnáms og vatnsvinnslu	35

1 INNGANGUR

Þegar þetta er ritað í desember 1981 vantar enn talsvert á að Hitaveitu Akureyrar hafi tekist að afla nægjanlegs heits vatns úr jörðu til upphitunar bæjarins. Jarðhita, laugar og volgrur, er þó að finna á allmörgum stöðum í nágrenni bæjarins. Borað hefur verið á fjölmörgum þessara staða með ærið misjöfnum árangri.

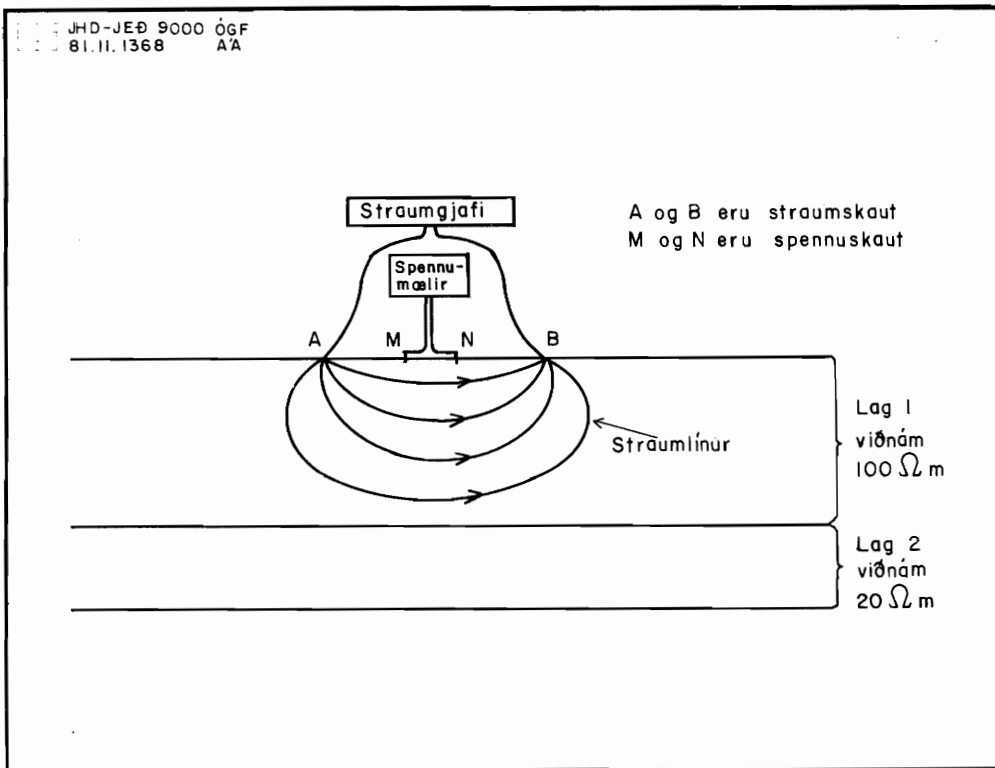
Þegar gert er upp milli borsvæða (eins og t.d. Kristness og Hrafnagils) og ákveðið hvar á að bora er algengt að hafa hliðsjón af viðnámsmælingum og þeim upplýsingum sem til eru um hitastig í viðkomandi jarðhitakerfum. Sá ljóður hefur þó verið á notkun viðnámsmælinga í Eyjafirði að sölt setlög á dalbotninum hafa takmarkað notagildi þeirra verulega. Í tæplega 1 1/2 ár hefur verið unnið að því á Jarðhitadeild Orkustofnunar að leysa þetta vandamál. Sett hafa verið upp tölvuforrit sem hjálpa til við túlkun mælinganna, þau löguð að aðstæðum í Eyjafirði og gerðar allmargar mælingar til viðbótar eldri mælingum.

Í þessari skýrslu er greint frá árangri þessa verks, og lagt fram mat á hinum ýmsu jarðhitastöðum í Eyjafirði til þess að beina megi vatnsleit komandi ára að þeim stöðum sem líklegastir eru til að bera ávöxt.

Auk höfunda skýrslunnar hafa fjölmargir aðilar lagt hér hönd á plóginn. Knútur Árnason og Halldór Halldórsson önnuðust uppsetningu túlkunarforritsins, mælingaflokkur Orkustofnunar undir stjórn Hjálmars Eysteinsonar framkvæmdi viðbótarmælingarnar. Tækniteiknararnir Auður Ágústsdóttir og Erna Birna Forberg önnuðust frágang myndanna. Valgarður Stefánsson og Gunnlaugur Jónsson lásu yfir handrit skýrslunnar og komu með gagnlegar athugasemdir. Verkefni þetta er unnið sem hluti af rannsóknarverkefni Jarðhitadeildar fyrir Hitaveitu Akureyrar, undir yfirstjórn Axels Björns-sonar.

2 VIÐNÁMSMÆLINGAR, FRAMKVÆMD OG ÚRVINNSLA

Viðnámsmælingar af ýmsu tagi eru þær jarðeðlisfræðilegu mælingar sem mest hafa verið notaðar við jarðhitaleit fram til þessa. Raforkumálaskrifstofan, forveri Orkustofnunar, hóf þessar mælingar hérlendis nokkru fyrir 1950. Viðnámsmælingar felast í því að mæla hvernig eðlisviðnám jarðar breytist með dýpi frá einum stað til annars. Nytsemi mælinganna felst í því að eðlisviðnám jarðlaga er háð hitastigi, vatnsgengd og seltu í jarðlögum. Viðnámsmælingar má framkvæma á marga mismunandi vegu. Í stórum dráttum má skipa þeim í tvo flokka, jafnstraumsmælingar og rafsegulmælingar. Við rafsegulmælingar eru mældar sveiflur í segulsviði, annað hvort segulsviði jarðar eða tilbúnu segulsviði og samsvarandi rafsviðssveiflur sem myndast vegna spanstrauma í jörðu. Út frá þeim má reikna eðlisviðnám sem fall af dýpi. Jafnstraumsmælingar felast í því, að sendur er jafnstraumur niður í jörðina um tvö straumskaut og mæld sú spenna sem myndast á yfirborði jarðar við önnur tvö skaut. Innbyrðis afstaða straum- og spennuskauta getur verið með ýmsu móti. Hér er algengast að hafa straum- og spennuskautin í beinni línu, straumskautin yst og spennuskautin mitt á milli. Þessi mæliuppsetning kallast Schlumberger-uppsetning og er sýnd á mynd 1.



MYND 1

Viðnámsmælingar, skýringarmynd

Straumurinn sem sendur er milli straumskautanna, A og B (mynd 1), dreifist um jörðina. Því lengra sem er milli straumskauta því dýpra í jörðu kemst straumurinn. Sú spenna sem myndast á yfirborði mitt á milli þeirra, og mæld er milli spennuskautanna (M og N), er háð viðnámi jarðlaganna sem straumurinn fer um. Reikna má út svokallað sýndarviðnám, ρ_A , með jöfnunni

$$\rho_A = K \frac{\Delta V}{I}$$

þar sem ΔV = spennan milli rafskautanna (volt)

I = straumurinn sem sendur er út (amper)

K = fasti, sem háður er fjarlægð milli skauta

Á mynd 1 er fjarlægðin milli straumskautanna það lítil að allur straumurinn berst eftir efra viðnámslaginu. Í því tilfelli verður sýndarviðnámið hið sama og raunverulegt viðnám efra lagsins, 100 Ω m (=100 ohm · metrar). Í Schlumberger-mælingum er fjarlægðin milli straumskauta smáaukin. Við það fer vaxandi hluti af straumnum eftir neðra laginu og minnkandi hluti eftir því efra. Sýndarviðnámið sem þá mælist verður því einhvers staðar milli 100 og 20 Ω m. Þegar bilið milli A og B er orðið mjög stórt hleypur nær allur straumurinn eftir neðra laginu og sýndarviðnámið sem mælist verður jafnt viðnáminu í því, 20 Ω m.

Í Schlumbergermælingum þeim sem gerðar hafa verið í Eyjafirði er bil milli straumskauta smá aukið úr 2 m upp í 3000 m. Við það fást sýndarviðnámsgildi fyrir mismunandi skautabil. Venja er að teikna sýndarviðnámið upp á tvílogaritmiskan pappír sem fall af hálfu straumskautabili ($^{AB}/2$). Dæmi um slíka sýndarviðnámsferla er að finna í viðauka C. Á þessu formi skila mælingaflokkar Orkustofnunar niðurstöðum frá sér til þeirra sem annast úrvinnslu.

Til að framkvæma Schlumbergermælingar þarf 4 mælingamenn, jeppa og mælitæki. Einn maður annast mælitækin, tveir sjá um að færa út straumskautin og sá fjórði skrifar niður mæligildi, teiknar sýndarviðnámsgildin og hleypur í ýmis önnur aðkallandi störf eins og að stugga við búfénaði, sem gjarn er á að slíta leiðslurnar og naga sér til óhollustu og jafnvel bana. Að jafnaði má búast við að unnt sé að framkvæma 2 mælingar á 12 tíma vinnudegi ef engar sérstakar tafir koma til.

Úrvinnsla mælinganna er tvíþætt. Fyrri hlutinn felst í því að umreikna sýndarviðnámsferilinn í eðlisviðnám jarðar sem fall af dýpi. Seinni hlutinn felst í því að tengja eðlisviðnámið við stærðir tengdar jarðhita, svo sem vatnsgengd og hitastigi.

Þegar sýndarviðnámsferillinn er umreiknaður í eðlisviðnám sem fall af dýpi, er gert ráð fyrir því, að jörðin sé úr láréttum viðnámslögum, sem hvert um sig hefur fast viðnám. Út frá lögun sýndarviðnámsferilsins má ráða hve mörg viðnámslög koma þar fram. Þegar fjöldi laga hefur verið ákvarðaður, má reikna eðlisviðnám og þykkt einstakra laga. Áður fyrr var það gert með samanburði við fræðilega útreiknaða sýndarviðnámsferla, nú er notað tölvuforrit, sem reiknar beint út eðlisviðnám og þykktir út frá gefnum lagafjölda. Túlkun eins og hér er lýst kallast einvið eða lagskipt túlkun því hún gerir einungis ráð fyrir viðnámsbreytingum í eina átt, niður.

Margir gallar eru á þessari túlkunaraðferð. Í fyrsta lagi sýnir hún einungis þá lausn sem felur í sér fæst möguleg viðnámslög, þannig að þau viðnámslög sem út úr túlkuninni koma eru einskonar vegið meðalgildi viðnáms yfir ákveðið dýptarbil.

Í öðru lagi eru alltaf einhverjar viðnámsbreytingar í lárétta stefnu. Ef þær breytingar eru óverulegar á svæði sem nemur lengd straumarms ($AB/2$) umhverfis hvort straumskaut er einvið túlkun góð og gild. Hérlandis eru það fyrst og fremst sjór og sölt setlög sem sumstaðar gera einviða túlkun ónóga. Við mælingar nálægt sjó þarf að gera sérstakar sjávarleiðréttingar áður en einviðri túlkun er beitt. Ef sölt setlög liggja á dalbotninum, eins og t.d. er raunin í Eyjafirði og Skagafirði, dugir einvið túlkun ekki og þá verður að grípa til tvíviðrar túlkunar.

Tvívið túlkun fer þannig fram, að búið er til viðnámsstrið úr rétthyrndum blokkum og er viðnámið í hverri blokk fast. Dæmi um slíkt viðnámsstrið er á mynd 6. Viðnámið breytist hins vegar ekki hornrétt á striðið. Síðan er reiknað út í tölvu sá sýndarviðnámsferill sem fengist ef mæld væri Schlumbergermæling eftir striðinu. Hann er síðan borinn saman við mældan sýndarviðnámsferil, viðnámsstriðinu breytt og reiknaður nýr sýndarviðnámsferill uns viðunandi samræmi næst milli reiknaða og melda sýndarviðnámsferilsins. Forritið, sem notað er við tvíviðu túlkunina vinnur með net

punkta, sem lýsa rafsviði í jörðu samsíða mælingunni. Þar sem netið inniheldur takmarkaðan fjölda punkta verður sniðið alltaf dálítið gróft og upplausnin í forritinu því takmörkuð. Að sjálfsögðu batnar hún með auknum fjölda punkta, en um leið eykst keyrslutími forritsins í tölvunni verulega. Verður því að finna hentugt jafnvægi þarna á milli, þannig að netið verði hvorki of gróft né keyrslutími of langur. Forritið er mjög frekt á tölvutíma og því ærið kostnaðarsamt að túlka mælingar tvívítt. Þá er sú lausn sem fæst ekki einkvæm, þ.e. fleiri en eitt viðnámsnið geta skýrt sama sýndarviðnámsferil. Einnig ræður forritið illa við samliggjandi viðnámsblokkir þar sem viðnámshlutföllin eru hærri en 50:1. Túlkunaraðferð þessi er hentug til að finna lóðrétt viðnámssskil og gefur allgóða mynd af viðnáminu undir mælimiðju. Hún veitir hins vegar ekki áreiðanlegar upplýsingar um viðnám og þykktir á lögum handan lóðréttra skila. Með mörgum mælingum á beinni línu má vinna gegn þeim veikleika. Þá er það galli við tvívíða túlkunarforritið, að ekki er hægt að taka tillit til landslagsáhrifa við túlkunina. Það er bagalegt þar sem eru brattar brekkur.

Þegar þessari túlkun er lokið hafa fengist upplýsingar um hvernig viðnám breytist með dýpi frá einum stað til annars. Þá hefst lokaþátturinn í úrvinnslu mælinganna og sá sem allt snýst um, að tengja viðnám við jarðhitafræðilega þætti. Til þess að skýra hvernig það er gert er nauðsyn að gera sér grein fyrir hvernig rafleiðni í bergi er háttað.

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

Í íslensku basalti er viðnám bergmassans sjálfs feikihátt miðað við viðnám vatns. Í fersku basalti þar sem ummyndun er engin er snertiflataleiðnin ekki til staðar svo viðnámið ræðst af vatnsinnihaldi bergsins og má meta holrými þess (porositet) út frá viðnámsmælingum. Með vaxandi ummyndun og myndun geislasteina í bergi kemur snertiflataleiðnin inn í myndina. Slík ummyndun er nær alls staðar til staðar á 100-200 m dýpi utan gosbeltanna. Snertiflataleiðnin er þar minni en 5 Ωm (Ólafur G. Flóvenz

1980) og er líklegast lítið hitastigsháð. Eðlisviðnám vatns af lághitasvæðum er yfirleitt á bilinu 30-90 Ω m mælt við 20°C, en það jafngildir 10-30 Ω m við 100°C. Þetta þýðir að snertiflataleiðnin er ríkjandi þáttur í leiðninni um bergið. Snertiflataleiðnin er háð tvennu, fjölda snertiflata í samtengdum sprungum og glufum á rúmmálseiningu bergs og ummyndunarstigi, þ.e. magni geislasteina og leirsteinda á rúmmálseiningu bergs. Ummyndunarstigið breytist lítið í lárétta stefnu t.d. innan svæðis eins og Eyjafjarðar frá Glerárdal suður fyrir Grund. Þess vegna er ástæða til að ætla að breytingar í viðnámi innan slíks svæðis séu vegna breytinga í snertiviðnámi og þar af leiðandi vegna breytinga í sprunguþéttleika. Lægra viðnám í bergi á ákveðnum stað þýðir því aukinn sprunguþéttleiki í berginu og þar með aukið vatnsinnihald og hugsanlega einnig aukna vatnsleiðni. Lágt viðnám segir hins vegar ekkert um hitastig á lághitasvæðum.

Af ofansögðu er ljóst, að nota má viðnámsmælingarnar til að fá upplýsingar um vatnsgengd í bergi á lághitasvæðum. Ef kannna á tiltekið landssvæði, til dæmis Eyjafjörð, er nauðsynlegt að mæla víða, bæði við jarðhita og fjarri og teikna upp einhvers konar viðnámskort eins og t.d. á myndum 8 og 14. Meta þarf svæðisbundið viðnám fjarri jarðhita og síðan er leitað eftir lágviðnámsfrávikum. Reynslan sýnir að þar sem viðnám er orðið minna en 60% af svæðisbundnu viðnámi, má túlka það sem vísbendingu um vinnanlegt vatnsmagn. Upplýsinga um hitastig hugsanlegs vatnskerfis verður að leita með öðrum ráðum, svo sem borun hitastigulsholu eða efna greiningum á vatni úr nærliggjandi laugum eða volgrum.

Þá tegund viðnámsmælinga, sem hér hefur verið kynnt (Schlumbergermælingar), má nota til að greina hvort eitt svæði (eins og t.d. Hrafnagil) sé vænlegra til að skila árangri við borun en annað (t.d. Reykhús). Hins vegar er ekki unnt að staðsetja borholur innan hvers svæðis út frá Schlumbergermælingunum. Ástæðan er sú að eðlisviðnámið, sem mælist í Schlumbergermælingunum, er eins konar meðaleðlisviðnám í jörðu undir allstórri spildu kringum mælimiðju. Til staðsetningar á borholum innan hvers svæðis er venjulega höfð hliðsjón af dreifingu lauga og volgra á yfirborði og legu ganga eins og þeir koma fram í segulmælingum. Segulmælingarnar eru mjög gagnlegar í þeim skilningi, að með þeim má kortleggja flesta ganga á viðkomandi svæði. Þær segja hins vegar ekkert um hvaða gangar eru vatnsleiðandi og hverjir eru það ekki. Þá er gjarnan borað í þá ganga sem jarðhiti virðist tengjast. Gefst það oft vel, en einnig má finna nokkur dæmi í

Eyjafirði um að laugar komi upp með göngum án þess að þeir séu meginleiðarar heita vatnsins. Nægir þar að benda á Laugaland og Glerárdal, þar sem bestu holurnar eru allfjarri þeim stöðum sem laugarnar voru á.

Til er ein tegund viðnámsmælinga, svonefndar viðnámsstærðsmælingar (áður kallaðar lengdarmælingar), sem geta orðið til gagns í því að greina vatnsleiðandi gang frá öðrum. Þessum mælingum var beitt nokkuð hér áður fyrr, m.a. við Laugaland á Þelamörk og Syðri-Hrafnagilslaug um 1970. Nú hefur mæliaðferð þessi verið endurbætt talsvert og greiningarhæfni hennar augin til muna. Hefur henni verið beitt á nokkrum stöðum í sumar, með góðum árangri á Glerárdal en minni við Kristnes. Er ljóst að hún hentar vel við sum jarðhitasvæði, og gæti verið ástæða til að reyna hana víðar í Eyjafirði þar sem vænta má að borað verði í framtíðinni.

Fyrst mun hafa verið viðnámsmælt í Eyjafirði skömmu fyrir 1950 en niðurstöður taldar ófullnægjandi (Gunnar Böðvarsson 1949). Árið 1971 voru gerðar all umfangsmiklar viðnámsmælingar í Eyjafirði og mælt á 25 stöðum. Niðurstöður þeirra mælinga voru birtar í skýrslu árið eftir (Guðmundur Guðmundsson & Kristján Sæmundsson 1972) og eru sýndar á mynd 2 sem eðlisviðnám á 600 m dýpi. Þessar mælingar voru túlkaðar á einvíðan hátt og því ekkert leiðrétt fyrir áhrifum söltu setlaganna undir dalbotninum. Í umræddri skýrslu er bent á að lægst viðnám norðan Akureyrar mælist við Laugaland á Þelamörk en sunnan Akureyrar eru jarðhitasvæðin við Kristnes, Grísará og Syðra-Laugaland talin liggja á samfelldu lágviðnámssvæði. Það ber að hafa í huga hér, að langt er milli mælinga og ekkert mælt á jarðhitastöðum eins og Hrafnagili og Glerárdal. Þess má geta að í umræddri skýrslu er talið nær vonlaust að jarðhitasvæðin við Eyjafjörð geti gefið af sér nóg vatn til upphitunar Akureyrar. Er sú niðurstaða að mestu reist á mati á náttúrulegu varmatapi jarðhitasvæðanna.

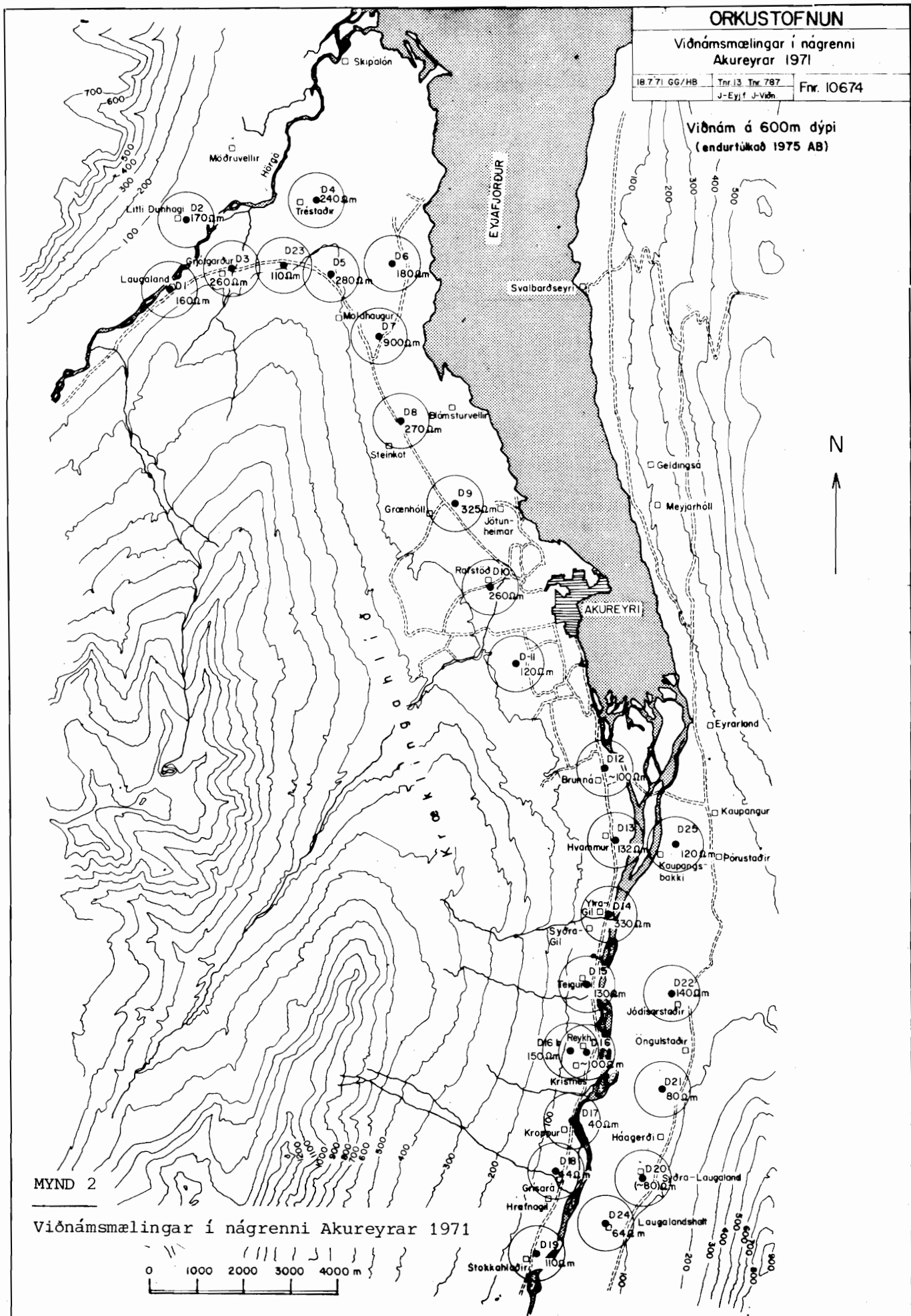
Árið 1975 er enn lagt í viðnámsmælingar. Oliukreppan var nú skollin á og húshitunarkostnaður fór síhækkandi. Jafnframt hafði mælitækni við viðnámsmælingar tekið miklum framförum. Var því afráðið að gera úrslita-tilraun til að finna nýtanlegt magn af heitu vatni fyrir Akureyri. Beitt var viðnámsmælingum og var þeim ætlað að benda á það svæði sem vænlegast væri að bora á. Auk viðnámsmælinganna var hafist handa við jarðfræðikortlagningu og hitastigulsboranir. Niðurstöður voru birtar í skýrslu í desember sama ár (Axel Björnsson & Kristján Sæmundsson 1975). Alls voru mældar 51 viðnámsmæling í Eyjafirði, Fnjóskadal og Ljósavatnsskarði. Mælingarnar voru túlkaðar á einvíðan hátt og niðurstöður sýndar á fjölmörgum myndum á formi viðnámskorta og viðnámssniða. Á mynd 3 í þessari skýrslu er birt kort af eðlisviðnámi á 600 m dýpi á rannsóknarsvæðinu. Meginniðurstöður rannsóknaða voru þær, að verulega lágt viðnám væri að finna á þremur stöðum; við Hrafnagil-Laugaland í Eyjafirði, við Reyki í Fnjóskadal og við Stóru-Tjarnir í Ljósavatnsskarði. Um niðurstöðurnar í Eyjafirði segir orðrétt: "Á stóru svæði, sem nær frá bænum Björk í Öngulstaðahreppi og að minnsta kosti suður að bænum Grýtu, er viðnám óvenju lágt niður á nokkur hundruð metra dýpi. Þetta lágviðnámssvæði er víðáttumeira en það sem fannst vestantil í Eyjafirði á milli Kristness

ORKUSTOFNUN

Viðnámsmælingar í nágrenni Akureyrar 1971

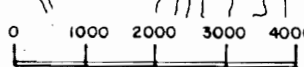
18.771 GG/HB	Tnr.13. Tnr.787	Fnr. 10674
	J-Eyfl J-Viðn	

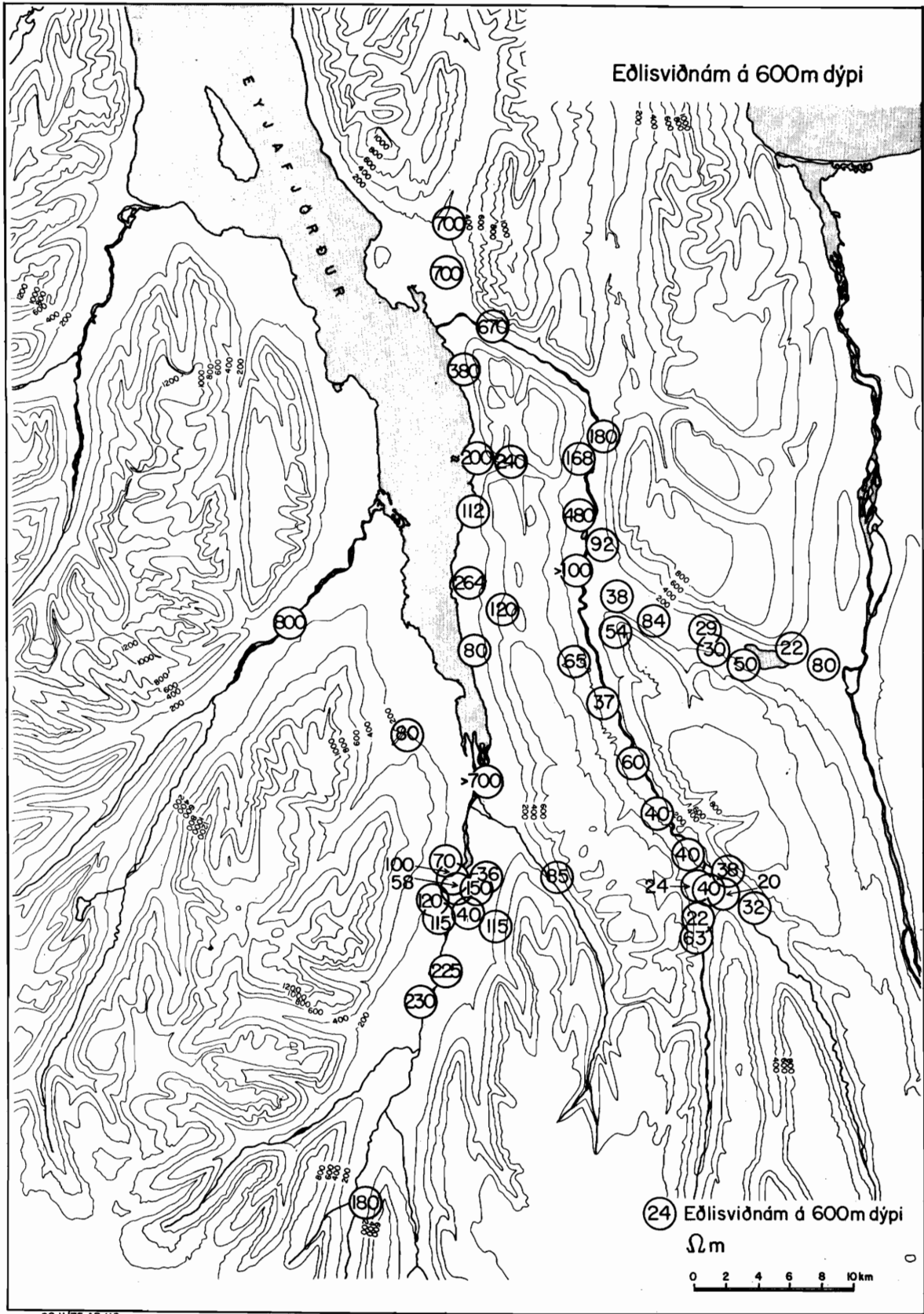
Viðnám á 600m dýpi
(endurtúkað 1975 AB)



MYND 2

Viðnámsmælingar í nágrenni Akureyrar 1971



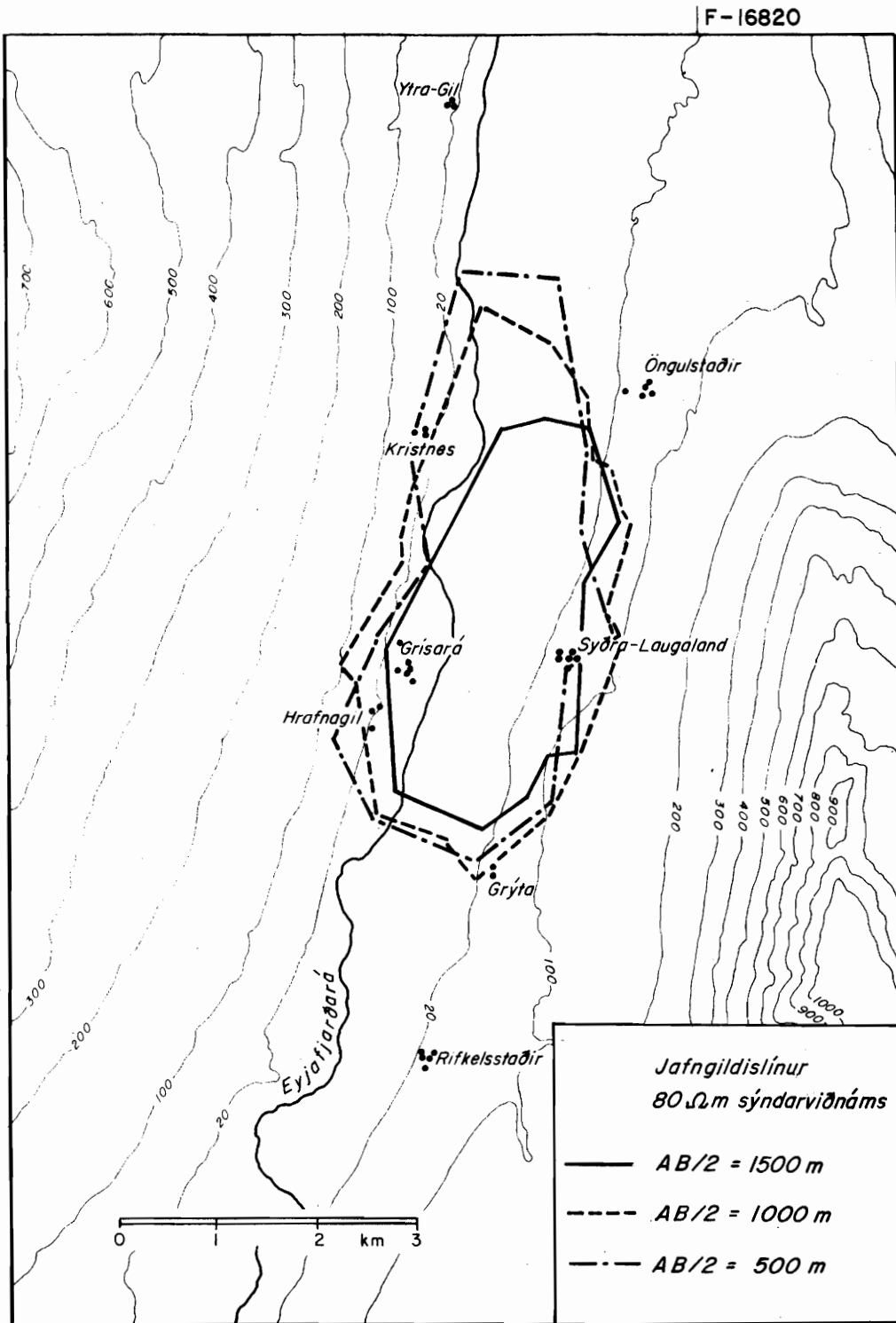


MYND 3

Eðlisviðnám á 600 m dýpi í Ωm

og Hrafnagils, og gæti bent til þess að miðja jarðhitasvæðisins liggja frekar austanmegin í dalnum." Voru gerðar tillögur um að reyna djúpbörun við Syðra-Laugaland og valið hentugt borstæði neðan við húsmæðraskólann. Gert var ráð fyrir að bora þyrfti niður á 3-4 km dýpi í fyrsta áfanga og nota til þess stærsta bor Jarðborana, Jötunn. Sú borun bar árangur og var upphafið að víótækum borunum eftir heitu vatni í Eyjafirði.

Þegar ljóst var að vatnsöflun í Eyjafirði gekk ekki eins vel og vonir stóðu til var farið að leggja áherslu á yfirborðsrannsóknir á ný. Sumarið 1977 og '78 var aukið talsvert við viðnámsmælingar í Eyjafirði. Beindust þær mælingar að hluta til að því að kanna útbreiðslu söltu setlaganna á dalbotninum og viðnám í þeim. Niðurstöður þessara viðnámsmælinga voru birtar í skýrslu í janúar 1979 (Axel Björnsson o.fl. 1979). Vegna þess að einungis var unnt að beita einvíðri túlkun á mælingarnar og nær ómögulegt að meta hversu langt út frá dalbotninum áhrifa söltu laganna gætir var ekki farið út í að reikna út eðlisviðnám sem fall af dýpi, heldur var afmarkað á korti svæðið þar sem mældist minna en 80 Ω m sýndarviðnám við 500, 1000 og 1500 m straumarm. Kort þetta er sýnt hér á mynd 4. Í skýrslunni er bent á að þessi 80 Ω m sýndarviðnámslína lokist um mestallan jarðhita á rannsóknarsvæðinu, þ.e. frá Grýtu og noður fyrir Kristnes. Hins vegar er engan veginn ljóst að hve miklu leyti lágviðnámssvæðið er af völdum jarðhita og hve mikið er af völdum setlaganna.



MYND 4

Schlumbergermælingar, jafngildislínur sýndarviðnáms.

Sumarið 1980 var enn lagt í að auka við viðnámsmælingarnar í Eyjafirði. Markmið mælinganna var tvíþætt. Í fyrsta lagi var mælt í grennd jarðhitasvæða sem lítil athygli hafði beinst að. Um var að ræða Glerárdal, Ytra-Gil, Garðsárdal og Mjaðmárdal. Í öðru lagi var bætt við nokkrum mælingum við jarðhitasvæðin um miðbik fjarðarins. Jafnframt þessu var hafist handa um að laga að tölvu Orkustofnunar bandarískt forrit, sem nota má til tvívíðrar túlkunar viðnámsmælinga. Var síðan ætlunin að nota það til að túlka mælingarnar sem liggja nærri setfyllingunni á dalbotninum. Uppsetningar- og aðlögunarvinnan reyndist heldur meira verk en búist var við og lauk því um mitt haust 1980. Þá kom einnig í ljós að einungis var hægt að beita forritinu á mælingar sem liggja þvert á lóðrétt viðnámskil, ekki á þær sem liggja samsíða. Til þess að ekki þyrfti að fara með straumarm yfir Eyjafjarðará höfðu nær allar mælingar í Hrafnagils- og Öngulstaðahreppum verið mældar samsíða setfyllingunni. Því var ekki um annað að gera en að mæla allmargar mælingar þvert á og yfir dalinn. Var það gert sumarið 1981. Verkið var fremur seinunnið þar sem mælingamenn urðu að fara með straumvíra á báti yfir Eyjafjarðará.

Á myndum 5, 9, 13 og 14 eru færðar inn staðsetningar allra viðnámsmælinga á Akureyri og í Hrafnagils- og Öngulstaðahreppum.

5 TÚLKUN MÆLINGANNA

Við túlkun mælinganna er mælisvæðinu, sem tekur til Akureyrar, Hrafnagils- og Öngulstaðahreppa, skipt í fjóra hluta og hver hluti um sig túlkaður. Skiptingin er sú hin sama og sýnd er á myndum 5, 9, 13 og 14. Hér á eftir verður fjallað um túlkun mælinga af hlutunum fjórum hvern í sínu lagi.

5.1 Mælingar um miðbik Eyjafjarðar

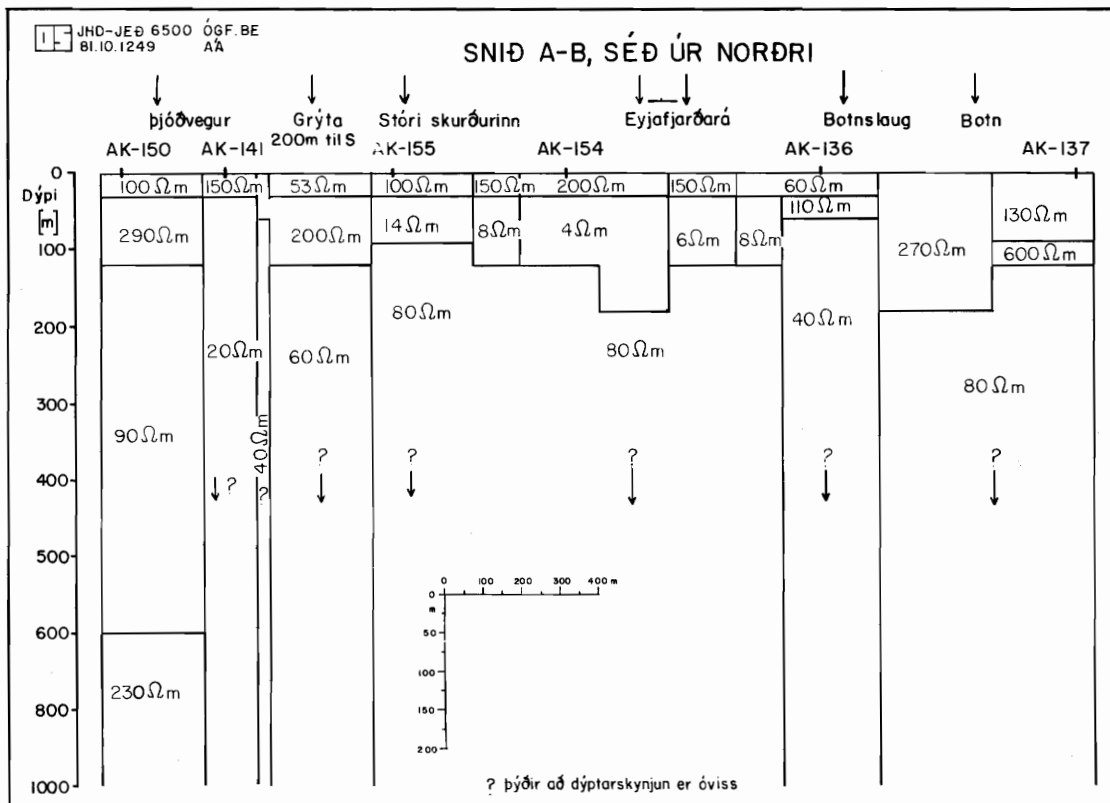
Mynd 5 sýnir staðsetningu mælinganna. Á þessu svæði er nauðsynlegt að nota tvívíða túlkun til að losna við áhrif setsins á dalbotninum. Áður en tvívíða túlkunin er gerð eru allar mælingar túlkaðar á einvíðan hátt til að fá grófa hugmynd um viðnámsbreytingar með dýpi undir hverri mælimiðju. Því næst eru valðar úr til tvívíðrar túlkunar allar þær mælingar sem liggja þvert á dalinn. Fyrst er nauðsynlegt að reyna að afmarka útbreiðslu, þykkt og viðnám söltu setlaganna. Fremur auðvelt er að afmarka útbreiðslu setsins, því einkennandi hvasst horn kemur í sýndarviðnámsferlana þegar farið er yfir lóðréttu skilin þar sem salt setið mætir berggrunninum. Upplýsingar um dýpið niður á setlöginn, viðnámið í þeim og þykkt fást úr viðnámsmælingum sem gerðar hafa verið beint ofan á þeim. Að auki má af V-laga lögum dalsins ráða að setin nái varla meir en 200 m niður í miðjum dalnum. Á mynd 8 er sýnd útbreiðsla söltu setlaganna samkvæmt niðurstöðum mælinganna.

Mælingarnar sem teknar eru til tvívíðrar túlkunar má greina í tvennt. Annars vegar eru mælingar sem liggja svo nærri beinni línu þvert á dalinn að þær túlka má saman í einu sniði og hins vegar stakstæðar mælingar.

Mælingar sem túlka má í sniði eru alls ellefu. Í sniði A-B eru sex þeirra og fimm í C-D (sbr. mynd 5).

Snið A-B (mynd 6) liggur að austan milli Brúnalaugar og Grýtu, þaðan þvert um dalinn yfir að Botnslaug og áfram norðan Bæjarhúsa á Botni (mynd 5). Í því eru mælingar merktar AK-150, AK-141, AK-155, AK-154, AK-136 og AK-137. Viðnámslíkan það sem best uppfyllir ofangreindar mælingar er sýnt á mynd 6. Í viðauka A eru myndir sem sýna mæld og reiknuð sýndarviðnámsgildi í umræddum mælingum samkvæmt tvívíðu túlkuninni. Áberandi er, að viðnámsgerð

er flóknust í grennd við jarðhitastaðina við Brúnalaug (AK-141) og við Botnslaug (AK-136). Þar næst ekki nógu gott samræmi milli mældra og reiknaðra sýndarviðnámsferla. Engu að síður má fullyrða, að megindrættir eru ljósir. Þó má ekki taka viðnámsgildin sjálf of bókstaflega, heldur líta svo á, að þau séu nærri réttu lagi. Eins eru þykktir einstakra viðnámslaga einungis gróflega ákvarðaðar. Á mynd 6 sést ljóslega að mjög lágt eðlisviðnám kemur fram á litlu dýpi í miðjum dalnum. Þetta eru talin vera sölt sjávarsetlög sem myndast hafa í lok síðustu ísaldar við hærri sjávarstöðu en nú er. Setið virðist ná 100-200 m niður. Neðan þess virðist taka við um 80 Ωm viðnámslag sem nær a.m.k. niður á 300-400 m dýpi. Viðnámið þarna undir setinu virðist vera herra en við jarðhitastaði eins og Botn, Laugaland og Ytri-Tjarnir, en þó mun lægra en svæðisbundið viðnám í Eyjafirði. Norðan við Grýtu virðist viðnámið í efstu 100 metrunum úti á



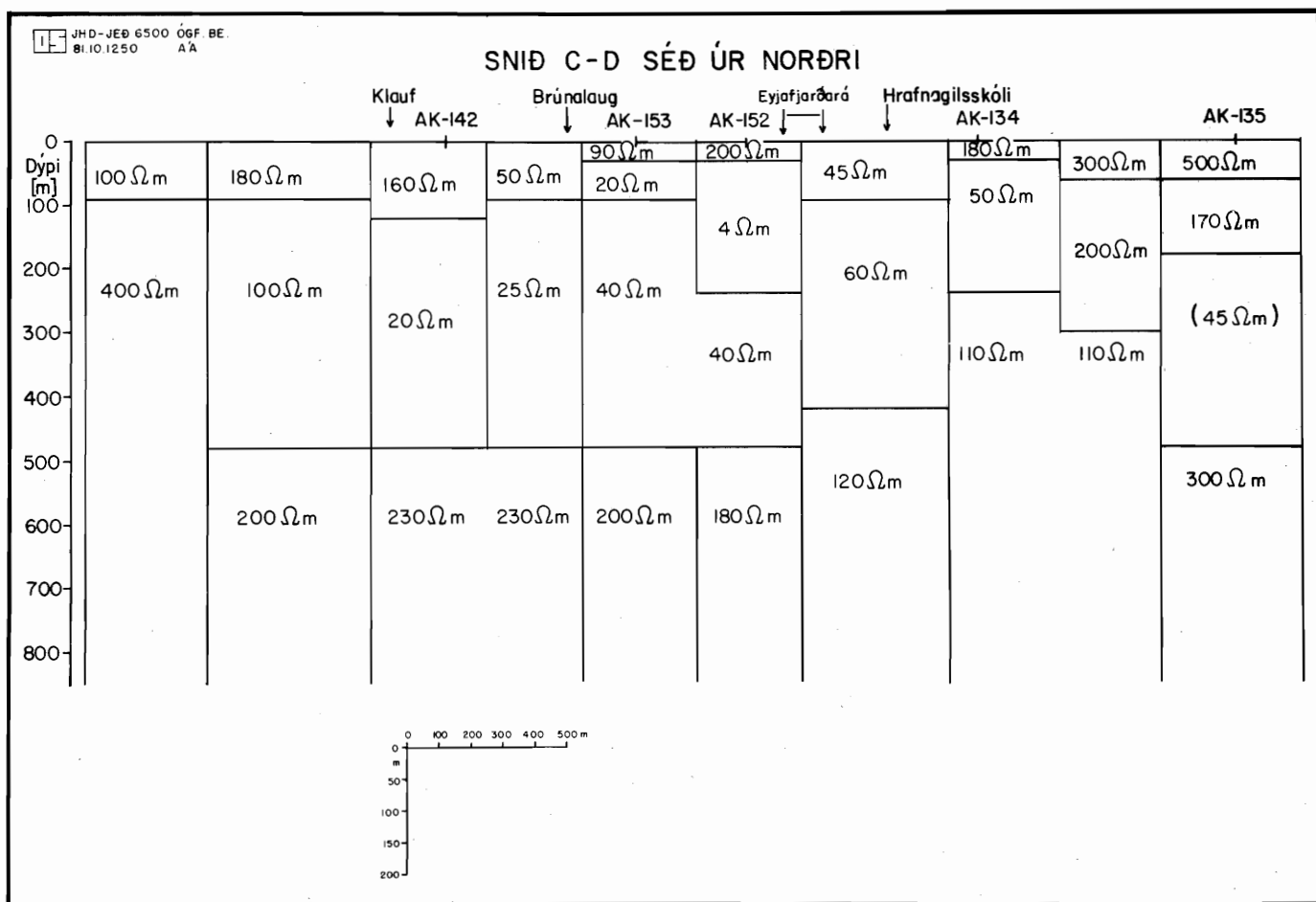
MYND 6

Viðnámsnið A-B séð úr norðri.

sléttunni vera mun herra en annars staðar í setlögnum. Er þarna líklega um árframburð eða jökulruðning að ræða. Eðlisviðnámið þar undir er örugglega lægra en 80 Ωm, líklegast nær 60 Ωm. Eðlisviðnámið undir austustu mælingunni er 90 Ωm niður á um 600 m dýpi. Þar fyrir neðan tekur við háviðnám, um 230 Ωm. Ekki er ljóst, hvort 230 Ωm viðnám er undir öðrum mælingum í sniðinu vegna þess að dýptarskynjun þeirra er minni. Til

samanburðar má benda á að í sniði C-D (mynd 8) er ljóst að 230 Ωm mælast víða neðan 600 m dýpis. Vestasta mælingin í sniði A-B er AK-137. Hún sýnir að 80 Ωm eðlisviðnám nær talsvert langt niður. Mælingar AK-141 í grennd við jarðhitann á Brúnalaug og AK-136 við Botnslaug sýna augljóslega mjög lágt eðlisviðnám undir mælimiðju, sem ekkert á skylt við söltu setlögin. Hins vegar reynist erfitt að fá gott samræmi milli mældu og reiknuðu sýndarviðnámsferlanna, líklega vegna þess að viðnámsgerð jarðar er þarna flóknari en svo að forritið ráði við það. Flest bendir þó til þess að viðnámið undir AK-141 sé aðeins 20 Ωm og ekkert háviðnám sést neðan þess. Eðlisviðnám virðist vera um 40 Ωm við Botnslaug.

Snið C-D (mynd 7) liggur um Hrafnagilsskóla að vestan og upp milli Brúnalaugar og Laugalands að austan (mynd 5). Í því eru 5 mælingar. Snið A-B



MYND 7

Snið C-D séð úr norðri

og C-D, eru ámóta löng þannig að snið C-D er verr varðað. Hér fæst heldur lakara samræmi milli mældra og reiknaðra sýndarviðnámsferla en í sniði A-B. Hugsanlega veldur hæðarmunur mælistaða þarna nokkru. Þá er ekki víst, að lóðréttu viðnámskilin, sem reiknað er með að séu til staðar séu í raun alveg lóðrétt. Mæling AK-135 sem er vestust er líklega nokkuð mótuð af hinum háa bakka niður að Hrafnagili og því er túlkunin á henni á mynd 8 líklega röng. Það eru til mælingar á svipuðum slóðum og AK-135 (AK-51 og AK-76), sem stefna norður-suður. Þær gefa mun hærra viðnám en tvívíða líkanið krefst í AK-135. Það sem veldur þessum erfiðleikum er, að neðan brekkunnar er viðnám nærri yfirborði lágt, en ofan hennar hátt. Því verða mæligildin í sýndarviðnámsferli AK-135 of lág þegar annað straumskautið er neðan brekkunnar og framkallar óraunverulegt 45 m lágviðnámslag í AK-135. Á hinn bóginn veldur bakinn því, að 110 m lagið er í raun með eitthvað lægra viðnám. Á mynd 8 sést að eðlisviðnám í efstu 500 metrunum fer sílækkandi til austurs allt austur undir Klauf í mælingu AK-142 þar sem það er aðeins 20 Ωm. Þessi mæling er nærri ganginum sem liggur um Laugalandssvæðið og ýmsir telja jarðhitann þar tengdan. Þetta lága viðnám endurspeglar jarðhitann. Austan Klaufar hækkar viðnám verulega. Lágviðnámslöggin virðast aðeins ná um 500 m niður. Þar fyrir neðan tekur við hátt viðnám, líklega um 230 Ωm. Það er þó fremur gróflega ákvarðað. Hins vegar má telja öruggt að viðnámið í þessu neðra lagi lækki verulega til vesturs.

Útbreiðsla söltu setlaganna er annað hvort minni hér en í sniði A-B, eða þau þynnast það mikið til austurs og vesturs að þau greinast ekki frá jarðhitalágviðnáminu við Brúnalaug og Hrafnagil.

Mælingar utan sniða og túlkaðar voru tvívítt eru samtals 27. Við túlkun þeirra er jafnan gert ráð fyrir 4 Ωm viðnámi í setlögnum og 40 m þykku lagi ofan þeirra með hærra viðnámi. Þrátt fyrir að hver og ein mæling er túlkuð sér, er talið að eðlisviðnámið undir mælimiðju sé þokkalega vel ákvarðað. Í viðauka B er eðlisviðnám undir mælimiðju hinna einstöku mælinga teiknað upp. Þar er einnig fjallað sérstaklega um hinar einstöku mælingar og túlkun þeirra. Auk allra þeirra mælinga sem túlkaðar hafa verið tvívítt eru til margar mælingar sem liggja samsíða dalnum (sbr. kafla 3 og 4). Þar sem lega söltu setlaganna er nú þekkt, má meta hvaða mælingar má túlka einvítt og að hve miklu leyti, án þess að söltu setin hafi áhrif. Þetta hefur verið gert.

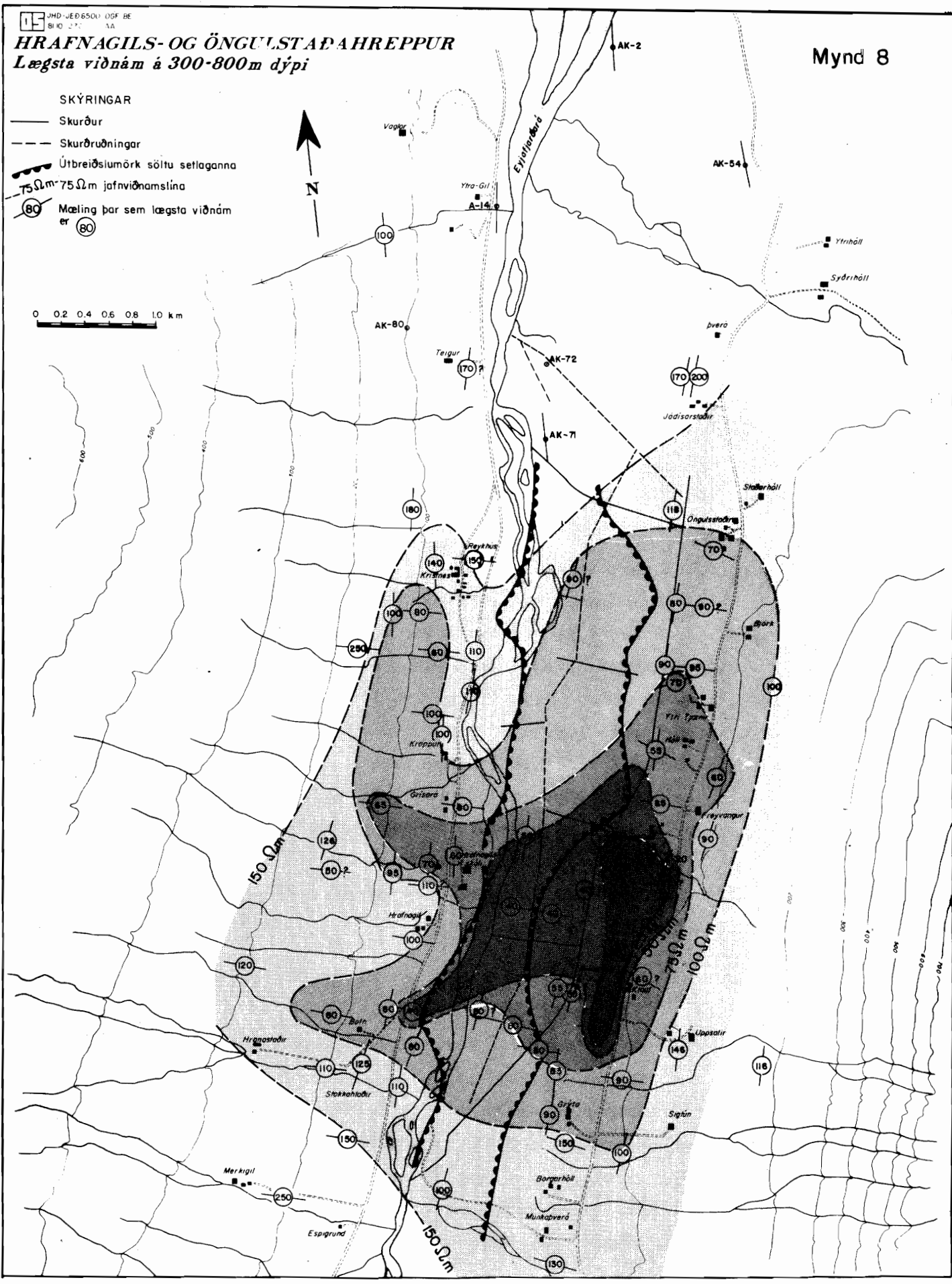
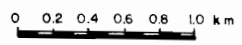
HRAFNAGILS- OG ÖNGULSTAÐAHREPPUR

Lægsta viðnám á 300-800m dýpi

Mynd 8

SKÝRINGAR

- Skurður
- - - Skurðrúðningar
- ▬ Útbreiðslumörk sóttu setlaganna
- 75Ωm 75Ωm jafnvíðnamslína
- ⊙ Mæling þar sem lægsta viðnám er



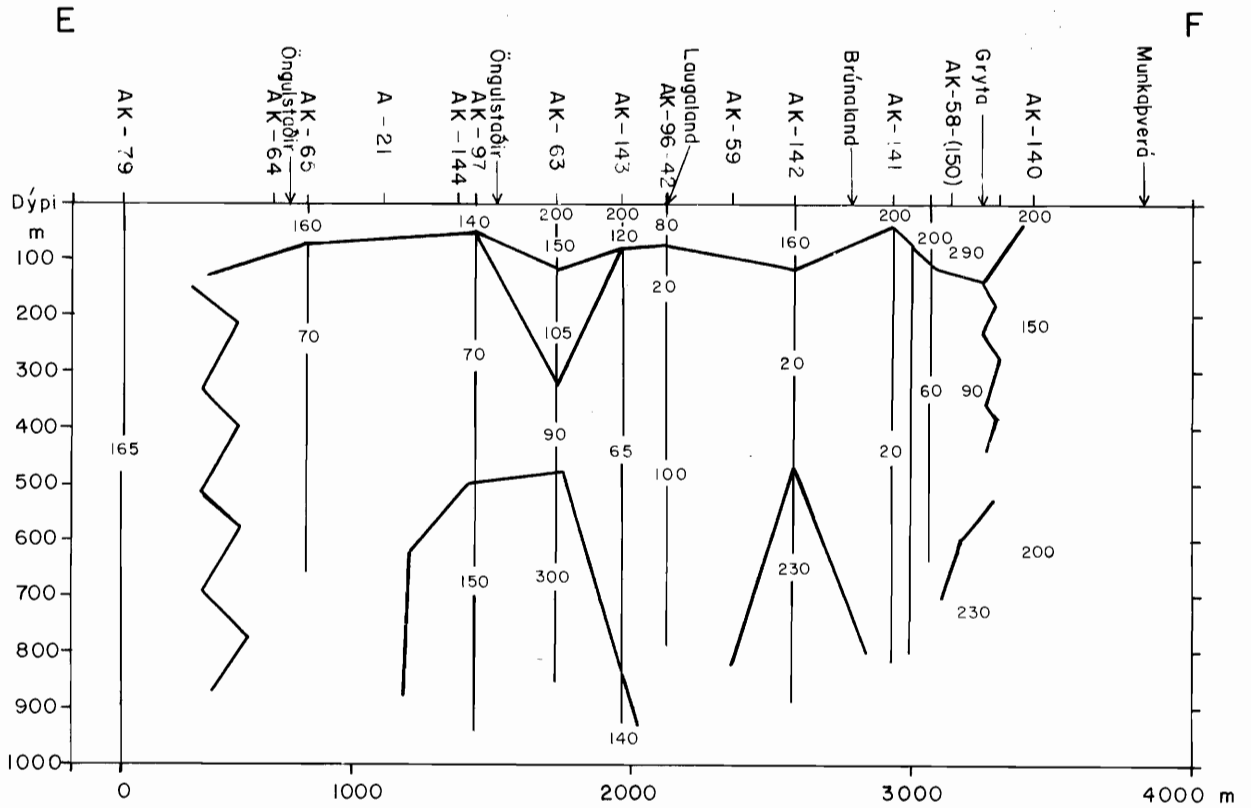
Mynd 8 sýnir heildarniðurstöður einvíðu og tvívíðu túlkunarinnar. Þar er merkt inn lægsta eðlisviðnám sem fram kemur í hinum einstöku mælingum og dregnar jafngildislínur. Jafnframt er fært inn á myndina hvar söltu setin liggja á dalbotninum samkvæmt tvívíðu túlkuninni. Á myndinni sést vel að langlægsta viðnámið, um 20 Ω m, kemur fram við Laugaland, Brúnalaug og Klauf. Virðist lágviðnám þetta teygja sig eitthvað suður fyrir síðastnefndu staðina í átt að Grýtu. Viðnám lægra en 50 Ω m nær lítið eitt norður fyrir Laugaland og teygir sig undir setfyllinguna í átt að Hrafnagili. Þá virðist koma fram lágviðnám, 40 Ω m, á litlu svæði kringum Botnslaug. Viðnámssvæðið með 50-75 Ω m teygir sig frá Ytri-Tjörnum í norðri og suður undir Grýtu. Að austan nær það rétt upp fyrir Þjóðveginn inn Öngulstaðahrepp og teygir sig þaðan til vesturs yfir Hrafnagil og Grísará. Þá er um 70 Ω m viðnám að finna við Öngulstaði. 100 Ω m jafngildislínan nær að minnsta kosti frá Öngulstöðum í norðri og suður fyrir Grýtu að austan en frá Kristneslaug og rétt suður fyrir Botn að vestan, þó ekki kringum Reykhús.

Á myndum 9 og 10 eru teiknuð viðnámssnið frá norðri til suðurs fram eftir Öngulstaðahreppi og Hrafnagilshreppi. Neðan 100 m dýpis má yfirleitt greina tvö viðnámslög. Efra lagið nær oftast niður á um það bil 400-600 m dýpi. Viðnámið í lagi þessu er á bilinu 20-100 Ω m. Á flestum stöðum sést í neðra lagið. Viðnám þess er nokkuð breytilegt, frá 110-300 Ω m. Við Öngulstaði, Klauf og Botn verður þessa lags eigi vart og þar virðist lágviðnámið í efra laginu teygja sig neðar. Viðnámið í neðra laginu er fremur illa ákvarðað í mælingunum, þá er ljóst að það er að meðaltali talsvert lægra í Hrafnagilshreppi en Öngulstaðahreppi. Lægst virðist viðnám á 700 m dýpi vera, í mælingu AK-141 rétt sunnan heimreiðarinnar að Brúnalaug (~20-30 Ω m). Þá er viðnám lágt á sama dýpi við Botnslaug (40 Ω m) en nokkru hærra við Laugaland (70 Ω m) og Hrafnagil (110 Ω m).

5.2 Mælingar á Mjaðmárdal

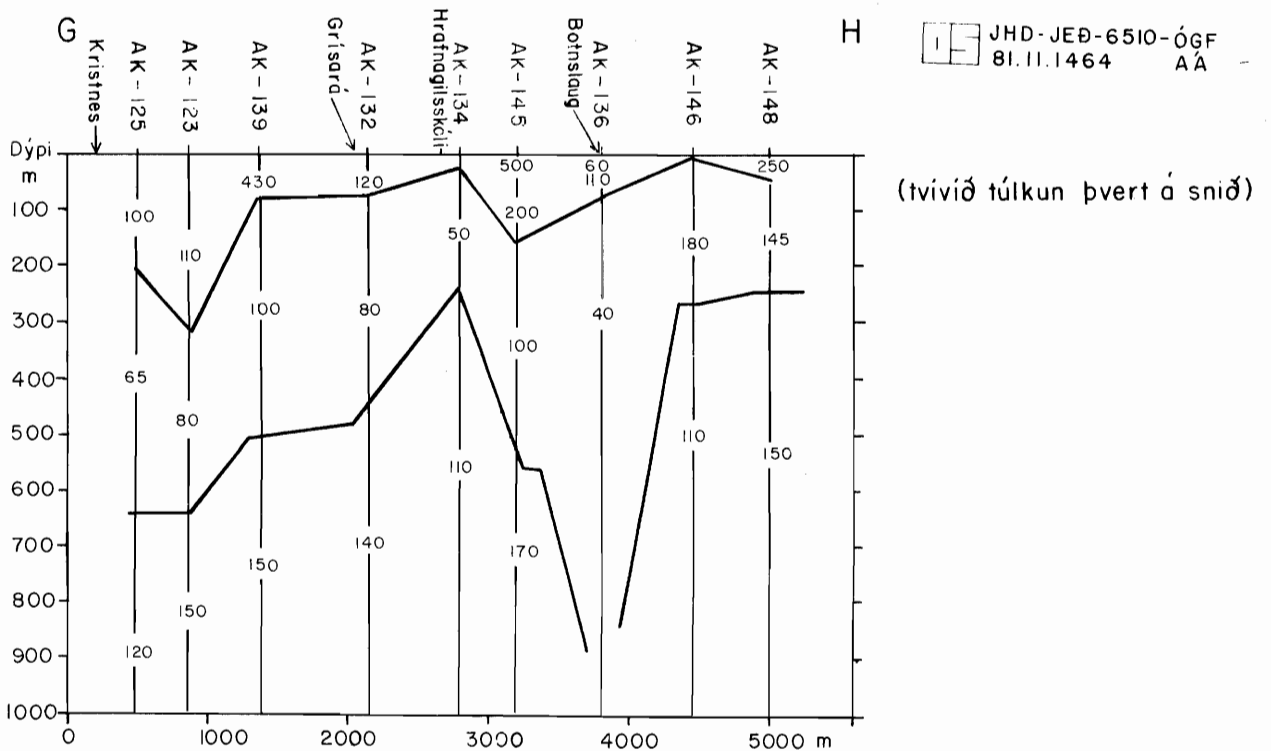
Mælt var viðnámssnið um Mjaðmárdal. Laug er á Mjarðmárdal og má af efnainnihaldi heita vatnsins ráða að um annað vatnskerfi sé þar að ræða en í Eyjafirði (Axel Björnsson o.fl. 1979, Hrefna Kristmannsdóttir 1981). Staðsetning mælinganna er sýnd á mynd 11. Mælingarnar voru túlkaðar einvitt. Niðurstöðurnar eru sýndar á mynd 12, sem viðnámssnið um dalinn. Eðlisviðnám virðist fara sílækkandi fram dalinn. Ekki verður séð að sú viðnámslækkun sé beinlínis tengd lauginni á Mjaðmárdal. Ekki verður

(tvívið túlkun þvert á snið)



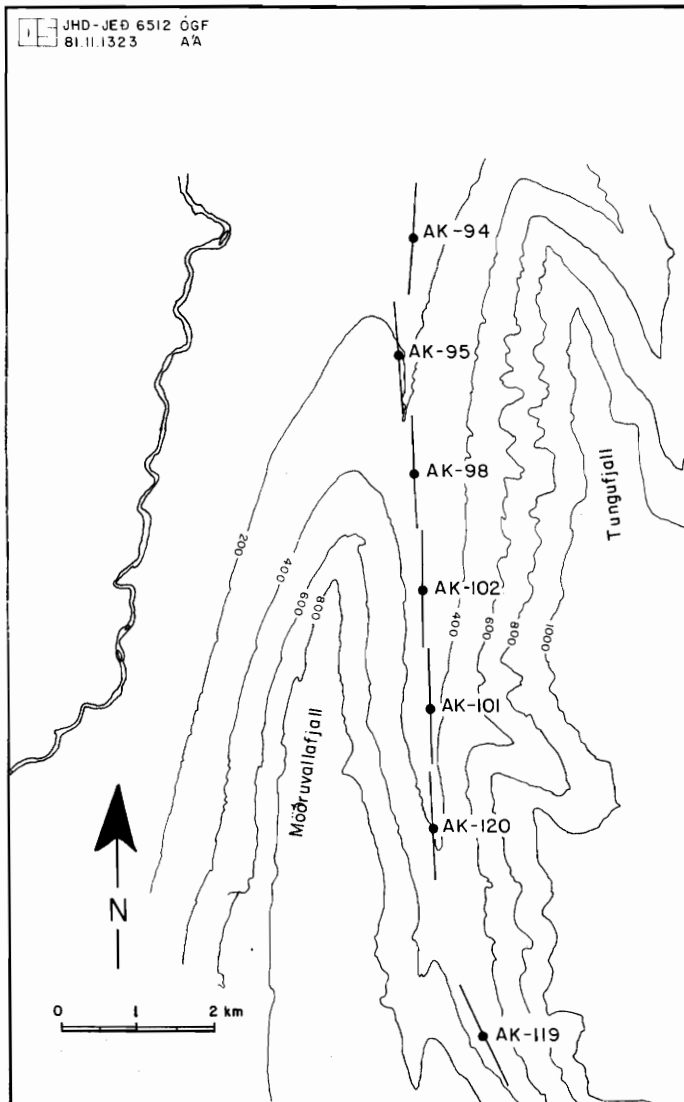
MYND 9

Öngulsstaðahreppur, viðnáms-snið frá norðri til suðurs. Tölur sýna viðnám í Ω metrum.



MYND 10

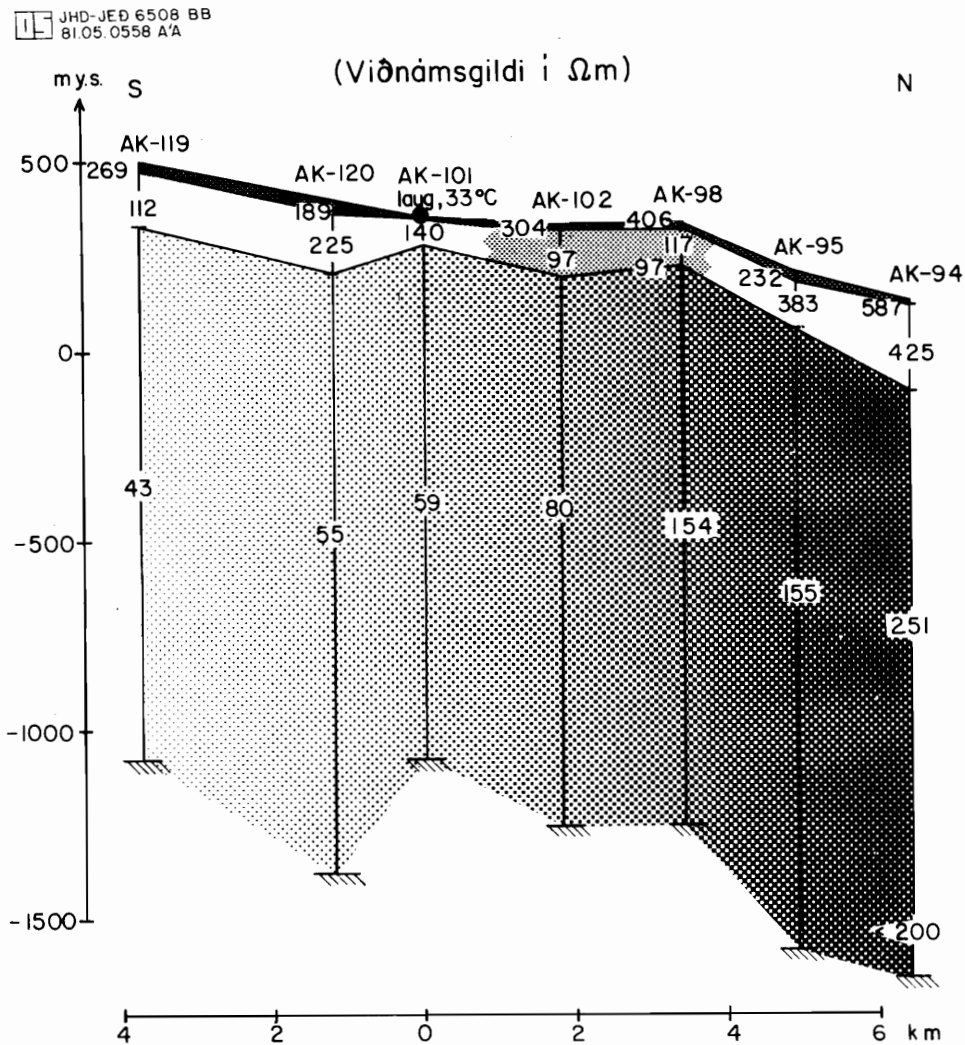
Hrafnagilshreppur, viðnáms-snið frá norðri til suðurs. Tölur sýna viðnám í Ω metrum.



MYND 11

Staðsetning mælinga á Mjaðmárdal.

fullyrt hér, hvort viðnámslökkunin fram eftir Mjaðmárdal verði skýrð með jarðhita. Vel er hugsanlegt, að breyting sé að verða á svæðisbundnu viðnámi. Vitað er að svæðisbundið við nám í framanverðum Fnjóskadal er um 40 Ω m og stutt er úr Mjaðmárdal í Fnjóskadal. Út frá fyrirbyggjandi gögnum verður því ekkert fullyrt um samband viðnáms og jarðhita á Mjaðmárdal.

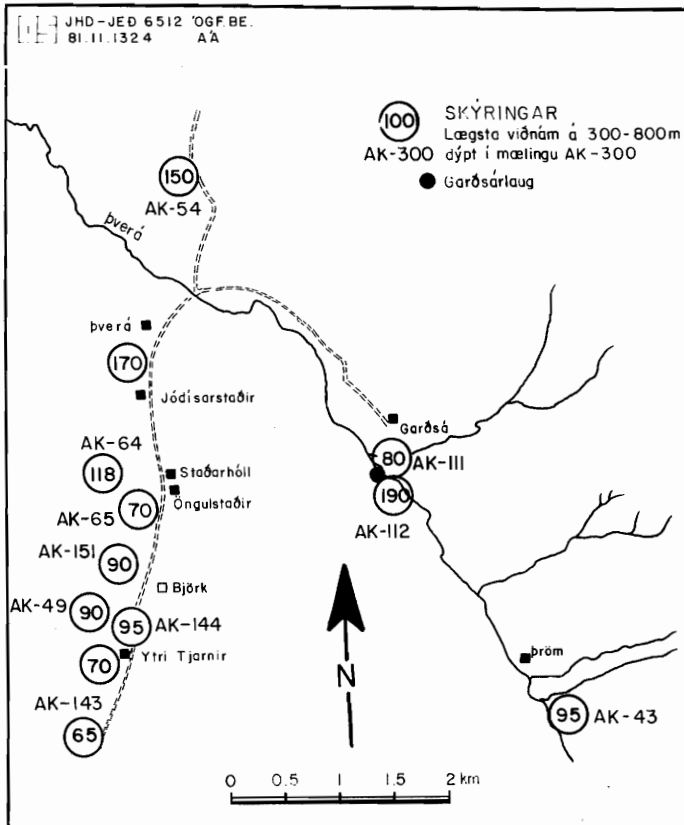


MYND 12

Mjaldmárdalur, viðnámsgildi.

5.3 Mælingar á Garðsárdal

Drjár viðnámsgælingar hafa verið mældar á Garðsárdal, tvær skammt frá Garðsárlaus og ein skammt framan við Þröm. Mælingarnar hafa verið túlkaðar einvítt. Mynd 13 sýnir staðsetningu mælinganna ásamt lægsta viðnámi sem mælst hefur á 300-800 m dýpi í hverri mælingu. Mæling AK-43 við Þröm sýnir 95 Ωm eðlisviðnám undir mælimiðju og bendir ekki til neins jarðhita að gagni. Mæling AK-190 sunnan Garðsárlausar sýnir 190 Ωm sem er mjög hátt og bendir ekki til meiri vatnsleiðni en gengur og gerist utan jarðhitasvæða í Eyjafirði. Mæling AK-111 er um 200 m austan Garðsárlausar. Hún sýnir um 80 Ωm eðlisviðnám á 300-800 m dýpi. Vegna þess að nokkuð vantaði á að 180° horn væri milli straumarmanna í mælingunni eru 80 Ωm líklega of hátt gildi, 70-75 Ωm líklega nær lagi. Þetta má túlka sem vísbendingu um nokkra vatnsgengd í grennd Garðsárlausar.



MYND 13

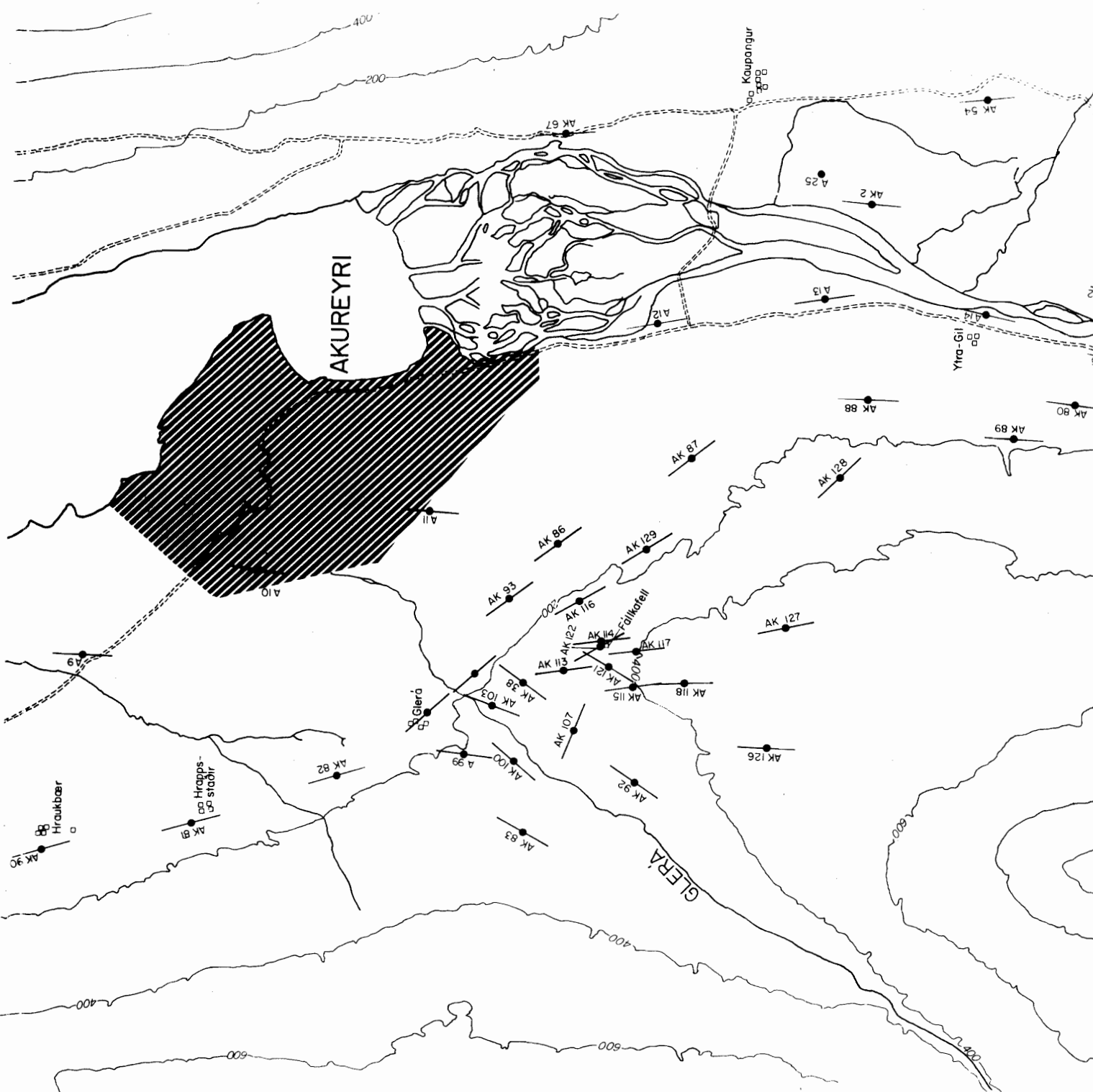
Viðnámsmælingar á Garðsárdal.

5.4 Mælingar í nágrenni Akureyrar

Frankvæmdar hafa verið allmargar viðnámsmælingar með Schlumberger uppsetningu í nágrenni Akureyrar, einkum þó umhverfis Glerárlaugar. Staðsetning mælinganna er sýnd á mynd 14. Mælingarnar hafa allar verið túlkaðar einvitt. Mæliferlana ásamt einvíðu túlkunarlíkani hveðrar mælingar er að finna í viðauka C. Á mynd 15 er kort af viðnámi á 400 m dýpi undir sjávarmáli, eins og það virðist vera samkvæmt einvíðri túlkun mælinganna. Af þeirri mynd má lesa eftirfarandi:

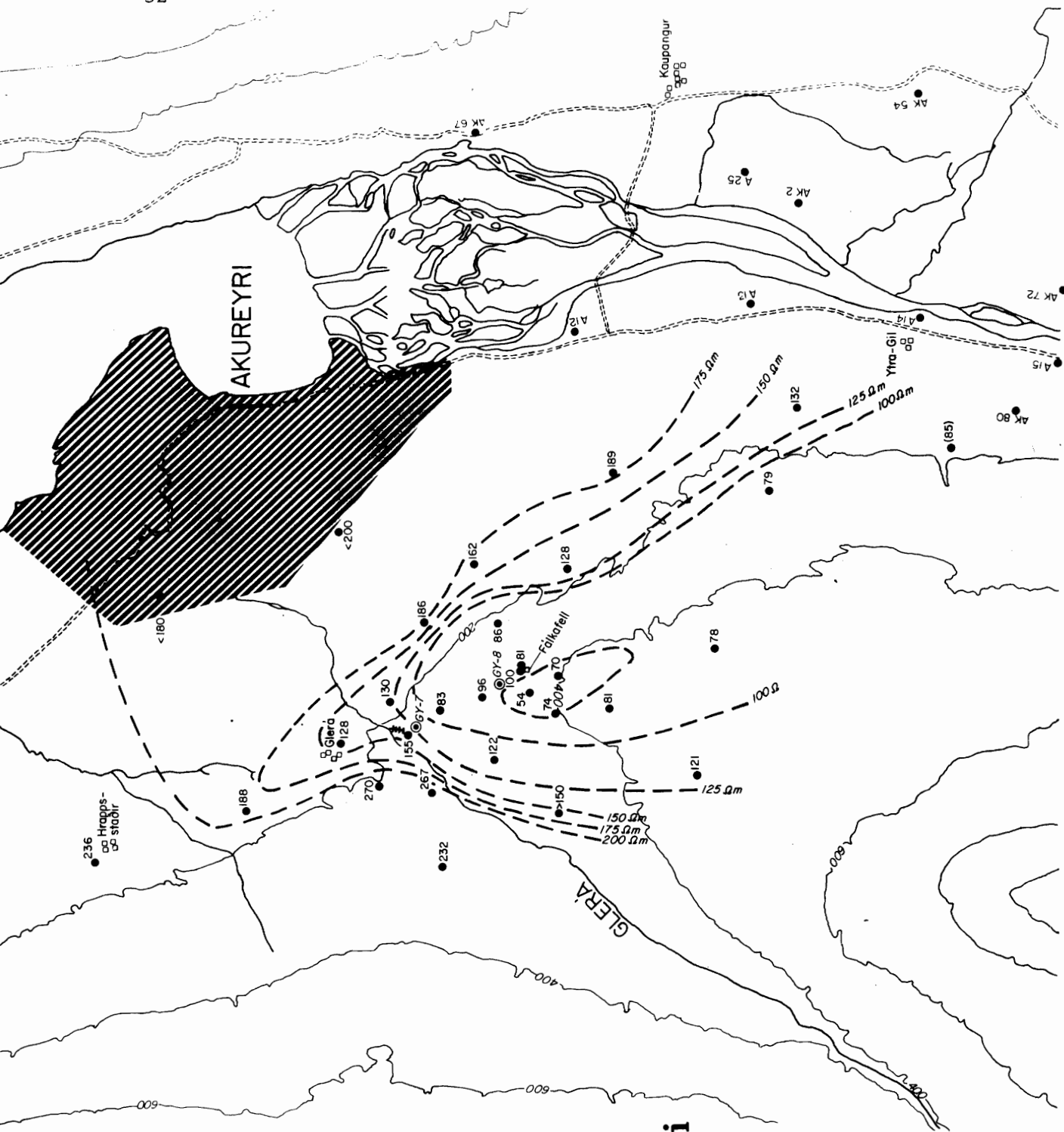
1. Viðnám norðan Glerár er mjög hátt, hærra en 200 Ω m.
2. Lágviðnámssvæði, um 1 km á breidd teygir sig til suðsuðausturs frá Glerárlaugum. Viðnám á þessu svæði virðist vera um 80 Ω m, en fer niður í 50 Ω m suðaustan Fálkafells.

Mæling AK-103 er næst laugunum í Glerárgili. Hún bendir til 70-80 Ω m viðnáms í efstu 200 metrunum, en þar fyrir neðan hækkar viðnám í 160-170 Ω m. Lágviðnám þetta verður vart túlkað á annan veg en sem vísbending um jarð-



Staðsetning viðnámsmælinga í nágrenni Akureyrar





AKUREYRI Eðlisviðnám á 400 m dýpi undir sjávarmáli

SKÝRINGAR

- ⊙ GY-8 Hóla GY-8 (ónákvæmt)
- +++ Glerálagur
- 70 Mælimiða, þar sem mælist hefta 70 Ωm
- A14 Mæling númer A14



hita. Borhola, GY-8, var boruð skammt neðan Fálkafells. Mælist hér hitastigull (um $100^{\circ}\text{C}/\text{km}$) í holunni. Af viðnámskortinu á mynd 15 má ráða að Glerárlaugar séu alveg í útkanti jarðhitasvæðisins og til að nálgast miðju þess þurfi að leita talsvert sunnar og um leið hærra í landið. Auk Schlumbergermælinganna voru gerðar viðnámsniðsmælingar í grennd Glerár-
lauga. Niðurstöður þeirra ásamt öðrum niðurstöðum rannsóknna á Glerárdal verða birtar í sérstakri skýrslu.

Mælingar á svæðinu frá Akureyri suður að Ytra-Gili sýna fremur hátt viðnám að AK-128 undanskilinni þar sem fram kemur 80 Ωm viðnámslag. Mæling þessi er fremur langt frá næstliggjandi mælingum. Þörf er á fleiri mælingum á þessum slóðum til að kanna þetta nánar. Mæling AK-89 er rétt við jarðhitann í Ytra-Gili. Sýndarviðnámsferillinn er fremur óreglulegur og virðist mótaður af fleiru en láréttri lagskiptingu. Ekki er með vissu hægt að segja til um gildi eðlisviðnáms á 400 m dýpi, en 100 Ωm ætti að vera nærri lagi.

6 TILRAUN TIL AFKASTAMATS EINSTAKRA JARÐHITASVÆÐA

Í inngangi skýrslunnar er frá því greint að megingilgangur viðnámsmælinganna sé að gefa innbyrðis samanburð á hinum ýmsu jarðhitastöðum í Eyjafirði og finna út hvaða svæði eru líklegust til að geta orðið nýtileg sem vinnslusvæði fyrir Hitaveitu Akureyrar. Að þeim upplýsingum fengnum þarf að einbeita rannsóknum, bæði mælingum og borunum, að vænlegustu svæðunum og leita þar gaumgæfilega að heitavatnsæðum í jörðu.

TAFLA 1

Viðnám og vatnsvinnsla á nokkrum jarðhitastöðum

Vinnslusvæði	Eðlisviðnám Ωm	Hlutfallslegt eðlisviðnám Ωm	Vatnsvinnsla l/s	Niðurdráttur frá holutoppi m
1. Hamar, Dalvík	50	0,25	~68 ¹⁾	22
2. Skútudalur, Sigluf.	80	0,50	~34 ²⁾	160-180
3. Laugaland, Öngulst.hr.	25	0,18	~90 ³⁾	~220
4. Ytri-Tjarnir	70	0,50	~42 ³⁾	~325
5. Laugar, Súgandaf.	45	0,45	15 ⁴⁾ ~40 ⁵⁾	85 ⁴⁾ ~200 ⁵⁾
6. Urriðavatn, Fellahr.	120	0,44	~40 ⁶⁾	150
7. Botn, Hrafnagilshr.	40	0,29	30-40 ⁷⁾	~200

1) (María Jóna Gunnarsdóttir 1981)

2) (Jens Tómasson o.fl. 1979)

3) Upplýsingar frá Hitaveitu Akureyrar

4) Upphaflegt mat samkvæmt rennslismælingu (Benedikt Steingrímsson o.fl. 1976)

5) Núverandi dæling og niðurdráttur eftir að verulegar kalkútfellingar hafa orðið

6) (Jens Tómasson, munnl. uppl.)

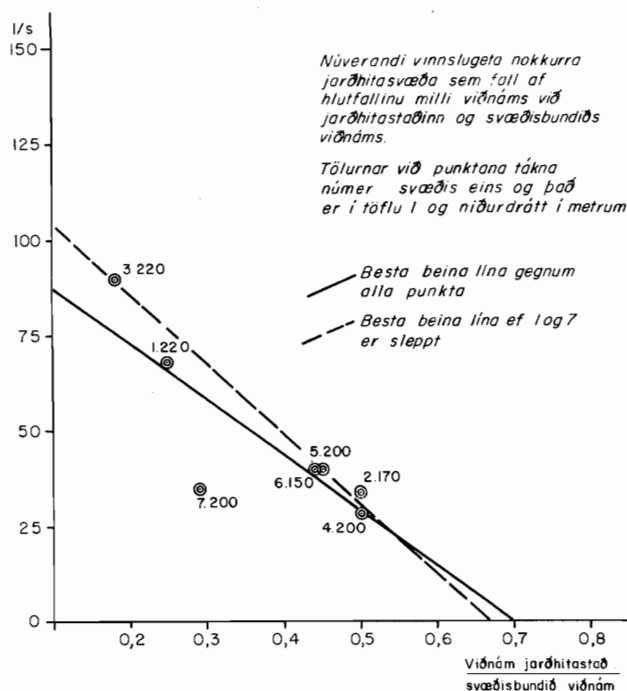
7) (Þorsteinn Thorsteinsson, munnl. uppl.)

Í fyrri köflum skýrslunnar er fjallað ítarlega um viðnámsmælingarnar sjálfar og fundið hvernig eðlisviðnám jarðar breytist frá einum stað til annars. Í kafla 2 er því lýst að nota megi lækkun viðnáms frá svæðisbundnu viðnámi sem merki um meira vatnsinnihald jarðlaga. Hins vegar eru ekki til neinar

öruggar aðferðir til að meta hversu mikils vatns megi vænta af jarðhitasvæðum út frá viðnámslækkuninni. Reynslan af vatnsvinnslu og viðnámsmælingum frá stöðum þar sem jarðfræðilegar aðstæður eru svipaðar og í Eyjafirði geta þó gefið nokkra hugmynd um hvers vænta má. Í töflu 1 eru teknar saman þær upplýsingar sem tiltækar eru um mat á viðnámi við jarðhitastaðina, hve stórt hlutfall það er af svæðisbundnu viðnámi og hve mikið virðist mega vinna eða er unnið úr núverandi vinnsluholum á viðkomandi svæði miðað við tiltekinn niðurdrátt. Tekið skal fram að ekki er alls staðar vitað um upphaflegan þrýsting og vatnshæð í borholum. Niðurdráttur er því gefinn upp í metrum frá holutoppi.

Á mynd 16 er vatnsvinnslan á svæðunum, sem tiltekin eru í töflu 1, teiknuð sem fall af hlutfallinu milli viðnáms við jarðhitastaðina og svæðisbundins viðnáms. Koma þar fram nokkuð glögg tengsl milli þessara stærða. Jarðhitasvæðið á Botni virðist skera sig allmikið úr og gefa minna en ætla mætti samkvæmt viðnámsmælingunum. Þá má gera ráð fyrir að töluvert meira megi vinna af jarðhitasvæðinu við Dalvík við aukinn niðurdrátt. Á mynd 14 hafa verið dregnir inn tveir ferlar, annar táknar bestu beinu línu gegnum alla punktana, hinn táknar bestu beinu línu ef Dalvík og Botni er sleppt.

JHD - JED - 6510 - ÖGF
81. II. 1466 AA



MYND 16

Tengsl viðnáms og vatnsvinnslu.

Vert er að gera sér grein fyrir því, að miklir óvissuþættir eru í ákvörðun punktanna á mynd 16. Í fyrsta lagi er vinnslugetan metin út frá núverandi vinnsluholum. Þar sem jarðhitinn á blágrýtissvæðunum er fyrst og fremst bundinn við sprungur í berginu en ekki lárétt lög, er engan veginn víst að tekist hafi að hitta í best vatnsleiðandi sprungurnar. Það gæti leitt til vanmats á svæðunum. Í öðru lagi er oft erfitt að meta svæðisbundið viðnám. Í þriðja lagi ber að athuga að notuð eru lægstu mældu viðnámsgildi á 300-800 m dýpi. Viðnámshlutföllin á þessu dýpi, sem notuð eru í töflu 1 og á mynd 16 ættu að vera mælistika á heildaryfirborðsflatarmál vatnsleiðandi sprungna á rúmmálseiningu bergsins á umræddu dýptarbili. Vatnsmagn í sömu sprungum á hverja rúmmálseiningu bergs er háð vidd eða rúmmáli sprunganna. Því má búast við því, að samband vatnsinnihalds í sprungum og viðnámshlutfallsins sé fremur á forminu:

$$Q = C \left(\frac{\rho}{\rho_r} \right)^{-\alpha} \text{ en að það sé línulegt.}$$

Q = vatnsmagn, ρ = viðnám við jarðhitastaðinn, ρ_r = svæðisbundið viðnám
 C og α eru fastar.

Þau gögn sem liggja fyrir eru ekki nægjanlega mikil til að greina hér á milli og því notað einfaldasta sambandið, það línulega. Í fjórða lagi geta svo aðfærsluæðar jarðhitasvæðanna (þ.e. þær æðar sem flytja vatnið inn í sprungukerfið sem viðnámið er mælt í) verið takmarkandi þáttur fyrir vinnslugetu svæðisins. Slík takmörkun kæmi ekki fram í viðnámsmælingunum.

Af mynd 16 má ráða, að fari viðnám í jarðhitastöðum niður í 50% af svæðisbundnu viðnámi megi búast við að ná megi nálega 30 sekundulítrum af svæðinu. Hér á eftir er gerð tilraun til afkastamats á hinum ýmsu jarðhitastöðum um miðbik Eyjafjarðar. Forsendur matsins eru annars vegar mynd 16 með öllum þeim óvissuþáttum sem henni fylgja og hins vegar þær upplýsingar sem fyrir liggja um hitastig vatnskerfanna. Hitastigið er ýmist metið út frá hitamælingum í borholum eða efnagreiningum á vatni úr laugum eða borholum. Þar sem eingöngu er notast við efnagreiningar úr laugum ber að taka hitastigsmatið með varúð, vegna þess að dæmi eru til þess úr Eyjafirði að mikill munur sé á hitastigi metnu út frá efnagreiningum á laugavatni og hitastigi í vatnsæðum nærliggjandi borhola.

Þá er eðlilegt að gera þá kröfu, að matið standist einungis ef vatnskerfi jarðhitasvæðanna, sem verið er að meta, séu lítt tengd innbyrðis í vatnafræðilegum skilningi. Ef þau eru tengd innbyrðis, má búast við að sama sprungan gæti verið aðfærsluæð beggja og hún því takmarkandi fyrir vinnslugetu svæðanna.

1. Laugalandssvæðið er talið ná yfir Laugaland, Brúnalaug, Klauf og Hól. Eðlisviðnám þar mælist allt niður í 20 Ω m, sem er það lægsta sem fundist hefur í Eyjafirði. Miðað við þá reynslu sem fengist hefur við vinnslu á svæðinu virðist það gefa um 90 l/s af um 95°C vatn, við rúmlega 200 m niðurdrátt. Það jafngildir um 21 MW miðað við nýtingu niður í 40°C.
2. Við Ytri-Tjarnir fást um 40 l/s af 80°C vatni með um 320 m niðurdrætti. Eðlisviðnám þar mælist lægst 70 Ω m skammt frá jarðhitanum. Afl svæðisins virðist um 7 MW miðað við þennan mikla niðurdrátt. Miðað við línulegt samband milli vinnslu og niðurdráttar gefur þetta svæði af sér 28 l/s við 200 m niðurdrátt.
3. Botnssvæðið hefur verið talið geta gefið um 30 l/s miðað við vinnslu úr þeim æðum sem fundust í HN-10. Ljóst er að fundist hefur æð í BN-1 sem er lítt tengd æðunum í HN-10 þannig að ekki virðist óeðlilegt að giska á 30-40 l/s vinnslugetu svæðisins við 200 m niðurdrátt frá holutoppi. Mælt eðlisviðnám við Botnslaug er allt niður í 40 Ω m, en útbreiðsla lágviðnámsins virðist lítil. Hitastig vatnsins er 88°C. Afl svæðisins virðist því vera um 8 MW.
4. Hrafnagilssvæðið. Eðlisviðnám við Hrafnagilslaugar mælist lægst um 40-50 Ω m og virðist ekki eins takmarkað í útbreiðslu og Botnssvæðið. Ef svæðið er aðskilið frá Botnssvæðinu er ekki ósennilegt að vænta megi allt að 50 sekúndulíttra takist að hitta á meginvatnsleiðarana. Út frá hitamælingum í borholum við Hrafnagil og efnagreiningum virðist megi búast við 80-90°C heitu vatni af svæðinu. Þetta jafngildir 8-10 MW afli.
5. Stokkahlaðir. Ekki hefur fundist lægra viðnám við Stokkahlaðalaug en 110 Ω m. Efnagreiningar á vatni úr lauginni bendir til 60°C hita í vatnskerfinu. Varla er að búast við nema fáeinum sekúndulítrum af svæðinu.

6. Grýta er talin tengd sérstöku vatnskerfi, þar sem dæling á Laugalandi virðist ekki hafa haft áhrif á laugarnar þar. Viðnám næst Grýtulaug er um 90 Ω m en mæling rétt norðar gefur tæpa 60 Ω m. Hugsanleg vatnsvinnsla gæti orðið 10-40 sekúndulítrar af 80-90°C vatni. Hitastigið er metið út frá hitamælingu í borholunni við Grýtu. Ef miðað er við herra viðnámsgildið og lægra hitastigið er aflið einungis um 2 MW en verður 8 MW er lægra viðnámið og herra hitastigið er notað.
7. Grísará. Viðnám er þar um 80 Ω m sem gæti gefið vonir um 15-20 l/s af 80°C vatni ef svæðið er lítið tengt öðrum vinnslusvæðum. Hitastigið er metið út frá hitamælingu í borholu GG-1.
8. Kristnes. Viðnám í grennd Kristnesslaugar er lægt um 80 Ω m. Hitastig vatnsins í lauginni er tæpar 60°C og efnagreiningar benda til um 75°C hita í vatnskerfinu. Miðað við 80 Ω m eðlisviðnám ætti að mega ná 15-20 l/s af svæðinu tækist að hitta á meginaðfærsluæðar Kristnesslaugar.
9. Reykhus. Viðnám við Reykhúsalaugar er hátt, eða um 230 Ω m, nema rétt efst. Lítil von er um að meira en fáeina sekúndulítra af svæðinu. Hitastig vatnsins er 78°C.
10. Ytra-Gil. Viðnámsmæling sú sem næst liggur Ytra-Gilslaug er erfið í túlkun. Þó virðist varla um lægra en 100 Ω m viðnám að ræða, sem bendir til fremur lítillar vatnsgengdar. Varla er að vænta meira en 10 l/s af svæðinu. Efnagreiningar á vatni úr lauginni eru í innbyrðis ósamræmi, en hér er gískað á 50-60°C hita í vatnskerfinu.
11. Garðsárlaug. Mæling skammt austan Garðsárlaugar sýnir lægst 80 Ω m viðnám neðan 300 m dýpis. Hugsanleg vatnsvinnsla af svæðinu er 15-20 l/s af 50°C heitu vatni. Hitastigið er metið út frá efnagreiningum.
12. Glerárdalur. Áætlað hefur verið út frá viðnámsmælingum og samanburði við jarðhitasvæðið við Hamar í Svarfaðardal að vænta megi allt að 40 l/s af svæðinu (Ólafur G. Flóvenz & Sigmundur Einarsson 1980). Efnagreiningar benda til þess að vænta megi allt að 70°C heits vatns. Það rýrir þó gildi Glerárdalssvæðisins að viðnámsmælingar benda til

Þess að miðja svæðisins sé inni undir fjallinu, nánar tiltekið í grennd við Fálkafell. Erfitt kann að reynast að vinna vatn við slíkar aðstæður.

13. Laugaland á Þelamörk. Þótt svæðið sé utan þeirra sveitarfélaga sem skýrslan tekur til er vert að minna á að svæðinu hefur lítil gaumur verið gefinn á undanförunum árum og lítið er til af nýlegum mælingum. Svæðisbundið eðlisviðnám er þarna mjög hátt 200-400 Ω m. Lægst hafa mælst 120 Ω m í grennd jarðhitans. Hitastig er hins vegar hátt 90-100°C.

7 NIÐURSTÖÐUR

Í töflu 2 eru meginniðurstöður skýrslunnar dregnar saman. Þar má sjá hve lágt viðnám hefur mælst á hinum ýmsu jarðhitastöðum, hve stórt hlutfall það er af svæðisbundnu viðnámi, hvert sé líklegt hitastig í vatnskerfinu, gróft mat á vinnslugetu svæðisins í l/s og loks afl svæðisins miðað við líklegt hitastig og vinnslugetu. Forsendur matsins voru raktar í kafla 6. Ástæða er til að leggja ríka áherslu á að matið er mjög gróft og einungis nothæft sem leiðbeining um hvert beina skuli rannsóknum, mælingum og borunum á næstu árum. Það má ekki nota sem hönnunarforsendur af neinu tagi.

Af töflunni má ráða, að Hrafnagilssvæðið sé vænlegasta jarðhitasvæðið í nágrenni Akureyrar að þeim þremur stöðum frátöldum, sem þegar hafa verið virkjaðir. Virðist því skynsamlegt að beina athyglinni næst að Hrafnagilssvæðinu. Orkustofnun mun fljótlega senda frá sér greinargerð með tillögum um hvernig standa skuli að frekari vatnsleit þar. Mjög mikilvægt er að fylgst verði náið með vatnsstöðu á Hrafnagilssvæðinu og hvort heita-vatnsvinnsla við Botn hefur áhrif á hana. Reynist tenging milli jarðhitasvæðanna við Botn og Hrafnagil dregur stórlega úr þeim vonum sem standa til vatnsvinnslu af Hrafnagilssvæðinu.

Að Hrafnagilssvæðinu frátöldu koma Glerárdalur og Grýta næst sem möguleg vinnslusvæði frammi í firði. Um Glerárdal verður fjallað nánar í sérstakri greinargerð eða skýrslu en þó er líklegt að staðhættir (landhæð) geti orðið takmarkandi fyrir orkuvinnslu þar. Einnig ber að hafa í huga að ekki hefur enn fundist vísbending í borunum um hærri hita í vatnskerfinu á Glerárdal en 57°C.

Segulkort af Grýtu og jarðvegshitamælingar liggja fyrir. Einu yfirborðs-rannsóknirnar, sem líklegar eru til að koma að liði við staðsetningu borhola á þessum stað, eru viðnámssniðsmælingar. Að öðru leyti yrði vatnsleit að fara fram með borunum. Grunnar rannsóknarboranir og dýpkun holu GW-1 á Grýtu yrðu þar efst á blaði.

Auk þessara þriggja svæða koma Kristnes og Grísará til greina sem vinnslusvæði. Um Kristnessvæðið er fjallað sérstaklega í skýrslunni "Kristnes - Reykhús. Úttekt á hálftrar aldar árangurslítilli jarðhitaleit" (Ólafur

TAFLA 2

Eðlisviðnám, hlutfallslegt eðlisviðnám, hitastig og afkastamat á nokkrum jarðhitastöðum í Eyjafirði.

Staður	Lægsta eðlisviðnám á 300-800 m dýpi Ωm	Lægsta eðlisviðnám sem hlutfall af svæðisbundnu viðnámi	Líklegur hiti í vatnskerfi °C*	Gróft mat á afkastagetu l/s	Afl miðað við nýtingu í 40°C MW
Botn	40	0,29	90	40	8
Garðsá	80	0,57	50	15-20	<1
Glerárdalur	50-70	0,25-0,5**	70	30-70	5-12
Grísará	80	0,57	80	15-20	3
Grýta	60-90	0,43-0,64	80-90	10-40	2-8
Hrafnagil	50	0,36	80-90	50	8-10
Kristnes	80	0,57	75	15-20	2-3
Laugaland	20	0,14	95	90	21
Reykhús	130	0,92	78	<10	<1
Stokkahlaðir	150	1,07	60	<10	<1
Ytra-Gil	100	0,71	50-60	<10	<1
Ytri-Tjarnir	70	0,5	80	40	7

Samtals eru þetta 305-390 l/s með 57-73 MW afli ef svæði þau sem gefa minna en 10 l/s eru frátalin.

Ath: Hér er um gróft mat á afkastagetunni að ræða, byggt á viðnámsmælingum og hitamælingum. Matið er sett fram til að gefa hugmynd um innbyrðis stærð jarðhitasvæðanna. Matið er einungis hugsað sem leiðbeinandi við forgangsröðun rannsóknarverkefna og ber að fara með það sem slíkt. Sérstaklega er varað við því, að nota matið sem hönnunarforsendur af einhverju tagi.

* metinn út frá efnagreiningum og fyrirliggjandi hitamælingum í laugum og borholum.

** nokkur óvissa er á því, hvert telja skal svæðisbundið viðnám umhverfis jarðhitasvæðið. Norðan þess virðist það vera yfir 200 Ωm en sunnan þess um 140 Ωm.

G. Flóvenz o.fl. 1981). Þar kemur fram að áframhaldandi heitavatnsleit við Kristnes verður fyrst og fremst að fara fram með borunum.

Laugaland á Þelamörk er vert að athuga nánar. Segulkort var gert af svæðinu árið 1979 og varpaði nýju ljósi á þá mynd sem menn höfðu gert sér af svæðinu. Skynsamlegt væri að gera þarna viðnámssniðsmælingar og mælingar í borholum áður en ráðist verður í frekari boranir. Þá er einnig rétt að vekja athygli á fremur lágu viðnámi við Öngulstaði. Þyrfti að kanna það nánar með nokkrum mælingum í viðbót og ef til vill borun hitastigulsholu.

Þau svæði sem ótalin eru, Reykhús, Garðsá, Ytra-Gil og Stokkahlaðir virðast ekki líkleg til að gefa mikið af sér miðað við fyrirliggjandi upplýsingar. Þó er rétt að hafa í huga, að það er fyrst og fremst lágt hitastig sem gerir Garðsársvæðið miður álitlegt. Þetta lága hitastig er byggt á efnagreiningum á vatni úr Garðsárlaus. Dæmi eru til þess úr Eyjafirði (Botnslaug), að borun í vatnskerfi laugar hafi gefið mun hærra hitastig en efnainnihald vatnsins í lauginni benti til. Þess vegna ætti að stefna að borun 100-200 m rannsóknarholu á Garðsárdal og jafnvel við Ytra-Gil og Stokkahlaðir í fyllingu tímans. Viðnámssniðsmælingar gætu komið að gagni við staðsetningu borholu á þessum stöðum.

HEIMILDASKRÁ

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

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

Benedikt Steingrímsson, Jón Benjamínsson & Kristján Sæmundsson 1976: Mælingar í borholu II, Súgandafirði. Orkustofnun, OSJHD7624, 8 s.

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

Gunnar Böðvarsson 1948: Bréf til bæjarstjórans á Akureyri, dagsett 3.5. 1948, varðandi jarðhitarannsóknir í nágrenni Akureyrar.

Hrefna Kristmannsdóttir & Sigfús Johnsen 1981: Eyjafjörður. Efnainnihald og ísótópahlutföll jarðhitavatns. Orkustofnun, OS81023/JHD14, 49 s.

Jens Tómasson, Margrét Kjartansdóttir, Gísli Karel Halldórsson, Guðmundur Ingi Haraldsson, Ragna Karlsdóttir & Ásgrímur Guðmundsson, 1979: Heitavatnsöflun fyrir Hitaveitu Siglufjarðar. Orkustofnun, OS79034/JHD16, 75 s.

María Jóna Gunnarsdóttir 1981: Húshitunaráætlun. Orkustofnun, OS81021/JHD12, 81 s.

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

Ólafur G. Flóvenz & Sigmundur Einarsson 1980: Jarðhitarannsóknir á Glerárdal 1980. Orkustofnun ÓGF-SE.80/09, 9 s.

Ólafur G. Flóvenz, Bára Björgvinsdóttir, Sigmundur Einarsson & Hrefna Kristmannsdóttir 1981: Kristnes - Reykhús. Úttekt á hálftrar aldar árangurslítilli jarðhitaleit. Orkustofnun, OS81026/JHD15,

ABSTRACT IN ENGLISH

In the Eyjafjörður valley just south of Akureyri in north Iceland, hot springs are found at many places. In order to locate the most promising drilling sites for hot water, resistivity soundings with Schlumberger arrangement were carried out. The valley is V-shaped down to approximately 20 m above sea level. Below this level the bottom of the valley is covered with sediments which reach maximum thickness of approximately 150-200 meters in the center of the valley. Most of the hot springs are located close to the sediment-basement boundaries at 20 m altitude or higher.

The resistivity in the topmost 20-50 m of the sediments is of the order of 50-100 Ωm , but below top layer low resistivity, 2-5 Ωm , is found down to the basement. These are interpreted as high salinity sediments. These low resistivity sediments affect all resistivity soundings close to the bottom of the valley and make one-dimensional interpretation insufficient.

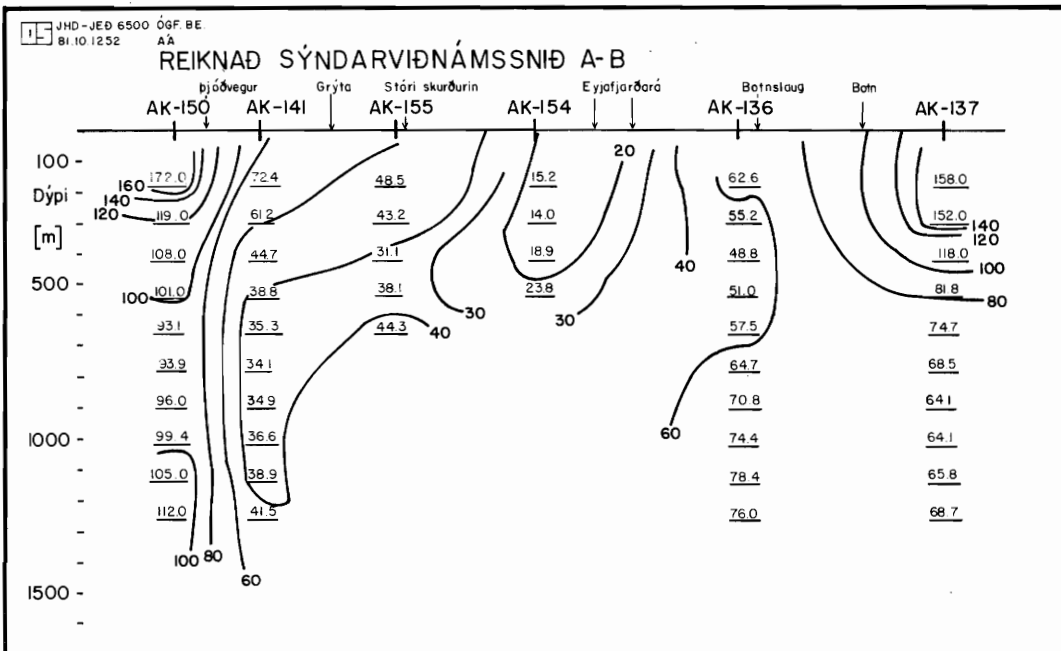
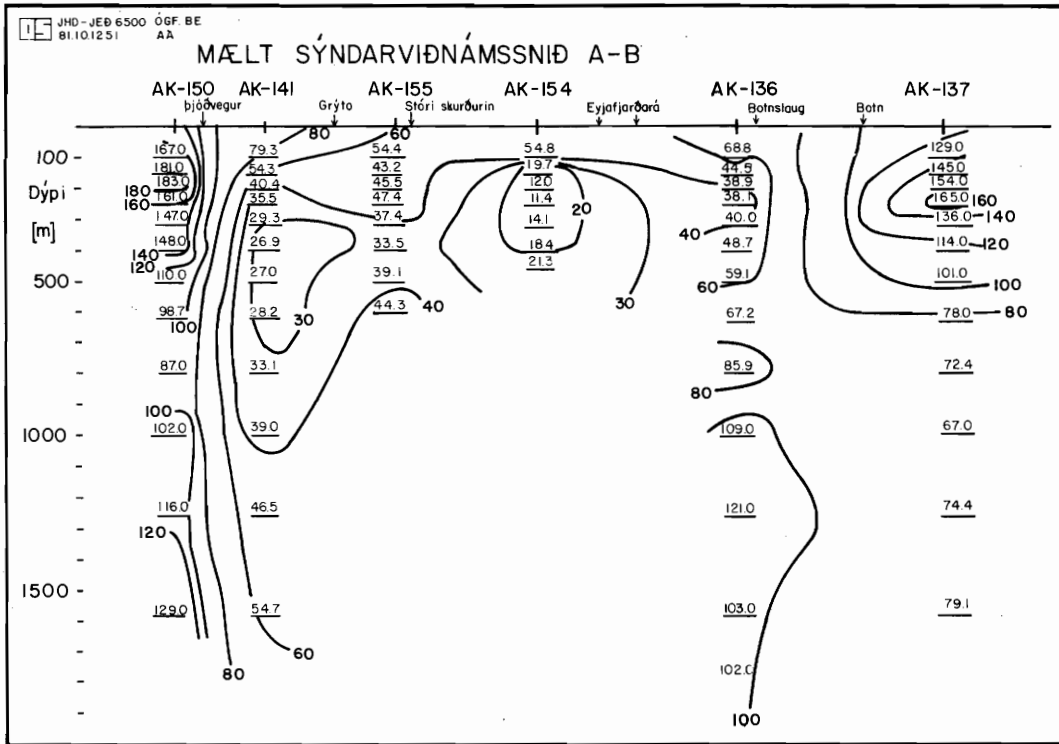
To solve this problem numbers of Schlumberger soundings were carried out in direction perpendicular to the valley. Where the current electrode crosses the boundaries between the low resistivity sediment and adjacent layers, which have much higher resistivity, a second order discontinuity in the apparent resistivity makes it possible to map the horizontal distribution of the low resistivity sediments. Thus the geometry of the low resistivity layers is mapped, and we are able to calculate the resistivity of the basement by two dimensional modeling. The results are shown in figures 7-8 as resistivity sections across the valley, and in fig. 9 as a map of the lowest resistivity values in the 300-800 m depth interval. The regional value of the resistivity at this depth is about 150-200 Ωm . At geothermal areas, resistivity as low as 20 Ωm is found.

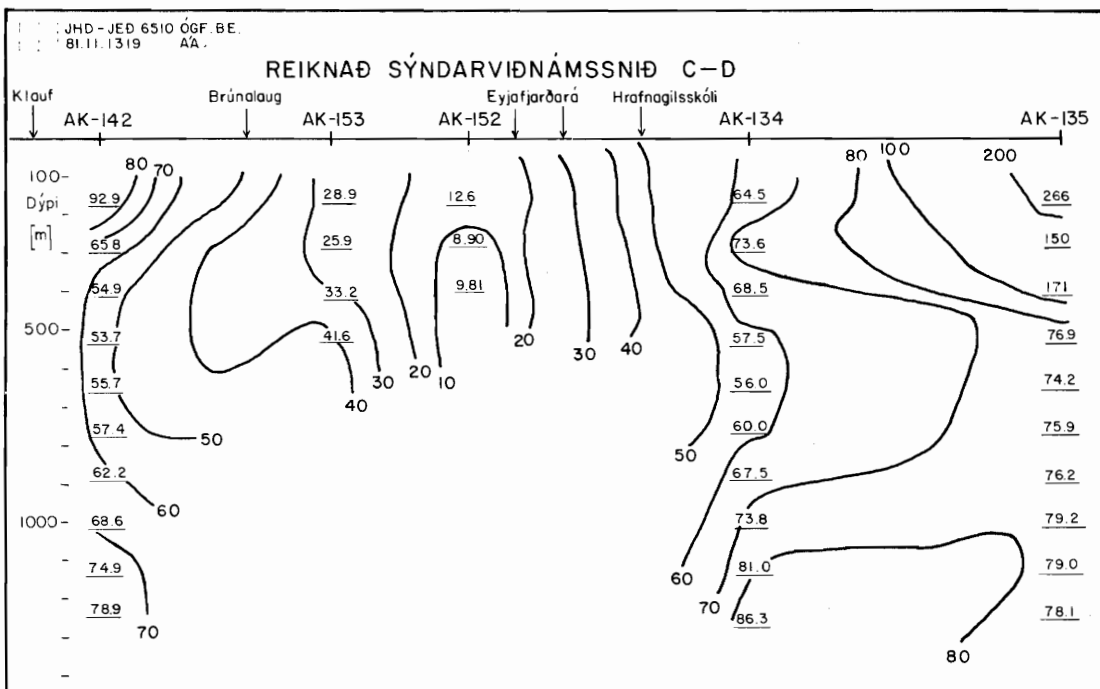
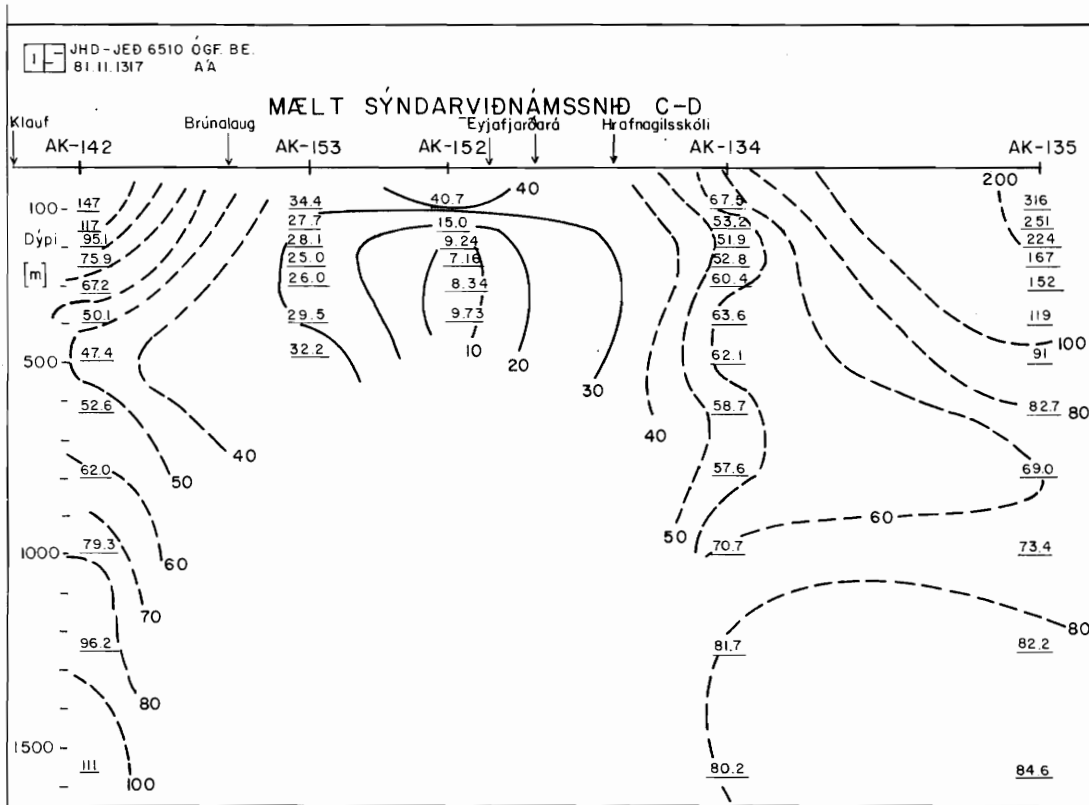
In basalt lava pile which has suffered moderate alteration, the resistivity depends primarily on the porosity but to a less extent on the temperature. This means that variation in resistivity can be regarded as variation in porosity. Studies of the relation between resistivity in utilized geothermal areas and the amount of hot water which can be pumped from wells in the same areas shows strong correlation between these two parameters. Using this correction together with available information about temperature in the geothermal systems, the resistivity data in Eyjafjörður is used to predict

the total power potential of each of the geothermal areas in Eyjafjörður. These power estimates are of course very inaccurate, but they can be used as a guide to decide which areas should first be investigated closer and drilled.

VIÐAUKI A

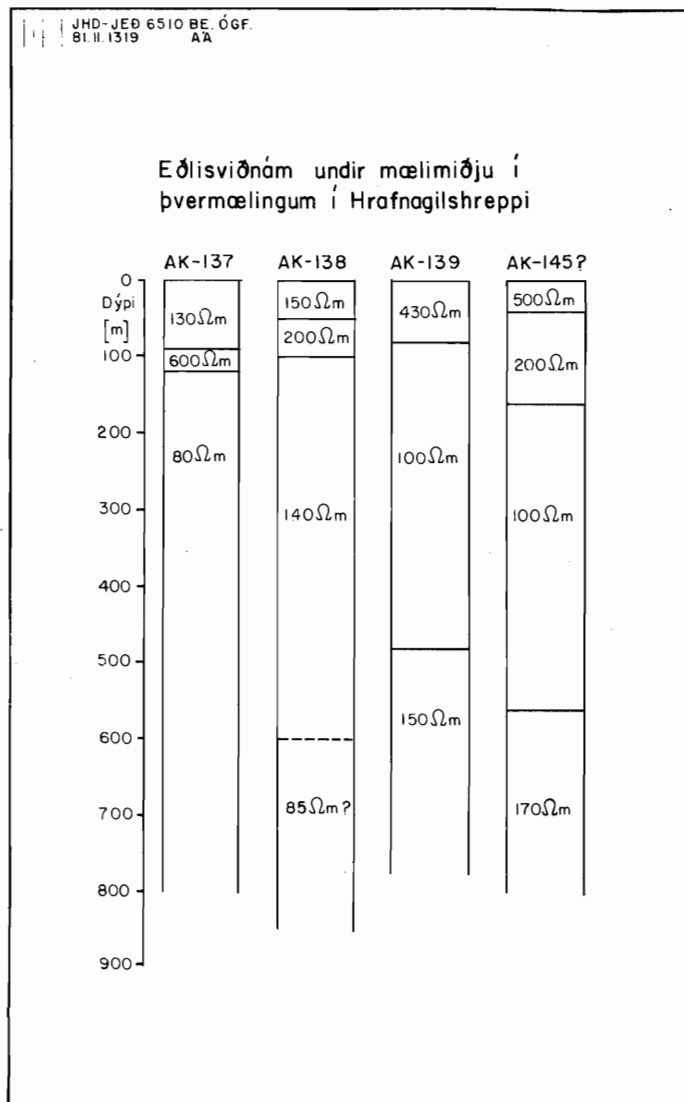
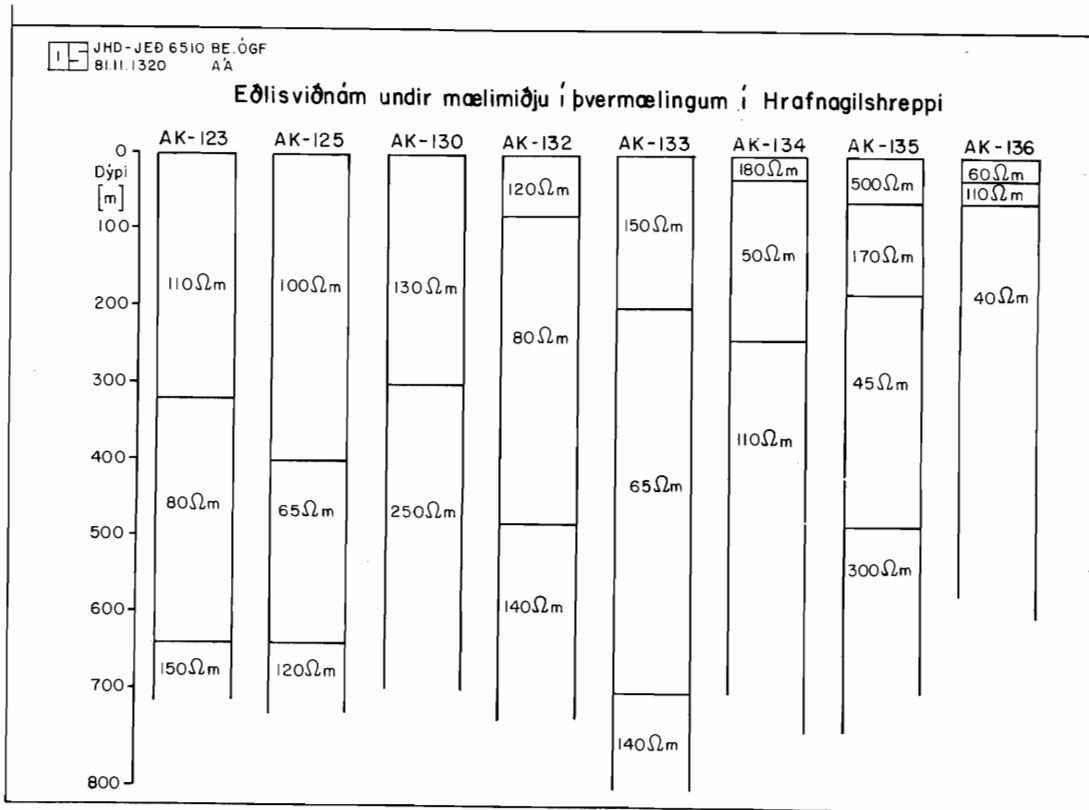
Mæld og reiknuð
sýndarviðnámssvið, tvívíð túlkun





VIÐAUKI B

Eðlisviðnám undir mælimiðju í þvermælingum
í Öngulstaða- og Hrafnagilshreppi samkvæmt
tvívíðri túlkun



ATHUGASEMDIR VIÐ TÚLKUN

Við Kristnes og Reykhús eru 4 mælingar sem liggja þvert á dalinn, AK-130, AK-123, AK-124 og AK-125. Af þeim hafa þrjár verið túlkaðar tvívítt. Í þessum þremur mælingum er ekkert áberandi lágviðnám eins og kemur fram við ýmsa jarðhitastaði í Eyjafirði. Mæling AK-130 við Reykhús er dálítið óregluleg í byrjun (þ.e. þar sem straumarmur er stuttur) og ekkert útbreitt lágviðnám er að finna undir mælimiðju. Undir mælimiðju AK-123 virðist vera 80 Ω m viðnám á 300-650 m dýpi. Þá má túlka AK-125 þannig að viðnám sé 65 Ω m milli 400 og 650 m dýpis. Sú túlkun er ekki einhlít þar sem hugsanlega eiga landslagsáhrif hér einhvern hlut að máli. Með samanburði AK-123 og AK-125 er þó ekki óeðlilegt að álíta að 80 Ω m viðnám sé undir mælimiðju þeirrar síðarnefndu. Þá er auðvelt að finna útmörk söltu setlaganna á þessum slóðum.

Á svæðinu Kroppur - Grísará eru 3 mælingar AK-132, AK-133 og AK-139. Af þeim er AK-139 nyrst og gefur nokkuð hátt viðnám undir miðju. Í þessari mælingu sjást áhrif landslags mjög vel. Mælingin liggur yfir sandgryfju skammt norðan Kropps. Á þeim stað í mælingunni fellur mælt sýndarviðnám mjög snögg og má rekja það til þess að háviðnáms yfirborðslög hverfa. Setið virðist hér koma inn í um 700 m fjarlægð frá mælimiðju. AK-132 og AK-133 eru neðan og ofan Grísarár. Í AK-133 virðist koma fram landslagsáhrif sem gefa lágt viðnám (ca. 60 Ω m) undir miðju. En þetta breytir þó ekki því að setið ákvaðst nokkuð vel. Í AK-132 er viðnámið undir miðju ákveðið um 80 Ω m en gæti átt að vera ívið lægra, hér ef aftur um að ræða möguleg landslagsáhrif, sem hækkar sýndarviðnámið. Útmörk söltu setlaganna eru hér nokkuð vel ákveðin. Af stökum mælingum er AK-145 næst þar fyrir sunnan. Erfitt er að túlka hana. Það er þó ljóst að viðnám er hátt undir mælimiðju. Mörk salta setsins virðist einnig mega ákvarða en þó er hér nokkur efi. Stuðningur er af því að ekki virðist mikið ósamræmi við sniðin sitt hvoru megin. Upp af sniðinu A-B er svo mæling AK-138, sem má skýra á tvo vegu, annars vegar með einum lóðréttum skilum í og 85 Ω m undir mælimiðju eða af landslagi. Brekkan niður að þjóðveginum getur gefið þetta merkilega fall í endann á sýndarviðnámsferlinum. Ef sú er raunin sýnir mælingin ekki lægra viðnám en 150 Ω m. Út frá fyrirliggjandi upplýsingum er ekki hægt að gera upp á milli þessara möguleika með öruggum hætti. Sunnan við þessar mælingar eru síðan AK-146, AK-147 og AK-148. Þær hafa ekki verið túlkaðar tvívítt enn sem komið er en í þeim er ekkert lágviðnám að sjá.

Að austan eru frá norðri til suðurs allmargar staðarmælingar. Nyrst er AK-65 við Öngulstaði. Hún er mjög vel nálgueð með 70 Ω m undir miðju og austurbrún söltu setanna í um 1100 m fjarlægð til vesturs. Neðan við Björk er AK-151, sem ekki hefur verið túlkuð tvívítt sakir þess hve flókin hún er. Að auki var hún mjög erfið í mælingu. Þó má nota hana til að áætla hvar söltu setlöggin eru. Næst sunnan við eru tvær mælingar AK-144 og AK-97. AK-144, sem er örlítið norðan bæjar á Ytri-Tjörnum er há eða um 100 Ω m undir miðju og söltu setlöggin koma fram í um 600 m fjarlægð. AK-97 er aftur á móti eilítið sunnan bæjar og snýr meira til suðurs. Hún er mun lægri en AK-144, en jafnframt erfiðari í túlkun sakir þess hve flókin hún er. Þó virðist mega fullyrða að söltu setlöggin komi fram í um 450 m fjarlægð frá miðju og undir henni sé lægst um 70 Ω m viðnám. AK-63 er svo neðan við Hól. Hún bendir ekki til lágviðnáms neðan yfirborðsлага og gefur söltu setlöggin í um það við 500 m frá mælimiðju. AK-143 er norðan Laugalands og er vel nálgueð með viðnámslíkaninu í viðauka B. Hún bendir til um 65 Ω m viðnáms undir mælimiðju og mörkum söltu setlaganna í 400 m fjarlægð frá mælimiðju. Næst er AK-96, sem er mæld á íþróttavellinum neðan Laugalands. Hún er skýrð með lágviðnáms seti í aðeins 120 m fjarlægð frá mælimiðju. Þetta gefur góða nálgun að mæligildum og lágt viðnám undir mælimiðju, um 20 Ω m sem þó nær aðeins niður á 250 m dýpi. Þar fyrir neðan er viðnám 100 Ω m. Við Klauf er svo mæling AK-61. Þessi mæling er ein af þeim erfiðari, því að mæligildið er lágt og ferillinn brotnar mjög snemma og síðan er lítill hlykkur í um 800 m, sem hér er túlkaður sem útmörk söltu setlaganna. Undir mælimiðju er svo túlkaðir 55 Ω m en það gæti verið of hátt. Síðasta mælingin sem reynt hefur verið að túlka tvívítt er AK-140 sem er sunnan Grýtu. Þessi mæling er mjög erfið viðureignar. Í öllu falli er ekki um lágviðnám undir mælimiðju að ræða, virðist eðlisviðnám þar vera um 150 Ω m. Söltu setin eru talin vera í um 500 m frá mælimiðju. Sunnar er svo mæling AK-149, við Munkaþverá. Hún sýnir mjög hátt viðnám og söltu setin koma illa fram.

VIÐAUKI C

Viðnámsmælingar við Akureyri. Mæliferlar
og einvið (lagskipt) túlkun þeirra.

