



ORKUSTOFNUN  
Jarðhitadeild

Axel Björnsson  
Kristján Sæmundsson  
Knútur Árnason  
Grímur Björnsson  
Gylfi Páll Hersir  
Gunnar V. Johnsen

# NESJAVELLIR - YFIRBORÐSRANNSÓKNIR

Jarðhitadeild  
GREINASAFN

13/  
1985

Samantekt jarðfræði- og jarðeðlisfræðigagna  
Rannsóknaráætlun fyrir árið 1985

OS-85030/JHD-07  
Reykjavík, apríl 1985

Unnið fyrir  
Hitaveitu Reykjavíkur



**ORKUSTOFNUN**

Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Verknúmer 611113

**Axel Björnsson  
Kristján Sæmundsson  
Knútur Árnason  
Grímur Björnsson  
Gylfi Páll Hersir  
Gunnar V. Johnsen**

# **NESJAVELLIR – YFIRBORÐSRANNSÓKNIR**

**Samantekt jarðfræði- og jarðeðlisfræðigagna  
Rannsóknaráætlun fyrir árið 1985**

**OS-85030/JHD-07**  
Reykjavík, apríl 1985

**Unnið fyrir  
Hitaveitu Reykjavíkur**

## ÁGRIP

Þessi skýrsla inniheldur samantekt um jarðfræðikortlagningu, viðnámsmælingar, þyngdar- og flugsegulmælingar og skjálftamælingar frá Nesjavallasvæði. Niðurstöður þessara athugana eru bornar saman við hita, þrýsting, jarðlög, ummyndun og viðnám í borholum.

Jarðhitasvæðið við Nesjavelli er í norðurjaðri víðáttumikils háhitasvæðis í megineldstöðinni Hengli. Sprungustykki eldstöðvarinnar liggur úr suðri inn á jarðhitasvæðið sunnan Hraunprýði en hliðrast þar til vesturs og liggur þaðan áfram norður. Viðnámsmælingar benda til þess að jarðhitakerfið stjórnist verulega af misgengjum og brotum. Þær sýna að norðan við holu NG-9 eru austurmörk svæðisins við misgengi í Nesjalaugargili en norðurmörkin við holu NG-7. Vesturmörk jarðhitasvæðisins eru óþekkt svo og austurmörkin sunnan Hraunprýði.

Lágt viðnám mælist á öllu jarðhitasvæðinu. Það er talið stafa af háum hita og ummyndun bergs. Sunnan og vestan til mælist hátt viðnám undir lága viðnáminu, sem væntanlega stafar af suðu í jarðhitavökvanum.

Lagt er til að gert verði nákvæmt jarðfræðikort af Nesjavallasvæði í mælikvarða 1:10.000 og kort er sýna höggun og jarðhita í mælikvarða 1:5.000. Þá er lagt til að gerðar verði viðnámsmælingar eftir 5 línum yfir jarðhitasvæðið og þær túlkaðar tvívítt. Markmið þeirra er að finna útmörk svæðisins, legu vatnsleiðandi sprungna og athuga hvar hátt viðnám leynist undir lágviðnámslaginu. Ennfremur er lagt til að gert verði nákvæmt þyngdarkort af jarðhitasvæðinu. Á grundvelli þessara rannsókna og annarra tiltækra gagna verði sett fram líkan af jarðhitakerfinu. Auk þess er æskilegt að setja upp fleiri þyngdar- og hæðarmælipunkta til þess að fylgjast með breytingum á kerfinu eftir að vinnsla hefst.



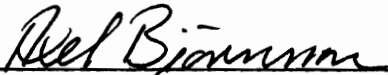
Dags.  
1985.05.02  
Dags.

Tilv. vor  
AB/aj  
Tilv. yðar

...  
Hitaveita Reykjavíkur  
c/o Jóhannes Zoëga  
Grensásvegi 1  
... 108 Reykjavík

Hér með er Hitaveitu Reykjavíkur afhent skýrsla um samantekt yfirborðsrannsóknna á jarðhitasvæðinu við Nesjavelli. Jarðhita-deild Orkustofnunar vann þetta verk samkvæmt verksamningi gerðum 20. nóvember 1984.

Virðingarfyllst

  
Axel Björnsson

EFNISYFIRLIT

	bls.
ÁGRIP	2
EFNISYFIRLIT	3
MYNDASKRÁ	5
TÖFLUSKRÁ	6
1 INNGANGUR	7
2 JARÐFRÆÐI	10
2.1 Berglög	10
2.2 Höggun	16
2.3 Jarðhiti	18
3 VIÐNÁMSMÆLINGAR	19
3.1 Inngangur	19
3.2 Schlumbergermælingar	21
3.3 Viðnámsmælingar í borholum	25
3.4 Tvípólmælingar	27
3.5 MT-mælingar	28
3.6 Niðurstöður viðnámsmælinga	29
4 ÞYNGDARMÆLINGAR	33
4.1 Inngangur	33
4.2 Úrvinnsla	33
4.3 Frumniðurstöður	34
5 EFTIRLIT MEÐ HÆÐAR- OG ÞYNGDARBREYTINGUM	38
6 FLUGSEGULMÆLINGAR	40
6.1 Inngangur	40
6.2 Framkvæmd og úrvinnsla	40
6.3 Niðurstöður	40
7 SKJÁLFTAMÆLINGAR	43
7.1 Inngangur	43
7.2 Skjálftar á Nesjavöllum	43
8 HITI OG ÞRÝSTINGUR Í JARÐHITAKERFINU	47
9 SAMBAND VIÐNÁMS, UMMYNDUNAR OG EÐLISÁSTANDS JARÐHITAKERFISINS	52

10	SAMANDREGNAR NIÐURSTÖÐUR	55
11	TILLÖGUR UM FREKARI RANNSÓKNIR	57
11.1	JARÐFRÆÐI	57
11.1.1	Jarðfræðikortlagning	57
11.1.2	Framkvæmd verksins	57
11.2	VIÐNÁMSMÆLINGAR	58
11.2.1	Tilgangur frekari viðnámsmælinga	58
11.2.2	Aætlun um viðnámsmælingar sumarið 1985	58
11.2.3	Sérfræðivinna og úrvinnsla	60
11.3	Þyngdarmælingar	62
11.4	Eftirlit með hæðar- og þyngdarbreytingum	62
	HEIMILDIR	64
	VIÐAUKI 1: Greinargerð um yfirborðsrannsóknir á Nesjavöllum	67
	VIÐAUKI 2: Samningur Hitaveitu Reykjavíkur og Orkustofnunar	73
	VIÐAUKI 3: Staðsetning viðnámsmælinga	77
	VIÐAUKI 4: Einvíð túlkun viðnámsmælinga	79
	VIÐAUKI 5: Úrvinnsla viðnámsmælinga í borholum	89
	ENGLISH SUMMARY	97

## MYNDASKRÁ

	Bls
Mynd 1.1 Norðurhluti Hengilssvæðisins, örnefni og borholur	9
Mynd 2.1 Jarðfræðikort af Nesjavallasvæði	12
Mynd 2.2 Jarðlagasnið hornrétt á sprungustykkið	14
Mynd 2.3 Jarðlagasnið hornrétt á sprungustykkið	15
Mynd 2.4 Brotalínur, höggun og jarðhiti í Hengli	17
Mynd 3.1 Staðsetning Schlumbergermælinga og viðnámssniða	20
Mynd 3.2 Viðnámssnið NS eftir Nesjavalladal, snið A-A`	22
Mynd 3.3 Viðnámssnið AV þvert á sprungustykkið, snið B-B`	23
Mynd 3.4 Staðsetning tvípólmælinga og MT-mælinga	29
Mynd 3.5 Efri mörk lágviðnáms, ásamt misgengjum og gossprungum sem sjást á yfirborði	31
Mynd 3.6 Viðnám við sjávarmál, ásamt misgengjum og gossprungum sem sjást á yfirborði	32
Mynd 4.1 Þyngdarkort af Nesjavallasvæði	35
Mynd 4.2 Þyngdarsnið NV-SA, snið A-A`	37
Mynd 6.1 Flugsegulkort af Nesjavallasvæði	41
Mynd 7.1 Upptök skjálfta á Nesjavallasvæði	45
Mynd 7.2 Dýptardreifing skjálfta	46
Mynd 8.1 Berghiti við sjávarmál	49
Mynd 8.2 Berghiti 500 m neðan sjávarmáls	49
Mynd 8.3 Þrýstifrávik í jarðhitakerfinu við sjávarmál	50
Mynd 8.4 Þrýstifrávik í jarðhitakerfinu 500 m neðan sjávarmáls	50

Mynd 8.5	Mældur og reiknaður þrýstingur í holu NG-6	51
Mynd 9.1	Viðnám, ummyndun og eðlisástand jarðhitakerfisins	53
Mynd 11.1	Tillaga að viðnámsmælingum 1985	59
Mynd 11.2	Tillaga um hæðar- og þyngdarmælingar til eftirlits með vinnslu	63
Í viðauka:		
Mynd V.1	Viðnám í borholum NG-6 og NG-7	95
Mynd V.2	Viðnám í borholum NG-9 og NG-10	96

#### TÖFLUSKRÁ

Tafla 11.1	Áætlun um viðnámsmælingar	61
Í viðauka:		
Tafla V.1	Staðsetning viðnámsmælinga	78



## 1 INNGANGUR

Hitaveita Reykjavíkur hefur rannsakað jarðhitasvæðið við Nesjavelli og undirbúið þar virkjun í nokkra áratugi. Á síðustu árum hafa verið boraðar 5 djúpar holur til þess að kanna afl og endingu jarðhitakerfisins. Jarðhitadeild Orkustofnunar hefur verið ráðgjafi Hitaveitunnar í mörgum þáttum verksins og einnig tekið að sér margvíslegar mælingar og úrvinnslu gagna. Auk þess hefur Orkustofnun á annan áratug unnið að heildarrannsókn jarðhita á Hengilssvæðinu. Í þessu skyni hefur m.a. verið gert þyngdarkort, flugsegulkort og viðnámskort.

Yfirborðsrannsóknir hafa þróast ört undanfarinn áratug. Einkum hafa nýjar aðferðir í viðnámsmælingum gefið góða raun við rannsókn lághitasvæða. Þeim hefur einnig verið beitt við rannsókn nokkurra háhitasvæða. Má þar nefna Vestur-Hengil, Hvíthólasvæðið við Kröflu og Þeistareyki. Nú stendur yfir rannsókn Trölladyngjusvæðis á Reykjanes-skaga. Úrvinnsluaðferðir allra jarðeðlisfræðilegra mælinga hafa einnig verið í örri þróun síðan farið var að beita stórum reiknivélum við túlkun gagna. Af þessum sökum eru ýmsar mælingar og athuganir, sem gerðar voru fyrir 10-20 árum, orðnar úreltar og standast ekki þær kröfur sem nú eru gerðar.

Markmið ýtarlegra yfirborðsrannsókna á fyrirhuguðu virkjunarsvæði er að fá sem gleggsta mynd af gerð og eðli jarðhitakerfisins, finna legu þess og útlínur og freista þess að staðsetja vatnsleiðandi lög og sprungur. Endanleg svör um eðliseiginleika, afl og vinnslumátt jarðhitakerfis fást hins vegar ekki nema með borunum. Engu að síður eru ýtarlegar yfirborðsrannsóknir mikilvægur þáttur í rannsókn jarðhitasvæða. Ef vel tekst til geta þær verið leiðandi við staðsetningu borhola, gert boranir hnitmiðaðri og þar með rannsókn jarðhitasvæðisins verulega ódýrari en ella.

Snemma árs 1984 hófust umræður milli Hitaveitu Reykjavíkur og Orkustofnunar um auknar yfirborðsrannsóknir á Nesjavallasvæði. Óskaði Hitaveitan eftir því að þær færu fram sumarið 1984 en af því gat ekki orðið og var ákveðið að fresta þeim um sinn. Í nóvember 1984 sendi Jarðhitadeild Hitaveitunni greinargerð með tillögum um yfirborðsrannsóknir á Nesjavallasvæði. Greinargerðin er birt í heild í viðauka 1. Þar er lagt til að yfirborðsrannsóknnum verði skipt í tvö verkefni.

Þau eru:

Verkefni 1.

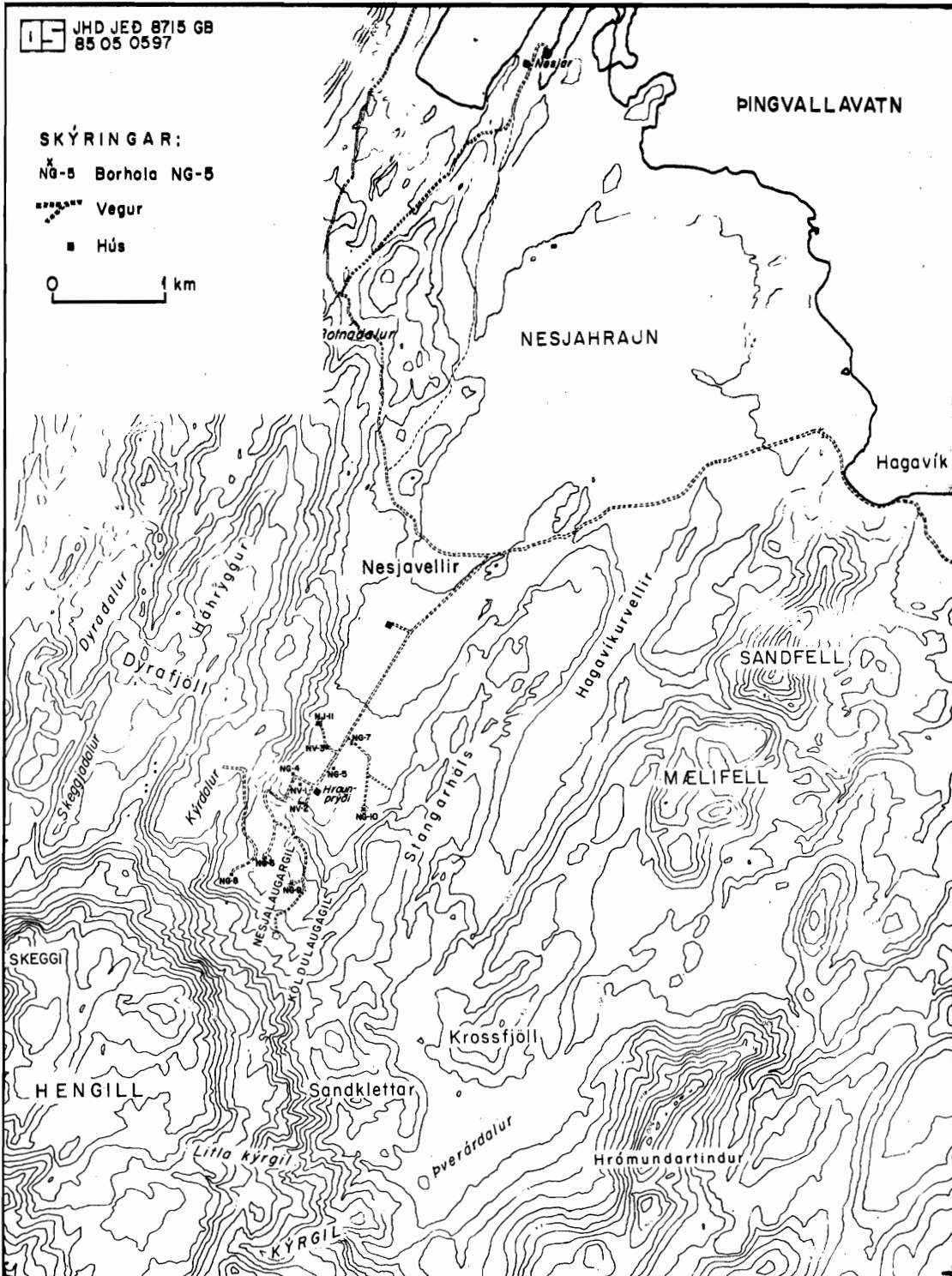
Taka saman í skýrslu öll tiltæk gögn úr yfirlitskönnun Hengils-  
svæðisins og ná út úr þeim eins miklum upplýsingum og unnt er um  
jarðhitasvæðið við Nesjavelli. Á grundvelli þessarar samantektar  
verði síðan gerðar tillögur um frekari mælingar og kortlagningu,  
sem ætlað er að segja til um viðáttu og innri gerð  
jarðhitakerfisins. Gera tíma- og kostnaðaráætlun um frekari  
kortlagningu, mælingar, úrvinnslu og túlkun. Þessi skýrsla ætti að  
vera tilbúin fyrri hluta árs 1985 þannig að hún nýtist við gerð  
verkáætlunar fyrir sumarið 1985.

Verkefni 2.

Framkvæmd þeirra rannsókna, sem skilgreindar verða út frá samantekt  
í verkefni 1 og sem samkomulag verður um milli Hitaveitu Reykjavíkur  
og Orkustofnunar. Teikning korta og sniða, túlkun  
jarðeðlisfræðilegra mælinga með hliðsjón af jarðfræði og  
niðurstöðum borholurannsókna. Samtúlkun á öllum niðurstöðum.

Í nóvember 1984 var gengið frá samningi milli Hitaveitu Reykjavíkur og  
Jarðhitadeildar Orkustofnunar (viðauki 2) um samantekt gagna úr  
yfirborðsrannsóknum á Nesjavallasvæði. Skyldi verkið vinnast eins og  
lýsing á verkefni 1 í áætlun Jarðhitadeildar gefur til kynna (viðauki 1)  
og skilast til Hitaveitunnar í apríl 1985.

Afangaskýrslu um viðnámsmælingar á Nesjavallasvæði 1970-1984 var skilað  
til Hitaveitunnar 11. mars 1985 (Greinargerð OS, KA-GPH-85/01). Sú  
skýrsla sem hér liggur fyrir er síðan árangur af verkefni 1. Hún  
inniheldur samandregnar niðurstöður úr öllum fyrirliggjandi gögnum ásamt  
tillögum um frekari rannsóknir 1985.



Mynd 1.1 Norðurhluti Hengilssvæðisins, örnefni og borholur

## 2 JARÐFRÆÐI

Þessi texti, ásamt myndum lýsir í stuttu máli helstu atriðum í jarðfræði Nesjavallasvæðisins. Þar er byggt svo til eingöngu á jarðfræðilýsingu Hengilssvæðisins frá 1967 (Kristján Sæmundsson 1967). Helstu viðbætur eru fengnar úr borholum í Nesjahrauni og innst í Nesjavalladal. Bein tenging við borholujarðfræði nær þó einungis til efstu eininga sem greinast í holum. Þessi samantekt er ætluð Hitaveitu Reykjavíkur og rannsóknarmönnum vegna fyrirhugaðra viðbótarrannsókna sumarið 1985. Óhjákvæmilega komu upp ýmsar spurningar varðandi eldri athuganir í jarðfræði svæðisins. Þykir því ekki rétt að fara út í smáatriði á þessu stigi.

### 2.1 Berglög

Hengilssvæðið er í samnefndu eldstöðvakerfi, sem nær suðvestan frá Selvogshéiði norður í Þingvallavatn. Þar er megineldstöð, sem auðkennd er af hálendinu kringum Hengil, háhitasvæði og súru og ísúru bergi. Gegnum hana liggur sprungustykki með NNA-SSV stefnu. Nesjavallasvæðið er í norðurjaðri megineldstöðvarinnar í Hengli. Jarðmyndanir eru að meginhluta frá síðasta jökulskeiði. Vestast kemur þó fram grágrýti, líklega frá síðasta hlýskeiði, og kringum Nesjavelli eru nútímahraun (sjá myndir 2.1, 2.2, 2.3 og 2.4, jarðfræðikort og snið).

#### Hlýskeiðshraun

eru upprunnin nærri vesturjaðri Henglafjalla. Yfirborð þeirra liggur í um 300 m hæð. Þau ná eitthvað innundir Henglafjöll en hverfa þegar kemur inn í sigdældina sem liggur norðaustur yfir Hengil og Þingvallavatn. Á borsvæðinu við Nesjavelli gæti tilsvarandi hlýskeiðshraun verið að finna um og rétt neðan við sjávarmál. Sig næmi eftir því a.m.k. 300 m. Í Hestvík hefur álíka mikið landsig orðið frá því grágrýtið í Jórukleif myndaðist.

#### Móbergsmýndunum

frá síðasta jökulskeiði má skipta í margar goseiningar. Í næsta umhverfi Nesjavalla er móbergið í Háhrygg elst af því sem sést ofanjarðar. Bergið í því er þóleíft. Efst í Háhrygg liggur hraunþekja úr samskonar bergi. Háhryggsmýndunin er breiður goshryggur sem nær norður að Botnadal, en hverfur til SV undir Hengil. Ísúra bergið í Sleggju kemur undan Hengli í beinu SV-framhaldi af Háhrygg.

Í borholum við Nesjavelli samsvarar Háhryggsmýndunin móbergi sem nefnt er M2 (Valgarður Stefánsson o.fl. 1983). Af líkum aldri og Háhryggur er neðsti hluti Stangarháls. Leifar af basaltþekju finnast á þessum elsta

hluta hans líkt og í Háhygg. Bergið er af annarri gerð (dílabasalt). Báðar þessar góseiningar hafa myndast í fremur þunnum jökli. Skil milli móbergs og hrauns í Háhygg eru í 220-400 m hæð (mismunur er til kominn vegna landsigs síðar) og í Stangarhálsi kringum 220 m hæð (hann hefur einnig sigið um 100-200 m miðað við Háhygg). Móbergsstapinn Hengill er næstur í aldri. Meginfjallið er um og yfir 700 m hátt. Basaltskjöldur hefur upphaflega þakið fjallið en er nú mjög rofinn, en einnig að hluta hulinn yngra móbergstúffi vestast. Móbergið í Hengli hefur lagst ofaná Háhygg og elstu Stangarhálsmyndunina og hrúgast ofaní lægðina á milli. Þar eru nú stallarnir suðvestur af borsvæðinu við Nesjavelli. Stapamyndunin í Hengli er úr "glómeródílóttu" basalti og að því leyti ólík öðrum myndunum í kring. Vafalítið má líta svo á að hún sé öll mynduð í einu gosi. Efsta móbergseiningin í syðstu borholunum (M1) myndi samsvara Hengilsmóberginu.

#### Yngstu góseiningarnar



















Í móberginu eru hryggir beggja megin við Nesjavalladal. Að vestanverðu eru Fálkaklettur og framhald þeirra norðaustur utan í Háhyggsmýnduninni. Bergið í móbergshrygg þessum er dílótt basalt, mest bólstraberg og bólstrabreksíur. Sama gossprungukerfi og myndaði hrygginn, líklega seint á síðasta jökulskeiði, gaus svo aftur á nútíma. Þá rann Nesjahraun. Austan megin við Nesjavalladalinn er Stangarháls, en efri hluti hans er goshryggur að mestu úr dílasnaudu bólstrabergi. Í slóð sömu gossprungu fylgdi sprungugos á nútíma. Þá rann Hagavíkurhraun.

Ungir goshryggir eru austan og vestanhallt í Henglafjöllum. Að vestanverðu eru þetta hryggirnir sem liggja ofan frá Skeggja norður um Dyradal í Sköflung, Jórutind og Hátind. Að austanverðu eru Sandklettur, Mælifell og Sandfell. Allt þetta hryggjastóð er úr dílóttu basalti. Mælifell er úr afar ólivínríku bólstrabergi, í hinum öllum er feldspat ráðandi dílategund.

#### Eldvirkni á nútíma

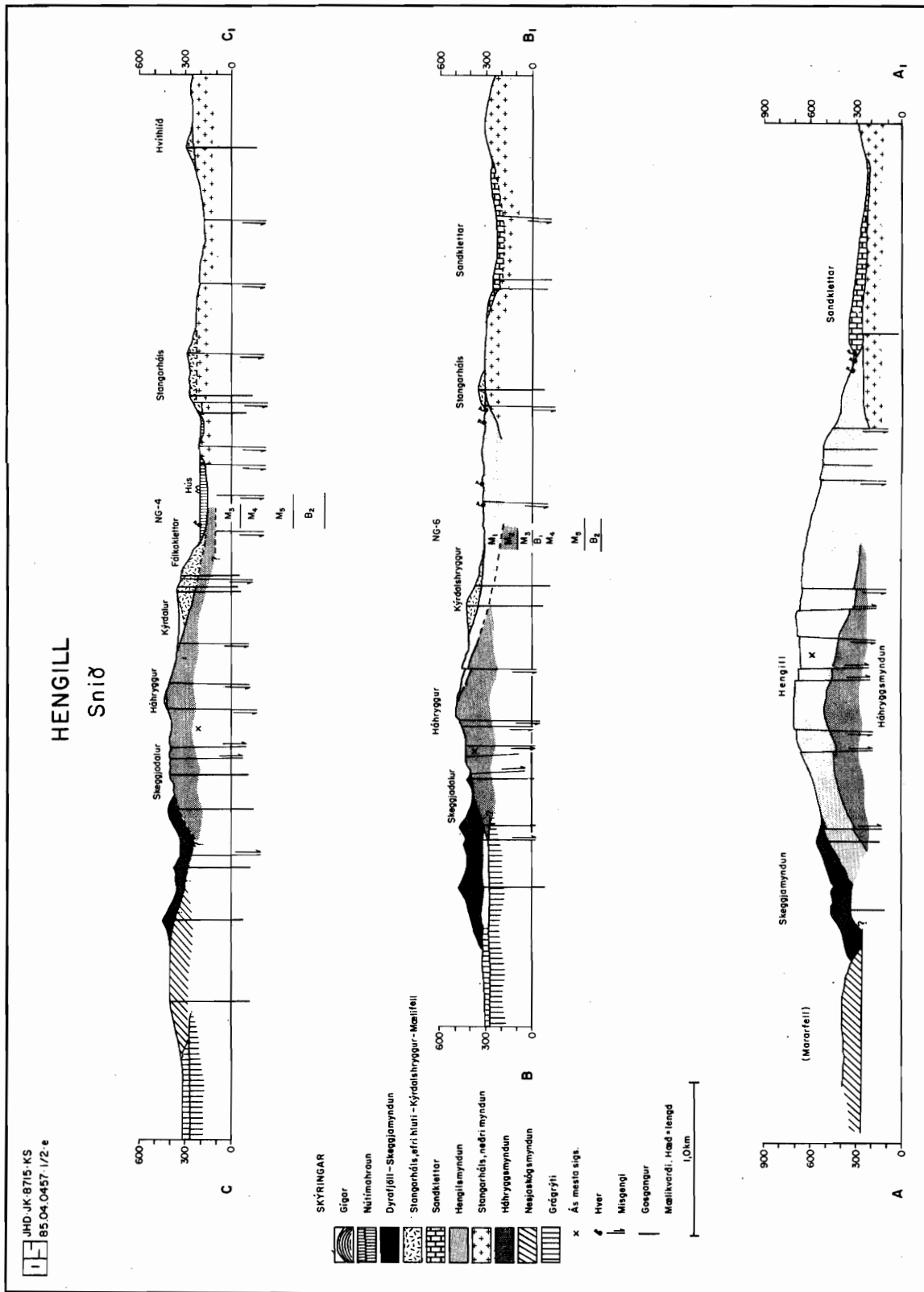
hefur aðeins náð til þess hluta sprungustykkisins, sem liggur um Nesjavalladalinn upp í Hengil og er beint framhald eldvirkinnar á sömu spildu undir ísaldarlokin (Fálkaklettur, Stangarháls). Einungis tvö sprungugos hafa verið aðgreind. Gossprungurnar eru um 5 km langar og standast á. Sú eldri er vestan í Stangarhálsi. Frá henni rann Hagavíkurhraun fyrir mörgum árpúsundum ef marka má stærð sigstalla í því. Yngri gossprungan liggur ofan við Fálkakletta. Frá henni rann Nesjahraun, sem aldursákvörðun bendir til að sé um 2000 ára, jafngamalt yngsta Helligheiðarhrauninu.



	Nesjahraun		Efri Stangarhálsmyndun basalt/móberg
	Hraun við Eldborg		Neðri Stangarhálsmyndun
	Hagavíkurhraun		Hengilsmyndun
	Tjarnarhnúkshraun		Háhryggsmyndun
	Yngstu móbergshryggir Dyrafjalla og Hagavíkurfjalla		Laus jarðlög
	Mælifellsmyndun yngri/eldri		Framhlaup
	Sandsfellsmyndun		Gossprungur og gígar frá nútíma
	Bæjarhálsmóberg		Sprengigígar frá ísöld
	Yngra móberg í Hvíthlíð		Misgengi/brotalína

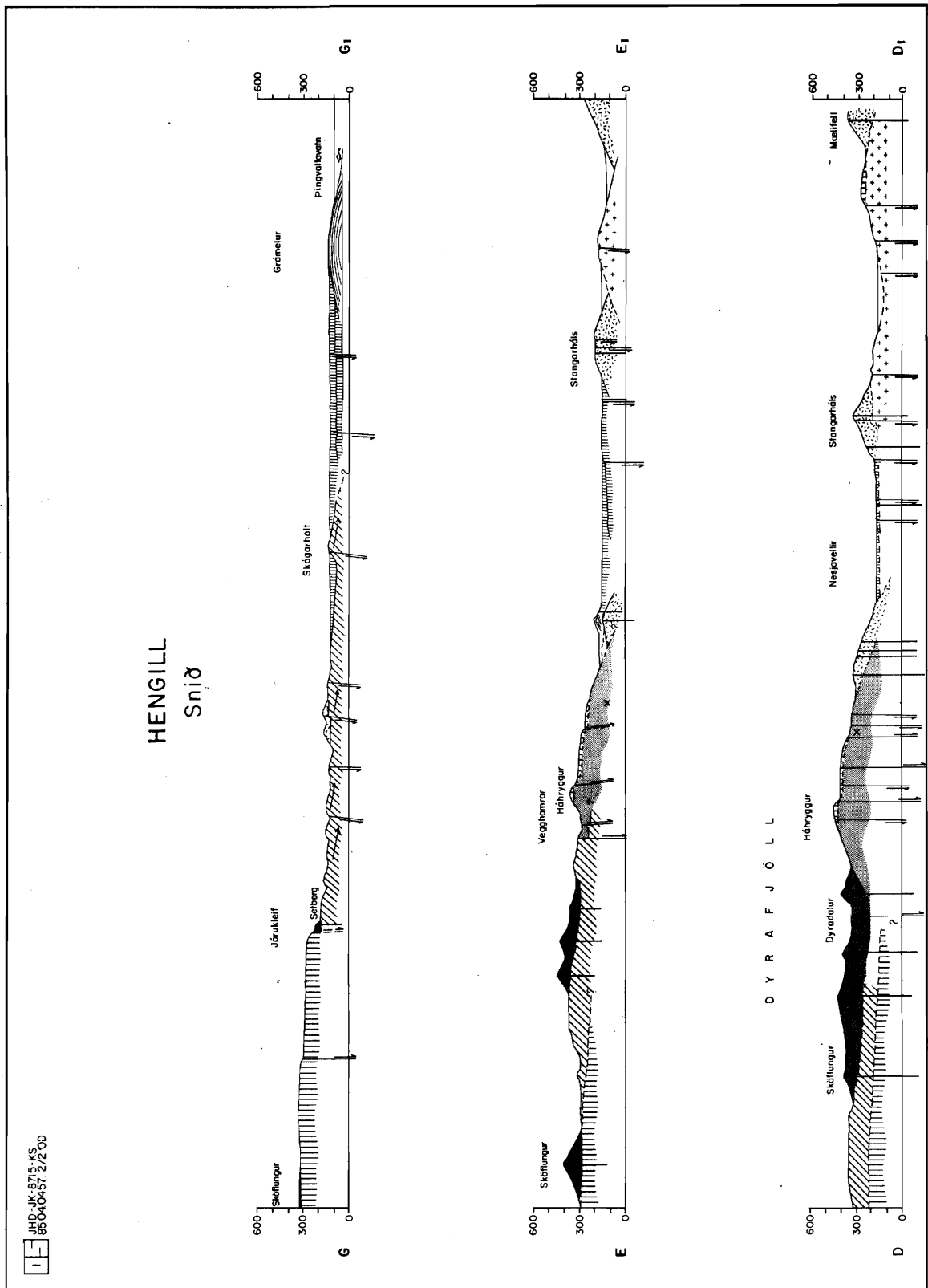
Upphleðsla í norðausturgrein Hengilssprungustykkisins er minni og nær skemmra frá megineldstöðinni en í suðvesturgreininni. Yngstu hryggirnir og nútíma gossprungur enda snubbótt á móts við línu úr Jórutindi í Hagavík. Einstöku gossprungur ná lengra, en framleiðsla gosefna snöggminskar (hryggirnir nyrst í Dyrafjöllum og austan við Botnadal) eða löng slit verða í gossprungunum (Nesjavallagígar-Sandey). Mætti álykta að kvikuhlaupum frá Hengli sé búin hindrun um þetta bil. Sýnileg breyting verður þarna á eðli brotahreyfinga, sjá kafla 2.2.

Hæð lands í Hengilssprungustykkinu er mælikvarði á framleiðni eldvirkinnar (þ.e. magn gosefna sem upp kemur á ákveðnu tímabili). Hún er mest í Hengli og Sleggju, megineldstöðinni með súru bergi í fjöllum og háhitakerfi í rótum. Hagavíkurhraun og Nesjahraun eru að flatarmáli samtals um 20 km<sup>2</sup> að meðtöldu því sem liggur á botni Þingvallavatns. Rúmmál má áætla kringum 0,4 km<sup>3</sup>. Langmest af hraunum hefur komið upp á kafla frá Nesjavöllum og norður úr og á það við um báðar gossprungur. Greinilegt er að hæð lands ræður hér mestu, enda hefur aldrei gosið úr Hengli á nútíma þótt samtímis hafi gosið sunnan og norðan við hann. Ofvöxtur stapans á síðasta jökulskeiði veldur mestu um að ekki hefur orðið hraungos í honum á nútíma. Rúmmál gosefna frá síðasta jökulskeiði á 6 km kafla tilsvarandi ungu gossprungunum í norðurgrein Hengilssprungustykkisins (snið B-G) má áætla um 5 km<sup>3</sup>.



Mynd 2.2 Jarðlagasnið hornrétt á sprungustykkið (lega sniða sýnd á mynd 2.4)





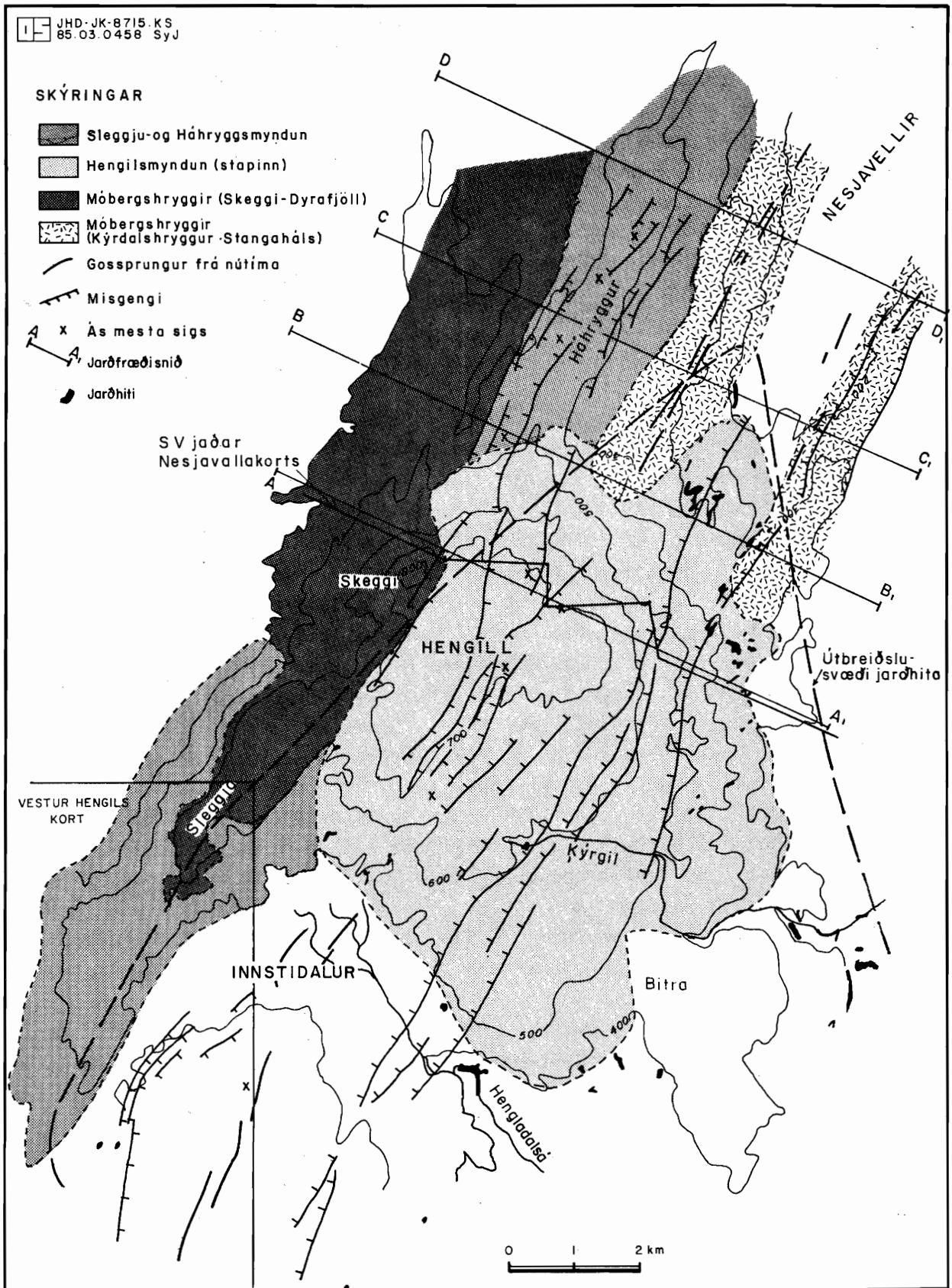
Mynd 2.3 Jarðlagasnið hornrétt á sprungustykkið (lega sniða sýnd á mynd 2.4)

Er þá miðað við að móbergsmýndanir frá síðasta jökulskeiði nái niður að basaltinu B2 í Þorholusniðunum (sjá Valgarð Stefánsson o.fl. 1983). Lengd síðasta jökulskeiðs er um 60.000 ár þannig að framleiðslan á hverjum 10.000 árum gæti hafa numið um 0,8 km<sup>3</sup>, og hefur samkvæmt því verið helmingi meiri en á nútíma.

## 2.2 Höggun

Misgengja- og sprungustykki liggur gegnum Hengilssvæðið með NNA-SSV-stefnu. Einstakar sprungur innan þess hafa sömu stefnu með smávægilegum frávikum nyrst í Dyrafjöllum (norð-suðlæg stefna). Jaðrar sprungustykkisins eru vestast í Dyrafjöllum og að austanverðu í Hagavíkurfjöllum. Virk misgengi á nútíma eru á þrengra bili í sprungustykkinu; að vestanverðu við Jórúkleif, Vegghamra og Skeggjadal, og að austanverðu um Stangarháls og Sandkletta. Ás mesta sigs liggur frá Hengli norðaustur eftir Háhygg að Botnadal. Stærð einstakra misgengja fer nokkuð eftir aldri þeirra bergmyndana sem þau skera. Stærstu misgengin sjást í hlýskeiðsgrágrýtinu við Jórúkleif, yfir 100 m. Í Háhygg, elstu móbergseiningunni, eru þau stærstu um 50 m og þaðan af minni í yngri myndunum. Borsvæðið í Nesjavalladal er ekki í miðjum sigdal sprungustykkisins, eins og gæti virst af landslaginu, heldur austan megin í sigdæld, sem liggur eftir Háhygg, en þar er upphleðslan jafnframt mest og því hæð í landslagi. Misgengin á þeim kafla sprungustykkisins sem nær frá Hengli norður á móts við Botnadal sýnast vera lóðrétt siggengi og spildur milli þeirra lítt eða ekki snaraðar. Norðan við Botnadal verður breyting. Ás mesta sigs hliðrast vestur að Vegghömrum og þaðan niður í Hestvík, en spildan frá Vegghömrum austur að Nesjahrauni og norður um Nesjar er rist sundur í misgengisstalla sem allir eru snaraðir til suðausturs, en misgengin sjálf eru siggengi hallandi á móti Jórúkleif. Samskonar brotamynstur einkennir Þingvallasvæðið norður um Gagnheiði og Ármannsfell. Þar er sigdæld tilsvarandi Hestvík nánast horfin (spildan næst Almannagjá) en ás mesta sigs færður austur að Vellankötluvíki og Arnarfelli fyrir tilverknað snörunar.

Hraði og eðli landsigs í Hengilssprungustykkinu er ekki vel þekkt nema á Þingvöllum og suður í vatn þar sem styðjast má við beinar mælingar og hæðarbreytingar á yfirborði hraunsins ofan frá Hrafnabjargahálsi. Á Þingvöllum er stöðugt landsig frá 1967 um 0,5 mm á ári og í Vellankötluvíki 1 mm á ári miðað við Kárastaði (Eysteinn Tryggvason 1973). Hraunið sem er 9000 ára gamalt (Guðmundur Kjartansson 1964) hefur sigið um 40 m við Þingvelli, en um 70 m við Vellankötlu á þeim



Mynd 2.4 Brotalínur, höggun og jarðhiti í Hengli

tíma sem síðan er liðinn. Svipuð niðurstaða fæst ef landslag á vatnsbotni suður á móts við Sandey er athugað, en þar endar hraunið. Sighraði í ási sigdældarinnar suðvestur um Hestvík og Háhrygg er líklega svipaður og á Þingvöllum (um 4 m á hverjum aldatug til jafnaðar). Þessi landbreyting er ekki jöfn nema að litlum hluta (50 cm á aldatug á Þingvöllum?). Aðalbreytingar verða í rykkjum. Síðasti viðburður af því tagi varð 1789. Landsig í þeim rykk einum hefur verið mun meira en sú alin sem oft er vitnað til um í Almanngjá (mæling Sveins Pálssonar 1945), t.d. hjá Nesjum þar sem getið er um mannhæðarháan sigstall (samtímaskýrsla Páls Þorlákssonar).

### 2.3 Jarðhiti

Jarðhitinn sunnan við Nesjavelli er á norðurmörkum háhitasvæðisins í Hengli (mynd 2.4). Sá jarðhiti sem sést á yfirborði er meðfram rótum Hengils að austanverðu og teygir sig upp í hann eftir misgengjum (mynd 2.4). Hæstu hverir eru í 420 m hæð í Hagavíkurlaugum. Yfirleitt eru þetta gufuhverir og leirhverir. Vatnshverir eru í Ölfusvatnslaugum norðaustan í Hengli. Brennisteinshverir eru meðal vestustu hveraþyrpinganna, en hvergi nærri eins líflegir og norðvestast í Innstadal. Ef litið er á útbreiðslu hvera umhverfis Hengil er áberandi að enginn jarðhiti er á fjallinu sjálfu nema hvað berg er þar víða nokkuð ummyndað af jarðhita og gasútstreymi er nokkurt í drögum Kýrgils. Lífleg hverasvæði eru bæði suðvestan í fjallinu upp af Innstadal og norðaustanmegin í því. Má því telja víst að jarðhiti sé samfelldur undir Hengli öllum nema í norðvesturhlutanum (Skeggja). Vestustu köldu hveraskellurnar á Nesjavallasvæðinu eru í gossprungu Nesjahrauns utan í Kýrdalshrygg. Þar fyrir vestan sjást fá misgengi og sprungur, fyrr en kemur upp á Háhrygg. Nokkur jarðhiti og ummyndun er utan í Sleggju austan megin, en enginn í Háhrygg sem er í norðaustur-framhaldi hennar. Sennilega liggur norðvesturjaðar háhitasvæðisins um Sleggju og austan við Háhrygg (mynd 2.4). Kaldar lindir spretta víða upp utan í hlíðum Hengils, en ekki er vitað nákvæmlega hvar, eða hversu hátt, né heldur um hita vatnsins. Svo virðist þó sem grunnvatn standi hátt í fjallinu og byrgi niðri jarðhitann.

Varðandi þá þætti sem hér hefur verið dregið á er margt sem athuga þyrfti betur. Goseiningar eru engan veginn aðgreindar til fullnustu og óljóst um upptök hinna eldri. Þar má komast lengra með athugun á berggerð, lagahalla og göngum í móberginu. Stærstu drættir í höggun Hengilssprungustykkisins eru ljósir. Athuga þyrfti betur snörun bergspildna og halla misgengissprungna, einnig mikilvægi annarra brotastefna en þeirra NA-SV-lægu. Þá er mikið ógert í kortlagningu á virkum hveraskellum, jarðhitaummyndun, og grunnvatnshæð út frá lindum.

### 3 VIÐNÁMSMÆLINGAR

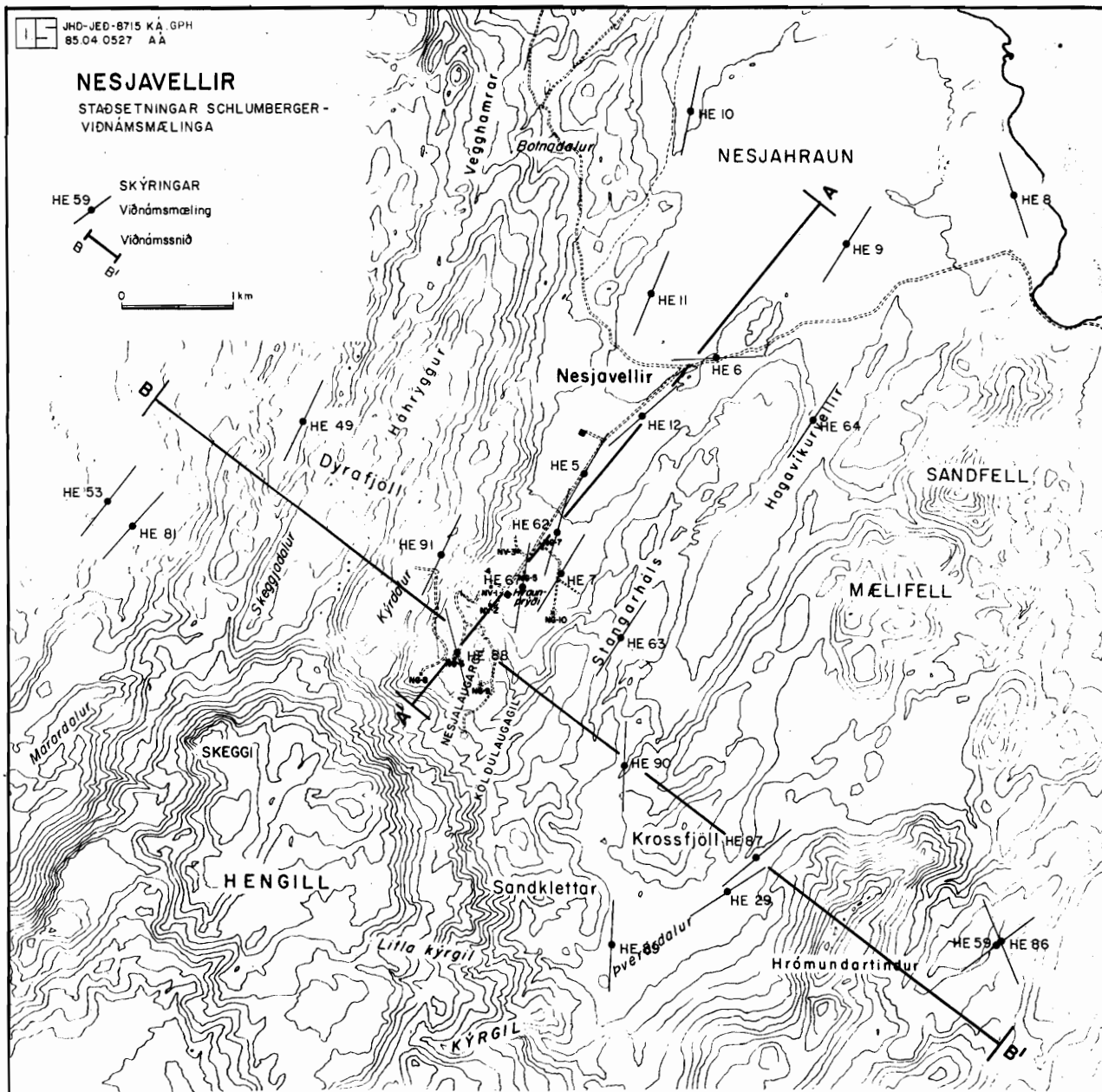
#### 3.1 Inngangur

Á undanförnum áratugum hafa viðnámsmælingar verið notaðar við yfirlitskönnun háhitasvæða. Þær hafa reynst gagnlegar við að meta legu þeirra og stærð. Rúmlega 100 viðnámsmælingar hafa verið gerðar á Hengilssvæðinu. Það eru einkum Schlumbergermælingar og tvíþólmælingar en ennfremur nokkrar MT-mælingar. Elstu mælingarnar voru gerðar við Nesjavelli árið 1970 (Jens Tómasson o.fl. 1971).

Á Hengilssvæðinu kemur fram lágt viðnám (minna en 10 ohmm) á stóru svæði, sem var túlkað sem afleiðing mikils hita, lektar og ummyndunar í bergi (Axel Björnsson o.fl. 1974, Gylfi Páll Hersir 1980, Axel Björnsson og Gylfi Páll Hersir 1981). Grynnt er á lága viðnámið nálægt miðju megineldstöðvarinnar. Þá sýna tvíþól- og Schlumbergermælingar, sem gerðar voru með mjög löngum straumarmi, að sums staðar er hátt viðnám undir lága viðnáminu. Það var túlkað sem afleiðing þétttra innskota og berghita yfir 300-400 °C. Sumarið 1982 fór fram yfirborðsrannsókn á jarðhitasvæðinu í Vestur-Hengli (Helgi Torfason o.fl. 1983). Í Sleggjubeinsdal fannst hátt viðnám neðan lágviðnámslags. Það var túlkað sem mjög hár hiti (um eða yfir 300°C) og/eða að hluti jarðhitavökvans sé gufa. Einnig var talið að innskot á þessu dýpi gætu átt hlut í að skýra þetta háa viðnám. Dýpi niður á háviðnámslagið er um 500-900 m.

Á árunum 1970-1984 voru alls gerðar 32 viðnámsmælingar á jarðhitasvæðinu við Nesjavelli og í nágrenni þess; 27 Schlumbergermælingar, 4 tvíþólmælingar og 1 MT-mæling. Fjórar elstu Schlumbergermælingarnar voru mældar með riðstraumstækjum. Gæði þeirra eru það léleg og dýptarskynjun það lítil að þeim er sleppt í þessari samantekt. Til endurtúlkunar voru því teknar 23 Schlumbergermælingar. Hnit mælimiðju allra viðnámsmælinganna eru gefin upp í viðauka 3, auk ýmissa annarra upplýsinga um mælingarnar.

Hér á eftir verður gerð grein fyrir niðurstöðum þessara viðnámsmælinga. Þá er fjallað um viðnámsmælingar í borholum.



Mynd 3.1 Staðsetning Schlumbergermælinga og viðnámsniða

### 3.2 Schlumbergermælingar

Staðsetning Schlumbergermælinga á og við Nesjavelli er sýnd á mynd 3.1. Gæði mælinganna eru misjöfn. Stafar það fyrst og fremst af því, að mælitæki og mæliaðferðir hafa þróast ört síðasta áratug. Mæliniðurstöður eru nú nákvæmari en áður og mögulegt er að hafa straumarmslengdir (AB/2) mun meiri og auka þar með dýptarskynjun mælinga. Þá hefur túlkun mælinga tekið stórstígum framförum með vaxandi tölvunotkun.

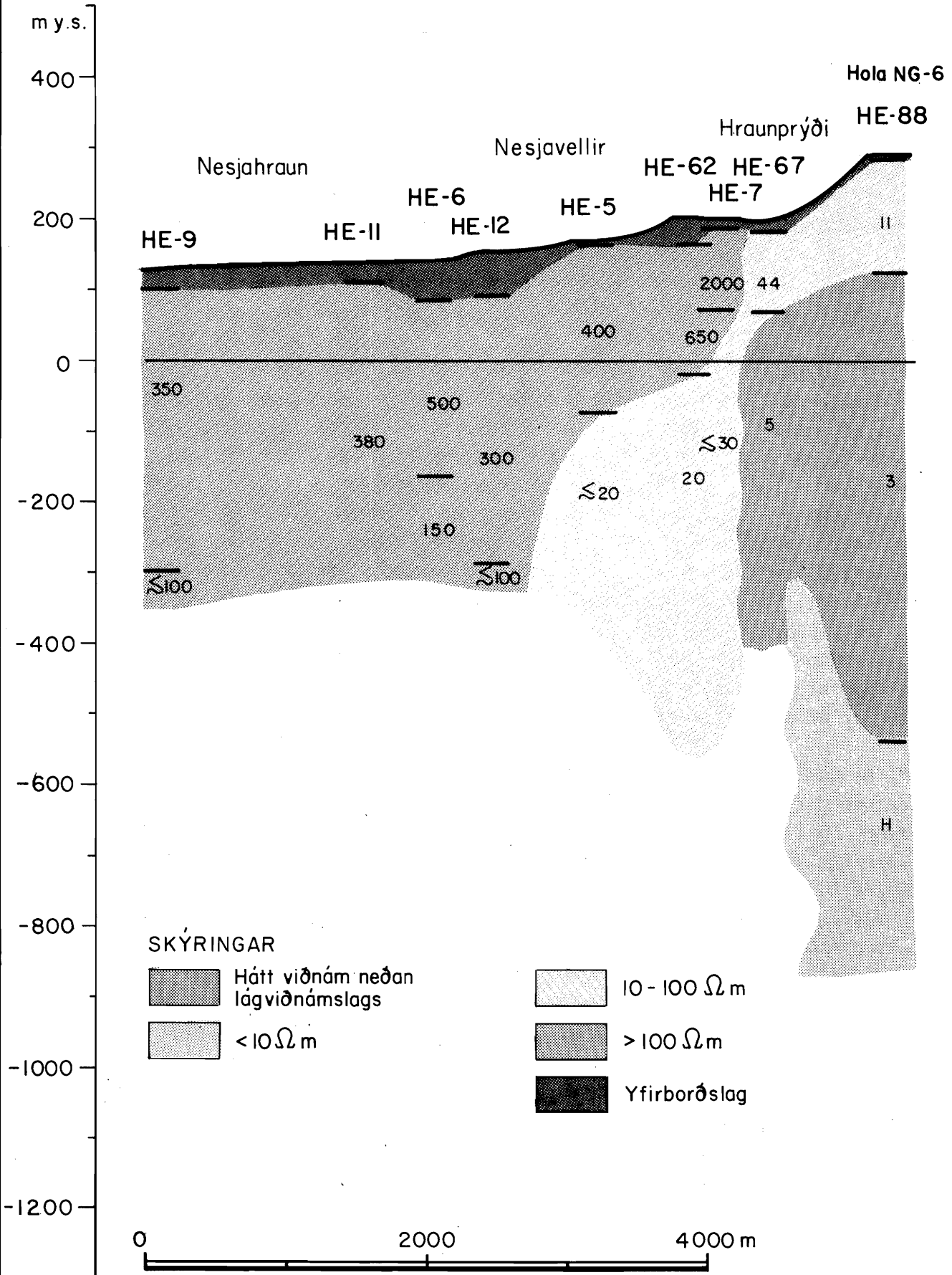
Við endurtúlkun Schlumbergermælinga var einungis beitt einvíðri túlkun því að mælingarnar eru of dreifðar og stefnur straumarma þeirra of óreglulegar til að hægt sé að túlka þær tvívítt. Stór hluti mælinga ber þess merki að viðnámsdreifing er ekki einvíð í nágrenni þeirra og því ber að taka þá einvíðu túlkun, sem hér er sett fram, með varúð.

Elstu 8 mælingarnar eru frá árinu 1970 (HE-5 til HE-12). Mesta straumarmslengd (AB/2) var aðeins 900 metrar. Túlkun mælinganna gefur því einungis vísbendingar um viðnámsdreifingu í efstu jarðlögum. Svipaða sögu er að segja um mælingar HE-29, HE-53, HE-59 og HE-64. Aðrar mælingar eru þokkalegar og mælingar sem gerðar voru 1983 og 1984 eru mjög góðar, enda er mesta straumarmslengd í þeim allt að 2200 m og dýptarskynjun því töluverð. Schlumbergermælingar, sem gerðar voru fyrir árið 1983, voru túlkaðar einvítt með forritinu CIRCLE2 en mælingar frá 1983 og 1984 með forritinu ELLIPSE. Síðarnefnda forritið var þróað á Orkustofnun og hefur það ótvíræða kosti fram yfir það fyrrnefnda, einkum við túlkun viðnámsmælinga á háhitasvæðum þar sem víða eru miklar viðnámsbreytingar. Í viðauka 4 eru sýndarviðnámsferlar einstakra mælinga sýndir ásamt einvíðri túlkun þeirra.

Á myndum 3.2 og 3.3 eru sýnd viðnámssemi, hornrétt hvort á annað, í gegnum jarðhitasvæðið við Nesjavelli. Lega þeirra er sýnd á mynd 3.1. Á mynd 3.2 er sýnt viðnámssemi eftir Nesjavalladal samsíða stefnu sprungustykkisins (viðnámssemi A-A'). Það sýnir að norðan við Nesjavelli er nokkuð hátt viðnám (100-500 ohm) eins djúpt og séð verður, en á þessu svæði eru einungis til gamlar mælingar með stuttum straumörmmum og lítilli dýptarskynjun. Þegar kemur að Hraunprýði lækkar viðnámið mikið. Frá Hraunprýði og eins langt í suður og sniðið nær er mjög lágt viðnám niður á um 700-800 m dýpi. Neðan við lágviðnámslagið í mælingu HE-88 er hátt viðnám. Það er látið ná norður að mælingu HE-67, vegna nálægðar við mælingu HE-91 í Kýrdal, sem sýnir hátt djúpviðnám. Það ber að taka fram að einungis hlutfall viðnáms og þykktar er vel ákvarðað í lágviðnámslagi eins og þessu sem er milli tveggja jarðlaga með háu viðnámi. Þetta er kallað jafngildislag.



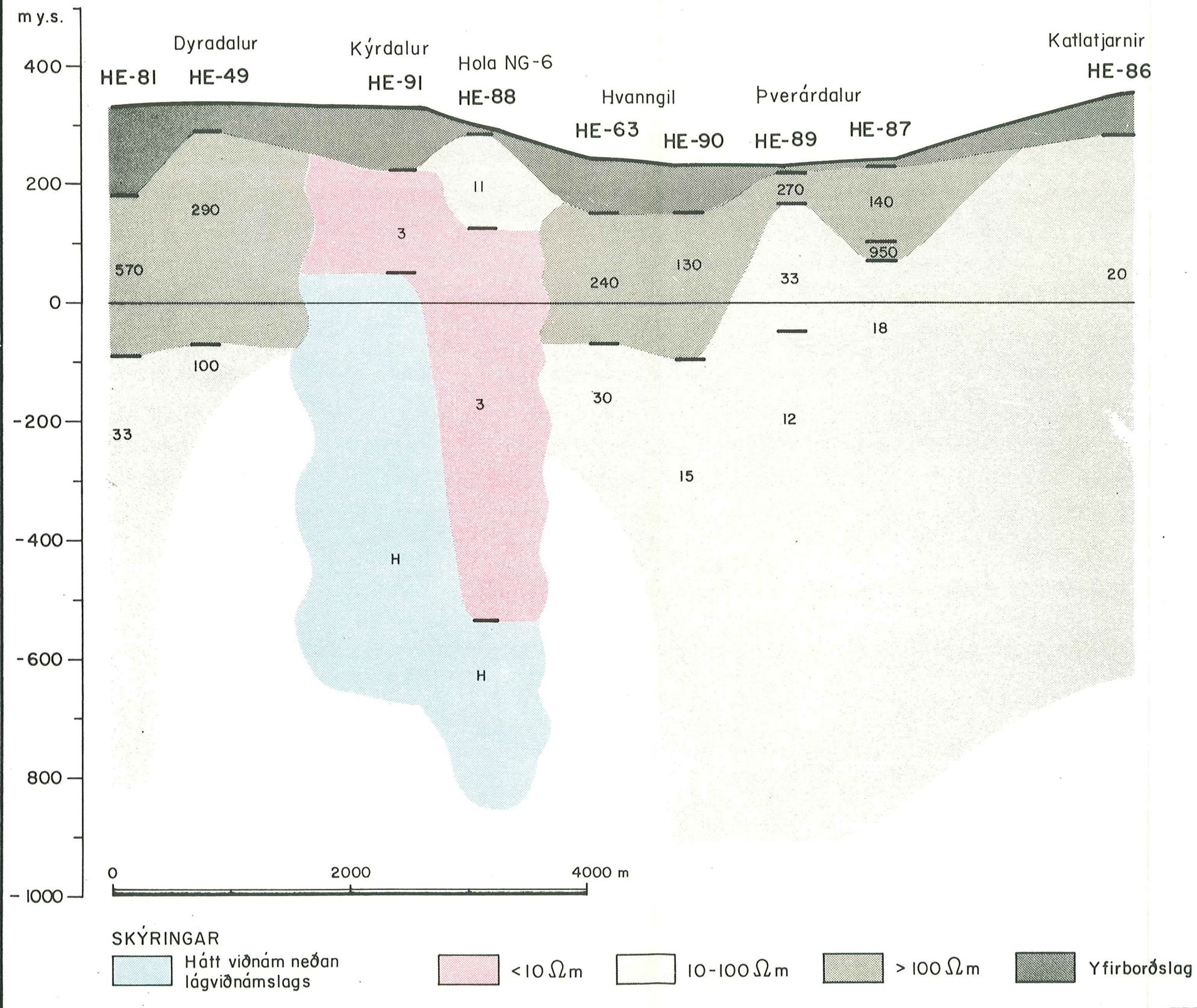
# HENGILL VIÐNÁMSSNIÐ A-A'



Mynd 3.2 Viðnámsnið NS eftir Nesjavalladal, snið A-A'



# HENGILL VIÐNÁMSSNIÐ B-B'



Mynd 3.3 Viðnámssnið AV þvert á sprungustykkið, snið B-B'





Vel kann að vera að þetta lágviðnámslag sé nokkuð þykkra og með herra viðnámi, eða þýnna og með lægra viðnámi, en hér er sýnt. Eins er stærð háa viðnámsins neðan lágviðnámslagsins lítt þekkt.

Þar sem lágviðnámslagið í mælingu HE-88 er jafngildislag þarf að finna skynsamlegt gildi viðnámsins í því. En þar með fæst mat á þykkt þess sem og dýpi niður á háa viðnámið. Viðnám lágviðnámslagsins í mælingu HE-88 var fest í 3 ohmm. Dýpið á háa viðnámið fæst þar með 900 m í mælingu HE-88. Þessi ákvörðun grundvallast á þremur atriðum.

1. Jarðhitakerfið við holu NG-6 er í suðu á 800-1100 m dýpi (sjá kafla 9). Til að fá samsvarandi dýpi niður á háa viðnámið þarf viðnám í lágviðnámslaginu að vera um 3 ohmm.
2. Meðalviðnám í holu NG-6 á 650-850 m dýpi er rúmlega 2 ohmm (sjá viðauka 5).
3. Samkvæmt reynslujöfnu Ólafs G. Flóvenz o.fl. (1985), byggðri á holrými og hitastigi bergs utan jarðhitasvæða, fæst að viðnám í lágviðnámslaginu ætti að vera 2,6 ohmm.

Á mynd 3.3 er sýnt viðnámssnið í gegnum Nesjavallasvæðið þvert á stefnu sprungustykkisins (viðnámssnið B-B'). Þar sést að vestan við Kýrdal er viðnám hátt niður að sjávarmáli, en nokkuð lægra þar fyrir neðan. Frá Kýrdal og austur fyrir holu NG-6 kemur fram lágt viðnám. Neðan við lága viðnámið er hátt viðnám. Af sömu ástæðu og áður var nefnd er stærð háa viðnámsins og viðnám og þykkt lágviðnámslagsins ekki vel ákvarðað. Samt er ljóst að lágviðnámslagið nær niður á mun meira dýpi í mælingu HE-88 en í mælingu HE-91. Lága viðnámið í mælingu HE-91 var fest í 3 ohmm til samræmis við mælingu HE-88. Útmörk lágviðnámssvæðisins eru ekki þekkt í smáatriðum enda mælingar fáar og dreifðar. Austan við jarðhitasvæðið við Nesjavelli er viðnám hátt niður að sjávarmáli, en nokkuð lágt þar fyrir neðan eins djúpt og séð verður og eins langt austur og sniðið nær. Eftir því sem austar kemur grynnkar á þetta meðallága viðnám og austur við Katlatjarnir er það komið upp undir yfirborð.

### 3.3 Viðnámsmælingar í borholum

Meðal þeirra jarðeðlisfræðilegu mælinga sem gerðar eru í borholum eru mælingar á viðnámi jarðlaga umhverfis holurnar. Það er því er eðlilegt að nota þær til að fylla í eyðurnar. Viðnámsmælingar í borholum geta gefið nákvæmari upplýsingar um viðnám einstakra jarðlaga en yfirborðsmælingar. Þær má því nota til stuðnings við túlkun yfirborðsmælinga, til dæmis við að ákvarða viðnám og þykkt jafngildisлага. Margir óvissupættir eru þó fólgnir í mælingu og úrvinnslu viðnáms í borholum.

Í viðauka 5 er gerð stutt grein fyrir úrvinnslutækni viðnámsmælinga í borholum. Nokkrum tíma var varið í að þróa þá tækni og forrit sem þar koma við sögu. Sú vinna mun nýtast þegar boraðar verða fleiri holur á Nesjavallasvæði og þá verður hægt að styrkja niðurstöður yfirborðsmælinga enn frekar með viðnámsmælingum í borholum. Við úrvinnslu mælinga var holuviðnám víddarleiðrétt (mæld viðnámsgildi eru leiðrétt fyrir áhrifum holuvíddar og viðnáms vökva í holunni). Því næst er viðnámið hitastigsleiðrétt, þ.e. umreiknað að föstu hitastigi (30 °C). Þá er það umreiknað að áætluðum berghita. Að lokum er holunni skipt upp í dýptarbil með svipaða leiðni og reiknuð út meðalleiðni fyrir hvert bil. Hún er sett fram sem "meðalviðnám"  $\bar{\rho} = 1/\bar{\sigma}$  og má bera það saman við niðurstöður viðnámsmælinga á yfirborði.

Á Nesjavallasvæði hafa verið boraðar tíu holur. Viðnámsmælingar eru aðeins til úr holum NG-6, NG-7, NG-9 og NG-10. Til eru gögn úr holu NG-6 til að reikna víddarleiðrétt viðnám á dýptarbilinu 640-1100 m, úr NG-7 á bilinu 187-1685 m, úr NG-9 á bilinu 843-1027 m og úr holu NG-10 á dýptarbilinu 75-1755 m.

Í viðauka 5 er greint frá úrvinnslu viðnámsmælinga úr hverri holu fyrir sig. Viðnámsferlar þeirra eru sýndir víddarleiðréttir og umreiknaðir að áætluðum berghita. Þá er sýnd skipting holanna í dýptarbil og gefið "meðalviðnám" á hverju dýptarbili.

Viðnámsmælingar eru til úr holum NG-7 og NG-10, nokkuð samfelld frá 100-200 m dýpi og niður á um 1700 m dýpi. Með því að bera viðnám í þessum holum saman við jarðlagasnið og ummyndunarsteindir, má reyna að gera sér grein fyrir því hvernig viðnámið tengist eðlisástandi jarðlaga. Víddarleiðrétt viðnám, umreiknað að 30 °C í holum NG-7 og NG-10, sýnir svipaða mynd. Holunum má skipta í þrjá hluta. Í efsta hlutanum er viðnám (við 30 °C) nokkuð hátt (30-100 ohmm að meðaltali), í miðhlutanum er viðnám lágt (<10 ohmm) og í neðsta hlutanum er viðnám aftur frekar hátt (50-100 ohmm að meðaltali). Mörkin milli þessara hluta eru ekki skörp heldur er um að ræða samfellda breytingu yfir nokkurt bil (100-200 m). Í efsta hlutanum er bergið ferskara og minna ummyndað en í þeim neðri. Í miðhluta beggja holanna eru frumsteindir bergsins mjög ummyndaðar í leir, einkum smektít, en zeolítar eru ráðandi holufyllingar (Ásgrímur Guðmundsson og Hilmar Sigvaldason 1985, Hjalti Franzson og Hilmar Sigvaldason 1985). Efri tveir hlutarnir í báðum holunum eru í svokölluðu smektít/zeolítabelti, en neðsti hlutinn er aftur á móti í svokölluðu klórít/epidót belti, en þar eru klórít og epidót ráðandi ummyndunarsteindir.

Það virðist ljóst af viðnámsmælingum í holum NG-7 og NG-10 að viðnám jarðlaganna stjórnast verulega af ummyndun þeirra. Viðnámið við fast hitastig er hátt þar sem bergið er ferskt, lækkar síðan þar sem bergið

ummyndað yfir í klórít. Samanburður á viðnámi úr NG-7 og NG-10 og berggerð (móberg, basalt, innskot) virðist benda til þess að viðnámið sé að jafnaði lægst í móbergi, en hæst í innskotum. Þessar viðnámsbreytingar virðast þó ekki eins ráðandi og breytingar vegna ummyndunar. Jafnvel gætu þær endurspeglað mismunandi ummyndun, því að móberg er að jafnaði meira ummyndað en innskot. Þó að viðnám við fast hitastig hækki verulega þegar kemur úr smektít/zeolítabeltinu og niður í klórít/epidótbeltið þá er óvíst að þau viðnámsskil komi glöggft fram í yfirborðsmælingum. Hiti er hærri í klórít/epidótbeltinu en í smektít/zeolítabeltinu og þegar búið er að umreikna viðnámið að ríkjandi hitastigi eru viðnámsbreytingar milli ummyndunarbeltanna ekki eins áberandi.

### 3.4 Tvípólmælingar

Sumarið 1975 voru mældar 4 tvípólmælingar á Nesjavallasvæðinu (Gylfi Páll Hersir 1980, Axel Björnsson og Gylfi Páll Hersir 1981). Með tvípólmælingum má skyggast dýpra niður í jörðina en með Schlumbergermælingum. Hins vegar hafa þær þann ókost að vera viðkvæmar fyrir viðnámsóreglum nærri yfirborði. Staðsetning mælinga er sýnd á mynd 3.4 og mæliferlar í viðauka 4. Mæliferlar tvípólmælinga eru sýndir sem framhald þeirra Schlumbergermælinga sem næstar eru. Þessar tengingar sem og niðurstöður tvípólmælinga ber að taka með töluverðri varúð og varast að túlka þær einar sér.

Mæling THe-10 nær frá Nesjavallavegamótum og norður eftir Nesjahrauni í áttina að Þingvallavatni. Lægsta sýndarviðnám mældist rúmlega 30 ohmm. Það bendir til þess að lágviðnámslagið nái ekki undir Nesjahraun norðan þjóðveggar, sem er í samræmi við niðurstöður Schlumbergermælinga. Mæling THe-12 nær frá Nesjalausgargili suður að Sandklettum. Hún er óreglulegust tvípólmælinganna. Hún sýnir mjög lágt sýndarviðnám (minna en 5 ohmm) en ekki er útilokað að neðan lágviðnámsins sé hátt viðnám. Schlumbergermæling HE-88 er nálægt THe-12 og sýnir hún, að neðan lágviðnámslagsins er hátt viðnám.

Mæling THe-11 er sem næst samsíða mælingu THe-10, en byrjar sunnar. Hún nær frá Hraunprýði og norður í Nesjahraun. Undir henni er mjög lágt viðnám og er það í samræmi við niðurstöður Schlumbergermælingar HE-67. Sýndarviðnám hækkar í enda mælingarinnar. Skýringin er annaðhvort sú að neðan lágviðnámslagsins er háviðnámslag eða að áhrifa gætir af viðnámsbreytingum í lárétta stefnu í og nálægt yfirborði. Seinni skýringin er sennilegri enda sýna Schlumbergermælingar frá svæðinu að dýpi á lágviðnámslagið vex hratt til norðurs (sjá mynd 3.5). Mæling THe-9 nær frá Nesjavallavegamótum að Nesjalausgargili. Sýndarviðnám hennar fór lækandi en náði þó ekki niður fyrir 20 ohmm. Þessi

niðurstaða virðist vera í mótsögn við niðurstöður tvípólmælingar The-11. Svo þarf þó ekki að vera þar sem Schlumbergermælingar sýna að dýpi á lágviðnámslagið snareykst frá vestri til austurs í dalnum (sjá mynd 3.5).

Niðurstöður tvípólmælinga eru því í góðu samræmi við niðurstöður Schlumbergermælinga af svæðinu og styrkja þær.

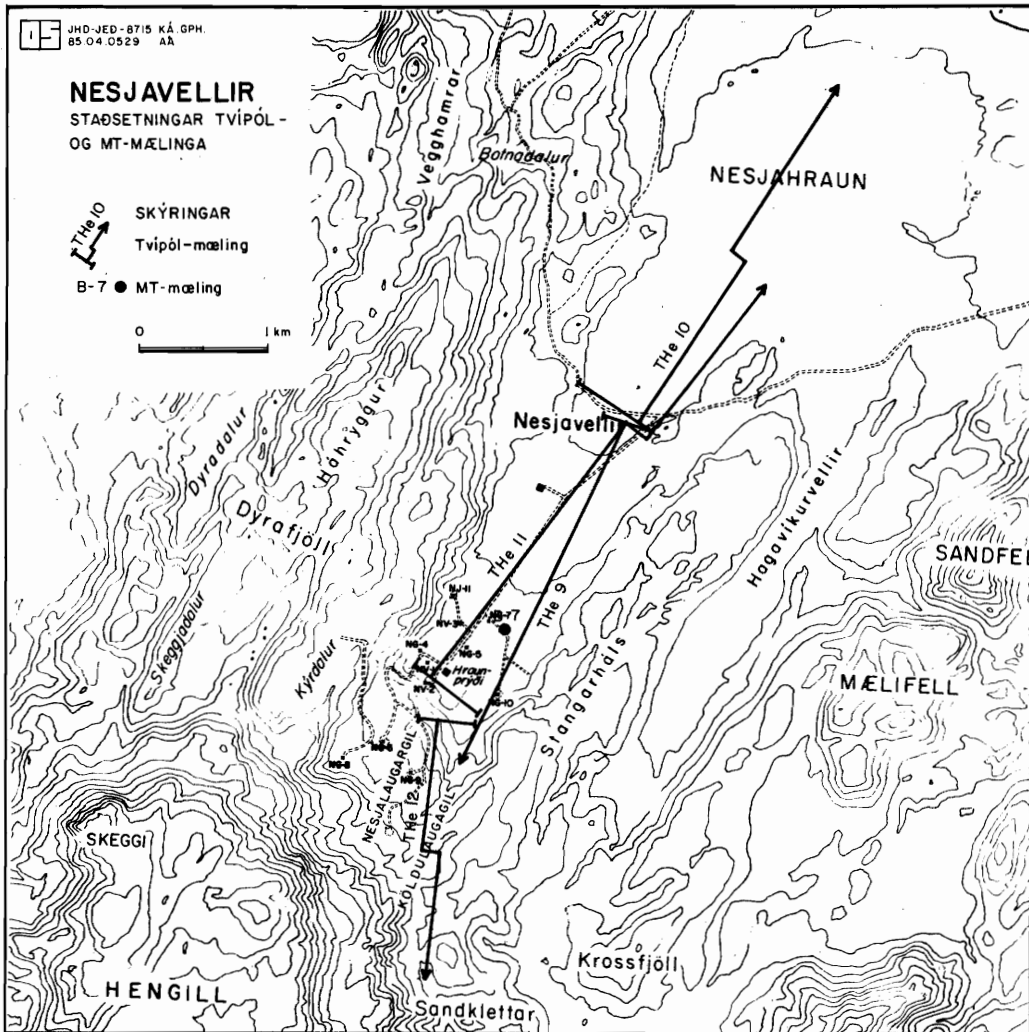
### 3.5 MT-mælingar

Sumarið 1976 voru gerðar nokkrar MT-mælingar á Íslandi í samvinnu Orkustofnunar og Háskólans í Árósum. Mælt var m.a. eftir línu yfir gosbeltið á Suðvesturlandi og á Hengilssvæðinu (Gylfi Páll Hersir o.fl. 1984, Gylfi Páll Hersir 1980). Ein þessara mælinga, B-7, er á Nesjavallasvæðinu rétt norðan við Hraunprýði. Staðsetning hennar er sýnd á mynd 3.4.

Með MT-mælingum (magnetotellurik) fást upplýsingar um viðnámsdreifingu frá nokkurra kílómetra dýpi og niður á nokkurra tuga kílómetra dýpi. Þessar mælingar hafa einkum verið gerðar á Norðaustur-, Suður- og Suðvesturlandi. Aðalniðurstaðan er, að fram kemur þunnt lágviðnámslag (minna en 5 km á þykkt með 1-10 ohmm viðnám) á 10-20 km dýpi. Það er talið tengjast mótum skorpu og möttuls. Viðnám og dýpi á lagið vex með aukinni fjarlægð frá miðju gosbeltisins. Lágviðnámslagið er túlkað sem hlutbráðið basalt.

Mæling B-7 ásamt einvíðri túlkun er sýnd í viðauka 4. Samkvæmt henni er 7,5 kílómetra dýpi niður á lágviðnámslagið á Nesjavöllum. Það er 3 kílómetar að þykkt með 3,5 ohmm viðnámi. Túlkunin sýnir því að um það bil 1100 °C heitt, hlutbráðið berg er á um 7,5-10,5 km dýpi. Svæðisbundinn hitastigull, ótruflaður af jarðhitakerfum og heitum innskotum, ætti því að vera nærri 150 °C/km á þessum slóðum.

MT-mæling við Ármannsfell á Þingvöllum, sem einnig er í miðju gosbeltisins, gefur svipaða niðurstöðu (Gylfi Páll Hersir o.fl. 1984). Sömu sögu er að segja um MT-mælingar sem gerðar voru í miðju gosbelti Norðurlands (Beblo o.fl. 1983).



Mynd 3.4 Staðsetning tvípólmælinga og MT-mælinga

### 3.6 Niðurstöður viðnámsmælinga

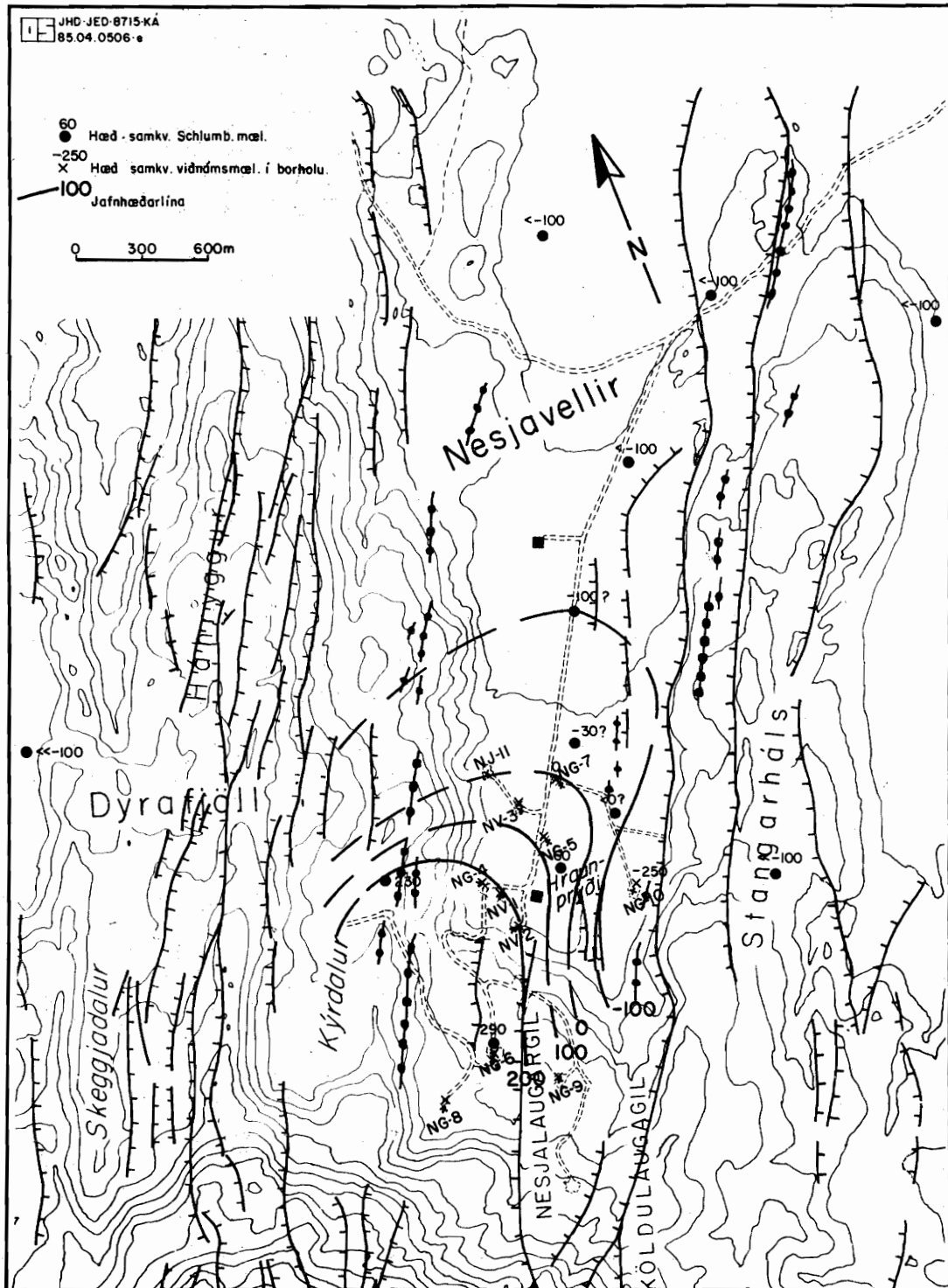
Á mynd 3.5 eru sýnd efri mörk lágviðnáms á jarðhitasvæðinu við Nesjavelli og á mynd 3.6 er sýnt viðnám við sjávarmál. Þessar myndir eru byggðar á einvíðri túlkun Schlumbergermælinga og viðnámsmælingum í holum NG-7 og NG-10. Á þeim eru einnig sýnd misgengi og gossprungur sem sjást á yfirborði. Ætla má að þessar myndir sýni í grófum dráttum stærð jarðhitasvæðisins. Útmörk svæðisins eru víða óljós, einkum að norðvestan og vestanverðu. Austurmörkin, norðan við holu NG-9, og norðurmörkin í Nesjavalladalnum eru trúlega nærri réttu lagi enda eru mælingarnar þéttastar á þeim slóðum.

Það er sláandi við þessar myndir að viðnám hækkar mjög snögg til austurs við misgengið í Nesjalaugargili, en tunga með lágu viðnámi teygir sig til norðurs vestan þess. Það bendir eindregið til þess að þetta misgengi takmarki verulega útbreiðslu jarðhitakerfisins til austurs.

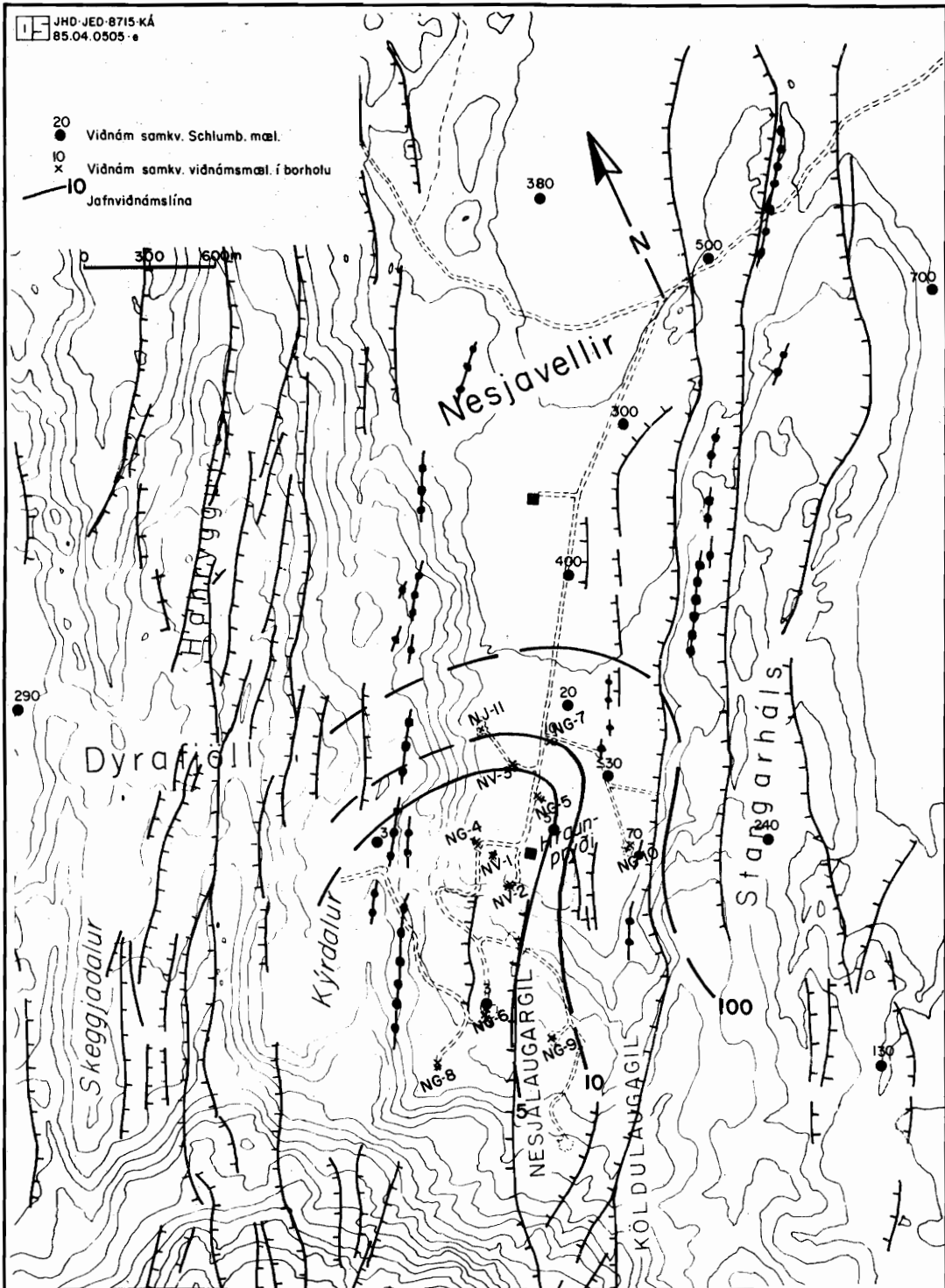
Af myndum 3.5 og 3.6 og viðnámssniðunum á myndum 3.2 og 3.3 er ljóst að veruleg viðnámslægð kemur fram á jarðhitasvæðinu við Nesjavelli. Viðnámsmælingar í borholum benda til þess að lágt viðnám á jarðhitasvæðinu sé vegna ummyndunar jarðlaga og mikils hita. Því má kanna stærð og legu jarðhitasvæðisins með nákvæmri kortlagningu lágviðnámsins.

Athyglisvert er að þar sem jarðhitasvæðið er öflugast fer viðnám aftur hækkandi með dýpi neðan lágviðnámsins. Þetta er ekki óþekkt fyrirbrigði á háhitasvæðum og hefur verið til umræðu á undanförunum árum. Til þessa hefur ekki tekist að benda á neina eina afgerandi skýringu, en að þessu verður vikið nánar í kafla 9.





Mynd 3.5 Efri mörk lágviðnáms, ásamt misgengjum og gossprungum sem sjást á yfirborði



Mynd 3.6 Viðnám við sjávarmál, ásamt misgengjum og gossprungum sem sjást á yfirborði

## 4 ÞYNGDARMÆLINGAR

### 4.1 Inngangur

Þyngdarmælingar eru mikilvægur þáttur í frumkönnun jarðhitasvæða. Þær gefa ákveðnar upplýsingar um dýpri gerð jarðhitakerfisins, koma að gagni við úrvinnslu á öðrum mælingum og við gerð jarðfræðikorta. Með endurteknum þyngdarmælingum í sama mælineti má einnig fylgjast með breytingum sem verða á jarðhitasvæðinu við vinnslu og meta orsakir þeirra. Vandlega unnar þyngdarmælingar nýtast löngu eftir að þær eru gerðar og æskilegt er að ávallt sé gert gott þyngdarkort af nýjum vinnslusvæðum áður en vinnsla hefst.

Nokkuð hefur verið þyngdarmælt á Nesjavallsvæði. Í þessari skýrslu eru notuð gögn úr tveimur mælisyrpum. Þau eldri eru frá 1966 en þau yngri frá 1982 og 1983. Í báðum tilvikum voru mæld allstór svæði af sömu mönnum með sömu mælum og því auðvelt að samnýta mæliniðurstöður. Gögnin henta vel við gerð yfirlitskorts af svæðinu. Hins vegar nýtast þau illa til nákvæmra líkanreikninga vegna ójafnrar dreifingar mælistöðva. Hér verður gerð grein fyrir úrvinnslu og helstu niðurstöðum þyngdarmælinga.

### 4.2 Úrvinnsla

Þyngdarmælingar segja til um frávik í þyngdarhröðun á mælistað, miðað við þekkta þyngdarhröðun á viðmiðunarstað. Margir þættir hafa áhrif á mælda þyngdarhröðun. Hægt er að greina þá í sundur og finna þann þátt sem hefur mest jarðfræðilegt upplýsingagildi, en það er breytilegur eðlismassi bergrunnsins undir ákveðnum viðmiðunarfleti á mælisvæðinu. Þessi þáttur er nefndur Bouguer þyngd og er hún oftast mæld í einingunni milligal, skammstafað mgal (1 gal = 1 cm/sek<sup>2</sup>). Bouguer þyngd miðast við sjávarmál og til að finna hana í mælistöð er notuð líkingin:

$$g_B = g_M + g_H - g_D + g_L - g_N$$

þar sem :

$g_B$  er Bouguer gildi í mgal

$g_M$  er mæld þyngdarhröðun, leiðrétt fyrir reki í þyngdarmæli og áhrifum tungls og sólar.

$g_H$  er hæðarleiðréttning,  $g_H = 0,3086 \cdot h$ , þar sem  $h$  er hæð mælistöðvar í metrum yfir sjávarmáli.

gD er leiðrétting vegna massa sem er milli mælistöðvar og sjávarmáls, svökölluð Bouguer leiðrétting.  $gD = 0,04191 \cdot D \cdot h$ , þar sem D er eðlismassi í g/cm<sup>3</sup>.

gL er landslagsleiðrétting sem er gerð vegna þyngdaráhrifa umhverfisins, t.d. fjalla.

gN er fræðilegt þyngdargildi samkvæmt alþjóðlegum staðli sem mælingarnar eru miðaðar við. Það er háð hnattstöðu mælistöðvar.

Mynd 4.1 sýnir Bouguer kort af Nesjavallasvæðinu. Við gerð þess var stuðst við gögn frá 1966 og 1982-1983. Yngri gögnin eru hluti af viðamiklum þyngdarmælingum sem gerðar voru á öllu Hengilssvæðinu. Þau eru birt í skýrslu eftir Gunnar Þorbergsson o.fl. (1984) og er þar nákvæm lýsing á framkvæmd mælinga. Þau gögn eru tekin beint upp, en þó er reiknað með annarri eðlisþyngd bergs ofan sjávarmáls í Bouguer leiðréttingu; 2,30 g/cm<sup>3</sup> í stað 2,60 g/cm<sup>3</sup>. Ástæða þess er að við frumtúlkun þyngdarmælinga af öllu Hengilssvæðinu urðu áhrif landslags minnst í Bouguer korti ef eðlisþyngdin 2,3 g/cm<sup>3</sup> var notuð. Þyngdarmælingarnar frá 1966 voru unnar af Ingvari Ásmundssyni og Sven Þ. Sigurðssyni. Þau gögn eru geymd í handriti á Orkustofnun og hafa ekki verið birt áður.

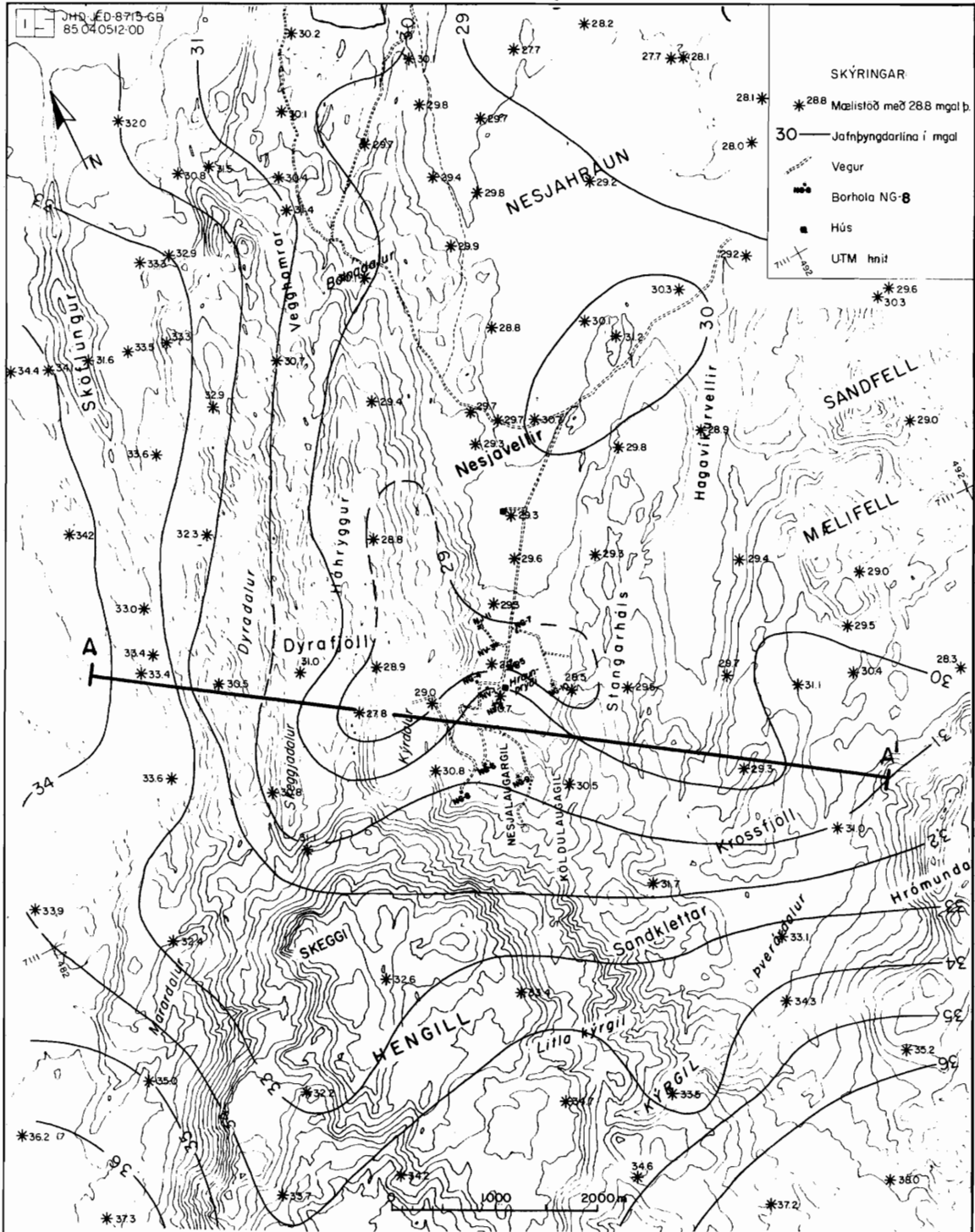
Þegar þyngd er mæld (gM í jöfnu hér að framan) þarf fyrst að fara með þyngdarmæli á mælistað með þekktri þyngd og miðast síðari mælingar við þá þyngd. Mælingarnar frá 1966 hafa aðra viðmiðunarstöð (Laugaveg 116) en mælingarnar frá 1982-1983 (Íslenska landsnetið, sjá Guðmund Pálmason o.fl. 1973), auk þess sem fræðilegt þyngdarsvið jarðar var reiknað lítillega öðruvísi. Í stað þess að reikna þyngd í öllum gömlu stöðvunum upp á nýtt til samræmis við yngri gögnin, voru þyngdargildi í nálægum stöðvum í gömlu og nýju mælingunum borin saman. Virtust eldri mælingarnar þá hafa 2,5 +/- 0,5 mgal hærra þyngdargildi en þær nýrri. eru eldri gögnin birt með þeirri leiðréttingu í mynd 4.1, en aðrar breytingar voru ekki gerðar á þeim.

#### 4.3 Frumniðurstöður

Tveir megindrættir eru greinilegastir af mynd 4.1 sem sýnir Bouguer þyngd á Nesjavallasvæðinu.

1. Veruleg þyngdarhæð í vesturjaðri svæðisins.
2. Þyngdarhækkun til suðurs frá Nesjavöllum.

Þessir tveir megindrættir skerast sunnan og vestan við það svæði þar sem yfirborðsjarðhiti er mestur. Þyngdarhækkun til vesturs stafar af þéttara og eðlisþynggra bergi vestan við ás sprungustykkisins.



Mynd 4.1 Þyngdarkort af Nesjavallasvæði

Þyngdarfrávikíð er samsíða sprungustykkinu og misgengjum í vesturjaðri þess. Land hefur sigið austan við misgengin og fyllst jafnóðum upp af yngri og léttari gosmyndunum. Þyngdarhækkunin til suðurs tengist þyngdarhrygg sem liggur þvert yfir gosbeltið sunnan Nesjavalla, og kom í ljós við nákvæmari úrvinnslu þyngdargagna af Hengilssvæðinu (óbirt gögn). Ekki er ljóst hvað veldur þessum þyngdarhrygg. Hér gæti verið á ferðinni misgengi með NV-læga stefnu og sig til norðurs, eða þétt innskot undir megineldstöðinni í Hengli.

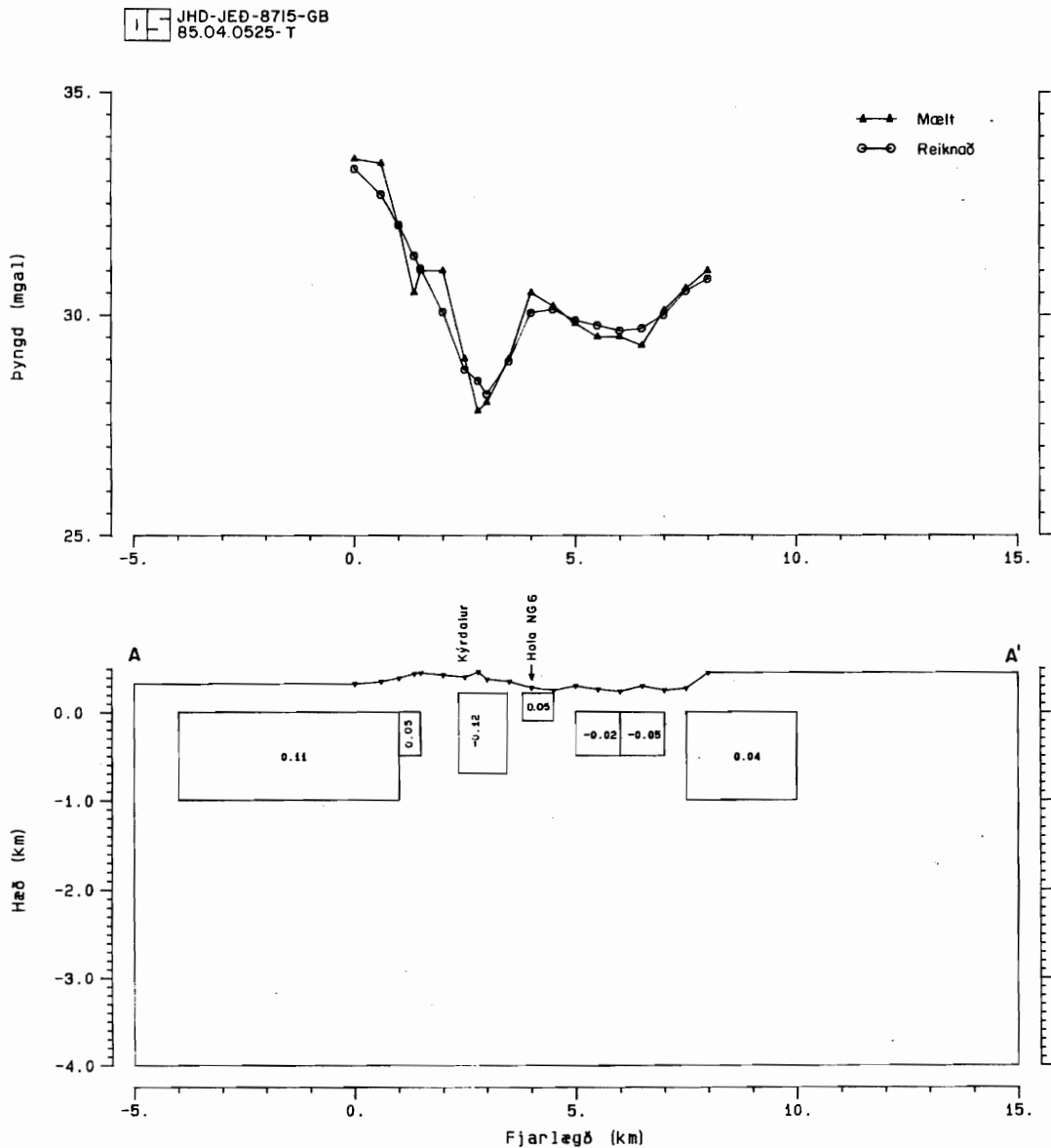
Á stallinum fyrir sunnan Hraunprýði gengur fram tota í þyngdarsviðinu. Þar virðist jarðhitakerfið vera öflugast. Hugsanlega er þessi þyngdarhækkun vegna þétts þakbergs yfir jarðhitasvæðinu.

Þyngdarlægð kemur fram þar sem meginþyngdarbrekkurnar tvær skerast. Yfirborðsjarðhitinn er skammt austan þyngdarlægðarinnar. Til að skoða þessa lægð nánar var útbúið tvívítt þyngdartúlkunarforrit. Þar er gert ráð fyrir að þyngd geti breyst bæði með dýpi og eftir mællínu, en hins vegar ekki þvert á hana. Til túlkunar var valin lína sem liggur NV-SA og fylgir syðri þyngdarbrekkunni (sjá mynd 4.1). Þyngdarkortið sýnir þarna þrívíða skipan. Engu að síður er tvívíð túlkun gagnleg við að meta breytingar í eðlisþyngd jarðlaga eftir línunni. Gert var ráð fyrir að meðalþyngdarsvið væri 30 mgal á mællínunni. Forritið reiknaði síðan þau þyngdarfrávik sem stafa af líkaninu sem því var gefið, og bætti þeim við meðalsviðið.

Mynd 4.2 sýnir niðurstöður þeirrar túlkunar. Vestast í sniðinu er þyngdarskrokkur með háan eðlismassa og skýrist af eðlisþyngri jarðlögum vestan sprungustykkisins. Undir Kýrdalshrygg er skrokkur með mjög lágan eðlismassa. Hann má skýra með t.d. miklu holrými bergsins, með bergi úr léttu efni og/eða með lágum eðlismassa þess efnis sem er í bergporunum (gufa í stað vatns). Austan við Kýrdalshrygg er ekki þörf á skörpum eðlismassabreytingum til að skýra mælda þyngdarferilinn. Austast í sniðinu er skrokkur með hærri eðlismassa en umhverfis. Þar er komið í austurjaðar virka sprungustykkisins og eðlismassi bergs hækkar því væntanlega á ný.

Mjög auðvelt er að líkja eftir mældum þyngdarferlum með tvívíðum líkanreikningum því að lausnin er ekki einkvæm, þ.e. mörg mismunandi líkön geta gefið sama þyngdarfrávik. Aðalvandinn er að ákveða hvort líkanið er jarðfræðilega skynsamlegt eður ei. Hér var valin sú leið að reyna að komast af með sem fæsta þyngdarskrokka í líkaninu, og með sem minnst eðlisþyngdarfrávik. Þyngdarsniðið sem sýnt er á mynd 4.2 er byggt á fáum og dreifðum mælistöðvum. Túlkun þyngdarmælinga verður aldrei nákvæm nema mælt sé nokkuð þétt í reglulegu neti, og að fyrir liggi upplýsingar um eðlisástand bergsins í sniðinu sem tengja má eðlisþunga þess. Stallar og lægðir í þyngdarsviði, eins og kemur fram í Kýrdal,

eru vísbendingar um skarpar breytingar í eðlisástandi bergsins þar undir. Slíkar upplýsingar eru mjög gagnlegar við túlkun annarra gagna. Þyngdarmælingar virðast vænlegur kostur í yfirborðsrannsóknum á svæðinu og er því lagt til að þyngdarmælinetið þar verði þétt. Að því loknu verði mælingar túlkaðar (tvívítt eða þrívítt) og óháð gögn úr öðrum mælingum notuð til að setja líkönum frekari skorður.



Mynd 4.2 Þyngdarsnið NV-SA, snið A-A` (lega sniðs sýnd á mynd 4.1). Tölur í blokkum sýna eðlisþyngdarmun í g/cm<sup>3</sup>.

## 5 EFTIRLIT MEÐ HÆÐAR- OG ÞYNGDARBREYTINGUM

Mikil og langvarandi vinnsla á jarðhitasvæðum hefur sums staðar leitt til mælanlegra hæðar- og hallabreytinga og jafnvel hafa myndast sprungur í jarðlögum yfir jarðhitakerfum í vinnslu. Enn fremur hafa mælst breytingar á þyngdarsviði vegna massatilfærslna í kerfinu sem verða samhliða vinnslu. Sem dæmi um slíkar breytingar má nefna mikla röskun á jarðhitasvæðinu í Wairakei á Nýja Sjálandi (Allis 1982) sem orðið hafa samhliða 30 ára vinnslu. Einnig sýna nákvæmar þyngdar- og hæðarmælingar, sem gerðar hafa verið á fárra ára fresti á Reykjaneskaga, að land sígur jafnt og þétt á stóru svæði umhverfis Svartsengi (Gunnar Johnsen 1983). Ekki er enn fullljóst hvort og á hvern hátt þær breytingar tengjast vinnslu úr jarðhitakerfinu.

Einnig geta orðið verulegar hæðar- og þyngdarbreytingar á háhitasvæðum vegna innskota hraunkviku djúpt í jörðu og vegna togkrafta landreksins. Slíkar hreyfingar virðast ganga yfir í hrinum með nokkurra alda hléum. Ein slík hrina gengur nú yfir á Kröflusvæði (Axel Björnsson o. fl. 1984, 1985). Oftast fylgja skjálftar þessum hræringum. Að öðru leyti er lítið vitað um hreyfingar í eldvirkum beltum landsins og í megineldstöðvum þess á milli hrina.

Nákvæmt eftirlit með land- og þyngdarbreytingum hefur verulegt gildi á jarðhitasvæðum í vinnslu. Þær geta gefið mikilvægar upplýsingar um breytingar á innri gerð og vinnslueiginleikum jarðhitakerfisins og hitagjafa þess. Í því sambandi má einkum benda á eftirtalin atriði:

1. Breytingar á þyngd stafa af breyttum eðlismassa jarðlaga undir mælistöð og/eða af breytingum í hæð hennar. Eðlismassabreytingar verða t.d. við lækun og hækkun grunnvatnsborðs eða vegna fasabreytinga á jarðhitavökvanum (vatn breytist í gufu eða gufa í vatn). Hæðarbreytingar verða við samþjöppun gljúpra jarðlaga vegna vatnstöku. Nauðsynlegt er að mæla landhæð nákvæmlega samhliða þyngdarmælingum til þess að geta greint í sundur hæðarbreytingar og breytingar á eðlismassa jarðlaga.
2. Vatnstaka og landsig samfara henni, getur valdið hægfare hæðar- og fjarlægðarbreytingum. Þær geta einnig verið afleiðing kvikuhreyfinga og landreks. Oftast fylgir einhver skjálftavirkni slíkum hræringum.

Á Hengilssvæðinu hefur landhæð verið mæld eftir nokkrum línunum svo kanna megi hvort hæðarbreytingar verða með tíma. Einnig hafa verið gerðar fjarlægðarmælingar í sama tilgangi (Gunnar Þorbergsson o.fl. 1984). Haustið 1982 var 27 km langur hyrningur milli Lyklafells og Kögunarhóls



lengdar- og hornamældur. Sumarið 1982 voru fallmældar nokkrar mælilínur í tveimur netum, alls um 42 km. Annað netið er á Hellisheiði, hitt við Nesjavelli. Í syðra netinu voru tengdar saman línur í Svínahrauni, Þrengslum og á Hellisheiði, sem innihéldu 15 ára gömul fastmerki Vegagerðarinnar. Auk þess var bætt við mælilínu er náði norður í Hengladali. Í nyrðra netinu er 7 km löng lína í Grafningi sem nær frá Þingvallavatni um Nesjavelli að Hraunprýði. Snemma vetrar 1984 var netið lengt upp á borsvæðið sunnan Hraunprýði.

Sumarið og fyrri hluta vetrar 1984 var þyngdarmælt í þessum fallmælinganetum. Ekki var þyngdarmælt í öllum mælipunktum, enda mjög stutt á milli þeirra. Hafðir voru um 1 til 1,5 km á milli þyngdarmælipunkta. Þessar mælingar hafa ekki verið endurteknar ennþá og því ekkert hægt að segja um breytingar á þyngd né landhæð.

## 6 FLUGSEGULMÆLINGAR

### 6.1 Inngangur

Arið 1975 lét Jarðhitadeild Orkustofnunar gera flugsegulmælingar á öllu Hengilssvæðinu. Unnið var segulkort úr mælingunum (Axel Björnsson og Gylfi Páll Hersir 1981). Gögnin eru geymd á Orkustofnun og hér er endurteiknaður í stærri mælikvarða sá hluti þeirra sem nær yfir Nesjavelli og nágrenni.

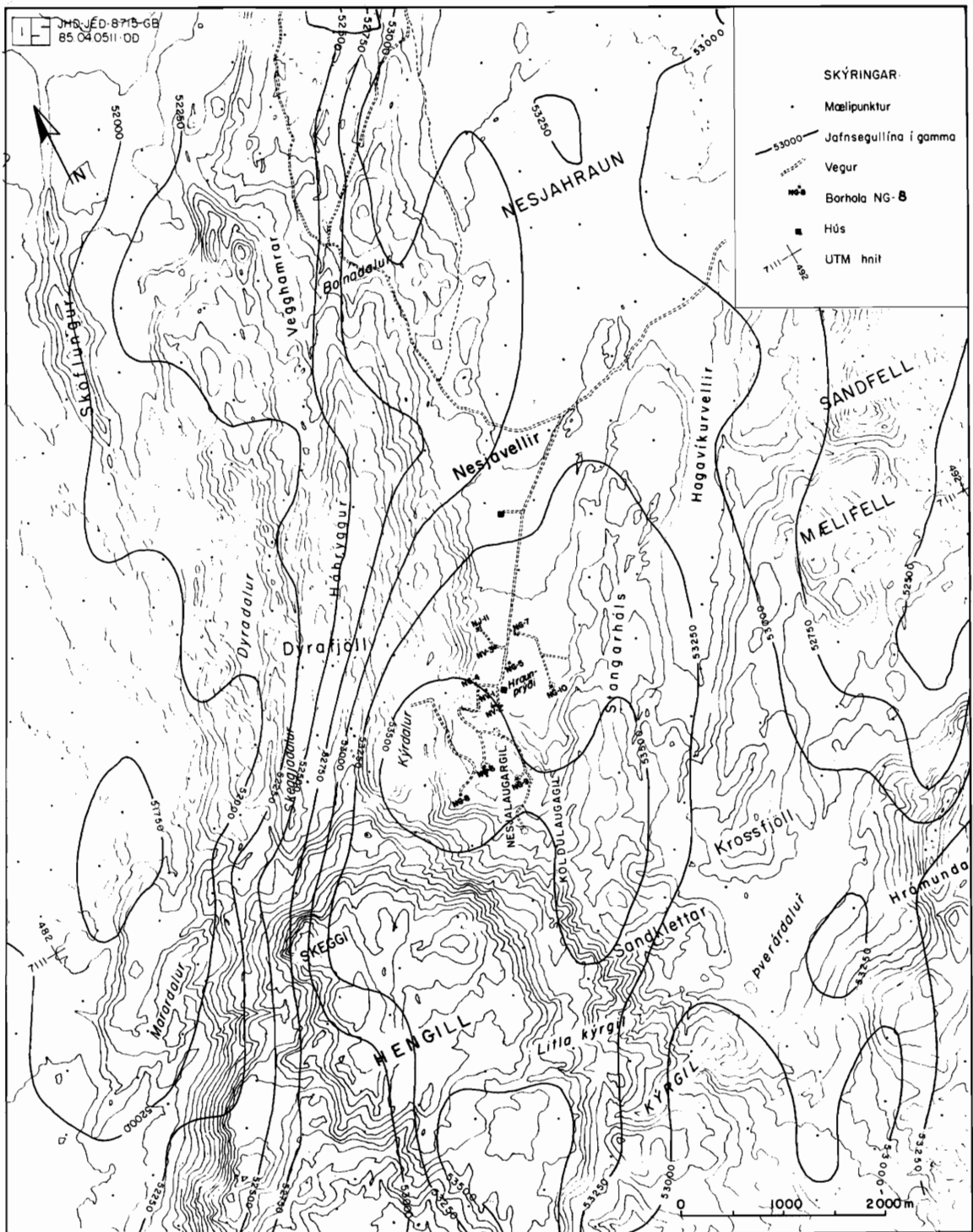
### 6.2 Framkvæmd og úrvinnsla

Í flugsegulmælingum er flogið með segulmæli eftir beinni línu og í fastri hæð. Heildarsegulsvið jarðar er skráð með jöfnu millibili. Þorbjörn Sigurgeirsson gerði flugsegulmælingarnar. Flogið var með segulmælinn "Móða" í 800 m hæð yfir sjávarmáli í stefnu NV-SA, þannig að hver fluglína var í fastri fjarlægð frá Lóranstöðinni á Snæfellsnesi. Mælt var á 500 - 700 m fresti og svipuð fjarlægð höfð milli fluglína.

Við úrvinnslu mælinganna voru allir mælipunktur staðsettir í UTM hnitum. Þá var leiðrétt fyrir tímabreytingum í segulsviði jarðar með því að bera saman mælingarnar og skráð segulsvið í segulmælingastöðinni í Leirvogi. Mynd 6.1 er byggð á þessum gögnum og sýnir hún segulsviðið yfir Nesjavöllum og nágrenni. Engin vinna var lögð í frekari úrvinnslu gagna, nema að gætt var að hvort veruleg frávik í segulsviði gætu stafað af galla í einstökum mælipunktum og var þeim þá sleppt.

### 6.3 Niðurstöður

Þegar berg storknar, segulmagnast það í stefnu ríkjandi segulsviðs. Segulsteindir í berginu varðveita segulstefnuna og segulmögnun bergsins hefur áhrif á heildarsegulsviðið. Berg tapar segulstyrk sínum ofan ákveðins hitastigs (um 500°C). Á jarðhitasvæðum er berghiti hár. Auk þess ummyndast segulsteindir smám saman í jarðhitavökvanum og verða ósegulmagnaðar að hluta. Heildaráhrif þessa eru að segullægð mælist oft yfir jarðhitasvæðum. Þá getur segullægð stafað af bergi sem hefur mjög lítið magn segulsteinda.



Mynd 6.1 Flugsegulkort af Nesjavallasvæði

Flugsegulkortið á mynd 6.1 einkennist af háum segulstyrk í miðju sprungustykkinu. Þessi segulhæð er yfir jarðhitasvæðinu við Nesjavelli. Hún verður best skýrð með ungum og lítt ummynduðum jarðmyndunum (hraunum og bólstrabergi). Áhrif þeirra í heildarsegulsviðinu eru það mikil að nær óvinnandi er að greina áhrif frá dýpri bergmyndunum. Flugsegulmælingar virðast því henta illa við yfirborðskönnun hins afmarkaða jarðhitasvæðis við Nesjavelli.

Í flugsegulkorti af öllu Hengilssvæðinu er segullægð um Hengladali og Ölkelduháls í stefnu NV-SA. Á þessu svæði er yfirborðsjarðhiti mikill. Líklegt er að þetta svæði sé gegnsoðið allt til yfirborðs af langvarandi rennsli heits vatns og gufu þannig að lítið er eftir af segulsteindum í berginu. Það veldur lægð í heildarsegulsviðinu. Segulhæðin yfir jarðhitasvæðinu við Nesjavelli bendir aftur á móti til þess að berg á svæðinu sé lítið ummyndað, a.m.k í efstu nokkur hundruð metrunum. Það styrkir þá niðurstöðu svarfgreininga að jarðhitasvæðið sé ungt (Hrefna Kristmannsdóttir og Jens Tómasson 1974, Jens Tómasson o.fl. 1974, Valgarður Stefánsson o.fl. 1983).

Segulmælingar á jörðu í lítilli hæð (2-5 m) hafa reynst mjög gagnlegar við að rekja ganga og misgengi á lágheitsvæðum. Þær voru reyndar við könnun Hvíthólasvæðisins í Kröflu (Knútur Arnason o.fl. 1984). Þar kom í ljós, að nær ómögulegt er að nota segulmælingar til að kanna dýpri gerð jarðhitakerfa þar sem ung hraun eru á yfirborði. Ung hraun eru víða á yfirborði á jarðhitasvæðinu við Nesjavelli og má því búast við að segulmælingar í þéttni verði árangurslitlar þar. Hins vegar er hugsanlegt að gagn megi hafa af segulmælingum utan hraunasvæða við að rekja einstök misgengi er liggja um jarðhitasvæðið.

## 7 SKJÁLFTAMÆLINGAR

### 7.1 Inngangur

Á undanförunum árum hafa Hitaveita Reykjavíkur, Orkustofnun og Raunvísindastofnun Háskólans staðið að umfangsmiklum skjálftamælingum á Hengilssvæðinu. Meginniðurstöður rannsókna eru birtar í skýrslu eftir Gillian Foulger (1984), sem hafði umsjón með mælingunum og vann úr þeim.

Tilgangur mælinganna var margþættur. Einkum skyldi kannað á hvern hátt nýta mætti nákvæma staðsetningu smáskjálfta og upplýsingar um brotahreyfingar í jarðskorpunni við rannsókn háhitasvæðisins í Hengli. Skjálftar verða við snöggar hreyfingar á misgengjum og sprungum eða þegar nýjar sprungur myndast. Það er því hugsanlegt að finna og rekja einstakar sprungur með því að staðsetja skjálfta nákvæmlega. Virkar sprungur geta verið góðir vatnsleiðarar í jarðhitakerfum. Einnig geta skjálftar gefið upplýsingar um eðli sprunguhreyfinga og spennuástand í jörðinni og þar með varpað ljósi á eiginleika varmagjafa háhitasvæða.

Við skjálftamælingar í Hengli kom í ljós að skjálftarnir voru af tvenns konar uppruna. Í fyrsta lagi mældust skjálftar, sem mynduðust við sig-eða sniðgengi á misgengisflötum. Þetta er algengasti uppruni skjálfta, smárra og stórra. Í öðru lagi mældust skjálftar, sem mynduðust við hreina rifnun bergs. Slík skjálftavirkni hefur lítið verið rannsökuð fyrr en í Hengli. Meginorsök misgengisskjálftanna er spenna í jarðskorpunni er myndast við landrekshreyfingar. Gillian Foulger (1984) útskýrði rifnunarskjálftana með togspennum, sem mynduðust við kólnun og samdrátt heitra bergmassa, bæði innskota og ganga. Ef slík kólnun verður vegna hringrásar vatns í neðri hlutum jarðhitakerfa ættu að vera nán tengsl á milli samdráttarskjálfta og jarðhita.

### 7.2 Skjálftar á Nesjavöllum

Skjálftamælingarnar í Hengli náðu til jarðhitasvæðisins við Nesjavelli. Skjálftarnir sem mældust þar voru staðsettir í þrívíðu rúmi. Mynd 7.1 sýnir upptök þeirra varpað lóðrétt til yfirborðs. Mynd 7.2 sýnir dýptardreifingu þessara sömu skjálfta. Þeim er varpað á snið, sem liggur þvert á sprungustykkið og er lega þess sýnd á mynd 7.1. Þeir skjálftar sem brotlausnir fengust fyrir skiptu sér í tvo nokkuð jafn stóra hópa. Annars vegar sniðgengisskjálfta og hins vegar rifnunarskjálfta.

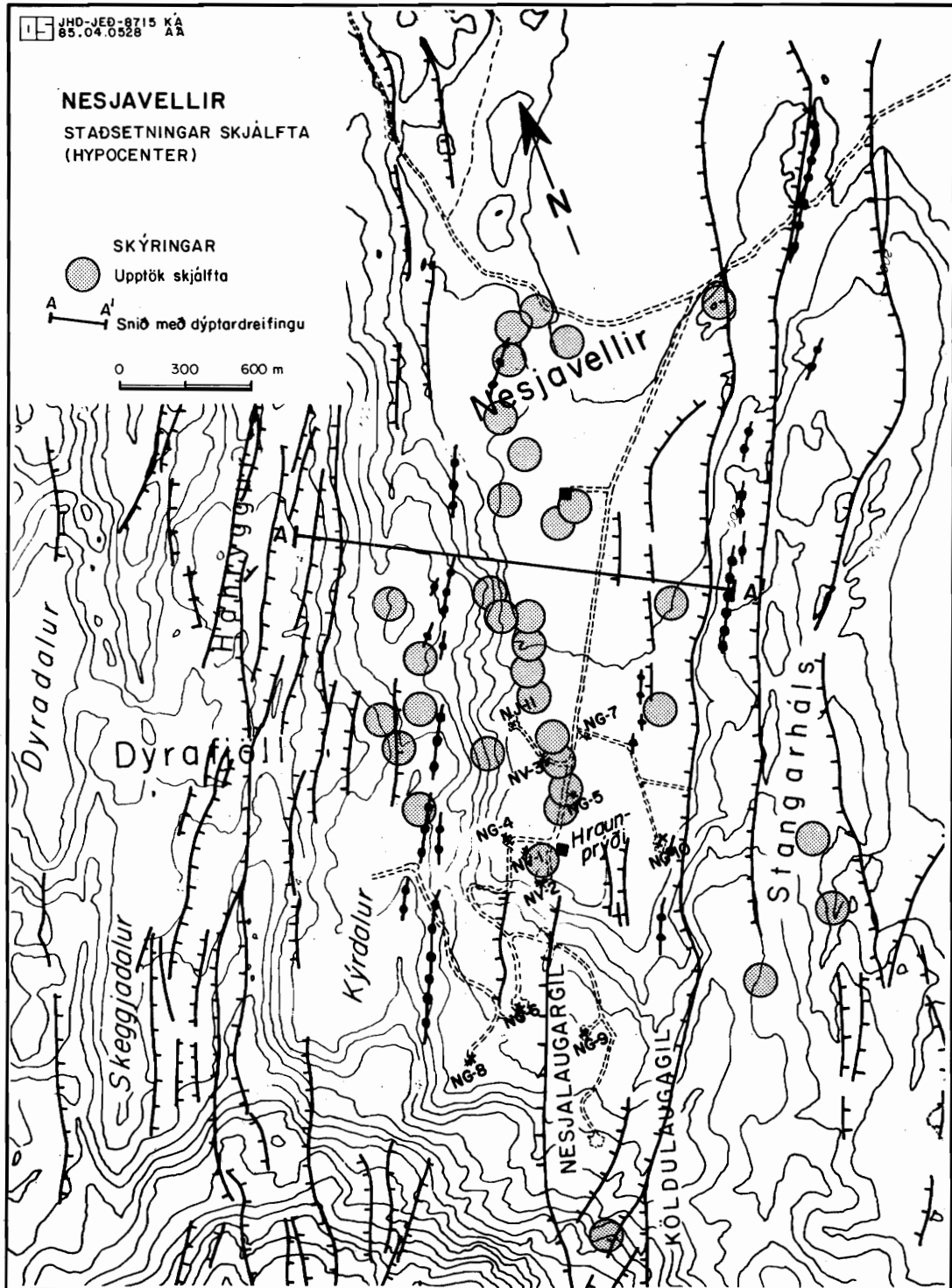
Aberandi er á mynd 7.1 að flestir skjálftanna raða sér á þröngt belti sem stefnir NNA norðan jarðhitasvæðisins í Nesjavalladal. Skjálftarnir eiga flestir upptök á 3-6 km dýpi. Ef gert er ráð fyrir að misgengjum í dalnum halli um 5-6° til vesturs og þau misgengi sem sjást á yfirborði eru framlengd niður á 3-6 km dýpi gætu skjálftarnir verið tengdir misgengjum, sem eru austast í Nesjavalladal. Óvíst er hvort framlengja má misgengi, sem sjást á yfirborði, svo langt niður. Gætu skjálftarnir eins vel verið tengdir lóðréttum brotflötum á miklu dýpi undir dalnum miðjum. Slík brot væru í beinu framhaldi til NNA af ás sprungustykkisins í Hengli. Hann liggur úr suðri inn á jarðhitasvæðið við Nesjavelli en hliðrast þar til vesturs í Háhrygg.

Mjög fáir skjálftar mældust á þeim slóðum þar sem yfirborðsjarðhiti er mestur. Hugsanlegt er að skjálftahlé hafi verið á meðan mælingarnar fóru fram, því skjálftar verða oft í hrinum. Önnur skýring er að bergið á þessu svæði sé það heitt og veikt að skjálftar verði tæpast í því, og þá svo litlir að þeir séu vart mælanlegir. Ef hiti (og/eða þrýstingur) er nógu hár, um það bil 500°C, verður berg seigfljótandi og spenna losnar smátt og smátt við hægfara skrið. Við slíkar aðstæður myndast yfirleitt ekki nægileg spenna í berginu til að það brotni.

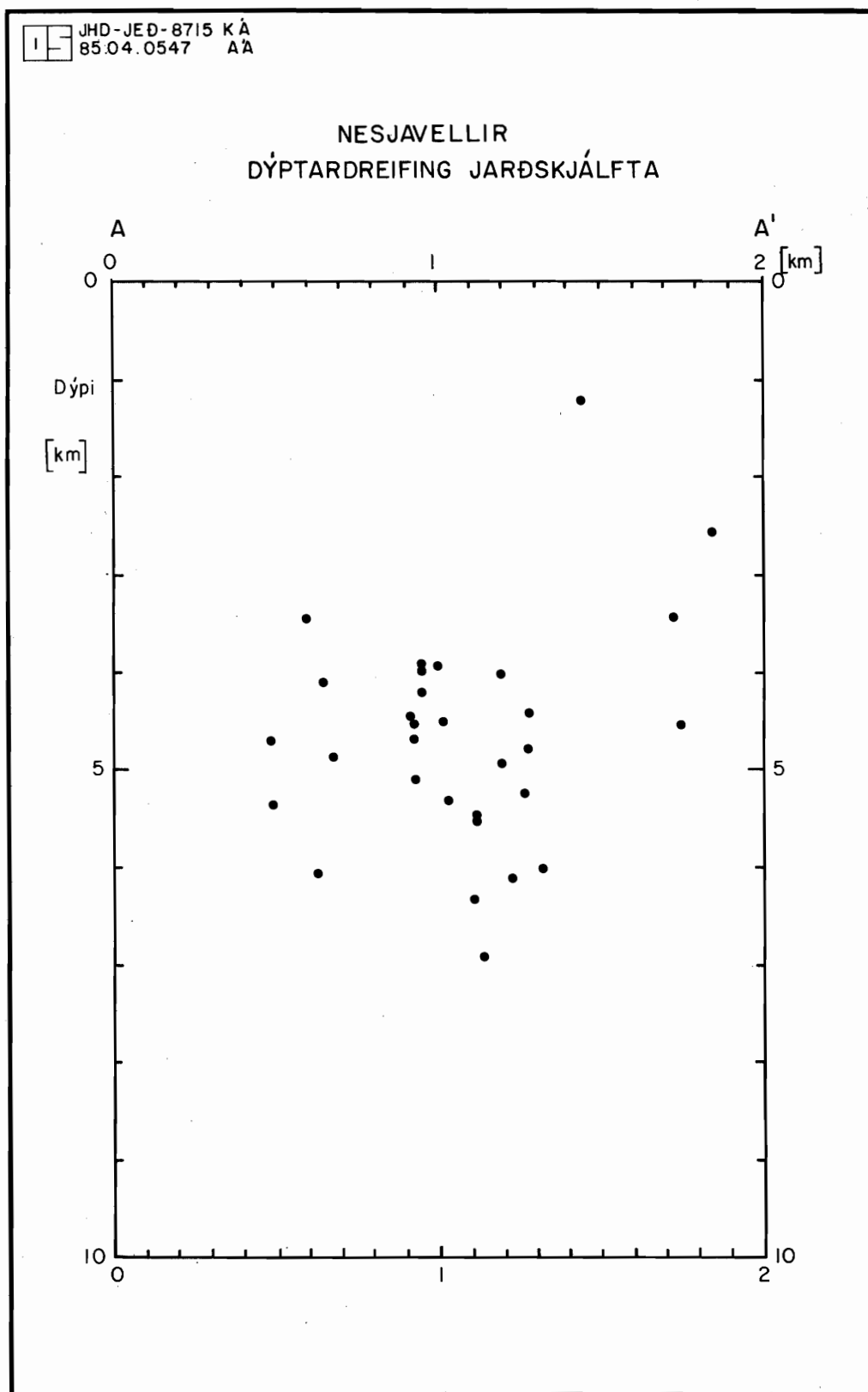
Á mynd 7.2 sést að skjálftarnir norðan jarðhitasvæðisins eru flestir á 3-6 km dýpi. Það bendir til þess að ofan 3 km dýpis sé bergið annaðhvort það sterkt að skjálftar verði ekki nema í hrinum eða að bergið sé það brotið af sprungum og misgengjum að skjálftar verði tæpast í því. Seinni skýringin er sennilegri og ætti samkvæmt henni mest hreyfing að verða um opnar sprungur og misgengi. Á 3-6 km dýpi er berghiti væntanlega afbrigðilega lágur þ.e. lægri en um það bil 500°C. Ótruflaður hitastigull við jaðra gosbeltisins er hins vegar um 150°C/km, sem gefur mun hærri hita. Á þessu dýptarbili getur hlaðist upp nægjanlega mikil spenna til að mynda skjálfta. Kælingin er væntanlega vegna grunnvatns sem nær að renna eftir sprungum niður á allt að 6 km dýpi utan jarðhitasvæða í gosbeltinu. Bergið dregst saman vegna kælingar og rifnunarskjálftar verða. Það er athyglisvert að skjálftar mældust ekki neðan 7 km dýpis. Samkvæmt MT-mælingu B-7 á Nesjavöllum, hefst hlutbráðnun á um 7,5 km dýpi. Þá er hiti mjög hár, bergið seigfljótandi og því eðlilegt að engir skjálftar mælist neðan 7 km dýpis.

Margir skjálftanna virðast tengdir einni eða fáum afmörkuðum brotalínum. Tvær skýringar eru hugsanlegar á tognunarskjálftum. Önnur er að "kalt" vatn leiti niður eftir sprungum og kæli berg á miklu dýpi. Það veldur samdrætti og þar með sprungumyndun og skjálftum. Hin er að vatn með háum þrýstingi leiti úr jarðhitageyminum norður eftir sprungu(m) sem skjálftarnir raða sér á. Berg í gosbeltum er oft undir láréttum togspennum sem stefna út frá gosbeltinu. Ef slík togspenna er til staðar getur hún, ásamt vatnsþrýstingnum, nægt til að brjóta upp sprungur í berginu.

Líklegt er að safna megi fleiri upplýsingum um jarðhitasvæðið með nákvæmum skjálftamælingum. Skjálftamælingarnar stóðu aðeins í um 4 mánuði, sem er mjög skammur tími til þess að fá yfirlit um skjálftavirkni svæðisins.



Mynd 7.1 Upptök skjálfta á Nesjavallasvæði (eftir Foulger 1984)



Mynd 7.2 Dýptardreifing skjálfta. Sniðið sem skjálftunum er varpað á er sýnt á mynd 7.1 (eftir Foulger 1984).



## 8 HITI OG ÞRÝSTINGUR Í JARÐHITAKERFINU

Hér verður lítillega fjallað um hita og þrýsting í jarðhitakerfinu við Nesjavelli og tengingu þessara þátta við niðurstöður yfirborðsrannsóknna. Einkum verður stuðst við gögn úr borholum sem Valgarður Stefánsson hefur nýlega birt (1985).

Erfitt er að áætla ótruflaðan berghita umhverfis borholur af mikilli nákvæmni. Valgarður Stefánsson (1985) birtir mynd með áætluðum berghita við sjávarmál (200-300 m dýpi). Færa má að því nokkur rök út frá ummyndunarsteindum að hann ofmeti hita í holu NG-6. Áætlaður þrýstingur í holu NG-4 bendir hins vegar til þess að hann vanmeti hitastig við sjávarmál í þeirri holu. Ef tekið er tillit til þessa fæst sú mynd af berghita við sjávarmál sem sýnd er á mynd 8.1. Myndin sýnir að fyrir norðan holu NG-9 er hiti verulega lægri austan við misgengið í Nesjalausgargili en vestan þess. Hiti er hæstur við NG-8, um 250 °C, og svo virðist sem heit tunga teygji sig til norðurs vestan við misgengið. Vesturmörk þessarar tungu eru hins vegar óþekkt. Austan við misgengið fellur hiti til norðurs og við holu NG-10 er hiti ótrúlega lágur, eða um 30 °C við sjávarmál.

Á mynd 8.2 er sýndur áætlaður berghiti 500 m neðan við sjávarmál (700-800 m dýpi). Væntanlega er hiti hæstur við NG-8, > 290 °C, og heit tunga virðist teygja sig til norðurs vestan við misgengið í Nesjalausgargili. Austan við misgengið fellur hiti mjög ört til norðurs, frá um 270 °C í holu NG-9 og í um 120 °C í holu NG-10.

Valgarður Stefánsson (1985) birtir gögn um mældan þrýsting í æðum í borholum á Nesjavallasvæði. Þau gögn eru hér umreiknuð og birt á nokkuð öðru formi. Reiknaður var þungi vatnssúlu með vatnsborð í yfirborði og með sömu hitadreifingu og áætlaður berghiti í hverri holu. Þrýstingur slíkrar vatnssúlu ofan hveðrar æðar var dreginn frá mældum þrýstingi hennar. Átla má að frávik mælds þrýstings frá þrýstingi vatnssúlunnar gefi betri vísbendingu um innra þrýstiástand svæðisins, en mældur heildarþrýstingur.

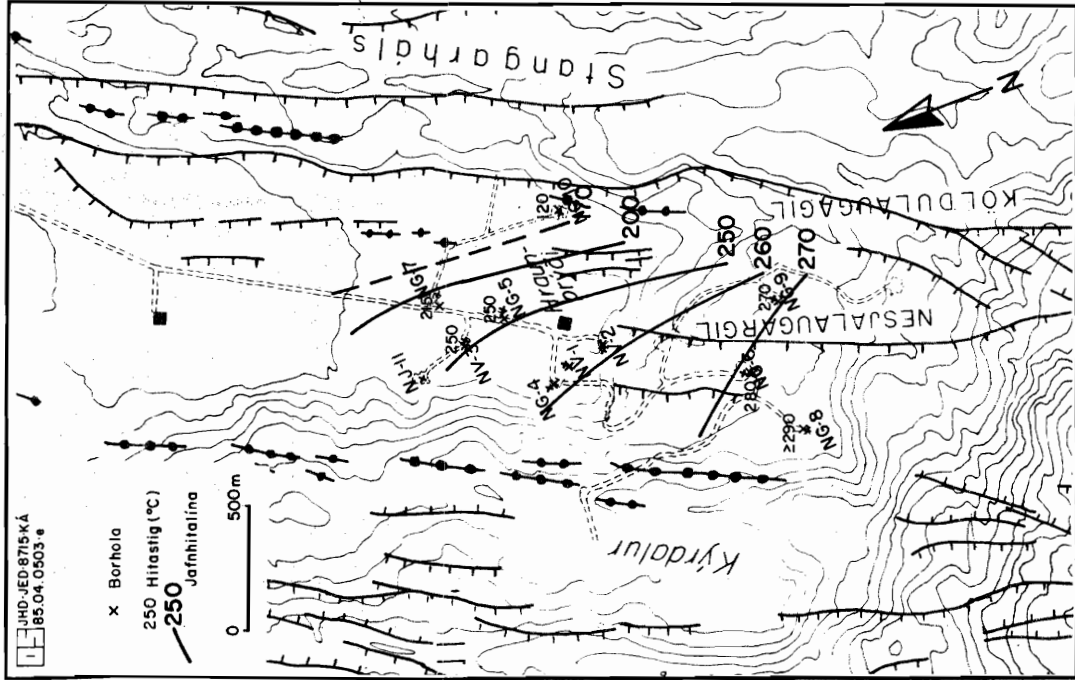
Á mynd 8.3 er sýnt þrýstifrávik við sjávarmál. Á þessari mynd sést að austan við misgengið í Nesjalausgargili fellur þrýstingur töluvert til norðurs, frá því að vera yfirþrýstingur upp á 8 bör við NG-9 og í undirþrýsting upp á 7 bör við NG-10. Vestan við misgengið eru jafngildislínur nokkurn veginn samsíða því og þrýstifrávik vex verulega til vesturs, upp í 10 bara yfirþrýsting í holum NG-4 og NG-8.

Á mynd 8.4 er sýnt þrýstifrávik 500 m neðan við sjávarmál. Þar eru gagnapunktur fáir, en þó segir þessi mynd í grófum dráttum það sama og

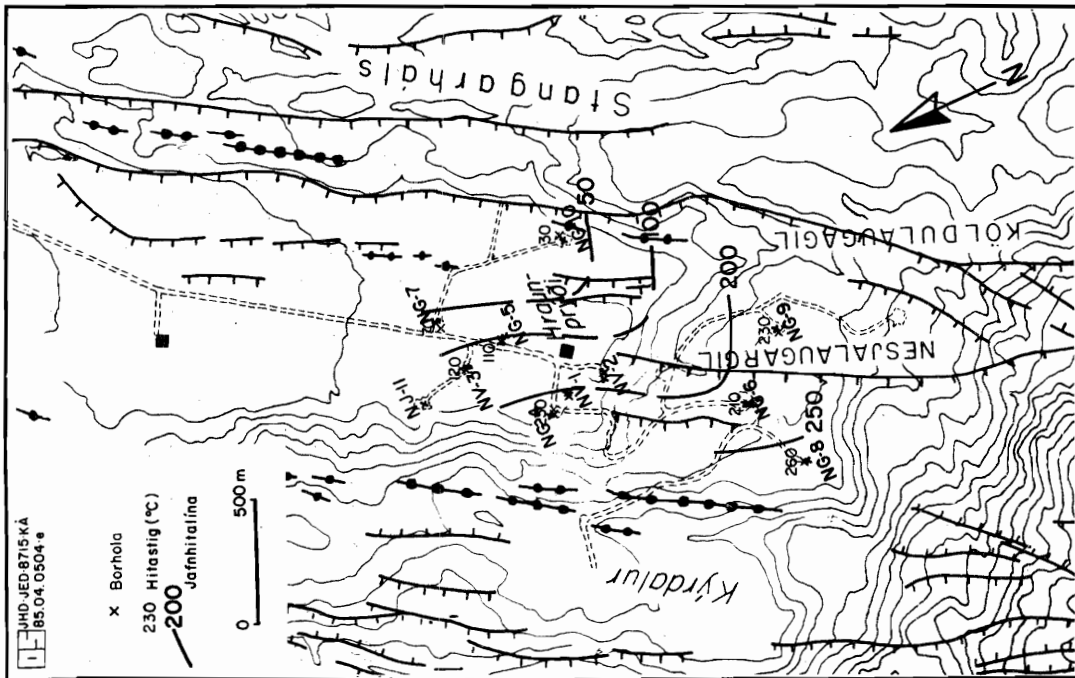
mynd 8.4, þ.e. að vestan misgengisins er yfirþrýstingur en undirþrýstingur austan þess.

Hola NG-6 er staðsett rúmlega 100 m vestan við misgengið í Nesjaulaugargili (holutoppur í um 290 m hæð yfir sjó). Ef gert er ráð fyrir því að holan sé bein og misgenginu halli um 6° til vesturs, þá ætti holan að skera það á 900-1000 m dýpi. Á mynd 8.5 er sýndur mældur þrýstingur í æðum í holu NG-6 ásamt reiknuðum hydrostatískum- og suðumarksþrýstingi út frá áætluðum berghita. Þar sést að æðar um og ofan við 300 m dýpi eru um það bil á hydrostatískum þrýstingi. Æðar kringum 700 m dýpi eru með um 9 bara yfirþrýsting, en æðin á 1105 m dýpi er hins vegar með um 2 bara undirþrýsting. Ef holan hefur skorið misgengið á dýptarbilinu 750-1100 m kemur þetta heim og saman við, að þrýstingur sé verulega lægri austan þess en vestan.

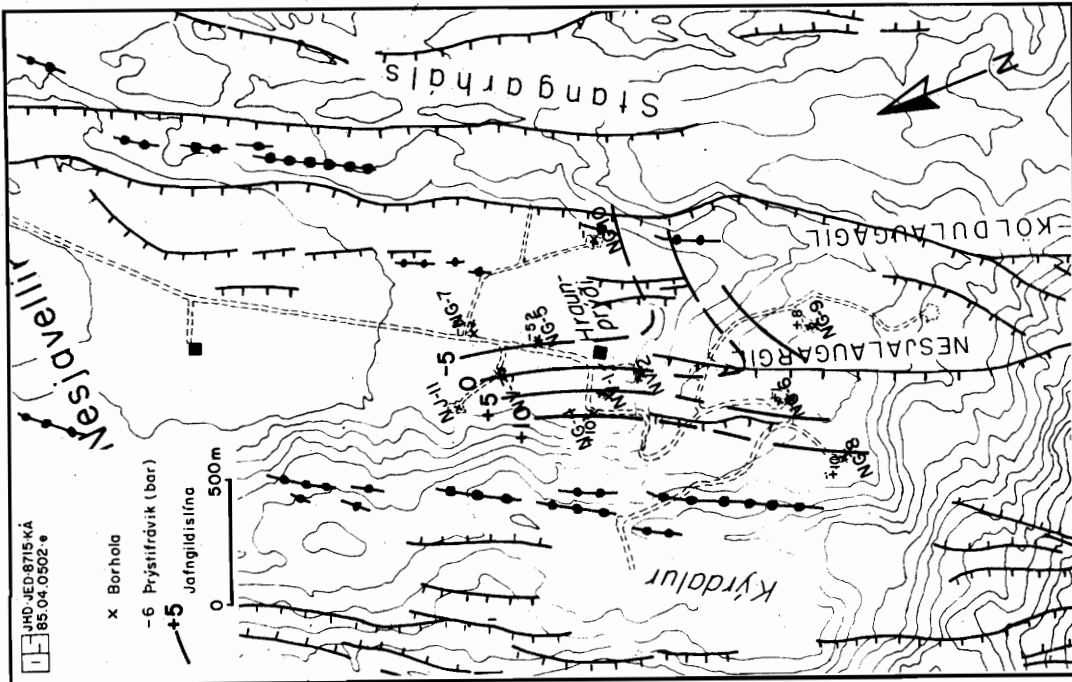
Hiti og þrýstingur í jarðhitakerfinu við Nesjavelli bendir til, eins og viðnámsmælingarnar, að austurmörk jarðhitasvæðisins stjórnist verulega af misgenginu í Nesjaulaugargili. Ef borið er saman við nám við sjávarmál, mynd 3.6, og berghiti við sjávarmál, mynd 8.1, sést að þar er gott samræmi á milli. Viðnámið endurspeglar því hitastig í jarðhitakerfinu. Á mynd 8.5 sést enn fremur að æðin á 1095 m dýpi í holu NG-6 er í suðu. Hita- og þrýstingsmælingar benda til þess að æðar á um 900 m dýpi í holu NG-9 séu í suðu og að æðar í holum NG-4 og NG-8 séu í suðu á einungis nokkur hundruð metra dýpi. Holur NV-3, NG-5, NG-7 og NG-10 virðast ekki vera í suðu.



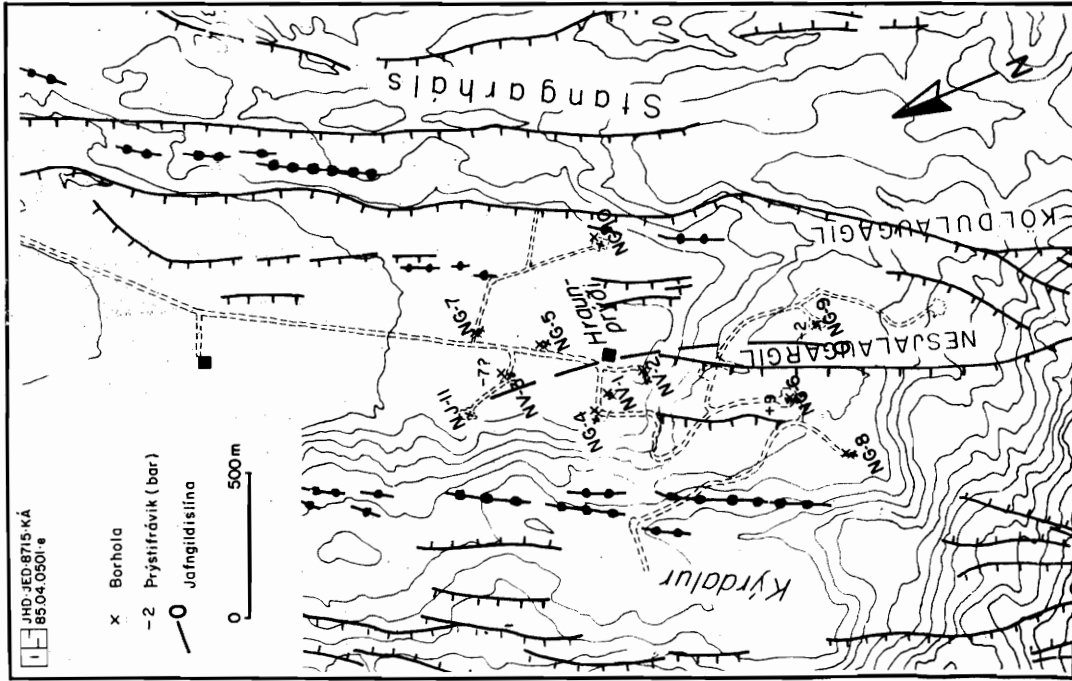
Mynd 8.2 Berghiti 500 m neðan sjávarmáls



Mynd 8.1 Berghiti við sjávarmál

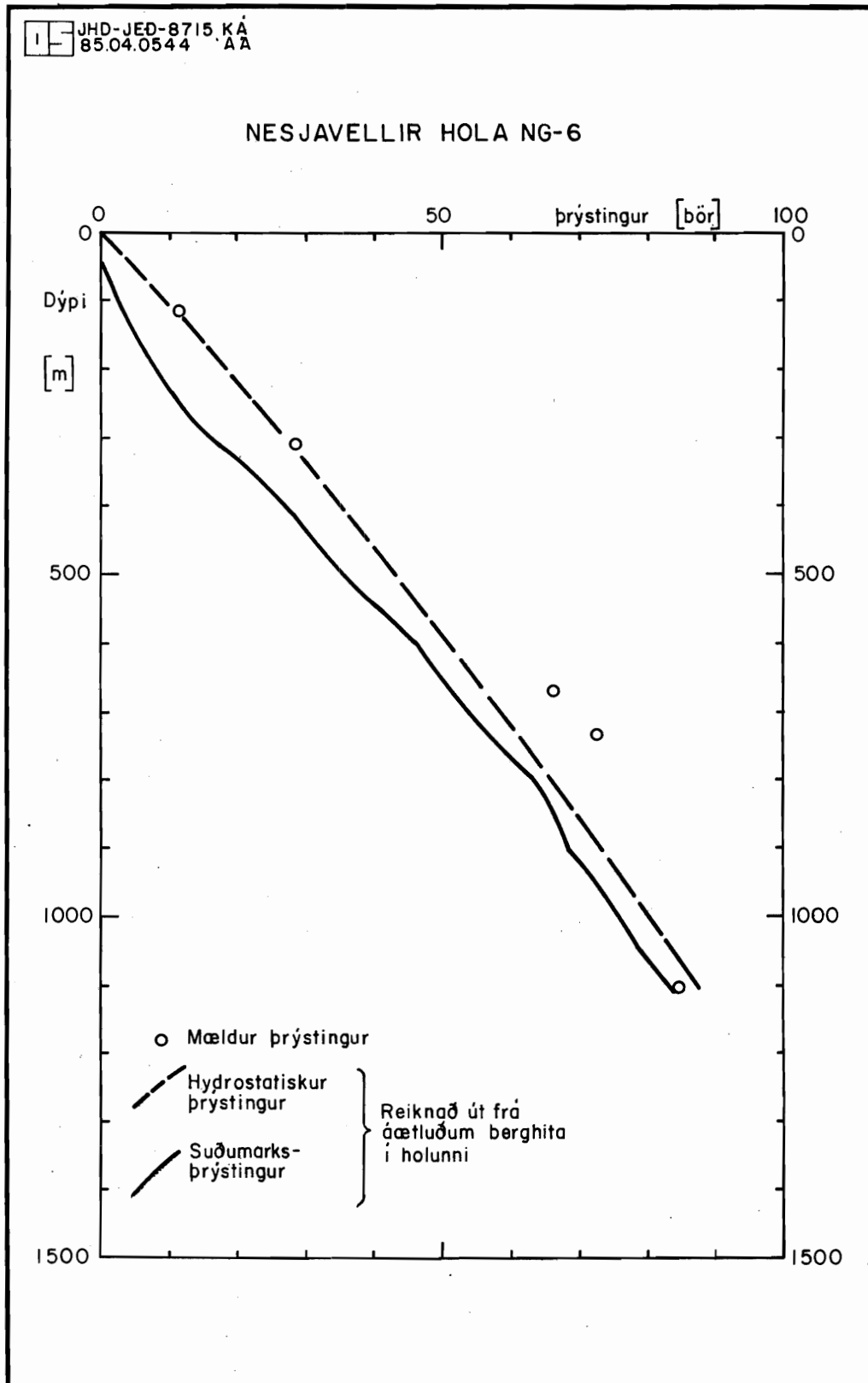


Mynd 8.3 prýstifrávík í jarðhitakerfinu við sjávarmál



Mynd 8.4 prýstifrávík í jarðhitakerfinu

500 m neðan sjávarmáls



Mynd 8.5 Mældur og reiknaður prýstingur í holu NG-6

## 9 SAMBAND VIÐNÁMS, UMMYNDUNAR OG EÐLISÁSTANDS JARÐHITAKERFISINS

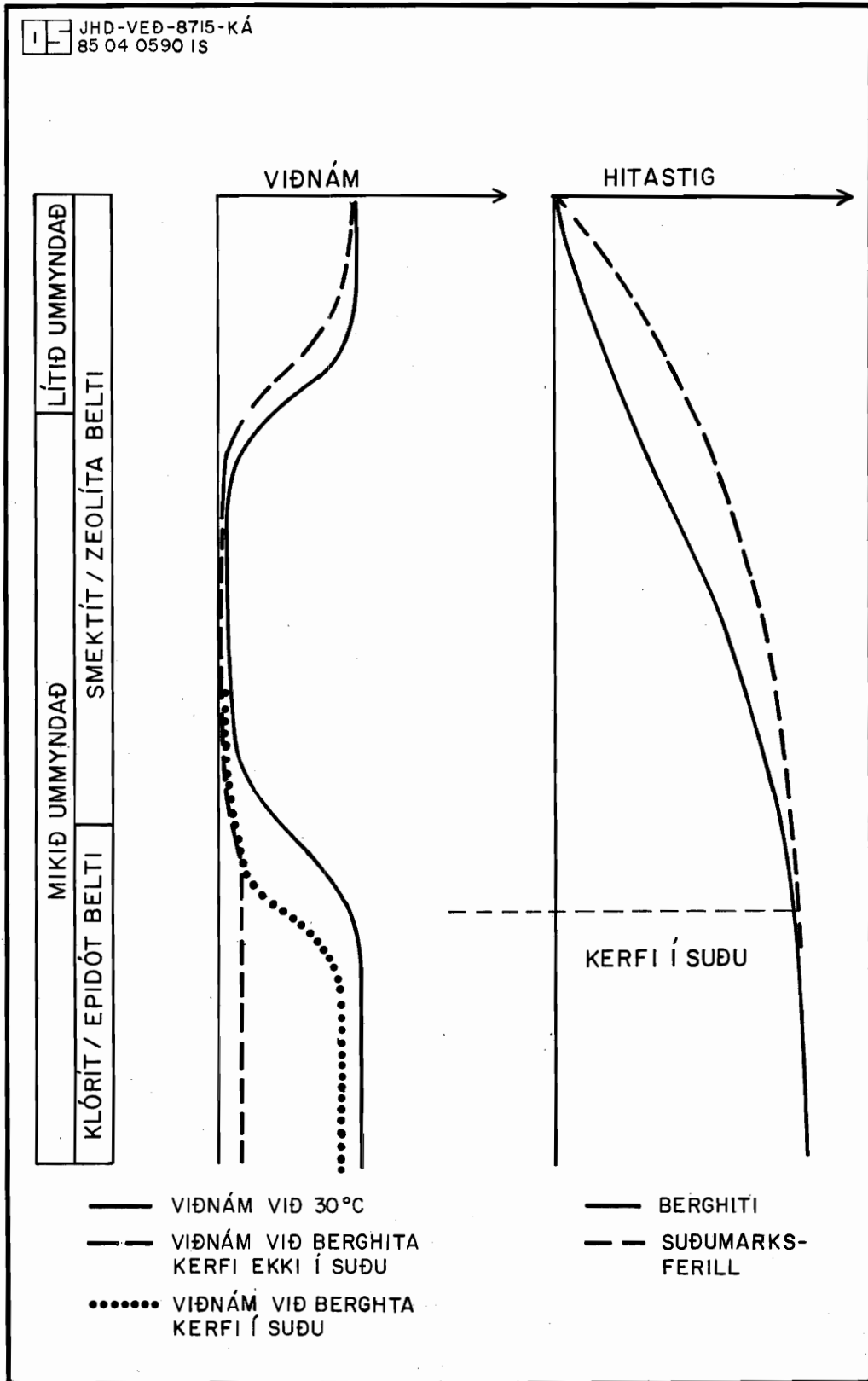
Í kafla 3 var vikið að sambandi viðnáms og ástands berglaga. Almennt er talið að þeir þættir sem ráða viðnámi vatnsmettaðra jarðlaga séu poruhluti, viðnám vökvans, hiti og ummyndunarsteindir. Hér verður ekki farið út í hið flókna samspil þessara þátta enda er það ekki fyllilega þekkt. Þó bendir margt til þess að viðnám poruvökvans skipti litlu máli nema það sé mjög lágt (<1 ohm) vegna mikillar seltu (Ólafur Flóvenz o.fl. 1985). Í viðauka 5 er fjallað um samband viðnáms og hita.

A mynd 9.1 er sett fram á skematískan hátt hugsanlegt samband viðnáms, ummyndunar og eðlisástands jarðhitakerfisins. Hér á eftir verður fjallað lítillega um samband þessara þátta, en hafa ber í huga að margt af því, sem hér er sagt, verður enn sem komið er að teljast nokkurri óvissu undirorpið.

Samkvæmt viðnámsmælingum í borholum á Nesjavallasvæði (kafla 3.3) virðist vera nokkuð ákveðið samband á milli viðnáms við fast hitastig, og ummyndunar. Þegar ummyndunar berglaga yfir í leirsteindir (smektít) fer að gæta verulega verður viðnámið mjög lágt, en þegar meginumyndunarsteindirnar verða klórít og epidót hækkar það aftur. Vegna þess hve áhrif hita á viðnámið eru mikil verður þessi viðnámsþækkun trúlega ekki eins áberandi þegar búið er að umreikna viðnám að berghita, því að hiti er hærri í klórít/epidót beltinu en í smektít/zeolíta beltinu. Það er því ekki víst að þessi viðnámsþækkun komi glögg fram í yfirborðsmælingum. (Hér er gert ráð fyrir því að samband viðnáms og hita sé það sama í smektít/zeolíta beltinu og í klórít/epidót beltinu).

Í kafla 3 um viðnámsmælingar kom fram að hátt viðnám er neðan lágviðnámsins í Schlumbergermælingum HE-88 og HE-91, en þessar mælingar eru þar sem jarðhitakerfið virðist vera hvað öflugast. Jarðhitasvæðið við Nesjavelli er hér engin undantekning heldur virðist hátt viðnám neðan lágviðnámslags vera algengt á háhitasvæðum á Íslandi. Þetta fyrirbrigði hefur verið nokkuð til umræðu á síðustu árum. Settar hafa verið fram fjórar hugsanlegar skýringar.

1. Þétt og fersk innskot.
2. Breytingar í ummyndunarsteindum (t.d. smektít yfir í klórít).
3. Viðnám jarðhitavökvans vex verulega þegar hiti verður mjög hár (um og yfir 300 °C).
4. Jarðhitakerfið er komið í suðu.



Mynd 9.1 Viðnám, ummyndun og eðlisástand jarðhitakerfisins

Schlumbergermæling HE-88 er rétt við holu NG-6. Ekki koma fram innskot í holunni (dýpi hennar er 1140 m). Í þeim holum sem eru niðri í Nesjavalladalnum finnast innskot ekki að ráði fyrr en á 1300-1400 m dýpi. Háviðnámið í HE-88 er því ekki vegna innskota. Háa viðnámið er tæplega eingöngu vegna breytinga í ummyndunarsteindum, þó að þær kunni að eiga einhvern hlut að máli. Vegna hitaáhrifa er viðnámið í klórít/epidót beltinu varla það hátt að það komi fram sem afgerandi háviðnám í yfirborðsmælingum.

Vitað er að jarðhitakerfið við holu NG-6 er í suðu á 800-1100 m dýpi. Í Schlumbergermælingu HE-91 í Kýrdal kemur fram hátt viðnám á mun minna dýpi en undir HE-88. Við holur NG-4 og NG-8, sem báðar eru skammt frá HE-88, virðist jarðhitakerfið vera í suðu á aðeins nokkur hundruð metra dýpi. Þetta rennir stoðum undir þá skýringu að hátt viðnám í hjarta jarðhitakerfa sé merki um að þau séu komin í suðu. Víddarleiðrétt viðnám og umreiknað að áætluðum berghita í holu NG-6 er lágt á dýptarbilinu 800-1100 m eða um 2 ohmm. Þetta stangast á við mælingu HE-88 sem sýnir hátt viðnám á þessu dýpi. Hugsanleg skýring þessa er sú að hola NG-6 var viðnámsmæld köld eftir borun og suða því ekki á því svæði sem mælingin skynjaði. Því kom ekki fram hátt viðnám. Í Schlumbergermælingunni HE-67, innst í Nesjavalladalnum, kemur ekki fram hátt viðnám neðan lágviðnáms enda sýna holur NG-5 og NG-10 að kerfið er ekki í suðu á þessum slóðum. Ef það sem hér er viðrað reynist rétt geta viðnámsmælingar á yfirborði sýnt hvar jarðhitakerfið er í suðu og hvar ekki.



## 10 SAMANDREGNAR NIÐURSTÖÐUR

Nesjavallasvæðið er á norðurmörkum háhitasvæðisins í Hengli. Hveravirkni og ummyndun er mest í fjallsrótunum að norðan og norðaustan en teygist upp í fjallshlíðarnar eftir norðaustlægum misgengissprungum. Upphleðsla er hröð á svæðinu, vart minni en 300 m á 100 þús. árum í ási eldstöðvakerfisins. Hann liggur frá Hengli norðaustur eftir Háhrygg. Engin merki sjást um jarðhita undir Kýrdal eða Háhrygg. Sama gildir um norð-vesturhluta Hengils.

Verulegt lágviðnámssvæði kemur fram á jarðhitasvæðinu við Nesjavelli. Austurmörk þess eru ekki vel þekkt sunnantil, á móts við holu NG-9, en þegar kemur norður undir holu NG-10 eru þau vel ákvörðuð. Norðurmörk lágviðnámsins í Nesjavalladalnum eru vel þekkt en vesturmörkin óþekkt. Viðnám hækkar mjög snögglega austan við misgengið í Nesjalausgargili, en tunga með lágu viðnámi teygir sig til norðurs vestan þess. Hiti og þrýstingur í jarðhitakerfinu sýna mjög svipaða hegðun. Norðan við holu NG-9 fellur hvort tveggja hratt austan við misgengið í Nesjalausgargili, en vestan þess gengur tunga til norðurs með háum hita og þrýstingi.

Viðnámsmælingum og hita- og þrýstingsmælingum ber saman um það að austurmörk jarðhitasvæðisins við Nesjavelli stjórnist að verulegu leyti af misgenginu í Nesjalausgargili. Jarðhitasvæðið nær ekki eins langt til norðurs austan við misgengið og vestan þess. Virðast norðurmörkin, austan misgengisins vera skammt norðan við holu NG-9. Norðurmörkin vestan við misgengið eru hins vegar samkvæmt viðnámsmælingum norður á móts við holu NG-7. Um útlínur svæðisins til vesturs er lítið vitað, en viðnámsmælingin HE-91 í Kýrdal bendir þó eindregið til þess að jarðhitakerfið nái þangað.

Lágt viðnám á jarðhitasvæðinu er talið stafa af ummyndun bergs yfir í leirsteindir og vegna mikils hita. Það samræmi sem virðist vera milli berghita og viðnáms styður þá túlkun.

Þar sem jarðhitakerfið virðist vera hvað öflugast kemur fram hátt viðnám neðan lágviðnámsins. Þetta er algengt á íslenskum háhitasvæðum. Út frá upplýsingum um eðlisástand kerfisins má færa að því nokkur rök að þetta háa viðnám stafi af suðu í jarðhitakerfinu.

Þyngdarsvið er afbrigðilega lágt yfir jarðhitasvæðinu við Nesjavelli. Nærtækar skýringar eru óvenju mikið holrými bergs, lágur eðlismassi þess og/eða gufa í holrýmum bergsins í stað vatns. Tota með nokkuð háu þyngdarsviði gengur fram á stallinn fyrir ofan Hraunprýði. Hugsanlega er hún tengd þéttu þakbergi yfir jarðhitasvæðinu.

Flugsegulkort af Nesjavallasvæðinu veitir litlar upplýsingar um jarðhitavirknina. Segulsviðið stjórnast nær eingöngu af ungum gosmyndunum nærri yfirborði. Ekki er talið vænlegt að beita frekari segulmælingum. Niðurstöður flugsegulmælinga benda til að berg í efstu lögum jarðhitasvæðisins sé lítið ummyndað. Það er í samræmi við svarfgreiningar.

Skjálftavirkni á Nesjavallasvæðinu virðist einkum tengd brotum og misgengjum í austanverðum Nesjavalladalnum. Brotlausnir sýna að bæði er um að ræða sniðgengis- og rifnunarskjálfta. Hugsanlegar orsakir skjálftanna eru tvær. Annars vegar kólnun heits bergs vegna innstreymis kalds vatns og hins vegar að vatn með háum þrýstingi leiti út í sprungur og opni þær. Athyglisvert er að nánast engir skjálftar mælast á meginjarðhitasvæðinu.

## 11 TILLÖGUR UM FREKARI RANNSÓKNIR

Megintilgangur með samantekt allra tiltækra gagna um jarðhitasvæðið við Nesjavelli er að leggja grunn að tillögum um frekari yfirborðs-rannsóknir, sem þar á að gera sumarið 1985. Í þessum kafla eru settar fram tillögur Jarðhitadeildar, byggðar á þessari samantekt.

### 11.1 JARÐFRÆÐI

#### 11.1.1 Jarðfræðikortlagning

Gott jarðfræðikort er grunnþáttur í könnun sérhvers jarðhitasvæðis. Í því felast ýmsar gagnlegar upplýsingar. Einnig er gott jarðfræðikort nauðsynleg forsenda þess að unnt sé að túlka aðrar yfirborðsmælingar og nýta upplýsingar úr borholum.

Lagt er til að gert verði yfirlitskort af Nesjavallasvæðinu í mælikvarða 1:10.000. Það myndi afmarkast af eftirfarandi kennileitum: Hagavík, Kýrgili, Innstadal, Engidal, Sköflungi og Hestvík. Kortlagðar verða goseiningar og aðrar jarðlagaeiningar, berggerðir, höggun (misgengi, sprungur, halli), ummyndun bergs og vatnafar (jarðhiti, lindir). Rannsókuð verður aldursröð og aldur helstu goseininga svo og upphleðsla í eldstöðvakerfinu eftir svæðum og magni. Gliðnun í sprungustykkinu verður könnuð til að finna m.a. eðli jarðskorpuhreyfinga (snörun og lóðrétta hreyfingu á spildum), stærð þeirra og dreifingu virkninnar innan sprungustykkisins, einkum á nútíma. Lagt verður til jarðfræðilegt efni í vatnafarskort af svæðinu.

Lagt er til að unnið verði nákvæmt tektónískt kort af landi Nesjavalla í mælikvarða 1:5000. Þversnið af berglagaskipan samkvæmt yfirborðs-jarðfræði og svarfgreiningu úr borholum verða dregin upp. Sérstaklega verða athuguð tengsl jarðhita, ummyndunar, sprungna og misgengja.

#### 11.1.2 Framkvæmd verksins

Gert er ráð fyrir að einn maður starfi við útirannsóknir á tímabilinu 15. maí - 15. október og tveir aðrir hluta þess (allt að 7 vikur hvor). Reiknað er með að útivinnan fari fram í 5 daga úthöldum og rannsóknarmenn haldi til á Nesjavöllum. Ef úrkomusamt verður gæti sú áætlun raskast eitthvað. Gert verður opnukort af svæðinu, en að öðru leyti unnið að öflun gagna til að fylla í jarðfræðikortið og vatnafarskortinu. Megináhersla verður lögð á kortlagningu sjálfs Nesjavallasvæðisins. Úrvinnsla verður í höndum sömu manna og inna af

höndum vettvangsvinnuna.

Reiknað er með að skellumælingar, rennslismælingar og mat á náttúrlegu varmastreymi verði á vegum Hitaveitu Reykjavíkur. Jarðfræðingar Jarðhitadeildar munu veita hvers kyns aðstoð og ábendingar varðandi vatnafarið.

Lektareiginleikar jarðlagastafla á vinnslusvæði Nesjavalla verða metnir (berggerðir, mismunandi ummyndun), í samvinnu við borholujarðfræðinga. Samvinna verður höfð við vatnafræðinga sem gera grunnvatnskort, einkum við val á stöðum fyrir mæliholur á grunnvatni og við mat á lekt bergmyndana nærri grunnvatnsborði á afrennslissvæði virkjunarinnar.

## 11.2 VIÐNÁMSMÆLINGAR

### 11.2.1 Tilgangur frekari viðnámsmælinga

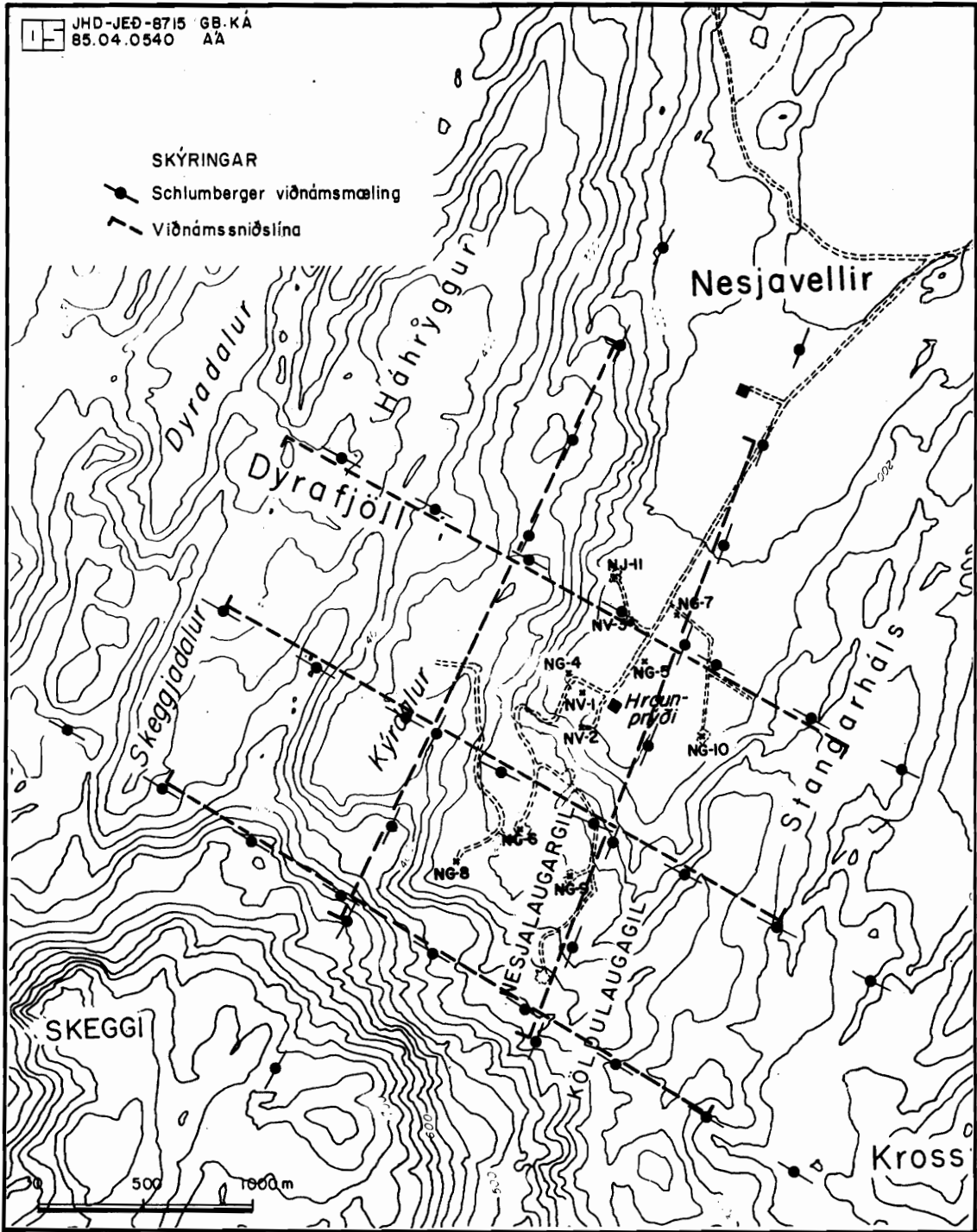
Niðurstöður Schlumbergermælinga, ásamt viðnámsmælingum úr borholum, sýna að ýtarlegar viðnámsmælingar geta orðið gagnlegar við könnun jarðhitasvæðisins við Nesjavelli. Því er lagt til að umfangsmiklar viðnámsmælingar verði gerðar þar sumarið 1985. Mælingarnar munu hafa það meginmarkmið að:

1. Finna útlínur og stærð jarðhitasvæðisins. Í því felst að afmarka lágviðnámsvæði (vatnskerfi) og dýpi niður á það. Einnig verði kannað hvar háviðnám (sjóðandi vatnskerfi ?) er undir lágviðnámslagi og hversu djúpt er á það.
2. Kortleggja rafleiðandi sprungur og misgengi inni á jarðhitasvæðinu og reyna að meta hvort þær séu vatnsleiðarar.

Þessar upplýsingar geta reynst nytsamlegar við mat á innri gerð, eiginleikum og afkastagetu svæðisins og gera staðsetningu borhola markvissari.

### 11.2.2 Aætlun um viðnámsmælingar sumarið 1985

Gert er ráð fyrir að einn 4-6 manna mæliflokkur starfi við mælingarnar. Þær munu hefjast í byrjun júní og ljúka um mánaðamótin ágúst/september. Alls verða þetta 60-70 mælidagar. Tillaga að staðsetningu mælilína er sýnd á mynd 11.1.



Mynd 11.1 Tillaga að viðnámsmælingum 1985

Mælingarnar verða unnar með svipuðu sniði og gert var við könnun Hvíthólasvæðisins í Kröflu (Knútur Arnason o.fl. 1984). Notaðar verða tvær tegundir viðnámsmælinga, Schlumbergermælingar og viðnáms-sniðsmælingar (Kínámælingar). Mælt verður á 3 km löngum línunum, annarsvegar með A-V stefnu, hins vegar með N-S stefnu.

Við mat á mæliafköstum er stuðst við reynslu frá öðrum svæðum (Hvíthólasvæði og Trölladyngju). Meðalafköst í Schlumberger-mælingum á Hvíthólasvæði voru 1,6 mælingar/dag. Rétt þykir að margfalda þá tölu með 0,8 (Suðurlands-rigningarstuðull) og gera ráð fyrir að mæliafköstin á Nesjavöllum verði 1,3 mælingar/dag. Í viðnáms-sniðsmælingunum er gert ráð fyrir að mældur verði að meðaltali 1 km/dag.

Viðnámsmælingar eru mjög erfiðar í vætutíð. Með fyrri óþurrkasumur í huga þykir rétt að setja fram tvær áætlanir um viðnámsmælingar á komandi sumri. eru þær sýndar í töflu 11.1.

Til að fyrri áætlunin gangi upp þurfa afköst að fara 17% fram úr líklegustu afköstum, og er það vel mögulegt ef tíð helst góð. Í seinni áætluninni mega afköst fara niður í 75% af líklegustu afköstum (1 Schlumbergermæling á dag og 700 m/dag í viðnáms-sniðsmælingum).

### 11.2.3 Sérfræðivinna og úrvinnsla

Sérfræðingar JHD undirbúa mælingarnar, sjá um framkvæmd þeirra og vinna úr gögnum. Gerð verða tvívíð viðnáms-snið eftir öllum mældum línunum og sett fram líkan af jarðhitasvæðinu. Nauðsynlegt er að túlka viðnámsmælingar úr borholum samhliða yfirborðsmælingum. Áætlað er að þetta verk sé um 60 vinnuvikur sérfræðings.

TAFLA 11.1: Aætlun um viðnámsmælingar

1. Æskileg afköst

3 A-V línur og 2 N-S línur.

Viðnámsenniðsmælingar

Lengd spennumælds hluta hvernar línu	3 km
Fjöldi straumarma	3
Lengd alls $5 * 3 * 3$	45 km
Tími alls	45 dagar

Schlumberger-mælingar

Fjöldi mælinga á línu	8
Fjöldi mælinga alls	40
Tími alls	31 dagar

-----  
Heildarverktími 76 dagar

2. Minnstu afköst

Þrjár A-V línur og ein N-S lína.

Viðnámsenniðsmælingar

Lengd spennumælds hluta hvernar línu	2,5 km
Fjöldi straumarma	3
Lengd alls	30 km
Tími alls	30 dagar

Schlumberger-mælingar

Fjöldi mælinga á línu	6
Fjöldi mælinga alls	24
Tími alls	19 dagar

-----  
Heildarverktími 49 dagar

### 11.3 Þyngdarmælingar

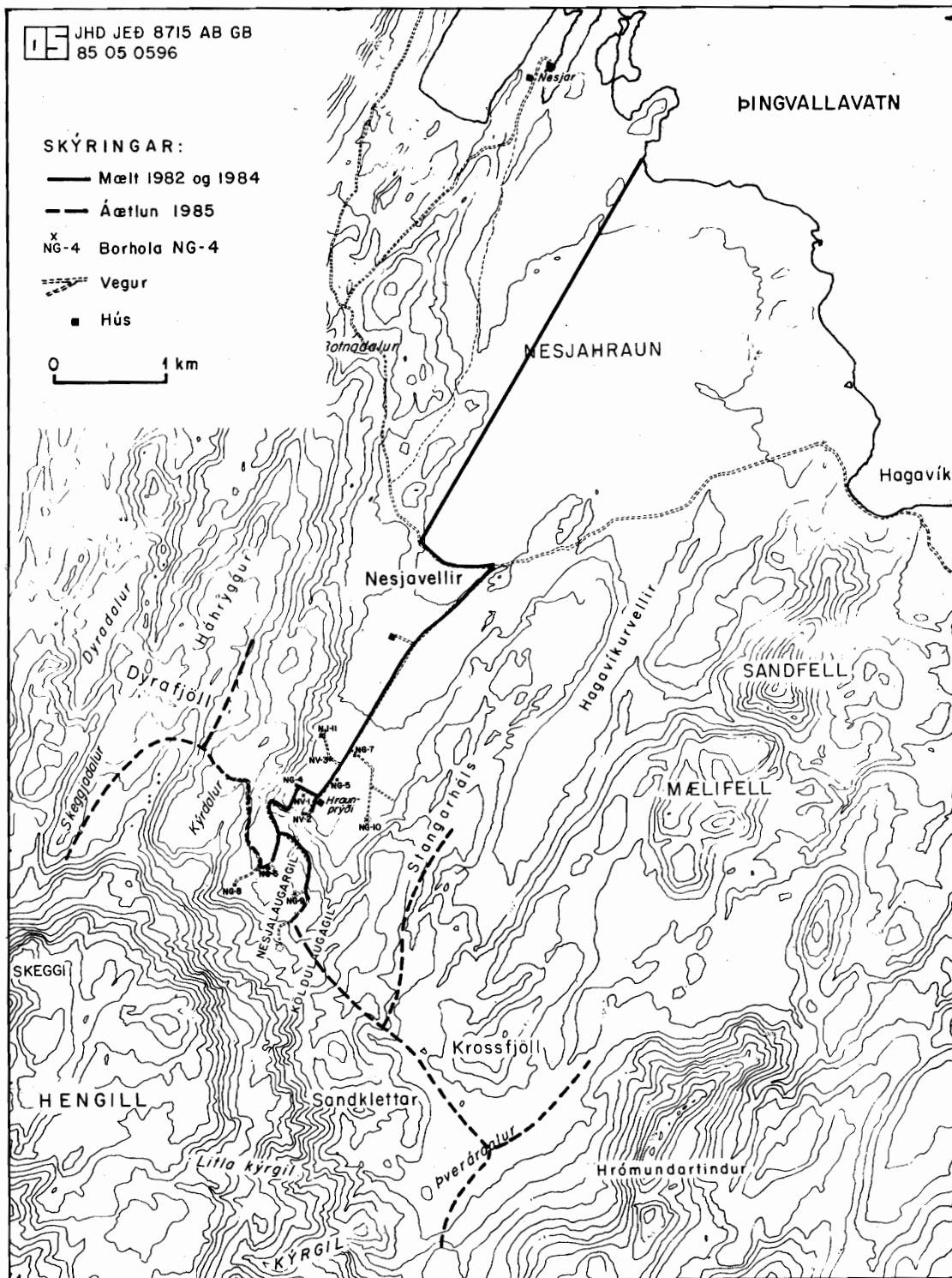
Eins og fram kemur í 4. kafla um þyngdarmælingar eru mælistaðir of fáir á Nesjavallasvæði til að unnt sé að gera nákvæmt þyngdarkort af jarðhitasvæðinu og næsta nágrenni þess. Ekki er unnt að gera góð reiknilíkön af innri gerð svæðisins með svo fáum mælingum. Lagt er til að mældir verði inn um 200 nýir punktar innan og í næsta nágrenni jarðhitasvæðisins. Væntanlega má nota eitthvað af þekktum punktum eins og t.d. holukjallara og punkta frá Hnit. Aðra punkta þarf að mæla inn með loftvog, lesa hæð af kortum eða fallmæla þá. Gert er ráð fyrir að mælingar taki tvo menn eina viku. Úrvinnsla tekur um 6 vikur.

### 11.4 Eftirlit með hæðar- og þyngdarbreytingum

Lagt er til að gerðar verði reglubundnar þyngdar- og hæðarmælingar næstu áratugina, til þess að fylgjast með hugsanlegum breytingum á jarðhitakerfinu vegna vatnstöku. Einnig er æskilegt að reka skjálftamæla á Nesjavöllum til þess að fylgjast með skjálftavirkni. Breyting á skjálftavirkni getur bæði verið tengd vatnstöku og meiriháttar umbrotum.

Þyngdar- og hæðarmælilínan, sem mæld hefur verið við Nesjavelli til eftirlits, er of takmörkuð til þess að geta skilað góðum árangri. Línan nær frá Þjóðvegi og upp á efra borsvæði og er sýnd á mynd 11.2. Nauðsynlegt er að leggja viðbótarlínur þvert á hana. Tillögur þar að lútandi eru sýndar á mynd 11.2. Áætlað er að það geti tekið þrjá menn þrjár vikur að leggja út og hæðarmæla þessar línur. Þyngdarmæling í punktum á línunum tekur einn mann um eina viku.





Mynd 11.2 Tillaga um hæðar og þyngdarmælingar til eftirlits með jarðhitavinnslu

HEIMILDIR

- Allis, R. G., 1982: Geologic controls on shallow hydrologic chances at Wairakei field. 4th New Zealand Geothermal Workshop, Proceedings. Part 1: 139-144.
- Asgrímur Guðmundsson og Hilmar Sigvaldason, 1985: Nesjavellir, hola NG-10. Orkustofnun JHD, í undirbúningi.
- Axel Björnsson, Jens Tómasson og Kristján Sæmundsson, 1974: Hengilssvæðið, staða jarðhitarannsókna vorið 1974. Orkustofnun, OS JHD 7415, 9 s.
- Axel Björnsson, Kristján Sæmundsson og Valgarður Stefánsson, 1984: Yfirborðsrannsóknir á Nesjavöllum. Orkustofnun, greinargerð AB-KS-VS/84-04, 4 s.
- Axel Björnsson, Kristján Sæmundsson og Benedikt Steingrímsson, 1984: Kröflueldar, staða og horfur í október 1984. Orkustofnun, OS-84077/JHD-31 B, 21 s.
- Axel Björnsson, Grímur Björnsson, Ásgeir Gunnarsson og Gunnar Þorbergsson, 1985: Breytingar á landhæð við Kröflu 1974-1984. Orkustofnun, JHD85019/JHD-05, 70 s.
- Axel Björnsson og Gylfi Páll Hersir, 1981: Geophysical Reconnaissance Study of the Hengill High-Temperature Area, SW-Iceland. Geothermal Resources Council, Trans. 5: 55-58.
- Beblo, M., Axel Björnsson, Kolbeinn Árnason, B. Stein og P. Wolfgram, 1983: Electrical conductivity beneath Iceland - constraints imposed by magnetotelluric results on temperature, partial melt, crust- and mantle structure. J. Geophys., 53: 16-23.
- Dakhnov, V.N., 1962: Geophysical well logging. Quart. Colorado Sch. Mines, vol.57, no.2, 445 s.
- Drury, M.J. and Hyndman R.D., 1979: The electrical resistivity of oceanic basalts. J. Geophys. Res., 84: 4537-4545.
- Eysteinn Tryggvason, 1973: Hve hratt síga Þingvellir? Náttúrufræðingurinn, 43: 175-182.

- Foulger, Gillian R., 1984: The Hengill Geothermal Area: Seismological Studies 1978-1984. Raunvísindastofnun Háskólans, Hitaveita Reykjavíkur, Orkustofnun, OS-84073/JHD-12, 196 s.
- Guðmundur Pálmason, T.H. Nilsen og Gunnar Þorbergsson, 1973: Gravity base station network in Iceland 1968-1970. Jökull 23: 70-125.
- Guðmundur Kjartansson, 1964: Aldur nokkurra hrauna á Suðurlandi. Náttúrufræðingurinn, 34: 101-113.
- Gunnar V. Johnsen, 1983: Þyngdarmælingar í nágrenni Svartsengis. Orkustofnun, OS-83038/JHD-15, 31 s.
- Gunnar Þorbergsson, Ingvar Þ. Magnússon, Ásgeir Gunnarsson, Gunnar V. Johnsen og Axel Björnsson, 1984: Landmælingar og þyngdarmælingar á Hengilssvæði 1982 og 1983. Orkustofnun, OS-84003/VOD-03 B, 58 s.
- Gylfi Páll Hersir, 1980: Electric and electromagnetic measurements across the Mid-Atlantic Ridge in South West Iceland, with special reference to the high-temperature area of Hengill. Mag scient ritgerð við Háskólann í Árósum, 165 s.
- Gylfi Páll Hersir, Axel Björnsson og L.B. Pedersen, 1984: Magnetotelluric survey across the active spreading zone in south west Iceland. Journal of Volcan. and Geotherm. Res., 20: 253-265.
- Helgi Torfason, Gylfi Páll Hersir, Kristján Sæmundsson, Gunnar V. Johnsen og Einar Gunnlaugsson, 1983: VESTUR-HENGILL Yfirborðsrannsókn jarðhitasvæðisins. Orkustofnun, OS-83119/JHD-22, 113 s.
- Hrefna Kristmannsdóttir og Jens Tómasson, 1974: Nesjavellir, Hydrothermal alteration in a high-temperature area. International Symposium on Water-Rock Interaction. Prague, september 1974.
- Hjalti Franzson og Hilmar Sigvaldason, 1985: Nesjavellir, hola NG-7. Jarðlög, ummyndun, vatnsæðar. Orkustofnun JHD, í útgáfu.
- Jens Tómasson, Guðmundur Guðmundsson og Stefán Arnórsson, 1971: Jarðhitarannsóknir á Nesjavallasvæðinu. Orkustofnun, jarðhitadeild.
- Jens Tómasson, Karl Grönvold, Hrefna Kristmannsdóttir og Þorsteinn Thorsteinsson, 1974: Nesjavellir, hola 5. Orkustofnun, OSJHD-7423, 47 s.

- Knútur Arnason, Brynjólfur Eyjólfsson, Karl Gunnarsson, Kristján Sæmundsson og Axel Björnsson, 1984: KRAFLA-HVÍTHÓLAR, jarðfræði- og jarðeðlisfræðileg könnun 1983. Orkustofnun, OS-84033/JHD-04, 61 s.
- Knútur Arnason og Gylfi Páll Hersir, 1985: Viðnámsmælingar á Nesjavallasvæði 1970-84. Orkustofnun, greinargerð KÁ-GPH-85/01, 7 s.
- Kristján Sæmundsson, 1967: Vulkanismus und Tektonik des Hengill-Gebietes in Sudwest-Island. Acta Nat. Isl. 2 (7), 109 s.
- Ólafur G. Flóvenz, Lúðvík S. Georgsson og Knútur Arnason, 1985: Resistivity structure of the upper crust in Iceland. J. Geophys. Res., í prentun.
- Páll Þorláksson : Undirréttung um jarðskjálftana og þeirra verkanir í Þingvallasveit 1789. Handrit í Þjóðskjalasafni.
- Sveinn Pálsson, 1945: Ferðabók, Snælandsútgáfa 1945.
- Valgarður Stefánsson, 1985: JARÐHITARANNSÓKNIR Á NESJAVÖLLUM. Staða og horfur í byrjun árs 1985. Orkustofnun, OS-85018/JHD-04, 36 s.
- Valgarður Stefánsson, Jens Tómasson, Einar Gunnlaugsson, Hilmar Sigvaldason, Hjalti Franzson og Ómar Sigurðsson, 1983: NESJAVELLIR, HOLA NG-6. Borun, rannsóknir og vinnslueiginleikar. Orkustofnun, OS-83023/JHD-04, 100 s.

VIÐAUKI 1

Greinargerð um yfirborðsrannsóknir á Nesjavöllum

---

## YFIRBORÐSRANNSÓKNIR Á NESJAVÖLLUM

### Inngangur

Orkustofnun hefur um nokkurra ára skeið unnið að yfirlitsrannsóknum á Hengilssvæði. Orkustofnun er einnig ráðgjafi Hitaveitu Reykjavíkur um jarðhitarannsóknir á háhitasvæðinu á Nesjavöllum. Rannsóknir á Nesjavöllum miðast nú við það að kanna vinnslugetu og vinnslueiginleika svæðisins. Nauðsynlegur liður í þessari rannsókn eru ýtarlegar yfirborðsrannsóknir til þess að fá sem gleggsta mynd af gerð jarðhita kerfisins á Nesjavöllum. Fyrirliggjandi greinargerð er tillaga jarðhitadeildar Orkustofnunar um heppilegt fyrirkomulag og umfang yfirborðsrannsókna á Nesjavöllum, sem Orkustofnun gæti unnið fyrir Hitaveitu Reykjavíkur. Einnig er fjallað um tilgang og markmið þessara rannsókna.

### Almennt um yfirborðsrannsóknir

Yfirborðsrannsóknir eru gerðar á öllum stigum undirbúnings virkjunar á jarðhitasvæðum, og sumir þættir yfirborðsrannsókna halda áfram samhliða vinnslu. Tilgangur og umfang yfirborðsrannsókna er breytilegur eftir eðli jarðhitasvæðis og því á hvaða stigi virkjunarundirbúningur er á viðkomandi svæði. Í flestum tilvikum er kostnaður við yfirborðsrannsóknir mun minni en kostnaður við boranir og geta yfirborðsrannsóknir því borgað sig margfaldlega í markvissari staðsetningu borhola. Yfirborðsrannsóknum má skipta í þrjá áfanga:

1. Fyrsta stig yfirborðsrannsókna er leit að virkjunarstað eða yfirlitskönnun (reconnaissance) sem oft nær til stórra landsvæða. Á grundvelli yfirlitskönnunar eru valdir einn eða fleiri virkjunarstaðir, sem taldir eru verðir frekari athugana. Rannsóknaholur eru ekki staðsettar á grundvelli yfirlitskönnunar. Til þess eru mælingar og athuganir of gisnar og unnar í of stórum mælikvarða.

2. Þegar vænlegur virkjunarstaður hefur verið valinn eru gerðar ýtarlegar yfirborðsrannsóknir á virkjunarstaðnum. Þessar rannsóknir má kalla forrannsókn virkjunarstaðar. Markmið þeirra er að kanna stærð og legu hugsanlegs vinnslusvæðis, staðsetja hugsanlegar vatnsleiðandi sprungur og misgengi og setja fram fyrsta frumlíkan af jarðhitakerfi. Á þessu stigi er yfirborðsrannsóknum beitt í mjög þéttu neti, og stefnt að því að draga fram fínni drætti í gerð virkjunarstaðar. Ákvörðun um rannsóknaboranir er tekin á grundvelli þeirra niðurstaðna sem fást á þessu stigi yfirborðsrannsókna og fyrstu holur eru staðsettar.
3. Samhliða rannsóknaborunum kemur þriðja stig yfirborðsrannsókna sem hluti af rannsókn virkjunarstaðar. Getur það verið álíka umfangsmikið og forrannsókn virkjunarstaðar. Á þessu stigi rannsókna liggur þegar fyrir ákvörðun um að virkjunarstaður sé það vænlegur að rannsóknaboranir svari kostnaði. Þess vegna er einnig beitt yfirborðsrannsóknum, sem eru tiltölulega fjárfrekar. Tilgangur yfirborðsrannsókna á þessu stigi rannsókna beinist sérstaklega að því að byggja staðsetningu rannsókna- og reynsluhola á sem traustustum grunni og þekkingu á því jarðhitasvæði sem verið er að rannsaka.

Mjög mikil þróun hefur orðið á sviði yfirborðsrannsókna á undanförunum áratug. Skilningur manna á gerð og uppbyggingu megineldstöðva og tenging þeirra við háhitakerfi hefur tekið stakkaskiptum. Nýjar aðferðir í viðnámsmælingum hafa gefið góða raun í jarðhitaleit á lághitasvæðum, en hefur lítið verið beitt við rannsókn háhitasvæða fram til þessa. Mælitækni og úrvinnsluáðferðir allra jarðeðlisfræðilegra mælinga hefur einnig verið í örri þróun síðan farið var að beita stórum reiknivélum við túlkun gagna. Af þessum sökum eru ýmsar mælingar og athuganir, sem gerðar voru fyrir 10-20 árum orðnar úreltar og standast ekki þær kröfur um upplýsingagildi sem gert er nú til slíkra athugana.

#### Yfirborðsrannsóknir á Hengilssvæði

Á undanförunum áratug hefur Jarðhitadeild Orkustofnunar unnið að yfirlitskönnun á öllu Hengilssvæðinu. Meginuppistaðan í jarðfræðikortlagningu er þó mun eldri. Af Hengilssvæði hefur verið gert þyngdar- og flugsegulkort auk þess sem allmargar viðnámsmælingar hafa skilað viðnámskortum af Hengilssvæði. Þar sem hér er um yfirlitskönnun að ræða eru þessar athuganir ekki nógu ýtarlegar til þess að staðsetja borholur. Fyrir fáum árum voru gerðar forrannsóknir á hugsanlegu vinnslusvæði í Vestur-Hengli, og rannsóknahola staðsett þar á grundvelli þeirra athugana. Eiginlegar forrannsóknir virkjunarstaðar til staðsetningar rannsóknahola á Nesjavöllum eða öðrum hugsanlegum

virðjunarstöðum á Hengilssvæði hafa ekki verið gerðar með þeirri nákvæmni og því umfangi, sem nú er talið eðlilegt og fjárhagslega hagkvæmt.

Að sjálfsögðu nær yfirborðskönnun JHD á Hengli til Nesjavallasvæðisins, og kemur til með að nýtast við þær nákvæmu og þéttriðnu forrannsóknir sem nú eru nauðsynlegar til þess að kanna gerð efri hluta jarðhitasvæðisins og hjálpa til við staðsetningu borhola.

#### Yfirborðsrannsóknir á Nesjavöllum

Það er ákaflega mikilvægt að ýtarlegar yfirborðsrannsóknir verði gerðar á Nesjavöllum sem fyrst. Ástæður þess eru:

- a) Fóðraðar borholur og lagnir um svæðið takmarka verulega notagildi viðnáms og segulmælinga.
- b) Yfirborðsrannsóknir geta haft veruleg áhrif á staðsetningu einstakra borhola og þannig orðið til þess að minnka kostnað við rannsóknaboranir verulega.
- c) Nákvæmar yfirborðsmælingar og nákvæm jarðfræðikortlagning eru liðir í könnun á stærð og eiginleikum vinnslusvæðis á Nesjavöllum.

Það skiptir miklu máli í þessu sambandi að allir þættir yfirborðsrannsóknna (jarðfræði, eðlisfræði, efnafræði) og borholurannsóknna verði tvinnnaðir sem best saman í túlkun gagna og við gerð frumlíkans af jarðhitasvæðinu.

Jarðhitadeild leggur til að verkefnum á sviði yfirborðsrannsóknna verði skipt í tvö verkefni en þau eru:

#### Verkefni 1.

Taka saman í skýrslu öll tiltæk gögn úr yfirlitskönnun Hengilssvæðisins og ná út úr þeim gögnum eins miklum upplýsingum og unnt er um jarðhitakerfið á Nesjavöllum. Á grundvelli þessarar samantektar yrðu síðan gerðar tillögur um frekari mælingar og kortlagningu, sem ætlað er að segja til um víðáttu og innri gerð jarðhitakerfisins. Gerð væri tíma- og kostnaðaráætlun um viðbót í kortlagningu, mælingum, úrvinnslu og túlkun. Þessi skýrsla ætti að vera tilbúin fyrri hluta árs 1985 þannig að hún nýtist við gerð verkáætlunar fyrir sumarið 1985.

#### Verkefni 2.

Framkvæmd þeirra rannsóknarpátta sem skilgreindir verða út frá samantekt í verkefni 1 og sem samkomulag verður um milli Hitaveitu Reykjavíkur og Orkustofnunar. Teikning korta og sniða, túlkun jarðeðlisfræðilegra mælinga með hliðsjón af jarðfræði og niður-



stöðum borholurannsókna. Samtúlkun á öllum niðurstöðum.

Gert er ráð fyrir að JHD geti unnið Verkefni 1 á tímabilinu desember 1984 - mars 1985, og að fullfrágengin skýrsla um samantekt og tillögur liggi fyrir í apríl 1984.

Hér á eftir fer lausleg áætlun um Verkefni 1. Í henni er gert ráð fyrir samtúlkun gagna frá jarðfræði og jarðeðlisfræði, en samtúlkun er mun vænlegri til árangurs en óháð túlkun einstakra rannsóknaraðferða.

#### Áætlun um verkefni 1

1. Samantekt viðnámsmælinga, endurtúlkun eldri mælinga að hluta. Um 4 vinnuvikur sérfræðings.
2. Gerð þyngdarkorts af Nesjavöllum bæði til könnunar á jarðgerð og til eftirlits á jarðhitakerfinu í vinnslu. 5v.
3. Lausleg úrvinnsla flugsegulkorts af Hengli með tilliti til Nesjavalla. 2v.
4. Samantekt jarðifræðikorts í mælikvarða 1:25.000. 1v.
5. Gerð korts af jarðhita og höggun, 1:25.000. 1v.
6. Samantekt og skýrslugerð um fyrirliggjandi gögn úr liðum 1-5 og önnur tiltæk gögn eins og niðurstöður skjálftamælinga o.fl. 4v.
7. Vettvangskönnun og gerð tillagna um nákvæma forrannsókn á Nesjavöllum (verkefni 2). 2v.

Alls eru þetta 20 sérfræðingsvikur. Miðað við gjaldskrá Orkustofnunar gæti kosnaður orðið um 400 þús. kr. (50 t/v \* 400 kr/t \* 20 v). Tölvukostnaður, teiknun og vélritun bætist við sérfræðingsvinnuna. Verði unnt að hefja verkið í desember 1984 gætu frumniðurstöður legið fyrir í mars en lokaskýrsla og áætlun umforrannsókn í apríl 1985.

Samhliða þessu verki hyggst Jarðhitadeild vinna að skýrslu um yfirlitsrannsóknir sínar á Hengilssvæðinu öllu. Munu niðurstöður hennar nýtast við gerð skýrslu um Nesjavelli.



VIÐAUKI 2

Samningur Hitaveitu Reykjavíkur og Orkustofnunar

Samningur milli Hitaveitu Reykjavíkur og Jarðhitadeildar Orkustofnunar um samantekt gagna frá yfirborðsrannsóknum á Nesjavöllum.

Hitaveita Reykjavíkur (HR) og Jarðhitadeild Orkustofnunar (JHD) gera með sér svofelldan samning.

#### 1. grein

JHD tekur að sér að taka saman gögn frá yfirborðsrannsóknum á Nesjavöllum og gera áætlun um viðbótarrannsóknir svo sem nánar er kveðið á um í Fylgiskjali 1.

#### 2. grein

Fylgiskjöl með samningi þessum og hluti hans eru:

- a) "Yfirborðsrannsóknir á Nesjavöllum". Greinargerð frá JHD merkt AB-KS-VS/84-04 dagsett 1984-11-06.
- b) Gjaldskrá JHD.

#### 3. grein

Umsjónarmaður HR er Árni Gunnarsson. Staðgengill hans og varamaður er Einar Gunnlaugsson.

#### 4. grein

Umsjónarmaður JHD er Axel Björnsson. Staðgengill hans og varamaður er Kristján Sæmundsson.

#### 5. grein

Fyrir ofangreind störf skal JHD fá greitt gegn framvísun mánaðarlegs reiknings. Reikningur skal greiddur, að svo miklu leyti sem hann er samþykktur innan 20 daga frá því að hann er lagður fram. Greiðslur skulu miðaðar við gjaldskrá JHD eins og hún er hverju sinni.

6. grein

Niðurstöðum skal JHD skila sem hér segir:

- Í janúar 1985: Jarðfræðikort og kort af jarðhita og höggun.
- Í febrúar 1985: Samantekt viðnámsmælinga og endurtúlkun þeirra að hluta.
- Í mars 1985: Handrit að lokaskýrslu.
- Í apríl 1985: Fullfrágengin lokaskýrsla.

7. grein

Rísi mál út af samningi þessum skulu þau rekin fyrir Bæjarþingi Reykjavíkur og þarf ekki að leita sáttameðferðar fyrir sáttanefnd.

8. grein

Af samningi þessum eru gerð tvö samhljóða frumrit sitt handa hvorum aðila.

Reykjavík, 20. mrs. '84

f.h. Hitaveitu Reykjavíkur

f.h. Jarðhitadeildar

Þóroddur Höfn

Andri Pálmarsson

Vitundavottar:

Stefan Höfn 8302-9193

Andri Pálmarsson 0516-8600



VIÐAUKI 3

Staðsetning viðnámsmælinga

Staðsetning viðnámsmælinga á Nesjavallasvæðinu sumrin 1970 - 1984

Hnit amerísku AMS-kortanna 1:50.000

Heiti mælingar	Ár	Breidd	Lengd	Stefna straumarma	Hæð yfir sjávarmáli	Staðarlýsing
HE-5	70	09.75	87.85	N95°A	165	Nesjavellir
HE-6	70	10.75	88.45	N140°A	155	Nesjahraun
HE-7	70	08.80	87.65	N90°A	185	Hraunprýði
HE-8	70	12.20	91.70	N45°A	110	Hagavík
HE-9	70	11.70	90.20	N85°A	130	Hagavíkurhraun
HE-10	70	12.90	88.80	N70°A	125	Nesjahraun
HE-11	70	11.30	88.45	N95°A	145	Selklettur
HE-12	70	10.20	88.35	N110°A	155	Nesjavellir
HE-29	72	05.90	89.10	N55°A	235	Þverárdalur
HE-49	74	10.15	85.30	N25°A	335	Dyradalur
HE-53	74	09.40	83.60	N38°A	330	Mosfellsheiði
HE-59	75	05.50	91.50	N47°A	340	Katlatjarnir
HE-62	77	09.05	87.50	N8°A	180	Nesjavellir
HE-63	77	08.10	88.05	N14°A	240	Hvanngil
HE-64	77	10.15	89.85	N26°A	150	Hagavíkurvellir
HE-67	77	08.65	87.20	N8°A	190	Hraunprýði
HE-81	83	09.20	83.75	N41°A	325	Þjófahlaup
HE-86	83	05.50	91.50	N160°A	340	Katlatjarnir
HE-87	83	06.20	89.45	N48°A	240	Þverárdalur
HE-88	83	08.00	86.65	N165°A	295	Við holu NG-6
HE-89	84	05.50	88.10	N2°A	240	Þverárdalur
HE-90	84	07.10	88.15	N2°A	230	Hvanngil
HE-91	84	08.95	86.50	N25°A	335	Kýrdalur
THE-9	75	10.50	88.70	N20°A		Nesjavellir
THE-10	75	10.55	88.55	N25°A		Nesjavellir
THE-11	75	08.55	87.05	N30°A		Hraunprýði
THE-12	75	08.20	87.05	N5°A		Hraunprýði
B-7	76	08.95	87.55			Hraunprýði



#### VIÐAUKI 4

### Einvið túlkun viðnámsmælinga

#### Schlumbergermælingar.

Teiknaði ferillinn er sá reiknaði sýndarviðnámsferill sem fæst, ef jörðin er lárétt lagskipt (einvið) og lagskiptingin er eins og túlkunin, sem er neðst á hverri mynd. Við eldri mælingarnar 12 (HE-5 til HE-59) eru sýndar tvær túlkanir. Sú neðri er gömul handtúlkun en sú efri er ný tölvutúlkun sömu gagna, og er stuðst við hana. Þessar 12 mælingar ásamt mælingum HE-62 til HE-67 eru túlkaðar með forritinu CIRCLE2 en mælingar HE-81 til HE-91 með forritinu ELLIPSE.

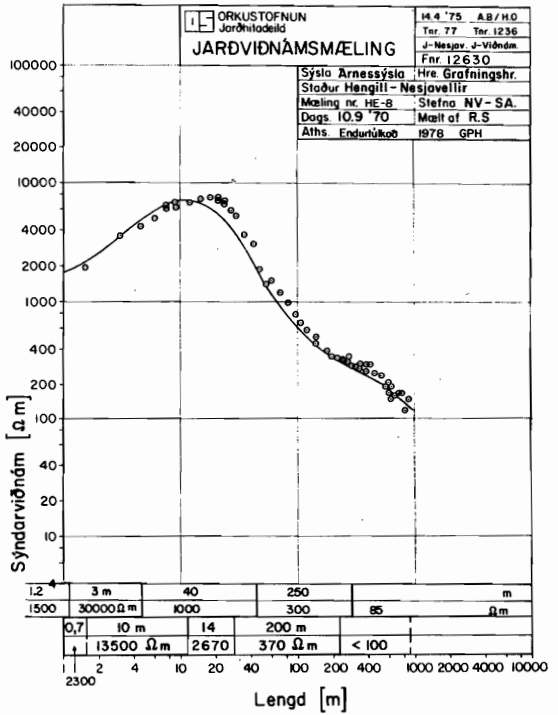
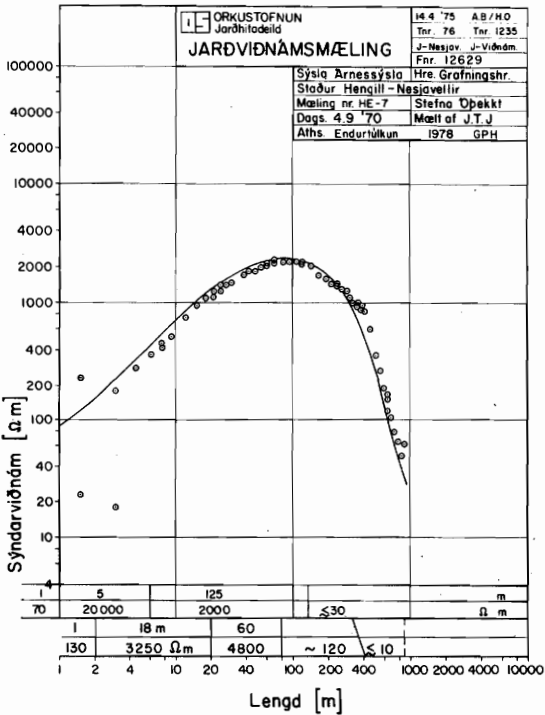
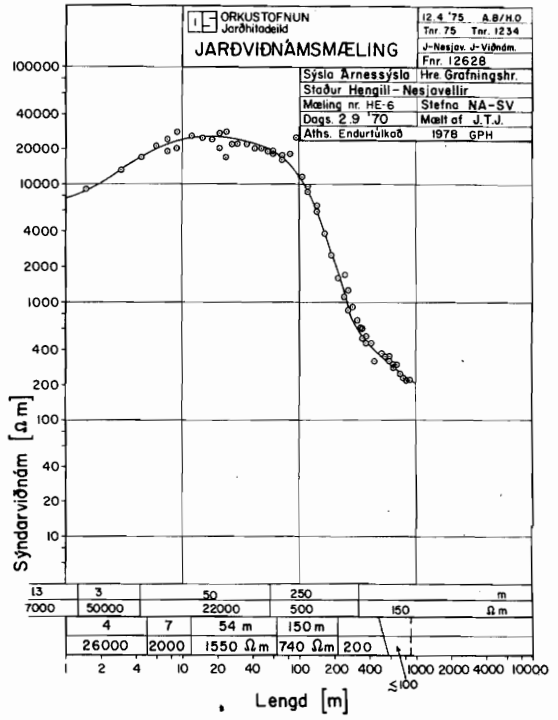
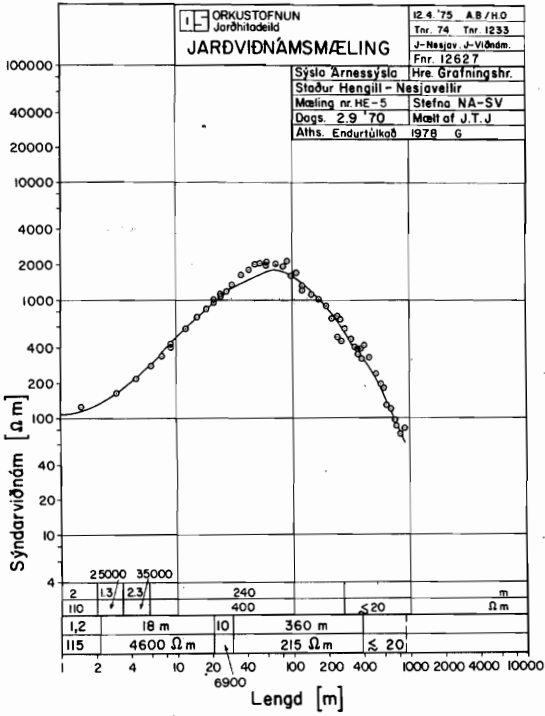
#### Tvípólmælingar.

Mæliferlar tvípólmælinga eru sýndir sem framhald þeirra Schlumbergermælinga sem næstar eru viðkomandi mælingu.

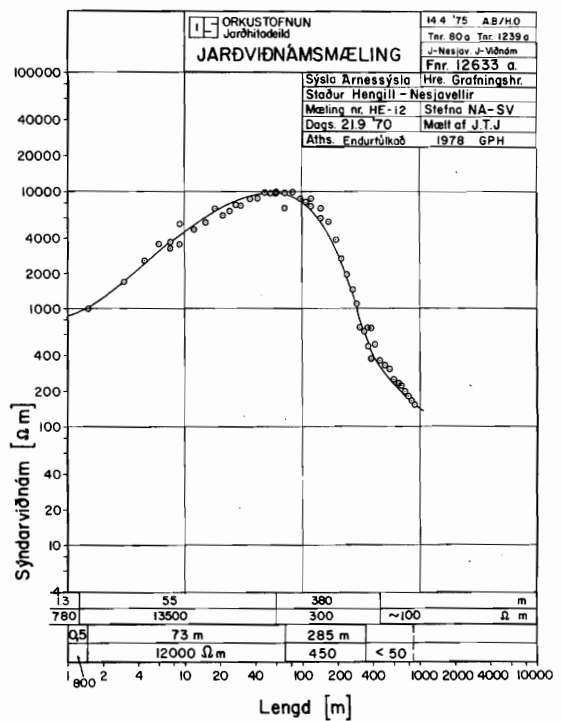
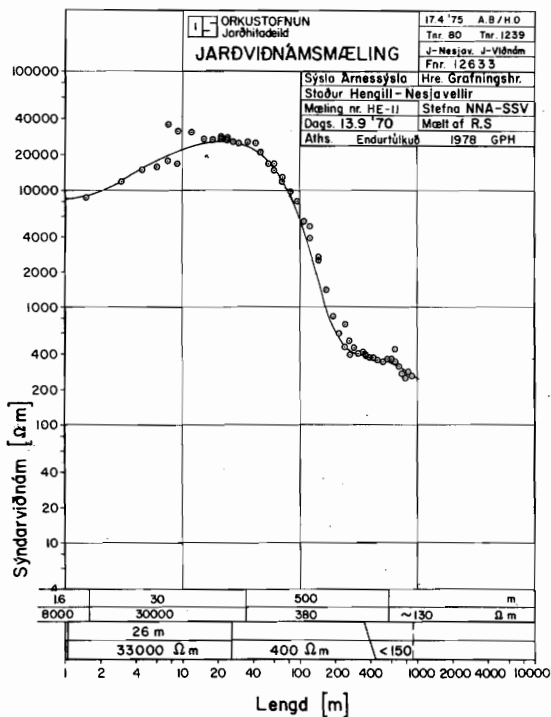
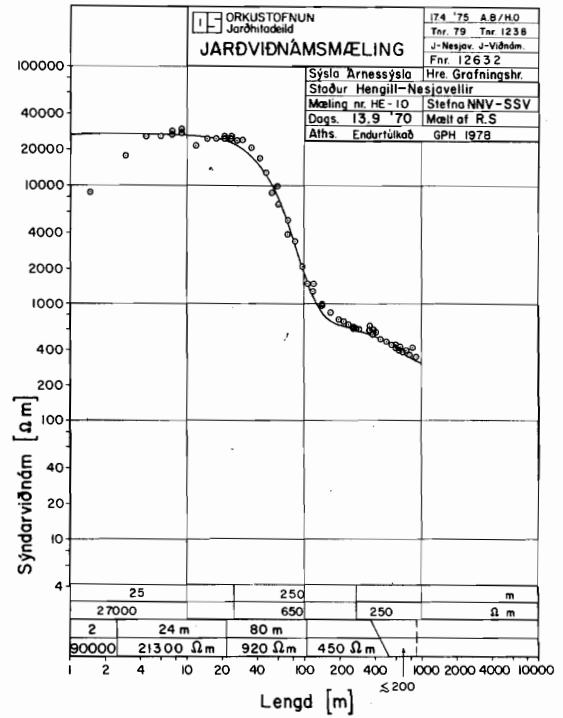
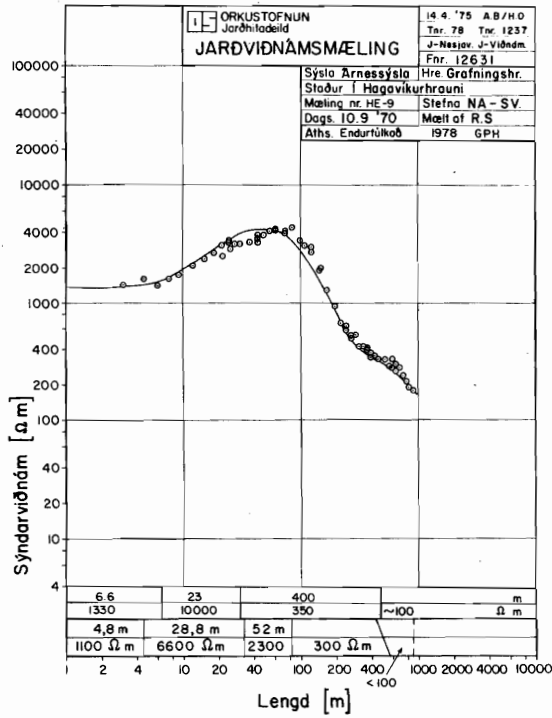
#### MT-mæling

Í skýrslunni er notast við túlkunina til vinstri (RHOXY, E-pólun), en hún er ekki jafnháð viðnámsóreglum á yfirborði og túlkunin til hægri (RHOYX, H-pólun).

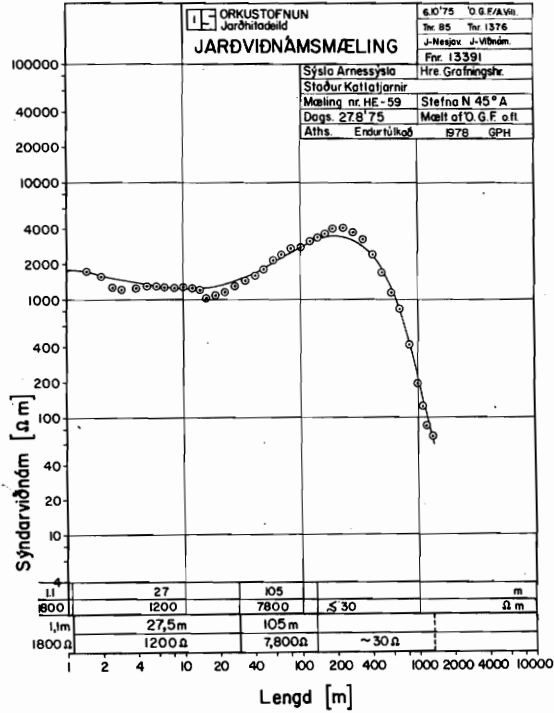
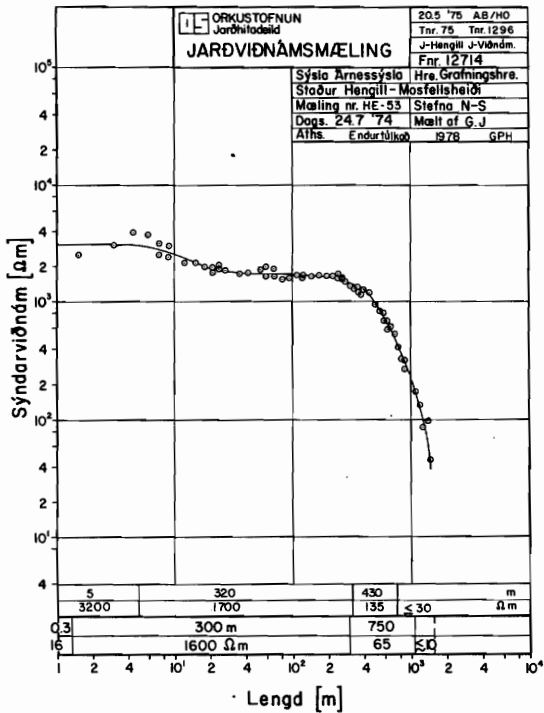
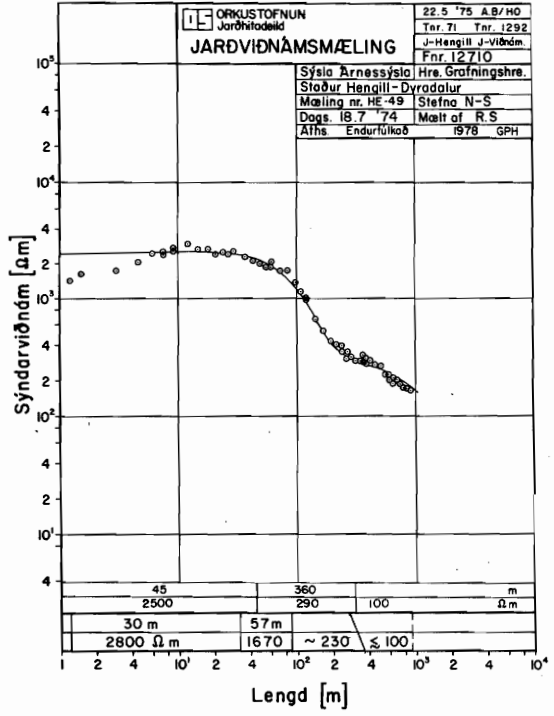
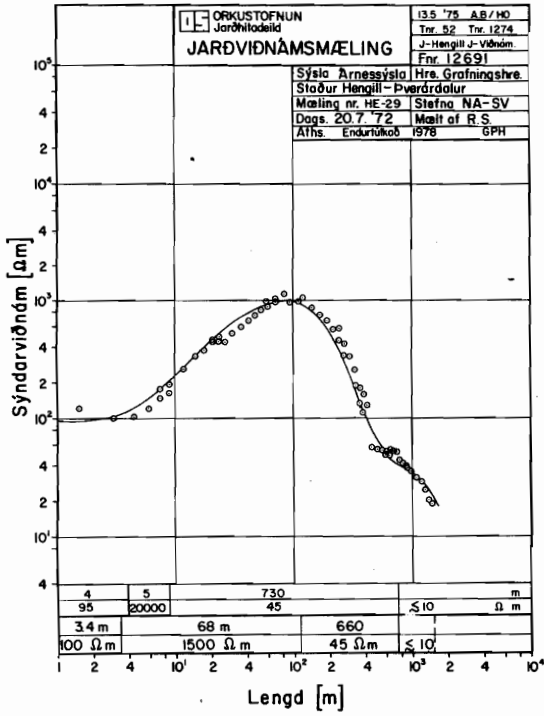
Einvið túlkun Schlumbergermælinga



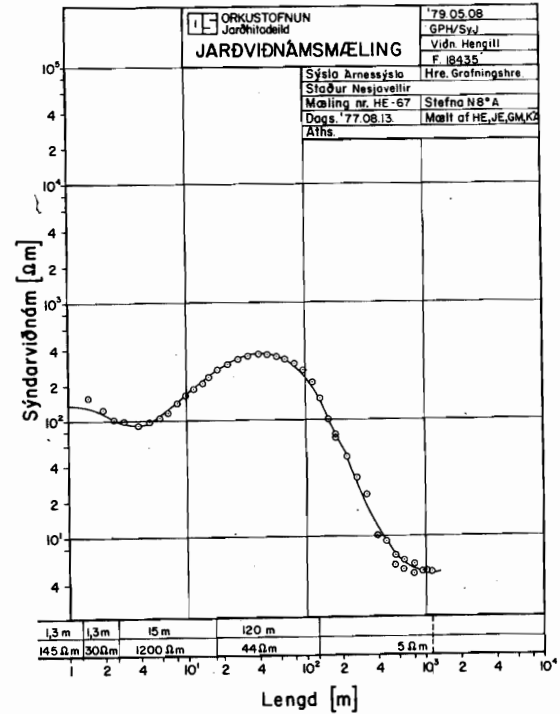
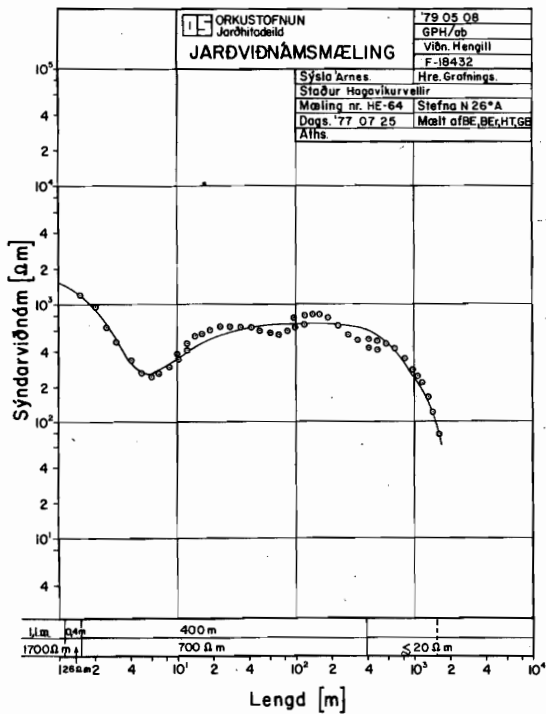
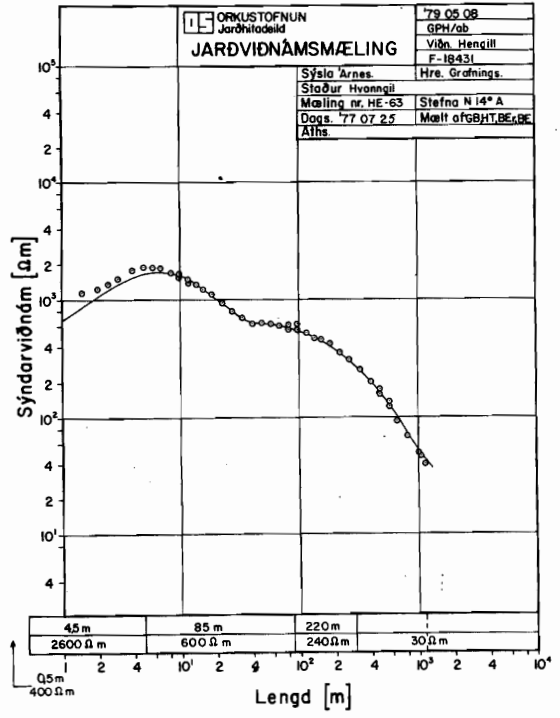
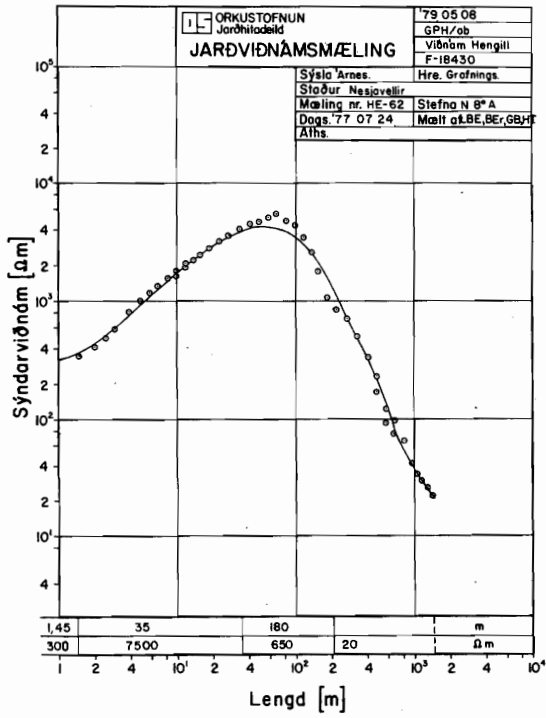
Einvið túlkun Schlumbergermælinga



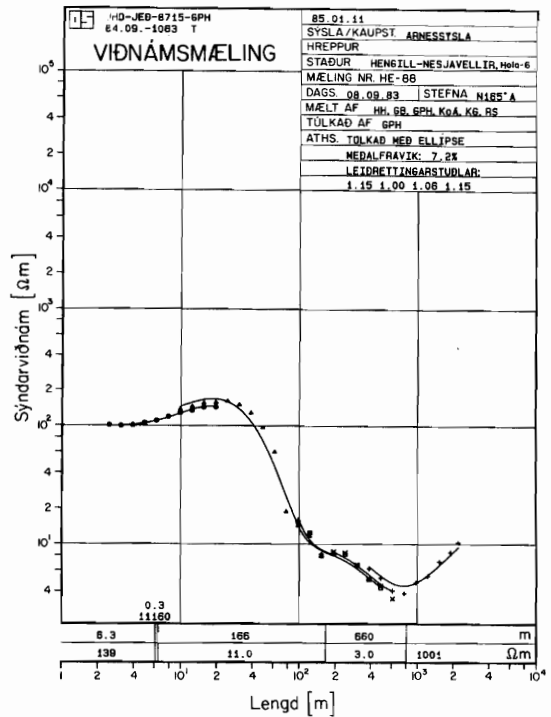
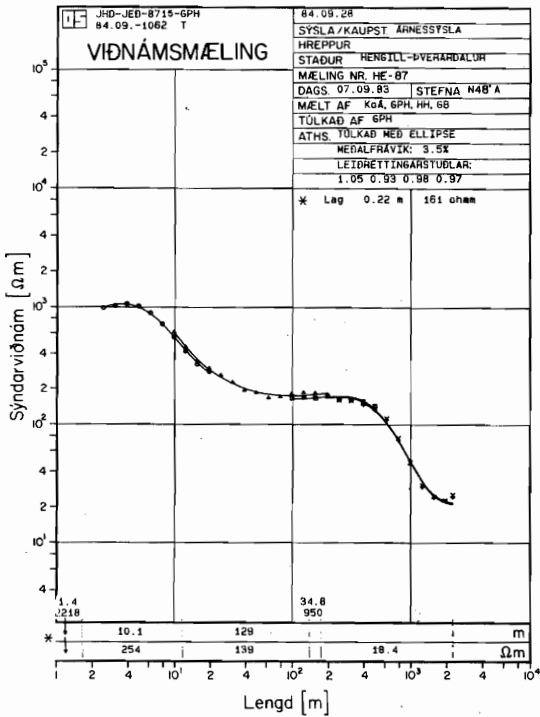
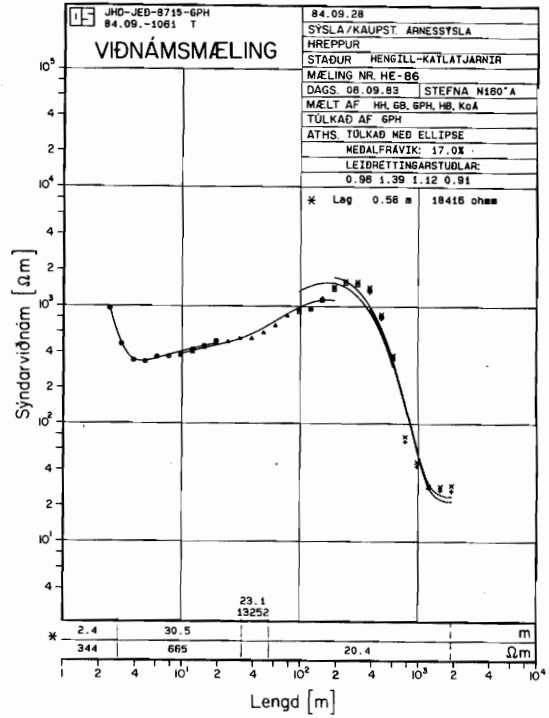
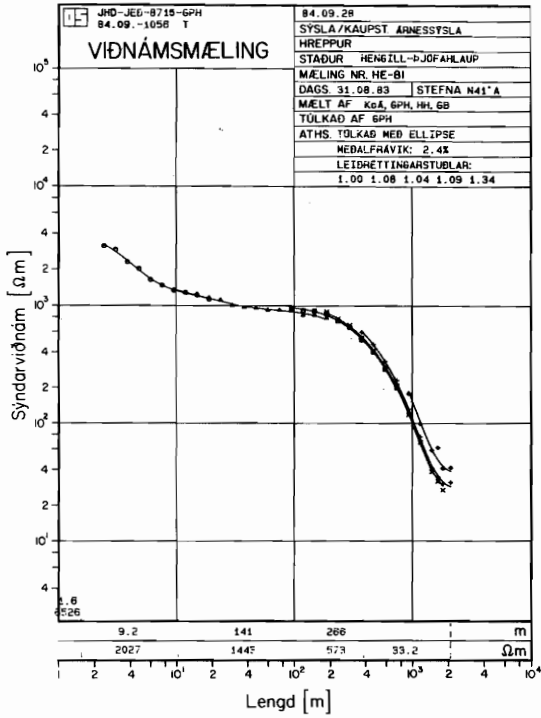
Einvið túlkun Schlumbergermælinga



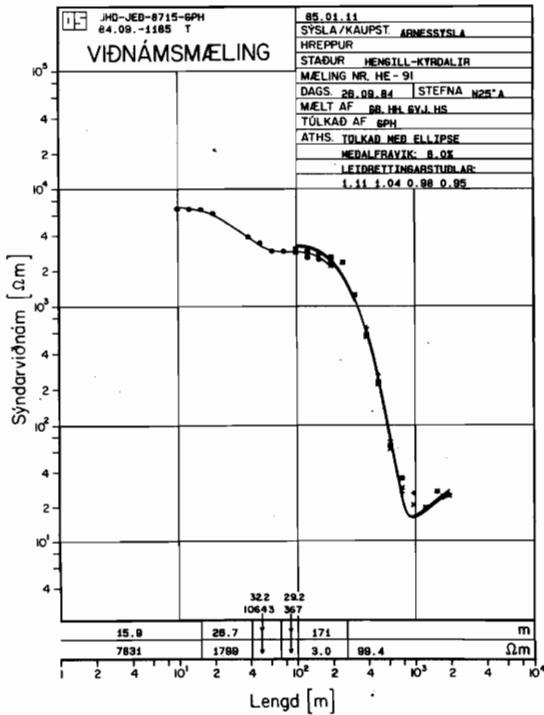
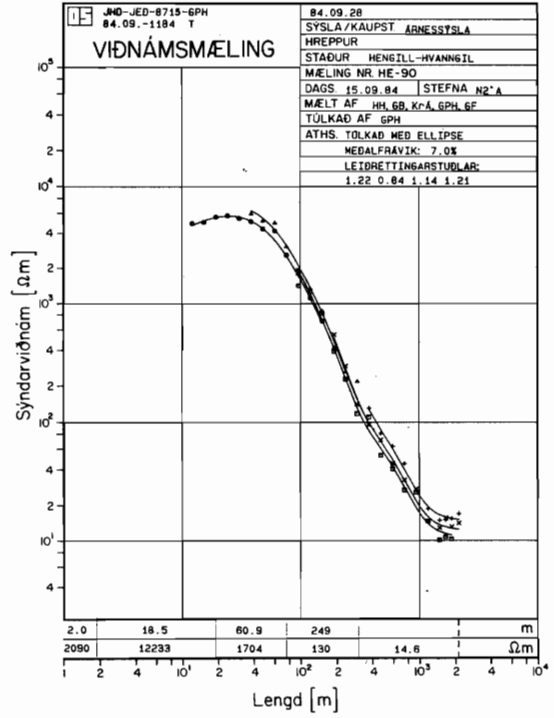
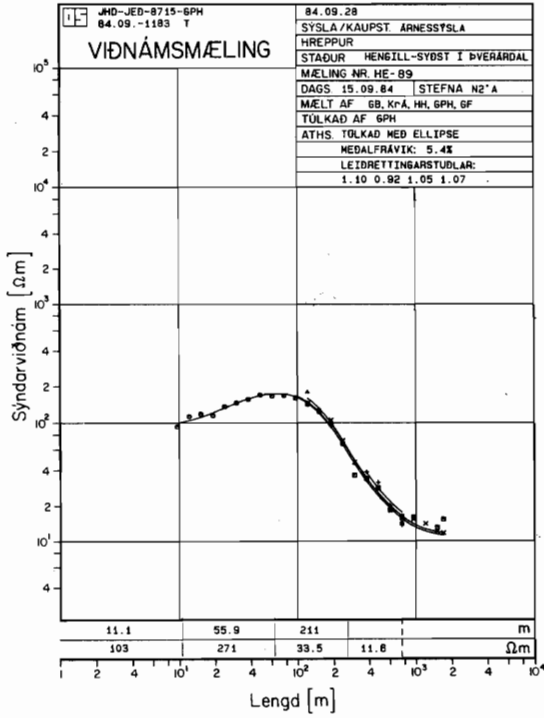
Einvið túlkun Schlumbergermælinga



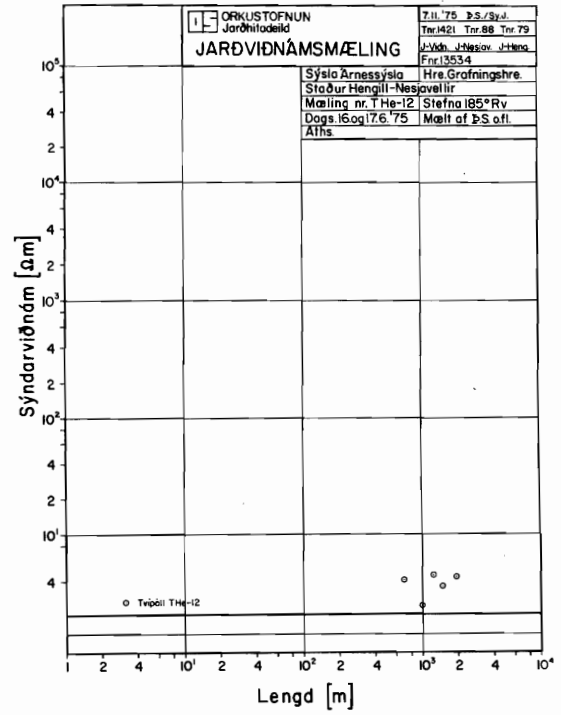
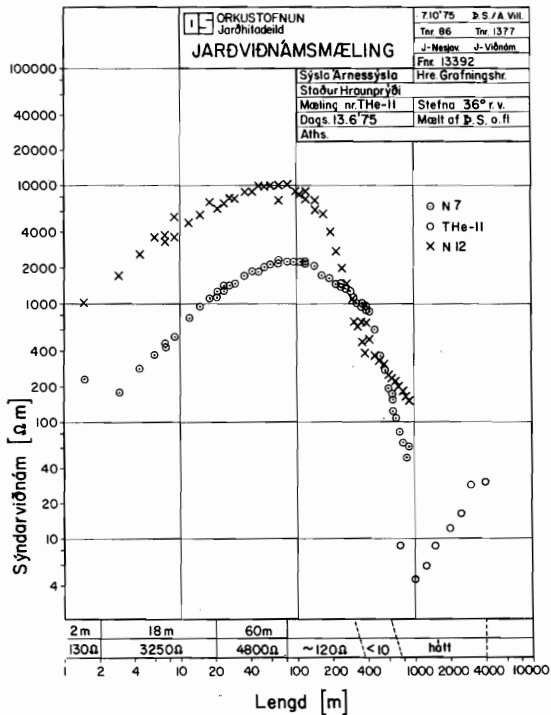
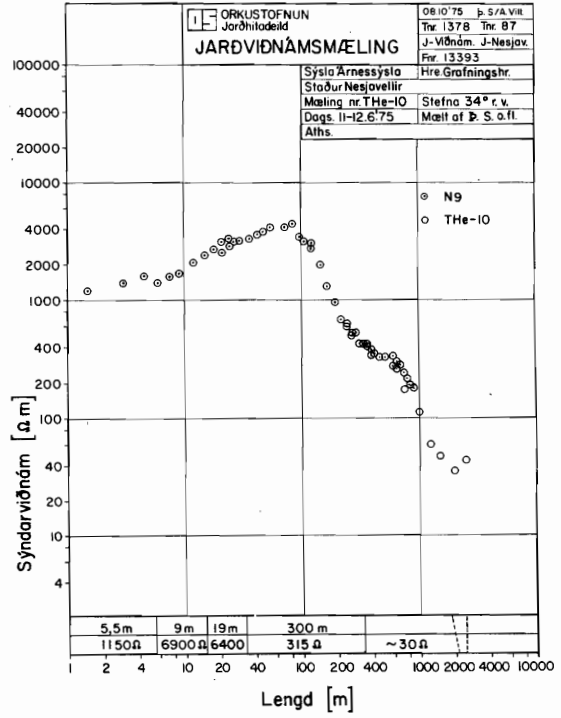
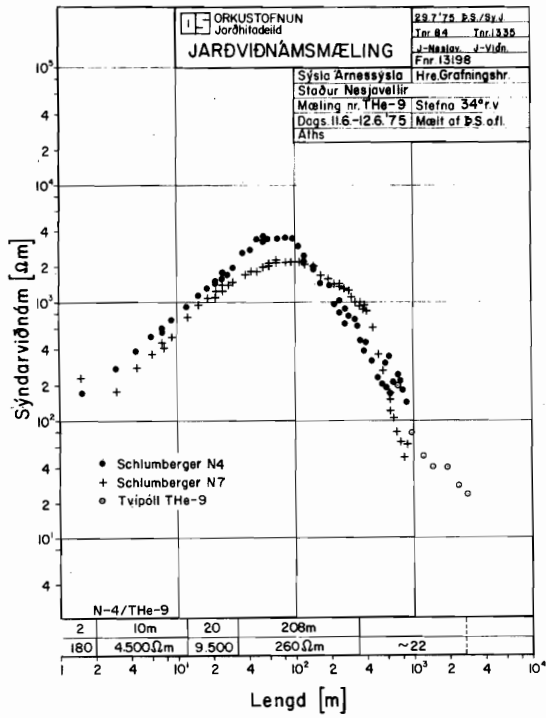
Einvið túlkun Schlumbergermælinga



Einvið túlkun Schlumbergermælinga



Mæliferlar tvíþólmælinga



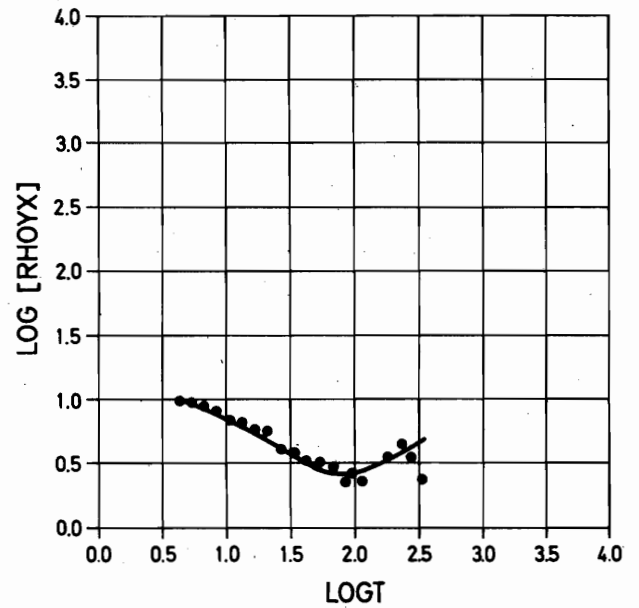
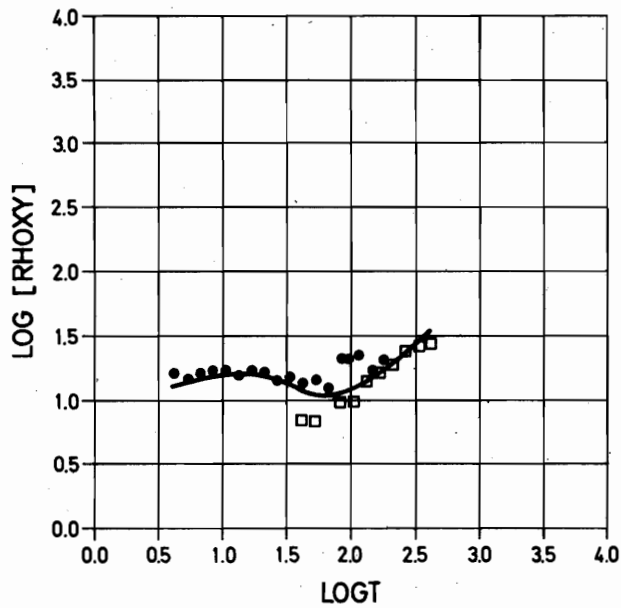


## MT-MÆLING B-7 Á NESJAVÖLLUM

Sýndarviðnám sem fall af sveiflutíma

X-ás er 50° austan við segulnorður

□ 40-3600 sek    • 2-500 sek



$$\rho_1 = 15 \text{ ohmm} \quad d_1 = 5200 \text{ m}$$

$$\rho_2 = 50 \text{ ohmm} \quad d_2 = 2300 \text{ m}$$

$$\rho_3 = 3,5 \text{ ohmm} \quad d_3 = 3000 \text{ m}$$

$$\rho_4 = 600 \text{ ohmm}$$

$$\rho_1 = 9,5 \text{ ohmm} \quad d_1 = 2800 \text{ m}$$

$$\rho_2 = 1,5 \text{ ohmm} \quad d_2 = 4000 \text{ m}$$

$$\rho_3 = 350 \text{ ohmm}$$



VIÐAUKI 5

Úrvinnsla viðnámsmælinga í borholum

Einn þáttur þeirra mælinga sem að jafnaði eru framkvæmdar í borholum er viðnámsmæling, þ.e. mæling á viðnámi berglaga í næsta nágrenni holunnar. Mæliaðferðinni hefur verið lýst stuttlega af Valgarði Stefánssyni o.fl. (1983). Að öllum jafnaði er viðnám mælt með tveimur skautabilum, 16" (40,6 cm) og 64" (162,5 cm), og skynjar mælingin viðnámsbreytingar álíka langt út frá holunni og skautabilið segir til um. Er því 64" viðnámsmælingin yfirleitt mun ábyggilegri en 16" mælingin þar sem hún sér lengra út í grannberg holunnar, auk þess sem hætta er á að bergið allra næst holunni raskist við borun. Ennfremur er 64" viðnámið (hér eftir kallað R64") ekki eins næmt fyrir vídd holunnar og viðnámi borholuvökvans og 16" viðnámið (hér eftir kallað R16").

Yfirleitt er viðnámið mælt á 40 cm fresti niður eftir allri holunni. Ýmislegt getur þó orðið til þess að ekki tekst að viðnámsmæla alla holuna með báðum skautabilum og stundum er viðnámsmæling ekki möguleg. Oft gengur illa að fá nógu gott jarðsamband fyrir spennuskaut á yfirborði, en 64" viðnám er mjög næmt fyrir því og hefur það verið vandamál á Nesjavöllum. Ennfremur getur hár hiti komið í veg fyrir viðnámsmælingu því að hætta er á skemmdum í mælitækjum ef hiti fer yfir 150°C.

Þegar nota á viðnámsmælingar í borholum til þess að meta viðnám þeirra jarðlaga sem holan sker verður að taka tillit til þess að viðnámið er mælt við mjög óeðlilegar aðstæður. Í fyrsta lagi er viðnámið mælt inni í borholunni en vídd hennar og viðnám holuvökvans geta haft verulega áhrif á mæld gildi. Í öðru lagi er bergið umhverfis holuna kælt mikið niður, oft um meira en 200°C, en viðnám vatnsmettaðs bergs er mjög háð hitastigi. Í þriðja lagi veldur ádæling í og eftir borun því að vökvinn í berginu næst holunni er annar en í ótrufluðum jarðlögum. Í fjórða lagi hefur borun oft í för með sér verulega röskun á berginu næst holunni og þá trúlega einnig á viðnámi þess.

Hægt er að leiðrétta, að minnsta kosti að hluta til, fyrir fyrstu tveimur þáttunum, sem nefndir voru hér að framan. Mun erfiðara er að leiðrétta fyrir seinni þáttunum tveimur og verður það ekki gert hér.

Þegar vídd borholu og viðnám vökvans í henni er þekkt má umreikna mælt R16" og R64" yfir í bergviðnám (víddarleiðrétta). Vídd holunnar er undantekningarlítið mælt með 40 cm millibili eftir allri holunni. Hins vegar er viðnám borholuvökvans (hér eftir kallað Rm) yfirleitt ekki mælt. Fræðilega séð á það ekki að koma að sök ef bæði R16" og R64" og vídd holunnar D, eru þekkt. Þá má nota þessi þrjú gildi til þess að ákvarða bergviðnámið  $\rho$ , og viðnám holuvökvans Rm. Oft er það reyndar svo að gögnin eru ekki samkvæm sjálfum sér, þ.e. fyrir mælt R16", R64" og D finnst engin lausn. Þá verður að áætla Rm og nota það til að víddarleiðrétta R16" eða R64". Venjulega er R64" valið til

víddarleiðréttingar því að R16" er næmara fyrir truflunum í holunni. Til er forrit sem framkvæmir þessa reikninga. Þegar áætla þarf Rm notar forritið næsta lausnargildi á undan í holunni (ofar).

Ef einungis önnur viðnámsmælingin, R16" eða R64", er til, er ekki hægt að beita þeirri aðferð sem er lýst hér að framan. Þá verður að reyna að áætla Rm. Það er mjög ónákvæmt því að viðnám holuvökvens er eflaust háð dýpi. Einn þáttinn í breytingu á Rm má þó áætla, breytingar vegna mismunandi hita. Borholur eru ætíð hitamældar skömmu fyrir viðnámsmælingu. Einnig er reynt að fá upplýsingar um viðnám þess vökva sem rennur úr holunni. Síðan er Rm umreiknað að ríkjandi hitastigi samkvæmt jöfnu Dakhnov (1962):

$$R_m(T) = \frac{R_m(23^\circ\text{C})}{1 + 0,023(T - 23^\circ\text{C})} \quad (1)$$

Viðnámið er síðan víddarleiðrétt út frá þekktu D og áætluðu Rm(T). Gert hefur verið forrit sem framkvæmir þessa reikninga. Þegar búið er að víddarleiðrétta viðnámsmælinguna og finna bergviðnámið Rho miðað við holuhitann þegar viðnámsmælingin er framkvæmd, er það umreiknað að föstu hitastigi (30 °C) þ.e.a.s. sú viðnámsdreifingin er fundin sem svarar til þess að hitastig sé fast niður eftir holunni. Að lokum er viðnámið svo umreiknað að áætluðum berghita í ótrufluðum jarðlögum. Jafnvæghitann í jarðlögum er hægt að áætla út frá upphitun holunnar að lokinni borun.

Ekki er vitað með vissu hvert samband hita og viðnáms er í vatnsmettuðu bergi á háhitasvæðum á Íslandi. Drury og Hyndman (1979) mældu samband viðnáms og hita fyrir allmörg basaltsýni af sjávarbotni. Samkvæmt niðurstöðum þeirra má ætla að við 300 bara þrýsting og fyrir  $30^\circ\text{C} < T < 270^\circ\text{C}$  gildi:

$$\log(\text{Rho}) = Ax^2 + Bx + C, \quad x = 10^3 / (T + 273^\circ\text{C}) \quad (2)$$

$$A = 0,475, \quad B = -1,683, \quad C = 0,579$$

Ólafur Flóvenz o.fl. (1985) hafa mælt samband hita og viðnáms í nokkrum basaltsýnum úr borkjarna frá Laugum í Súgandafirði og ber þeim niðurstöðum nokkuð vel saman við jöfnu (2). Þess vegna má ætla að jafna (2) sé ekki fjarri því að lýsa sambandi viðnáms og hita í vatnsmettuðu bergi í jarðhitakerfum á Íslandi og hefur hún verið notuð til að umreikna víddarleiðrétt bergviðnám,  $Rho$ , að föstu hitastigi og áætluðum berghita. Gerð hafa verið forrit sem framkvæma þá reikninga.

Til einföldunar er gert ráð fyrir því í túlkun viðnámsmælinga á yfirborði að viðnám breytist ekki samfellt með dýpi (eða í stefnu mælinínu í tvívíðri túlkun) heldur megi skipta jörðinni í lárétt viðnámslög (blokkir í tvívíðri túlkun) með ákveðna þykkt og viðnám. Þessi nálgun er í flestum tilfellum all vel réttlæt看leg því að berggrunnurinn undir Íslandi er í megindráttum byggður úr láréttum jarðlögum. Hins vegar eru viðnámslögin sem fást úr einvíðri túlkun viðnámsmælinga yfirleitt þykk (af stærðargráðunni 10-100 m) og eru því oftast samsett úr mörgum þunnum jarðlögum (af stærðargráðunni 1 m). Í viðnámsmælingum á yfirborði er að jafnaði langt á milli straumskauta og straumdreifingin er því að mestu í lárétta stefnu samsíða jarðlögum undir mælimiðju. Lárétt jarðlög í viðnámslagi má því líta á sem samsíðatengd viðnám. Í túlkun yfirborðsmælinga er því verið að skipta jarðlagastaflanum upp í dýptarbil (viðnámslög) þar sem leiðni jarðlaga er svipuð og viðnám viðnámslagsins er jafnt og einn á móti meðalleiðni jarðlaganna ( $\bar{\rho}=1/\bar{\sigma}$ ). Þegar talað er um lög með þykktina  $d$  og viðnám  $Rho$  er átt við, að jarðlagastafli með þykkt  $d$  hafi meðalleiðnina  $\bar{\sigma}$  og  $\bar{\rho} = 1/\bar{\sigma}$ .

Þegar viðnámsmælingar í borholum eru bornar saman við viðnámsmælingar á yfirborði er því eðlilegra að líta á leiðnina  $\sigma = 1/\rho$ , skipta holunni í dýptarbil með svipaða leiðni og reikna út meðalleiðni,  $\bar{\sigma}$ . Síðan má bera  $\bar{\rho} = 1/\bar{\sigma}$  saman við túlkun yfirborðsmælinga.

Á Nesjavallasvæðinu eru til viðnámsmælingar úr holum NG-6, NG-7, NG-9 og NG-10. Hér á eftir verður gerð stutt grein fyrir úrvinnslu þeirra. Viðnámsferlar þessara hola eru sýndir víddarleiðréttir og umreiknaðir að áætluðum berghita. Ennfremur er sýnt hvernig holunum er skipt í dýptarbil og reiknað meðalviðnám á hverju bili.

NG-6

Í holu NG-6 er til 16" viðnámsmæling á dýptarbilinu 670-1100 m. Mæling á 64" viðnámi tókst ekki vegna slæms jarðsambands spennuskauts á yfirborði. Ekki var mælt viðnám í efri hlutum holunnar vegna þess hve ört hún hitnaði. Þar sem einungis er til 16" viðnám varð að nota áætlað viðnám holuvökva,  $R_m$ , við víddarleiðréttingu. Notað var gildið  $R_m$  ( $23^\circ\text{C}$ ) = 15,5 ohmm (Einar Gunnlaugsson pers. uppl.), sem er reiknað út frá efnainnihaldi borholuvökvans. Því dýptarbili sem mælingin spannar var skipt í þrjá hluta. Reiknað "meðalviðnám"  $\bar{\rho} = 1/\bar{\sigma}$ , á hverjum hluta er:

640 - 837 m	$\bar{\rho} = 2,2 \Omega \text{ m}$
837 - 982 m	$\bar{\rho} = 1,8 \Omega \text{ m}$
982 - 1100 m	$\bar{\rho} = 2,5 \Omega \text{ m}$

NG-7

Í holu NG-7 er til viðnámsmæling á dýptarbilinu 70-1993 m. Vegna lélegs sambands spennuskauts á yfirborði er einungis 16" viðnámsmælingin nothæf. Víddarmæling er aðeins til á dýptarbilinu 175-1685 m svo víddarleiðrét viðnám spannar aðeins það bil. Við víddarleiðréttingu varð að áætla viðnám holuvökva og var það áætlað  $R_m$  ( $23^\circ\text{C}$ ) = 11,7 ohmm (Einar Gunnlaugsson pers. uppl.). Dýptarbilinu, sem mælingin spannar, var skipt í fimm hluta. Reiknað "meðalviðnám",  $\bar{\rho} = 1/\bar{\sigma}$ , á hverju dýptarbili er:

187 - 343 m	$\bar{\rho} = 10,6 \Omega \text{ m}$
343 - 452 m	$\bar{\rho} = 2,3 \Omega \text{ m}$
452 - 925 m	$\bar{\rho} = 0,5 \Omega \text{ m}$
925 - 1218 m	$\bar{\rho} = 2,3 \Omega \text{ m}$
1218 - 1685 m	$\bar{\rho} = 6,1 \Omega \text{ m}$

NG-9

Hola NG-9 er fóðruð í 824 m. Vinnsluhluti hennar er á bilinu 824 - 1055 m. Í tveimur fyrri boráföngum hitnaði hún svo ört að ekki var talið þorandi að gera mælingar af ótta við að missa stjórn á henni. Því er einungis til viðnámsmæling úr vinnsluhluta holunnar á bilinu 843 - 1027 m og einungis 16" viðnám. Við víddarleiðréttingu varð því að áætla viðnám vökvans í holunni og var það áætlað það sama og í NG-6 eða  $R_m$  ( $23^\circ\text{C}$ ) = 15,5 ohmm. Dýptarbilinu sem mælingin spannar var skipt í þrjú bil og reiknað "meðalviðnám" í hverju þeirra:

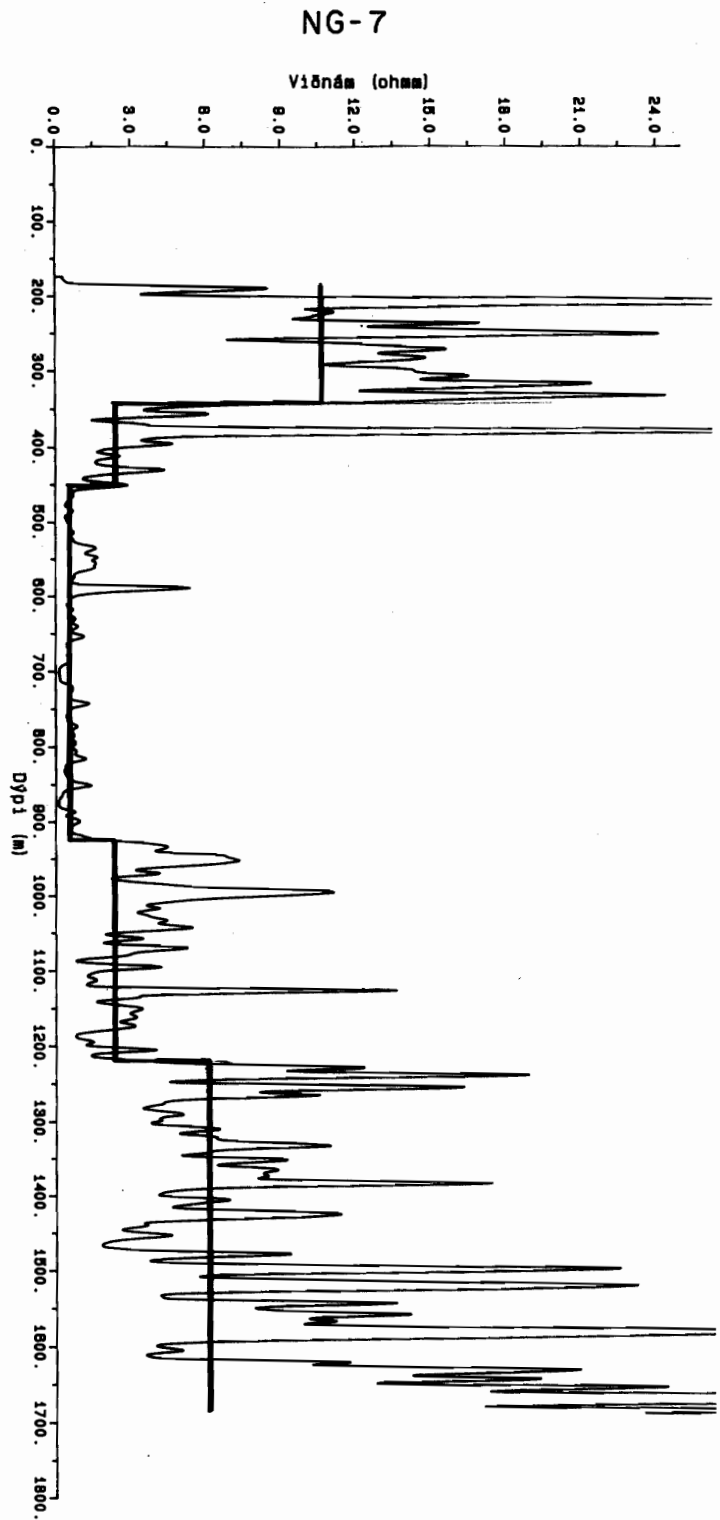
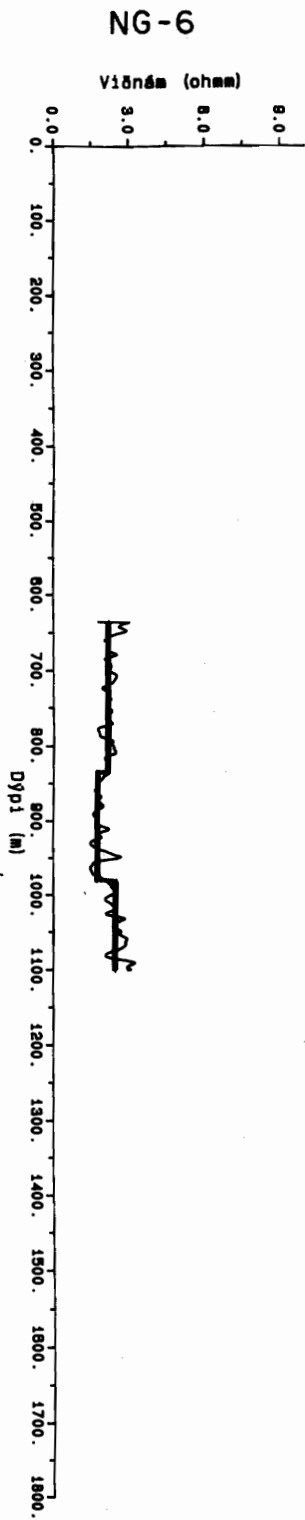
843 - 867 m	$\bar{\rho} = 0,8 \Omega \text{ m}$
867 - 964 m	$\bar{\rho} = 3,8 \Omega \text{ m}$
964 - 1027 m	$\bar{\rho} = 8,6 \Omega \text{ m}$

NG-10

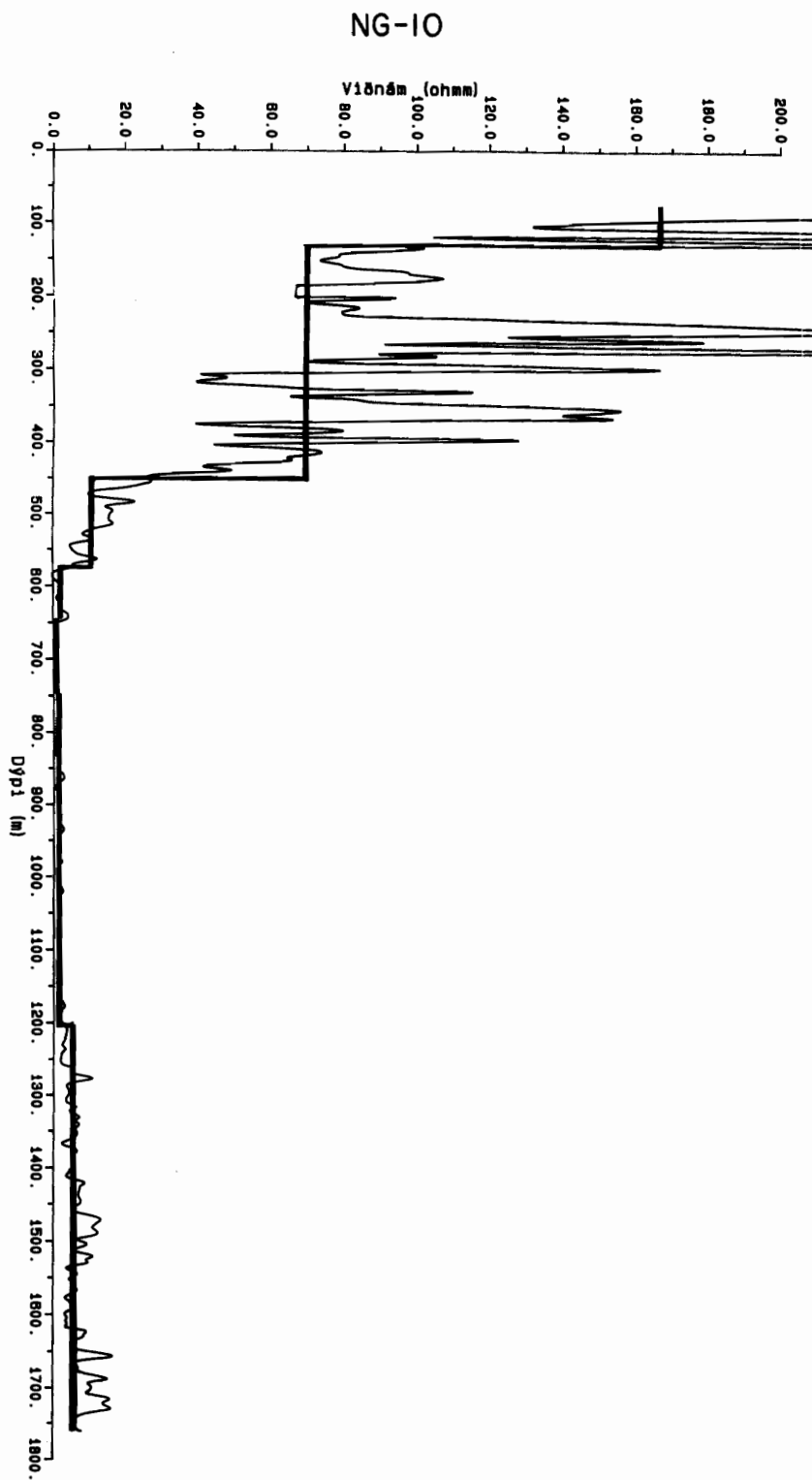
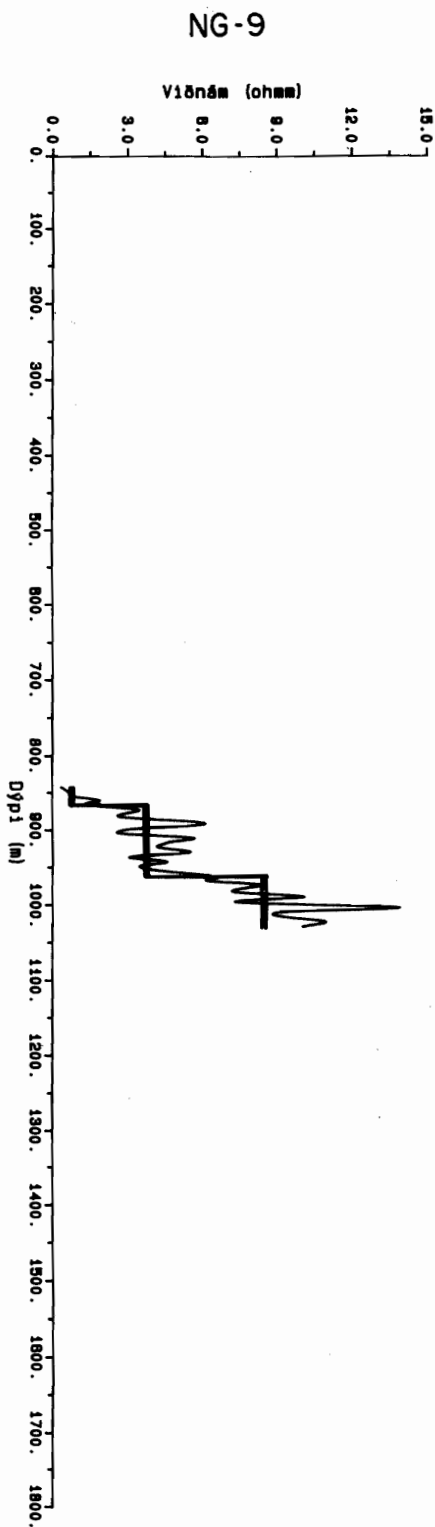
NG-10 er eina holan þar sem til er bæði 16" og 64" viðnám, nokkuð samfellt úr allri holunni eða 75 - 1755 m. Því var hægt að gera víddarleiðréttingu án þess að þurfa að áætla viðnám holuvökvans. Gögnin eru að mestu samkvæm sjálfum sér nema á bilinu 405 - 575 m. Dýptarbilinu sem mælingin spannar var skipt í sjö bil og "meðalviðnám" reiknað á hverju bili:

75 - 130 m	$\bar{\rho} = 167,0 \Omega\text{m}$
130 - 450 m	$\bar{\rho} = 69,2 \Omega\text{m}$
450 - 575 m	$\bar{\rho} = 10,2 \Omega\text{m}$
595 - 645 m	$\bar{\rho} = 1,8 \Omega\text{m}$
645 - 745 m	$\bar{\rho} = 0,4 \Omega\text{m}$
745 - 1205 m	$\bar{\rho} = 1,3 \Omega\text{m}$
1205 - 1755 m	$\bar{\rho} = 5,3 \Omega\text{m}$





Mynd V.1 Viðnám í borholum NG-6 og NG-7



Mynd V.2 Viðnám í borholum NG-9 og NG-10

## ENGLISH SUMMARY

This report is made at the request of The Reykjavík Municipal District Heating System and contains a review and summary of geological mapping, resistivity soundings, gravity, aeromagnetism and seismological studies from the Nesjavellir geothermal area. The results from these investigations are compared with information on temperature, pressure, lithology, hydrothermal alteration and resistivity obtained from wells.

The geothermal area at Nesjavellir is at the northern margin of a large high temperature geothermal system in the central volcano Hengill. A north-south trending fissure swarm, associated with the volcano, enters the geothermal area south of the camp at Hraunprýði where it shifts towards west and extends north into the lake Þingvallavatn. Resistivity soundings indicate that the geothermal system is controlled to a great extent by faults and fissures. They show that north of well NG-9 the eastern boundaries of the area are at the fault in Nesjálugargil and the northern boundaries are near the well NG-7. The western boundaries are unknown and also the eastern boundary in the southern part of the area.

The geothermal area is characterized by a resistivity low, believed to be caused by high temperature and hydrothermal alteration. In the southwestern part the low resistivity is found to be underlain by a high resistivity, which probably indicates two phase condition of the geothermal fluid.

For further exploration of the Nesjavellir area, the construction of a detailed geological map (scale 1:10.000), and mapping of the tectonics and surface geothermal manifestations (scale 1:5.000) are proposed. Resistivity soundings and profiling along five profiles across the geothermal area are also proposed. Resistivity data are to be interpreted two-dimensionally. The aim of the resistivity mapping is to locate the boundaries of the geothermal area, detect and locate faults and fissures which act as conduits, and investigate where low resistivity is underlain by high resistivity. Furthermore, a detailed gravity survey of the geothermal area is proposed. Based on these investigations and other available information an attempt will be made to make a conceptual model of the geothermal system. Besides this it is desirable to provide more gravity stations and bench marks in order to monitor possible changes due to exploitation of the geothermal system.



**FJÖLRITUNARSTOFA  
DANÍELS HALLDÓRSSONAR  
Reykjavík 1985**