



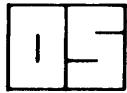
ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

Lúðvík S. Georgsson
Helga Tulinius

VIÐNÁMSMÆLINGAR Á UTANVERÐUM REYKJANESSKAGA 1981 og 1982

OS-83049/JHD-09
Reykjavík, júní 1983

Unnið fyrir
Hitaveitu Suðurnesja,
Orkustofnun og
Sjóefnavinnsluna hf.



ORKUSTOFNUN
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

**Lúðvík S. Georgsson
Helga Tulinius**

**VIÐNÁMSMÆLINGAR
Á UTANVERÐUM REYKJANESSKAGA
1981 og 1982**

**OS-83049/JHD-09
Reykjavík, júní 1983**

**Unnið fyrir
Hitaveitu Suðurnesja,
Orkustofnun og
Sjóefnavinnsluna hf.**

ÁGRIP

Í skýrslunni eru birtar niðurstöður 84ra viðnámsmælinga sem gerðar voru á utanverðum Reykjanesskaga 1981 og 1982 og sú mynd sem þær og eldri mælingar gefa af eðlisviðnámi bergs á þessu svæði. Mælingarnar voru tölvutúlkaðar einvít með forritinu CIRCLE2 en 7 mælingar á Reykjanesi voru túnkaðar tvívitt. Annars staðar var tvívíð túlkun talin ónauðsynleg.

Á utanverðum Reykjanesskaga er hefð að miða við eðlisviðnámið 5 ohm-m sem efri mörk lágviðnáms. Ef þeirri hefð er fylgt koma fram þrjú lágviðnámssvæði: í Eldvörpum og Svartsengi, á Reykjanesi og í Sandvík. Það síðastnefnda var óþekkt áður en þessar mælingar hófust. Svæðin eru öll stór, um eða yfir 10 km². Ef mörkin eru hins vegar hækkuð í 6 ohm-m, þá breytist myndin nokkuð. Fram kemur samfellit lágviðnámsbelti frá Reykjanesi austur fyrir Stóra-Skógfell. Beltið er a.m.k. 20 km langt og um 1-2 km breitt, en það breikkar með dýpi. Innan þess koma Reykjanes, Eldvörp og Svartsengi, þar sem jarðhiti finnst á yfirborði, fram sem þrjú minni svæði, 2-6 km² að stærð, þar sem djúpviðnám er á bilinu 2,5-4 ohm-m. Lágviðnámssvæðið í Sandvík, kemur fram sem hliðarsvæði norðan við lágviðnámsbeltið og mælist þar lægst viðnám um 3 ohm-m. Loks kemur fram lítið lágviðnámssvæði vestan undir Fagradalsfjalli, beint austur af lágviðnámsbeltinu.

Eðlisviðnám bergs er háð hita og vatnsinnihaldi bergsins og seltu jarðvatnsins. Þekktar jöfnur um þetta samband og niðurstöður viðnámsmælinganna ásamt upplýsingum úr borholum eru notaðar til að gera gróft kort af hitaástandi bergsins á utanverðum Reykjanesskaga á 600 m dýpi undir sjávarmáli. Kortið sýnir að eftir endilöngum skaganum frá Reykjanesi að Fagradalsfjalli er belti með hærri hita en 100°C á 600 m dýpi u.s. Innan þess koma jarðhitasvæðin fram sem svæði með yfir 200°C hita. Út frá sömu forsendum virðist mega áætla að hitinn í Sandvík og undir Fagradalsfjalli sé a.m.k. 150°C á þessu dýpi og jafnvel allt að 200°C. Utan lágviðnámssvæða virðist hiti vera 40-50°C, sem samsvarar því að hitastigullinn í gosbeltinu sé um 70-80°C/km þar sem ekki gætir áhrifa frá jarðhita.

Lagt er til að frekari mælingar verði gerðar í Sandvík og undir Fagradalsfjalli og síðan boraðar þar rannsóknarholur.

EFNISYFIRLIT

Bls.

ÁGRIP.....	2
EFNISYFIRLIT.....	3
MYNDASKRÁ.....	4
1 INNGANGUR.....	5
1.1 Aðdragandi viðnámsmælinganna á Reykjanesskaga árin 1981 og 1982.....	5
1.2 Ágrip af sögu viðnámsmælinga á utanverðum Reykjanesskaga....	7
2 ÁGRIP AF JARÐFRÆDI REYKJANESSKAGA.....	9
3 FRAMKVÆMD VIÐNÁMSMÆLINGANNA.....	10
4 ÚRVINNSLA VIÐNÁMSMÆLINGANNA.....	13
4.1 Eðlisviðnám bergs og tengsl þess við hitastig, seltu og vatnsinnihald.....	13
4.2 Tengsl viðnámslaga og jarðlaga.....	15
4.3 Túlkun viðnámsmælinganna.....	17
4.3.1 Einvíð túlkun.....	18
4.3.2 Tvívíð túlkun.....	21
5 NIÐURSTÖÐUR.....	23
5.1 Lágviðnámssvæði.....	23
5.2 Ferskvatnslinsan.....	34
5.3 Jarðhiti og lágviðnám.....	35
6 FREKARI RANNSÓKNIR.....	41
HEIMILDASKRÁ.....	42
VIÐAUKI A Staðsetning og túlkun viðnámsmælinganna.....	45
VIÐAUKI B Viðnámsmæliferlar.....	49

MYNDASKRÁ

Bls.

1	Staðsetning viðnámsmælinga og -sniða.....	12
2	Eðlisviðnám á 200 m dýpi undir sjávarmáli.....	24
3	" " 400 " " "	25
4	" " 600 " " "	26
5	" " 800 " " "	27
6	Viðnámssnið A-A', B-B', C-C' og D-D'.....	29
7	" E-E'	29
8	" F-F'	30
9	" G-G'	30
10	" H-H'	31
11	" I-I'	31
12	" J-J'	32
13	" K-K'	32
14	" L-L'	33
15	" M-M'	33
16	þykkt ferskvatnslinsu.....	34
17	Hitaástand bergsins.....	37
18	Jarðhitinn og gosbeltið.....	39

1 INNGANGUR

1.1 Aðdragandi viðnámsmælinganna á Reykjanesskaga árin 1981 og 1982

Með viðnámsmælingum er fundið eðlisviðnám í bergi en það er háð hitastigi, vatnsinnihaldi og gerð bergsins, og seltu jarðvatnsins. Mælingarnar gefa einkum til kynna lárétt vatnsleiðandi jarðlög, en við hagstæðar aðstæður á lághitasvæðum má finna ganga og sprungur. Viðnámsmælingar veita upplýsingar um hve víðáttumikil einstök jarðhitasvæði eru, og í þeim tilgangi aðallega hefur mælingunum verið beitt við rannsóknir á háhitsvæðum landsins.

Talsvert hefur verið viðnámsmælt á utanverðum Reykjanesskaga á undanförnum árum og enn er verið að viðnámsmæla þar. Það er því ekki nema von að spurt sé: Er ekki mál að linni? Til þess að svara þessu er rétt að rekja aðdraganda viðnámsmælinganna sem gerðar voru árin 1981 og 1982, áður en farið er lengra aftur í tímann.

Haustið 1979 kom út hjá Orkustofnun skýrslan "Svartsengi. Viðnámsmælingar á utanverðum Reykjanesskaga" (Lúðvík S. Georgsson 1979). Þar var gerð ýtarleg úttekt á öllum viðnámsmælingum, sem Orkustofnun hafði látið gera fram að því á Reykjanesskaga vestan Fagradalsfjalls. Niðurstöður mælinganna voru m.a. að lægra eðlisviðnám væri á jarðhitasvæðunum en umhverfis þau, sem var í samræmi við fyrri niðurstöður, en einnig að jarðhitasvæðin þrjú á utanverðum skaganum, sem kennd eru við Reykjanes, Eldvörp og Svartsengi, gætu verið tengd saman að meira eða minna leyti með vestlægu lágvíðnámsbelti og virtist það falla allvel að skjálftabeltinu sem liggur eftir endilöngum skaganum. Sýnt var fram á að mismun í eðlisviðnámi mætti fyrst og fremst rekja til mismunandi hita á jarðsjónum og því væri hugsanlegt að vinna mætti heitan jarðsjó víðar en yfirborðsummerki jarðhita gæfu til kynna. Hugmyndin um að varmauppstreymi væri samfellt eftir gosbeltinu á utanverðum skaganum var ekki ný af nálinni en í fyrsta skipti var hún studd með niðurstöðum mælinga. Í skýrslunni var bent á nauðsyn þess að halda áfram mælingum, þar sem rannsóknirnar hefðu fram að þessu verið of staðbundnar, þ.e. beinst að yfirborðsjarðhita og næsta nágrenni hans. Til mikils væri að vinna þar sem líklegt væri að finna mætti ný jarðhitasvæði og upplýsingar fengjust um hvort vinna mætti heitan jarðsjó samfellt eftir gosbeltinu. Hvort tveggja gæti þetta haft verulega þýðingu fyrir heitavatnsvinnslu Hitaveitu Suðurnesja í framtíðinni eða orðið grundvöllur að nýrri orkuvinnslu á Suðurnejsum.

Næsta árið gerðist ekkert en mikilvægi málsins var ítrekað í grein er birtist árið 1981 (Lúðvík S. Georgsson 1981). Voríð 1981 kom út hjá Jarðhitadeild greinagerðin "Rannsókn jarðhitasvæða á utanverðum Reykjanesskaga" (Gísli Karel Halldórsson o. fl. 1981). Þar voru gerðar tillögur um rannsóknir til að fá heildaryfirlit yfir jarðhitavirkni á utanverðum skaganum. Tillögurnar fólu í sér að gerðar yrðu 100 viðnámsmælingar, SP-mælingar og flugsegulmælingar með lágflugi, auk vegalagningar í Eldvörp til undirbúnings borunar þar. Tillögur þessar voru gerðar vegna fjárlagatillagna Orkustofnunar fyrir 1982, en voru einnig kynntar fyrir Hitaveitu Suðurnesja.

Sumarið 1981 fékk Hitaveita Suðurnesja leyfi Utanríkisráðuneytisins til rannsókna og borana í landi Húsatótta vestan við Grindavík, en Eldvörp eru að mestu leyti í landi Húsatótta.

Í bréfi dagsettu 5. sept. 1981 fór Hitaveita Suðurnesja fram á að Jarðhitadeild sæi um og framkvæmdi viðnámsmælingar á jarðhitasvæðinu í Eldvörpum og yrðu þær gerðar strax um haustið. Mælingarnar voru taldar nauðsynlegar til undirbúnings borunar á svæðinu. Jarðhitadeild tók verkið að sér og var það unnið í samræmi við þá áætlun, sem lögð hafði verið fram fyrr á árinu. Talið var æskilegt að gera 15-20 mælingar á svæði með 3-4 km radíu umhverfis jarðhitann í Eldvörpum (sbr. bréf dags. 7. október 1981).

Mælingarnar voru gerðar í október 1981. Veðurfar var fádæma kalt miðað við árstíma allan tímann sem mælingar stóðu yfir, norðanátt og frost. Þessi kuldatíð var meginorsök þess að aðeins tókst að ljúka 12 mælingum þá um haustið. Um niðurstöður þessa mælinga var fjallað í skýrslunni: "Viðnámsmælingar í Eldvörpum haustið 1981" (Lúðvík S. Georgsson 1982a).

Í framhaldi af því og í samræmi við fyrri áætlun um heildarrannsókn svæðanna var lögð fram framkvæmda- og kostnaðaráætlun um frekari viðnámsmælingar sumarið 1982 (Lúðvík S. Georgsson 1982b). Samkvæmt áætluninni var talið að gera þyrfti allt að 90 mælingar í viðbót. Lagt var til að kostnaði við þær yrði skipt á eftirfarandi hátt: Hitaveita Suðurnesja 45%, Jarðhitadeild Orkustofnunar 40% og Sjóefnavinnslan hf 15%. Áætlun þessi var lögð fyrir Hitaveitu Suðurnesja og Sjóefnavinnsluna og var hún samþykkt.

Þessi skýrsla er lokaáfangi þessa verks og fjallar um niðurstöður mælinganna og þá heildarmynd sem þær og eldri mælingar gefa af eðlisviðnámi bergs á utanverðum Reykjanesskaga og tengslum þess við

jarðhitann. Úrvinnsla og túlkun byggir að mestu leyti á þeim grunni sem lagður var í skýrslunni frá 1979, og er því óhjákvæmilegt að oft verði vitnað í hana. Til þess að halda því innan hóflegra marka eru meginþættirnir endursagðir hér í mjög styttu máli. Þeim sem vilja fá frekari upplýsingar er hins vegar bent á skýrsluna frá 1979 (Lúðvík S. Georgsson 1979).

1.2 Ágrip af sögu viðnámsmælinga á utanverðum Reykjanesskaga

Áður en vikið verður að nýju mælingunum er rétt að gefa örstutt sögulegt yfirlit yfir notkun viðnámsmælinga til jarðhitarannsókna á svæðinu. A.m.k. 3 háhitasvæði eru á utanverðum Reykjanesskaga. Svæðin eru kennd við Reykjanes, Eldvörp og Svartsengi. Einkenni þeirra er að útbreiðsla jarðhita á yfirborði er lítil. Á jarðhitasvæðinu á Reykjanesi eru allnokkrir hverir og gufu augu og alls finnst jarðhiti á yfirborði á um 1 km² svæði. Í Eldvörpum takmarkast yfirborðshiti af gufu augum og smá ummyndun í og umhverfis lítinn gíghól og er svæðið ekki nema nokkrir hektarar að stærð. Kulnaða ummyndun má þó finna við annan gíg í Eldvarpagígaröðinni 3-4 km norðar. Jarðhitinn í Svartsengi var takmarkaður við smá hitabletti í vesturhlíð Svartsengisfells og gufur í hrauninu þar vestur af. Þegar áhugi vaknaði á nýtingu þessa jarðhita voru viðnámsmælingar ein af þeim rannsóknaðferðum, sem talið var ráðlegt að beita áður en til borana kæmi.

Fyrstu marktæku viðnámsmælingarnar á svæðinu voru gerðar sumarið 1969, bæði á Reykjanesi og í Svartsengi, með nýjum jafnviðnámstækjum Jarðhitadeildar. Þá stóð yfir umfangsmikil rannsókn jarðhitasvæðisins á Reykjanesi með saltvinnslu í huga og voru viðnámsmælingarnar einn þáttur í þeirri rannsókn. Á Reykjanesi voru gerðar bæði lengdar-viðnámsmælingar og dýptarviðnámsmælingar. Í dýptarmælingunum var notuð Schlumbergeruppröðun rafskauta. Slikri uppröðun hefur verið haldið æ síðan. Þessar mælingar gáfu vísbendingu um stærð jarðhitasvæðins á Reykjanesi og var hún talin um 1 km² en þær náðu þó ekki nema niður á 300-500 m dýpi (Sveinbjörn Björnsson o.fl. 1971). Þessar fyrstu mælingar sýndu einnig að djúpviðnám á utanverðum Reykjanesskaga er mjög lágt, um eða innan við 10 ohm-m, og að á jarðhitasvæðum fer það allt niður í 1-2 ohm-m. Þetta lága djúpviðnám var skýrt með því að sjór væri í bergen. Næstu árin var töluvert mælt í nágrenni við Svartsengi og var borað þar 1971-1972 og fékkst þá staðfest að í Svartsengi væri háhitasvæði. Sumarið 1973 var ráðist í allvíðtækur viðnámsmælingar í Svartsengi. Lausleg úrvinnsla allra

viðnámsmælinganna var birt í skýrslu 1974 (Karl Ragnars & Stefán Arnórsson 1974) og einnig 1975 (Stefán Arnórson o.fl. 1975) og voru þá teknar með fáeinan mælingar frá 1974 sem gerðar voru til að fá betri vitneskju um stærð svæðisins. Í síðari skýrslunni var birt kort yfir eðlisviðnám á 300 m dýpi þar sem dregnar voru 5 og 10 ohm-m jafnviðnámslínur. Út frá 5 ohm-m línunni var stærð jarðhitasvæðisins í Svartsengi metin um 4 km^2 á 300 m dýpi. Þetta kort var lagt til grundvallar mati á stærð jarðhitasvæðisins í dómi gerðardóms frá 1976 í máli Hitaveitu Suðurnesja (H. S.) og landeigenda í Svartsengi um bætur til landeigenda vegna kaupa Hitaveitu Suðurnesja á jarðhitaréttindunum.

Meðan málalyktir um kaup á jarðhitaréttindunum í Svartsengi lágu ekki fyrir og óljóst var um samkomulag, þá óskaði H.S. þess að Jarðhitadeild léti fara fram rannsókn á jarðhita í Eldvörpum. Þær mælingar voru gerðar sumarið 1975 og urðu tæplega 30. Samhliða úrvinnslu þessara mælinga var einnig unnið úr mælingum í Svartsengi, enda höfðu þær ekki áður fengið tilhlýðilega umfjöllun. Samkvæmt niðurstöðum skýrslu um þessar mælingar (Valgarður Stefánsson o.fl. 1976) var stærð jarðhitasvæðisins í Svartsengi metin svipuð og áður en mörk þess voru þó enn að hluta til óþekkt. Í Eldvörpum fundust allstórr lágvíðnámssvæði, sem studdu hugmyndir um að þar væri háhitasvæði.

Á árunum 1974-1977 urðu miklar framfarir í mælitækni viðnámsmælinganna. Mælingarnar í Eldvörpum voru því mun betri og náðu dýpra en eldri mælingar í Svartsengi. Því var lagt til að meira yrði mælt í Svartsengi enda vitnesja um stærð svæðisins götótt en virkjun þess um það bil að hefjast. Þetta var ítrekað af straumfræðingum Orkustofnunar eftir að þeir hófu athuganir á vinnslugetu svæðisins, enda var góð vitneskja um stærð jarðhitasvæðisins mjög gagnleg fyrir útreikninga þeirra (Jónas Elíasson o. fl. 1977). Þessar mælingar voru gerðar sumarið 1977 en fullnaðarúrvinnsla þeirra dróst nokkuð á langinn.

Þegar möguleikar á sjálfvirkri tölvutúlkun viðnámsmælinga opnuðust haustið 1978 varð bylting í túlkun viðnámsmælinga. Afleiðing þess var að jafnframt því að unnið væri úr mælingunum frá 1977 var nauðsynlegt að endurtúlka allar eldri mælingar á svæðinu. Niðurstöður þessarar vinna voru birtar í skýrslu árið 1979 en um það hefur þegar verið fjallað.

2 ÁGRIP AF JARÐFRÆÐI REYKJANESSKAGA

Jarðfræði utanverðs Reykjanesskaga, þ.e. Reykjanesskaga vestan Fagradalsfjalls, er vel þekkt (Jón Jónsson 1978; Freyr Þórarinsson o.fl. 1976; Sveinn Jakobsson o.fl. 1979). Jarðmyndanir á Reykjanesskaga eru jarðsögulega mjög ungar. Nútímahraun þekja mestallt láglendið og eru það ýmist dyngjuhraun eða sprunguhraun. Upp úr flatlendinu rísa móbergsfjöll, sem mynduð eru á ísöld, og nútíma eldstöðvar. Eldvirkni hefur því verið mikil þó að hlé hafi verið á henni síðustu aldirnar. Svipaðar jarðmyndanir koma fram í borholum á utanverðum skaganum. Þar skiptast á hraunlagasyrpur og móbergssyrpur auk innskota og yst finnast einnig sjávarsetlög.

Á Íslandi er eldvirkni bundin við gosbeltin, 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 frambahaldi af Mið-Atlantshafshryggnum, 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. Skiptingin er ekki alveg ljós vestast, en venjulega er talað um 4-5 sprungusveima á skaganum sem raða sér skástigt (með norðaustlæga sprungustefnu) á gosbeltið. Sprungusveimarnir eru kenndir við (talið frá austri): Hengil, Brennisteinsfjöll (einnig kenndur við Bláfjöll), Krísuvík, Grindavík og Reykjanes. Svæðið, sem hér er fjallað um, nær yfir two vestustu sveimana. Skilin milli þeirra eru þó eins og áður getur óljós (Sveinn Jakobsson o.fl. 1978; Kristján Sæmundsson 1978).

3 FRAMKVÆMD VIÐNÁMSMÆLINGANNA

Á utanverðum Reykjanesskaga eru aðstæður til viðnámsmælinga nánast eins óhagstæðar og hugsast getur. Hjálpast þar margt að. Landið er ógreiðfært og gróðursnauðt. Yfirborðsviðnám er mjög hátt en djúpviðnám lágt. Hátt yfirborðsviðnám veldur erfiðleikum við að senda út nægan rafstraum og þar af leiðir að spennumerkíð, sem mæla skal, verður minna en ella. Óregla í yfirborðsviðnáminu veldur því hins vegar að við útfærslu spennuskauta, en það er nauðsynlegt í viðnámsmælingum til að fá stærra spennumerkí, slitnar mæliferillinn eða hliðrast nokkuð til. Það er því vandkvæðum bundið að fá góðar mælingar á svæðinu, sérstaklega þar sem hraunið er úfnast á yfirborði og þar sem djúpviðnám er lægst. Þó er óhætt að segja að með þeim útbúnaði sem Jarðhitadeild hefur í dag megi undantekningalítið fá alltraust mæligildi þangað til að straumarmar eru komnir út í a.m.k. 1000 m og oft lengra. Í skyrslu Jarðkönnunardeildar Orkustofnunar "Viðnámsmælingar á Reykjanesskaga vegna ferskvatnsöflunar Hitaveitu Suðurnesja" (Kristján Ágústsson & Freyr Þórarinsson 1979) var fjallað ýtarlega um mæliaðstæður eftir jarðfræðilegri flokkun yfirborðslaga. Eitt er þó hagstætt gagnvart túlkun mælinganna og það er að viðnámslögin eru lárétt.

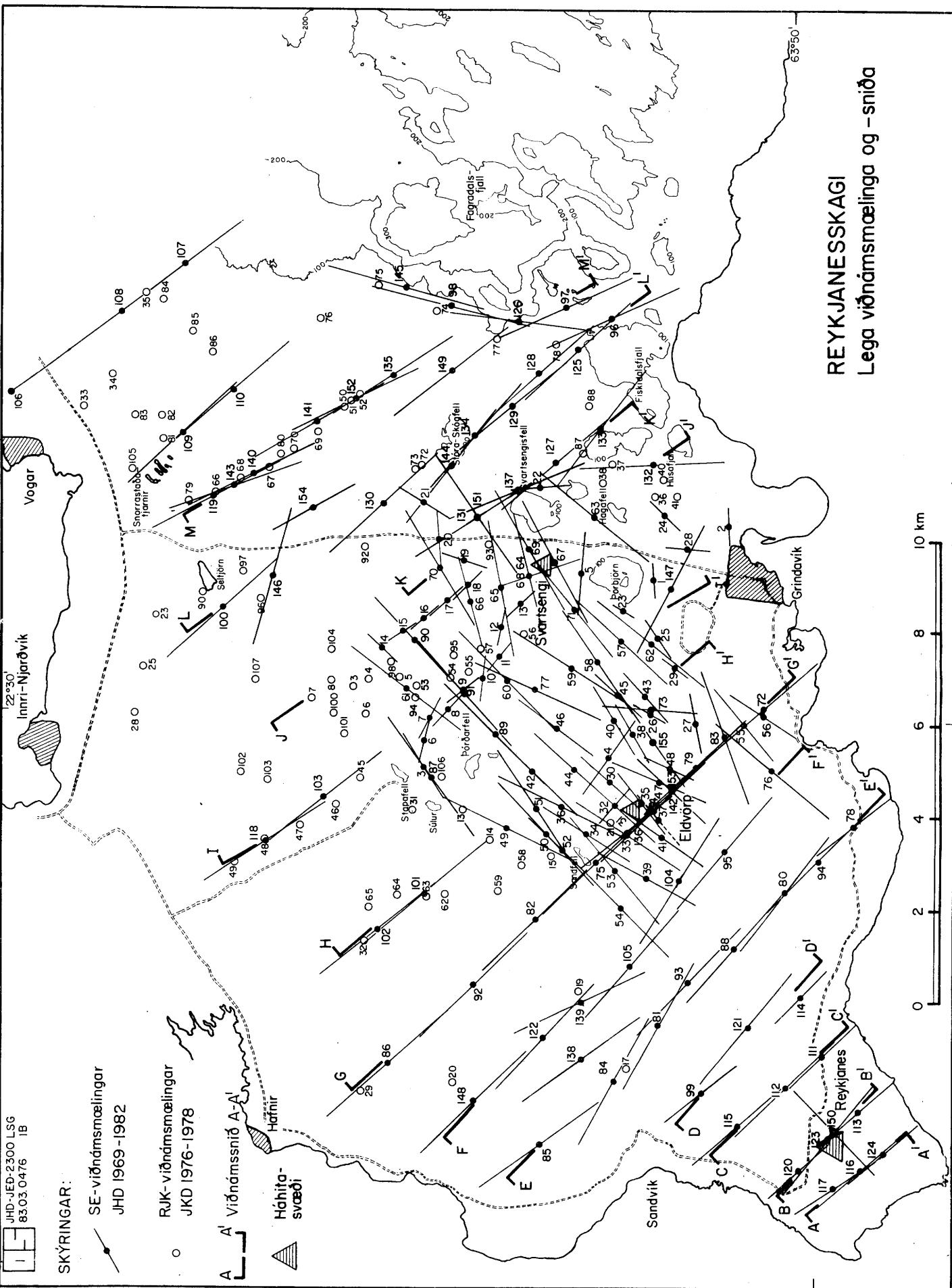
Eins og fram kemur í inngangi, þá var fyrsti áfangi mælinganna unnið í október 1981. Alls tókst að ljúka 12 mælingum og hafa þær heitin SE 72 - 83 (Lúðvík S. Georgsson 1982).

Mælingar hófust af fullum krafti í miðjum júní 1982 og var haldið áfram til ágústloka. Í lok júní og allan júlímaður (alls 5 vikur) voru 2 mælingaflokkar á svæðinu en annars 1 flokkur. Alls voru gerðar 73 mælingar um sumarið en þar af voru tvær mælingar frá haustinu áður enduteknar. Vorið 1983 var svo bætt við einni mælingu í Eldvörpum. Heildarfjöldi nýrra mælinga er því 84 og bera þær heitin SE 72 - 155. Mælisvæðið er að heita má allur Reykjanesskagi vestan Fagradalsfjalls, ef frá eru talin þau svæði sem mest hafði verið mælt á áður, þ. e. Svartsengi og hluti Eldvarpa og einnig Rosmhvalanes. Vissulega er misþétt mælt en það stjórnaðist af því hve svæðið reyndist áhugavert til frekari mælinga. Mælingarnar voru allflestар lagðar út á norðvestlægar sniðlinur, þvert á ríkjandi sprungustefnu. Þetta var breyting frá eldri mælingum og gert til að auðvelda tvívíða túlkun, en nánar verður vikið að því í næsta kafla. Mælingarnar eru flestar með 1580 m langan straumarm. Þó er meirihluti mælinganna á Reykjanesi styttri, og er straumarmur þeirra oft ekki nema um 1000 m

langur. Orsökin fyrir því er takmarkað landrými.

Í tveimur stuttum greinagerðum um stöðu verkefnisins, sem út komu síðastliðið sumar og haust, kemur fram að afköst mælingaflokka voru nokkru minni en áætlað var eða 0,93 mælingar/mælidag í stað 1,2 mælingar/mælidag (Lúðvík S. Georgsson 1982 c og d). Helstu ástæður fyrir því voru annars vegar að þá voru teknir í notkun nýir straumsendar og komu fram í þeim smágallar sem ollu nokkrum töfun í upphafi. Hins vegar var tíðarfari slæmt til mælinga á Reykjanesskaga þann tíma sem 2 flokkar voru á svæðinu, rigning upp á n tum hvern dag, og fóru af þeim sökum nokkrir mælidagar í súginn. Á móti kom að ekki reyndist nauðsynlegt að gera eins margar mælingar og talið var í byrjun svo að kostnaður við mælingarnar varð svipaður og áætlað var.

Staðsetning mælinganna er sýnd á mynd 1. Á myndinni eru einnig sýndar eldri mælingar Jarðhitadeildar (SE 1 - 71) og þær mælingar Jarðkönnunardeildar sem stuðst var við í skýrslunni frá 1979. Nákvæm staðsetning nýju mælinganna er enn fremur gefin í töflu í viðauka A. Notuð eru Mercator-hnitin á bandarísku AMS kortunum í mælikvarða 1:50.000.



Mynd 1 Staðsetning viðnámsmælinga og -sniða á utanverðum Reykjanes-skaqa.

4 ÚRVINNSLA VIÐNÁMSMÆLINGANNA

Í þessum kafla verður fyrst fjallað um þá þætti sem hafa áhrif á eðlisviðnám bergs á utanverðum Reykjanesskaga. Þá verður fjallað um viðnámslög á svæðinu og tengsl þeirra við raunveruleg jarðlög. Loks verður fjallað um aðferðir við túlkun mælinganna og óvissu í túlkuninni.

4.1 Eðlisviðnám bergs og tengsl þess við hitastig, seltu og vatnsinnihald

Tilgangur viðnámsmælinga er að finna eðlisviðnám bergs. Þegar mæliaðferðinni er beitt við jarðhitarannsóknir beinist áhuginn þó ekki að eðlisviðnámi bergsins sem slíku, heldur að því hvaða ályktanir megi draga af því um eðli jarðhitans, svo sem stærð jarðhitasvæðisins, vatnsinnihald bergsins, hitastig jarðhitavökvans o.fl.

Eðlisviðnám bergsins, ρ , í efsta hluta (efstu 2-4 km) jarðskorpunnar á Íslandi er samsett úr tveimur aðalþáttum, ρ_1 , sem við getum kallað vökvaviðnám og ρ_2 , sem við getum kallað snertiflataviðnám. Líta má á þetta sem tvö samsíða tengd viðnám og því fáum við:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho_2} \quad \text{eða} \quad \rho = \frac{\rho_1 \cdot \rho_2}{\rho_1 + \rho_2} \quad (1)$$

Vökvaviðnámið, ρ_1 , stjórnast af eiginleikum bergsins og grunnvatnsins og er háð hitastigi og poruhluta (vatnsinnihaldi) bergsins og eðlisviðnámi (seltu) grunnvatnsins. Um það gildir eftirfarandi aðlögunarregla sem nefnd er lögmal Archies:

$$\rho_1 = a \cdot \rho_v \cdot n^{-m} \quad (2)$$

þar sem ρ_v = eðlisviðnám vökvans í bergenú mælt í ohm-m
 n = poruhluti bergsins
 a = aðlögunarstuðull, sem er gjarnan um 1
 m = aðlögunarstuðull, sem hefur gjarnan gildi
nálægt 2 fyrir storkuberg

Eftirfarandi reglu gefur Dakhnov (1962) upp sem góða nálgun á tengslum ρ_v við hita, T , og gildir hún upp í a.m.k. 150-200°C:

$$\rho_v = \frac{\rho_{v_0}}{1 + \alpha (T - T_0)} \quad (3)$$

þar sem $T = \text{hiti i } {}^\circ\text{C}$

$T_0 = \text{viðmiðunarhitastig í } {}^\circ\text{C}$

$\rho_{v_0} = \text{eðlisviðnám vökvans við hitastigið } T_0 \text{ mælt í ohm-m}$

$\alpha = \text{stuðull, sem hefur gildið 0,025 fyrir salt vatn}$

Saman gefa (2) og (3):

$$\rho_1 = \frac{\rho_{v_0}}{(1 + 0,025(T - T_0))n^2} \quad (4)$$

Þessi regla gildir upp að um $200 {}^\circ\text{C}$. Fyrir ofan $200 {}^\circ\text{C}$ breytist sambandið á milli hita og eðlisviðnáms verulega. Í grófum dráttum má segja að eðlisviðnámið breytist sáralítið með hitanum á milli 200 og $300 {}^\circ\text{C}$. Þó er það nokkuð komið undir þrýstingi. Fyrir ofan $300 {}^\circ\text{C}$ snúast hlutföllin hins vegar við og eðlisviðnámið vex með auknum hita. Hvenær þeim vendipunkti er náð er þó einnig háð þrýstingnum.

Snertiflataviðnámið, ρ_2 , stjórnast á hinn bóginn mjög af ummyndun bergsins og fjölda (réttara: flatarmáli á rúmmálseiningu bergs) af snertiflötum bergs og vökva í sam tengdum sprungum og glufum, eða m.ö.o. heildarfjölda vatnsleiðandi sprungna. Ólafur G. Flóvenz (1982) gefur eftirfarandi aðlögunarreglu fyrir íslenskt storkuberg þar sem snertiflataviðnámið er ríkjandi:

$$\rho_2 = k \cdot n^{-m} \quad (5)$$

þar sem $n = \text{poruhluti bergsins}$

$k = \text{aðlögunarstuðull með gildið 0,4}$

$m = \text{aðlögunarstuðull með gildið 3,4}$

Almennt má segja um órofinn jarðlagastafla að ef selta grunnvatnsins er lítil ($\rho_v > 5 \text{ ohm-m}$), þá er vökvaviðnámið, ρ_1 , ríkjandi í efstu 500-1000 m, þar sem bergið er mjög ferskt, en snertiflataviðnámið þar fyrir neðan. Ef hins vegar selta grunnvatnsins er mikil ($\rho_v < 1 \text{ ohm-m}$), t.d. vegna íblöndunar sjávar, þá er vökvaviðnámið alltaf ríkjandi. Við þær aðstæður, sem eru á utanverðum Reykjanesskaga með $\rho_{v_0} = 0,2-0,3 \text{ ohm-m}$, er því vökvaviðnámið ríkjandi, þ.e. $\rho_1 \ll \rho_2$ og:

$$\rho \approx \rho_1 = \frac{\rho_{v_0}}{(1+0,025(T-T_0))n^2} \quad (6)$$

Hins vegar er líklegt að snertiflatarviðnámið sé ríkjandi á háhitasvæðum þar sem ekki gætir áhrifa frá sjávarseltu. Á lághitasvæðum þar sem sjávarseltu gætir lítt er snertiflataviðnámið vissulega ríkjandi.

Með (6) má fá gróft tölfraðilegt mat á ýmsum þáttum jarðhitans á utanverðum Reykjanesskaga og verður vikið að því í niðurstöðum. En því má ekki gleyma að (6) gildir aðeins upp að um 200°C .

4.2 Tengsl viðnámsлага og jarðlaga

Jarðvatnsaðstæðum á utanverðum Reykjanesskaga hefur margoft verið lýst í skýrslum Orkustofnunar. Í stuttu máli eru þær þannig að vatn er ekki á yfirborði. 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 meðalsjávarborðs, þ.e. hæð grunnvatns ofan meðalsjávarborðs er aðeins 1-2 m (Valgarður Stefánsson o.fl. 1976; Freysteinn Sigurðsson o.fl. 1978). Á háhitasvæðum myndar heitir 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 samanstendur af hraunlögum eða móbergi. Viðnám lagsins er undantekningalítið hátt ($>5000 \text{ ohm-m}$) og þykkt þess er jöfn hæð mælistaðar yfir sjávarmáli að frádreginni grunnvatnshæð (1-2 m) og yfirborðslagi. Viðnám í hraunlögum er mun hærra 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. Á svæðum

þar sem íblöndun jarðhitavatns veldur engum truflunum, t.d. í Lágum kemur í viðnámsmælingum fram lag, sem er um 50 m þykkt og viðnámið er gjarnan 500-1500 ohm-m. Viðnámskíl ferskvatns og jarðsjávar liggja trúlega ofarlega í blöndunarlaginu. Nothæft ferskvatn er þó heldur minna en viðnámsmælingarnar gefa til kynna, þar sem allt blöndunarlagið telst ónothæft. Á þessum svæðum er auðvelt að tengja þykktina við grunnvatnshæð og er hlutfallið þar á milli 40 eða rétt tæplega það.

Nærri jarðhitasvæðum og afrennslisleiðum jarðhitavatnsins er myndin önnur. Uppstreymi heits jarðsjávar á jarðhitasvæðunum veldur blöndun. Afleiðingin er að blöndunarlagið þykknar en nothæft ferskvatn 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 grunnvatnshæðar og þeirrar ferskvatnslinsu sem mælist í viðnámsmælingum.

Ef á heildina er litið má segja að ferskvatnslagið í viðnámsmælingum samsvari nokkurn veginn nothæfu ferskvatni en sé þó ívið þykkara. Þykktin er gjarnan um 50 m og viðnám þess á bilinu 300-3000 ohm-m, að öllu jöfnu herra í nútíma hraunum heldur en í móbergi og eldri hraunum. Lægra viðnám mælist nærri jarðhitasvæðum. Lagið kemur yfirleitt illa fram í mæliferli, enda er það þunnt og 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 ohm-m. Lagið nær alltaf eins djúpt og mælingar skynja ef jarðhita gætir ekki neðar. Lagið er stundum tvöfalt. Í nokkrum mælingum lækkar viðnámið lítillega með dýpi. Þetta er auðvelt að skýra. Hitastigullinn í gosbeltinu utan jarðhitasvæða er talinn vera um $80^{\circ}\text{C}/\text{km}$ (Ólafur G. Flóvenz 1979). Eðlisviðnám vökvans í berginu lækkar því lítillega með dýpi. Á móti kemur að meðalporuhluti minnkari eitthvað með dýpi vegna holufyllinga og aukins þrýstings. Skv. Hermance o.fl. (1972) gæti minnkun vegna þess síðarnefnda verið um 25% í efsta kílómetranum. Í flestum mælingum jafnast þessir tveir þættir út en í einstaka mælingum virðist fyrri þátturinn vera heldur sterkari og í þeim kemur fram nokkur lækkun eðlisviðnáms með dýpi.

Á norðanverðum skaganum er myndin hins vegar önnur. Þar hækkar viðnámið í laginu töluvert með dýpi. Í efstu 200-400 m er viðnám lagsins óvenju lágt eða 5-8 ohm-m, en þar undir er viðnámið gjarnan

10-12 ohm-m. Þetta kemur fram í öllum mælingum á norðanverðum skaganum. Að þessu verður vikið betur í niðurstöðum.

Lag 4. Þetta lag samsvarar bergi með heitum jarðsjó. Viðnám þess er <5-6 ohm-m, sem er mjög lágt, og þykktin meiri en nemur dýpt mælinganna (>1 km). Í borholum í Svartsengi og Reykjanesi skiptast á móbergssyrrpur, hraunlagasyrrpur og innskot. Þessi skipting sést ekki í viðnámsmælingunum, enda gildir það sama hér og um lag 3, þ.e. 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, 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	lægra en lag 1	< 3 m
" 1 "þurrt" hraun	5000-25000 ohm-m	~ hæð mælist. yfir sjó
" 2 Ferskvatnslinsa	100-3000 ohm-m	10-100 m
" 3 "Kaldur" jarðsjór	5-15 ohm-m	
" 4 "Heitur" jarðsjór	2-6 ohm-m	

4.3 Túlkun viðnámsmælinganna

Þegar viðnámsmælfarlar eru túlkaðir ber að hafa í huga að þeir eru niðurstöður mælinga, sem eru gerðar á þrívíðri jörð. Það er því æskilegt að túlkun mælinganna leiði til þrívíðra "viðnámskrokka" til að ná sem bestri samsvörun. Sá hængur er þó á, að forrit til að túlka viðnámsmælingar þrívitt eru geysilega viðamikil og til að nota þau þarf stærri tölvur en til eru á landinu. Langoftast má þó fá góðar niðurstöður með tvívíðri túlkun og reyndar dugir einvíð túlkun ótrúlega oft.

Einvíð túlkun viðnámsmælinga byggir á að skipta megi jörðinni upp í lárétt lög þar sem hvert lag hefur ákveðið eðlisviðnám og ákveðna þykkt og að lárett útbreiðsla laganna sé "óendanleg"; í raun er nóg að hún sé meiri en nemur lengd straumarma mælingarinnar. Tvívíð túlkun gerir aftur á móti ráð fyrir að eðlisviðnám megi breytast í eina stefnu lárétt auk dýpis. Hornrétt á þá stefnu er gert ráð fyrir "óendanlegri" útbreiðslu. Yfileitt er betra að mælt sé nokkurn vegin þvert á "óendanlegu" stefnuna og æskilegt er að nokkrar mælingar séu

saman í sniði. Með tvívíðri túlkun fæst gjarnan betri upplausn á mörkum lágviðnámssvæða.

Aðstæður á utanverðum Reykjanesskaga eru um margt sérstakar og óvenju hagstæðar fyrir einvíða túlkun viðnámsmælinga. Skilyrðið um lárétt lög með "óendanlega" útbreiðslu er líklega betur uppfyllt þar í a.m.k. efsta kílómetranum, en víðast annars staðar á landinu. Engu að síður voru mælingarnar 1981 og 1982 settar út með það í huga að beita mætti tvívíðri túlkun, ef það leiddi til að bæta mætti niðurstöður. Því var allflestum mælingunum raðað á sniðlinur með norðvestlæga stefnu.

4.3.1 Einvíð túlkun

Við einvíða túlkun var notað tölvuforritið CIRCLE2 eftir H.K. Johansen (1975, 1977) eins og við fyrri mælingar. Tölvan er mótuð á mæligildunum, fjölda laga og einhverjum byrjunargildum á eðlisviðnámi og þykkt hvers lags. Tölvan leitar uppi bestu túlkun á mæliferli, þ.e. túlkun sem sýnir minnst frávik frá mæligildum samkvæmt minnstu kvaðrat aðferðinni. Ef tvær eða fleiri lausnir eru mögulegar á lagafjölda má leysa það með því að tölvutúlka mælinguna fyrir allar lausnirnar. Besta lausnin er síðan valin með samanburði við þær mælingar sem staðsettar eru næst umræddri mælingu. Forritið gerir ráð fyrir 3,5% mælióvissu í hverjum mælipunkti, svo framarlega sem annað er ekki gefið. Eftir að tölvan hefur reiknað og skrifat 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% óvissumarka. Loks kemur einnig fram hvernig einstök eðlisviðnáms- og þykktargildi eru háð hvert öðru.

Allar mælingar á utanverðum Reykjanesskaga hafa verið túlkaðar með CIRCLE2. Til að losna við óreglur í yfirborðslaginu þótti heppilegast að skera framan af mæliferlinum 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.p.b. að byrja að falla. Þessi aðferð leiðir að vísu til þess að útreiknuð þykkt og eðlisviðnám á lagi 1 verður ekki alveg rétt. Samanburður við túlkanir, þar sem allur ferillinn var notaður við útreikningana, leiddi í ljós að búast má við, að eðlisviðnám lags 1 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 (ferskvatnslinsu) og laga 3 og 4 (jarðsjávar) hverfandi lítil (<5%) en það skiptir mestu máli.

Eins og áður segir gerir forritið ráð fyrir að mælióvissa í einstökum mælipunktum sé 3,5% ef annað er ekki gefið. Við úrvinnslu þessara mælinga hefur þetta gildi verið notað þegar mæld óvissa hefur verið lítil eða óþekkt. Þegar mæld óvissa, þ.e. mæliskekkjan í spennuaflestrum umreiknuð í %, var orðin umtalsverð (>1%), þá var henni bætt við föstu mælióvissuna og summa þessara gilda notuð sem mat á heildaróvissuni. Mælda óvissan eykst þegar sýndarviðnámið lækkar mikið, þ.e. spennumerkid minnkar og straumarmur lengist. Heildaróvissan fór þó yfirleitt ekki yfir 5% fyrr en sýndarviðnámið var komið niður undir 5 ohm-m og aðeins örsjaldan var hún meiri en 10%.

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 óvissumarkanna séu jafngildar (G.V. Keller & F.C. Frischknecht 1966). Fyrir lag eins og t.d. ferskvatnslinsuna er jafngildisreglan gjarnan sett fram á eftirfarandi hátt: Túlkuðu viðnámi og þykkt má breyta, sé þess gætt að margfeldið sé óbreytt. Hve mikil þessi breyting getur orðið ræðst af mælióvissu 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 liggr lægra. Svipað má segja um viðnámshlutfallið, 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 viðnám og þykkt lags 2 geti hreyfst eftir ákveðið stórum hluta af hyperbólu í viðnáms- og þykktarplani (ρ_2, h_2 - plani) og ákvarðast lengd línumnar (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 liggr utan um þennan hyperbóluhluta. Í forrinu 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 því að hin raunverulega lagskipting lendi innan óvissuflatarins. Ef þessi flötur er skoðaður í tvílogaritmisku plani, þ.e. $\log \rho_2, \log h_2$ -plani, þá breytist hann í ellipsu (eða nákvæmara hyperellipsóðu), 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 (langáss) jafngildisellipsunnar í tvílogaritmiska planinu (H.K. Johansen 1975).

Ef við lítum á hvernig óvissan kemur út fyrir einstök lög, þá kemur eftirfarandi í ljós:

Lag 1 (þurrthraun). Óvissa í túlkun er að jafnaði lítil, yfirleitt minni en 10% bæði í þykkt og eðlisviðnámi og oft mun minni. Hins vegar er oft, eins og fram kemur að ofan, tölverð kerfisbundin skekkja í túlkun á þykkt og viðnámi lagsins, og er þykktin þá ofmetin en eðlisviðnámið vanmetið. Þetta er bein afleiðing af þeirri aðferð sem notuð er til túlkunar.

Lag 2 (ferskvatnslinsan). Fyrir ferskvatnslinsuna er halli jafngildisellipsunnar slíkur að óvissan er margfalt meiri í eðlisviðnáminu en í þykkt lagsins. Af því leiðir að þó að túlkudu viðnámi í ferskvatnslinsunni sé breytt verulega, þá leiðir það aðeins til óverulegra breytinga á þykkt hennar. Þessi munur sést vel ef tafla 1 í viðauka er skoðuð. Hlutfallsleg óvissa í túlkun á viðnámi lags 2 getur þar orðið a.m.k. fjórfalt meiri en óvissan á þykktinni. Annars er óvissa í túlkun á ferskvatnslinsunni mjög háð gæðum mælingarinnar. Í bestu ferskvatnsmælingunum er óvissa mjög lítil enda eru flestar þessar mælingar staðsettar þar sem land er lágt og mæliaðstæður góðar, svo sem í Lágum eða við Seltjörn og Snorrastaðatjarnir. Óvissan í þykktinni er þarna 2-5% og í eðlisviðnáminu 6-15%. Algengast er að óvissa í þykkt sé á bilinu 5-10% og í eðlisviðnámi á bilinu 15-30%. Þar sem eðlisviðnám í ferskvatnslinsu er lágt er óvissa yfirleitt í hærra lagi. Sama er að segja ef linsan er mjög þunn.

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 mælióvissa fremur lítil. Ef svo er, þá er óvissa í túlkun lítil, gjarnan um eða innan við 5%. Óvissa verður hins vegar mun meiri ef botnviðnám er illa ákvarðað, og þá verður það matsatriði hvenær marktækjar upplýsingar fást um botnviðnám.

Ef bæði löggin koma fram í mælingunni er halli jafngildisellipsunnar

fyrir lag 3 slíkur að öndvert við ferskvatnslinsuna þá er það eðlisviðnámið sem er mun betur ákvarðað heldur en þykktin. Óvissan í lagi 4 er þá eftir sem áður háð því hve vel botnviðnám er ákvarðað.

Sem dæmi um óvissu í túlkun þar sem bæði lögin 3 og 4 koma fyrir má taka mælingu SE 100. Óvissan í eðlisviðnámi lags 3 er um 7% en í þykktinni um 35%. Óvissan í eðlisviðnámi lags 4 er um 12%. Yfirleitt gildir að hlutfallsleg óvissa í þykkt lags 3 og eðlisviðnámi lags 4 eykst eftir því sem þykkt lags 3 eykst, enda eru þá færri mælipunktar til að ákvarða þessar stærðir.

4.3.2 Tvívíð túlkun

Tölvuforritið DIM2 eftir Dey og Morrison (1976) hefur verið notað á Orkustofnun undanfarin 2 ár til að túlka viðnámsmælingar tvívít. Við notkun forritsins er í upphafi sett fram tvívít líkan (út frá niðurstöðum einvíðrar túlkunar) af viðnámssniðinu sem túlka á. Líkanið er byggt upp af tvívíðum blokkum (þriðja víddin þvert á viðnámssniðið, er "óendanleg") og hefur hver blokk ákveðið eðlisviðnám. Tölvan reiknar síðan út viðnámsmæliferla sem jörð eins og líkanið gæfi. Reiknuðu ferlarnir og mæliferlarnir eru bornir saman og ef þeim ber vel saman, þá er líkanið gott. Annars er því breytt og nýir ferlar reiknaðir út og þannig haldið áfram uns viðunandi samræmi fæst á milli mældra og útreiknaðra ferla.

Forritið vinnur með net punkta sem notaðir eru til að lýsa rafsviði í jörðu samsíða mælingunni. Þar sem netið inniheldur takmarkaðan fjölda punkta verður sniðið alltaf dálitið gróft og upplausnin í forritinu því takmörkuð. Að sjálfsögðu batnar hún með auknum fjölda punkta, en um leið eykst reiknitími forritsins í tölvunni verulega. Verður því að finna hentugt jafnvægi þarna á milli. Forritið er frekt á tölvutíma og því ærið kostnaðarsamt að túlka mælingar tvívít. Þá er sú lausn sem fæst, ekki einkvæm, þ.e. mismunandi líkön geta skýrt sömu viðnámsferla. Einnig ræður forritið illa við samliggjandi viðnámsblokkir þar sem viðnámshlutföllin eru hærri en 50:1. Túlkunar- aðferð þessi er hentug til að finna lóðrétt viðnámsskil og gefur allgóða mynd af viðnáminu undir mælimiðju., Hún veitir hins vegar ekki áreiðanlegar upplýsingar um viðnám og þykktir á lögum handan lóðréttir skila. Með mörgum mælingum í sniði má vinna gegn þeim veikleika.

Ætlunin var að beita forritinu DIM2 til að túlka þær mælingar sem hér

er fjallað um. Þegar á reyndi kom í ljós að til lítils var að vinna. Láréttar breytingar á eðlisviðnámi lags 3/4, þ.e. bergs með jarðsjó, eru litlar. Yfirleitt eru breytingar milli einstakra mælinga í viðnámssniði hlutfallslega mun minni en 2. Vegna þeirra takmarkana sem gróft net forritsins og gæði mælinganna setja, auk þess sem óreglur í efstu lögunum eru töluverðar, er vart hægt að búast við að notkun forritsins skili traustari niðurstöðum heldur en einvíð túlkun með CIRCLE2. Það er helst í mælingunum á Reykjanesi að gagn mætti hafa af forritinu. Þó var einnig horfið frá því að nota það við túlkun þeirra.

Við tvívíða túlkun mælinganna á Reykjanesi var í staðinn notað mun einfaldara forrit, VIDSKIL. Forritið er byggt á grein eftir A. A. Zohdy (1970) og getur reiknað út ferla fyrir einföld skil með mismunandi viðnámi sitt hvoru megin við skilin. Til að nota forritið þarf sem sé að líta fram hjá öllum lögum ofan jarðsjávarins. En ef tekið er tillit til að samanlöggð þykkt þeirra er hverfandi lítil miðað við þykkt jarðsjávarins, þá er þetta ekki fráleit nálgun. Kostur við þetta forrit er að það krefst ekki að farið sé yfir lóðréttu viðnámsskilin undir réttu horni.

Við notkun forritsins voru möguleg viðnámsskil staðsett út frá lögum mæliferlanna og niðurstöðum einvíðrar túlkunar. Þær voru einnig notaðar til að meta eðlisviðnám bergsins sitt hvoru megin skilanna. Síðan var tölvan notuð til að leiðréttta mæliferlana fyrir tvívíðu áhrifunum. Leiðréttu mæliferlarnir voru svo túlkaðir einvít með CIRCLE2. Ef niðurstöður þess gáfu svipað gildi fyrir lag 3 og 4 og metnu gildin, þá voru þær góðar. Ef hins vegar misræmi var þar á milli þá var líkaninu breytt og reiknaðir nýir leiðréttir ferlar út frá nýja líkaninu. Þannig var haldið áfram uns viðunandi samræmi fékkst. Alls voru 7 mælingar á Reykjanesi túlkaðar á þennan hátt með góðum árangri.

5 NIÐURSTÖÐUR

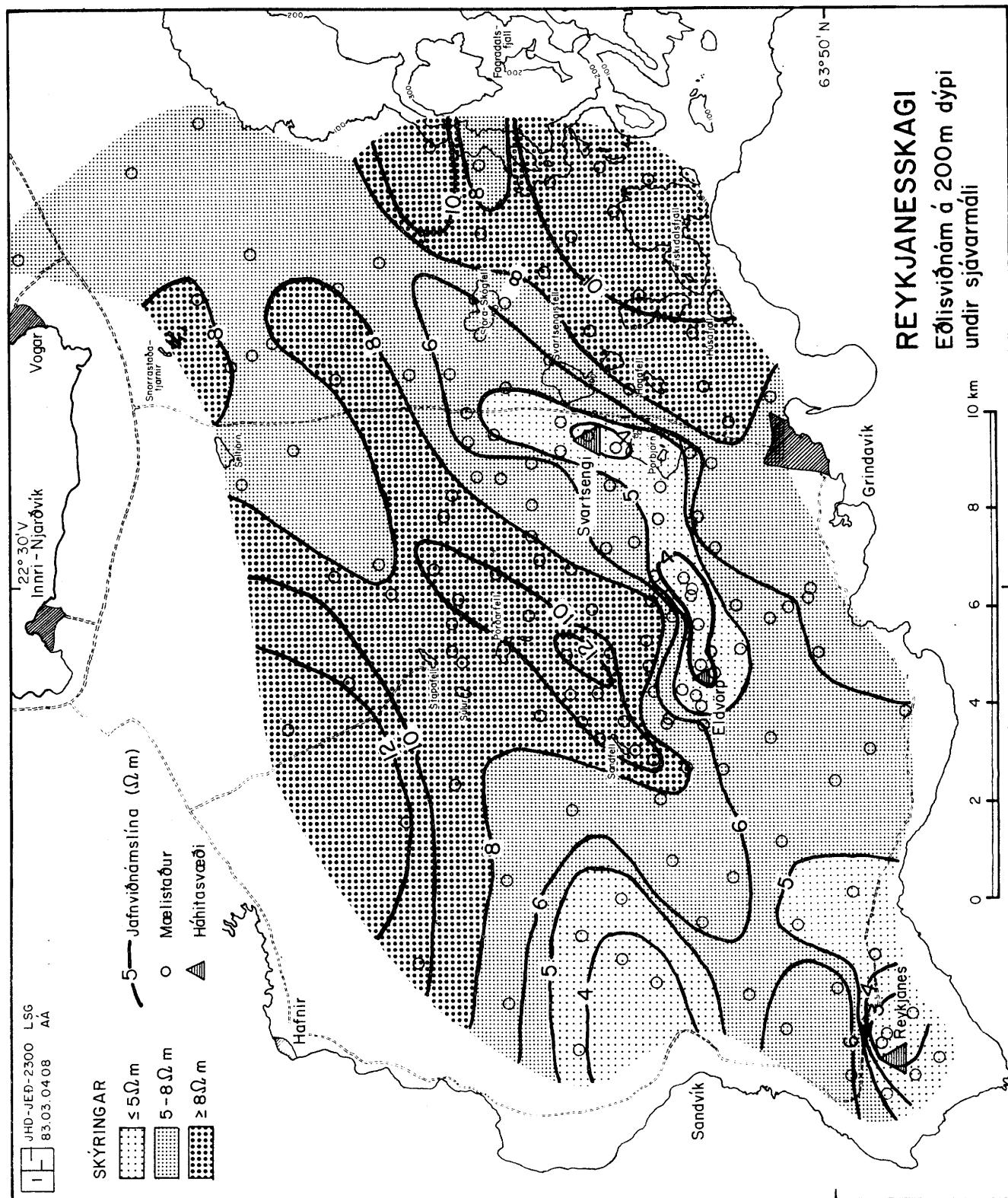
5.1 Lágviðnámssvæði

Viss hefð er fyrir því að nota gildið 5 ohm-m til að afmarka lágviðnámssvæði á utanverðum Reykjanesskaga, sbr. eldri skýrslur Orkustofnunar um svæðið. Hér verður því haldið, en þó ekki án undantekninga eins og nánar verður vikið að hér á eftir.

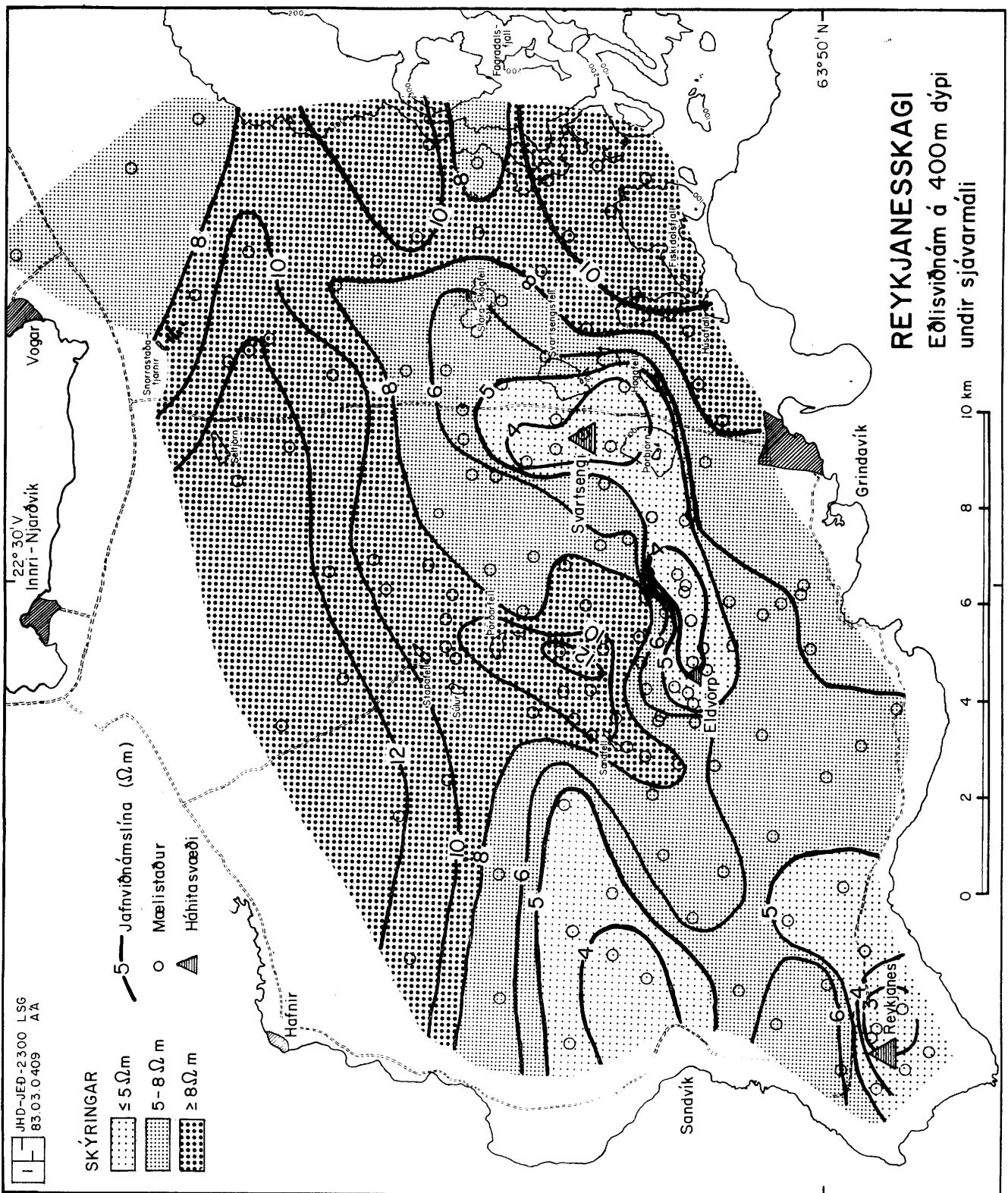
Viðnámskort sýna eðlisviðnám svæðis á ákveðnu dýpi. Myndir 2-5 sýna eðlisviðnámið á utanverðum Reykjanesskaga á 200, 400, 600 og 800 m dýpi undir sjávarmáli. Í öllum megintráttum eru myndirnar svipaðar. Á þeim koma fram þrjú lágviðnámssvæði. Það austasta nær frá Eldvörpum norðaustur fyrir Svartsengi. Annað lágviðnámssvæði er á Reykjanesi og hið þriðja upp af Sandvík, miðja vegu milli Reykjaness og Hafna. Svæðin eru öll stór, um eða yfir 10 km², ef miðað er við 5 ohm-m jafnviðnámslinuna.

Ef Svartsengis/Eldvarpa lágviðnámssvæðið er skoðað nánar þá má sjá að svæðið er um 8 km langt en aðeins rúmur 1 km að breidd á 200 m dýpi u.s., en breiddin eykst nokkuð með dýpi og er t.d. um 2 km að meðaltali á 600 m dýpi u.s. Innan þessa lágviðnámssvæðis, sem væri betra að kalla lágviðnámsbelti, eru minni svæði þar sem djúpviðnámið mælist lægra en 4 ohm-m. Eitt slikt svæði er í Svartsengi og mælist djúpviðnámið þar 3-4 ohm-m á 3-4 km² svæði á 400 m dýpi u.s. og neðar. Við jarðhitann í Eldvörpum hefur reynst erfiðara að fá traustar mælingar heldur en annars staðar á mælisvæðinu og ber því að taka niðurstöðum mælinga þar með nokkurri varúð. Tílkun SE 47, sem var mæld rétt austan við gíginn þar sem yfirborðshita gætir, bendir þó til að þar geti djúpviðnám einnig verið lægra en 4 ohm-m. Í sambandi við þetta verður þó einnig að geta þess að ákveðnar vísbendingar eru um að næst jarðhitannum í Eldvörpum hækki viðnámið eitthvað þegar dýpra kemur, sem gæti þýtt að bergið væri þar þéttara er neðar dregur, en einnig að suða sé í jarðhitakerfinu. Mælingar SE 155 og 73, sem eru báðar góðar mælingar og eru um 800 og 1500 m austar, gefa hins vegar örugglega lægra djúpviðnám en 4 ohm-m og raunar gefur sú síðar nefnda enn lægri niðurstöður, eða 2-3 ohm-m. Það er sambærilegt við djúpviðnám á Reykjanesi og er þetta lægsta gildið, sem mælst hefur utan þess. Út frá þessum mælingum má ætla að djúpviðnám sé innan við 4 ohm-m á um 2 km² svæði í Eldvörpum.

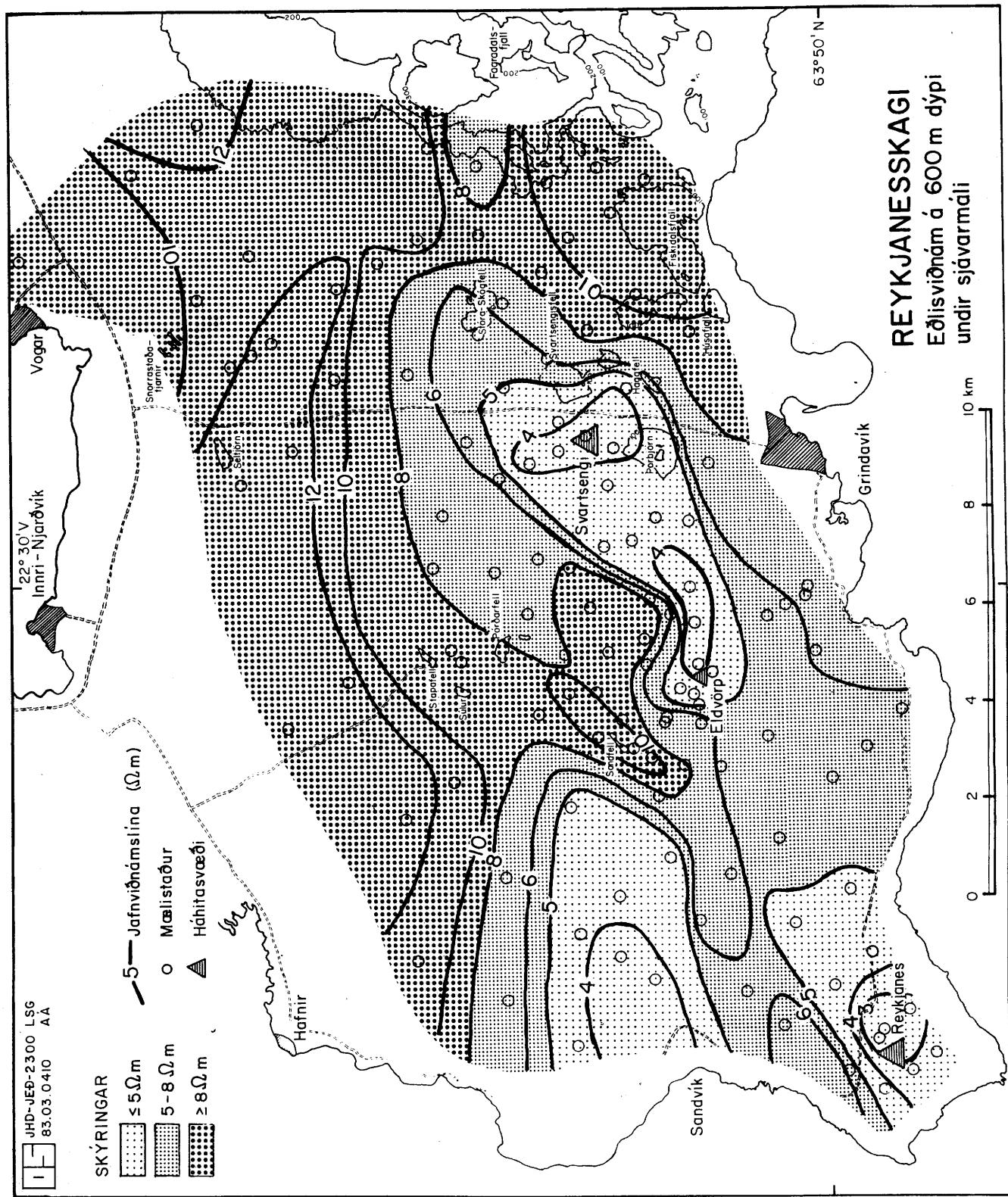
Lágviðnámssvæðið á Reykjanesi er a.m.k. 10 km² að stærð ef miðað er



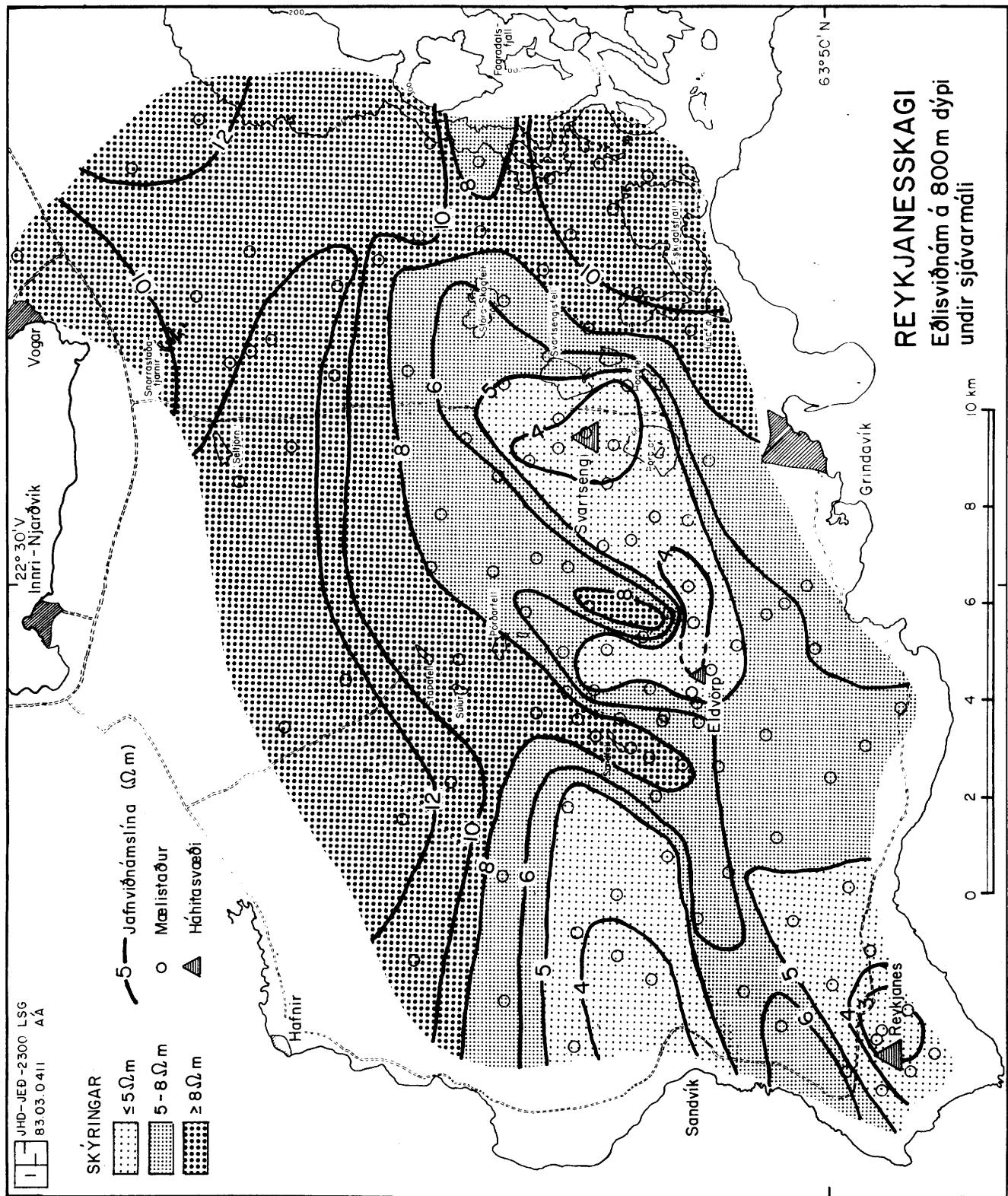
Mynd 2 Reykjanes-skagi, eðlisviðnám á 200 m dýpi undir sjávarmáli



Mynd 3 Reykjanes-skagi, eðlisviðnám á 400 m dýpi undir sjávarmáli.



Mynd 4 Reykjanes-skagi, eðlisviðnám á 600 m dýpi undir sjávarmáli.



Mynd 5 Reykjaneskagi, eðlisviðnám á 800 m dýpi undir sjávarmáli.

við 5 ohm-m jafnviðnámslínuna, en mörk þess eru óþekkt bæði til suðvesturs og suðausturs vegna sjávarins. Lægsta djúpviðnámið, 2-4 ohm-m, mælist hins vegar aðeins á 3-4 km² svæði, sem teygir sig hvergi langt út frá því svæði, þar sem jarðhita gætir á yfirborði.

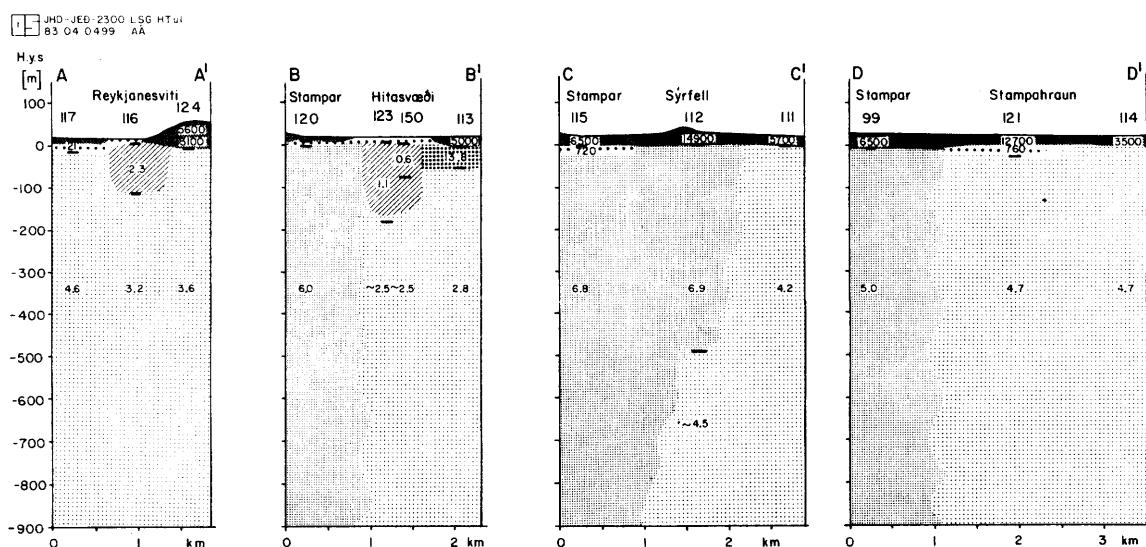
Um lágvíðnámssvæðið austur af Sandvík var ekki vitað fyrr en mælingar sumarsins 1982 leiddu það í ljós. Þarna var í fyrstu mælt til að finna svæðisbundið djúpviðám en síðan var mælt þéttar er í ljós kom hve lágt það er á þessum slóðum. Svæðið er stórt eða a.m.k. 10 km² ef miðað er við 5 ohm-m jafnviðnámslínuna og stækkar nokkuð til austurs með dýpi. Vesturmörk þess eru ekki þekkt þar sem sjór hindrar frekari mælingar til vesturs. Lægst djúpviðnám mældist þarna 3-3,5 ohm-m og ef miðað er við 4 ohm-m er svæðið 4-5 km².

Hér að ofan hefur verið rætt um lágvíðnámssvæði út frá 5 ohm-m jafnviðnámslínunni. Ef grannt er skoðað er þó ástæða til að víkja lítillega frá því. Í fyrsta lagi munar mjög litlu hvort lágvíðnámssvæðin á Reykjanesi annars vegar og í Svartsengi/Eldvörpum hins vegar, teljast eitt eða tvö. Á milli þeirra mælist djúpviðnám um 5,5 ohm-m og gáfu allar fjórar mælingarnar, sem þar eru, svipaðar niðurstöður. Svæðið yrði því eitt ef mörkin væru hækkuð í 6 ohm-m. Með því móti fengist einnig eðlilegri mynd af svæðinu. Samkvæmt því er samfellt lágvíðnámsbelti frá Reykjanesi, austur að Stóra-Skógfelli. Beltið er a.m.k. 20 km langt og stefnir um N70°A. Breidd þess er hins vegar aðeins 1-2 km, en eykst nokkuð með dýpi. Djúpviðnám er á bilinu 4,5-5,5 ohm-m. Innan lágvíðnámsbeltisins koma svo háhitasvæðin 3 fram sem minni svæði, 2-6 km² að stærð, og er djúpviðnám þar enn lægra, eða á bilinu 2-4 ohm-m. Í öðru lagi er ekki ólíklegt að austast á mælisvæðinu sé selta jarðsjávarins eitthvað minni en selta sjávar, vegna blöndunar við ferskvatn þegar innar dregur á skagann. Ef þetta er rétt, þá væri eðlilegt að hækka lágvíðnámsmörkin í sama mæli. Í sambandi við þetta má benda á að á einum stað undir Fagradalsfjalli mælist mun lægra djúpviðnám en umhverfis (SE 98 og RJK 74) eða um 6 ohm-m á móti 10-12 ohm-m umhverfis. Eðlilegt er að líta á þetta sem lágvíðnámssvæði og það er athyglisvert að svæðið er beint austur af lágvíðnámsbeltinu.

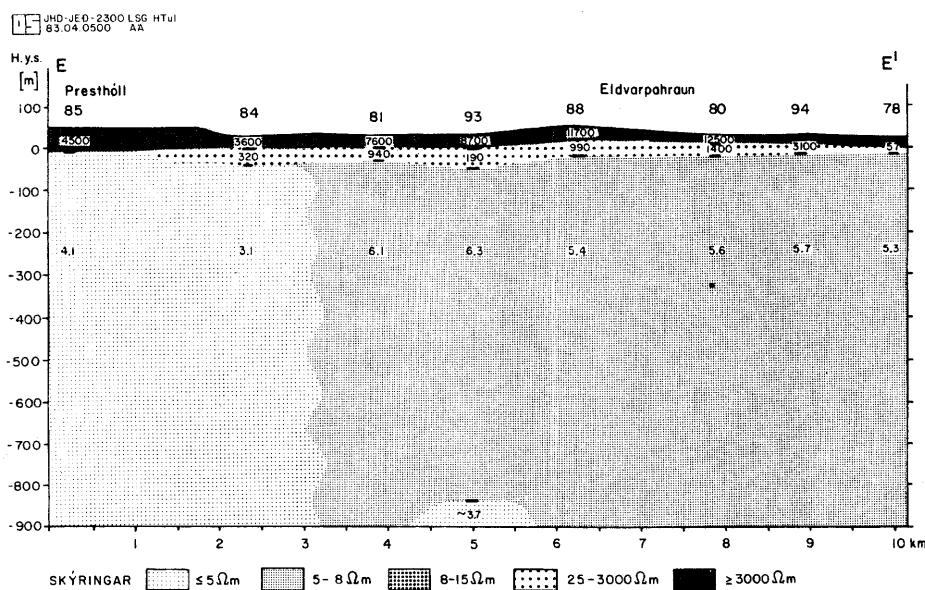
Svæðisbundið eðlisviðnám utan lágvíðnámssvæða er á bilinu 8-12 ohm-m. Á norðanverðum skaganum og þó einkum á honum norðaustanverðum, kemur fram lægra eðlisviðnám í efstu 200-400 m. Er viðnámið þar á bilinu 5-8 ohm-m. Neðar hækkar það þó upp í 10-14 ohm-m. Erfitt er að segja til um hvað veldur þessu lága eðlisviðnámi efst í jarðsjónum, en getum hefur verið leitt að því þarna gæti verið á ferðinni jarðhitavatn og

sé jarðsjórinn því heitari þarna en ella. Mælingarnar segja þó ekkert til um hvaðan þetta jarðhitavatn ætti að vera ættad.

Ef myndir 2-5 eru bornar saman við samsvarandi myndir úr skýrslunni frá 1979, þá er helsti munurinn sá að nokkrir litlir lágviðnámsblettir, flestir á norðanverðum skaganum, hafa dottið út. Til dæmis við Snorrastaðatjarnir og vestan Stapafells. Tilvist þessara lágviðnámssvæða var byggð á grunnum mælingum, og var skýrt



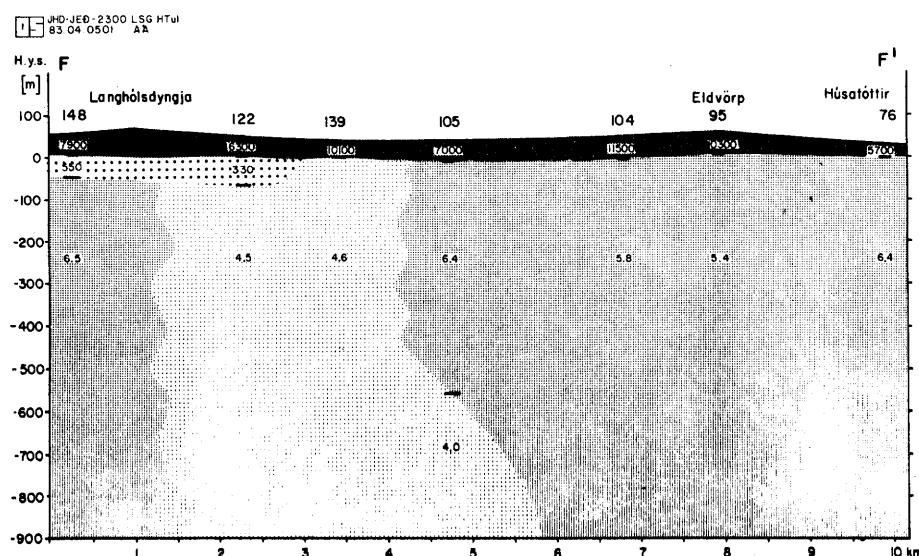
Mynd 6 Viðnámssnið A-A', B-B', C-C' og D-D' á Reykjanesi.



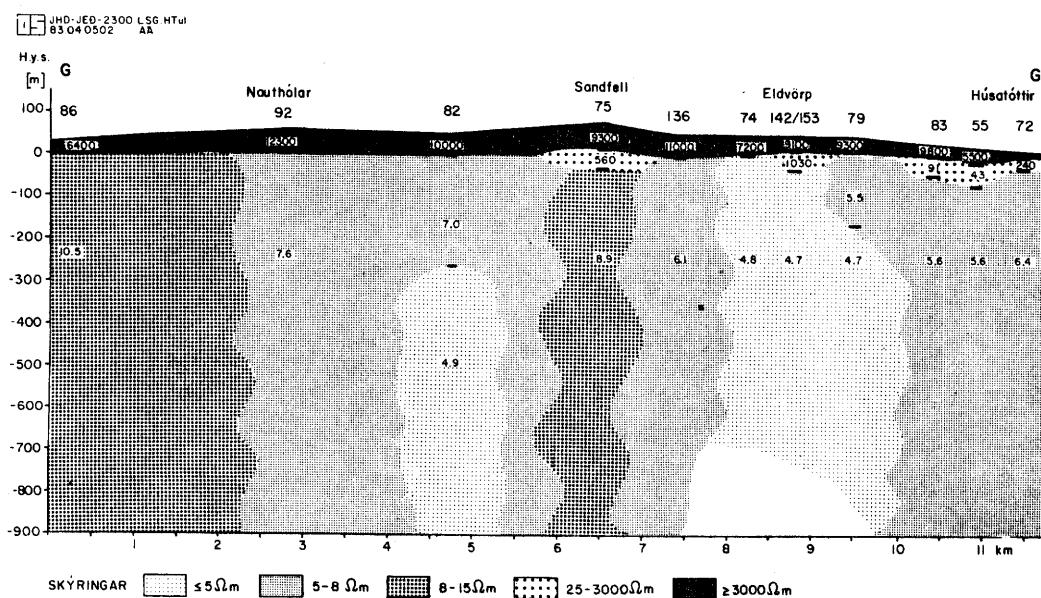
Mynd 7 Viðnámssnið E-E' í Sandvík.

tekið fram í fyrrí skýrslu að þörf væri á frekari mælingum til staðfestingar. Samkvæmt nýju mælingunum kemur, eins og að ofan getur, fram fremur lágt eðlisviðnám, 5-8 ohm-m, í efstu 200-400 m á þessum slóðum en mun herra neðar. Annars eru myndirnar áþekkar, ef frá er talið að upplýsingarnar eru óneitanlega meiri nú en þá.

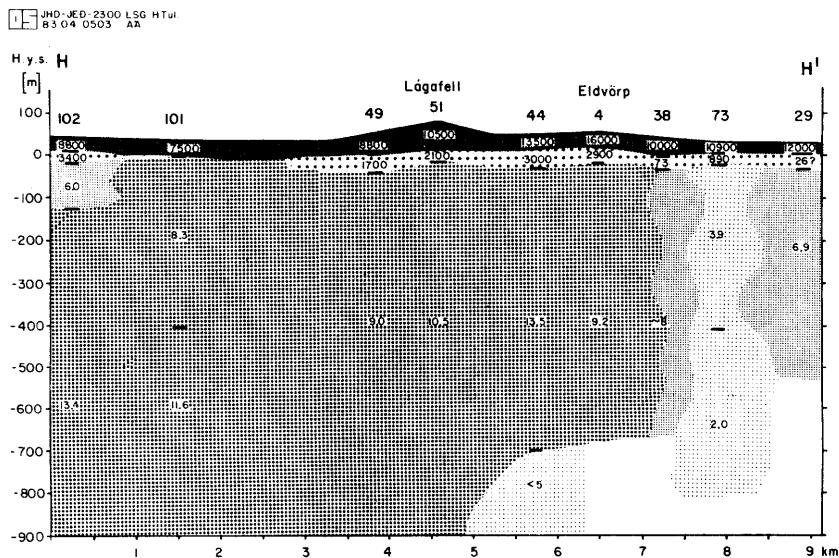
Allmög viðnámssnið (sjá myndir 6-15) hafa verið teiknuð en þau sýna breytingar eðlisviðnáms með dýpi eftir sniðlinunni. Lega sniðanna er



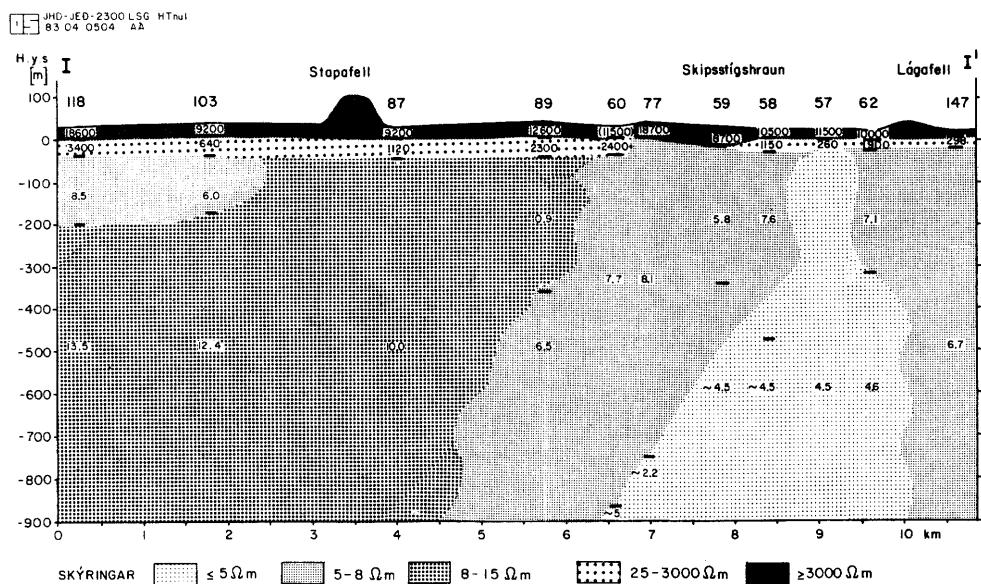
Mynd 8 Viðnámssnið F-F' í Eldvörpum.



Mynd 9 Viðnámssnið G-G' í Eldvörpum.

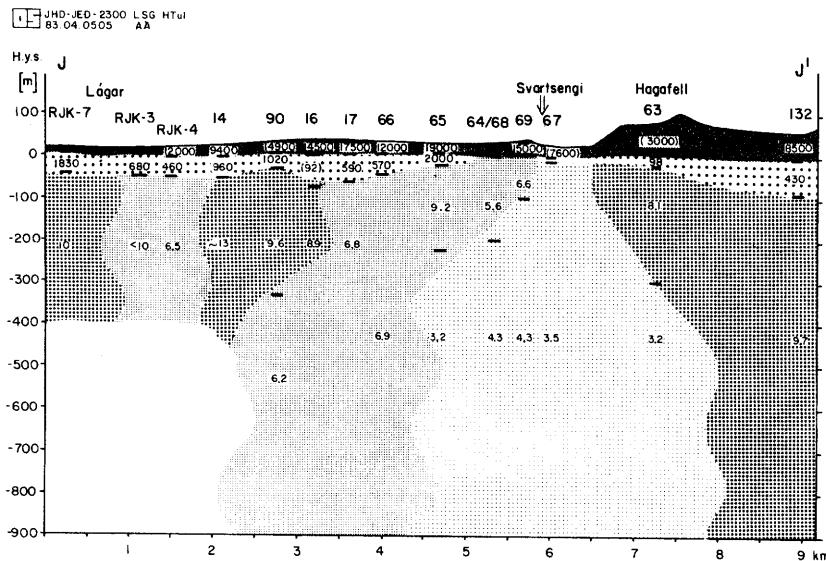


Mynd 10 Viðnámsnið H-H' í Eldvörpum.

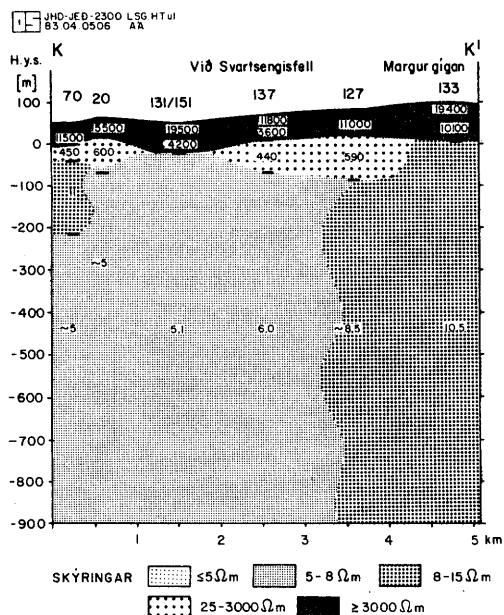


Mynd 11 Viðnámsnið I-I' í Svartsengi.

sýnd á mynd 1, en þau stefna öll NV-SA. Sniðin sýna vel hina tiltölulega einföldu og mjög svo láréttu viðnámslagskiptingu á svæðinu. Efst eru 10-80 m þykk "þurr" hraunlög með mjög háu eðlisviðnámi, þá ferskvatnslinsan, sem er yfirleitt 40-60 m þykk en með mun lægra en allbreytilegu eðlisviðnámi. Snið A-A', B-B', C-C' og D-D' á mynd 6 eru á Reykjanesi og sýna vel lágvíðnámið þar. Rétt er að

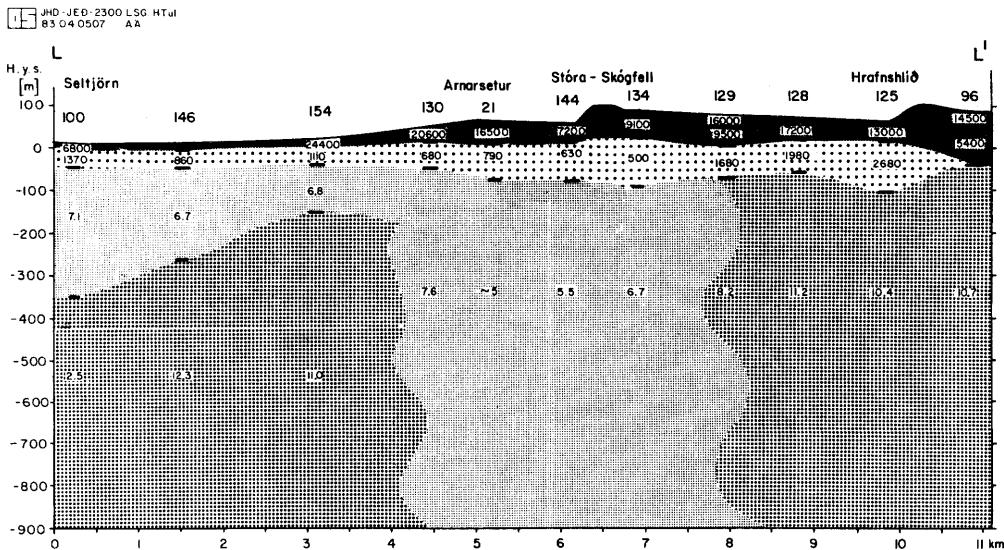


Mynd 12 Viðnámssnið J-J' í Svartsengi.

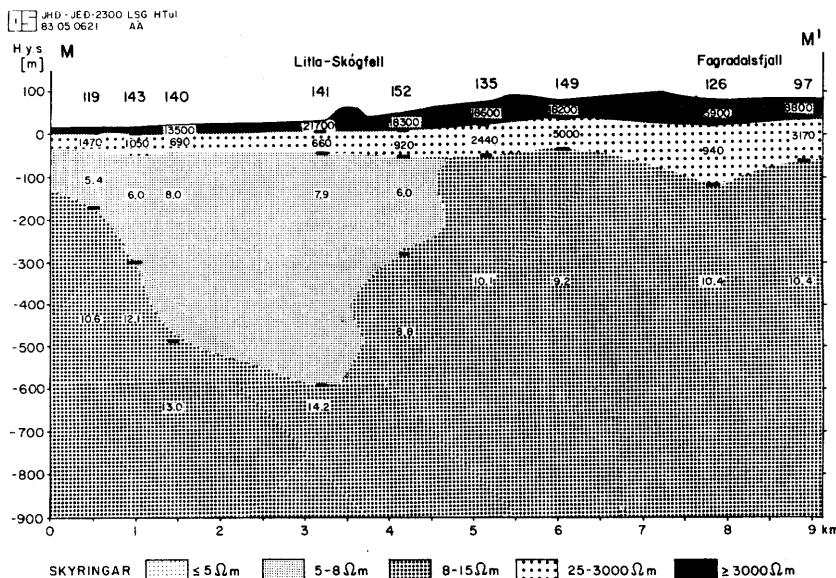


Mynd 13 Viðnámssnið K-K' í Svartsengi.

benda á að feikilega lágt eðlisviðnám, $0,5-2 \text{ ohm}\cdot\text{m}$, mælist í efstu 100-200 m inni á háhitavæðinu. Orsök þess er að jarðsjórinn þar, næst yfirborði, inniheldur meiri seltu en þegar neðar dregur vegna suðu. Þetta kemur m.a. fram í því að selta jarðhitavatns í hverum er um 50% meiri en í jarðsjónum í djúpkerfinu (og ferskum sjó).



Mynd 14 Viðnámssnið L-L' við Stóra-Skógfell.

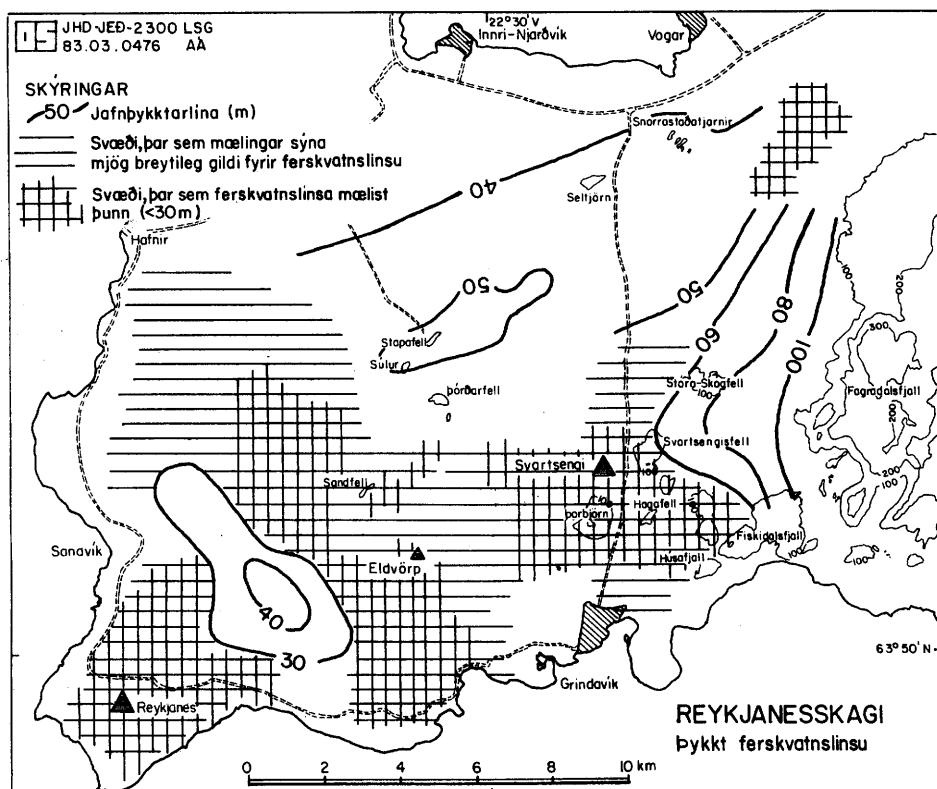


Mynd 15 Viðnámssnið M-M' við Fagradalsfjall.

Snið G-G' á mynd 9 fer rétt við jarðhitann í Eldvörpum og snið J-J' á mynd 12 fer þvert yfir Svartsengi. Þeði sýna ágætlega hvernig lágvíðnámið tengist jarðhitinum. Og snið E-E' og F-F' á myndum 7 og 8 sýna vel lágvíðnámið upp af Sandvík.

5.2 Ferskvatnslinsan

Hér verður ekki fjallað ýtarlega um ferskvatnslinsuna, enda hafa henni verið gerð góð skil í fyrri skýrslum Orkustofnunar og mælingar sumarsins 1982 hafa lítið breytt þeirri mynd. Á mynd 16 eru dregnar saman þær niðurstöður sem mestu máli skipta. Þar kemur fram að þar sem ferskvatnslinsan er tiltölulega lítt trufluð af jarðhita liggja viðnámsgildin á bilinu 300-3000 ohm-m og þykktargildin á bilinu 30-100 m. Á jarðhitasvæðum eða þar sem frárennslis frá þeim gætir er linsan þunn vegna mikillar íblöndunar við jarðsjó og mælist oft innan við 25 m á þykkt. Þessi svæði eru afmörkuð með sérstakri skyggingu á mynd 16. Loks eru "blandsvæði", þ.e. svæði þar sem eðlisviðnám í ferskvatnslinsunni er mjög lágt (<300 ohm-m), en þykktin er mjög breytileg og getur stundum verið mikil, jafnvel mun meiri en í ótruflaðri ferskvatnslinsu. Þessi svæði, sem einnig eru skyggð sérstaklega á myndinni, eru gjarnan í jaðri jarðhitasvæða (lágvíðnámssvæða) eða nærri sjávarströndinni. Þarna er ferskvatnslinsan til staðar en viðnámið í henni er lágt, þar sem



Mynd 16 Þykkt ferskvatnslinsunnar á utanverðum Reykjanes-skaga, byggð á viðnámsmælingum.

vatnið er fremur salt vegna nokkurrar blöndunar við heitan jarðsjó eða sjó.

Þetta eru annars svipaðar niðurstöður og birtar voru 1979 en myndin er heldur ýtarlegri en eldri myndir.

5.3 Jarðhiti og lágviðnám

Í kafla 5.1 var mikið talað um lágviðnám, en hvaða ályktanir má draga af því um jarðhitann á utanverðum Reykjanesskaga, svo sem um vatnsinnihald bergsins eða hitaástand. Í kafla 4.1 var lagður sá grunnur sem ætlunin er að byggja á hér, en það er jafna (6) sem gefur sambandið á milli poruhluta bergs (n), eðlisviðnáms bergs (ρ) og vökvæ (ρ_{vo}) og hita (T) upp að um 200°C . Það er freistandi að reyna að nýta hana til að búa til mynd sem sýnir hitaástand bergsins á utanverðum Reykjanesskaga á t.d. 600 m dýpi undir sjávarmáli. Myndin getur ekki sýnt hærra hitastig en 200°C þar sem að eðlisviðnámið breytist tiltölulega lítið með hita þar fyrir ofan, uns það fer að vaxa með hita ofan um 300°C . Það er best að byrja á að birta (6) aftur:

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

Hvaða vitneskja er svo fyrir hendi til að gera þetta? Eftirfarandi breytur eru þekktar:

Eðlisviðnám bergs, ρ : Þekkt, sbr. kafla 5.1.

Hiti, T , og eðlisviðnám grunnvatns, ρ_{vo} : Þekkt þar sem borað hefur verið niður á 600 m dýpi undir sjávarmáli þ.e. dýpið sem ætlunin er að miða við. Þetta hefur verið gert á eftirtöldum stöðum:

Svartsengi; $T = 240^{\circ}\text{C}$ og $\rho_{vo} = 0,3 \text{ ohm-m}$ við 20°C .

Reykjanes; $T = 250^{\circ}\text{C}$ og $\rho_{vo} = 0,2 \text{ ohm-m}$ við 20°C .

Stapafell; holan þar er um 500 m djúp en með smáframleingingu má segja að þetta sé þekkt, og er $T = 50^{\circ}\text{C}$ og $\rho_{vo} = 0,2 \text{ ohm-m}$ við 20°C .

Eldvörp; þegar þetta er skrifaeð liggja ekki miklar upplýsingar fyrir um holuna í Eldvörpum en allar líkur benda til að $T \approx 250^{\circ}\text{C}$ og að selta vökvans sé meiri en í Svartsengi.

Poruhluti, n : Lítið er vitað um poruhlutann. Þó hefur hann verið mældur í fjórum kjörnum úr holum á Reykjanesi og einnig í 8 kjörnum

úr Krísuvík, en ætla má að þar séu aðstæður svipaðar og á utanverðum skaganum. Meðalporuhluti kjarnanna úr Krísuvík er n = 0,11 og á Reykjanesi n = 0,22 (Svanur Pálsson 1972).

Þessar upplýsingar eru góðar svo langt sem þær ná, en til að geta gert umrædda mynd eru frekari forsendur nauðsynlegar og þær verður að gefa sér út frá gögnum um svæðið:

Poruhluti, n: Meiri upplýsingar um poruhluta eru nauðsynlegar til að geta reiknað út hitaástand bergsins. Hér verður gert ráð fyrir að poruhlutinn sé sami á öllu rannsóknasvæðinu. Þetta er líklega hæpnasta forsenda þessa korts en um leið nauðsynleg. Hana má styðja eftirfarandi rökum: Jarðfræðilegar myndanir eru í grófum dráttum þær sömu á öllu rannsóknasvæðinu, þannig að upphaflegt holrými ætti að vera áþekkt viðast hvar. Samkvæmt Hjalta Franzsyni (1983) hefur upphaflegt holrými í Svartsengi að mestu fyllst af útfellingum er komið er niður á 600 m dýpi og svipað gildir vafalaust á hinum jarðhitasvæðunum. Á móti kemur að jarðhitasvæðin eru tengd norðaustlægum sprungusveimum og ekki má gleyma skjálftabeltinu sem liggur eftir skaganum endilöngum. Það er því ástæða til að ætla að sprungurými sé mikið innan þeirra og ætti það að vega upp hið fyrrnefnda. Utan skjálftabeltisins er hiti bergsins það lágur að ekki er ástæða til að hafa áhyggjur af holufyllingum fyrr en komið er töluvert langt frá því. Það síðastnefnda gæti endurspeglast í heldur herra svæðisviðnámi á norðanverðum skaganum eða um 12 ohm-m, miðað við 10 ohm-m annars staðar utan lágviðnámsbeltisins. Að lokum er vert að skoða þær niðurstöður sem (6) gefur fyrir poruhluta í Svartsengi, á Reykjanesi og við Stapafell og bera þær saman við þekktar tölur og þá forsendu sem gefin var hér að ofan:

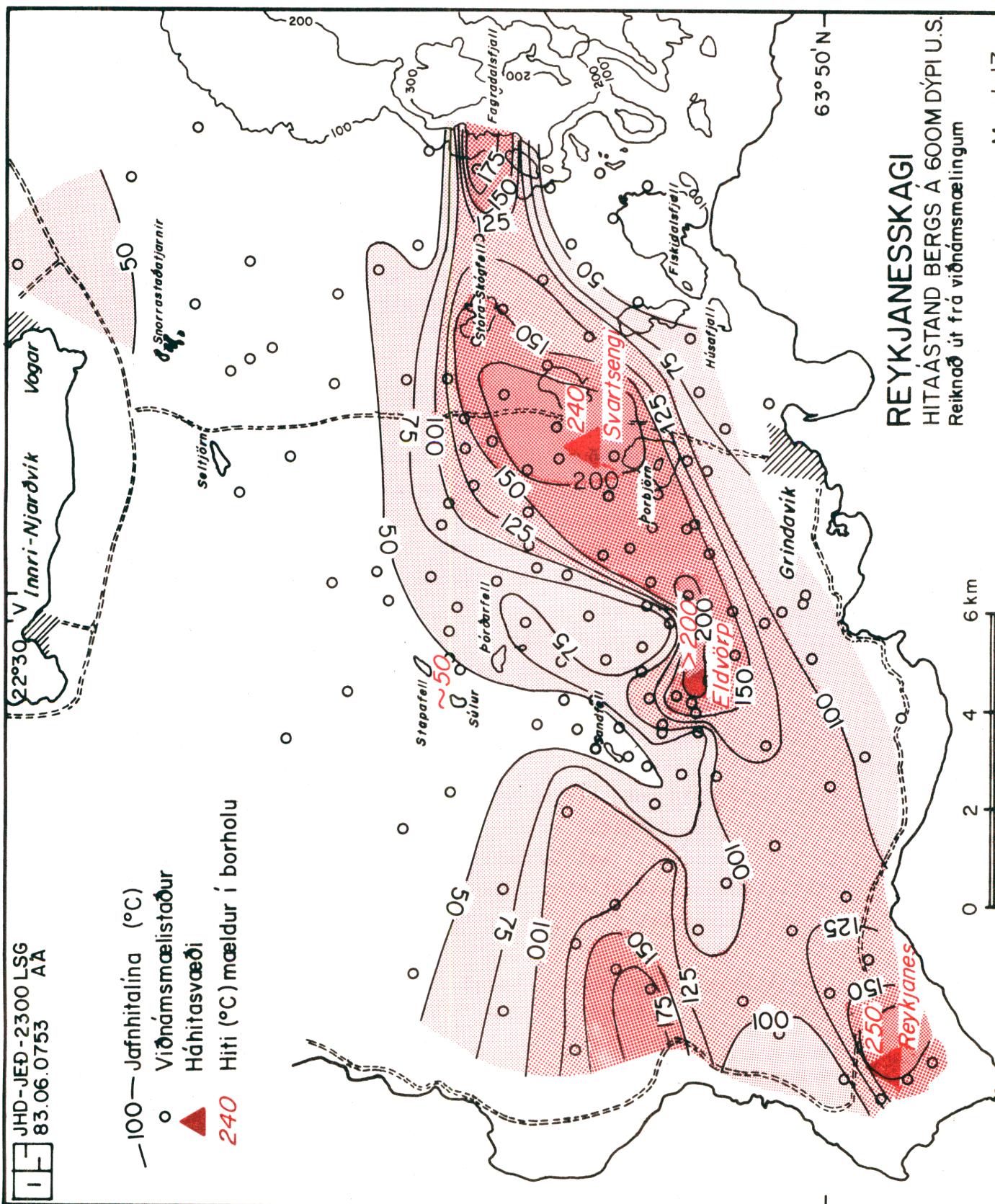
Svartsengi: n = 0,115

Reykjanes: n = 0,110

Stapafell: n = 0,107

Ekki verður annað sagt en að þetta séu mjög svipaðar tölur og mælingar á kjörnunum úr Krísuvík gáfu. Hins vegar gáfu kjarnarnir af Reykjanesi töluvert hærri niðurstöður.

Eðlisviðnám grunnvatns, ρ_v : Gert er ráð fyrir að eðlisviðnám grunnvatnsins (þ.e. selta) sé það sama alls staðar utan lágviðnámssvæða, og jafnt eðlisviðnámi sjávarins (sbr. Stapafell). Innan lágviðnámsbeltisins er gert ráð fyrir að seltan minnki línulega á milli Reykjaness og Svartsengis og áfram í sama hlutfalli til austurs. Samkvæmt því ætti selta jarðhitavatns í Eldvörpum að vera um 75% af seltu sjávar og eðlisviðnám vökvans því



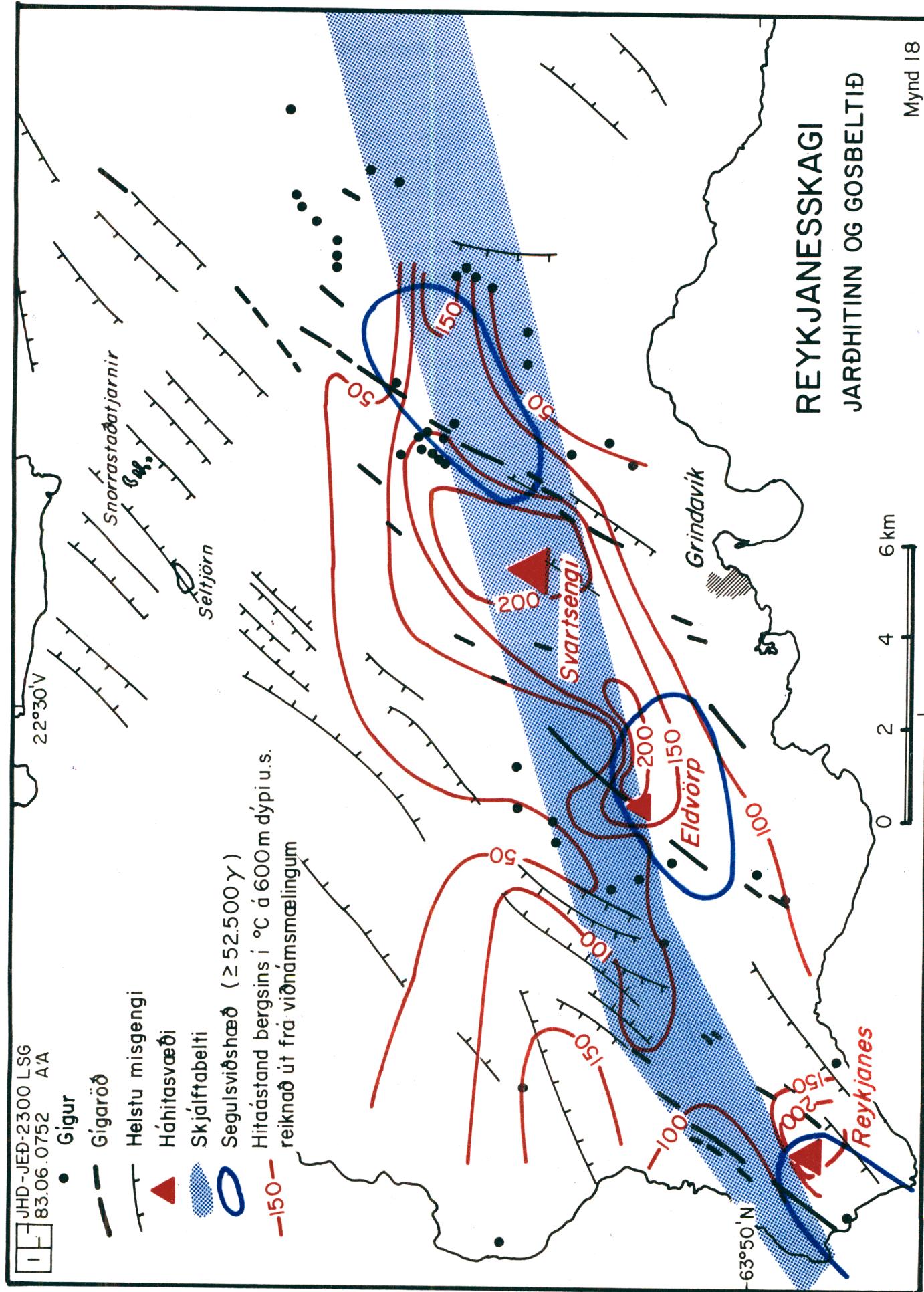
um 0,25 ohm-m við 20°C. Við Fagradalsfjall yrðu samsvarandi tölur 50% og 0,4 ohm-m. Í Sandvík er gert ráð fyrir sömu seltu og í sjónum, þ. e. $\rho_{v_0} = 0,2$ ohm-m við 20°C. Ósamfellur á mörkum lágviðnámsbeltis vegna breytinga í seltu eru jafnaðar út línulega.

Út frá ofangreindri vitneskju og forsendum er mynd 17 unnin. Það er ástæða til að taka það sterklega fram að mynd 17 stendur og fellur með forsendunum og aldrei má líta á myndina nema sem gróft yfirlit yfir hitaástand bergsins á utanverðum Reykjanesskaga. Ástæða er til að ætla að ýmis smáatriði í myndinni geti eins átt rót sína að rekja til breytilegs poruhluta eins og breytinga í hita. Má í þessu sambandi benda á köldu tunguna sem umlykur Sandfell og fleiri móbergshæðir á miðju mælisvæðinu.

Myndin er samt að mörgu leyti athyglisverð. Hún sýnir að eftir endilöngum utanverðum skaganum er belti þar sem hiti er hærri en 100°C, sem samsvarar áður umræddu lágviðnámsbelti. Hún sýnir einnig að tengslin á milli Eldvarpa og Svartsengis virðast vera mun nánari en á milli Eldvarpa og Reykjaness. Loks bendir myndin eindregið til að hiti á 600 m dýpi í Sandvík sé yfir 150°C og jafnvel nálægt 200°C og það sama má raunar segja um svæðið undir Fagradalsfjalli. Utan lágviðnámssvæða virðist hiti vera 40-50°C. Það samsvarar því að hitastigullinn sé um 70-80°C/km í gosbeltinu, þar sem ekki gætir áhrifa frá jarðhita. Þessar tölur má bera saman við tölur Ólafs G. Flóvenz (1979), en út frá samanburði á p-bylgjuhraða, hita og ummyndun fékk hann að hitastigull í gosbeltum utan jarðhitasvæða væri um 80°C.

Myndina má einnig nota til að bera saman stærð þeirra jarðhitasvæða sem þekkt eru. Ef miðað er við 200°C-línuna þá gæti jarðhitasvæðið í Svartsengi verið 6-7 km² miðað við 600 m undir sjávarmáli. Hin jarðhitasvæðin virðast hins vegar vera nokkru minni og er samsvarandi tala fyrir Reykjanes 2-2,5 km² og fyrir Eldvörp 1-2 km².

Á mynd 18 hafa hitalínurnar verið dregnar inn á mynd sem sýnir meginindrætti í jarðfræði utanverðs Reykjanesskaga, svo sem helstu misgengi og eldstöðvar, legu háhitasvæða, segulsviðshæðir og skjálftabeltið. Sambærileg mynd var birt í fyrri skýrslu en hér eru hitalínur sýndar í stað lágviðnámssvæða. Skjálftabeltið hefur verið talið nákvæmasta skilgreining á gosbeltinu á Reykjanesskaga og ákvarðar plötumót jarðskorpunnar. Þar ætti bergið því að vera mest brotið og varmauppstreymi meira en annars staðar. Það er athyglisvert að skjálftabeltið fer mjög vel saman við háan hitastigul á austanverðu svæðinu, en virðist hins vegar liggja á milli heitustu svæðanna á



vestanverðu svæðinu. Skýring á því síðarnefnda liggur ekki í augum uppi, en þetta gæti stafað af því að virkustu innskotasvæðin séu ekki endilega í miðju skjálftabeltinu, eins og reyndar lega segulsviðshæðanna bendir til. Önnur skýring gæti verið sú að í skjálftabeltinu vestast á skaganum sé bergið svo brotið að kaldur sjór eigi greiða leið inn og kælingin sé meiri en nemur varmauppstreyminu.

Það er athyglisvert að yfirborðsjarðhitinn er í öllum tilvikum tengdur meiriháttar jarðfræðilegum fyrirbærum, sprungubelti og/eða stórrí gígaröð. Þetta kann að vera ein aðalástæðan fyrir að þarna hefur náð að myndast hringrásarkerfi heits vatns. Hvort vinna má jarðhita utan þessara svæða verður ekki sannreyst nema með borunum, en vart er hægt að búast við eins öflugum jarðhitakerfum utan þeirra nema ef vera skyldi í Sandvík. Þar virðast aðstæður vera mjög áþekkar og á þekktum jarðhitasvæðum og væri mjög fýsilegt að kanna svæðið nánar með borunum. Raunar má segja það sama um lágviðnámssvæðið undir Fagradalsfjalli.

6 FREKARI RANNSÓKNIR

Nú hafa verið mældar hátt á þriðja hundrað Schlumberger viðnámsmælingar á utanverðum Reykjanesskaga, þó að telja megi að aðeins um helmingur þeirra gefi marktækjar niðurstöður fyrir djúpviðnám. Þekking á djúpviðnámi á svæðinu er nú orðin það góð að vart er ástæða til frekari mælinga á þessu svæði. Þó verður að telja nauðsynlegt að afmarka lágviðnámsvæðin í Sandvík og undir Fagradalsfjalli betur áður en til greina kemur að bora þar og má ætla í það um 10 mælingar í Sandvík og a.m.k. 5 mælingar undir Fagradalsfjalli. Ástæðan fyrir því er að þarna er ekki jarðhiti á yfirborði og því er full ástæða til að skoða svæðin vandlega áður en farið er út í dýrar boranir.

Nú þegar þessum áfanga viðnámsmælinga á Reykjanesskaga er lokið, þá er mál að fara að huga að þeim næsta, en það eru áframhaldandi mælingar til austurs, þannig að tengja megi þetta rannsóknasvæði við háhitasvæðið í Krísuvík og í framhaldi af því við önnur háhitasvæði sem eru enn austar á skaganum. Ráðgert er að fyrsti áfangi þess verks verði unnin nú í sumar (1983) og raunar eru mælingar í Trölladyngju hafnar þegar þetta er skrifaað.

Af öðrum rannsóknum skal það aðeins ítrekað enn einu sinni að mjög áhugavert væri að gera lágflugssegulkort af öllum utanverðum skaganum. Slíkt kort yrði gagnlegt við afmörkun jarðhitasvæðanna næst yfirborði en mundi einnig nýtast til frekari skilnings á eðli og uppruna jarðhitans á Reykjanesskaga. Tæki til þess eru þó ekki til í landinu sem stendur og því verður það að bíða eitthvað.

Hvað varðar rannsóknarboranir á svæðinu hlýtur áhuginn fyrst að beinast að lágviðnámsvæðinu í Sandvík ef frekari mælingar lofa jafn góðu og jafnvel einnig að Fagradalsfjalli. Þá væri ekki síður áhugavert að bora rannsóknarholu innan lágviðnámsbeltisins en fjarri þekktum jarðhita.

HEIMILDASKRÁ

Dakhnov, V.N. 1962: Geophysical well logging. Quart. Colorado Sch. Mines, vol.57, no. 2, 445 s.

Dey, A. & Morrison, H.F. 1976: Resistivity modelling for arbitrarily shaped two-dimensional structures. Geophys. Prosp. 27, 106-136.

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

Gísli Karel Halldórsson, Sverrir Þórhallsson & Lúðvik S. Georgsson 1981: Rannsókn jarðhitasvæða á utanverðum Reykjanesskaga. Orkustofnun, greinargerð GKHS-SP-LSG-81/04, 5 s.

Hermance J. F., A. Nur & S. Björnsson 1972: Electrical properties of basalt: Relation of laboratory to in situ measurements. J. Geophys. Res., 77, no. 8, 1424-1429.

Hjalti Franzson 1983: Svartsengi, hola SG-12.Borun, jarðlög og ummyndun. Orkustofnun, OS83003/JHD02, 54 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 Jónsson 1978: Jarðfræðikort af Reykjanesskaga. Orkustofnun, OS-JHD-7831, 303 s + myndir og kort.

Jónas Eliasson, Sigurður St. Arnalds & Snorri Páll Kjaran 1977: Svartsengi, straumfræðileg rannsókn á jarðhitasvæði. Orkustofnun, OS-ROD-

7718, 37 s + 37 myndir.

Karl Ragnars & Stefán Arnórsson 1974: Svartsengi. Rannsókn jarðhita-svæðisins og vinnslutækni. 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 Þórarinsson 1979: Viðnámsmælingar á Reykjaneskaga vegna ferskvatnsöflunar Hitaveitu Suðurnesja. Orkustofnun, OS79017/JKD04, 43 s.

Kristján Sæmundsson 1971: Relation between geological structures of Iceland and some geophysical anomalies (abstract). First European earth and planetary physics colloquium. Abstract Volume, 89.

Kristján 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.

Lúðvík S. Georgsson 1979: Svartsengi. Viðnámsmælingar á utanverðum Reykjanesskaga. Orkustofnun, OS79042/JHD20, 100 s.

Lúðvík S. Georgsson 1981: A resistivity survey on the plate boundaries in the western Reykjanes peninsula, Iceland. Geoth. Res. Counc., Trans. vol. 5, 75-78.

Lúðvík S. Georgsson 1982a: Viðnámsmælingar í Eldvörpum haustið 1981. Orkustofnun, OS82012/JHD01, 22 s.

Lúðvík S. Georgsson 1982b: Áætlun um viðnámsmælingar á utanverðum Reykjanesskaga sumarið 1982. Orkustofnun, greinargerð LSG-82/01, 6 s.

Lúðvík S. Georgsson 1982c: Viðnámsmælingar á Reykjanesskaga, sumarið 1982. Staða verkefnis 1982-07-26. Orkustofnun, greinargerð LSG-82/02, 3 s.

Lúðvík S. Georgsson 1982d: Viðnámsmælingar á Reykjanesi sumarið 1982.

Staðan í lok sumars 1982. Orkustofnun, greinargerð LSG-82/04, 3 s.

Ólafur G. Flóvenz 1979: Analys av refraksjonsseismiske og teleseismiske data fra Island. Cand. real. ritgerð frá Háskólanum í Bergen.

Ólafur G. Flóvenz 1982: Eðlisviðnám bergs, staða verkefnisins í árslok 1982. Orkustofnun, greinargerð OGF-82/04, 4 s.

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

Svanur Pálsson 1972: Mælingar á eðlisþyngd og poruhluta bergs. Orkustofnun, 25 s.

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

Sveinn P. Jakobsson, J. Jónsson & F. Shido 1978: Petrology of the western Reykjanes peninsula, Iceland. J. Petrology, 19, 669-705.

Valgarður Stefánsson, Lúðvík S. Georgsson & Rúnar Sigfússon 1976: Rafleiðnimælingar í Eldvörpum og Svartsengi. Orkustofnun, OS-JHD-7639, 45 s.

Zodhy, A.A. 1970: Variable azimuth Schlumberger resistivity sounding and profiling near a vertical contact. Geol. Survey Bull. 1313-A, 22 s.

VIĐAUKI A

HEITI	MELÍDAGUR	STADSETNING	HÉF [rv]	LENGD [m]	STEYR SJÓ STRAÐARMS [m]	1. LAG [ðm/m]	2. LAG [ðm/m]	3. LAG [ðm/m]	4. LAG [ðm/m]	ATHUGASEMDIR
SE-72	1981-10-02/ 03	79,85/26,40	136	15	1000	7800/13	240 ^{±40} /24 ^{±1}	6,5 ^{±0,2}	Allgöd	
SE-73	1981-10-07	82,35/26,45	0	30	1000	10900/24	890 ^{±300} /25 ^{±2}	3,9 ^{±0,2} /390 ^{±340} ₋₁₃₀	Góð	
SE-74	1981-10-04/ 05	82,35/24,25	134	50	1580	11400/6,7	560 ^{±250} /46 ^{±7}	8,9 ^{±0,2}	Góð, en rís í endann	
SE-75	1982-07-05	83,65/23,10	136	80	1580	9300/6,3	560 ^{±250} /46 ^{±7}	6,4 ^{±0,1}	Mjög góð	
SE-76	1981-10-06	79,80/25,10	28	35	1580	5700/34	8,1 ^{±0,3} /760 ^{±350} ₋₁₉₀	2 ^{±2}	Góð út í 1000 m	
SE-77	1981-10-08	84,85/26,90	22	40	1580	18700/34	56 ^{±3} /28 ^{±1}	5,3 ^{±0,1}	Góð	
SE-78	1981-10-09	78,05/23,85	137	25	1000	3300/6,7	5,5 ^{±0,6} /175 ^{±180} ₋₁₂₀	4,7 ^{±0,4}	Mjög góð	
SE-79	1982-07-02	81,40/25,20	162	50	1580	9300/35	5,6 ^{±0,2}	Samileg		
SE-80	1981-10-12	79,55/22,45	135	30	1000	12500/22	1410 ^{±300} /30 ^{±1}	6,1 ^{±0,1}	Samileg	
SE-81	1981-10-13	82,35/19,55	135	30	1580	7600/30	940 ^{±250} /33 ^{±2}	7,0 ^{±0,7} /270 ^{±200} ₋₁₁₀	Góð	
SE-82	1981-10-16	84,95/21,90	130	50	1580	10000/50	5,6 ^{±0,2}	7,0 ^{±0,7} /270 ^{±200} ₋₁₁₀	Samileg út í 1000 m.	
SE-83	1981-10-23	80,75/25,80	60	30	1580	9800/26	91 ^{±35} /48 ^{±5}	3,1 ^{±0,1}	Allgöd	
SE-84	1982-06-16	83,30/18,35	132	30	1580	3600/32	320 ^{±90} /42 ^{±2}	4,1 ^{±0,1}	Allgöd	
SE-85	1982-06-18	84,95/17,05	150	50	1580	4500/61	10,5 ^{±0,5} /1350 ^{±200} _(<5)	10,5 ^{±0,5} /1350 ^{±200} _(<5)	Allgöd	
SE-86	1982-06-18/ 22	88,20/18,35	140	30	1580	6400/32	1120 ^{±200} /45 ^{±2}	10,0 ^{±0,2}	Góð	
SE-87	1982-06-19	87,85/25,00	48	25	1580	9200/28	990 ^{±250} /44 ^{±2}	5,4 ^{±0,1}	Mjög góð út í 1000 m.	
SE-88	1982-06-20/ 21	80,65/21,20	138	50	1580	11700/29	2300 ^{±500} /48 ^{±2}	10,9 ^{±1,3} /320 ^{±190} ₋₁₁₀	Mjög góð	
SE-89	1982-06-22	85,75/25,90	48	40	1580	12600/28	1020 ^{±230} /35 ^{±2}	9,6 ^{±0,6} /305 ^{±20} ₋₈₀	Mjög góð	
SE-90	1982-06-22	87,50/28,00	45	35	1260	14900/44	2700 ^{±500} /38 ^{±1}	10,2 ^{±1,0} /220 ^{±110} ₋₈₀	Góð	
SE-91	1982-06-29	86,40/26,55	48	30	1580	15700/15	7,6 ^{±0,2}	Allgöd		
SE-92	1982-06-30	86,30/20,55	138	60	1580	12300/54	190 ^{±80} /49 ^{±4}	6,3 ^{±0,2} /790 ^{±680} ₋₂₃₀	Góð	
SE-93	1982-07-01	31,65/20,50	138	30	1580	8700/32	3100 ^{±300} /26 ^{±1}	5,7 ^{±0,1}	Góð	
SE-94	1982-07-04	78,80/23,05	138	30	1580	10300/14	5,4 ^{±0,1}	Góð		
SE-95	1982-07-05	80,80/23,30	128	60	1580	14600/11,4	5400 ^{±400} /91 ^{±2}	10,4 ^{±0,5}	Mjög góð	
SE-96	1982-07-06	83,10/34,95	148	90	1580	14500/42	3200 ^{±300} /100 ^{±3}	10,4 ^{±0,5}	Allgöd	
SE-97	1982-07-06/ 07	84,05/35,20	156	85	1580	8800/46	690 ^{±90} /135 ^{±4}	5,0 ^{±0,2}	Góð, en botninn þó ekki alveg öruggur.	
SE-98	1982-07-08	86,60/35,25	20	60	1780	5300/22	1370 ^{±50} /43 ^{±1}	7,1 ^{±0,5} /300 ^{±130}	Allgöd	
SE-99	1982-07-13/ 14	81,45/18,10	138	30	1580	19100/8,9	8,3 ^{±0,3} /400 ^{±130}	12,5 ^{±1,5}	Allgöd	
SE-100	1982-06-29	91,65/28,75	135	10	1260	6800/11,5	3400 ^{±500} /24 ^{±2}	11,6 ^{±1,5}	Allgöd	
SE-101	1982-06-30	87,35/22,50	135	35	1780	7500/39	6(-4)/110 ^{±15}	13,4 ^{±0,5}	Allgöd	
SE-102	1982-07-01	88,35/21,75	135	40	1580	8800/29	640 ^{±150} /48 ^{±2}	12,4 ^{±0,5}	Góð	
SE-103	1982-07-01	89,50/24,60	170	40	1580	9200/30	5,8 ^{±0,2}	6,3 ^{±0,3}	Góð	
SE-104	1982-07-03	81,80/22,70	120	50	1580	11500/54	6,4 ^{±0,2} /550 ^{±210} ₋₁₃₀	4,0 ^{±0,6}	Góð	
SE-105	1982-07-04	82,90/20,85	125	40	1580	7000/49	7,5 ^{±0,3} /850 ^{±250} ₋₂₅₀	13,7 ^{±4,1}	Allgöd	
SE-106	1982-07-06	96,20/33,50	140	20	1580	5700/30	18 ^{±6} /65 ^{±15}	8,0 ^{±0,3} /590 ^{±360}	Góð	
SE-107	1982-07-06	92,35/36,25	140	70	1580	7900/50	390 ^{±60} /96 ^{±4}	6(-4)/370 ^{±70}	Mjög góð	
SE-108	1982-07-06	93,75/35,20	148	50	1580	16300/46	470 ^{±80} /47 ^{±2}	8,3 ^{±0,3} /580 ^{±360}	12,7 ^{±3}	Góð
SE-109	1982-07-07	92,45/32,55	148	20	1580	8700/28	800 ^{±200} /45 ^{±3}	10,1 ^{±1,2}	Mjög góð	
SE-110	1982-07-07	91,35/33,40	148	20	1580	17100/31	6,1 ^{±0,8} /230 ^{±80}	10,6 ^{±0,7}	Allgöd. Tíuluks tvívitt.	
SE-111	1982-07-14	78,75/18,85	136	20	1000	5700/23	4,2 ^{±0,1}	Hárríðanámskili 630 m fíl v.		

HEITI	MELJDAGUR	STABSETTING	HÆÐ	LENGD	YFIR SJÓ	STEFFNA	[°rv]	[m]	1. LAG	2. LAG	3. LAG	4. LAG	ATHUGASEMDIR
									Eðlisviðnámsþykkt	Eðlisviðnámsþykkt	Eðlisviðnámsþykkt	Eðlisviðnámsþykkt	
SE-112	1982-07-15	79,60/18,20	136	30	1580	14900/28			6,9+0,3/5000+270	4,5+0,9	Góð.	Tílkud tvívitt, lágviðnámskili 470 m til A.	
SE-113	1982-07-16	78,00/18,60	138	20	1000	5000/22			14+4/55+6	2,8+0,1	Góð.	Tílkud tvívitt, háviðnámskili 1000 m til V.	
SE-114	1982-07-17	79,20/20,15	134	20	794	11800/5				4,7+0,1	Allgóð,	en ferill rís í 400 m, sem passar illa.	
SE-115	1982-07-18	80,65/17,35	146	20	1260	3500/16			720+200/22+2	6,8+0,2	Mjógg góð.		
SE-116	1982-07-19	77,95/16,35	146	15	1260	1860/8,3			21+8/23+2	3,2+0,1	Allgóð.	Tílkud tvívitt, háviðnámskili 400 m til V.	
SE-117	1982-07-20	78,55/15,95	145	20	1000	6200/11			3400+700/37+1	8,5+1,5/160+65	4,6+0,1	Góð.	Tílkud tvívitt, lágvíðnámskili 300 m til A.
SE-118	1982-07-20	90,75/23,65	144	30	1580	18600/27			1470+80/49+1	5,4+1,2/135+55	13,5+0,5	Allgóð.	
SE-119	1982-07-21	91,80/31,20	154	15	1580	18200/11			2200+36/12+1	10,6+0,9	Allgóð.		
SE-120	1982-07-14	79,30/16,35	138	20	850	8700/8			760+60/32+1	4,7+0,1	Allgóð út í 1000 m.		
SE-121	1982-07-15	80,35/19,50	138	25	1260	12700/15				4,5+0,2	Allgóð.		
SE-122	1982-07-16	84,80/19,35	128	50	1580	6300/47			330+100/63+5	2,5+1,0	Allgóð.		
SE-123	1982-07-17	78,65/17,00	128	20	1580	1340/14			1,1+0,1/190+20	3,6+0,1	Allgóð út í 630 m, ötlukanleg utar. Tílkud tvívitt, návívíðnámskili 270 m til V.		
SE-124	1982-07-18	77,45/16,70	140	50	1000	5600/19			2700+200/122+3	10,4+2,2	Allgóð		
SE-125	1982-07-19	83,80/34,30	136	65	1580	13000/51			940+80/1135+3	10,4+0,4	Góð		
SE-126	1982-08-11	85,10/34,90	6	80	1580	8700/5			590+120/106+5	8,5+0,4	Góð		
SE-127	1982-07-27	84,35/31,80	146	80	1580	15900/11			2000+400/79+4	11,2+1,0	Góð		
SE-128	1982-07-28	84,70/33,75	142	70	1580	17200/55			1700+350/82+4	8,2+0,2	Góð		
SE-129	1982-07-28	85,30/33,05	139	80	1580	16000/30			680+120/63+3	7,6+0,2	Mjógg góð		
SE-130	1982-07-30	88,10/31,00	138	50	1580	20600/36			3100+550/43+2	5,0+0,1	Góð		
SE-131	1982-07-31	86,10/30,65	148	50	1580	18900/33			430+160/81+7	9,7+0,3	Mjógg góð		
SE-132	1982-08-01	82,25/31,75	176	60	1580	8500/65			500+100/115	6,7+0,4	Allgóð		
SE-133	1982-08-03	83,40/32,55	135	90	1580	19400/33			2400+450/74+3	10,1+0,3	Allgóð		
SE-134	1982-08-04	86,10/32,40	129	90	1580	9100/64			440+90/81+3	6,1+0,1	Allgóð		
SE-135	1982-08-05	87,85/33,75	147	75	1580	18600/51			1600+300/34+2	10,5+0,5	Góð		
SE-136	1982-08-10	82,90/23,75	140	50	1580	11000/52				3,4+0,1	Allgóð		
SE-137	1982-08-11	85,20/31,25	138	70	1580	3600/46			6,0+0,2	4,6+0,1	Allgóð		
SE-138	1982-08-12	84,00/18,85	137	50	1580	5100/33			7,9+0,3/550+200	14+4	Góð		
SE-139	1982-08-14	83,95/20,10	138	40	1580	10100/42			930+180/49+2	4,8+0,2	Allgóð		
SE-140	1982-07-27	90,90/31,65	155	20	1580	13500/19			1050+50/48+1	12,1+1	Góð		
SE-141	1982-08-13	89,55/32,75	155	25	1580	21700/21			630+60/42+1	5,5+0,2	Allgóð.		
SE-142	1982-07-15/	81,90/24,65	129	50	1580	9200/34			660+60/50+1	12,0+0,3	Góð		
SE-143	1982-08-16	91,35/31,40	158	15	1580	19700/16			930+180/49+2	12,3+1,0	Góð		
SE-144	1982-08-17	86,60/31,75	139	60	1580	7200/46			1050+50/48+1	6,(-3)/250+45	Góð		
SE-145	1982-08-18	87,55/35,65	20	60	1780	4700/83			630+70/87+2	12,0+0,3	Allgóð.		
SE-146	1982-08-18	90,55/29,40	120	10	1580	8600/13			860+40/45+1	6,7+0,8/215+30	Góð		
SE-147	1982-08-19	81,90/29,05	118	25	1580	6700/16			300+65/24+1	6,7+0,1	Góð		
SE-148	1982-08-24/	86,35/15,60	132	60	1580	7900/52			550+200/54+3	6,5+0,2	Góð		
SE-149	1982-08-25	86,55/12,25	140	60	1580	18200/46			900+70/70	9,2+0,1	Mjógg góð		

HEITI	MELÍDAGUR	STÁÐSETNING	HÆÐ	LENGD	1. LAG	2. LAG	3. LAG	4. LAG
	BREIDD/LENGD	STEFINA	YFIR SJÓ	STRUMARMS	EÓLSSVIÐNAM/þykkt	EÓLSSVIÐNAM/þykkt	EÓLSSVIÐNAM/þykkt	AÐHUGASEMDIR
	[m]	[m]	[m]	[m]	[?m/m]	[?m/m]	[?m/m]	[?m/m]
SE-150	1982-08-26	78,55/17,20	47	20	1580	445/16 (0,6 180±5)	2,5±0,2	Allgoð. Tíulkurð hornrétt á SE123. Tíulkurð tvívítt, hávíðnámskili 500 m til V.
SE-151	1982-08-27	86,10/30,65	54	50	1580	20800/31 5300/38	5,3±0,2	Góð út í 1000 m. Hornrétt á SE-131.
SE-152	1982-08-28	88,65/33,25	153	50	1580	18300/41 920±200/62±3	8,8±0,7	Góð.
SE-153	1982-08-29	81,90/24,65	50	50	1580	8900/39 1130±320/43±3	4,5±0,2	Góð út í 630, ónýt þar fyrir utan. Hornrétt á SE-142.
SE-154	1982-08-30	89,65/30,90	171	20	1000	24400/16 1110±60/47±1	11,0±1,0	Mjöng góð.
SE-155	1983-06-13	82,30/25,70	45	55	1260	13200/7 6000/46 7,6±3/87±34	3,9±0,2	Góð.

VIÐAUKI B

