



ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

SVARTSENGI

Viðnámsmælingar
á utanverðum
Reykjanesskaga

Lúðvík S. Georgsson

OS79042/JHD20
Reykjavík, október 1979

Unnið fyrir
Hitaveitu Suðurnesja

SVARTSENGI

**Viðnámsmælingar
á utanverðum
Reykjanesskaga**

Lúðvík S. Georgsson

OS79042/JHD20

Reykjavík, október 1979

**Unnið fyrir
Hitaveitu Suðurnesja**

ÁGRIP

Í skýrslunni eru birtar niðurstöður rúmlega 150 Schlumberger-viðnámsmælinga á utanverðum Reykjaneskaga. Mælingarnar voru gerðar til að kanna útbreiðslu jarðhitasvæðanna í Svartsengi og í Eldvörpum og til að kanna þykkt ferskvatnslinsu sem flýtur þar ofan á jarðsjó.

Sýnt er fram á að samband er á milli eðlisviðnáms bergs annars vegar og hitastigs, seltu og vatnsinnihalds þess hins vegar og að viðnámsmælingar eru heppilegar til afmörkunar jarðhitasvæða á Reykjaneskaga. Út frá því m.a. er sett fram líkan viðnámslaga, sem mælingarnar eru túlkaðar eftir.

Mælingarnar eru túlkaðar alsjálfvirkt í tölvu með forritinu Circle2. Forritið túlkar mælingar með meira öryggi en áður hefur verið hægt og gefur mat á óvissu í túlkun.

Jarðhitasvæðið í Svartsengi er ílangt í norðaustur, þ.e., mótast af sprungustefnu á svæðinu. Stærð svæðisins sem er miðuð við 5 Ω viðnámslínuna vex með dýpi og er a.m.k. 5 km² á 200 m dýpi undir sjávarmáli og a.m.k. 7 km² á 600 m dýpi u.s. Að svo miklu leyti sem svæðið er þekkt er það innan þeirra marka, sem Hitaveita Suðurnesja á hitaréttindi á. Viðnámsmælingar skera ekki úr um hvort jarðhitasvæðið er umlukt þéttara bergi sem takmarki útbreiðslu jarðhitans.

Jarðhitasvæðið í Eldvörpum er a.m.k. 2 km² að stærð á 600 m u.s. en stækkar ört neðar. Jarðhitasvæðin eru tengd saman með vestlægu lágviðnámsbelti og mælingar benda til að beltíð haldi áfram austan Svartsengis. Þetta lágviðnámsbelti fellur allvel saman við skjálftabeltið á Reykjaneskaga. Lágviðnámsbeltið bendir til að varmauppstreymi sé samfelld í gosbeltinu á utanverðum skaganum. Þekkt jarðhitasvæði á utanverðum Reykjaneskaga eru þar sem skjálftabeltið er skorið af sigdal og/eða gígaröð. Einungis boranir geta skorðið úr um hvort nýtanlegur jarðvarmi er utan þessara svæða. Viðnámsmælingar benda loks til þess að minni háttar jarðhitasvæði leynist skammt suður af Snorrastaðatjörnum.

Útreikningar á ferskvatnslinsu benda til að þykkt hennar, þ.e. þykkt nothæfs ferskvatns, sé yfirleitt á bilinu 40-60 m og eðlisviðnámið 300-3000 Ω m, þar sem áhrifa gætir ei frá jarðhita. Á jarðhitasvæðum (lágviðnámsvæðum) eða nærri þeim er þykktin mun minni, gjarnan um eða innan við 25 m. Í stöku mælingum miðsvæðis á jarðhitasvæðunum sést engin ferskvatnslinsa.

EFNISYFIRLIT

Bls.

ÁGRIP	3
EFNISYFIRLIT	5
MYNDASKRÁ	7
1 INNGANGUR	9
2 ÁGRIP AF JARÐFRÆÐI REYKJANESSKAGA	13
3 ABSTÆÐUR TIL VIÐNÁMSMÆLINGA	14
4 FRAMKVÆMD MÆLINGANNA	15
5 ÚRVINNSLA VIÐNÁMSMÆLINGANNA	17
5.1 Áhrif hitastigs, seltu og vatnsinnihalds á eðlisviðnám bergs	17
5.2 Viðnámslög og jarðlög	21
5.3 Túlkun viðnámsmælinganna	23
5.4 Óvissa í túlkun	26
6 Niðurstöður	29
6.1 Lágviðnámssvæði	29
6.2 Ferskvatnslinsa	31
6.3 Stærð jarðhitasvæða	33
6.4 Jarðhiti, lágviðnám og gosbeltið	35
7 FRAMHALD RANNSÓKNA	37
HEIMILDASKRÁ	39
ABSTRACT IN ENGLISH	43
MYNDIR	45
VIÐAUKI A Eðli og upplýsingagildi viðnámsmælinga	63
VIÐAUKI B Staðsetning og túlkun viðnámsmælinganna	67
VIÐAUKI C Viðnámsmæliferlar	75
VIÐAUKI D Dæmi um tölvuútskrift á túlkun mælingar	89

MYNDASKRÁ

	Bls.
1 Lega viðnámsmælinga og -sniða	47
2 Eðlisviðnám á 200 m dýpi undir sjávarmáli	48
3 " " 400 " " " "	49
4 " " 600 " " " "	50
5 " " 800 " " " "	51
6 " "1000 " " " "	52
7 Viðnámssnið A-A'	53
8 " B-B'	54
9 " C-C'	55
10 " D-D'	56
11 Þykkt ferskvatnslinsu	57
12 Eðlisviðnám í ferskvatnslinsu	58
13 Ferskvatnslinsa	59
14 Einfaldað snið af jarðlögum og ferskvatnslinsu	60
15 Lágviðnámssvæði og gosbeltið	61

1 INNGANGUR

Með viðnámsmælingum er mælt eðlisviðnám í bergi en það er háð gerð bergsins, vatnsinnihaldi, hitastigi og seltu jarðvatnsins. Mælingarnar gefa einkum til kynna lárétt vatnsleiðandi jarðlög, en við hagstæðar aðstæður má finna ganga og sprungur. Viðnámsmælingar veita upplýsingar um hve víðáttumikil einstök jarðhitasvæði eru, og í þeim tilgangi hefur mælingunum aðallega verið beitt við rannsóknir á háhitasvæðum í gosbeltum landsins. Í viðauka A er fjallað lauslega um upplýsingagildi viðnámsmælinga og mæliaðferðir.

Langt er síðan vitað var um jarðhita norðan undir Þorbirni við Grindavík, en lítið var vitað um eðli hans þar sem aðeins var um að ræða gufur í hrauni en vatn sást ei. Jarðhitasvæðið hefur verið kennt við Svartsengi en það er grastó norðan undir Svartsengisfelli. Þegar áhugi vaknaði á nýtingu þessa jarðhita voru viðnámsmælingar einn af þeim rannsóknarpáttum, sem talið var ráðlegt að framkvæma áður en til borana kæmi, enda höfðu þær gefið mikilsverðar upplýsingar á ýmsum öðrum jarðhitasvæðum. Fyrstu viðnámsmælingarnar í nágrenni Grindavíkur voru gerðar sumarið 1952 en árangur af þeim varð enginn.

Vorið 1969 fór hreppsnefnd Grindavíkurhrepps fram á við Jarðhitadeild Orkustofnunar að veitt yrði aðstoð við jarðhitaleit fyrir íbúa hreppsins. Þá um sumarið voru gerðar nokkrar viðnámsmælingar. Notuð voru riðstraumstæki og Schlumberger-uppröðun rafskauta. Slíkri uppröðun hefur verið haldið æ síðan. Um haustið voru reynd ný "jafnstraums"tæki á svæðinu og leiddu þau í ljós að djúpvíðnám á Reykjanesskaga er mjög lágt og að niðurstöður mælinga með riðstraumstækjum eru ekki marktækar við þær aðstæður sem eru þar. Sumrin 1970 og 1971 voru gerðar nokkrar mælingar í viðbót. Túlkun þessara mælinga var erfið þar sem aðstæður til viðnámsmælinga á Reykjanesskaga eru nánast eins óhagstæðar og mögulegt er. Á grundvelli þeirra og jarðfræðilegrar vitneskju um jarðhitasvæðið var mælt með að borað yrði við Þorbjörn. Góðar líkur voru taldar á jákvæðum árangri, sérstaklega ef borað yrði norðan við fjallið. Veturinn 1971-1972 voru boraðar tvær holur, önnur 240 m djúp en hin 400 m. Þessar boranir leiddu í ljós að við Svartsengi er háhitasvæði og að heita vatnið er verulega salt. Kom þetta vel heim við það sem búist var við af niðurstöðum viðnámsmælinganna.

Vorið 1973, þegar lokið var frumhönnun varmaveitu frá Svartsengi til þéttbýlis á Suðurnesjum, var sýnt að framkvæma þyrfti frekari boranir við Svartsengi bæði eftir köldu og heitu vatni. Vegna þess var sumarið 1973 ráðist í allvíðtækar viðnámsmælingar. Tilgangurinn var annars vegar að reyna að ákvarða stærð jarðhitasvæðisins en hins vegar að kanna ferskvatn norður af Svartsengi. Mjög lausleg úrvinnsla allra viðnámsmælinganna var birt í skýrslu Jarðhitadeildar: "Svartsengi. Rannsókn jarðhitasvæðisins og vinnslutækni" (Karl Ragnars og Stefán Arnórsson 1974). Þar kemur fram að við Svartsengi er svæði með mjög lágu viðnámi ($\leq 5\Omega\text{m}$) og er stærð þess á 300 m dýpi út frá því metin 4 km^2 .

Tvær holur til viðbótar voru boraðar sumarið 1974, hola 4 sem er 1715 m djúp og hola 5 sem er 1500 m djúp. Borun þessara hola staðfesti að jarðhitasvæðið í Svartsengi gæti staðið undir varmaveitu til þéttbýlisstaða á Suðurnesjum. Sama sumar var enn bætt við fáeinum viðnámsmælingum til frekari ákvörðunar á stærð jarðhitasvæðisins.

Í skýrslu Jarðhitadeildar um stöðu rannsókna á svæðinu vorið 1975: "Rannsókn á jarðhitasvæðinu í Svartsengi" (Stefán Arnórsson og fl. 1975) var birt viðnámskort sem sýnir þáverandi vitneskju um eðlisviðnám á 300 m dýpi. Reynt var að draga 5 og 10 Ωm jafnviðnámslínur á myndinni, þó að lega þeirra væri engan veginn ljós. Út frá 5 Ωm línunni var stærð jarðhitasvæðisins metin um 4 km^2 á 300 m dýpi. Þegar mál landeigenda í Svartsengi og Hitaveitu Suðurnesja um bætur fyrir jarðhitaréttindi var lagt fyrir gerðardóm sumarið 1975 var lögð fyrir dóminn greinargerð frá Jarðhitadeild Orkustofnunar um stærð jarðhitasvæðisins í Svartsengi (Stefán Arnórsson 1975). Þar er ofangreint viðnámskort lagt til grundvallar mati á stærð jarðhitasvæðisins. Í greinargerðinni stendur m.a.: "Samkvæmt viðnámsmælingum, sem Orkustofnun hefur gert í Svartsengi, er stærð jarðhitasvæðisins um 4 km^2 og er þá miðað við 300 m dýpi", og "ekki má túlka ytri mörk á afmarkaða svæðinu á meðfylgjandi mynd á þann veg að þar sé vel afmarkaður jaðar jarðhitasvæðisins" og loks "Meðan aðrar og áreiðanlegri upplýsingar liggja ekki fyrir, þykir rétt að miða við að stærð jarðhitasvæðisins í Svartsengi sé sú sem sýnd er á meðfylgjandi mynd (F-12954)". Í gerðardómi (1976) segir hins vegar: "Í málinu er gengið út frá því, að Hitaveita Suðurnesja fái allan jarðhita í jörðu innan 10 Ωm viðnámslínunnar, sem dregin er inn á uppdrátt Orkustofnunar nr. 12954 á fskj. nr. 26 og 53, og innan línu, sem

dregin er í framhaldi af nefndri 10 Ω m línu að landamerkjum, þegar 10 Ω m línunni sleppir á nefndum uppdráttum. Samkvæmt lauslegum mælingum er hér um að ræða jarðhita á 21 km² svæði. Rannsóknir þær, sem fyrir liggja, benda eindregið til þess, að í náinni framtíð verði aðeins um að ræða hagnýtingu jarðhita á sjálfu aðalhitasvæðinu, innan 5 Ω m viðnámslínunnar, sem er um 4 km² að stærð, og samkvæmt þeim upplýsingum, sem fyrir liggja og sönnunaraðstöðu í máli þessu, ber að miða við, að standi undir allt að 150 MW jarðvarmavirkjun í þarfir hitaveitu. Verður naumast gert ráð fyrir verulegri sjálfstæðri nýtingu jarðhita á svæðinu milli 10 og 5 Ω m línanna í náinni framtíð. Þykir því rétt að meta verðmæti jarðhitans á síðastgreindu svæði fyrst og fremst á þeim grundvelli, að með öflun þeirra sé tryggð öruggari og varanlegri nýting jarðhita á aðalhitasvæðinu, þar sem virkjun er nú fyrirhuguð. Taka ber þó einnig tillit til þess, að ástæða er til að vænta viðbótarmagns heits vatns á svæðinu utan aðalhitasvæðisins á grundvelli frekari rannsókna".

Meðan umræður fóru fram milli Hitaveitu Suðurnesja og landeigenda Svartsengis og óljóst var hvort samningar tækjust óskaði Hitaveita Suðurnesja þess vorið 1975 að Jarðhitadeild Orkustofnunar léti fara fram rannsókn á jarðhita í Eldvörpum. Þessi rannsókn var framkvæmd í júní og júlí 1975 og voru gerðar tæplega 30 viðnámsmælingar (í Eldvörpum). Við fullnaðarvinnslu þessara mælinga þótti rétt að láta úrvinnsluna einnig ná til þeirra mælinga, sem áður höfðu verið gerðar í Svartsengi og nágrenni þess. Ástæðurnar voru tvær. Annars vegar hugsanleg tengsl jarðhitasvæðanna og hins vegar að ekki hafði áður verið fjallað ítarlega um viðnámsmælingar í Svartsengi. Niðurstöður voru birtar í skýrslunni "Rafleiðnimælingar (viðnámsmælingar) í Eldvörpum og Svartsengi" (Valgarður Stefánsson o.fl. 1976). Samkvæmt þeirri skýrslu er stærð jarðhitasvæðisins í Svartsengi svipuð og áður var talið en tekið fram að mörk svæðisins séu óþekkt bæði í suðvestri og norðaustri. Þá kemur einnig fram að í Eldvörpum eru allstór lágviðnámsvæði. Það studdi hugmyndir um að þar væri háhitasvæði. Loks voru þar einnig birtar niðurstöður um þykkt ferskvatnslinsunnar út frá viðnámsmælingum sem síðari athuganir hafa staðfest að verulegu leyti. Af niðurstöðum skýrslunnar er ljóst að meira var vitað um eðlisviðnám bergs í Eldvörpum en á Svartsengissvæðinu. Ástæðan var sú að miklar framfarir urðu í mælitækni á árunum 1974 og 1975 svo að mælingar á Eldvarpasvæðinu gáfu upplýsingar um eðlisviðnám á meira dýpi en eldri mælingar.

Auk þess var mælt þéttar í Eldvörpum. Í skýrslunni var lagt til að frekari mælingar yrðu gerðar á Svartsengissvæðinu, enda væri heitavatns-
vinnsla að hefjast og því eðlilegt að það svæði væri kannað eins vel og
Eldvörpin.

Á miðju ári 1976 fól Jarðhitadeild Orkustofnunar Straumfræðistöð Orku-
stofnunar að kanna ýmis atriði varðandi jarðhitasvæðið í Svartsengi, m.a.
möguleika á útreikningum á vinnslugetu svæðisins. Í framhaldi af því kom
fram að æskilegt væri að fá betri upplýsingar um mörk háhitasvæðisins.
Með þetta í huga var ákveðið að gera frekari viðnámsmælingar í Svartsengi.
Þessar mælingar voru gerðar sumarið 1977, og urðu þær 15 talsins.

Bráðabirgðaúrvinnsla mælinganna lá fyrir næsta vetur en fullnaðarúrvinnsla
hófst ekki fyrr en haustið 1978. Þá opnuðust nýir möguleikar í túlkun
viðnámsmælinga, er Jarðhitadeild eignaðist gott forrit að sjálfvirkri
tölvutúlkun viðnámsmælinga. Segja má að þetta forrit hafi valdið bylt-
ingu í túlkun viðnámsmælinga á Reykjanesskaga og annars staðar þar sem mæli-
aðstæður eru erfiðar en viðnámslög lárétt. Eins og fram kemur í fyrri skýrslum
um svæðið er handtúlkun mælinga erfið og mun ónákvæmari en tölvuvinnsla.
Afleiðingin var sú að nauðsynlegt var að vinna eldri mælingar að nýju svo
að samræmi yrði í túlkun þeirra og nýju mælinganna. Þá voru mælingar
Jarðkönnunardeildar einnig skoðaðar og kannað hvort þar væri ekki að finna
frekari upplýsingar um háhitasvæðið. Við þetta margfaldaðist sú vinna sem
leggja þurfti í úrvinnsluna og því hefur verkið dregist lengur en æskilegt
hefði verið.

Úrvinnsla náði ekki til þeirra mælinga sem voru gerðar árið 1970 við háhita-
svæðið á Reykjanesi. Ástæðan var aðallega sú að þær eru fyrstu jafnstraums-
viðnámsmælingarnar héraendis og síðri að gæðum en seinni mælingar. Þá
var fáeinum mælingum á Rosmhvalanesi sleppt.

2 ÁGRIP AF JARÐFRÆÐI REYKJANESSKAGA

Jarðfræði utanverðs Reykjanesskaga er vel þekkt (Jón Jónsson 1963, 1970; Freyr Þórarinsson o.fl. 1976; Sveinn Jakobsson o.fl. 1978) og nýlega kom út nákvæmt jarðfræðikort af öllum skaganum (Jón Jónsson 1978).

Jarðmyndanir á Reykjanesskaga eru jarðsögulega mjög ungar, þ.e. frá nútíma eða ísöld. Nútímahraun þekja mestallt láglandið og eru það ýmist dyngjuhraun eða sprunguhraun. Upp úr flatlendinu rísa móbergsfjöll eða -hryggir og ungar eldstöðvar. Eldvirkni hefur því verið mikil þó að hlé hafi verið á henni síðustu aldirnar. Svipaðar jarðmyndanir koma fram í borholum á utanverðum skagaum. Þar skiptast á hraunlagasyrpur og móbergssyrpur auk sjávarsetlaga.

Á skaganum eru nokkur háhitasvæði en engin lághitasvæði. Á honum utanverðum eru háhitasvæði í Svartsengi, í Eldvörpum og á Reykjanesi.

Á Íslandi er eldvirkni bundin við gosbeltin, mjó belti eða ræmur sem liggja þvert yfir landið. Innan þessara belta eru öll háhitasvæði landsins. Reykjanesskagi er syðsti hlutinn af vestara gosbeltinu á Suðurlandi. Hann er enn fremur í beinu framhaldi af Mið-Atlantshafsneðansjávarhryggnum, sem er eldvirkni- og jarðskjálftabelti og liggur eftir endilöngu Atlantshafi. Mikil skjálftavirkni er á Reykjanesskaga og eiga flestir skjálftanna upptök sín á 2-3 km breiðu belti sem stefnir um N70°A og liggur eftir endilöngum skaganum (F.W. Klein o.fl. 1977; Sveinbjörn Björnsson, óbirt staðsetningarkort jarðskjálfta á Reykjanesskaga.)

Gosbeltunum á Íslandi er hægt að skipta upp í einstaka sprungusveima sem flestir tengjast svokölluðum megineldstöðvum, og er eldvirknin aðallega innan sprungusveimanna (Kristján Sæmundsson 1971). Eiginlegar megineldstöðvar er þó vart hægt að tala um á ytri hluta skagans en eldvirkni er bundin nokkrum aðskildum sprungusveimum. Háhitasvæðin tengjast þessum sprungusveimum. Skipting í sprungusveima er ekki alveg ljós vestast, en venjulega er talað um 4-5 sprungusveima á skaganum sem raða sér skástígt (með norðaustlæga sprungustefnu) á gosbeltið. Þeir eru taldir frá austri: Hengilssprungusveimurinn, Brennisteinsfjallasprungusveimurinn (einnig kenndur við Bláfjöll), Grindavíkursprungusveimurinn og Reykjanessprungusveimurinn. Svæðið, sem hér er fjallað um, nær yfir tvo vestustu sveimana. Skilin milli þeirra eru þó eins og áður getur óljós (Sveinn Jakobsson o.fl. 1978; Kristján Sæmundsson 1978).

3 AÐSTÆÐUR TIL VIÐNÁMSMÆLINGA.

Á utanverðum Reykjaneskaga eru aðstæður til viðnámsmælinga nánast eins óhagstæðar og orðið getur. Hjálpast þar margt að. Landið er ógreiðfært og gróðursnautt. Yfirborðsviðnám er mjög hátt en óreglulegt. Hátt yfirborðsviðnám veldur erfiðleikum við að senda út nægan rafstraum og þar af leiðir að spennumerkið, sem mæla skal, verður mjög lítið. Óregla í yfirborðsviðnáminu veldur því hins vegar að við útfærslu spennuskauta, en það er nauðsynlegt í viðnámsmælingum til að fá stærra spennumerki, slitnar mæliferillinn eða hliðrast nokkuð til. Í skýrslu Jarðkönnunardeildar Orkustofnunar OS79017/JKD04, "Viðnámsmælingar á Reykjnesskaga vegna ferskvatnsöflunar Hitaveitu Suðurnesja" (Kristján Ágústsson og Freyr Þórarinsson 1979) er fjallað ýtarlega um mæliaðstæður eftir jarðfræðilegri flokkun yfirborðslaga og má heimfæra það á mælingarnar sem hér er fjallað um. Þó skal tekið fram að ákvörðun ferskvatnslagsins með viðnámsmælingum er mun viðkvæmari fyrir yfirborðsóreglum heldur en djúpvatnsviðnámið. Eitt er þó hagstætt og það er að viðnámslögin eru lárétt.

4 FRAMKVÆMD VIÐNÁMSMÆLINGANNA

Sumrin 1969-1974 voru mældar um 55 Schlumberger - mælingar í nágrenni Svartsengis (G1 - G30, S1 - S17). Þessar mælingar voru mjög mislangar eða með straumarmi á bilinu 250-1000 m. Þær eru og mjög misjafnar að gæðum. Allnokkrar eru ónýtar vegna truflana frá símakapli en aðrar vegna tækjabilunar. Sumarið 1975 voru svo mældar 27 mælingar í Eldvörpum með 1000-1500 m löngum straumarmi (E1 - E29). Við úrvinnslu nú hafa allar þessar mælingar verið skoðaðar og valdar úr þær, sem gagn er talið að, en öðrum er sleppt. Út úr því komu 56 nothæfar mælingar. Til hagræðingar við gagnavarðveislu og tölvuúrvinnslu hefur verið tekið upp nýtt nafnakerfi á þessum mælingum og er það notað í skýrslunni. Mælingarnar hafa allar fengið einkennisstafina SE og kallast því ofangreindar mælingar SE1 - SE56 og ræðst númeraröðin af aldri.

Sumarið 1977 voru gerðar 15 mælingar í viðbót til að fá betri og meiri upplýsingar um mörk háhitasvæðisins í Svartsengi (SE57 - SE71). Mælingarnar eru með 1000-1500 m löngum straumarmi. Þessar mælingar eru undantekningalítið í hópi bestu mælinga á svæðinu, enda hafði mælitækni enn fleygt fram frá því að mælt var í Eldvörpum. Helstu nýjungar voru þær að spennuaflestra mátti lesa sjálfvirkt inn á litla vasatölvu svo að nú var hægt að reikna meðaltöl af mjög mörgum aflestrum á einfaldan og fljótvirkan hátt. Þá höfðu og verið smíðaðir nýir straumsendar með stafrænum aflestri. Þessi tæki, sem voru hönnuð og smíðuð á Rafeindastofu Jarðhitadeildar, reyndust vel. Segja má að niðurstöðurnar hafi verið ótrúlega góðar, sérstaklega ef tekið er tillit til þess að mælingarnar eru flestar í Illahrauni, sem er ákaflega illt yfirferðar og að sama skapi er torvelt að mæla þar.

Loks voru allar mælingar, sem Jarðkönnunardeild gerði á svæðinu á árunum 1976-1978, alls rúmlega 100 mælingar, skoðaðar. Af þeim reyndust um 26 gefa marktækar niðurstöður um djúpviðnám. Þegar farið var að skoða fyrstu niðurstöður tölvutúlkunarinnar kom í ljós að þær voru sums staðar allfrábrugðnar niðurstöðum Jarðkönnunardeildar um þykkt og viðnám ferskvatnslinsunnar. Athyglisverðast var að á stórum svæðum var linsan þunn eða kom alls ekki fram í viðnámsmælingunum, einkum á eða nærri jarðhitasvæðum. Þetta kemur ekki fram í niðurstöðum Jarðkönnunardeildar enda beindist athugunin lítt að jarðhitasvæðunum. Í ljósi þess var ákveðið að láta úrvinnsluna ná til allra mælinga Jarðkönnunardeildar á svæðinu, sem túlkanlegar væru. Það reyndust vera 81 mæling. Þessar mælingar hafa hér fengið einkennisstafina RJK, en halda númerunum.

Staðsetning allra mælinganna er sýnd á mynd 1. Nákvæm staðsetning þeirra er ennfremur gefin í töflu 1 í viðauka B. Notuð eru Mercatorhnitin á bandarísku AMS-kortunum í mælikvarða 1:50.000. Til að auðvelda samanburð við eldri skýrslur eru eldri nöfn mælinga einnig birt í töflunni.

5 ÚRVINNSLA VIÐNÁMSMÆLINGANNA

Í þessum kafla verður fyrst fjallað um áhrif hitastigs, seltu og vatnsinnihalds á eðlisviðnám bergs. Þá verður rætt um það líkan viðnámslaga sem túlkun viðnámsmælinga á Reykjanesskaga byggir á og tengsl þess við raunveruleg jarðlög. Þá er tekin fyrir túlkun mælinganna og tölvuforritið, sem notað er við túlkun. Loks er fjallað um óvissu í túlkun. Lestur tveggja síðarnefndu kaflanna er ekki nauðsynlegur til skilnings á því sem á eftir kemur.

5.1 Áhrif hitastigs, seltu og vatnsinnihalds á eðlisviðnám bergs

Eðlisviðnám bergs er einkum háð gerð bergsins, vatnsinnihaldi, hitastigi og seltu. Í inngangi kemur fram að ákveðin hefð er fyrir notkun 5 Ω jafnvíðnámslínunnar til mats á stærð jarðhitasvæðisins í Svartengis. Hér á eftir verður leitast við að skýra betur tengsl eðlisviðnáms og þeirra breytistærða, sem hafa áhrif á það, og út frá því verður rætt um hvaða upplýsingar 5 Ω jafnvíðnámslínan gefur.

Gerð jarðlaga, þ.e. einstök jarðlög eða jarðlagasyrpur, virðist ekki hafa mikil áhrif á viðnámsmælingar á utanverðum Reykjanesskaga neðan við ferskvatnslinsu, enda eru jarðlögin yfirleitt lek og selta og hitastig ríkjandi áhrifavaldar á djúpviðnám. Þá er það eðli mæliaðferðarinnar að jarðlagasyrpur þurfa að vera álíka þykkar eða þykkari en allur staflinn ofan þeirra auk þess að vera frábrugðnar honum, til þess að þær komi skýrt fram sem sérstök viðnámslög.

Miklar rannsóknir hafa verið gerðar til að kanna sambandið milli eðlisviðnáms bergs, sem er mettað af vökva, og vatnsinnihalds, seltu og hitastigs. Þessar rannsóknir hafa ekki leitt til algildrar reglu eða lögmáls enda er vandamálið of fjölbætt og of margar breytistærðir óþekktar til að slíkt megi takast. Út frá tilraunum hefur þó tekist að finna aðlögunarreglur (aðlögunar = empirical á ensku), sem hafa gildi innan ákveðinna marka.

Í bók Kellers og Frischknechts (1966) er eftirfarandi regla gefin, og er hún þekkt undir nafninu lögmál Archies:

$$\rho = a \cdot \rho_v \cdot n^{-m} \quad (1)$$

og er ρ = eðlisviðnám bergs, sem er mettað af vökva (Ωm)

ρ_v = eðlisviðnám (~selta) vökvans í berginu (Ωm)

n = poruhluti bergsins, þ.e. rúmmál holrýmis, sem hlutfall af heildarrúmmáli

a = aðlögunarstuðull, sem hefur gjarnan gildi nálægt 1,0

m = aðlögunarstuðull, sem hefur gjarnan gildi nálægt 2,0

Notkunargildi formúlunnar er matsatriði, en er mest háð réttu gildi á ρ_v . Nákvæm gildi staðlanna a og m skipta minna máli. Hér verða notuð gildin $a = 1$ og $m = 2$, og eru þau valin úr töflu með tilliti til jarðlaga á Reykjaneskaga. Samkvæmt Duba og fl. (1978) gildir lögmál Archies, ef eðlisviðnám vökvans í berginu er nálægt 1 Ωm eða lægra, og er jarðsjór á Reykjaneskaga vel innan þeirra marka.

Um samband eðlisviðnáms og hitastigs er eftirfarandi regla gefin í bók Kellers og Frischknechts (1966) og gildir hún m.a. fyrir salt vatn, eða berg mettað af því:

$$\rho_v = \frac{\rho_{v_0}}{1 + \alpha (T - T_0)} \quad (2)$$

og er T = hitastig ($^{\circ}C$)

T_0 = viðmiðunarhitastig ($^{\circ}C$)

ρ_{v_0} = eðlisviðnám vökvans (bergsins) við hitastigið T_0 (Ωm)

ρ_v = eðlisviðnám vökvans (bergsins) við hitastigið T (Ωm)

α = hitastigsstuðull, sem hefur gildið 0,025 $1/^{\circ}C$ fyrir salt vatn

Samkvæmt bókinni virðist formúlan gilda upp í a.m.k. 150-200 $^{\circ}C$.

Saman gefa (1) og (2)

$$\rho = \frac{\rho_{v_0}}{(1 + 0,025(T-T_0))n^2} \quad (3)$$

Með þessari formúlu getum við fengið gróft mat á hvort munur í eðlisviðnámi bergs inni á og utan jarðhitasvæða endurspeglar raunverulegan hitastigsmun. Og það verður að segjast að aðstæður á Reykjanes-

skaga eru óvenju hagstæðar fyrir þessa útreikninga, þar sem allar stærðir eru að meira og minna leyti vel þekktar. Þó verður að gera ráð fyrir að poruhluti bergs sé svipaður innan og utan jarðhitasvæða.

Jarðhitasvæðið í Svartsengi

$$\rho \approx 3,5 \Omega\text{m} \quad (\text{meðaltal viðnámsmælinga SE3, 64, 67 og 69})$$

$$\rho_{V_0} = 0,3 \Omega\text{m} \quad (\text{samsvarar } 2/3 \text{ af seltu sjávar (Ragna Karlsdóttir 1975)})$$

$$T = 240^\circ\text{C} \quad (\text{hiti í jarðhitakerfinu})$$

$$T_0 = 20^\circ\text{C}$$

Þessar tölur gefa samkvæmt (3) poruhluta $n = 0,115$. Í skýrslu Karls Ragnars og Stefáns Arnórssonar (1974) um Svartsengi er giskað á að poruhluti bergs í Svartsengi sé um 15% og er þar stuðst við mælingar á kjörnum úr borholum á Reykjanesi og Krísuvíkursvæði. Í greinargerð Stefáns Arnórssonar (1975), sem lögð var fyrir gerðardóm árið 1975, er hins vegar notað gildið 10%. Útreiknað gildi er á milli þessara gilda, og má því teljast marktækt sem gróft meðaltal fyrir poruhluta djúpbergs í Svartsengi.

Kaldur jarðsjór

Á utanverðum Reykjaneskaga er ein djúp hola utan jarðhitasvæða, hola 2 á Njarðvíkurheiði, sem er 493 m djúp. Djúpsýni úr þessari holu hafa leitt í ljós að efnasamsetning og eðlisviðnám kalds jarðsjávar eru mjög svipuð ferskum sjó. Hér fáum við því:

$$\rho \approx 10 \Omega\text{m} \quad (\text{lauslegt meðaltal viðnámsmælinga fjarri jarðhita})$$

$$\rho_{V_0} = 0,2 \Omega\text{m} \text{ við } 20^\circ\text{C} \quad (\text{Sveinbjörn Björnsson og fl. 1971; Ragna Karlsdóttir 1975})$$

$$T_0 = 20^\circ\text{C}$$

$$n = 0,115 \quad (\text{þ.e. gert er ráð fyrir sama poruhluta og í Svartsengi})$$

Þessar tölur gefa samkvæmt (3) hitastigið $T \approx 40^\circ\text{C}$. Þess má geta að aðlögunarstuðlarnir í lögmáli Archies hafa ekki áhrif á niðurstöðurnar. Hitamælingar í holunni á Njarðvíkurheiði sýna að hitastigið er tæpar 30°C á bilinu 200–400 m en vex hratt þar fyrir neðan og er 46°C í botni.

Ef tekið er tillit til þess að útreikningað gildi á hitastigi er aðeins gróft mat á meðalhitastigi kalds jarðsjávar, þá er samræmi furðu gott.

5 Ω m jafnviðnámslínan

Út frá ofangreindu má álykta að viðnámsmælingar gefi upplýsingar um hita-
ástand bergsins og séu því heppilegar til að afmarka stærð jarðhitasvæðisins.
Hvaða upplýsingar gefur þá 5 Ω m jafnviðnámslínan um hitastig út frá sömu
forsendum?

$$\rho \approx 5\Omega\text{m}$$

$$\rho_{\text{v}_0} \approx 0,3 \Omega\text{m} \text{ (sbr. Svartsengi)}$$

$$T_0 = 20^\circ\text{C}$$

$$n = 0,115$$

Þessar tölur gefa samkvæmt (3) $T = 163^\circ\text{C}$.

Samkvæmt þessu má segja að innan 5 Ω m jafnviðnámslínunnar umhverfis Svarts-
engi sé hitastig hærra en 150°C og því er engin ástæða til að hverfa frá
notkun hennar við mat á stærð jarðhitasvæðisins þar.

Jarðhitasvæðið á Reykjanesi

Að lokum er áhugavert að kanna hvernig samsvarandi tölur eru fyrir jarðhita-
svæðið á Reykjanesi.

Þar höfum við:

$$\rho \approx 2,5 \Omega\text{m} \text{ (Sveinbjörn Björnsson o.fl. 1971)}$$

$$\rho_{\text{v}_0} = 0,2 \Omega\text{m} \text{ (Ragna Karlsdóttir 1975)}$$

$$T_0 = 20^\circ\text{C}$$

$$n = 0,115 \text{ (sbr. Svartsengi)}$$

Út frá þessu fæst samkvæmt (3) $T = 220^\circ\text{C}$, en samkvæmt hitamælingum í holu 2
á Reykjanesi er það hitastigið á 3-500 m dýpi. Hiti í djúpkerfinu (á um 1 km
dýpi) er hins vegar mun meiri, eða $270-280^\circ\text{C}$, en viðnámsmælingarinni á jarð-
hitasvæðinu á Reykjanesi ná ekki svo djúpt. Að gefnum sömu forsendum og í
Svartsengi virðist eðlilegra að nota 3 eða 4 Ω m jafnviðnámslínuna til að
afmarka jarðhitasvæðið á Reykjanesi heldur en 5 Ω m jafnviðnámslínuna.

5.2 Viðnámslög og jarðlög

Jarðvatnsaðstæðum á utanverðum Reykjaneskaga hefur margoft verið lýst í skýrslum Orkustofnunar. Í stuttu máli eru þær þannig að vatn er ekki á yfirborði jarðar. Sjór er undir öllum utanverðum skaganum en ofan á honum flýtur ferskvatnslinsan líkt og ís á vatni. Linsan er víðast hvar innan við 60-70 m þykk og er aðeins um fertugasti hluti hennar ofan meðal-sjávarborðs, þ.e. hæð grunnvatns ofan meðalsjávarborðs er aðeins 1-2 m (Valgarður Stefánsson o.fl. 1976, Freysteinn Sigurðsson o.fl. 1978). Á háhitasvæðunum myndar heitur jarðsjór hringrásarkerfi og því er þar víða engin eiginleg ferskvatnslinsa vegna mikillar blöndunar við heitan jarðsjó.

Í viðnámsmælingum á svæðinu koma í aðalatriðum fram fimm viðnámslög og verður nú fjallað um þau og tengsl þeirra og raunverulegra jarðlaga.

Lag 0: Þetta lag er efst og samsvarar hraunkarga og/eða jarðvegi á yfirborðinu. Lagið er yfirleitt innan við 3 m á þykkt. Viðnám í því er lægra en í "þurru" hraununum undir.

Lag 1: Þetta lag er ávallt mjög greinilegt í viðnámsmælingum og samsvarar jarðlagastaflanum ofan grunnvatnsborðs, sem oftast eru hraunlög eða móberg. Viðnám lagsins er undantekningalítið hátt (>5000 Ωm) og þykkt þess er jöfn hæð mælistaðar yfir sjávarmáli að frádreginni grunnvatnshæðinni (1-2 m). Viðnám í hraunlögum er mun herra en í móbergi.

Lag 2: Eins og fram kemur hér að ofan þá flýtur þunn ferskvatnslinsa ofan á jarðsjónum líkt og ís á vatni. Skipta má linsunni í tvennt, nothæft ferskvatn og blöndunarlag ferskvatns og jarðsjávar. Við skulum líta fyrst á ferskvatnslinsuna á svæði þar sem íblöndun jarðhitavatns veldur engum truflunum, t.d. í Lágum. Í viðnámsmælingum kemur fram lag, sem er um 50 m á þykkt og viðnámið er gjarnan 500-1500 Ωm. Í borholu HSK-6 í Lágum er blöndunarlag ferskvatns um 15 m þykkt (Kristján Ágústsson og Freyr Þórarinsson 1979). Trúlega miðast flotjafnvægi ferskvatnslinsunnar og þar af leiðandi jarðvatnshæðin við flöt nærri miðju blöndunarlagsins, en viðnámskil ferskvatns og jarðsjávar liggja ofarlega í blöndunarlaginu. Nothæft ferskvatn er aftur á móti heldur minna en viðnámsmælingarnar gefa til kynna, þar sem allt blöndunarlagið telst ónothæft. Á þessum svæðum fást mikilsverðar upplýsingar um þykkt ferskvatnslinsunnar með viðnámsmælingum og auðvelt er að tengja þykktina við grunnvatnshæð og er hlutfallið þar á milli 40 eða rétt tæplega það.

Nærri jarðhitasvæðum og afrennslisleiðum jarðhitavatnsins er myndin allt önnur. Uppstreymi heits jarðsjávar á jarðhitasvæðunum veldur lóðréttri blöndun. Afleiðingin er sú að blöndunarlagið þykknar en nothæft ferskvatnslag þynnist, eða hverfur jafnvel alveg. Í viðnámsmælingum lýsir þetta sér þannig að þarna mælist þunn ferskvatnslinsa eða hún kemur alls ekki fram. Á þessum svæðum er ekki samband á milli jarðvatnshæðar og þeirrar ferskvatnslinsu sem mælist í viðnámsmælingum, og nothæft ferskvatn er lítið eða ekkert.

Ef á heildina er lítið má segja að ferskvatnslinsa í viðnámsmælingum samsvari nokkurn veginn nothæfu ferskvatni en er þó ívið þykkari. Þar sem íblöndun jarðhitavatns er ekki til staðar er þetta lag í tengslum við jarðvatnshæð, annars ekki. Þykktin er gjarnan um 50 m og viðnám þess á bilinu 300-3000 Ω m, og að öllu jöfnu herra í hraunum heldur en í móbergi og grágrýti. Lægra viðnám mælist nærri jarðhitasvæðum. Lagið kemur illa fram í mæliferlinum, þar sem það er þunnt og það lendir á milli háviðnámslags og lágviðnámslags.

Lag 3: Þetta lag samsvarar bergi með "köldum" jarðsjó. Viðnám lagsins er lágt og er á bilinu 5-15 Ω m. Lagið nær alltaf eins djúpt og mælingar ná, ef jarðhita gætir ekki neðar. Viðnám lagsins ákvarðast í fyrsta lagi af seltu jarðsjávarins, í öðru lagi af hitastigi (hitastigli) og í þriðja lagi af háum poruhluta jarðlaga á Reykjanesskaga. Lagið er stundum tvöfalt í mælingum sem ná djúpt, og hefur þá neðra lagið nokkru lægra viðnám. Þetta er eðlilegt ef tekið er tillit til þess að utan jarðhitasvæða hækkar hitastig nokkuð jafnt með dýpi (80°C/km). Viðnámslækkunin svarar því til herra hitastigs.

Lag 4: Þetta lag samsvarar bergi með heitum jarðsjó. Viðnám þess er ≤ 5 Ω m sem er mjög lágt og þykktin meiri en dýpt mælinganna (> 1 km). Í borholum í Svartsengi skiptast á móbergssyrpur, hraunlagasyrpur og sjávarset. Þessi skipting sést ekki í viðnámsmælingunum, enda gildir það sama hér og um lag 3, viðnámið ákvarðast fyrst og fremst af seltu jarðsjávar og hitastigi. Lag 4 kemur ýmist fram undir lagi 2 (ferskvatnslagi) eða lagi 3 (köldum jarðsjó). Í stöku tilfelli vottar þó hvorki fyrir lagi 2 né 3 ofan þess, og er það fyrst og fremst miðsvæðis á jarðhitasvæðum.

Í eftirfarandi töflu koma fram aðalatriði þess sem hér hefur verið rætt um:

	<u>Viðnám</u>	<u>Þykkt</u>
Lag 0 Hraunkargi + jarðvegur	lægri en í lagi 1	≤ 3 m
" 1 "Þurrt hraun"	5000-25000 Ωm	~ hæð mælistaðar yfir sjó
" 2 Ferskvatnslinsa	100-3000 Ωm	10-100 m
" 3 "Kaldur" jarðsjór	5-15 Ωm	
" 4 Heitur jarðsjór	3-5 Ωm	

5.3 Túlkun viðnámsmælinganna

Vegna aðstæðna á Reykjanesskaga eru ýmsir erfiðleikar við túlkun viðnámsmælinga þaðan. Lögun mæliferils er slík að ferskvatnslagið kemur illa fram vegna þess hve þunnt það er. Hefðbundin handtúlkun mælinga dugir því ekki til að fá raunhæft mat á þykkt og viðnámi lagsins. Mjög lágt djúpvíðnám býður heim truflunum á mæliferli vegna spanstrauma. Í inngangi var talað um að nú væru notuð jafnstraumstæki við viðnámsmælingar. Þetta er ekki alveg rétt heldur er um að ræða riðstraumstæki sem senda út kassabylgju með mjög lága tíðni, þ.e. á bilinu 0,05-1,0 Hz. Spanáhrifin koma fram vegna þess að straumurinn skiptir um stefnu í straumvírnum. Þau aukast með hærri tíðni á skiptingum, við lengri straumarm og lægra djúpvíðnám. Truflunin lýsir sér á þann hátt að mæliferill fer að rísa mjög bratt, þó að lagskipan sé slík, að hann eigi að falla eða vera láréttur (Kurt Sörensen 1979). Þessara spanáhrifa virðist þó ekki gæta að ráði í Svartsengi.

Skammt er síðan að viðnámsmælingar voru eingöngu túlkaðar þannig að mæliferlar voru bornir saman við safn móðurferla eftir auganu, sá móðurferill valinn úr, sem best þótti passa, og túlkunin grundvölluð á honum. Þetta er svonefnd handtúlkun. Eins og áður getur eru áhrif ferskvatnslinsunnar á mæliferlana yfirleitt svo lítil, að val eftir auganu milli móðurferla er torvelt. Í úrvinnslu Jarðkönnunardeildar á mælingunum á Reykjanesskaga (Kristján Ágústsson og Freyr Þórarinsson 1979) var tölva notuð til að velja á milli. Í skýrslunni segir m.a.:

"Viðnámsmælingarnar eru þess eðlis, að í túlkun er hægt að staðla mæliferlana, setja viðmál (parametra, þ.e. viðnám og þykkt) fyrsta lags sem einn ($h_1 = 1$, $\rho_1 = 1$) og viðmál annarra laga sem hlutfall við þau. Tölvuvinnslan var því tvíþætt. Fyrst voru reiknaðir út 100 staðlaðir móðurferlar. Þar eru sett föst viðmál fyrsta lags, hrauna ofan jarðvatnsborðs, og þriðja lags, jarðsjávar, ($h_1 = 1$,

$\rho_1 = 1$, $\rho_3 = 0,001$). Viðmál miðlagsins, ferskvatnslinsunnar, eru hins vegar breytistærðir (h_2 er 0,4-3,17, ρ_2 er 0,07-0,44). Sérhver mæliferill er síðan staðlaður og borinn saman við alla móðurferlana. Tölvan reiknar út frávik mæliferilsins frá hverjum móðurferli, og prentar niðurstöðurnar út sem fall af viðmálum miðlags móðurferlanna. Niðurstöðurnar sýna þá á þægilegan hátt "landslag" í mátskekkju, og takist vel til, kemur fram dalur þar sem mátskekkjan er minnst. Í þessum "dal" eru þaugildi á þykkt og viðnámi ferskvatnslinsunnar sem best má telja."

Þessi aðferð reyndist "eftir atvikum sémilega". Akkillesarhæll hennar er þó stöðlunin, þar sem niðurstöður á þykkt og viðnámi ferskvatnslagsins eru mjög viðkvæmar fyrir því hvaða gildi eru valin við stöðlun fyrsta lagsins.

Haustið 1978 opnuðust hins vegar nýir möguleikar í túlkun viðnámsmælinga en þá eignaðist Jarðhitadeild nýtt forrit að sjálfvirki tölvutúlkun viðnámsmælinga, sem var unnið við Jarðeðlisfræðideild Háskólans í Árósum. Eins og segir í inngangi þá olli forritið byltingu í túlkun viðnámsmælinga á Reykjanesskaga og annars staðar þar sem handtúlkun hefur reynst erfið.

Eftirfarandi málsgrein er lausleg endursögn úr skýrslu Jarðhitadeildar: "Forritið Circle2 til túlkunar viðnámsmælinga" (Ásmundur Jakobsson og Gylfi Páll Hersir 1978). Um frekari upplýsingar vísast í þá skýrslu eða í greinar eftir höfund forritsins, H.K. Johansen (1975,1977).

Forritið túlkar mæliferilinn út frá láréttri viðnámslagskipun. Tölvan er mötuð á mæligildunum, fjölda laga og einhverjum byrjunargildum á viðnámi og þykkt hvers lags. Nákvæm handtúlkun skiptir litlu máli ef undan er skilinn óverulegur mismunur í vinnslutíma tölvunnar. Meira máli skiptir að ákveða strax lagafjölda, því honum breytir hún ekki. Tölvan leitar sjálf uppi bestu túlkun á mæliferli, þ.e. þá túlkun sem sýnir minnst frávik frá mæligildum samkvæmt minnstu kvaðrat aðferðinni. Ef hins vegar tvær eða fleiri lausnir eru mögulegar á lagafjölda má leysa það með því að tölvutúlka mælinguna fyrir þær allar. Besta lausnin er svo valin úr með samanburði við aðrar mælingar. Til þess að unnt sé að tölvutúlka mælingar þarf stundum að lagfæra mæliferil, t.d. þarf að fella burt truflanir vegna óreglu í yfirborðslagi, vegna mannvirkja, vegna lóðréttra viðnáms-skila o.s.frv. Forritið gerir ráð fyrir 3,5% mælióvissu í hverjum mælipunkti, svo framarlega

sem annað er ekki gefið. Eftir að tölvan hefur reiknað út bestu túlkun á mæliferli, lagskipun og þann reiknaða feril sem samsvarar henni, þá skrifar hún út stærstu og lægstu gildi, sem breytistærðirnar, þ.e. eðlisviðnám og þykkt laga og dýpi á yfirborð laga, geta tekið, innan 68% óvissu-marka. Loks kemur einnig fram hvernig einstök viðnáms- og þykktargildi eru háð hvert öðru.

Í þessari skýrslu er eingöngu stuðst við sjálfvirka tölvutúlkun, og er mælisvæðið mjög heppilegt fyrir slíka túlkun, þar sem viðnámslög eru mjög regluleg að undanskildu yfirborðslaginu. Til að losna við áhrif þess er heppilegast að skera framan af mælingunum fyrstu mælipunktana, þ.e. þann hluta ferilsins þar sem áhrifa gætir frá lagi 0 (hraunkarganum eða jarðveginum). Tölvan túlkar því feril sem er láréttur fremst eða u.þ.b. að byrja að falla. Þetta er sama aðferð og beitt var í tölvutúlkun Jarðkönnunardeildar, svo langt sem hún náði. Hér sér tölvan hins vegar um stöðlunina á lagi 1, auk þess sem hún reiknar út viðnámið í lagi 3 og/eða 4. Þessi aðferð leiðir að vísu til þess að útreiknuð þykkt og viðnám á lagi 1 verður ekki alveg rétt. Samanburður við túlkanir, þar sem allur ferill var notaður við útreikningana, leiddi í ljós að búast má við, að eðlisviðnám lags 3 sé í versta falli allt að 50% lægra en raunverulegt eðlisviðnám og þykktin allt að 50% meiri en raunveruleg þykkt. Þetta er þó allmismunandi eftir mælingum. Hins vegar virðast áhrifin á þykkt og eðlisviðnám lags 2 (ferskvatnslínu) og laga 3 og 4 (jarðsjávar) hverfandi lítil (<5%) og það er það sem máli skiptir.

Þegar tölvan var mötuð á lagafjölda og byrjunargildum var það gert samkvæmt því líkani, sem sett er fram í kafla 5.2, ef yfirborðslagið er frátalið. Við mat á þykkt á lagi 1, þ.e. hraunlaginu, var miðað við hæð mælistaðar yfir sjó eins og lesa mátti hana af kortum. Í sumum mælingum eru "hraunlög-in" (lag 1) tvö og var auðvitað tekið tillit til þess í tölvutúlkuninni. Þá er einnig algengt að aðeins komi fram annað af lögum 3 og 4. Ávallt var gert ráð fyrir einföldu ferskvatnslagi (lag 2) með eðlisviðnámi á bilinu 300-3000 Ω m og þykktinni 40-100 m og var þá tekið mið af niðurstöðum útreikninga Jarðkönnunardeildar ef hægt var.

Ef reiknuð gildi tölvunnar voru fjarri þeim niðurstöðum sem vænst var, þá var reynt aftur. Fyrst með því að skjóta inn háviðnámslagi eða lágviðnámslagi, ef slíkt þótti vænlegt til árangurs. Ef það dugði ei var kannað hvort einstök mæligildi væru of brengluð til að sennilegar niðurstöður fengjust, og voru þau þá felld niður. Stöku sinnum reyndist nauðsynlegt að

fella alveg niður lag 2 (ferskvatnslagið), þegar útreikningar tölvunnar sýndu að lagið kom ekki fram í mælingunni. Þannig geta lagið allt að 4 umferðir í tölvunni að baki þeim túlkunum sem hér eru birtar. Niðurstöðurnar eru nánast undantekningarlaust "óþvingaðar". Með því er átt við að við túlkun mælinganna eru allar breytistærðir frjálsar. Vissulega mætti í stöku tilfelli fá betri túlkun á mælingu með því að festa þykkt eða viðnám til samræmis við mælingar í nágrenninu. Slíkt hefði þó kostað enn meiri tölvuvinnslu og vafasamt er að sú vinna hefði svarað kostnaði.

Í viðauka C eru birtir ferlar þeirra mælinga, sem gefa marktækar niðurstöður um djúpviðnám og voru ekki birtar í fyrri skýrslu Jarðhitadeildar um viðnámsmælingar í Eldvörpum og Svartsengi. Þetta eru mælingar SE 57-71 og 26 af mælingum Jarðkönnunardeildar (RJK-mælingar). Mæliferlunum fylgir túlkun mælinganna og reiknaðir ferlar sem samsvara túlkuninni. Í töflu 1 í viðauka B eru loks birtar niðurstöður á túlkun allra mælinganna. Túlkuninni fylgir mat á óvissu í viðnámi og þykkt einstakra laga. Eins og fram kemur í kaflanum, þá reiknar tölvan út stærstu og minnstu gildi sem viðnám og þykkt geta tekið innan 68% óvissumarka. Óvissumatið er byggt á þessum útreikningum. Loks fylgja í töflunni stuttar athugasemdir um gæði og trúverðugheit einstakra mælinga. Í viðauka D er svo birt eitt dæmi um tölvuútskrift á túlkun mælingar úr Svartsengi.

5.4 Óvissa í túlkun

Eins og áður segir er í tölvuforritinu Circle2 gert ráð fyrir að mælióvissa í einstökum mælipunktum sé 3,5%, ef annað er ekki gefið. Við úrvinnslu þeirra mælinga, sem hér er fjallað um, hefur þetta gildi verið notað þegar mæld óvissa hefur verið lægri eða óþekkt. Þegar mæld óvissa er notuð, er um að ræða staðalfrávik spennuaflestra, umreiknað í %, sbr. kafla 4. Þetta á einkum við mælingar frá 1975 og síðar. Mælióvissan eykst þegar sýndarviðnámið lækkar mikið, þ.e. spennumerkið minnkar og straumarmur lengist. Mælióvissan fer þó sjaldan yfir 5% fyrr en sýndarviðnám er farið að nálgast 10 Ωm. Eftir það vex hún ört og er það háð mæliaðferðum og jarðspennusveiflum. Dæmi eru um að hún hafi verið orðin 100% áður en straumarmur var kominn út í 1000 m en þá má líka segja að það hafi verið orðið ómælandi.

Mælióvissan leiðir af sér að margar lausnir eru mögulegar við túlkun á mæliferli. Þetta má orða þannig að allar lausnir, sem gefa sama feril innan (3,5%) óvissumarka séu jafngildar (G.V. Keller og F.C. Frischknecht 1966).

Lag 1 (þurr hraun): Oft er töluverð skekkja í túlkun á þykkt og viðnámi lags 1. Þykktin er gjarnan ofmetin en eðlisviðnámið vanmetið. Þetta er bein afleiðing af þeirri aðferð sem notuð er til túlkunar og er fjallað um þetta í kafla 5.3 um túlkun mælinganna. Óvissa í túlkuninni er hins vegar að jafnaði lítil, yfirleitt minni en 10% bæði í þykkt og eðlisviðnámi og oft mun minni.

Lag 2 (ferskvatnslinsa): Í fyrrnefndri skýrslu Jarðkönnunardeildar, OS 79017/JKD04, er fjallað allýtarlega um óvissu í túlkun á ferskvatnslinsunni. Hér er að nokkru leyti stuðst við það sem þar stendur. Fyrir lag eins og ferskvatnslinsuna er jafngildisreglan gjarnan sett fram á eftirfarandi hátt: Túlkðu viðnámi og þykkt má breyta, sé þess gætt að margfeldið sé óbreytt. Hve mikil þessi breyting getur orðið hæðst af mælióvissu (hér metin 3,5%) og viðnáms- og þykktarhlutföllum lags 1 og lags 2. Þykktin á ferskvatnslinsunni (h_2) er víðast nokkuð jöfn (40-60 m), hins vegar er þykkt þurru hraunanna (h_1) allbreytileg og er alltaf svipuð hæð mælistaðar yfir sjó. Öryggi í túlkun eykst eftir því sem h_1 (eða réttara sagt h_1/h_2) minnkar, þ.e. eftir því sem landið liggur lægra. Svipað má segja um viðnáms hlutfallið, lægra hlutfall ρ_1/ρ_2 leiðir af sér betri túlkun.

Eins og jafngildisreglan er sett fram hér á undan fyrir ferskvatnslinsuna er gert ráð fyrir að túlkað við nám og þykkt lags 2 geti hreyfst eftir ákveðið stórum hluta af hyperbólu í viðnáms- og þykktarplani (ρ_2 , h_2 -plani) og ákvarðast lengd línunnar (hyperbólunnar) af mælióvissu og viðnáms- og þykktargildum lags 1 og lags 2. Þetta er ekki alveg rétt heldur er um að ræða flöt í planinu, áþekkan banana í lögun, sem liggur utan um þennan hyperbóluhluta. Í forritinu Circle2 er óvissan miðuð við svokallaðan 68% óvissuflöt, þ.e., ef gert er ráð fyrir að skekkja í hverjum mælipunkti sé óháð mæliskekkju í öðrum mælipunktum, eru 68% líkur á því að hin raunverulega lagskipting lendi innan óvissuflatarins. Ef þessi flötur er skoðaður í tvílógaritmisku plani, þ.e. $\log \rho_2$, $\log h_2$ -plani, þá breytist hann í ellipsu (eða nákvæmara hyperellipsóíðu), svokallaða jafngildisellipsu ("confidence"

ellipsu) og geta jafngildistúlkanir legið hvar sem er innan þessarar ellipsu. Athyglisvert er að hlutfallsleg óvissa í túlkun getur verið mjög mismunandi fyrir þykktina og viðnámið. Það sem ákvarðar þetta er halli (lang-áss) jafngildisellipsunnar í tvílogaritmiska planinu (H.K. Johansen 1975).

Að því er ferskvatnslinsuna varðar þýðir þetta að óvissa í túlkun á viðnámi er margfalt meiri en óvissan í túlkun á þykktinni. Af þessu leiðir að þó túlkuðu viðnámi í ferskvatnslinsunni sé breytt verulega, þá er breytingin á þykktinni mun minni. Þessi munur á óvissu sést vel er tafla 1 í viðauka B er skoðuð. Óvissan í túlkun á viðnámi lags 2 getur þar orðið a.m.k. fjórfalt meiri en á þykktinni. Annars er óvissa í túlkun á ferskvatnslinsunni mjög háð gæðum mælinganna. Í bestu ferskvatnsmælingunum (RJK 3-8 og nokkrum öðrum) er óvissa mjög lítil enda eru flestar þessar mælingar staðsettar þar sem land er lágt og mæliaðstæður góðar, sevo sem í Lágum eða við Seltjörn og Snorrastaðatjarnir. Óvissan í þykktinni er þarna 1-4% og í viðnáminu 3-12%. Annars er algengast að óvissa í þykkt sé á bilinu 5-10% og í viðnámi á bilinu 20-50%. Þar sem viðnám í ferskvatnslinsu er lágt er óvissa yfirleitt meiri. Sama er að segja ef linsan er mjög þunn. Í Vatnsheiði þar sem túlkað ferskvatnslag er um eða innan við 20 m þykkt er óvissa í túlkun mjög mikil. Í mælingu RJK 36 er t.d. viðnámið túlkað sem 780 Ω m en getur legið á bilinu 180-2080 Ω m, og þykktin 10 m en getur legið á bilinu 4-19 m.

Lög 3 og 4 (jarðsjór: Óvissa í túlkun á lögum 3 og 4 er allbreytileg Ef aðeins annað lagið kemur fram, eins og oft er tilfellið, þá er óvissan háð því hve vel botnviðnám er ákvarðað í mælingunni. Botnviðnám telst vel ákvarðað ef lítil dreifing er í viðnámsgildum síðustu mælipunktanna og mæli- óvissa fremur lítil. Ef svo er þá er óvissa í túlkun lítil, gjarnan 5-10%. Óvissa verður hins vegar mun meiri ef botnviðnám er illa ákvarðað, og þá verður það matsatriði hvenær marktækar upplýsingar fást um botnviðnám.

Ef bæði lögini koma fram í mælingunni, þá gildir mjög svipað um óvissu í túlkun á lagi 3 og um lag 2 hér að framan. Þykktar- og viðnámshlutföllin eru þó allt önnur (auk þess sem mælióvissa er yfirleitt meiri) og halli jafngildisellipsunnar því annar, þannig að nú er það viðnámið, sem er mun betur ákvarðað en þykktin. Óvissa í túlkun á lagi 4 er eftir sem áður háð því, hve vel botnviðnám er ákvarðað. Sem dæmi um óvissu í túlkun á mælingu, þar sem lag 3 og 4 koma fram, má taka mælingu SE 64. Óvissa í viðnámi lags 3 er um 10% og í þykktinni um 60%. Óvissan í viðnámi lags 4 er um 50%.

6 NIÐURSTÖÐUR

Í þessum kafla verður fjallað um niðurstöður viðnámsmælinganna og þær ályktanir sem draga má af þeim. Fyrst verður fjallað um þau lágviðnáms-svæði, sem fram komu í viðnámsmælingunum, og er 5 Ω m jafnviðnámslínan notuð til að afmarka þau (sbr. kafla 5.1). Síðan verður rætt um þykkt ferskvatns-linsunnar. Þá verður reynt að meta stærð jarðhitasvæða út frá þeim upplýsingum sem viðnámsmælingarnar gefa. Loks verða niðurstöðurnar skoðaðar í ljósi núverandi vitneskju um gosbeltið á Reykjaneskaga.

6.1 Lágviðnáms-svæði

Viðnámskort sýna eðlisviðnám svæðis á ákveðnu dýpi. Myndir 2-6 sýna eðlisviðnámið á utanverðum Reykjaneskaga á 200, 400, 600, 800 og 1000 m dýpi undir sjávarmáli.

Á mynd 2, sem sýnir eðlisviðnámið á 200 m dýpi u.s., kemur fram að lágviðnáms-svæðið ($\rho \leq 5 \Omega$ m) teygir sig frá Eldvörpum austur yfir Þorbjörn og Svartsengisfell. Lágviðnáms-svæðið er opið bæði til austurs og vesturs en innan marka þess eru bæði háhitasvæðið í Svartsengi og háhitasvæðið í Eldvörpum. Svæðið er breiðast í Svartsengi, um 2 km, en víðast annars staðar um 1 km breitt. Skammt sunnan Snorrastaðatjarna er annað lágviðnáms-svæði, sem er miklu minna um sig. Þar er ekki vitað um jarðhita á yfirborði. Þá kom víðar fram lágt viðnám í einstökum mælingum og er það í sumum tilfellum sýnt á kortinu. Af þessum mælingum má nefna RJK 62 vestan Stapafells, RJK 90 við Seltjörn, RJK 101 við Stapafellsgjá og SE 56 við Húsatóttir, en þörf er á frekari mælingum til að staðfesta tilveru þessara lágviðnámsbletta. Annars staðar er eðlisviðnámið yfirleitt á bilnu 5-15 Ω m.

Mynd 3 sýnir eðlisviðnámið á 400 m dýpi u.s. Lágviðnáms-svæðið er nokkru stærra nærri Svartsengi en að öðru leyti er myndin svipuð. Þó er vísbending um nýtt lágviðnáms-svæði skammt austan Þórðarfells en mælingar eru of stuttar til að taka af öll tvímæli um það. Þessu til stuðnings má samt geta þess að litlu sunnar er útkulnuð jarðhitaummyndun á smásvæði (Þorvaldur Thoroddsen 1958, Jón Jónsson 1978). Mynd 4 sýnir eðlisviðnámið á 600 m dýpi u.s. Lágviðnáms-svæðið í Svartsengi og Eldvörpum hefur enn stækkað en ekkert er vitað um önnur lágviðnáms-svæði á þessu dýpi þar sem meirihluti mælinganna nær ekki svona djúpt. Þó er nú kominn fram nýr lágviðnámsblettur vestan við Fagradalsfjall (RJK 74). Myndir 5 og 6 sýna svo eðlisviðnámið á 800 og 1000 m dýpi u.s.

Mælingum hefur enn fækkað en lágviðnámssvæðið hefur stækkað töluvert, sérstaklega í Eldvörpum, en um leið hafa öll mörk orðið óskýrari.

Viðnámssnið sýna breytingu eðlisviðnáms með dýpi eftir sniðlínu. Myndir 7-10 sýna viðnámssnið A-A', B-B', C-C' og D-D', og er lega sniðanna sýnd á mynd 1. Sniðin sýna vel hina tiltölulega einföldu viðnámslag - skiptingu á svæðinu. Efst eru 20-70 m þykk "þurr" hraunlög með mjög háu eðlisviðnámi, þá ferskvatnslinsan, svipuð að þykkt en með mun lægra en all breytilegu eðlisviðnámi og loks sjómettaður berggrunnurinn með mjög lágu eðlisviðnámi. Snið A-A' liggur frá Rauðamel yfir jarðhitasvæðið í Svartsengi suðaustur að Húsafjalli. Það sýnir vel hvernig háhitasvæðið kemur fram sem lágviðnáms hryggur sem stækkar með dýpi. Snið B-B', sem liggur frá Rauðamel suður undir Grindavík, og snið C-C', sem liggur vestan Stapafells og nær suðaustur undir Grindavík, sýna svipaða mynd. Snið D-D', sem liggur yfir Sandfell og jarðhitasvæðið í Eldvörpum suðaustur að Húsatóttum, sýnir svo vel hvernig lágviðnáms hryggurinn tengist jarðhitasvæðinu í Eldvörpum.

Ef við berum þessi viðnámskort og - snið saman við sambærileg kort í fyrri skýrslu Jarðhitadeildar um viðnámsmælingar á svæðinu (Valgarður Stefánsson og fl. 1976) kemur fram nokkur munur á niðurstöðum. Lágviðnámssvæðin í Svartsengi og Eldvörpum eru samtengd, en það var ekki vitað með vissu áður. Lágviðnám mælist alls staðar innan jarðhitasvæðisins í Svartsengi en áður virtist vera hærra viðnám undir hluta þess þar á meðal hluta af virkjunarsvæðinu. Í fyrri skýrslu voru lágviðnámssvæðin í Eldvörpum tvö, og voru jarðhitaummerkin á milli þeirra. Viss vandkvæði voru á að túlka þær niðurstöður. Hér kemur hins vegar fram að aðeins er unnt að tala um eitt lágviðnámssvæði þar, sem spannar m.a. það svæði þar sem yfirborðshita er að finna. Þennan mun á niðurstöðum má skýra að hluta til út frá því að mælingar eru fleiri og betri og að hluta til út frá nákvæmari og betri túlkun.

Loks má benda á að við háhitasvæðið á Reykjanesi kemur fram lágviðnáms-
svæði (Sveinbjörn Björnsson og fl. 1971).

6.2 Ferskvatnslinsan

Það var ekki tilgangur þessara skýrslu að fjalla um ferskvatnslinsuna. Henni hafa verið gerð góð skil í skýrslum Orkustofnunar á undanförunum árum (sjá Freyr Þórarinsson og fl. 1976; Valgarður Stefánsson og fl. 1976; Freysteinn Sigurðsson 1977; Freysteinn Sigurðsson og fl. 1978; Jón Ingimarsson og Snorri Páll Kjaran 1978; Kristján Ágústsson og Freyr Þórarinsson 1979). En eins og sagt er í kafla 4 þá reyndust fyrstu niðurstöður tölvutúlkunarinnar töluvert frábrugðnar niðurstöðum Jarðkönnunardeildar. Sérstaklega virðist linsan vera þynnri nærri jarðhitasvæðum heldur en þar kemur fram.

Fyrst er best að taka aftur fram, að hér er fjallað um ferskvatnslinsuna eins og hún kemur fram í viðnámsmælingum. Í grófum dráttum má segja að sú linsa samsvari þykkt nothæfs ferskvatns eða rúmlega það. Þunn ferskvatnslinsa nærri jarðhitasvæðum gefur ekki til kynna lága jarðvatnshæð. Þar verður í staðinn að gera ráð fyrir að blandlag ferskvatns og jarðsjávar sé þykkara til að flotjafnvægi sé fyrir hendi. Blandlagið fylgir að mestu jarðsjónum í viðnámsmælingum.

Til að auðvelda samanburð við útreikninga Jarðkönnunardeildar eru niðurstöðurnar birtar á svipuðu formi og í skýrslunni: "Viðnámsmælingar á Reykjaneskaga" (Kristján Ágústsson og Freyr Þórarinsson 1979). Mynd 11 sýnir þykkt ferskvatnslinsunnar í einstökum mælingum og mynd 12 eðlisviðnámið. Jafnþykktarlínur voru ekki dregnar inn á mynd 11 þar sem ekki var talið heppilegt að gera það án þess að taka mið af eðlisviðnámi lagsins.

Á mynd 13 eru dregnar saman þær niðurstöður sem mestu máli skipta. Þar sem ferskvatnslinsan er tiltölulega lítt trufluð af jarðhita liggja viðnámsgildin á bilinu 300-3000 Ω m og þykktargildin á bilinu 30-100 m. Á þessum svæðum sýnir myndin jafnþykktarlínur. Á jarðhitasvæðumeða þar sem frárennslis frá jarðhitasvæðum gætir er linsan þunn vegna mikillar blöndunar við jarðsjó og er oft innan við 25 m á þykkt. Þessi svæði eru afmörkuð og skyggð á myndinni. Loks eru "blandsvæði", þ.e. svæði þar sem eðlisviðnámi í ferskvatnslinsunni er mjög lágt (<300 Ω m), en þykktin er mjög breytileg og getur stundum verið mikil, jafnvel mun meiri en í ótruflaðri ferskvatnslinsu. Þessi svæði, sem hafa sérstaka skyggingu á mynd 13, eru gjarnan í jaðri jarðhitasvæða (lágviðnámsvæða) eða nærri sjávarströndinni. Þarna er ferskvatnslinsan fyrir hendi en viðnámið í henni er lágt, þar sem vatnið er

fremur salt vegna nokkurrar blöndunar við heitan jarðsjó eða sjó.

Við samanburð á mynd 13 og mynd 3 í fyrrnefndri skýrslu Jarðkönnunardeildar kemur í ljós að á miðjum og norðvestanverðum skaganum eru niðurstöðurnar mjög áþekkar. Á aðalferskvatnsvinnslusvæði Hitaveitu Suðurnesja í Lágum eru niðurstöðurnar svo til samhljóða (þykkt ≈ 50 m) enda eru bestu ferskvatnsviðnámsmælingarnar þar. Svipuðu máli gegnir um Fagradalsfjallssvæðið, þar er þykktin í báðum tilfellum nærri 100 m. Annars staðar er samræmið ekki eins gott. Í eða við Svartsengi kemur linsan vart fram. Flestum mælingum þaðan hefur verið sleppt í hinni skýrslunni. Athyglisverðara er að þetta svæði virðist teygja sig langt norður í sprungustefnu, jafnvel allt austur fyrir Snorrastaðatjarnir. Þetta gefur vísbendingu um að lágviðnámsvæðið í Svartsengi nái mun norðar en fram kemur í kafla 6.1. Suður af Snorrastaðatjörnum kemur fram smá "blandsvæði", kannski tengt lágviðnámsvæðinu (jarðhitasvæðinu?) sem fannst þar. Næst jarðhitanum í Eldvörpum kemur ekki fram ferskvatnslinsa og blandsvæðið umhverfis er mun stærra. Þar kemur þó líklega einnig inn í myndina afrennsli frá Svartsengi. Þá er athyglisvert að linsan sést ekki í nokkrum mælingum milli Sandfells og Þóðarfells, e.t.v. er þarna afrennslisleið vatns frá jarðhitasvæði (?) því sem líkur benda til að sé austur af Þóðarfelli (sjá mynd 3). Um önnur svæði, þar sem ferskvatnslinsa mælist þunn, er lítið hægt að segja, enda er ekki vitað um jarðhita í námunda þeirra og þekking á djúpvíðnámi er af skornum skammti.

Það er einnig athyglisvert að bera þessa útreikninga á ferskvatnslinsunni saman við þá útreikninga sem voru birtir í síðustu skýrslu Jarðhitadeildar um viðnámsmælingar á svæðinu (Valgarður Stefánsson og fl. 1976). Við túlkun linsunnar var henni í þeirri skýrslu gefið fast viðnámsgildi, 100 Ω m, og þykktin ákvörðuð með handtúlkun út frá því. Þó að þessi aðferð sé að mörgu leyti vafasöm, þar sem viðnámið í linsunni er mjög misjafnt og yfirleitt mun hærri en 100 Ω m ef áhrifa frá jarðhita gætir ei, þá er athyglisvert hvað niðurstöðurnar eru góðar. Myndin, sem birt var þar, (mynd 12), er að vísu gróf en nærri lagi í aðalatriðum. Þá er sú meðalþykkt ferskvatnslagsins milli Stapa-fells og Svartsengis, sem þar er gefin, 55 ± 10 m, aðeins lítillega of há og rétt tala er vel innan óvissumarkanna. Þessi árangur er aðallega tvennu að þakka. Í fyrsta lagi er líklega drjúgur helmingur þeirra mælinga, sem þá var stuðst við, staðsettur nærri jarðhitasvæðum og þar er gildið 100 Ω m ekki fjarri lagi. Í öðru lagi þá er þykkt linsunnar tiltölulega lítið viðkvæm fyrir breytingum í túlkuðu viðnámi, eins og fram kemur í kaflanum um óvissu í túlkun.

Mynd 14 sýnir loks einfaldað þversnið yfir Reykjanesskaga af ferskvatnslinsunni. Þykktin er fremur jöfn utan jarðhitasvæða, eða 40-60 m. Eðlisviðnámið í grágrýti og móbergi er fremur lágt, 500 Ω m, en mun herra í nútímahraunum. Í námunda við jarðhita þykkjar linsan fyrst nokkuð og viðnámið lækkar mjög mikið, en yfir jarðhitunum mælist lítil sem engin linsa.

6.3 Stærð jarðhitasvæða

Í kafla 5.1 er fjallað um samband eðlisviðnáms bergs og hitastigs. Þar er sýnt fram á að beint samband er þar á milli og að viðnámsmælingar geti því gefið verulegar upplýsingar um hitaástand bergs á utanverðum Reykjanesskaga.

Svartsengi

Í inngangi kemur fram að í fyrri skýrslum Orkustofnunar hefur 5 Ω m jafnviðnámslínan verið lögð til grundvallar mati á stærð jarðhitasvæðisins í Svartsengi. Við þær aðstæður, sem eru í Svartsengi, svarar hún til hitastigs nálægt 160-170°C. Það er því ekki ástæða til að breyta til og verður 5 Ω m jafnviðnámslínan notuð til að meta stærð svæðisins hér.

Jarðhitasvæðið í Svartsengi er ílangt í norðaustur, sem er sprungustefnan á svæðinu. Á 200 m dýpi undir sjávarmáli er svæðið a.m.k. 5 km² (sbr. mynd 2). Öll jarðhitaummerki á yfirborði eru innan þessa svæðis. Norðausturmörkin eru ekki þekkt en hegðun ferskvatnslinsu bendir til að svæðið nái lengra til norðausturs. Hve langt er ekki gott að segja. Þá er einnig möguleiki á að svæðið nái eitthvað lengra til suðvesturs í sprungustefnu. Jarðhitasvæðið stækkar með dýpi og er a.m.k. 7 km² á 600 m dýpi u.s. (sbr. mynd 4). Öll mörk eru þó óljósari þar sem fjöldi mælinga nær ekki svo djúpt. Út frá jarðhitasvæðinu liggur lágviðnámsbelti til vesturs, um eða innan við 1 km á breidd (á 200 m dýpi u.s.), sem tengir það við jarðhitasvæðið í Eldvörpum. Mæling vestan undir Fagradalsfjalli bendir til þess að svipað lágviðnámsbelti liggji til austurs. Um lágviðnámsbeltið verður fjallað í næsta kafla.

Samkvæmt gerðardómsúrskurði (1976) og samhljóða samningi við landeigendur eignaðist Hitaveita Suðurnesja öll hitaréttindi innan 10 Ω m

jafnviðnámslínu á teikningu Orkustofnunar nr. 12954 (sjá Stefán Arnórsson og fl. 1975 eða Stefán Arnórsson 1975), þ.e. á alls um 21 km^2 svæði. Ástæðan var m.a. sú að vænta mátti viðbótarmagns heits vatns á svæðinu utan aðalhitasvæðisins (afmarkað af 5 km jafnviðnámslínu á sömu teikningu, stærð $\sim 4 \text{ km}^2$) á grundvelli frekari rannsókna. Viðnámsmælingarnar í Svartsengi sýna eðlisviðnám niður á 1000 m dýpi eða svo. Allar mælingar í Svartsengi, sem sýna lægra viðnám en 5 km , lenda innan þessa svæðis. Ef hins vegar jarðhitasvæðið nær lengra til norðausturs eins og líkur benda til þá ná mörk þess út fyrir umrædda 10 km jafnviðnámslínu.

Samkvæmt líkani því, sem Straumfræðistöð Orkustofnunar hefur gert af jarðhitasvæðinu í Svartsengi, er svæðið um $4\text{--}6 \text{ km}^2$ að stærð, og vatnsleiðni innan þess mjög góð. Einnig er gert ráð fyrir að þéttara berg myndi veggja í allar áttir nema suðvestur og takmarki þannig jarðhitasvæðið (Jónas Elíasson og fl. 1977; Snorri Páll Kjarran og fl. 1979). Hinn möguleikinn er að það smádragi úr jarðhitavirkni út frá miðju jarðhitasvæðisins, þ.e. út frá uppstreymisrásinni. Viðnámsmælingar skera ekki ákveðið úr um hvort á við í Svartsengi.

Eldvörp

Í Eldvörpum er ekki vatn á yfirborði og þar hefur engin hola verið boruð, svo að selta jarðhitavatnsins er ekki þekkt. Trúlega er hún þó svipuð og í Svartsengi eða lítið eitt meiri vegna þess að svæðið er utar á Skaganum. Eðlisviðnám í efri jarðlögum miðsvæðis á jarðhitasvæðinu er og svipað. Ef við gerum ráð fyrir sömu seltu jarðhitavatns og í Svartsengi er 5 km jafnviðnámslínan einnig heppileg viðmiðunarlína hér um stærð jarðhitasvæðisins. Verður hún því notuð á sömu forsendum og í Svartsengi.

Jarðhitasvæðið í Eldvörpum er $1\text{--}1,5 \text{ km}^2$ að stærð á 200 m dýpi u.s. (sbr. mynd 2). Jarðhitaummerki á yfirborði eru innan þessa svæðis. Suðvesturmörk svæðisins eru ekki þekkt. Svæðið stækkar með dýpi og er a.m.k. 2 km^2 á 600 m dýpi u.s. (sbr. mynd 4), en stækkar ört neðan við það. Eins og áður getur tengist svæðið Svartsengi með lágviðnámsbelti og hugsanlega liggur svipað lágviðnámsbelti til suðvesturs í áttina að jarðhitasvæðinu á Reykjanesi.

Snorrastaðatjarnir

Lágviðnám mælist allvíða utan þekktra jarðhitasvæða. Ef lágviðnámsbeltið er frátalið má nefna minni háttar svæði sunnan við Snorrastaðatjarnir, skammt vestan við Stapafell, líklega austan Þórðarfells og kannski víðar. Ekki virðist önnur skýring aðgengileg en að lágviðnámið stafi af heitum jarðsjó. Freysteinn Sigurðsson og fl. (1978) hafa og bent á flest þessara svæða sem möguleg jarðhitasvæði og byggja það á viðnámsmælingum, hita- og seltumælingum og efnagreiningum. Þessi svæði eru hins vegar of illa ákvörðuð og of lítið um þau vitað til að hægt sé að gera raunhæft mat á stærð þeirra. Þó er rétt að ræða lítillaga um svæðið sunnan Snorrastaðatjarna. Svæðið er norðarlega í allstórum sigdal þar sem þéttleiki sprungna og misgengja er hvað mestur. Ekki er ósennilegt að þarna sé falið minni háttar jarðhitasvæði eins og komið hefur fram í skýrslum Jarðkönnunardeildar (Freysteinn Sigurðsson o.fl. 1978), og bendir hegðun ferskvatnslinsunnar einnig til þess. Athyglisvert er að til er ein heimild um jarðhita á þessum slóðum. Í ferðabók Þorvaldar Thoroddsen (1958) er lýst útsýni af Keili. Þar segir m.a.: "Dálítill hver sést í hrauninu fyrir ofan Vogastapavatn (Seltjörn); gufustrókur stóð þar beint upp í loftið". Í Eldfjallasögu Þorvaldar (1925) er einnig minnst á þetta. Þó að heimildin verði að teljast mjög ótraust þar sem fyrirbærið er aðeins skoðað úr fjarlægð og ýmislegt annað en hver getað orsakað gufustrókinn (reykjarstrókinn?), þá er merkilegt hvað staðsetningin fellur vel að legu lágviðnámssvæðisins.

6.4 Jarðhiti, lágviðnám og gosbeltið

Á mynd 15 hafa lágviðnámssvæðin verið teiknuð inn á kort sem sýnir megin-drætti í jarðfræði utanverðs Reykjanesskaga. Á myndinni sjást helstu misgengi, dreifing eldstöðva og lega háhitasvæða (Jón Jónsson 1978), segulsviðshæðir (Thorbjörn Sigurgeirsson 1970), skjálftabeltið (Sveinbjörn Björnsson 1979. Óbirt kort af staðsetningu skjálfta á Reykjanesskaga) og þekkt lágviðnámsvæði. Eftirtektarverðast er að lágviðnámsbeltið fellur allvel saman við skjálftabeltið. Skjálftabeltið ákvarðar mót tveggja platna jarðskorpunnar (F.W. Klein og fl. 1977) og má segja að það sé nákvæmasta skilgreining gosbeltisins á Reykjanesskaga. Þar ætti bergið að vera mest brotið og varmauppstreymi að vera meira en annars staðar, en þetta hvort tveggja getur verið orsök þess að lægra eðlisviðnám mælist en ella.

Þó að vænta megi mikils varmauppstreymis, þ.e. hás hitastiguls innan alls lágviðnámsbeltisins er ekki þar með sagt að aðstæður séu alls staðar slíkar að hægt sé að nýta jarðhitann í verulegum mæli. Til að svo sé þarf hringrásarkerfi heits vatns að ná að myndast. Yfirborðsjarðhitinn tengist í öllum tilvikum meiriháttar jarðfræðilegum fyrirbærum. Jarðhitasvæðið í Svartsengi er þar sem sigdalur (sprungubelti) sker skjálftabeltið og litlu austar sker Sundhnúksgígaröðin það. Jarðhitasvæðið í Eldvörpum er þar sem Eldvarpagígaröðin sker skjálftabeltið. Jarðhitasvæðið á Reykjanesi er þar sem sprungubelti (líklega sigdalur) sker skjálftabeltið og litlu vestar er Stampagígaröðin. Sprungubeltin og gígaraðirnar hafa norðaustlæga stefnu og hraunin sem hafa runnið frá gígaröðunum eru með yngstu hraunum á utanverðum skaganum og stærstu. Hvort vinna má jarðvarma í gosbeltinu utan þessara svæða og þá hvar verður ekki sannreynt nema með borunum, en vart er hægt að búast við eins öflugum vatnskerfum utan þeirra.

Eins og fram kom í jarðfræðiágrípinu, þá eru skil á milli sprungusveima óljós vestast á Reykjaneskaga. Kristján Sæmundsson (1978) flokkar allt svæðið sem einn stóran sprungusveim. Sveinn Jakobsson og fl. (1978) skipta því hins vegar upp í tvennt. Annars vegar er Reykjanesprungusveimurinn, sem nær m.a. yfir jarðhitasvæðin á Reykjanesi og Eldvörpum og hins vegar Grindavíkursprungusveimurinn, sem nær m.a. yfir Svartsengi og svæðið þar fyrir austan. Hann tekur þó fram að skilin séu óljós en byggir skiptinguna á dreifingu eldstöðva eftir aldri, háhitasvæðum og segulsviðsfrávikum, en segir að bergfræðilega og efnafræðilega sé munurinn varla marktækur. Athugun á þessum fyrirbærum leiðir í ljós að ef skipta á gosbeltinu á Reykjaneskaga vestan Fagradalsfjalls í fleiri en einn sprungusveim, þá er þrískipting mun eðlilegri. Háhitasvæðin eru þrjú og segulsviðshæðir yfir þeim öllum. Dreifing eldstöðva eftir aldri virðist einnig falla eins vel að þrískiptingu. Viðnámsmælingarnar benda þó til að það sé allt eins eðlilegt að líta á svæðið sem eina heild.

7 FRAMHALD RANNSÓKNA

Nú hafa verið mældar yfir 200 Schlumberger-viðnámsmælingar á utanverðum Reykjanesskaga. Af þeim gefa þó aðeins 60-70 mælingar marktækar upplýsingar um djúpviðnám á svæðinu. Þekking á djúpviðnámi er nokkuð góð nærri og milli jarðhitasvæðanna í Eldvörpum og í Svartsengi, en annars staðar er hún víðast fremur ófullkomin. Flestar mælingar utan jarðhitasvæða eru og gerðar til að ákvarða þykktina á ferskvatnslinsunni. Þessar mælingar benda þó til að mjög áhugavert sé að kanna djúpviðnám betur utan þekktra jarðhitasvæða, og verður að telja góðar líkur á að með því móti megi finna falin háhitasvæði. Þau svæði, sem áhuginn mundi beinast fyrst að, eru svæðin suður af Snorrastaðatjörnum og austur af Þórðarfelli.

Þá er ekki minna áhugavert að kanna betur fylgni lágviðnámsbeltisins og skjálftabeltisins á Reykjanesskaga. Slíkt gæti gefið mikilsverðar upplýsingar um, hvaða möguleikar eru á að vinna heitan jarðsjó samfelld eftir gosbeltinu á Reykjanesskaga. Áhuginn beinist þá aðallega að svæðinu milli Reykjaness og Eldvarpa annars vegar og Svartsengis og Fagradalsfjalls hins vegar. Hvort tveggja gæti þetta og haft verulega þýðingu fyrir heitavatnsvinnslu Hitaveitu Suðurnesja í framtíðinni.

HEIMILDASKRÁ

Ásmundur Jakobsson & Gylfi Páll Hersir 1978: *Forritið Circle2 til túlkunar viðnámsmælinga*. Orkustofnun, OS JHD 7844, 32 s.

Duba A., Piwinskii A.J., Santor M. & Weed H.C. 1978: The electrical conductivity of sandstone, limestone and granite. *Geophys. J.R. astr. Soc.*, 53, 583-597.

Freyr Þórarinsson, Freysteinn Sigurðsson & Guttormur Sigbjarnarson 1976: *Hitaveita Suðurnesja. Ferskvatnsrannsóknir, áfangaskýrsla fyrir árið 1976*. Orkustofnun, OS JKD 7609, 62 s.

Freysteinn Sigurðsson 1977: *Hitaveita Suðurnesja. Ferskvatnsrannsóknir, hita- og seltumælingar 1975-1977*. Orkustofnun, OS JKD 7716, 38 s.

Freysteinn Sigurðsson, Freyr Þórarinsson, Snorri Páll Snorrason, Kristján Ágústsson & Guttormur Sigbjarnarson 1978: *Integrated hydrological survey of a freshwater lens*. Forútgáfa af grein lagðri fram á Nordic Hydrological Conference, Helsinki, 1978. Orkustofnun, OS JKD 7806, 14 s.

Gerðardómsúrskurður í máli milli annars vegar eigenda Járngerðarstaða og Hópstorfu og hins vegar Hitaveitu Suðurnesja kveðinn upp 21. janúar 1976, 40 s.

Johansen, H.K. 1975: An interactive computer/graphic-display-terminal system for interpretation of resistivity soundings. *Geophys. Prosp.*, 23, 449-458.

Johansen, H.K. 1977: A man/computer interpretation system for resistivity soundings over a horizontally stratified earth. *Geophys. Prosp.*, 25, 667-691.

Jón Ingimarsson & Snorri Páll Kjaran 1978: *Hitaveita Suðurnesja. Svartsengi, framvinduskýrsla um ferskvatnsathuganir*. Orkustofnun, OS ROD 7802, 33 s.

- Jón Jónsson 1963: Geological report on the Western Reykjanes, Appendix II. I: Gunnar Böðvarsson og Sveinn S. Einarsson, *Report on a feasibility study of the potential of supplying heat to the Naval Station Keflavík from geothermal sources, II.* Reykjavík, Vermir sf, 11-17.
- Jón Jónsson 1970: *Jarðhitasvæði á Reykjanesskaga. Grindavíkursvæðið.* Orkustofnun, 7s.
- Jón Jónsson 1978: *Jarðfræðikort af Reykjanesskaga.* Orkustofnun, OS JHD 7831.
- Jónas Eliasson, Sigurður St. Arnalds & Snorri Páll Kjarran 1977: *Svartsengi. Straumfræðileg rannsókn á jarðhitasvæði.* Orkustofnun, OS ROD 7718, 37 s.
- Karl Ragnars & Stefán Arnórsson 1974: *Svartsengi. Rannsókn jarðhitasvæðisins og vinnslutekni.* Orkustofnun, OS JHD 7407, 14 s.
- Keller, G.V. & Frischknecht F.C. 1966: *Electrical methods in geophysical prospecting.* Pergamon Press Ltd., 517 s.
- Klein F.W., Páll Einarsson & Wyss M. 1977: The Reykjanes Peninsula, Iceland, earthquake swarm of September 1972 and its tectonic significance. *J. Geophys. Res.*, 82, 865-888.
- Kristján Ágústsson & Freyr Þórarinnsson 1979: *Vidnámsmælingar á Reykjanesskaga vegna ferskvatnsöflunar Hitaveitu Suðurnesja.* Orkustofnun, OS 79017/JKD 04, 43 s.
- Kristján Sæmundsson 1971: Relation between geological structure of Iceland and some geophysical anomalies (abstract). *First European earth and planetary physics colloquium.* Abstract Volume, s. 89.
- K. Sæmundsson 1978: Fissure swarms and central volcanoes of the neovolcanic zone of Iceland. I: *Crustal evolution in northwestern Britain and adjacent regions*, Geol. J., spec. issue, 10, 415-432.

Ragna Karlsdóttir 1978: *Athugun á viðnámi vatns eftir landshlutum.*
Orkustofnun, OS JHD 7509, 3 s.

Snorri Páll Kjaran, Gísli Karel Halldórsson, Sverrir Þórhallsson &
Jónas Eliasson 1979: Reservoir engineering aspects of Svartsengi
geothermal area. *Geothermal Resources Council annual meeting 1979,*
Reno, Nevada. Transactions, vol. 3, 337-340.

Stefán Arnórsson 1975: *Greinargerð með uppdráttum af jarðhitasvæðinu
í Svartsengi, athafnasvæði fyrir heitavatnsboranir og vinnslusvæði
fyrir ferskt vatn.* Orkustofnun, OS JHD 7550, 3 s.

Stefán Arnórsson, Valgardur Stefánsson, Stefán G. Sigurmundsson, Gestur
Gíslason & Karl Grönvold 1975: *Rannsókn á jarðhitasvæðinu í Svartsengi.*
Orkustofnun, OS JHD 7541, 16 s.

Sveinbjörn Björnsson, Birna Ólafsdóttir, Jens Tómasson, Jón Jónsson,
Stefán Arnórsson & Stefán G. Sigurmundsson 1971: *Reykjanes, heildar-
skýrsla um rannsókn jarðhitasvæðisins.* Orkustofnun, 122 s.

S.P. Jakobsson, J. Jónsson & F. Shido 1978: Petrology of the Western
Reykjanes Peninsula, Iceland. *J. Petrology*, 19, 669-705.

Sörensen, K. 1979: *Electromagnetic effects in geoelectrical soundings
using alternating currents.* Aarhus, Laboratoriet for anvendt geofysik,
Aarhus Universitet, 28 s.

Thorbjörn Sigurgeirsson 1970: Aeromagnetic survey of SW-Iceland.
Vísindafélag Íslendinga, Scientica Islandica, 2. 13-12.

Valgarður Stefánsson, Lúðvík S. Georgsson & Rúnar Sigfússon 1978:
Rafleiðnimælingar í Eldvörpum og Svartsengi. Orkustofnun, OS JHD
7639, 45 s.

Þorvaldur Thoroddsen 1925: *Die Geschichte der Isländischen Vulkane.*
Kaupmannahöfn, Det Kgl. Vidensk. Selsk. Skrifter, 8, 9, 458 s.

Þorvaldur Thoroddsen 1958: *Ferðabók, I.* Reykjavík, Snæbjörn Jónsson
og Co hf, 391 s.

ABSTRACT IN ENGLISH

In this report the results of just over 150 Schlumberger resistivity dc-soundings in the western part of the Reykjanes peninsula are presented. The purpose of the survey was on one hand to investigate the extent of the high-temperature geothermal fields in Svartsengi and Eldvörp and on the other hand to determine the thickness of a "fresh-water lens" which has been found to be "floating" on saline seawater in the area.

A relationship is shown to exist between the resistivity of the rocks on one hand and temperature, salinity and porosity on the other hand, this shows that resistivity surveys are most useful in determining the extent of the geothermal areas on the Reykjanes peninsula. Based on these relationships and other informations, a model of resistivity layering in the upper crust is presented according to which the obtained resistivity soundings are interpreted.

The obtained data are fed into a computer where they are automatically interpreted by the program Circle2 according to horizontal layering. This program interprets the measurements with far better accuracy than has been possible before and gives estimates on the accuracy of the interpretation.

The geothermal field in Svartsengi is elongated in the SW-NE direction, i.e. it is controlled by the tectonic fracture system in the area. The extent of the area is defined by the 5 Ωm iso-resistivity contour and increases with depth. At 200 m depth below sea level the horizontal cross section of the area is at least 5 km^2 increasing to over 7 km^2 at 600 m below sea level. As far as the limits of the geothermal area are known, they lie within an area where rights to utilize the geothermal power are legally claimed by the Sudurnes District Heating Service.

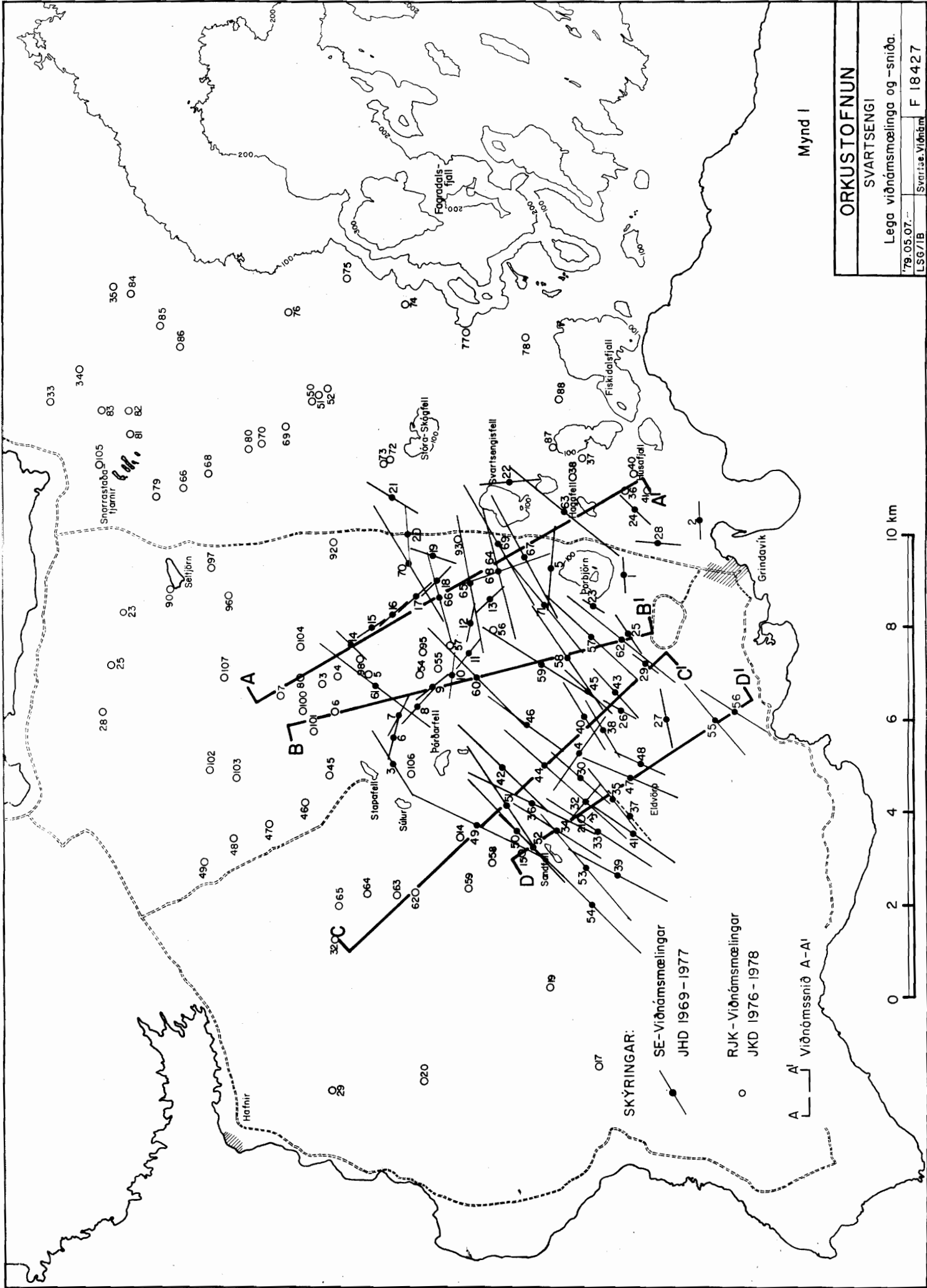
The resistivity surveys do not substantiate whether or not the geothermal area is surrounded by less permeable rock formations which would then limit the horizontal extent of the geothermal area.

The geothermal field in Eldvörp is at least 2 km² in horizontal cross section at 600 m depth below sea level, increasing rapidly in size downwards. The two geothermal fields are connected at depth, as is seen by a westward trending "resistivity-low"; the present observations show also that this "resistivity-low" continues eastwards from the Svartsengi geothermal field. The connecting "resistivity-low" coincides fairly closely with the Reykjanes seismic zone and indicates that heat is emitted continuously in the neovolcanic zone in the western part of the Reykjanes Peninsula. Known geothermal fields on the Reykjanes Peninsula are confined to areas where the Reykjanes seismic zone is transected by shallow grabens and/or crater rows. Whether exploitable geothermal heat is outside these areas can only be determined by drillings.

From these resistivity surveys a minor geothermal field has been proposed just south of Snorrastadatjarnir.

The thickness of the "fresh-water lens" has been calculated to be in the order of 40-60 m, i.e. the part which can be utilized, not being contaminated by the saline ground water. The resistivity of the "fresh-water lens" is in the range 300-3000 Ω m where it is not affected by geothermal heat. Within the thermal fields (low-resistivity areas) and in their vicinity the "fresh-water lens" is generally much thinner, 25 m or less. In some profiles around the central part of the geothermal fields no "fresh-water lens" was detected.

MYNDIR

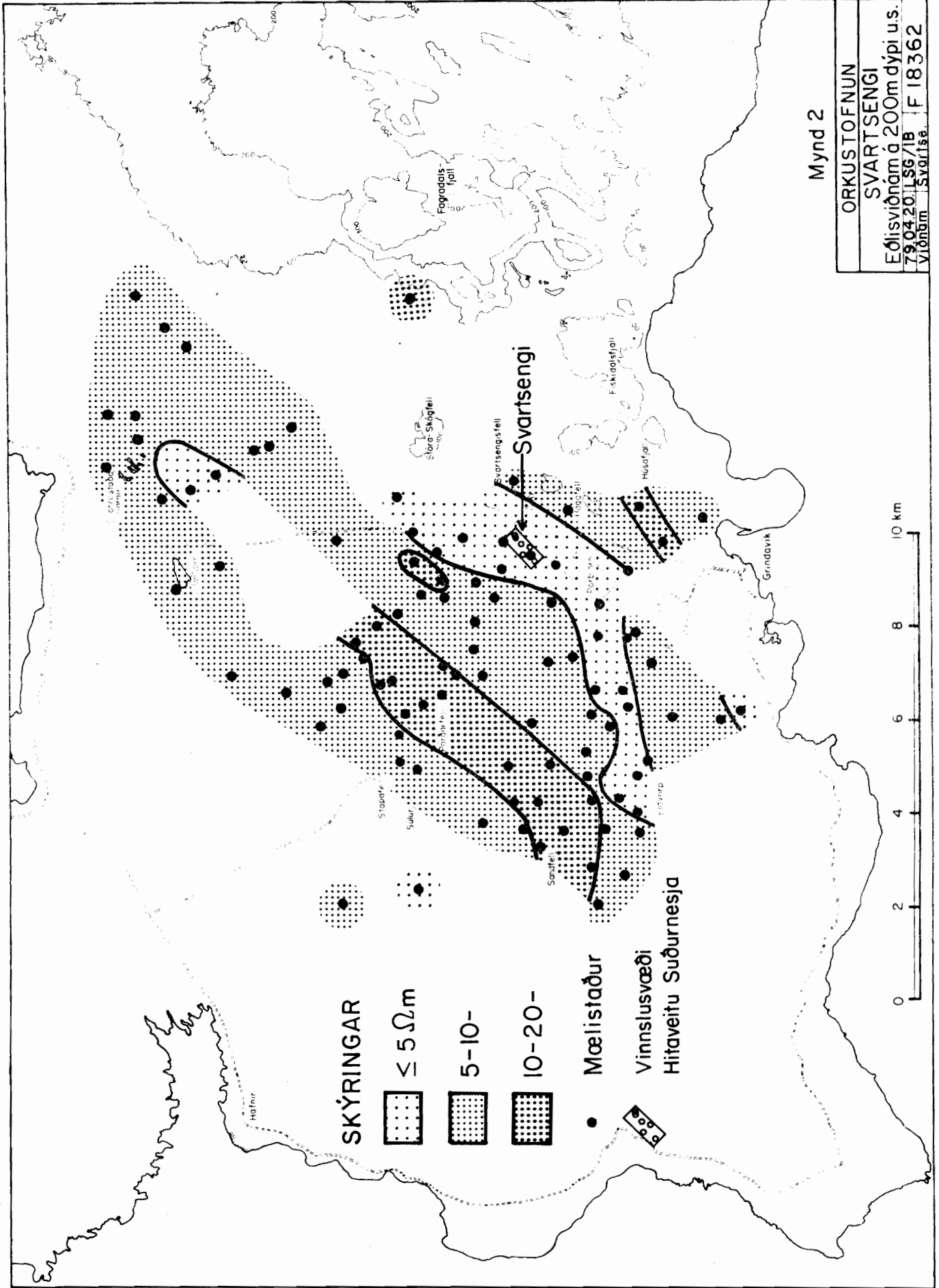


Mynd I

ORKUSTOFNUN	
SVARTSENGI	
Legu viðnámsmælinga og -sníða.	
79.05.07.-	F 18427
LSG/IB	Svarise, Viðnáms



SKÝRINGAR:
 ● SE-Viðnámsmælingar JHD 1969-1977
 ○ RJK-Viðnámsmælingar JKD 1976-1978
 A-A' Viðnámssníð A-A'



Mynd 2

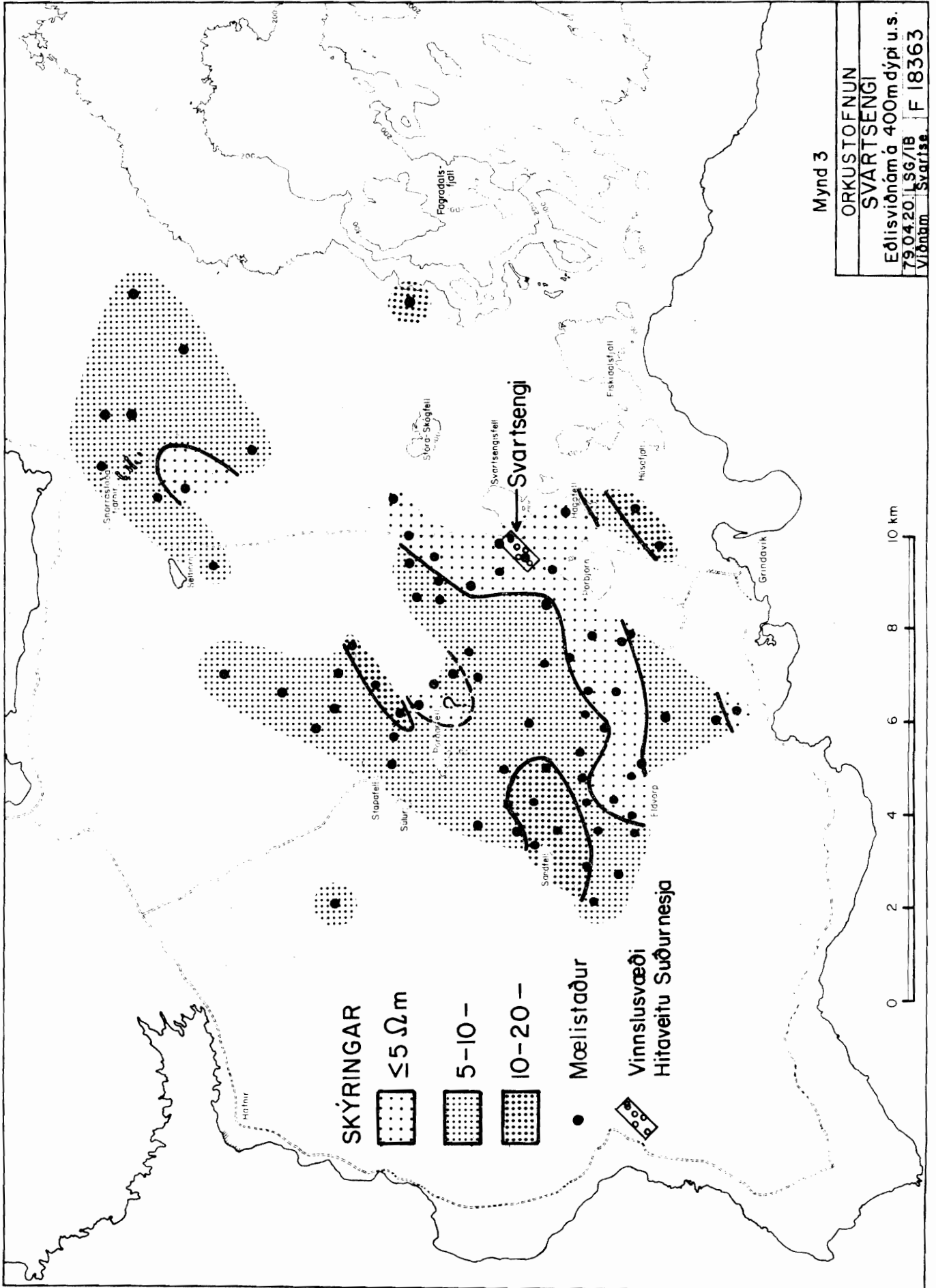
ORKUSTOFNUN

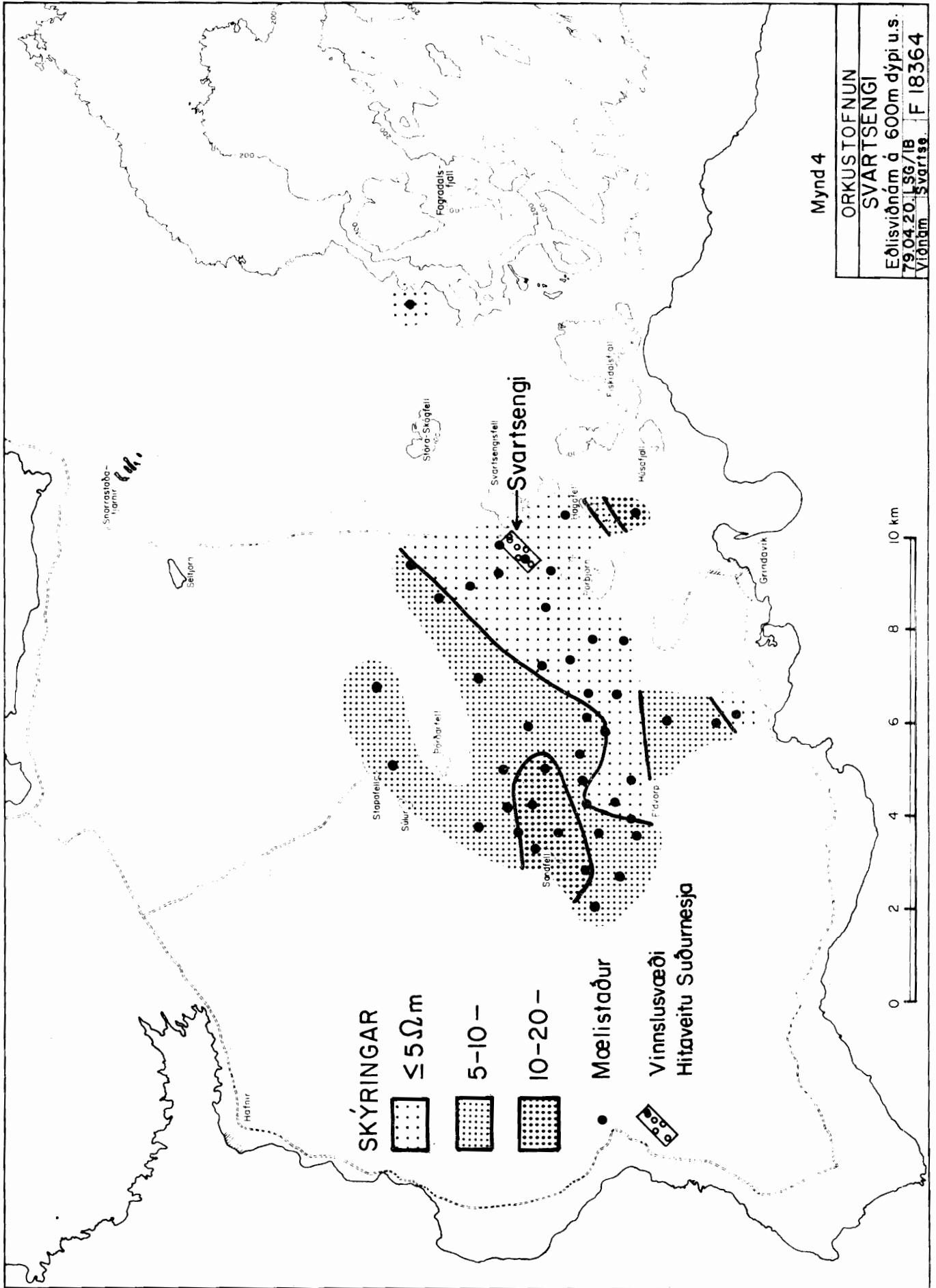
SVARTSENGI

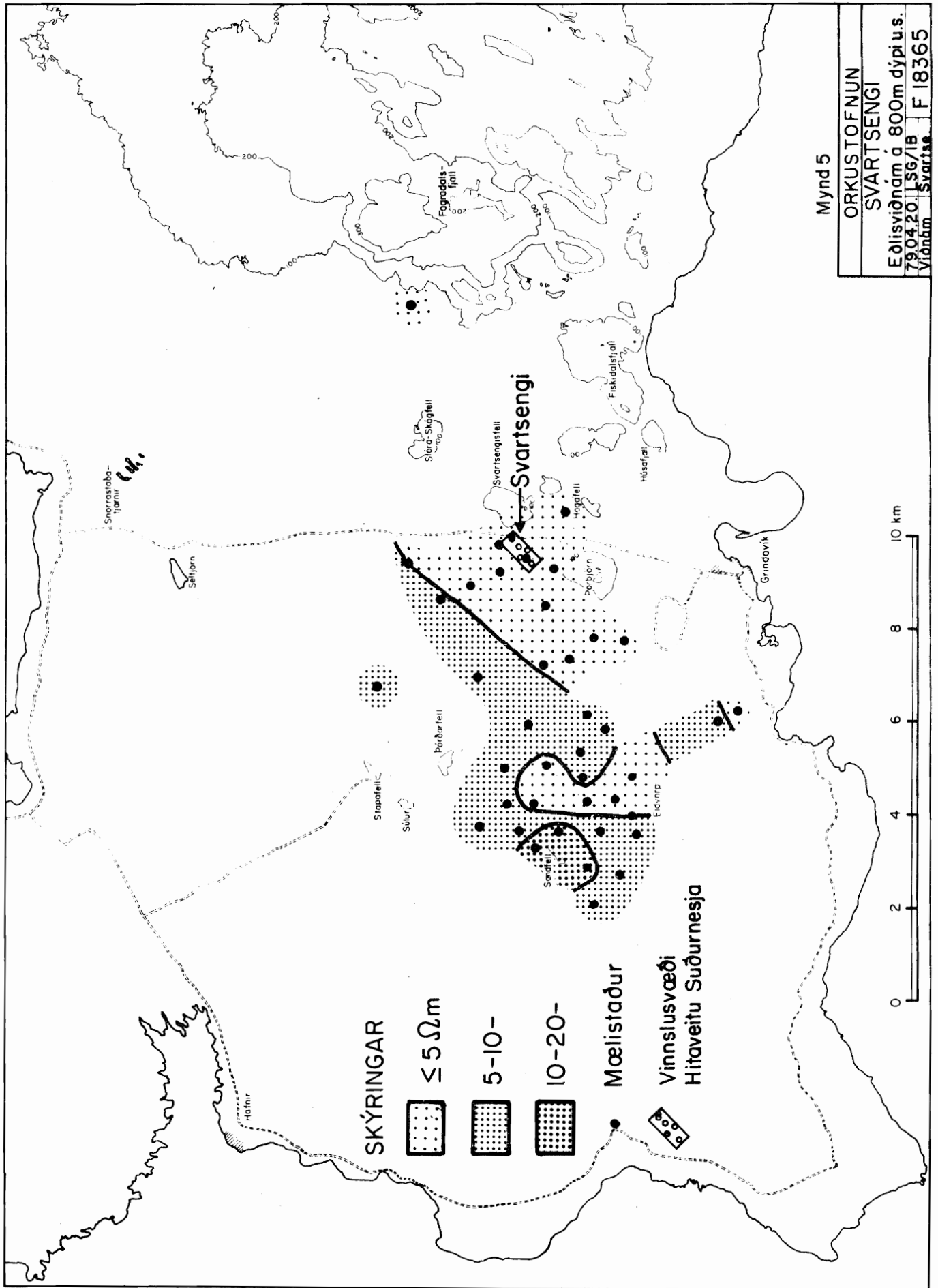
Eðlisviðnám á 200m dýpi u.s.

79 04 20, LSG/IB, F 18362

Viðnám Svartise



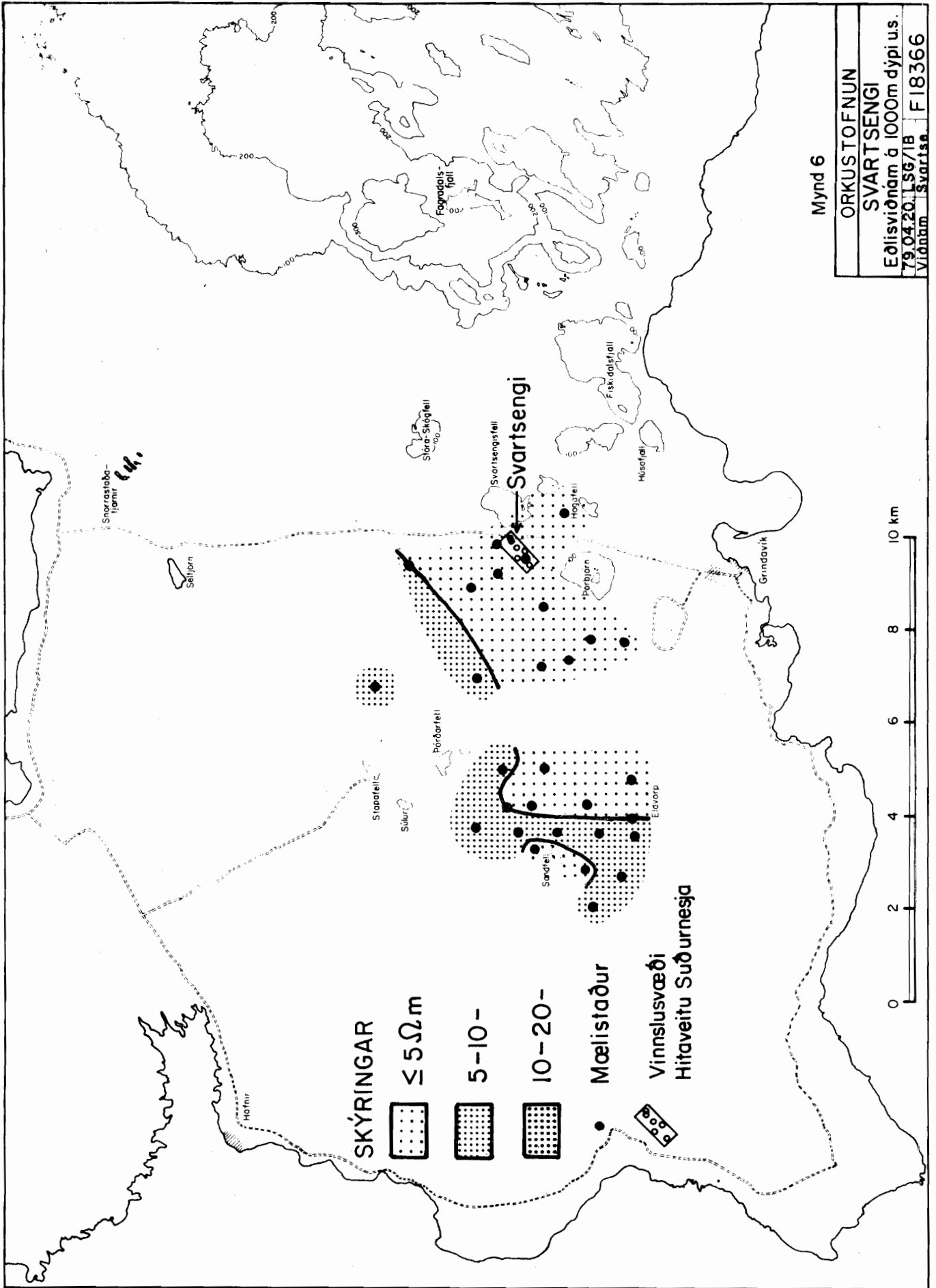




Mynd 5

ORKUSTOFNUN
SVARTSENGI

Eðlisviðnám á 800m dýpi u.s.
79.04.20. LS6/IB F 18365
Viðnám Svartsengi



SKÝRINGAR

≤ 5 Ω m

5-10-

10-20-

Mælistaður

Vinnslusvæði
Hitaveitu Suðurnesja

Mynd 6

ORKUSTOFNUN

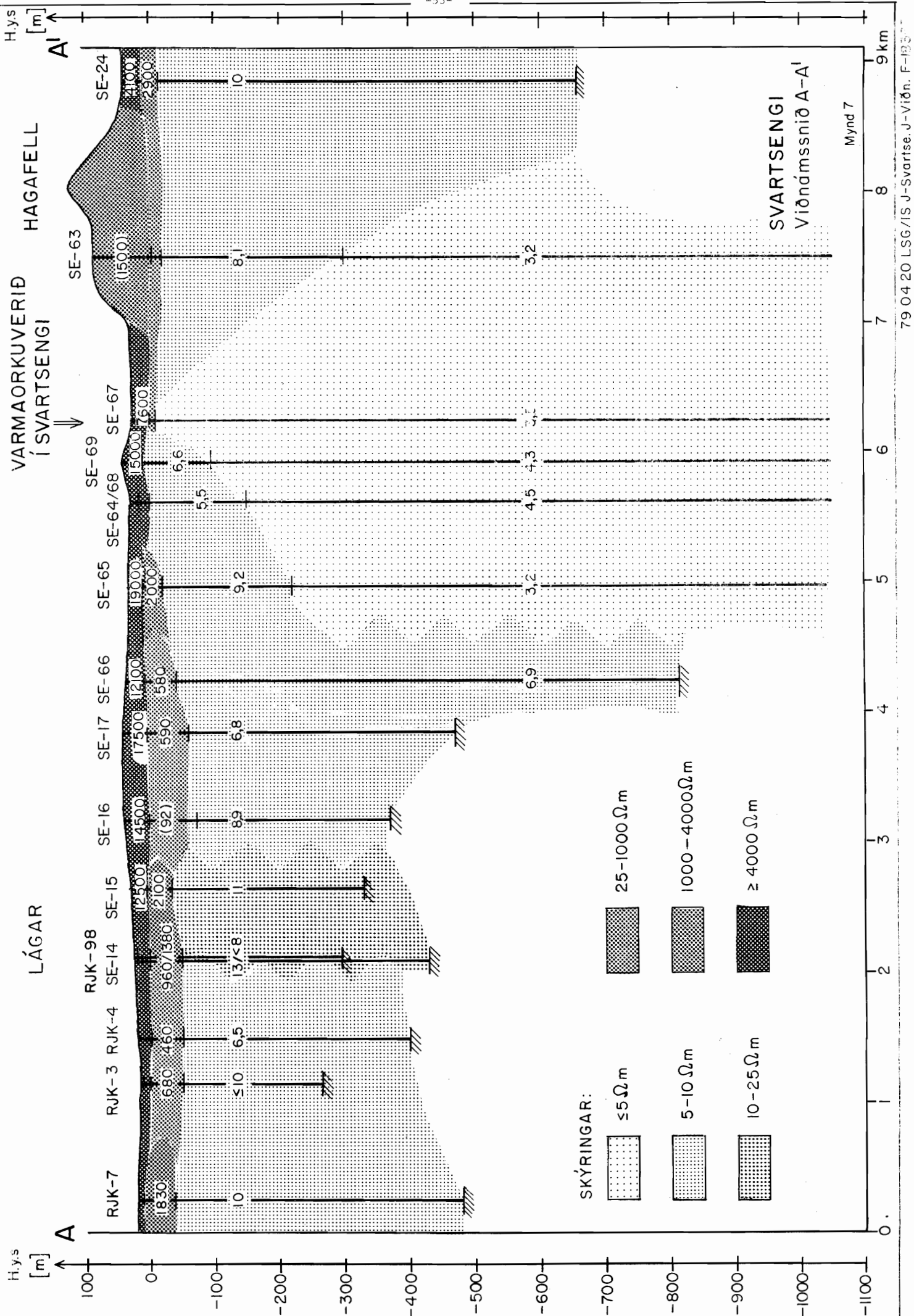
SVARTSENGI

Edlisviðnám á 1000m dýpi u.s.

79.04.20 LSG/IB

Viðnám Svarts. F18366





H.y.s [m]

Mynd 7

H_vys
[m]

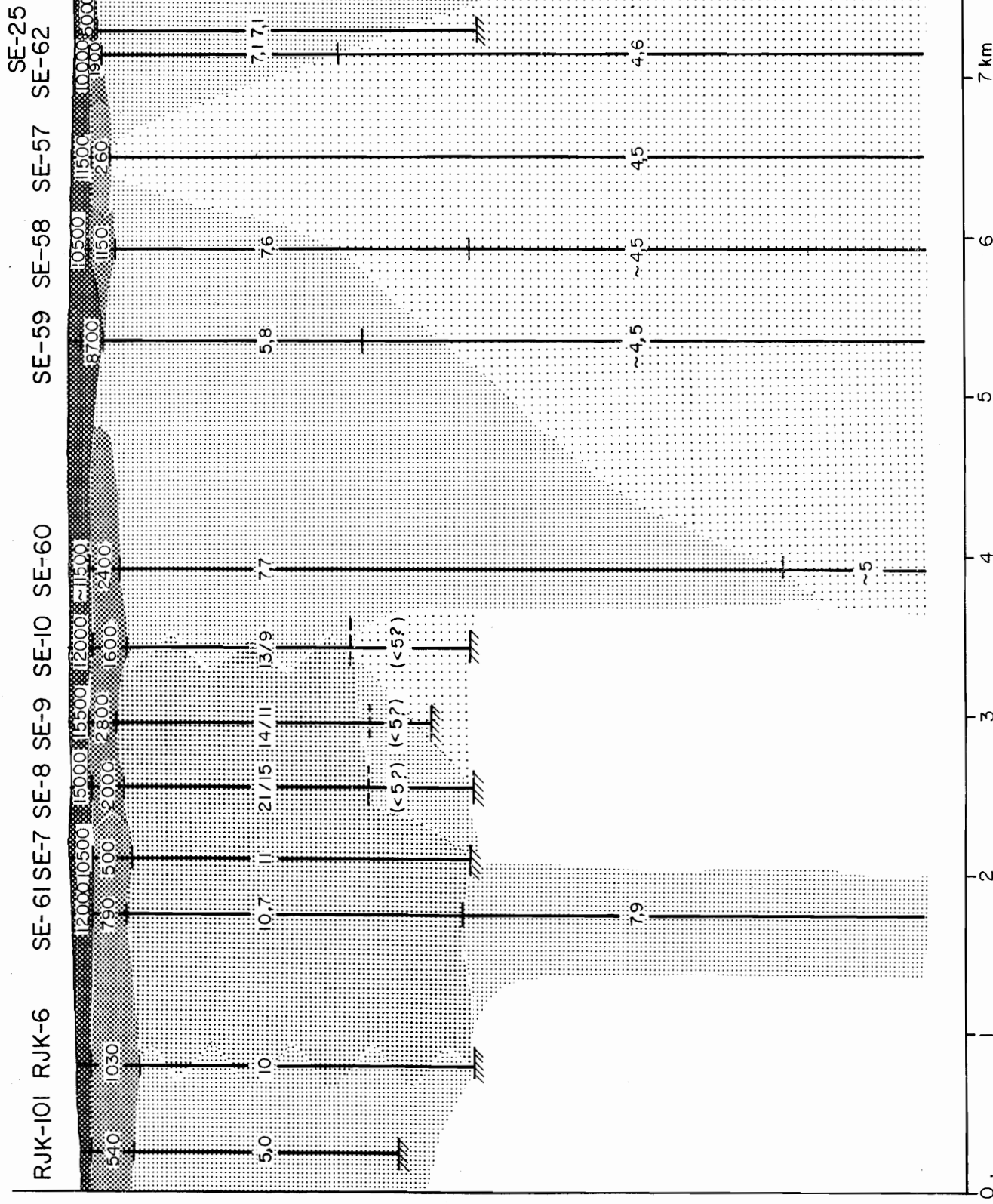
B

H_vys
[m]

B'

SKIPSTÍGSHRAUN

LÁGAR

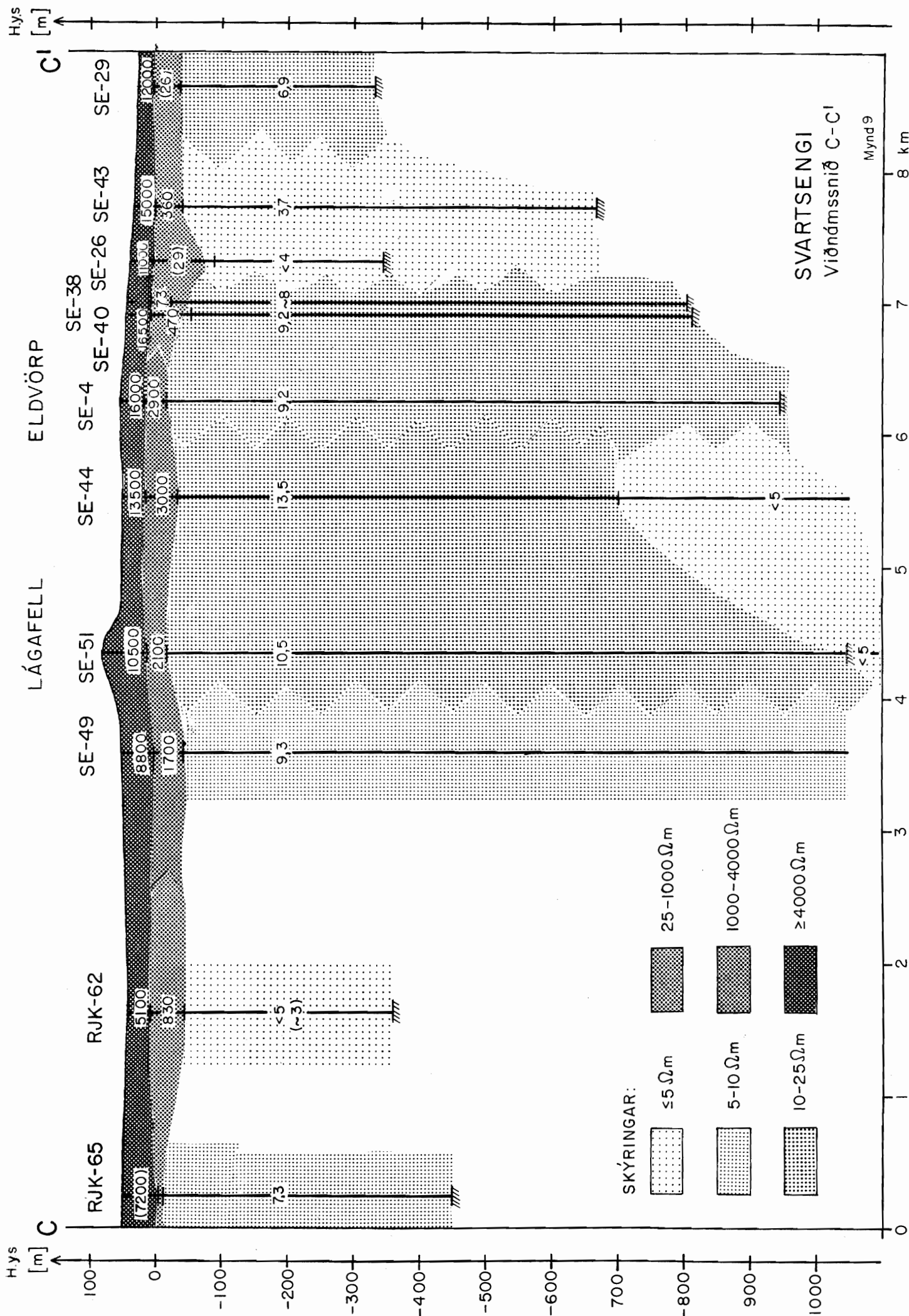


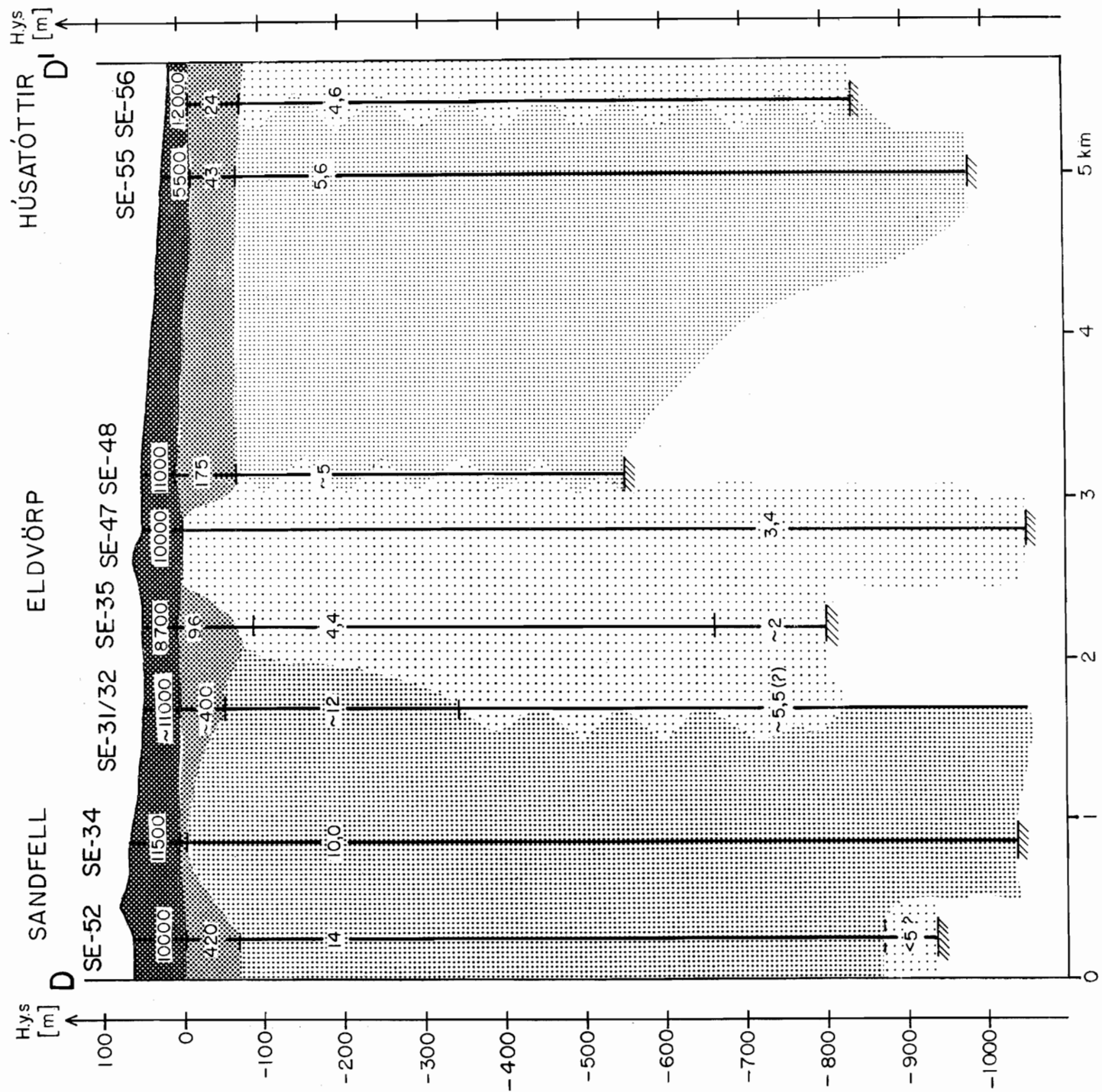
SKÝRINGAR:

- ≤ 5 Ω m
- 5-10 Ω m
- 10-25 Ω m
- 25-1000 Ω m
- 1000-4000 Ω m
- ≥ 4000 Ω m

SVARTSENGI
Viðnámsnið B-B'

Mynd 8





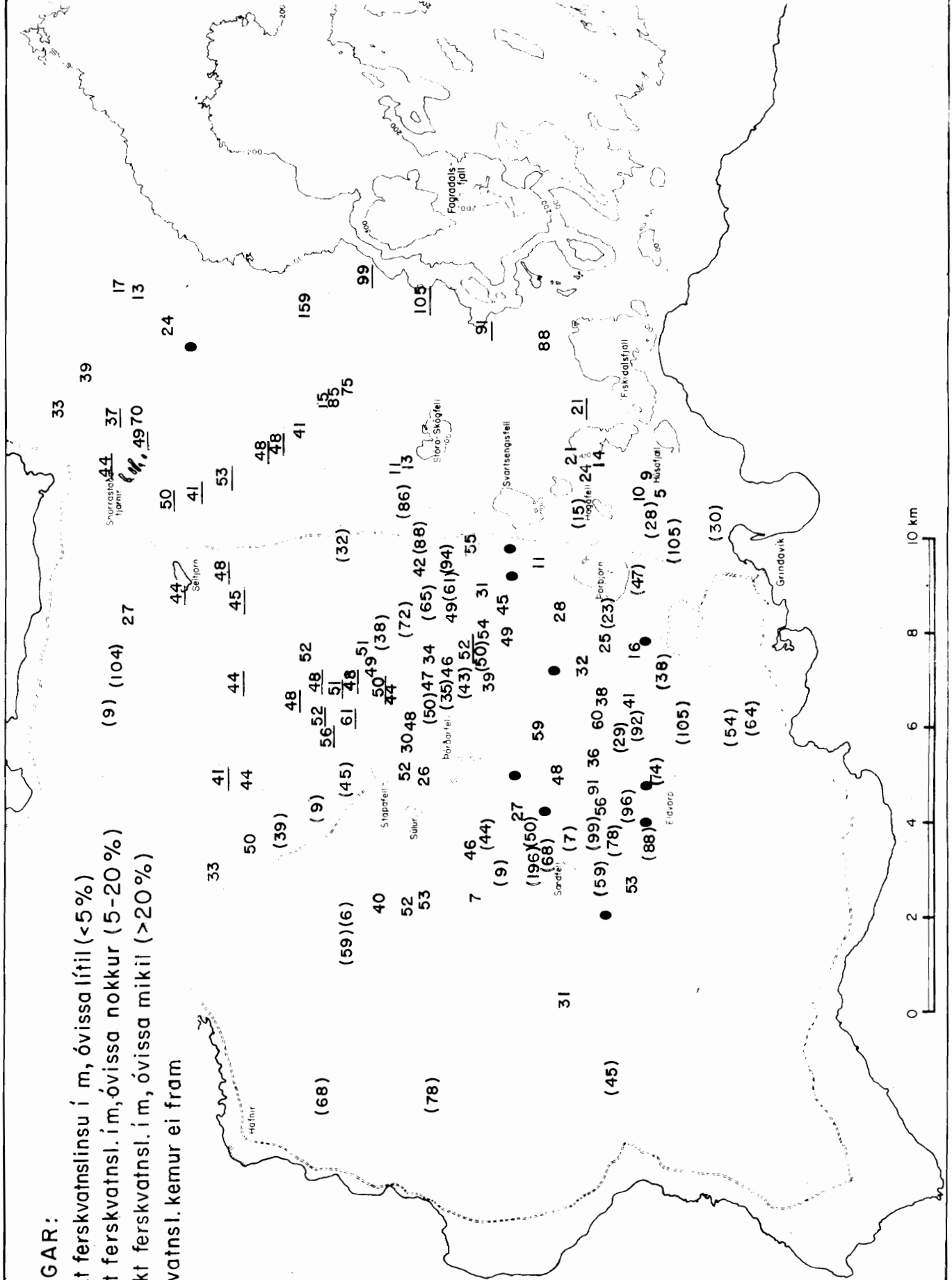
SVARTSENGI
Viðnámssnið D-D'

Mynd 10

REYKJANESSKAGI Þykkt ferskvatnslinsu

SKÝRINGAR:

- 56 Þykkt ferskvatnslinsu í m, óvissa lítil (<5%)
- 56 Þykkt ferskvatnsl. í m, óvissa nokkur (5-20%)
- (56) Þykkt ferskvatnsl. í m, óvissa mikil (>20%)
- Ferskvatnsl. kemur ei fram



Mynd II

REYKJANESSKAGI Eðlisviðnám ferskvatnslinsu

SKÝRINGAR:

1150 Eðlisviðnám ferskvatnslinsu í Ωm, óvissa lítil (<15%)

1150 Eðlisviðn. ferskvatnsl. í Ωm, óvissa nokkur (15-50%)

(1150) Eðlisviðn. ferskvatnsl. óvissa mikil (>50%)

● Ferskvatnsl. kemur ei fram

2700 1350

780 340

(1150)

(1240) 1100 1200 220

540 680

(740) 1050 460

1850

1400 960

890 (2000)

330 1850 790 (92)

2900 (2000) 840 980 (590) 450 (600)

(2800) 220 (850) (200)

(1600) 760 570 200

(1950) 490 2000 200

(2400) 250 230 ●

780

700

960

3000

1150

(3700) (290) 410 60 2900

470 1150 250 (3000)

(73) (29) 360 1900 (480)

(155) ● (175) ● (26) (28)

(43) (24)

(67)

910 2800

620 760

410 87

510

930

810

250

1300

1250

730

720

150

150

1850

1350

1000

1100

850

490

1150

860

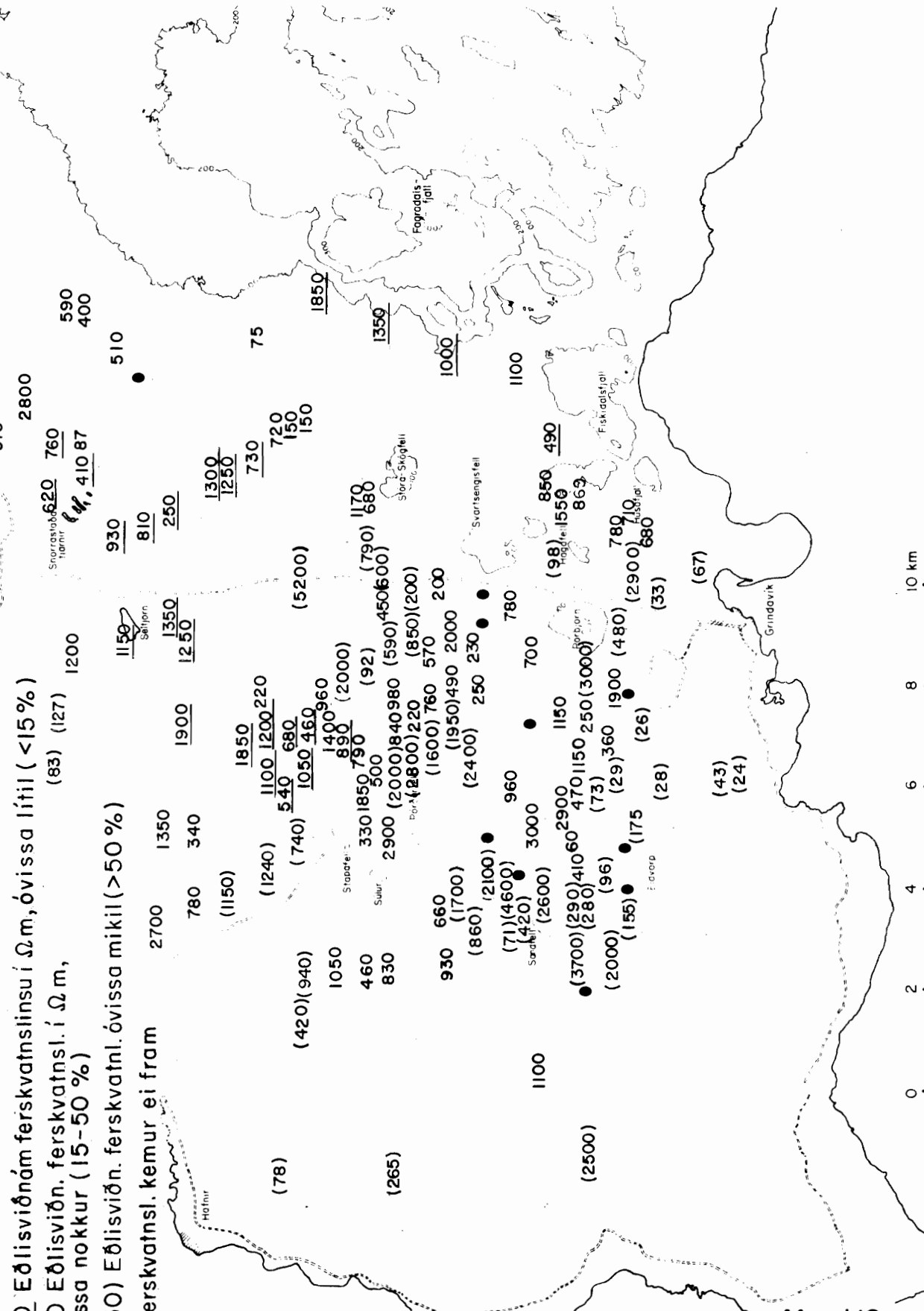
780

10

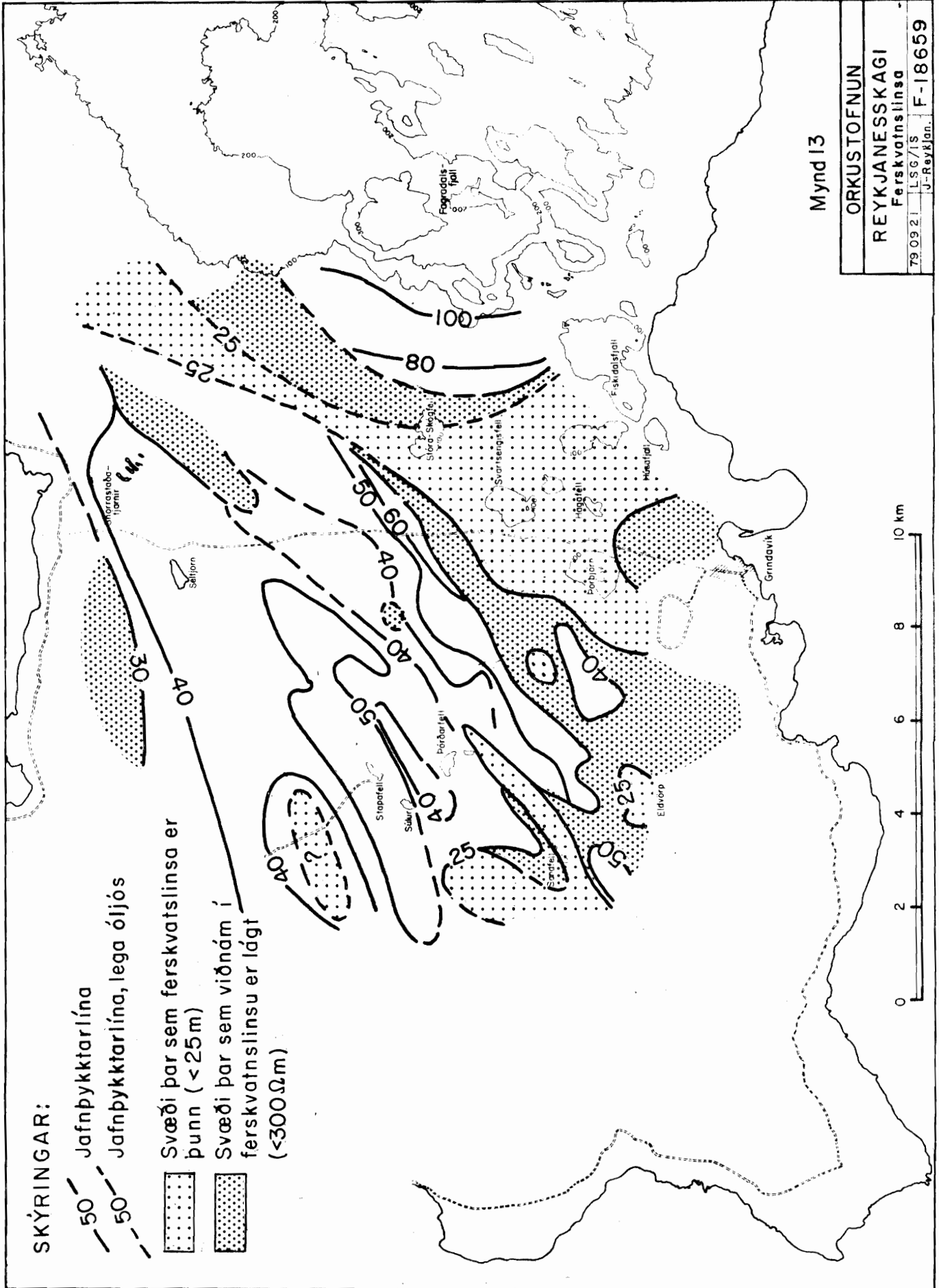
680

(33)

(67)



Mynd 12





ORKUSTOFNUN

Jarðhitadeild

79 09 21

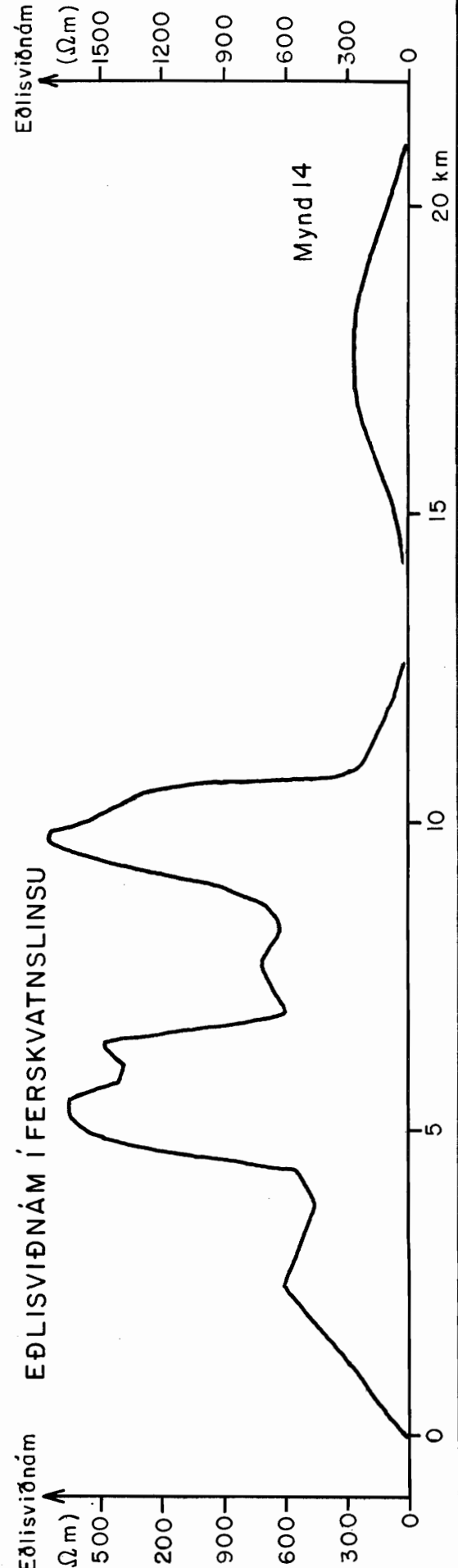
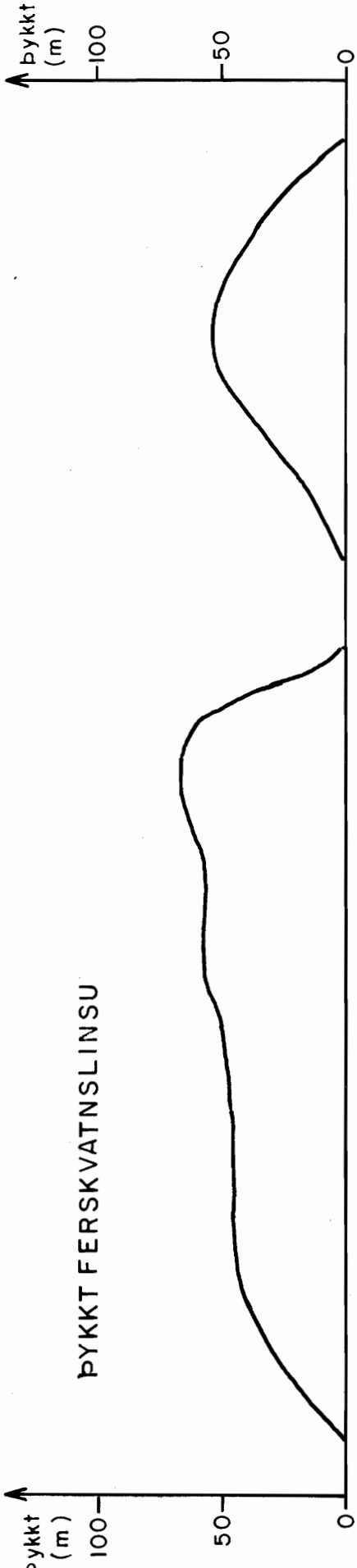
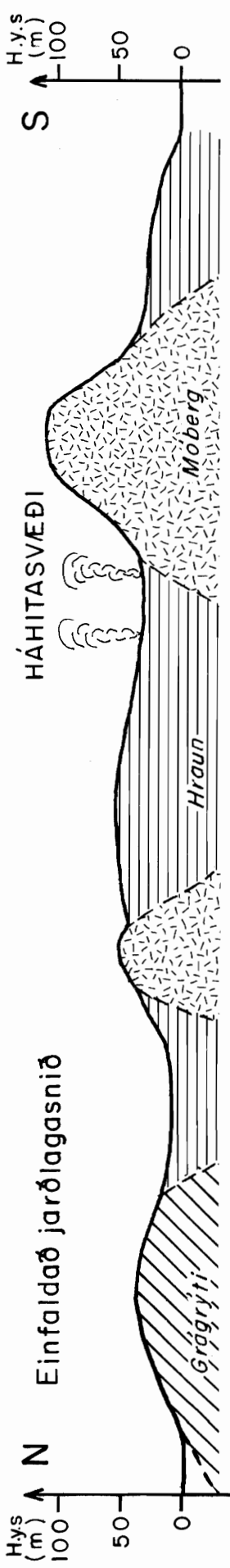
LSG/IS

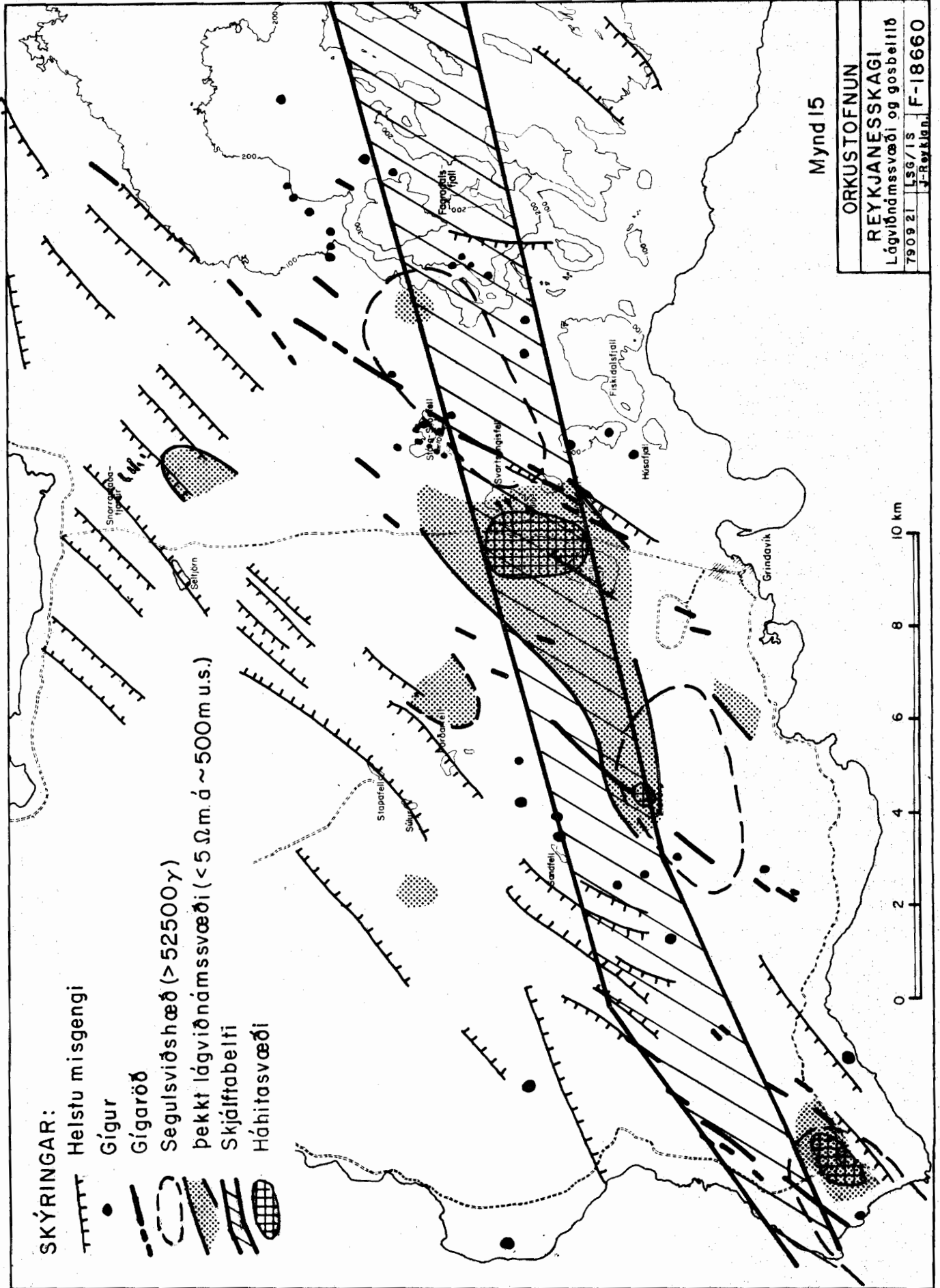
J-Reykjan.

F-18658

REYKJANESSKAGI

Einfaldað snið af jarðlögum og ferskvatnslinsu





VIÐAUKI A

Eðli og upplýsingagildi viðnámsmælinga.

Mæliaðferðir viðnámsmælinga.

Með viðnámsmælingum er mælt eðlisviðnám (= 1/rafleiðni) berglaga á mismunandi dýpi, þ.e.a.s. hversu vel eða illa jarðlögin leiða rafstraum. Jarðhitadeild beitir einkum tveimur aðferðum við þessar athuganir. Schlumbergermælingar mæla viðnám niður á um 1000 -1500 m dýpi. Mynd A sýnir tækjauppsetningu. Straumgjafi er tengdur við tvö rafskaut (póla) sem eru reknir niður í jörðina. Þegar straumur (I) er sendur út verður spennufall (ΔV) á yfirborði jarðar, og er það mælt á milli tveggja annarra rafskauta. Hið svokallaða sýndarviðnám ρ_s er skilgreint samkvæmt Ohmslögmáli, sem $\rho_s = k \frac{\Delta V}{I}$, þar sem k er stuðull, sem aðeins er háður afstöðu og fjarlægð milli skauta. Með því að breyta bilinu milli skautanna á kerfisbundinn hátt og mæla straum og spennufall í hvert sinn fást ferlar, sem með rétttri túlkun gefa upplýsingar um eðlisviðnám jarðlaga á mismunandi dýpi. Tvípólmælingar mæla viðnám niður á um 5 km dýpi. Mælitæknin er svipuð og við Schlumberger-mælingar en innbyrðis afstaða rafskautanna önnur. Tvípólmælingar eru allmiklu tímafreakari og kostnaðarsamari en Schlumberger-mælingar og nákvæmnin er minni.

Eðlisviðnám í bergi er einkum háð vatnsgengd bergsins, hitastigi og seltu jarðvatnsins. Viðnámið fer þannig lækkandi með:

- 1) aukinni vatnsgengd
- 2) hækkandi hitastigi
- 3) auknu seltumagni

Til þess að heitt vatn komi fram sem lágt viðnám verður það að hafa nokkra lárétta útbreiðslu. Ef vatnið rennur upp eftir þröngum rásum, svo sem sprungum eða meðfram göngum, kemur það lítt eða ekki fram í mælingum. Mynd B sýnir þetta vel. Oft getur verið erfitt að greina hvort orsök viðnámslækkunar er jarðhiti eða aukin selta í vatninu. Því verður að meta ytri aðstæður hverju sinni.



Mæliaðferðir
Skýringamynd

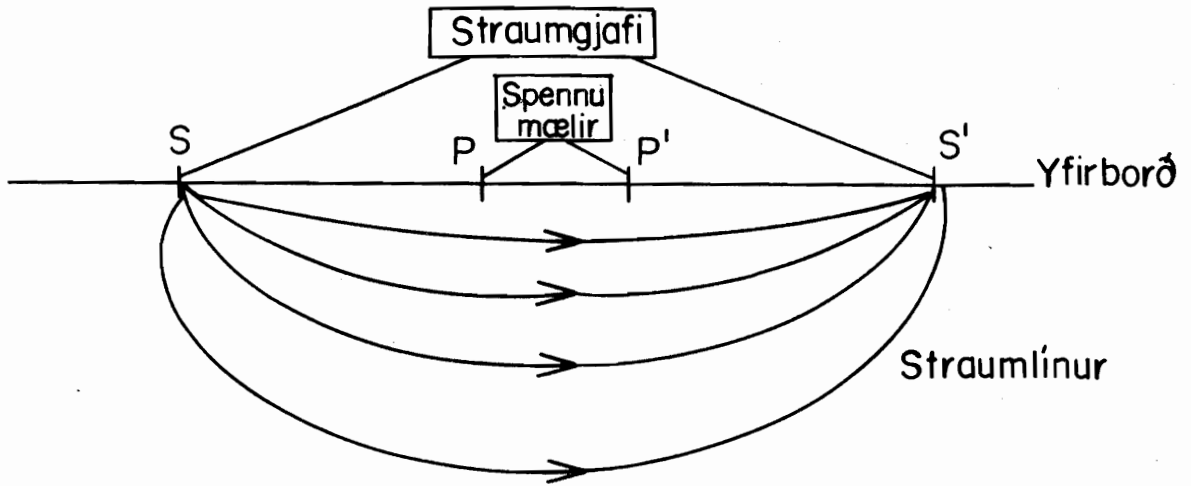
'76.08.19 ÓGF/ÁÁ

Tnr. 1690

J-Viðnám

Fnr. 14495

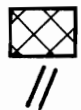
A



S-S' Straumskaut

P-P' Spennuskaut

B

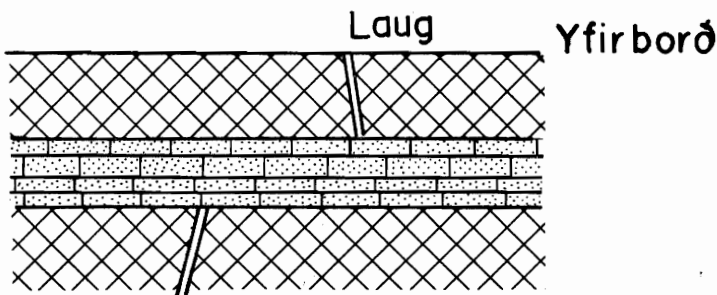


Purrt litt vatnsgengt berg (hátt viðnám)

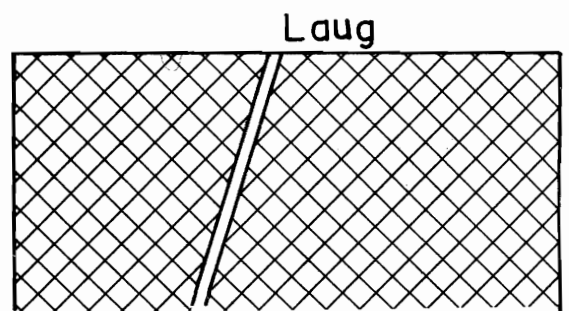
// Uppstreymisrás



Vatnsgengt berg með heitu vatni (lágt viðnám)

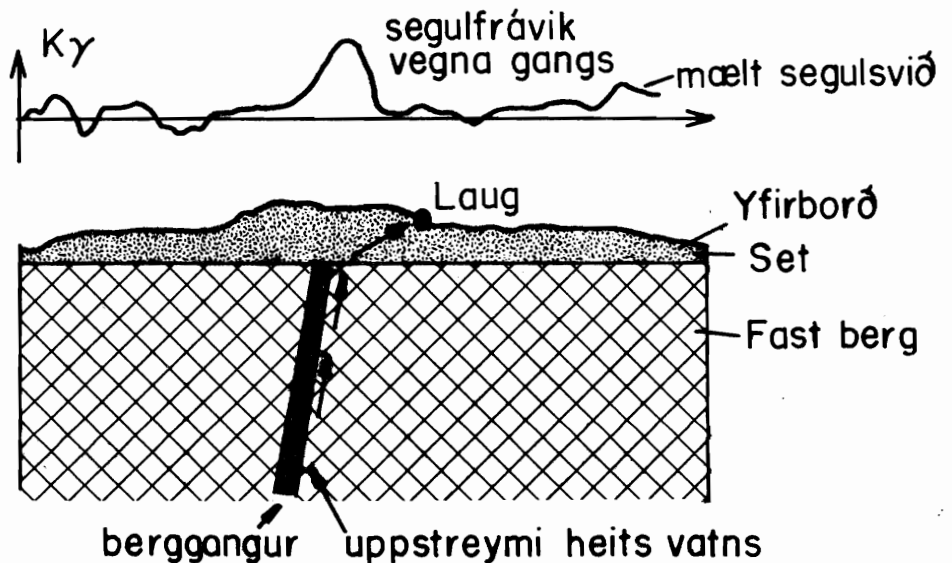


Við þessar aðstæður finnst jarðhiti auðveldlega með viðnámsmælingum



Við þessar aðstæður kemur jarðhitinn ekki fram í viðnámsmælingum

C



VIÐAUKI B

Staðsetning og túlkun viðnámsmælinga.

TAFLA 1: LAGA OG TÚLKUN VIÐNÁMSMELINGA Í SVARTSENGI OG ELDVÖRPU.

HEITI ÁBOR	HÉTT ÁBOR	MÆLIDAGUR	STABSETNING BREIDD/LENGD	STEFNA [° Rv]	HÆB YFIR SUÓ [m]	LENGD [m]	1. LAG. Eðlisviðnám/Þykkt [Ωm/m]	2. LAG. Eðlisviðnám/Þykkt [Ωm/m]	3. LAG. Eðlisviðnám/Þykkt [Ωm/m]	4. LAG. Eðlisviðnám [Ωm]	ATHUGASEMIR
SE-1	G-4	1971-07-18	70 ⁴ 82,30/29,25	~90	25	384	5100/15,5	480±20/47±1	~7,5	5,0±0,2	Þokkaleg, en ferskvatnslag er líklega ofmetið.
SE-2	G-8	1971-10-10	80,65/30,40	~90	5	384	10000/9,1	67±5/30±1			Hnökrótt í endann, og ferskvatnslag er líklega ofmetið.
SE-3	S-2	1973-06-09	87,30/25,25	~45	30	792	17000/32	330±70/52±2	9,5±0,2		Semileg.
SE-4	G-15	1973-07-09	83,30/25,40	~135	55	1000	16000/35	2900±500/36±2	9,2±0,2		Semileg, en ferskvatnslag virðist of þykkt.
SE-5	G-3	1973-07-10	83,85/29,40	~90	25	900	(150/45)			3,1±0,1	{Malingin sýnir lóðrétt viðnámskil, sem stafa af mjög líkum yfirborðsjarðlögum, annars semileg.
SE-6	S-3	1973-07-11	87,30/25,85	~112	30	504	12500/32	1850±400/30±2	9,3±0,2		Semileg.
SE-7	S-4	1973-07-11	87,15/26,30	~135	30	504	10500/29	500±100/48±2	11±1		Nothæf.
SE-8	S-5	1973-07-12	86,75/26,50	~158	25	504	15000/22	2000±300/40±2	21±6/310±30	<5 ?	{Semileg, en of stutt, svo að óvíst er hvort 4. lag er raunverulegt.
SE-9	S-6	1973-07-12	86,40/26,90	~158	30	456	15500/23	2800±400/36±1	14±3/320±60	<5 ?	" " " " " "
SE-10	S-7	1973-07-13	86,00/27,15	~112	30	504	12000/30	1600±300/43±2	13±1/290±50	<5 ?	" " " " " "
SE-11	S-8	1973-07-13	85,65/27,65	~135	30	408	{15000/17,5 6700/10,0}	1850±120/50±1	10±1		Semileg, en ferskvatnslag kann að vera of þykkt.
SE-12	S-9	1973-07-16	85,60/28,25	~90	25	384	14000/24	490±40/54±1	5,4±0,3		" " " " " "
SE-13	S-10	1973-08-09	85,15/28,75	~135	30	384	12000/30	230±70/45±4	9,7±2/270±70	<5 ?	{Nothæf, en of stutt, svo að óvíst er hvort 4. lag er raunverulegt.
SE-14	S-11	1973-08-09	88,20/27,80	~45	25	456	9400/25	960±90/51±1	13±1		Semileg, en ferskvatnslag kann að vera ívið of þykkt.
SE-15	S-12	1973-08-10	87,75/28,20	~158	30	360	12500/24	2100±250/38±1	11±1		Nothæf.
SE-16	S-13	1973-08-11	87,25/28,50	~135	40	408	14500/39	(92±40/72±12)	8,9±1,0		Nothæf, en ekki marktæk hvað viðkemur ferskvatnslagi.
SE-17	S-14	1973-08-11	86,75/28,85	~135	40	504	17500/37	590±90/65±2	6,8±0,4		Semileg, en þykkt ferskvatnslags er kannski ofmetin.
SE-18	S-15	1973-08-14	86,30/29,20	~135	40	456	16500/40	850±170/61±3	~14		{Semileg, en of stutt, þykkt ferskvatnslags er kannski ofmetin.
SE-19	S-17	1973-08-16	86,35/29,70	~45	60	504	14000/52	200±70/94±12		~4 (?)	Nothæf, en of stutt, varla marktæk fyrir ferskvatnslag.
SE-20	G-10	1973-08-17	86,90/30,20	~90	60	600	15500/48	600±110/88±4		~5	" " " " " "
SE-21	G-16	1973-08-18	87,20/31,00	~22	70	648	{22500/5,2 16500/5,4}	790±150/86±4		~5	Þokkaleg, " " " " " "
SE-22	G-18	1973-08-23	84,70/31,30	~158	70	648	12500/51	1050±90/110±3	12 ?		Kannski nothæf, " " " " " "
SE-23	G-19	1973-08-27	82,95/28,60	~45	20	264	13000/16	3000±500/23±1		5,1±0,2	Þokkaleg.
SE-24	G-20	1973-08-28	82,00/30,65	~22	40	696	4100/24	2900±230/28±2	10±1		Nothæf.
SE-25	G-21	1973-08-29	82,20/27,95	~45	20	504	5000/30		7,1±0,2		" " " " " "
SE-26	G-22	1973-08-30	82,35/26,35	~45	40	384	11000/35	29±9/92±12		<4	Nothæf, en óvíst hve marktæk fyrir ferskvatnslagið.
SE-27	G-23	1973-08-31	81,40/26,10	~68	40	648	9700/34	28±4/105±10	5,6±0,3		Semileg, " " " " " "
SE-28	G-24	1973-08-31	81,50/29,90	~0	25	504	6500/28	650±160/33±2	11±1		Semileg.
SE-29	G-28	1974-07-16	81,85/27,30	~45	30	360	12000/24	26±12/38±10	69±0,3		Nothæf, en óvíst hve marktæk fyrir ferskvatnslagið.
SE-30	E-1	1975-06-10	83,30/24,85	~45	50	850	{14000/20 10500/25}	60±22/91±25	8,2±9,160±300	6,0±1,5	Allgöð, en óvíst hve marktæk fyrir ferskvatnslagið.
SE-31	E-2	1975-06-11	83,15/24,35	~45	50	1200	10500/49	380±200/57±11	17±4/(290±160 -100)	~5,5 (?)	Semileg.
SE-32	E-3	1975-06-12	83,15/24,35	~135	50	600	11000/41	430±150/55±5	11,5±1,5		Allgöð.
SE-33	E-4	1975-06-12	82,95/23,70	~135	50	1350	7100/54	280±100/78±6	6,9±0,3		Semileg.
SE-34	E-5	1975-06-12	83,80/23,75	~45	70	1100	11500/65	2600±1700/7±4	10,0±0,5		" " " " " "
SE-35	E-6	1975-07-10	82,60/24,40	~45	50	850	8700/43	96±25/96±11	4,4±0,9/660±280	~2	" " " " " "
SE-36	E-7	1975-06-14 -07-10	84,35/24,35	~45	55	1500	11200/61	10/740-140		<5	Nothæf, ferskvatnslag vantar.

ATHUGASEMDIR

4. LAG.

3. LAG.

2. LAG.

1. LAG.

LENGD

HÆB
YFIR SJÓ

STEFNA
[°Rv]

STABSETNING
BREIDD/LENGD

MELDAGUR

HÉTTI
HÉT
ÁÐUR

HEITI	HÉT	MELDAGUR	STABSETNING BREIDD/LENGD	STEFNA [°Rv]	HÆB YFIR SJÓ [m]	LENGD [m]	1. LAG. Eðlisviðnám/þykkt [Ωm/m]	2. LAG. Eðlisviðnám/þykkt [Ωm/m]	3. LAG. Eðlisviðnám/þykkt [Ωm/m]	4. LAG. Eðlisviðnám [Ωm]	ATHUGASEMDIR
SE-37	E-8	1975-06-15	82,25/24,05	45?	55	1100	10500/52		5,0±0,4	Nothæf en ferskvatnslag sést ei.	
SE-38	E-9	1975-06-16	82,75/25,90	~45	45	850	10000/37	7,1 [±] 120/29±11 -55	~8	Nothæf en ferskvatnslag er vafasamt.	
SE-39	E-10	1975-06-18	82,50/22,75	~45	80	1200	11000/63	2000±500/53±4	8,1±0,3	Allgóð.	
SE-40	E-11	1975-06-18	83,15/26,20	~45	40	850	16500/33	470±110/60±4	9,2±0,6	Semileg.	
SE-41	E-12	1975-06-18	82,15/23,65	~45	60	1100	14000/46	155±40/88±6	8,2±0,3	Semileg en ferskvatnslagi er vart treystandi.	
SE-42	E-13	1975-06-19	84,95/25,10	~45	60	1350	8600/54	145 [±] 2/370 [±] 150 -90	5,4±1,4	Semileg en ferskvatnslag sést ekki.	
SE-43	E-14	1975-06-19	82,50/26,70	~45	35	700	15000/33	360±150/41±3	3,7±0,2	Allgóð.	
SE-44	E-15	1975-06-19	84,05/25,15	~45	50	1200	13500/34	3000±500/48±2	<5	Góð.	
SE-45	E-16	1975-06-20	83,10/26,75	~45	30	700	14000/27	1150±250/38±2	3,9±0,4	Allgóð.	
SE-46	E-17	1975-06-20	84,40/26,05	~45	50	1000	14000/32	960±120/59±2	9,3±0,5	Allgóð.	
SE-47	E-18	1975-06-21	82,20/24,85	~45	50	1100	10000/51		3,4±0,5	Nothæf, en ferskvatnslag vantar.	
SE-48	E-19	1975-06-22	81,95/25,15	~45	50	600	11000/42	175±80/74±10	<5	Nothæf, en ferskvatnslagi er vart treystandi.	
SE-49	E-20	1975-07-01	85,50/23,90	32	50	1500	8800/47	1700±400/44±4	9,0±0,3	Allgóð.	
SE-50	E-21	1975-07-02/03	84,65/23,75	~45	50	1500	8500/39	4600±500/50±3	9,5±0,4 (1000±150)	Allgóð.	
SE-51	E-28	1975-07-02	84,90/24,30	~45	80	1500	10500/68	2100±1100/27±6	10,5±0,6/950±130	Góð.	
SE-52	E-22	1975-07-03	84,30/23,40	~45	65	1000	10000/66	420±220/68±10	14,0±1,5/810 [±] 530 -220	Semileg, en ferskvatnslag er líklega ofmetið.	
SE-53	E-23	1975-07-05	83,20/22,95	~45	80	1100	13500/59	3700±900/59±4	12,5±1,1/850 [±] 280 -280	Allgóð, " " " " "	
SE-54	E-29	1975-07-07	83,10/22,15	~45	80	1500	9300/79	7,8±0,3	7,8±0,3	Nothæf, ferskvatnslag vantar.	
SE-55	E-26	1975-07-08	80,35/26,05	~45	20	1000	5500/36	43 [±] 50/54±10 -20	5,6±0,3	Semileg.	
SE-56	E-27	1975-07-14	79,95/26,25	~45	15	850	12000/24	24±7/64±8	4,6±0,3	"	
SE-57		1977-06-13	83,00/27,90	46	25	1350	11500/23	260±120/25±3	4,5±0,3	Allgóð.	
SE-58		1977-06-14	83,50/27,45	44	25	1350	10500/19	7,6±1,1/450±250	~4,5	Allgóð.	
SE-59		1977-06-16	84,05/27,35	27	30	1100	{17500/14,5 8700/31	5,8±0,8/320 [±] 800 -180	~4,5	Allgóð, ferskvatnslag vantar.	
SE-60		1977-06-20	85,45/27,10	45	30	1500	(11500/24)	2400±400/39±1	~5	Semileg.	
SE-61		1977-06-22	87,65/26,95	45	25	1500	12000/26	790±130/44±2	7,9±0,9	Góð.	
SE-62		1977-06-23	82,30/27,85	40	20	1500	10000/16,5	1900±600/16±1	4,6±0,8	Góð.	
SE-63		1977-06-24	83,50/30,65	23	85	1500	(1600/91)	98±70/15±10	8,1±2,1/280±100	{Góð, en truflað af lóðréttingu viðnámskilum (þ.e. breytingu í yfirborðsjarólögum).	
SE-64		1977-06-25	85,00/29,30	73	30	1500	{18000/14,5 4300±700/19±1	5,1±0,5/350±200	3,3±1,7	Semileg, en ferskvatnslag vantar.	
SE-65		1977-06-27	85,60/29,10	73	30	1500	19000/20	2000±400/31±1	3,2±1,0	Allgóð.	
SE-66		1977-06-28	86,25/28,80	73	35	850	12000/28	570±110/49±3	6,9±1,1	Nothæf.	
SE-67		1977-06-29	84,40/29,65	65	25	1500	(7600/24)	780±300/10±2	3,5±0,2	Allgóð, en ferskvatnslag sést vart.	
SE-68		1977-07-04/05	85,00/29,30	153	30	1200	{18500/7,7 8600/20	6,1 [±] 2/94±70 -1	5,2±0,3	Góð, ferskvatnslag vantar.	
SE-69		1977-08-03	84,95/29,95	58	40	1500	{2600/24 15000/24	6,6±1,5/105±60	4,3±0,5	Allgóð, "	
SE-70		1977-08-04/05	86,90/29,55	52	50	1500	{2000/14 11500/35	11±4/175±100	~5	Góð.	
SE-71		1977-08-09/10	84,00/28,65	42	30	1350	14000/19	700±200/28±2	~4	Góð.	

TAFLA 1: Frth.

HEITI	MÆLIDAGUR	STABSETNING BREIDD/LENGD	STEFNA [°RV]	HEÐ YFIR SJÓ [m]	LENGD [m]	1. LAG Eðlissviðnám/pykkt [Ωm/m]	2. LAG Eðlissviðnám/pykkt [Ωm/m]	3. LAG Eðlissviðnám/pykkt [Ωm/m]	4. LAG Eðlissviðnám [Ωm]	ATHUGASEMDIR
RJK-3	1976-05-17	88,80/27,00	~45	15	280	16500/14,5	680±30/51±1	<10		Allgóð en heldur stutt.
RJK-4	1976-05-18	88,45/27,15	~45	20	420	12000/23	460±50/48±1	6,5±0,2		Allgóð.
RJK-5	1976-05-18	87,85/27,20	~45	20	230	15500/18,5	890±70/50±2	<50		Góð ferskvatnsmæling.
RJK-6	1976-05-19	88,50/26,45	~45	20	500	6300/19	1030±30/61±0,5	10±0,5		Góð.
RJK-7	1976-05-20	89,70/26,80	~45	20	500	{ 7300/5,3 4300/4,5	1830±50/48±1	10±0,4		Góð.
RJK-8	1976-05-21	89,30/27,15	~45	30	340	5100/28	1200±140/47±2	<28		Góð ferskvatnsmæling.
RJK-13	1976-09-13									Alltof stutt.
RJK-14	1976-09-13	85,90/23,60	~45	50	315	9300/47	660±300/46±8	<80		Semileg ferskvatnsmæling.
RJK-15	1976-09-15	84,55/23,30	~45	60	400	9400/66	71±23/195±60	<70		Allgóð ferskvatnsmæling.
RJK-16	1976-09-15									Alltof stutt.
RJK-17	1976-09-16	83,00/18,65	~45	30	250	6700/20,5	2500±250/45±2	<80		Allgóð ferskvatnsmæling.
RJK-19	1976-09-16	84,00/20,35	~40	40	315	5100/45	1100±350/31±4	<40		Semileg "
RJK-20	1976-09-20	86,80/18,40	~45	60	400	7000/56	265±200/78±25	<40		Allgóð "
RJK-21	1976-09-22	83,25/23,75	~40	55	400	10500/51	280±80/99±8	<35		Semileg "
RJK-22	1976-09-24									Endurmæld (RJK-62).
RJK-23	1976-09-27	93,10/28,65	~48	35	250	3650/44,5	1200±300/26±5	<90		Nothæf ferskvatnsmæling.
RJK-24	1976-09-27									Ónothæf.
RJK-25	1976-09-29	93,40/27,50	~45	30	315	5200/43,5	125±25/104±10	<35		Allgóð ferskvatnsmæling.
RJK-26	1976-09-04									Vantar mæligögn.
RJK-28	1976-10-06	93,55/26,50	~45	30	315	4700/49,5	83±200/9±12 -70 -7	<30		Allgóð ferskvatnsmæling.
RJK-29	1976-10-07	88,75/18,20	~45	25	250	7300/29	78±17/68±5	<10		Nothæf.
RJK-30	1976-10-07									Ónothæf.
RJK-31	1976-10-09									Ónothæf.
RJK-32	1976-10-09	88,65/21,50	~45	40	250	10500/34	420±150/59±6	<60		Nothæf ferskvatnsmæling.
RJK-33	1976-10-11	94,60/33,15	~45	20	250	5300/25,5	910±220/33±2	<14		Semileg "
RJK-34	1976-10-11	93,95/33,85	~45	30	315	11000/25,5	2800±400/39±1	<20		Nothæf "
RJK-35	1976-10-13	93,20/35,60	~45	45	315	{ 15900/25,5 7700/44,5	590±350/17±7	<100		Nothæf "
RJK-36	1976-10-20	82,20/31,05	31	50	315	19500/48	780±1300/10±9 -600 -6	<100		Semileg "
RJK-37	1976-10-20	83,10/31,75	~45	80	315	19500/71	860±2200/14±19 -730	<500		Nothæf "
RJK-38	1976-10-22	83,30/31,35	~45	75	315	{ 13000/24 3100/46	1550±300/24±5	<80		Semileg "
RJK-39	1976-10-22									Ónothæf.
RJK-40	1976-10-25	82,05/31,40	~45	60	315	22500/61,5	710±2600/9,3±20 -640	<250		Nothæf ferskvatnsmæling.
RJK-41	1976-10-25	81,75/31,05	~45	50	280	32000/45	680±3000/4,7±12 -330	<60		Nothæf "
RJK-45	1977-07-08	88,65/25,00	45	40	315	11500/36	740±250/45±3	<20		Semileg "

TAFLA 1: Fth.

ATHUGASEMDIR

HEITI	MELIDAGUR	STAPSETNING BREIDD/LENGD	STEFNA [°RV]	HÆÐ YFIR SJÓ [m]	LENGD [m]	1. LAG Eðlisviðnám/þykkt [Ωm/m]	2. LAG Eðlisviðnám/þykkt [Ωm/m]	3. LAG Eðlisviðnám/þykkt [Ωm/m]	4. LAG Eðlisviðnám [Ωmf]	Nothaf ferskvatnsmæling.
RJK-46	1977-07-12	89,20/24,45	30	40	250	12500/9,6 6300/36	1240±550/9±3	<45		Nothaf ferskvatnsmæling.
RJK-47	1977-07-13	90,00/24,00	45	40	315	12500/34	1150±300/39±2	<19		Nothaf
RJK-48	1977-07-15	90,75/23,70	60	30	315	10900/32	780±240/50±3	<16		Allgóð
RJK-49	1977-07-15	91,45/23,20	60	30	250	6300/22,5	2700±350/33±2	<25		Nothaf
RJK-50	1977-07-19	88,95/33,05	38	45	250	{ 22500/25 5200±1100/38±3	720±400/15±7	<190		Nothaf
RJK-51	1977-07-19	88,80/33,20	38	45	315	{ 6200/10 14000±1000/44±2	150±150/85±20	<55		Sæmileg
RJK-52	1977-07-19	88,60/33,35	34	45	400	{ 18300/32 7400±1800/33±4	150±160/70±20	<45		Sæmileg
RJK-53	1977-07-22									Ónothaf.
RJK-54	1977-07-22	86,75/27,25	45	30	160	10500/21,5	835±170/47±3	<170		Nothaf ferskvatnsmæling.
RJK-55	1977-07-26	86,30/27,30	18	25	250	8500/33	220±100/46±5	<13		Allgóð en heldur stutt.
RJK-56	1977-07-26	85,10/28,10	42	30	200	12500/23,5	250±65/49±3	<30		Allgóð ferskvatnsmæling.
RJK-57	1977-07-27	86,05/27,75	45	30	250	{ 16500/7 9480/15,5	760±55/52±1	<23		"
RJK-58	1977-08-16	85,20/23,05	35	55	315	6900/53	860±900/91±4	<35		Nothaf
RJK-59	1977-08-16	85,75/22,50	39	50	315	7400/50	930±1000/71±4	<35		"
RJK-61	1977-08-20									Ónothaf.
RJK-62	1977-08-20	86,90/22,50	45	40	400	5100/33	830±150/53±2	<6 (°3)		Allgóð en heldur stutt.
RJK-63	1977-08-20	87,25/22,40	49	40	315	7600/40	460±150/52±4	<13		Sæmileg ferskvatnsmæling.
RJK-64	1977-08-22	87,90/22,45	50	40	315	8800/40	1050±400/40±4	<18		Sæmileg
RJK-65	1977-08-22	88,55/22,25	48	50	500	{ 18500/43 7200/43	340±540/6±4	7,3±0,2		Sæmileg, en ferskvatnslag sést illa.
RJK-66	1977-08-24	91,70/31,25	49	15	400	16500/15,5	810±60/41±1	11,5±1,7/160±25	<5 (2?)	Allgóð en heldur stutt.
RJK-67	1977-08-25									Ónothaf.
RJK-68	1977-08-25	91,15/31,60	64	15	315	16000/18	260±20/53±2	<5 (°3)		Nothaf en heldur stutt.
RJK-69	1977-08-29	89,50/32,55	60	30	250	19500/26	730±280/41±4	<15 (6?)		Allgóð en of stutt.
RJK-70	1977-08-29	90,00/32,20	60	25	315	(49000/15)	1250±130/48±1	<11 (7?)		Nothaf en of stutt.
RJK-71	1977-09-05									Alltof stutt.
RJK-72	1977-09-05	87,30/31,80	15	55	315	14500/50	680±900/13±7	<40		Sæmileg ferskvatnsmæling.
RJK-73	1977-09-05	87,40/31,70	23	55	315	19500/50	1170±1600/11±6	<45		"
RJK-74	1977-09-06	86,90/35,15	27	55	1000	17000/42	1350±110/105±3	14±2,5/410±90	<7 (°3)	Allgóð.
RJK-75	1977-09-06	88,15/35,75	65	60	500	10700/43	1830±230/99±3	<65		Allgóð ferskvatnsmæling.
RJK-76	1977-09-07	89,45/35,05	49	65	500	6800/77	73±40/159±40	<35		Sæmileg
RJK-77	1977-09-07	85,60/34,50	24	75	500	{ 18100/53 8800/53	1020±250/91±5	<40		Allgóð
RJK-78	1977-09-07	84,35/34,40	18	65	400	12500/54,5	1090±320/88±7	<100		Sæmileg
RJK-79	1977-09-08	92,30/31,10	42	10	400	(32000/10	930±30/50±0,5	6,7±0,3		Allgóð.
RJK-80	1977-09-08	90,30/32,05	5	20	500	(17500/15)	1320±70/48±0,6	8,7±0,3		Allgóð.

TAFLA 1. Frh.

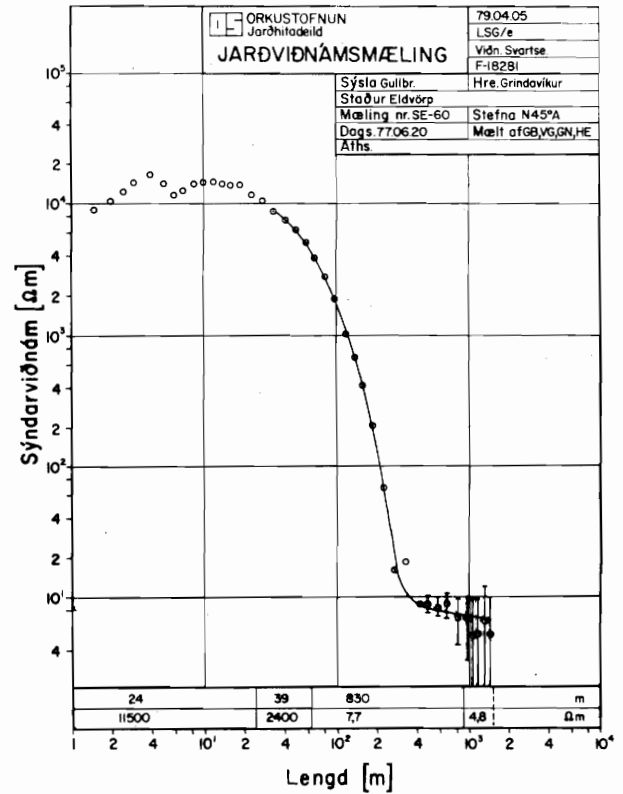
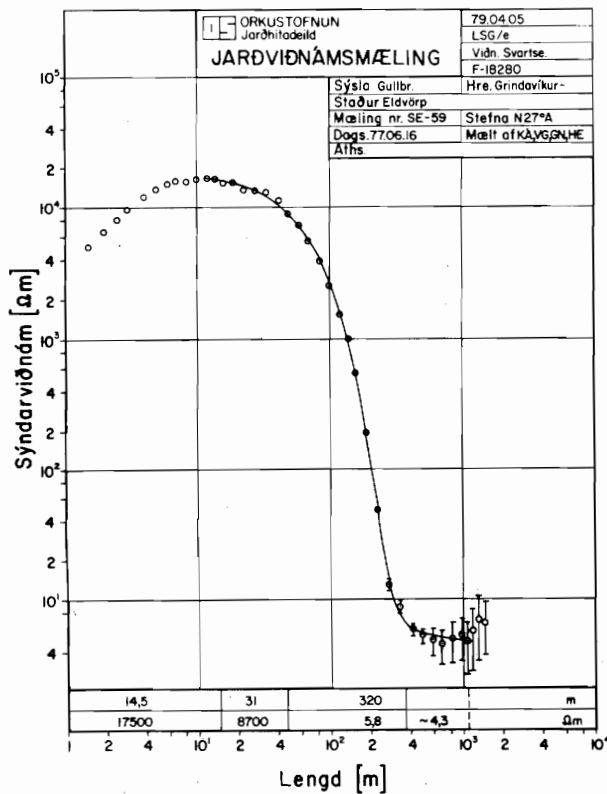
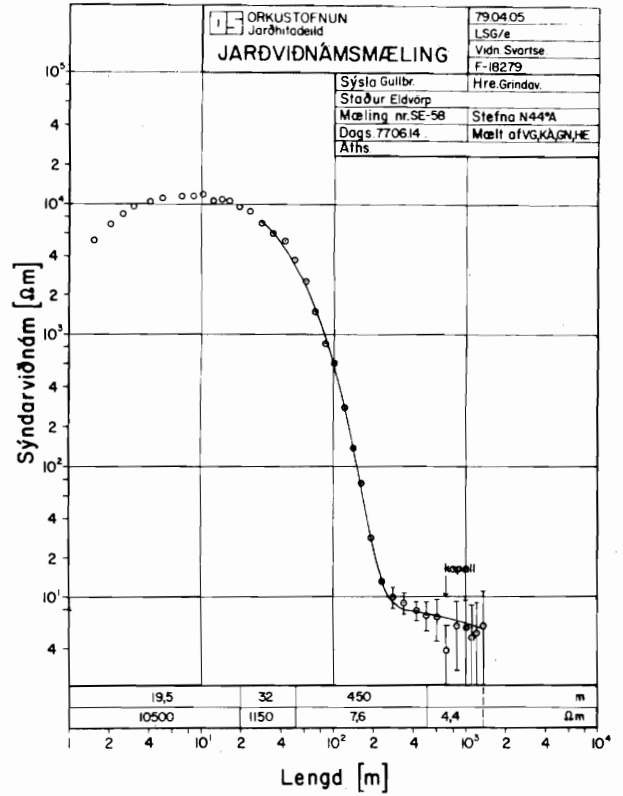
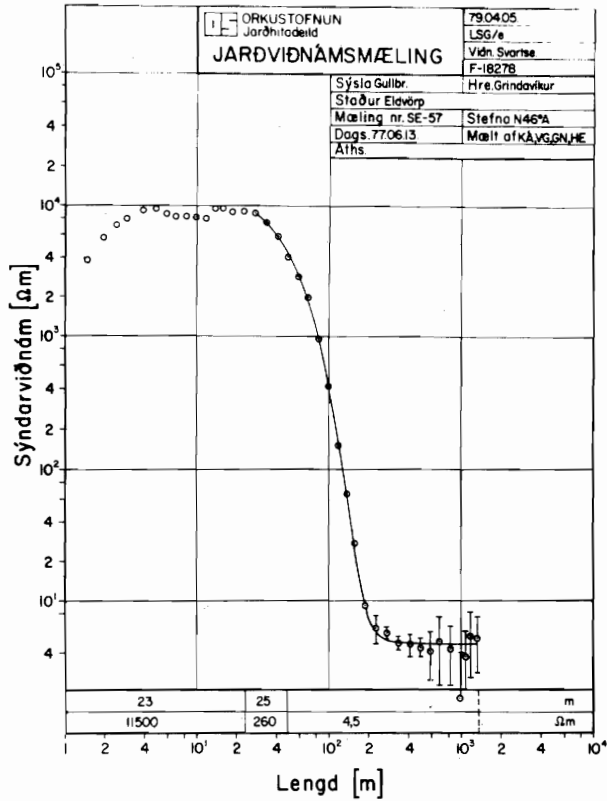
ATHUGASEMÐIR

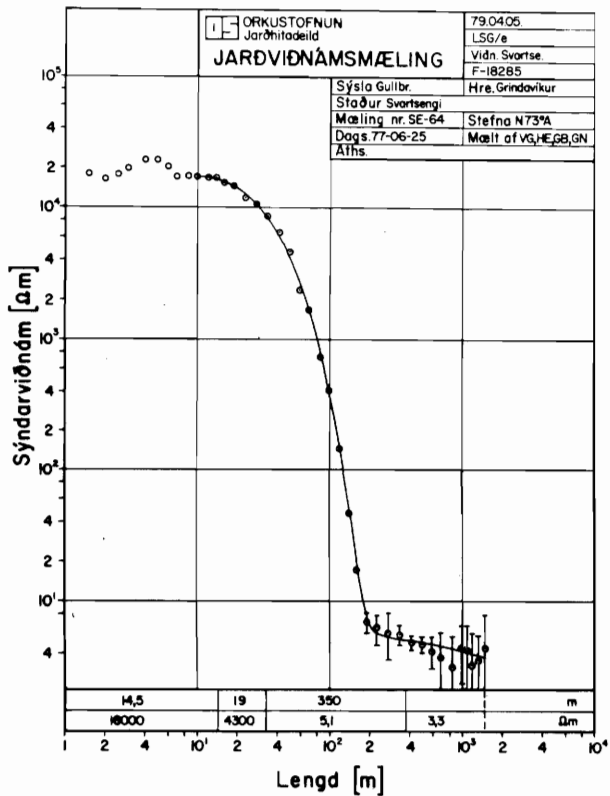
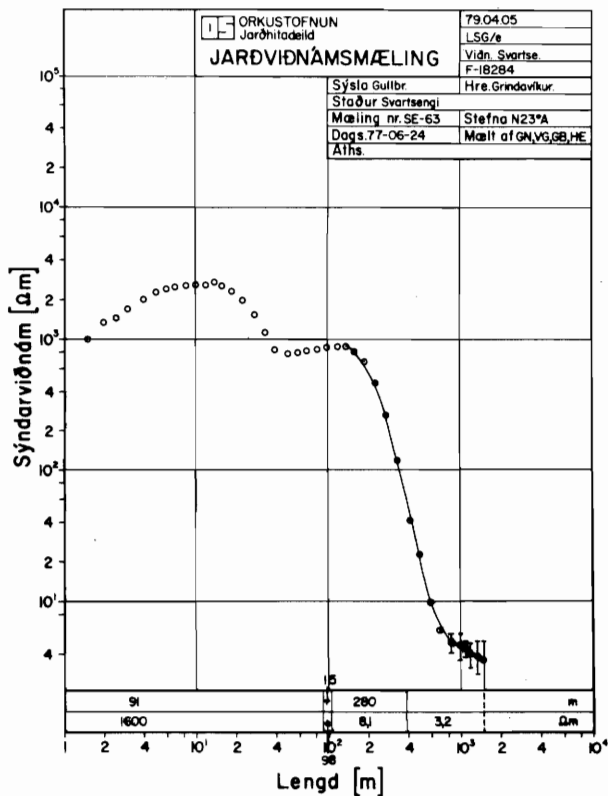
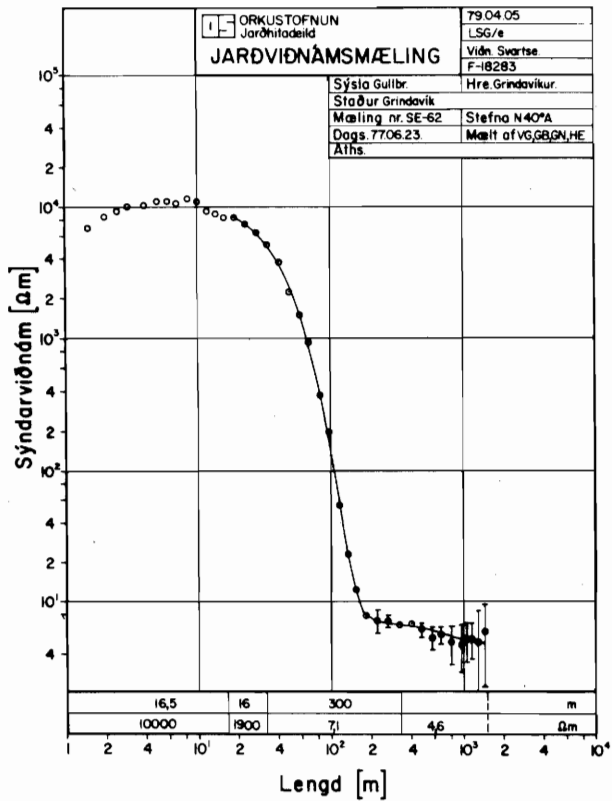
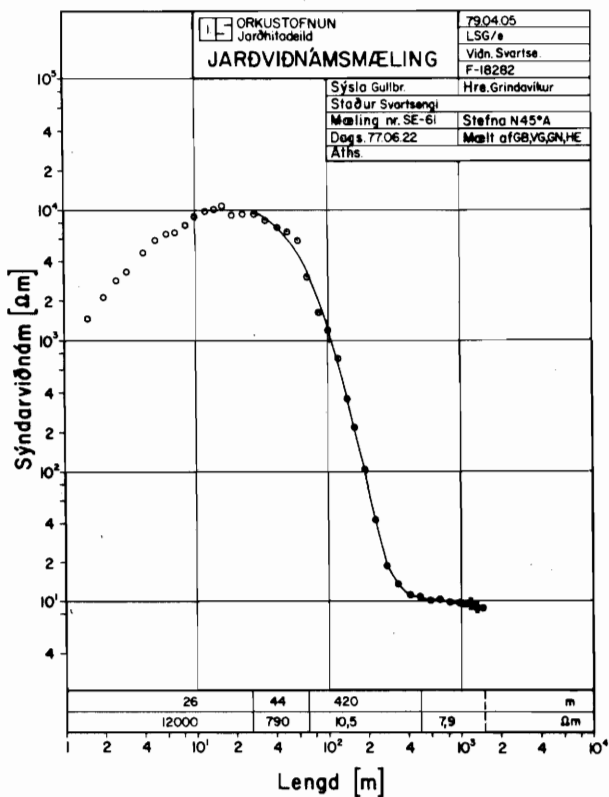
HEITI	MÉLIDAGUR	STAÐSETNING BREIDD/LENGD	STEFNA [°Rv]	HÆÐ YFIR SJÓ [m]	LENGD [m]	1. LAG Eðlisvínám/pykktt [Ωm/m]	2. LAG Eðlisvínám/pykktt [Ωm/m]	3. LAG Eðlisvínám/pykktt [Ωm/m]	4. LAG Eðlisvínám [Ωm]
-------	-----------	-----------------------------	-----------------	------------------------	--------------	---------------------------------------	---------------------------------------	---------------------------------------	------------------------------

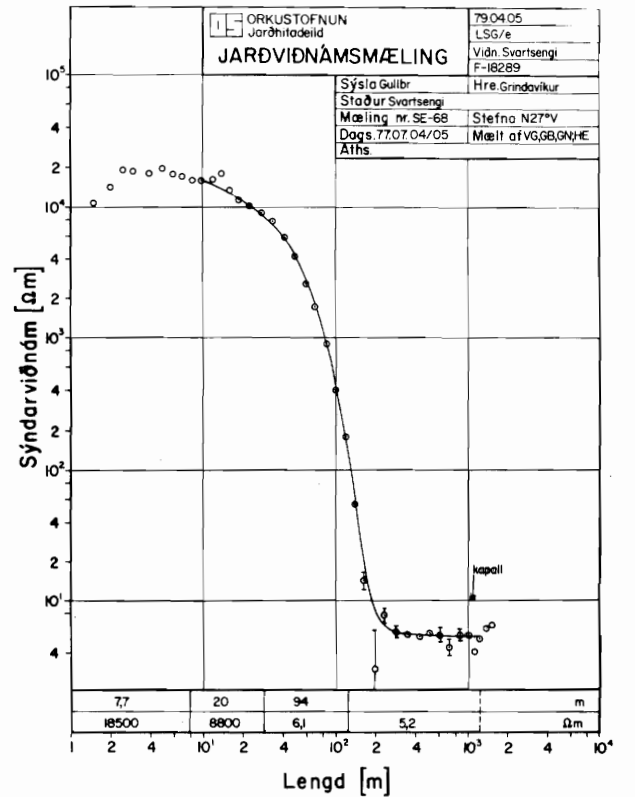
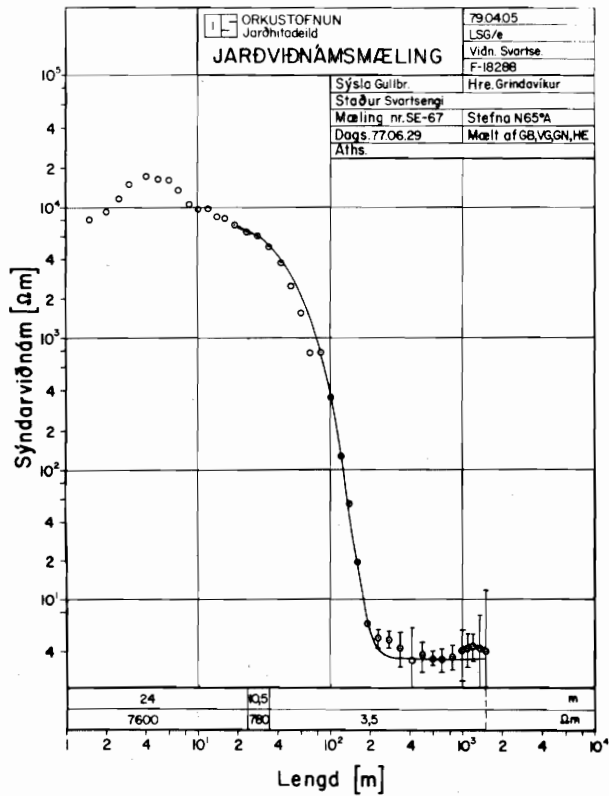
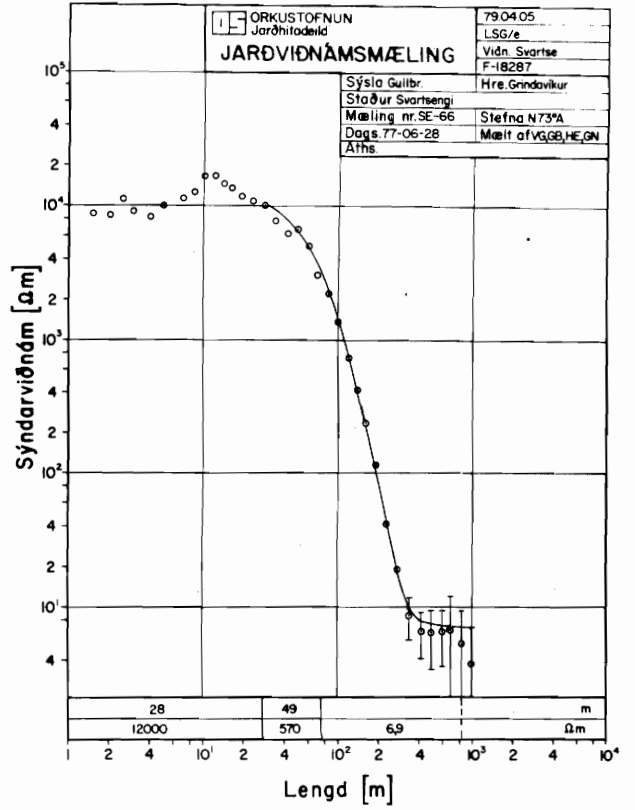
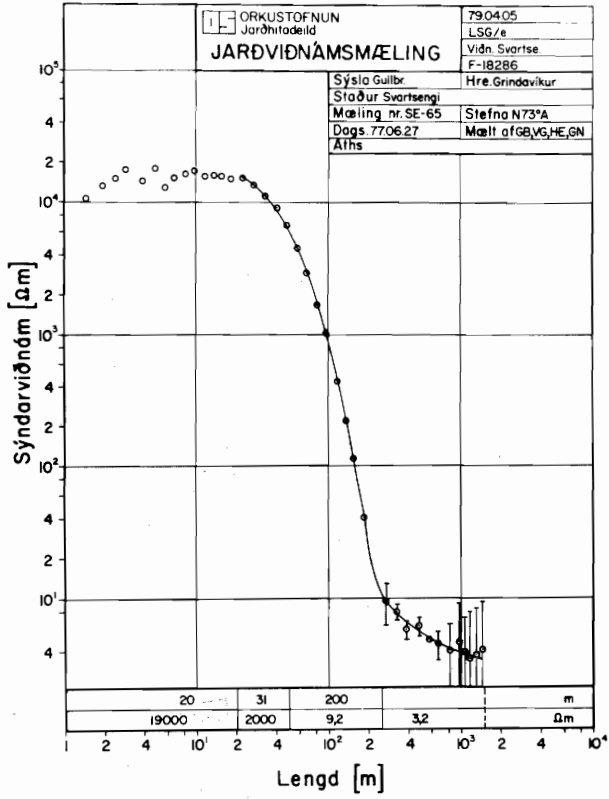
RJK-81	1977-09-09	92,85/32,45	25	10	315	3900/17,5	410±40/49±1	5,4±0,4	Allgóð en heldur stutt.
RJK-82	1977-09-09	92,85/32,95	46	25	500	9100/38	87 ⁺⁶⁵ ₋₃₅ /70±10	6,6±0,5	Sæmileg.
RJK-83	1977-09-09	93,40/32,95	54	20	500	6000/26	760±180/37±2	5,6±0,2	"
RJK-84	1977-09-13	92,80/35,50	21	45	500	12000/53	400 ⁺⁶⁰⁰ ₋₂₈₀ /13±9	5,2±0,2	" en heldur stutt.
RJK-85	1977-09-13	92,15/34,75	50	40	400	13500/51	510 ⁺⁴⁵⁰ ₋₂₇₀ /24±9	<15 (∞9)	Sæmileg en of stutt.
RJK-86	1977-09-13	91,75/34,30	24	40	500	{ 43000/211 7300±900/43±2	850±450/21±7	<20	Nothæf.
RJK-87	1977-09-14	83,75/32,00	60	70	500	{ 15000/46 5600/49	490 ⁺⁴⁷⁰ ₋₂₈₀ /21±10	<15	Sæmileg ferskvatnsmæling.
RJK-88	1977-09-14	83,60/33,05	22	90	500	{ 17000/30 8400/52	1130±80/44±1	<8 (∞4,5)	"
RJK-90	1978-06-13	92,05/29,10	55	10	315	2900/15,5	5200±800/32±1	8,5±0,3	Sæmileg en heldur stutt.
RJK-91	1978-06-13						200 ⁺¹⁴⁰ ₋₉₀ /55 ⁺¹² ₋₇	<30	Ónothæf.
RJK-92	1978-06-15	88,50/30,05	0	30	400	{ 32000/10 19500/16	980±330/34±3	<35	Allgóð.
RJK-93	1978-06-15	85,85/30,05	0	35	250	17000/34	1250±80/45±0,5	<14	Allgóð ferskvatnsmæling.
RJK-94	1978-06-19						1340±70/48±1	8,1±0,3	Ónothæf.
RJK-95	1978-06-19	86,65/27,65	∞45	26	200	12000/26	1380±150/49±1	<8 (2?)	Sæmileg en heldur stutt.
RJK-96	1978-06-20	90,80/28,95	∞45	20	250	6100/14	1090±40/51±1	<35	Ónothæf.
RJK-97	1978-06-20	91,15/29,55	∞45	15	400	8700/16	540±20/56±1	5,0±0,2	Góð ferskvatnsmæling.
RJK-98	1978-06-21	88,00/27,55	35	20	315	13500/20	1330±100/40±1	<13	Allgóð.
RJK-99	1978-06-21						340±130/44±5	<16	Góð ferskvatnsmæling.
RJK-100	1978-06-22	89,25/26,45	∞45	15	250	1630/10	220±30/51±5	<30	"
RJK-101	1978-06-21	89,00/26,00	30	15	400	12000/12,5	620±20/44±0,5	7,4±0,2	"
RJK-102	1978-06-29	91,25/25,20	∞45	20	250	8100/15,5	2900±500/27±1	5,8±0,2	Sæmileg.
RJK-103	1978-06-29	90,70/25,00	∞45	20	315	14000/26,5	1900±100/44±2	8,6±0,4	"
RJK-104	1978-09-01	89,25/27,80	∞45	15	200	6600/19			
RJK-105	1978-10-10	93,50/31,80	45	5	400	5400/10,5			
RJK-106	1978-10-10	86,90/25,05	45	25	400	13500/23			
RJK-107	1978-10-10	90,95/27,20	45	15	400	5000/15			

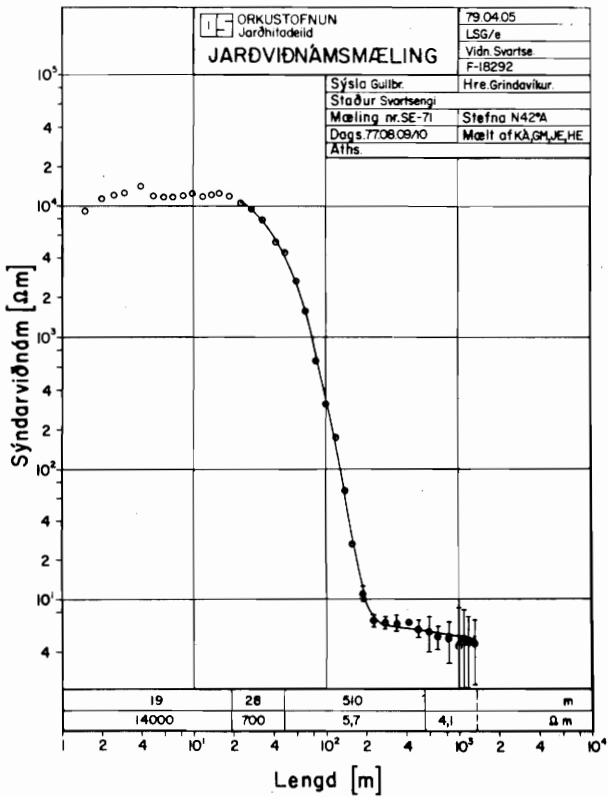
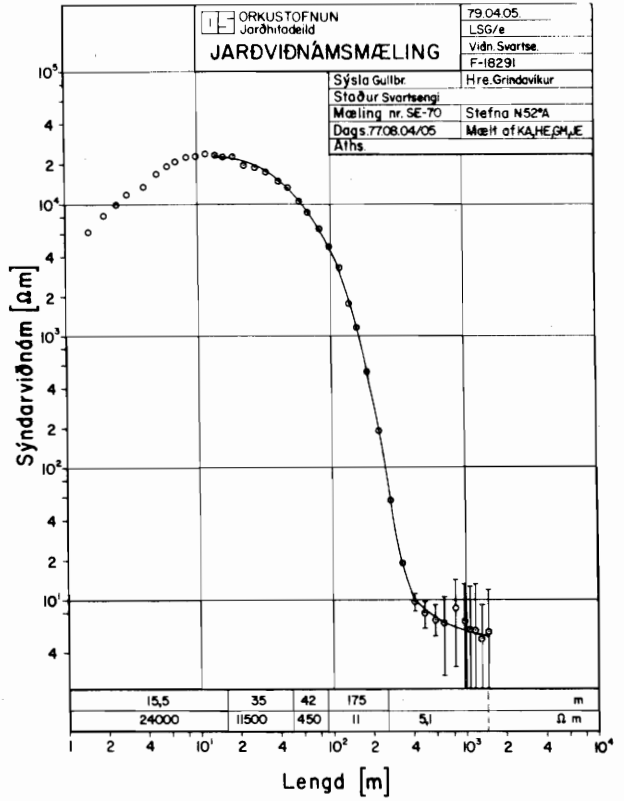
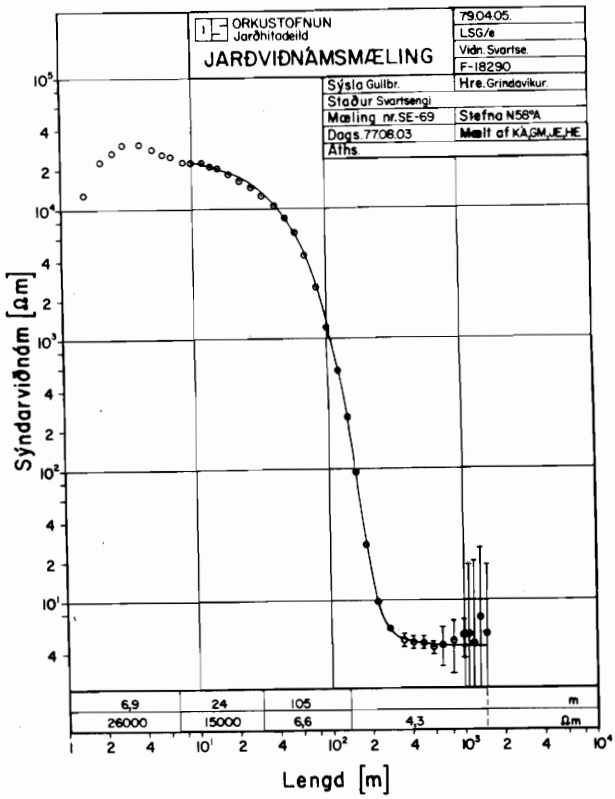
VIÐAUKI C

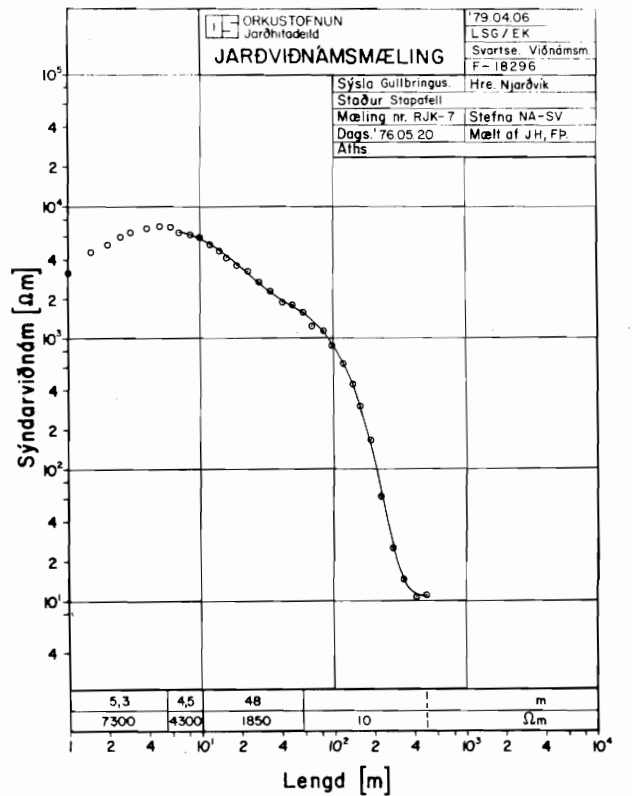
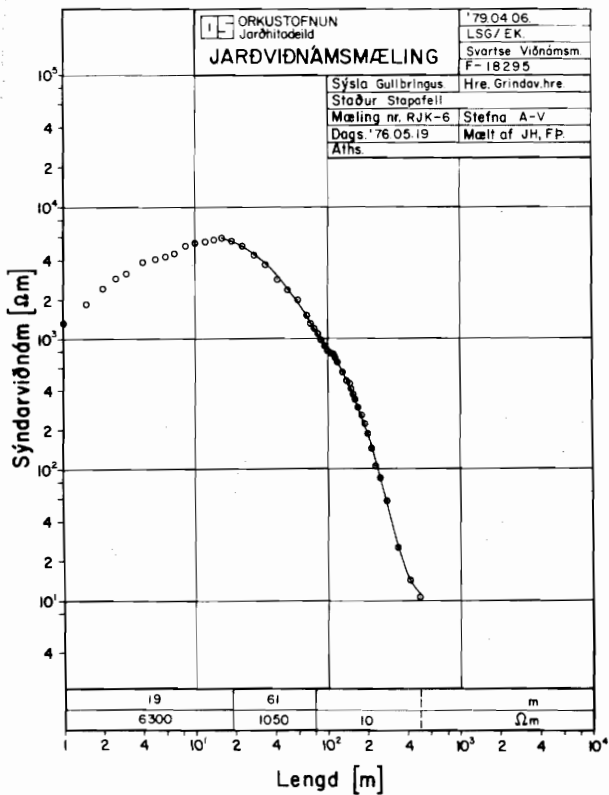
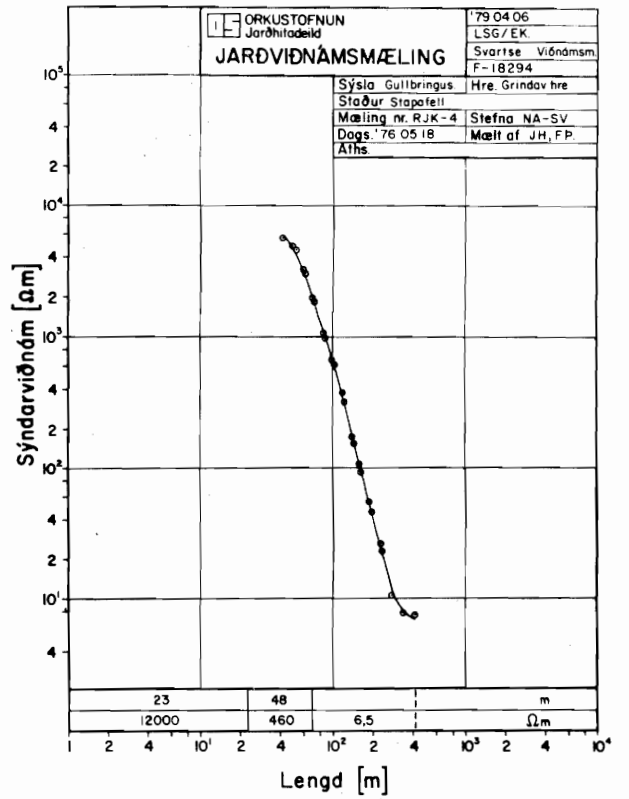
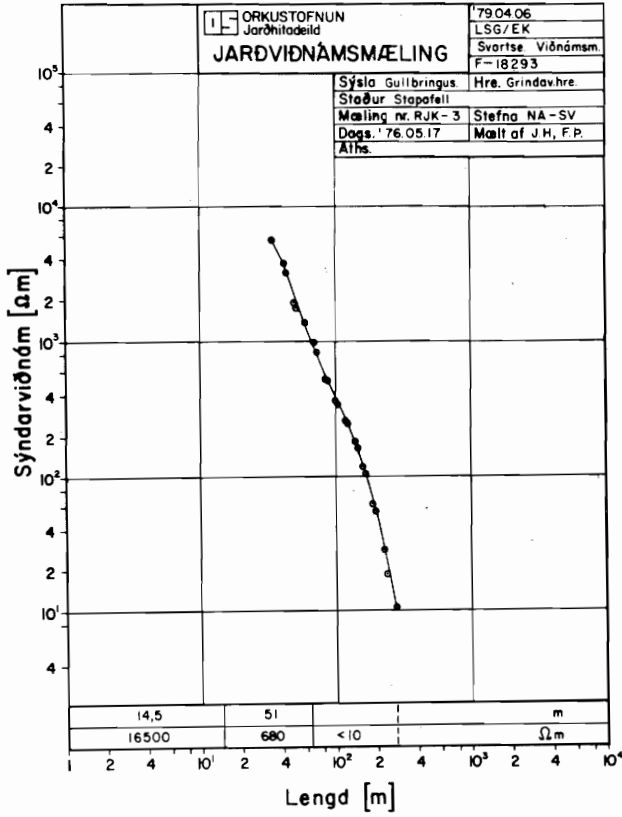
Viðnámsmæliferlar

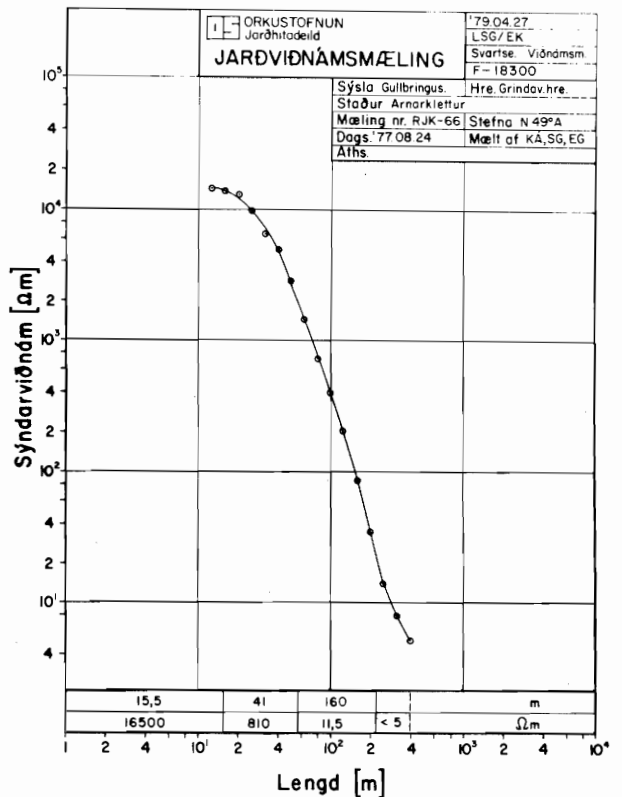
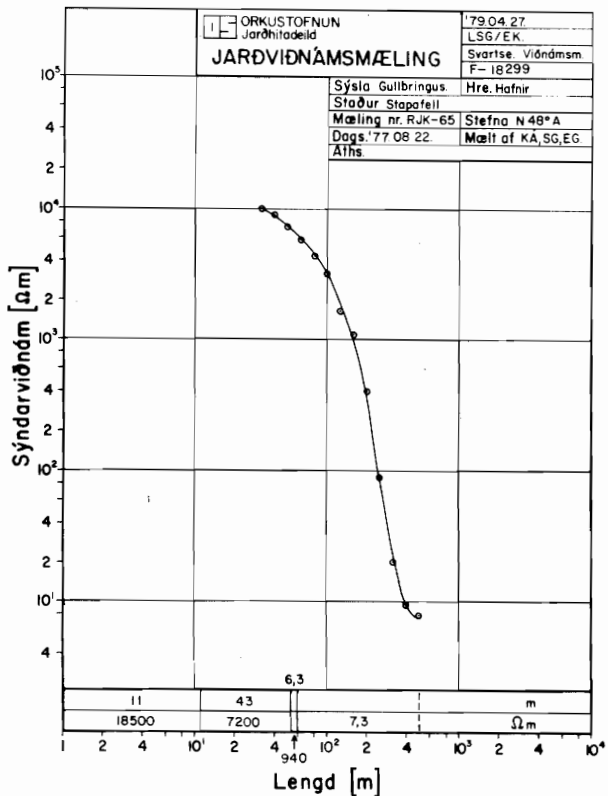
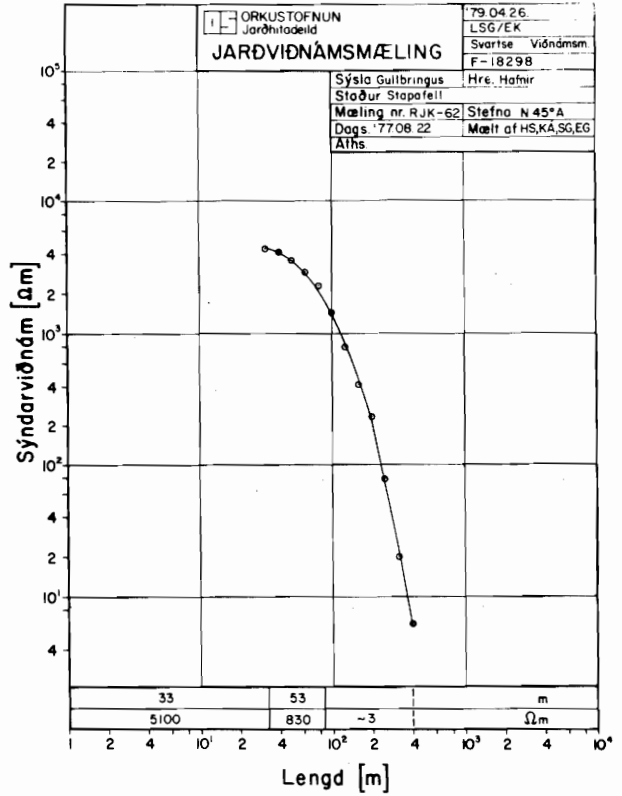
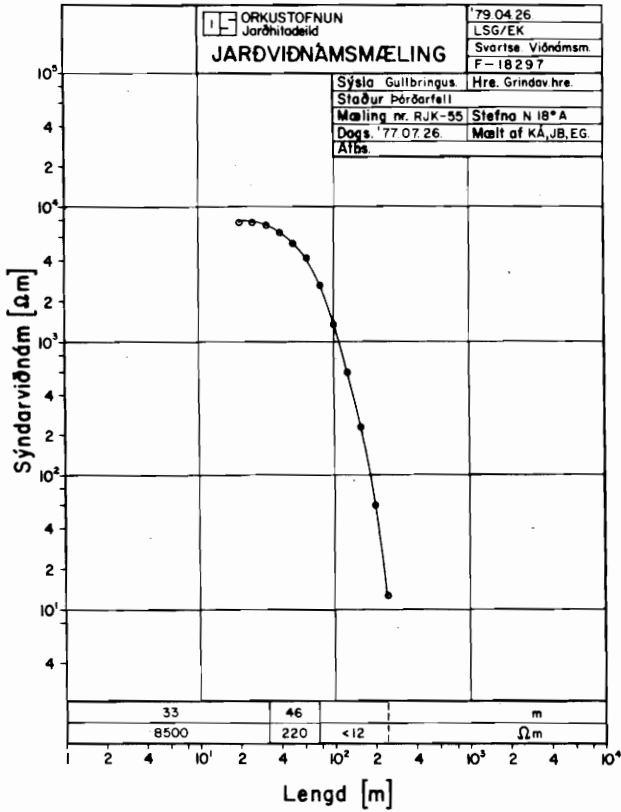


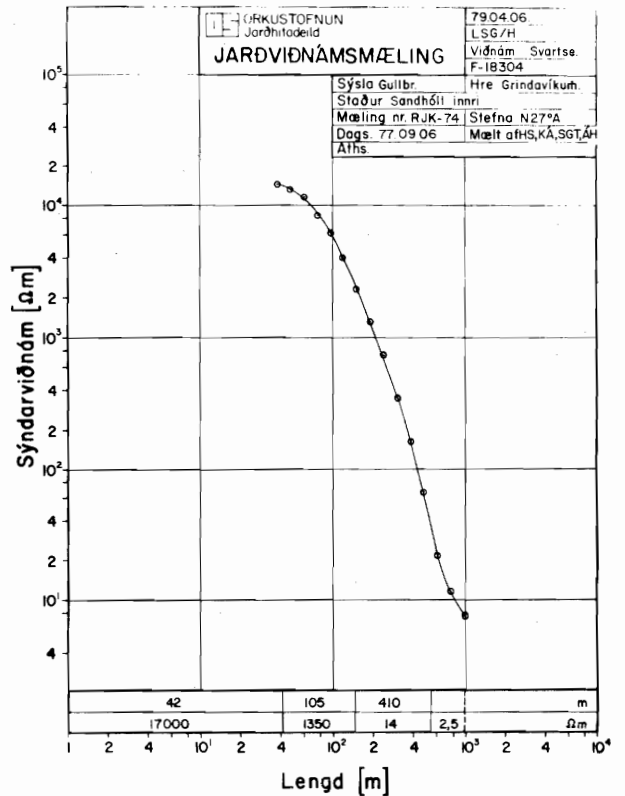
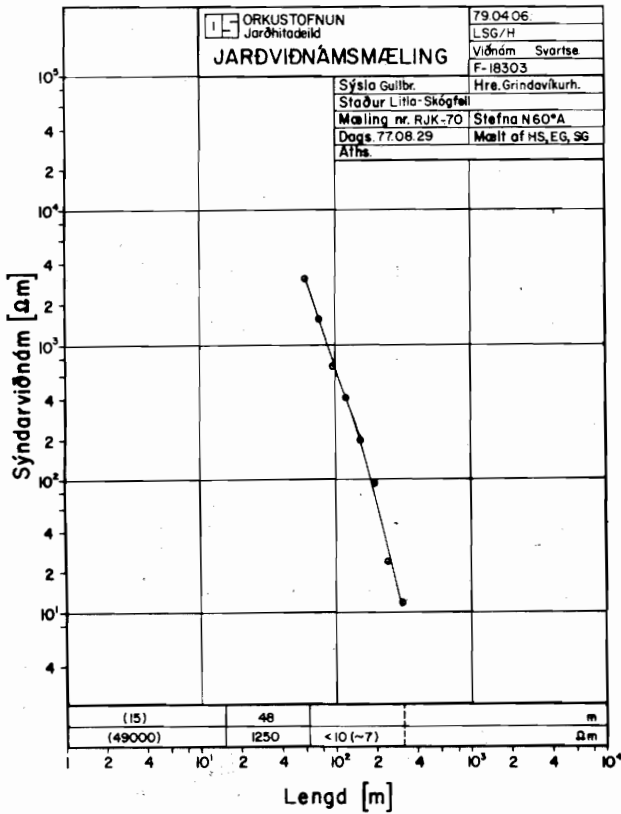
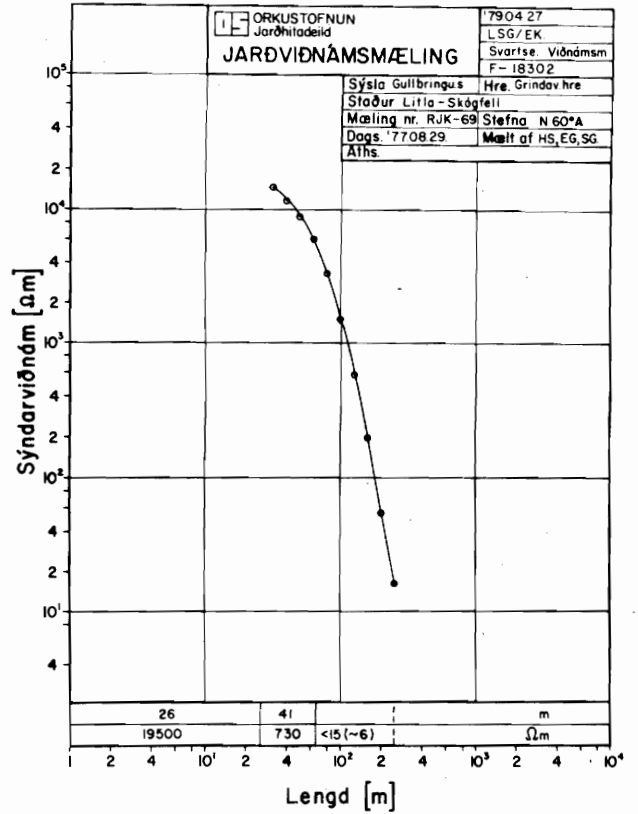
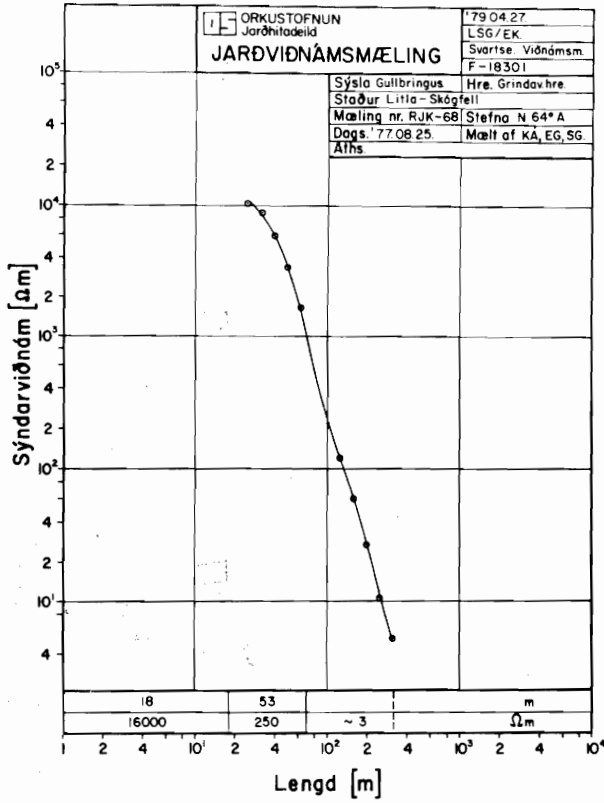


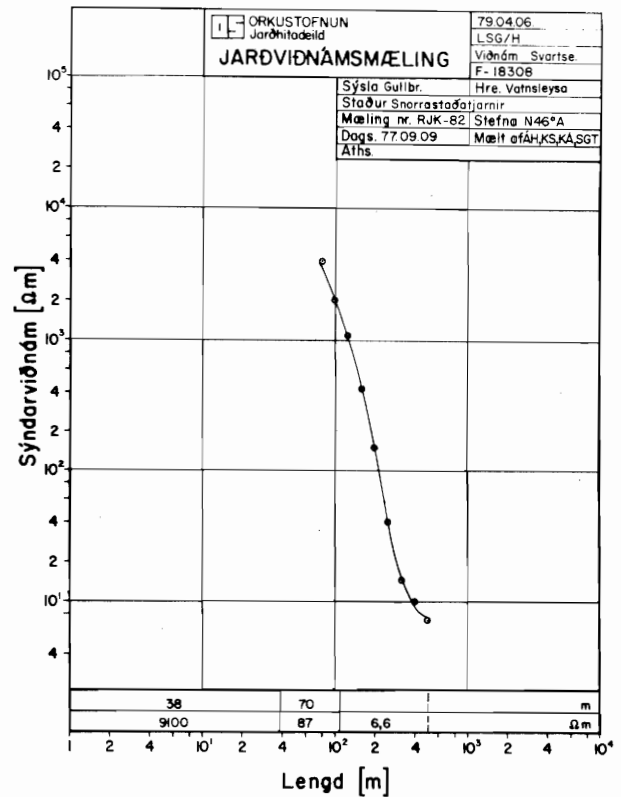
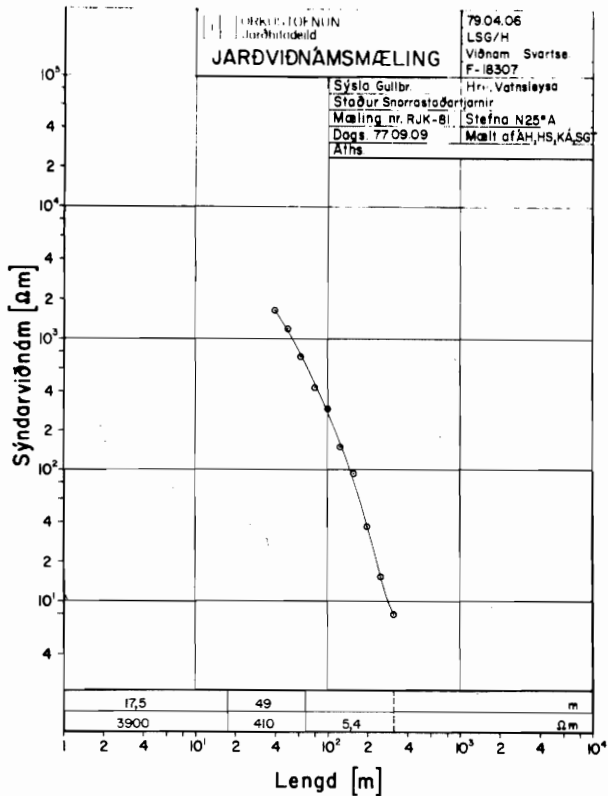
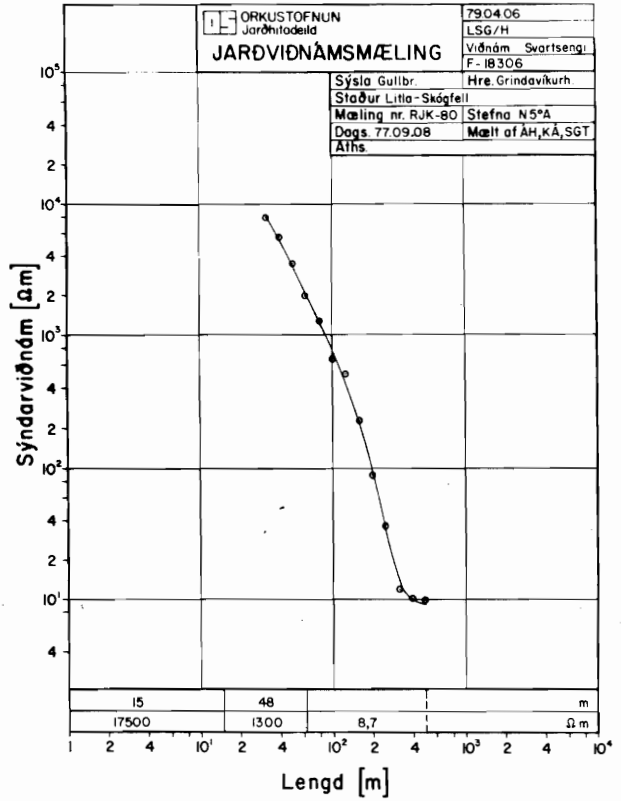
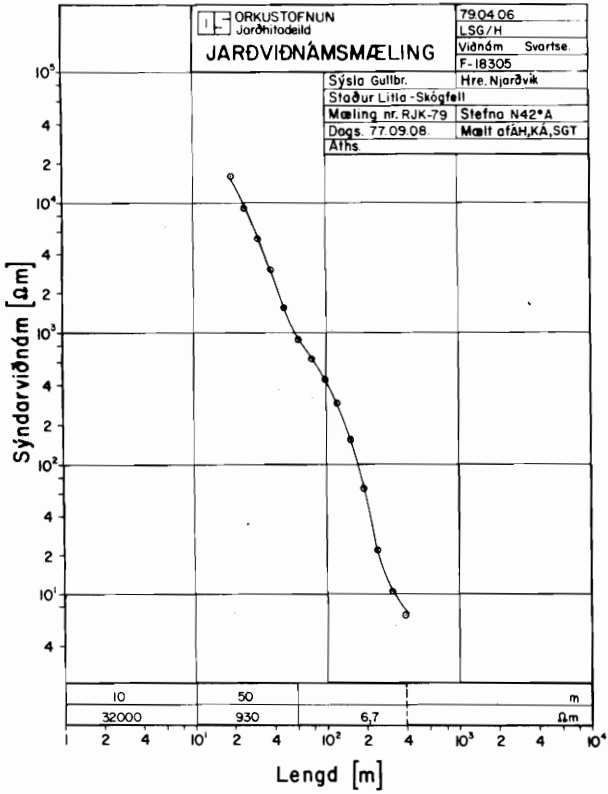


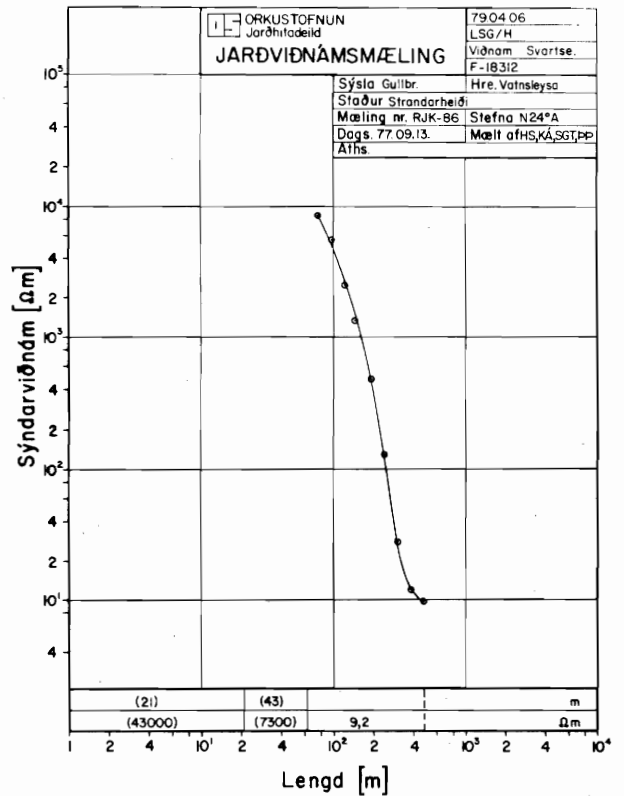
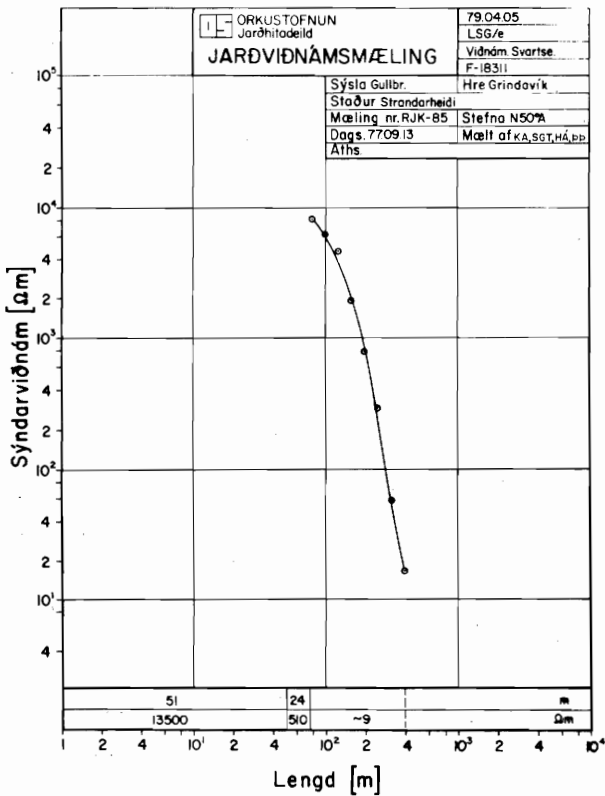
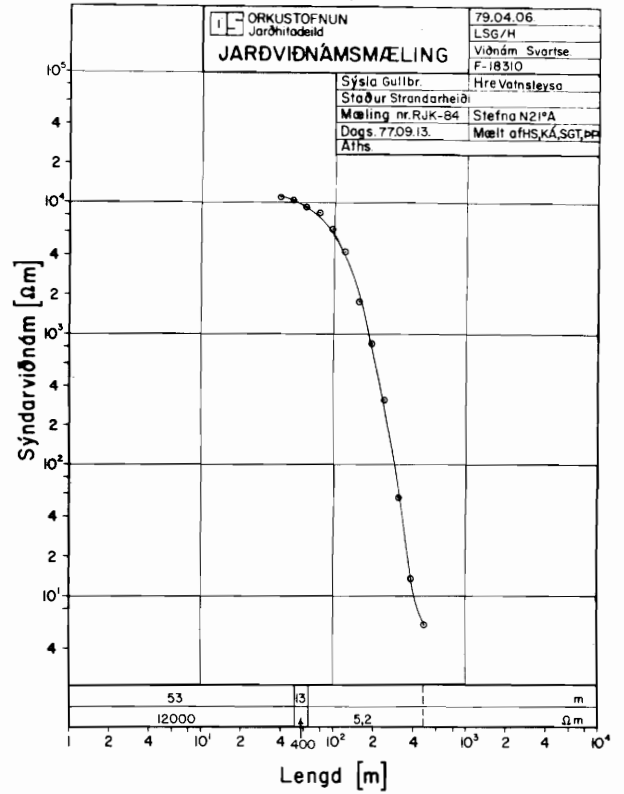
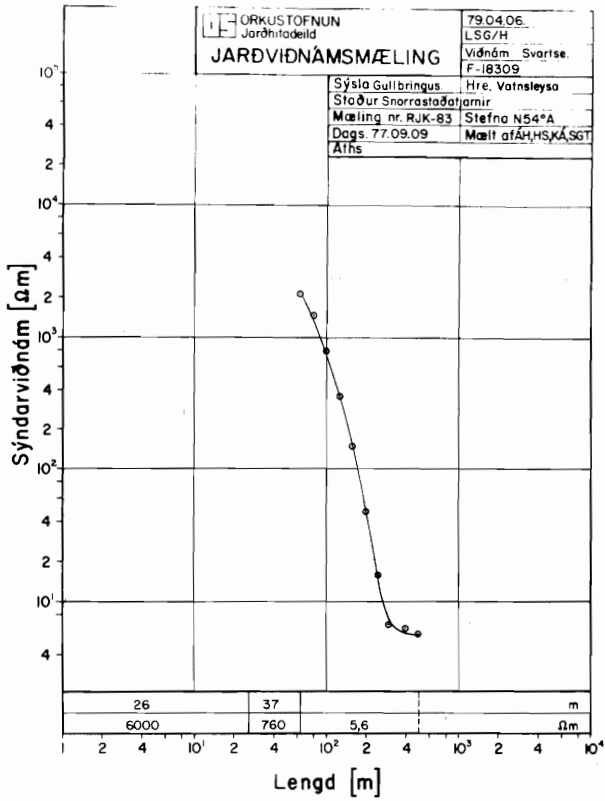


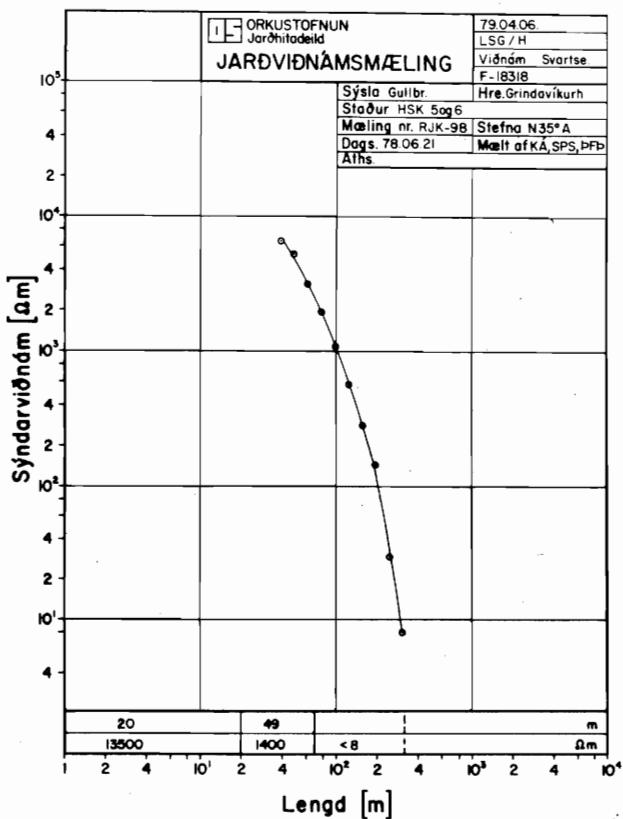
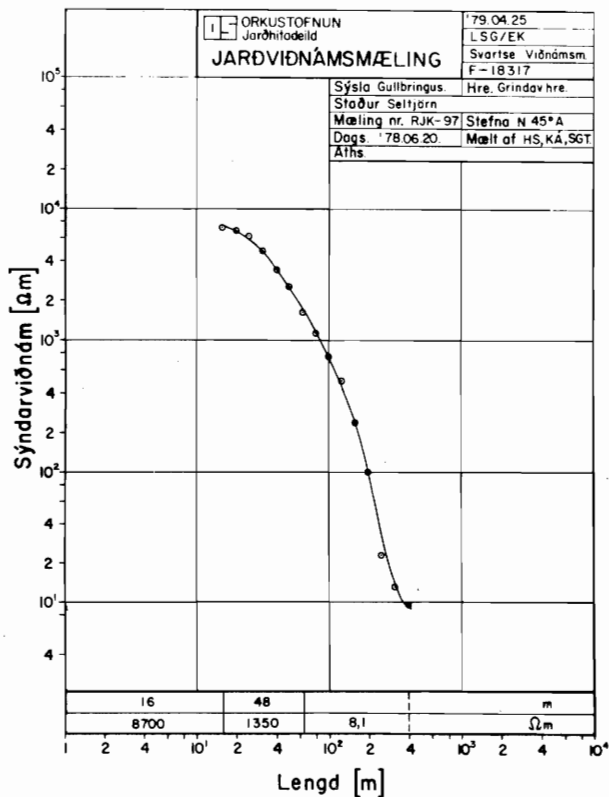
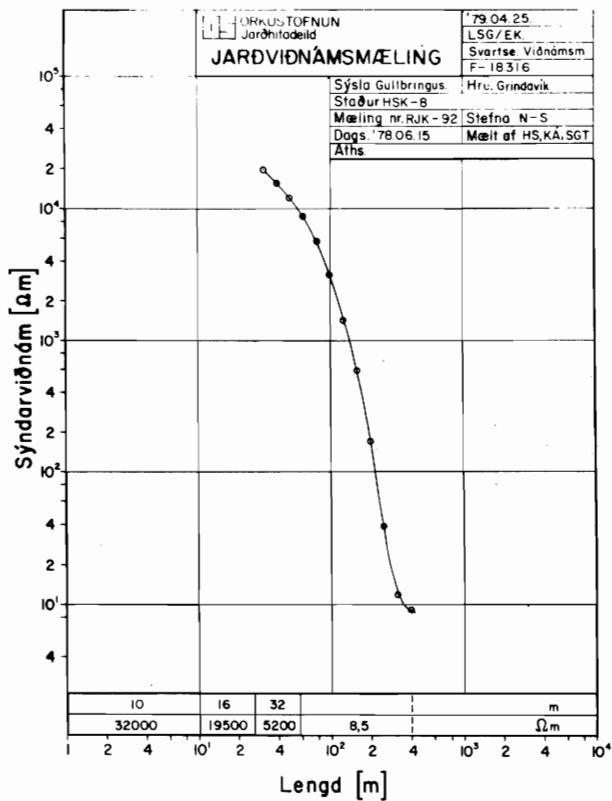
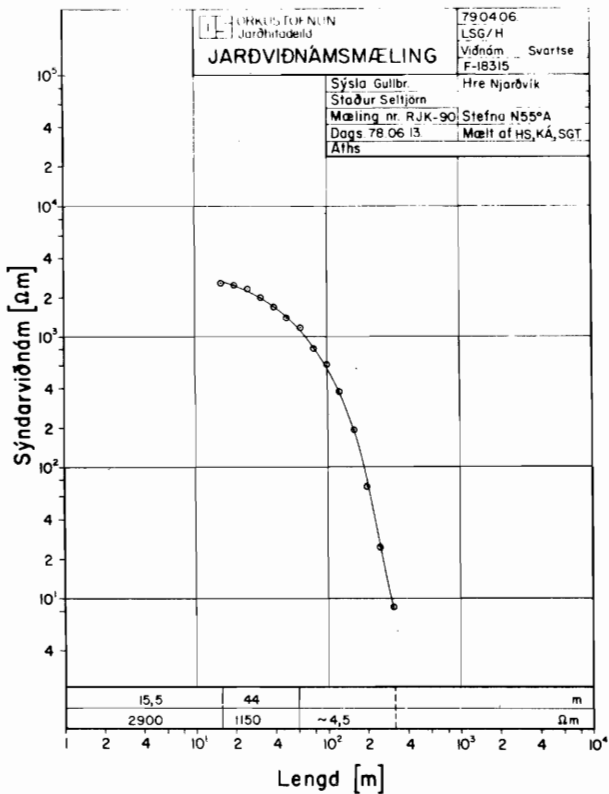


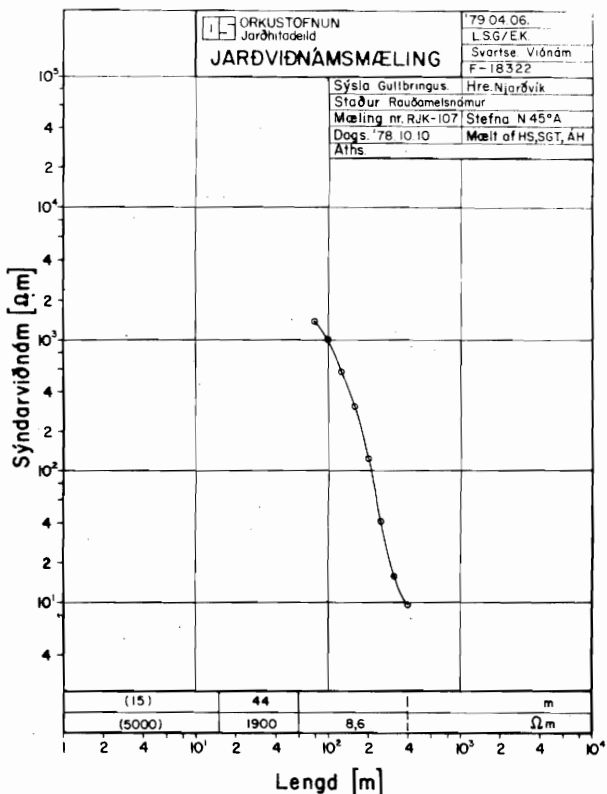
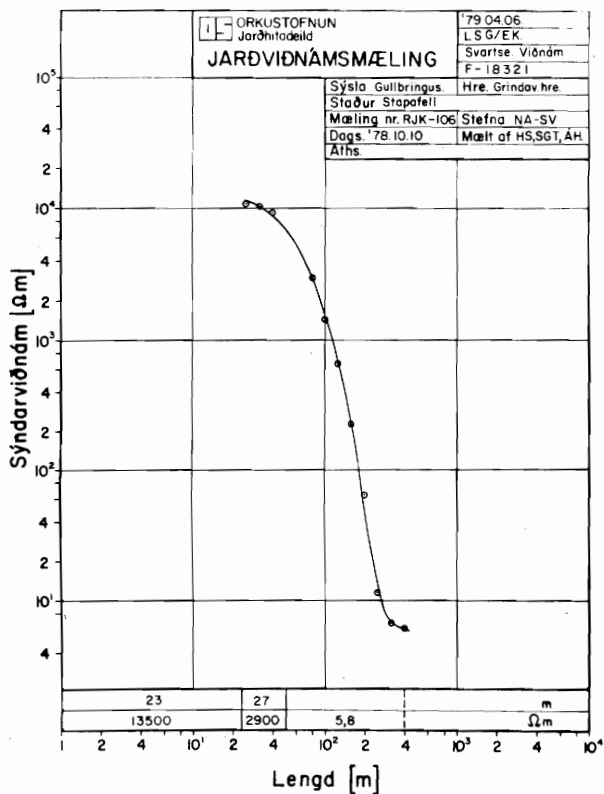
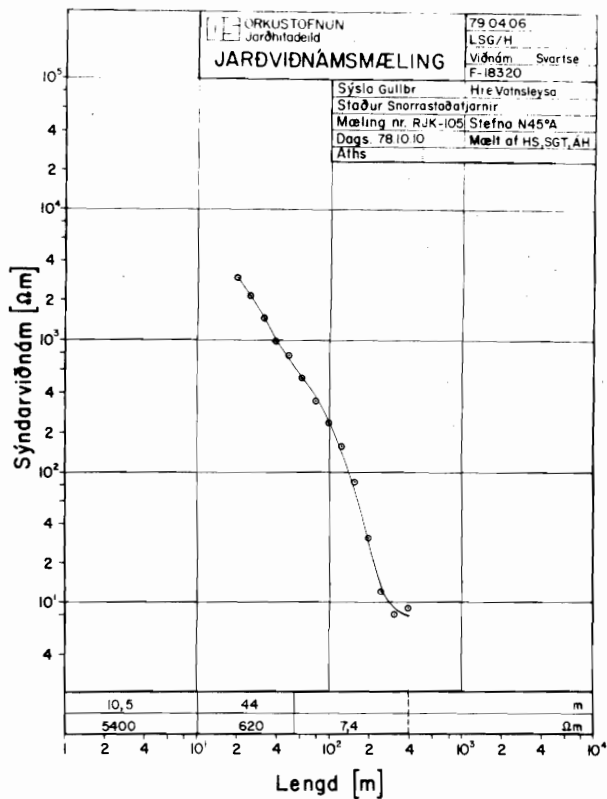
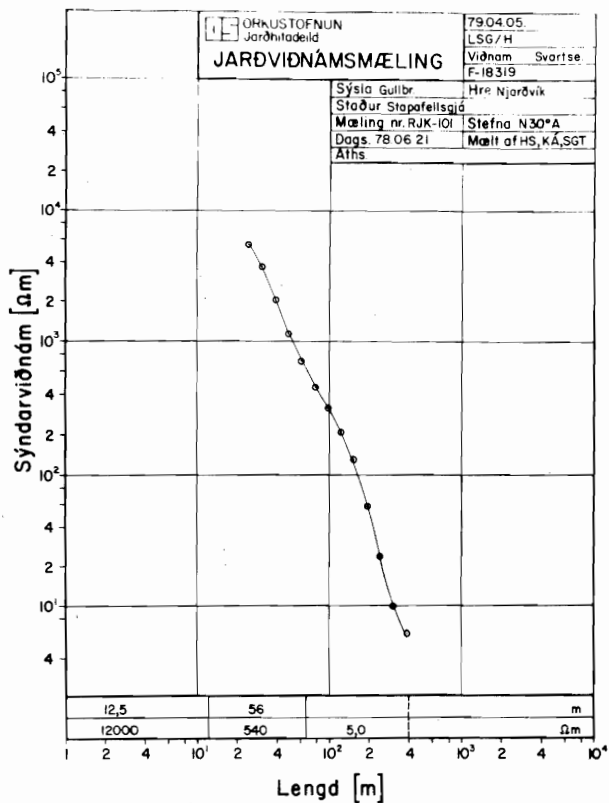












VIÐAUKI D

Dæmi um tölvuútskrift á túlkun mælingar.

SE65

NUMBER OF DATA POINTS 25
NUMBER OF LAYERS 4
NUMBER OF VARIABLE PARAMETERS 7

PROGRAM CONTROL PARAMETER 45

DEFINITION OF THE COLUMNS IN THE FOLLOWING OUTPUT

AID IDENTIFICATOR OF THE DATA
ATYPE TWO-DIGIT NUMBER AMN .
AMN =1 SIGNIFIES VES DATA
AMN =2 -E- MODULUS DATA , MAGNETOTELLURICS
AMN =3 -E- PHASE DATA , -E-

WHEN M IS NOT ZERO, THE DATA IS OF DFS TYPE
WHERE M SIGNIFIES FREQUENCY
ACCORDING TO THE FOLLOWING TABLE

M=1 F=222HZ
M=2 F=444HZ
M=3 F=888HZ
M=4 F=1777HZ
M=5 F=3555HZ

AND N IDENTIFIES THE CONFIGURATION AS FOLLOWS

N=1 HORIZONTAL LOOPS, IN-PHASE
N=2 -E- , OUT-OF-PHASE
N=3 PERPENDICULAR LOOPS, IN-PHASE
N=4 -E- , OUT-OF-PHASE
N=5 VERTICAL COPLANAR LOOPS, IN-PHASE
N=6 -E- , OUT-OF-PHASE

AR CONTAINS AB/2 IN METERS FOR VES DATA,
FREQUENCY FOR MAGNETOTELLURIC DATA AND R FOR DFS DATA
AMEAS CONTAINS EITHER THE APPARENT RESISTIVITY IN OHM.M
THE PHASE IN DEGREES OR THE MUTUAL COUPLING RATIO
IN PERCENTAGE UNITS (P.U.), WITH
A BIAS OF 100 P.U. SUBTRACTED FROM TYPE 1 MEASUREMENTS.

AST.DEV CONTAINS THE RELATIVE ERROR IN PERCENT
FOR THE VES AND MT-MODULUS MEASUREMENTS
AND THE ABSOLUTE ERROR IN DEGREES AND IN P.U. FOR
THE MT-PHASE DATA AND THE DFS-DATA, RESPECTIVELY.
DEFAULT VALUES ARE 3.5 PERCENT AND 1.0 P.U., RESPECTIVELY.

THE FOLLOWING MEASUREMENTS ARE INCLUDED

ID	TYPE	R	MEAS	ST.DEV
1	1	2.3	15504.0	3.5
2	1	2.8	13220.0	3.5
3	1	3.4	11146.0	3.5
4	1	4.2	9151.0	3.5
5	1	5.0	6765.0	3.5
6	1	6.0	4433.0	3.5
7	1	7.0	2923.0	3.5
8	1	8.5	1669.0	3.5
9	1	10.0	1031.0	3.5
10	1	12.0	444.8	3.5
11	1	14.0	222.8	3.5
12	1	16.0	115.0	3.5
13	1	19.0	40.2	3.5
14	1	28.0	9.6	34.0
15	1	34.0	8.0	10.0
16	1	42.0	5.9	16.1
17	1	50.0	6.3	17.0
18	1	60.0	4.9	8.4
19	1	70.0	4.6	26.0
20	1	85.0	4.1	58.0
21	1	100.0	4.7	97.0
22	1	110.0	3.9	84.0
23	1	120.0	3.5	100.0
24	1	135.0	3.7	100.0
25	1	150.0	4.1	100.0

ITERATION NUMBER	1						
LAYER	RHO	CORR.	ST.DEV.	THICKN.	CORR.	ST.DEV.	DEPTH
1	15000.00	2428.756	207.202	3.00	-1.342	0.014	3.00
2	3000.00	-537.627	57.942	3.00	1.743	0.038	6.00
3	8.00	2.596	0.618	30.00	-12.595	3.953	36.00
4	0.300 C1	0.124	0.698				
=====							
MEANSQUARE=		0.54810 C4					

ITERATION NUMBER 2							
LAYER	RHO	CORR.	ST.DEV.	THICKN.	CORR.	ST.DEV.	DEPTH
1	17428.80	119.628	341.313	1.66	0.241	0.015	1.66
2	2462.37	-140.025	31.033	4.74	-1.272	0.030	6.40
3	10.60	15.119	1.345	17.40	-4.607	1.546	23.81
4	0.310 01	-0.030	0.342				

MEANSQUARE= 0.10410 04

ITERATION NUMBER 3							
LAYER	RHO	CORR.	ST.DEV.	THICKN.	CORR.	ST.DEV.	DEPTH
1	17548.42	1309.487	301.016	1.90	0.047	0.012	1.90
2	2322.34	-0.907	33.457	3.47	-0.575	0.022	5.37
3	25.71	-10.855	2.109	12.80	1.049	0.588	18.17
4	0.310 01	0.455	0.268				

MEANSQUARE= 0.17540 02

ITERATION NUMBER 4							
LAYER	RHO	CORR.	ST.DEV.	THICKN.	CORR.	ST.DEV.	DEPTH
1	18857.91	-38.610	308.799	1.95	0.035	0.010	1.95
2	2321.44	-285.563	34.902	2.90	0.140	0.018	4.84
3	14.86	-4.122	1.175	13.85	1.842	0.953	18.69
4	0.360 01	0.001	0.297				

MEANSQUARE= 0.14290 02

ITERATION NUMBER 5							
LAYER	RHO	CORR.	ST.DEV.	THICKN.	CORR.	ST.DEV.	DEPTH
1	18819.30	-22.060	300.630	1.98	0.005	0.009	1.98
2	2035.87	-43.960	31.195	3.04	0.024	0.019	5.02
3	10.74	-1.200	0.930	15.69	2.437	1.428	20.70
4	0.360 01	-0.136	0.326				

MEANSQUARE= 0.13730 02

ITERATION NUMBER 6							
LAYER	RHO	CORR.	ST.DEV.	THICKN.	CORR.	ST.DEV.	DEPTH
1	18797.24	-3.089	299.124	1.99	0.001	0.009	1.99
2	1991.91	-11.657	30.490	3.06	0.007	0.019	5.05
3	9.54	-0.276	0.775	18.13	1.369	1.763	23.17
4	0.350 01	-0.141	0.364				

MEANSQUARE= 0.13650 02

ITERATION NUMBER 7							
LAYER	RHO	CORR.	ST.DEV.	THICKN.	CORR.	ST.DEV.	DEPTH
1	18794.15	-1.508	298.770	1.99	0.001	0.009	1.99
2	1980.26	-4.826	30.314	3.07	0.003	0.019	5.05
3	9.26	-0.100	0.720	19.49	0.601	1.874	24.55
4	0.330 01	-0.084	0.383				

MEANSQUARE= 0.13640 02

THEORETICAL DATA

1	1	2.30	15326.869376273	0.03
2	1	2.80	13583.823957535	0.03
3	1	3.40	11421.436723155	0.03
4	1	4.20	8754.049831666	0.03
5	1	5.00	6545.566560679	0.03
6	1	6.00	4474.378045627	0.03
7	1	7.00	3039.548454997	0.03
8	1	8.50	1708.733908217	0.03
9	1	10.00	970.976590919	0.03
10	1	12.00	463.205533966	0.03
11	1	14.00	224.564383828	0.03
12	1	16.00	109.607434442	0.03
13	1	19.00	41.374568122	0.03
14	1	28.00	9.213117472	0.34
15	1	34.00	7.508249102	0.10
16	1	42.00	6.500659988	0.16
17	1	50.00	5.740295639	0.17

18	1	60.00	5.019170895	0.08
19	1	70.00	4.511117511	0.26
20	1	85.00	4.032831408	0.58
21	1	100.00	3.758354758	0.97
22	1	110.00	3.640913383	0.84
23	1	120.00	3.557302968	1.00
24	1	135.00	3.472032754	1.00
25	1	150.00	3.415575792	1.00

-1...

ITERATION NUMBER	1						
LAYER	KFD	CORR.	ST.DEV.	THICKN.	CORR.	ST.DEV.	DEPTH
1	18792.64	-0.000	298.616	1.99	-0.000	0.009	1.99
2	1975.43	0.0	30.244	3.07	-0.000	0.019	5.06
3	9.16	-0.000	0.699	20.10	-0.000	1.907	25.15
4	0.320 01	-0.000	0.389				

MEANSQUARE= 0.0

LOGARITHMIC EIGENVALUES

1	2	3	4	5	6	7
0.260 03	0.590 02	0.340 02	0.170 02	0.600 01	0.410 01	0.120 01

ESTIMATED LOGARITHMIC SEMIAXES

0.380-02	0.100-01	0.300-01	0.580-01	0.170 00	0.250 00	0.610 00
----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

PARAMETER EIGENVECTORS

	1	2	3	4	5	6	7
RH01	-0.080	0.537	-0.827	0.054	-0.095	0.096	-0.010
D1	-0.787	0.467	0.344	-0.042	0.130	-0.158	0.021
RH02	-0.249	-0.088	0.124	0.048	-0.529	0.785	-0.130
D2	-0.558	-0.695	-0.417	0.056	0.047	-0.155	0.038
RH03	-0.020	-0.046	-0.087	-0.617	0.557	0.390	-0.318
D3	-0.002	-0.007	-0.026	-0.628	-0.256	-0.010	0.734
RH04	-0.001	-0.003	-0.014	-0.463	-0.520	-0.417	-0.584

ACTUAL SEMIAXES OF 68 PERCENT CONFIDENCE ELLIPSOID IN POSITIVE DIRECTION OF EIGENVECTOR

0.380-02	0.100-01	0.300-01	0.580-01	0.160 00	0.220 00	0.610 00
----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

IN NEGATIVE DIRECTION OF EIGENVECTOR

0.380-02	0.100-01	0.300-01	0.580-01	0.170 00	0.230 00	0.500 00
----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

EXTREME PARAMETER SETS

THE TWO MODELS EXTREMIZING RH01 ARE
MAX MIN

RH01	19505.42	18101.12
D1	1.92	2.07
DEPTH1	1.92	2.07

RH02	2284.81	1698.33
D2	3.01	3.13
DEPTH2	4.93	5.20

RH03	9.44	8.77
D3	19.39	21.36
DEPTH3	24.31	26.55

RH04	0.330 01	0.310 01
------	----------	----------

ID	TYPE	R	MAX	OPT	MIN
1	1	2.3	15680.6	15326.9	14976.6
2	1	2.8	13810.6	13583.8	13360.9
3	1	3.4	11529.0	11421.4	11322.1
4	1	4.2	8769.0	8754.0	8756.3
5	1	5.0	6525.8	6545.6	6590.1
6	1	6.0	4451.5	4474.4	4524.6
7	1	7.0	3027.7	3039.5	3076.3
8	1	8.5	1711.0	1708.7	1723.8
9	1	10.0	977.5	971.0	974.9
10	1	12.0	467.9	463.2	463.2
11	1	14.0	226.6	224.6	224.5
12	1	16.0	110.0	109.6	110.0
13	1	19.0	41.3	41.4	41.7
14	1	28.0	9.3	9.2	9.1
15	1	34.0	7.6	7.5	7.4
16	1	42.0	6.5	6.5	6.5
17	1	50.0	5.7	5.7	5.7
18	1	60.0	5.0	5.0	5.0
19	1	70.0	4.5	4.5	4.5
20	1	85.0	4.0	4.0	4.0
21	1	100.0	3.8	3.8	3.7
22	1	110.0	3.7	3.6	3.6
23	1	120.0	3.6	3.6	3.5
24	1	135.0	3.5	3.5	3.4
25	1	150.0	3.5	3.4	3.3

THE TWO MODELS EXTREMIZING D1 ARE
MAX MIN

RHO1	18209.06	19389.86
D1	2.08	1.90
DEPTH1	2.08	1.90

RHO2	1609.62	2407.43
D2	3.18	2.97
DEPTH2	5.26	4.87

RHO3	8.45	9.72
D3	22.53	18.69
DEPTH3	27.79	23.57

RHO4	0.300 01	0.330 01
------	----------	----------

ID	TYPE	R	MAX	OPT	MIN
1	1	2.3	15090.2	15326.9	15571.1
2	1	2.8	13470.2	13583.8	13712.4
3	1	3.4	11420.6	11421.4	11450.2
4	1	4.2	8834.1	8754.0	8718.5
5	1	5.0	6645.4	6545.6	6499.8
6	1	6.0	4556.0	4474.4	4447.2
7	1	7.0	3091.4	3039.5	3034.2
8	1	8.5	1726.6	1708.7	1721.4
9	1	10.0	974.1	971.0	985.2
10	1	12.0	462.4	463.2	471.3
11	1	14.0	224.5	224.6	227.6
12	1	16.0	110.3	109.6	110.0
13	1	19.0	41.9	41.4	41.1
14	1	28.0	9.0	9.2	9.3
15	1	34.0	7.3	7.5	7.6
16	1	42.0	6.4	6.5	6.5
17	1	50.0	5.7	5.7	5.7
18	1	60.0	5.0	5.0	5.0
19	1	70.0	4.5	4.5	4.5
20	1	85.0	4.0	4.0	4.1
21	1	100.0	3.7	3.8	3.8
22	1	110.0	3.5	3.6	3.7
23	1	120.0	3.4	3.6	3.6
24	1	135.0	3.3	3.5	3.6
25	1	150.0	3.3	3.4	3.5

THE TWO MODELS EXTREMIZING RHO2 ARE
MAX MIN

RHO1	19290.30	18302.23
D1	1.91	2.08
DEPTH1	1.91	2.08

RHO2	2430.30	1594.39
D2	2.95	3.20
DEPTH2	4.86	5.26

RHO3	9.95	8.22
D3	18.16	23.44
DEPTH3	23.02	28.71

RHO4	0.340 01	0.300 01
------	----------	----------

ID	TYPE	R	MAX	DPT	MIN
1	1	2.3	15517.2	15326.9	15147.6
2	1	2.8	13676.7	13583.8	13511.9
3	1	3.4	11433.3	11421.4	11445.1
4	1	4.2	8719.2	8754.0	8841.0
5	1	5.0	6509.8	6545.6	6641.6
6	1	6.0	4460.5	4474.4	4546.4
7	1	7.0	3046.3	3039.5	3081.2
8	1	8.5	1728.9	1708.7	1719.1
9	1	10.0	988.9	971.0	969.9
10	1	12.0	472.2	463.2	461.0
11	1	14.0	227.4	224.6	224.3
12	1	16.0	109.6	109.6	110.5
13	1	19.0	41.0	41.4	42.0
14	1	28.0	9.4	9.2	8.9
15	1	34.0	7.6	7.5	7.3
16	1	42.0	6.5	6.5	6.4
17	1	50.0	5.7	5.7	5.7
18	1	60.0	5.0	5.0	5.1
19	1	70.0	4.5	4.5	4.5
20	1	85.0	4.1	4.0	4.0
21	1	100.0	3.8	3.8	3.7
22	1	110.0	3.7	3.6	3.5
23	1	120.0	3.7	3.6	3.4
24	1	135.0	3.6	3.5	3.3
25	1	150.0	3.5	3.4	3.2

THE TWO MODELS EXTREMIZING D2 ARE
MAX MIN

RHO1	18482.31	19095.28
D1	2.06	1.92
DEPTH1	2.06	1.92

RHO2	1625.32	2382.67
D2	3.21	2.94
DEPTH2	5.27	4.86

RHO3	7.84	10.40
D3	25.19	17.16
DEPTH3	30.46	22.02

RHO4	0.280 01	0.350 01
------	----------	----------

ID	TYPE	R	MAX	OPT	MIN
1	1	2.3	15239.4	15326.9	15422.7
2	1	2.8	13569.0	13583.8	13617.9
3	1	3.4	11467.1	11421.4	11408.3
4	1	4.2	8632.3	8754.0	8721.0
5	1	5.0	6618.8	6545.6	6522.0
6	1	6.0	4521.1	4474.4	4473.3
7	1	7.0	3060.6	3039.5	3054.8
8	1	8.5	1708.0	1708.7	1731.0
9	1	10.0	565.4	971.0	987.7
10	1	12.0	460.5	463.2	470.1
11	1	14.0	224.7	224.6	226.0
12	1	16.0	110.9	109.6	109.0
13	1	19.0	42.0	41.4	40.9
14	1	28.0	8.7	9.2	9.5
15	1	34.0	7.1	7.5	7.7
16	1	42.0	6.3	6.5	6.5
17	1	50.0	5.7	5.7	5.7
18	1	60.0	5.1	5.0	5.0
19	1	70.0	4.5	4.5	4.5
20	1	85.0	4.0	4.0	4.1
21	1	100.0	3.6	3.8	3.9
22	1	110.0	3.5	3.6	3.8
23	1	120.0	3.3	3.6	3.7
24	1	135.0	3.2	3.5	3.7
25	1	150.0	3.1	3.4	3.6

THE TWO MODELS EXTREMIZING RHO3 ARE
MAX MIN

RHO1	18897.53	18670.07
D1	1.96	2.02
DEPTH1	1.96	2.02

RHO2	2147.86	1795.24
D2	2.95	3.16
DEPTH2	4.95	5.18

RHO3	11.30	7.21
D3	14.94	29.43
DEPTH3	19.85	34.61

RHO4	0.38D 01	0.26D 01
------	----------	----------

ID	TYPE	R	MAX	OPT	MIN
1	1	2.3	15357.9	15326.9	15293.1
2	1	2.8	13593.2	13583.8	13577.5
3	1	3.4	11414.6	11421.4	11436.6
4	1	4.2	8741.2	8754.0	8778.7
5	1	5.0	6537.0	6545.6	6566.1
6	1	6.0	4474.2	4474.4	4484.1
7	1	7.0	3044.8	3039.5	3040.8
8	1	8.5	1715.5	1708.7	1705.0
9	1	10.0	575.0	971.0	968.2
10	1	12.0	463.7	463.2	463.3
11	1	14.0	223.9	224.6	225.7
12	1	16.0	109.0	109.6	110.6
13	1	19.0	41.6	41.4	41.1
14	1	28.0	9.7	9.2	8.2
15	1	34.0	7.7	7.5	6.8
16	1	42.0	6.4	6.5	6.2
17	1	50.0	5.6	5.7	5.7
18	1	60.0	4.9	5.0	5.1
19	1	70.0	4.5	4.5	4.6
20	1	85.0	4.2	4.0	4.0
21	1	100.0	4.1	3.8	3.6
22	1	110.0	4.0	3.6	3.4
23	1	120.0	4.0	3.6	3.2
24	1	135.0	3.9	3.5	3.1
25	1	150.0	3.9	3.4	3.0

THE TWO MODELS EXTREMIZING
MAX D3 ARE
MIN

RHO1	18699.90	18861.59
D1	2.01	1.97
DEPTH1	2.01	1.97

RHO2	1837.99	2090.28
D2	3.14	3.01
DEPTH2	5.15	4.99

RHO3	7.50	10.82
D3	31.66	13.83
DEPTH3	36.81	18.81

RHO4	0.230 01	0.430 01
------	----------	----------

ID	TYPE	K	MAX	OPT	MIN
1	1	2.3	15300.9	15326.9	15346.8
2	1	2.8	13578.3	13583.8	13589.3
3	1	3.4	11431.9	11421.4	11416.1
4	1	4.2	8771.6	8754.0	8744.8
5	1	5.0	6560.0	6545.6	6539.2
6	1	6.0	4480.8	4474.4	4473.7
7	1	7.0	3039.9	3039.5	3042.6
8	1	8.5	1705.6	1708.7	1712.9
9	1	10.0	968.8	971.0	973.4
10	1	12.0	463.2	463.2	463.4
11	1	14.0	225.3	224.6	224.0
12	1	16.0	110.3	109.6	109.1
13	1	19.0	41.1	41.4	41.4
14	1	28.0	8.5	9.2	9.4
15	1	34.0	7.1	7.5	7.5
16	1	42.0	6.5	6.5	6.4
17	1	50.0	5.9	5.7	5.8
18	1	60.0	5.3	5.0	5.2
19	1	70.0	4.7	4.5	4.9
20	1	85.0	4.0	4.0	4.7
21	1	100.0	3.5	3.8	4.5
22	1	110.0	3.3	3.6	4.5
23	1	120.0	3.1	3.6	4.4
24	1	135.0	2.9	3.5	4.4
25	1	150.0	2.7	3.4	4.4

THE TWO MODELS EXTREMIZING
MAX RHO4 ARE
MIN

RHO1	18830.53	18724.21
D1	1.98	2.00
DEPTH1	1.98	2.00

RHO2	2034.53	1878.37
D2	3.04	3.12
DEPTH2	5.02	5.12

RHO3	10.09	7.94
D3	14.55	30.36
DEPTH3	19.57	35.48

RHO4	0.450 01	0.220 01
------	----------	----------

ID	TYPE	R	MAX	OPT	MIN
1	1	2.3	15338.1	15326.9	15306.7
2	1	2.8	13587.1	13583.8	13578.6
3	1	3.4	11418.6	11421.4	11427.9
4	1	4.2	8748.7	8754.0	8765.9
5	1	5.0	6541.5	6545.0	6555.5
6	1	6.0	4473.3	4474.4	4478.9
7	1	7.0	3040.6	3039.5	3039.7
8	1	8.5	1710.6	1708.7	1706.5
9	1	10.0	912.1	971.0	969.4
10	1	12.0	463.3	463.2	463.1
11	1	14.0	224.3	224.0	225.0
12	1	16.0	109.4	109.0	110.0
13	1	19.0	41.4	41.4	41.2
14	1	28.0	9.3	9.2	8.8
15	1	34.0	7.5	7.5	7.4
16	1	42.0	6.6	6.5	6.7
17	1	50.0	6.0	5.7	6.0
18	1	60.0	5.5	5.0	5.3
19	1	70.0	5.1	4.5	4.7
20	1	85.0	4.9	4.0	3.9
21	1	100.0	4.7	3.8	3.4
22	1	110.0	4.7	3.6	3.2
23	1	120.0	4.6	3.6	3.0
24	1	135.0	4.6	3.5	2.8
25	1	150.0	4.6	3.4	2.6

THE TWO MODELS EXTREMIZING DEPTH1 ARE
MAX MIN

RHO1	18209.06	19389.86
D1	2.08	1.90
DEPTH1	2.08	1.90

RHO2	1609.62	2407.43
D2	3.18	2.97
DEPTH2	5.26	4.87

RHO3	8.45	9.72
D3	22.53	18.69
DEPTH3	27.79	23.57

RHO4	0.300 01	0.330 01
------	----------	----------

THE TWO MODELS EXTREMIZING DEPTH2 ARE
MAX MIN

RHO1	18349.58	19240.33
D1	2.07	1.91
DEPTH1	2.07	1.91

RHO2	1599.49	2422.69
D2	3.21	2.95
DEPTH2	5.28	4.85

RHO3	8.01	10.19
D3	24.39	17.62
DEPTH3	29.67	22.47

RHO4	0.290 01	0.340 01
------	----------	----------

 THE TWO MODELS EXTREMIZING DEPTHS ARE
 MAX MIN

 RHO1 18690.25 18872.91
 D1 2.01 1.97
 DEPTH1 2.01 1.97

 RHO2 1830.18 2100.71
 D2 3.14 3.01
 DEPTH2 5.16 4.98

 RHO3 7.49 10.83
 D3 31.66 13.83
 DEPTH3 36.82 18.81

 RHO4 0.230 01 0.430 01

 THE FULL SET OF EIGENVALUES AND EIGENVECTORS

LOGARITHMIC EIGENVALUES

1 2 3 4 5 6 7
 0.260 03 0.990 02 C.340 02 0.170 02 0.600 01 0.410 01 0.120 01

ESTIMATED LOGARITHMIC SEMIAXES

0.380-02 0.100-01 C.300-01 0.580-01 0.170 00 0.250 00 0.810 00

PARAMETER EIGENVECTORS

	1	2	3	4	5	6	7
RHO1	-0.080	0.537	-0.827	0.054	-0.095	0.096	-0.010
D1	-0.787	0.467	C.344	-0.042	0.130	-0.158	0.021
RHO2	-0.249	-0.088	C.124	0.048	-0.529	0.785	-0.130
D2	-0.558	-0.695	-0.417	0.056	0.047	-0.155	0.038
RHO3	-0.020	-0.046	-0.087	-0.617	0.597	0.390	-0.318
D3	-0.002	-0.007	-0.026	-0.628	-0.256	-0.010	0.734
RHO4	-0.001	-0.003	-0.014	-0.463	-0.520	-0.417	-0.584

DATA EIGENVECTORS

-0.05	0.21	-0.53	0.06	-0.22	C.31	-0.09
-0.07	0.24	-0.45	0.04	-0.13	0.15	-0.03
-0.10	0.27	-0.34	0.02	-0.01	-0.02	0.03
-0.14	0.30	-0.19	-0.00	0.10	-0.18	0.07
-0.17	0.33	-0.05	-0.02	0.17	-0.26	0.08
-0.21	0.33	0.10	-0.04	0.19	-0.24	0.05
-0.24	0.31	0.21	-0.04	0.15	-0.14	-0.01
-0.28	0.24	0.28	-0.03	0.02	0.09	-0.10
-0.32	0.14	0.28	-0.01	-0.13	0.26	-0.12
-0.36	-0.02	0.18	0.04	-0.25	0.30	-0.04
-0.40	-0.18	0.03	0.07	-0.25	0.16	0.09
-0.43	-0.33	-0.13	0.07	-0.11	-0.12	0.20
-0.42	-0.45	-0.32	-0.09	0.40	-0.25	-0.16
-0.01	-0.02	-0.02	-0.12	0.17	0.13	-0.18
-0.01	-0.02	-0.04	-0.50	0.43	0.47	-0.20
-0.00	-0.00	-0.02	-0.34	0.10	0.17	0.19
-0.00	-0.00	-0.01	-0.33	-0.06	0.03	0.26
-0.00	-0.01	-0.02	-0.65	-0.44	-0.27	0.18
-0.00	-0.00	-0.01	-0.20	-0.22	-0.10	-0.17
-0.00	-0.00	-0.00	-0.08	-0.13	-0.12	-0.26
-0.00	-0.00	-0.00	-0.04	-0.08	-0.09	-0.25
-0.00	-0.00	-0.00	-0.05	-0.10	-0.11	-0.34
-0.00	-0.00	-0.00	-0.04	-0.09	-0.09	-0.33
-0.00	-0.00	-0.00	-0.03	-0.09	-0.10	-0.36
-0.00	-0.00	-0.00	-0.03	-0.09	-0.10	-0.39

