



ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

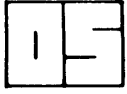
Helgi Torfason
Gylfi Páll Hersir
Kristján Sæmundsson
Gunnar V. Johnsen
Einar Gunnlaugsson

VESTUR – HENGILL

Yfirborðsrannsókn jarðhitasvæðisins

OS-83119/JHD-22
Reykjavík, desember 1983

Unnið fyrir
Hitaveitu Reykjavíkur



ORKUSTOFNUN
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

**Helgi Torfason
Gylfi Páll Hersir
Kristján Sæmundsson
Gunnar V. Johnsen
Einar Gunnlaugsson**

VESTUR – HENGILL

Yfirborðsrannsókn jarðhitasvæðisins

OS-83119/JHD-22
Reykjavík, desember 1983

**Unnið fyrir
Hitaveitu Reykjavíkur**



Dags.
29. febrúar 1984
Dags.


Tilv. vor
HeTo/DD
Tilv. yðar

Hitaveita Reykjavíkur
Drápuhlíð 14
105 REYKJAVÍK

Hér með afhendist Hitaveitu Reykjavíkur skýrsla um
yfirborðsrannsóknir á jarðhitasvæðinu í Vestur-Hengli.

Verk þetta er unnið samkvæmt ósk og í samvinnu við
Hitaveitu Reykjavíkur.

Virðingarfyllst


Helgi Þorfasón

ÁGRIP

Háhitasvæðið sem tengt er megineldstöðinni í Hengli nær yfir um það bil 100 km². Þessu svæði má skipta í a.m.k. fjögur rannsóknarsvæði. Árin 1982-1983 var unnið að yfirborðsrannsóknum á einu þessarar svæða, Vestur-Hengli, þ.e. svæði umhverfis Sleggju og Kolviðarhól. Jarðlög í Vestur-Hengli eru mynduð á síðari hluta ísaldar. Þau eru að mestu leyti basískt móberg, en í Sleggju myndar súrt og ísúrt berg eitla og linsur. Á vestanverðu svæðinu hefur ekki gosið á nútíma, en tvær gossprungur liggja um og að Stóra Skarðsmýrarfjalli; þar gaus fyrir um 5000 árum og 1900 árum. Stór misgengi (> 100 m) með NA-SV stefnu skera Húsmúla og mynda vesturjaðar Hengils-sprungusveimsins, sem er um 4 km á breidd hér. Misgengi þessi og aukið hlutfall af móbergi inni í sprungusveimnum koma greinilega fram í þyngdarmælingum. Jarðhiti er á yfirborði í Sleggjubeinsdal, og efnagreiningar á gasi úr gufuhverum benda til um 300°C hita í jarðhitakerfinu þar undir.

Lágviðnámslag (< 10 ohmm) kemur fram á mismiklu dýpi undir suðvestur hluta Hengilssvæðisins og tengist það háhitasvæðinu í Hengli. Þar fyrir neðan kemur sums staðar fram hátt viðnám. Hátt viðnám undir lögum með lágu viðnámi er túlkað sem mjög hár hiti (um eða yfir 300°C) og/eða að hluti jarðhitakerfisins sé í gufufasa. Þá getur innskotamyndun átt einhvern hlut að máli. Samkvæmt viðnámsmælingum í Vestur-Hengli nær lágviðnámslagið skammt vestur fyrir virka sprungusveiminn. Almennt lækkar viðnám í lágviðnámslaginu til austurs, en þó mældist viðnám lægst í Sleggjubeinsdal. Í Sleggjubeinsdal er dýpi niður á háviðnámslagið um 500-800 m.

Lagt er til að boruð verði a.m.k. 1200-1400 m djúp rannsóknarhola í Sleggjubeinsdal. Markmið þeirrar holu er að kanna eðli jarðhitasvæðisins, hita, þrýsting og vatnsleiðni. Holunni er valinn staður þar sem hátt viðnám er neðan við lágviðnámslagið til að varpa ljósi á eðli þess.

EFNISYFIRLIT

Bls.

ÁGRIP	3
EFNISYFIRLIT	4
MYNDASKRÁ	6
TÖFLUSKRÁ	8
1 INNGANGUR	9
2 JARÐFRÆÐI	14
2.1 Berggerðir	14
2.2 Berglagaskipan	16
2.3 Bólstraberg og hraunlög frá lokum síðasta hlýskeiðs	17
2.3.1 Húsmúli	17
2.4 Móberg og líparít frá jökulskeiði	17
2.4.1 Sleggja	17
2.4.2 Litla Reykjafell	18
2.4.3 Móbergstúff í Sleggjubeinsdal og Sleggju	20
2.4.4 Móberg og hraunlög á Sleggju	20
2.4.5 Stóra Skarðsmýrarfjall	21
2.5 Nútímamyndanir	23
2.5.1 Svínahraun	23
2.5.2 Hellisheiðarhraun 1 og 2	23
2.5.3 Laus jarðlög	24
2.6 Misgengi og sprungur	25
2.7 Jarðhiti	28
3 VIÐNÁMSMÆLINGAR	29
3.1 INNGANGUR	29
3.2 NIÐURSTÖÐUR VIÐNÁMSMÆLINGA	30
3.2.1 Fyrri niðurstöður frá Hengilssvæðinu	30
3.2.2 Framkvæmd viðnámsmælinga	32
3.2.3 Einvíð túlkun	34
3.2.4 Tvívíð túlkun	38
3.2.5 Niðurstöður viðnámsmælinga	42
4 GRUNNVATNSHÆÐ	47
5 ÞYNGDARMÆLINGAR	50
5.1 Inngangur	50

5.2	Mælingar og úrvinnsla þyngdarmælinga	50
5.3	Niðurstöður og túlkun þyngdarmælinga	51
5.4	Þyngdar- og hæðarmælingar vegna vinnslu jarðvarma	53
6	SAMSETNING GASS Í VESTUR-HENGLI	55
6.1	Inngangur	55
6.2	Aðferðir	55
6.2.1	Söfnun sýna	55
6.2.2	Efnagreiningar	56
6.3	Niðurstöður mælinga	56
6.3.1	Gashitamælar	56
6.3.2	Dreifing gass í Hengli	61
7	LÍKAN AF JARÐHITASVÆÐINU Í VESTUR-HENGLI	65
7.1	Inngangur	65
7.2	Líkan af Vestur-Hengli	65
7.3	Vesturhluti Hengilssvæðisins	68
8	RANNSÓKNARBORANIR	70
8.1	Borun árið 1949	70
8.2	Öflun skolvatns	70
8.3	Staðsetning og borun rannsóknarholu	71
9	NIÐURSTÖÐUR	75
	Heimildir	76
	VIÐAUKI I FRAMKVÆMD OG TÚLKUN VIÐNÁMSMÆLINGA	84
I.1	Framkvæmd viðnámsmælinga	84
I.2	Úrvinnsla viðnámsmælinga	86
I.2.1	Almenn atriði	86
I.2.2	Einvíð túlkun viðnámsmælinga	87
I.2.3	Óvissur og jafngildislög í einvíðri túlkun	88
I.2.4	Tvívíð túlkun viðnámsmælinga	90
I.2.5	Vandamál við túlkun viðnámsmælinga á háhitasvæðum	91
	VIÐAUKI II VIÐNÁMSMÆLIGÖGN ÚR VESTUR-HENGLI	95
II.1	Staðsetning Schlumberger-viðnámsmælinga í Vestur-Hengli	95
II-2	Einvíð túlkun viðnámsmælinga í Vestur-Hengli	96
II-3	Tvívíð túlkun viðnámsmælinga í Vestur-Hengli	106
II.4	Mæld og reiknuð sýndarviðnámsnið	109

MYNDASKRÁ

bls:

Mynd 1 Dreifing jarðhita á yfirborði í Hengli	10
Mynd 2 Jarðfræðikort af Vestur-Hengli	15
Mynd 3 Vesturhlíð Sleggju og sundurgreining í eitla	19
Mynd 4 Jarðlagasnið í Vestur-Hengli	22
Mynd 5 Sprungurósir í Vestur-Hengli	26
Mynd 6 Hengill. Eðlisviðnám í ohmm á 400 m dýpi undir sjávarmáli	31
Mynd 7 Staðsetning viðnámsmælinga í Vestur-Hengli	33
Mynd 8 Viðnámssnið AA` - Einvíð túlkun	35
Mynd 9 Viðnámssnið BB` - Einvíð túlkun	37
Mynd 10 Viðnámssnið AA` - Tvívíð túlkun	40
Mynd 11 Viðnámssnið BB` - Tvívíð túlkun	41
Mynd 12 Eðlisviðnám í ohmm við sjávarmál	43
Mynd 13 Eðlisviðnám í ohmm á 200 m dýpi undir sjávarmáli	44
Mynd 14 Eðlisviðnám í ohmm á 600 m dýpi undir sjávarmáli	44
Mynd 15 Grunnvatnskort af Vestur-Hengli	48
Mynd 16 Þyngdarmælingar í Vestur-Hengli	52
Mynd 17 Efnahitamælar	58
Mynd 18 Hitastig í jarðihitakerfinu í Hengli samkvæmt koldíoxíði (CO ₂)	63

	bls:
Mynd 19 Líkan af jarðhitasvæðinu í Vestur-Hengli	66
Mynd 20 Líkan af jarðhitasvæðinu í vestanverðum Hengli	69
Mynd 21 Jarðlagasnið úr borholu (frá árinu 1949) við Kolviðarhól	71
Mynd 22 Staðsetning borhola	73
 Í VIÐAUKUM :	
Mynd V1 Schlumberger uppsetning viðnámsmælinga	85
Mynd V2 Mælt sýndarviðnámssnið A-A'	110
Mynd V3 Reiknað sýndarviðnámssnið A-A'	111
Mynd V4 Mælt sýndarviðnámssnið B-B'	112
Mynd V5 Reiknað sýndarviðnámssnið B-B'	113

TÖFLUSKRÁ

bls:

Tafla 1 Jarðlagaskipan í Vestur-Hengli	16
Tafla 2 Grunnvatnshæð í Vestur-Hengli	49
Tafla 3 Þyngdarmælingar meðfram Búrfellslínu II í Vestur-Hengli	54
Tafla 4 Jöfnur fyrir gashitamæla	57
Tafla 5 Nokkrar efnagreiningar á gasi í Hengli	62

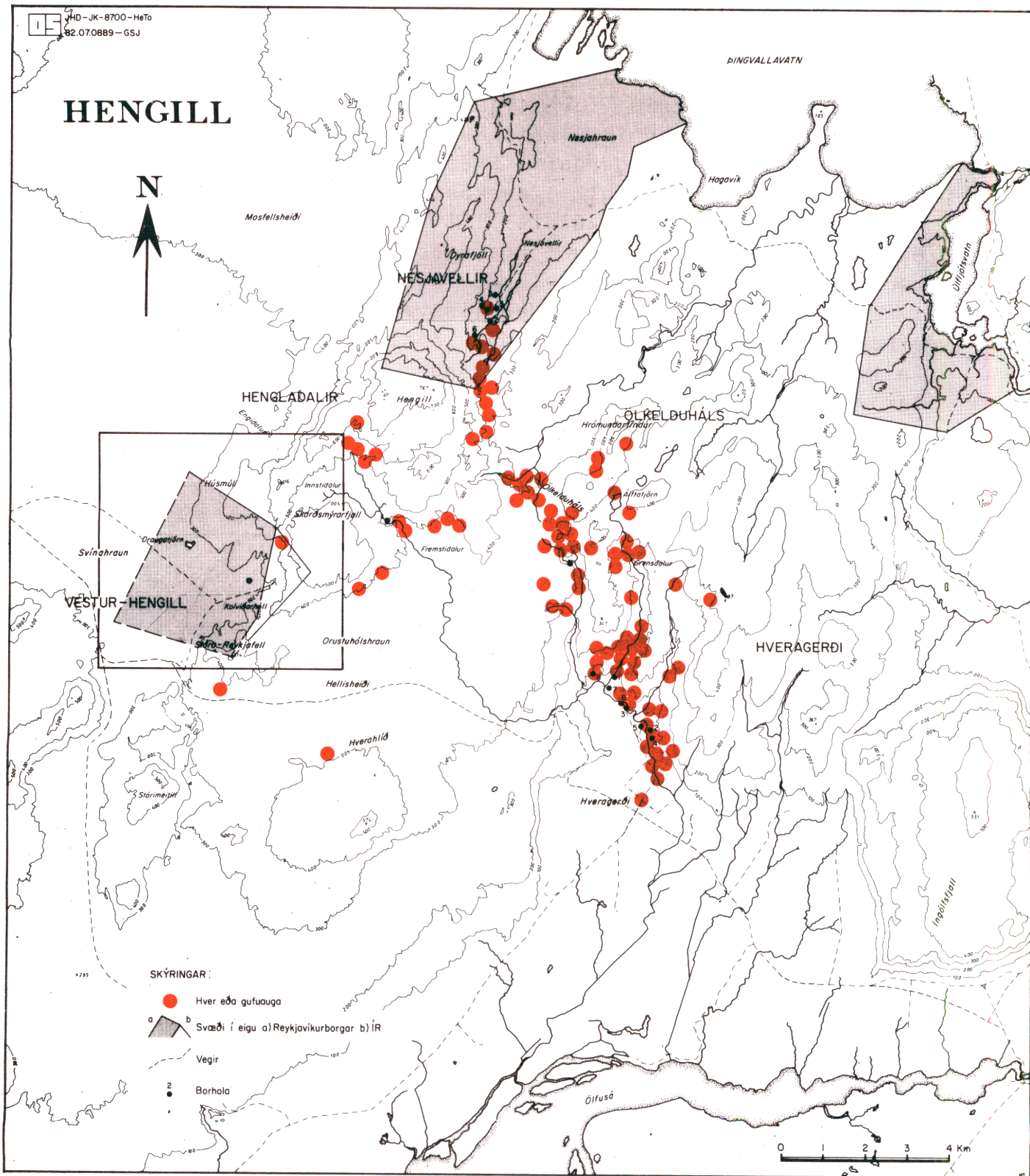
Í VIÐAUKA II :

V-II Staðsetning Schlumberger-viðnámsmælinga í Vestur-Hengl sumurin 1972-1982	95
---	----

1 INNGANGUR

Í þessari skýrslu er fjallað um rannsóknir á suðvesturhluta háhitasvæðisins í Hengli, hér nefnt Vestur-Hengill (Valgarður Stefánsson o.fl. 1982). Háhitasvæðið í Hengli markast í grófum dráttum af Nesjavöllum í norðri, Skálafelli í suðri, Svínahrauni og Húsmúla í vestri og Hveragerði í austri. Eftir rannsóknalotu árána 1947-1949 (Gunnar Böðvarsson o.fl. 1951) festist nafngiftin Hengilssvæði við háhitasvæðið og víðara umhverfi þess. Flatarmál háhitasvæðisins er alls fast að 100 km². Vegna stærðarinnar hefur komið af sjálfu sér skipting í rannsóknarsvæði, sem byggist á dreifingu jarðhitans, jarðfræðilegri uppbyggingu og ekki hvað síst á landslagi og staðháttum (mynd 1). Þannig beindust rannsóknir árána kringum 1960 að nágrenni Hveragerðis og rannsóknir á vegum Hitaveitu Reykjavíkur frá 1968 að nágrenni Nesjavalla. Sú rannsókn, sem greinir frá í þessari skýrslu beindist að umhverfi hveranna í Sleggjubeinsdal. Ræður þar að nokkru eignarréttarsjónarmið líkt og á Nesjavöllum.

Eldri jarðhitarannsóknir á Hengilssvæðinu frá því fyrir 1950 eru raktar í inngangi greinar Gunnars Böðvarssonar (1951) um jarðhita í Hengli, Hveragerði og nágrenni, og verða ekki raktar hér. Rannsóknir árána 1947-1949 voru yfirgripsmiklar og tóku til alls Hengilssvæðisins. Þær fólu í sér m.a. fræðilega úttekt á jarðhitanum, mat á varmastreymi, könnun á jarðfræði og efnagreiningar á hveravatni og vatni úr borholum auk rannsóknaborana víðs vegar á jarðhitasvæðinu. Einu jarðeðlisfræðilegu mælingarnar voru þyngdarmælingar og mælingar á geislavirkni bergs. Segulmælingar voru prófaðar í Hveragerði. Niðurstaða allra þessara athugana var sú, að Hveragerðissvæðið lægi best við virkjun fyrir raforku. Hitaveita frá Hengli til Reykjavíkur var ekki talin hagkvæm, en þar var höfð í huga veita frá svo kölluðu Vestursvæði, þ.e. Sleggjubeinsdal og Innstadal. Frá þessum rannsóknum er greint í greinum Gunnars Böðvarssonar (1951) og Trausta Einarssonar o.fl. (1951).



Mynd 1. Dreifing jarðhita á yfirborði á Hengilssvæðinu. Svæði í eigu Reykjavíkurborgar eru skyggð en rannsóknarsvæði það sem fjallað er um í þessari skýrslu er afmarkað með heilum línun.

Á árunum 1958-1961 voru boraðar 8 holur ofan við Hveragerði 300-1200 m djúpar og gerð áætlun um 15 MW_e aflstöð byggða á þeim (skýrsla Merz&McLellan 1964). Hún var þó aldrei reist þar sem virkjun vatnsafls var hagkvæmari.

Gunnar Böðvarsson (1970) mat afl og endingu Hengilssvæðisins út frá ofanefndum rannsóknum. Talan sem hann fékk út, var að vinna mætti um 2900 tonn/klst af gufu frá 220-230°C heitu vatni miðað við 100 ár. Þetta samsvarar 300 MW_e afli. Hitastigið sem Gunnar reiknaði með miðast við borholurnar ofan við Hveragerði. Sveinbjörn Björnsson (1974) endurskoðaði mat Gunnars út frá öðrum forsendum um hita og vatnsleiðandi lög og kom út með mun hærri tölur, eða um 800 MW_e afl miðað við 100 ár. Í nýlegu mati á jarðvarma undir Íslandi, sem unnið hefur verið á Orkustofnun, er tæknilega vinnanlegt afl á Hengilssvæðinu metið 689 MW_e, miðað við 50 ár (sjá t.d. Guðmundur Pálmason 1980).

Ýmsar rannsóknir voru gerðar á Hengilssvæðinu á síðustu tveimur áratugum. Útbreiðsla jarðhitans var kortlögð (Kristján Sæmundsson 1964) og jarðfræðilýsing ásamt kortum, kom út 1967 (sami höfundur). Í yfirliti um stöðu jarðhitarannsókna á Hengilssvæðinu (Axel Björnsson o.fl. 1974) eru færð rök fyrir því að háhitasvæðið sé tvískipt jarðfræðilega séð. Annars vegar sé dvínandi háhitasvæði tengt útkulnaðri megineldstöð norðan við Hveragerði. Hins vegar sé háhitasvæði virku megineldstöðvarinnar í Henglafjöllum. Vatn úr hverum og borholum var efnagreint og mælt í því ísótópahlutföll vatns sem og í köldu grunnvatni. Á grundvelli þeirra efnagreininga og með hjálp hitaferla úr borholum og jarðfræðibyggingar var gert líkan af jarðhitasvæðinu (Bragi Árnason o.fl. 1969). Þar var gert ráð fyrir aðstreymi vatns úr norðri, suðu og afgösun undir hálendi Hengilssvæðisins og blöndun við staðbundið grunnvatn, en afrennsli djúpvatns til suðurs undir Hveragerði.

Flugsegulkort var gert af Hengilssvæðinu 1975-1976 (Axel Björnsson 1980). Það sýnir segullægð frá Hengli austur í átt að Hveragerði, sem gæti stafað af ummyndun bergs þar undir.

Á árunum 1970-1977 voru gerðar rúmlega 80 viðnámsmælingar á Hengilssvæðinu. Fram kemur lágviðnámslag (minna en 10 ohmm) á mismunandi dýpi, sem túlkað er sem hár hiti í

bergi og er flatarmál þess um 100 km² miðað við 400 m dýpi undir sjávarmáli (Axel Björnsson o.fl. 1974, Gylfi Páll Hersir 1980, Axel Björnsson og Gylfi Páll Hersir 1981). Mælingar benda einnig til þess, að lágviðnámslagið sé undir svæðinu umhverfis Sleggjubeinsdal. Þá gáfu mælingar til kynna að undir miðju svæðisins væri hátt við nám neðan lágviðnáms. Á grundvelli viðnámsmælinga var teiknað grunnvatnskort (Freyr Þórarinnsson 1981).

MT-mælingar (magnetotellurik) voru gerðar á Hengilssvæðinu sumarið 1976 í samvinnu við Árósháskóla og aftur 1982 í samvinnu við Brown háskóla í Bandaríkjunum. Hér á landi eru þessar mælingar einkum notaðar til að rekja djúplægt, hlutbráðið berg með mjög lágu viðnámi, en það er talið tengjast mótum skorpu og möttuls. Á Nesjavöllum er dýpi á þetta lag um 7,5 km (Gylfi Páll Hersir 1980, Gylfi Páll Hersir o.fl. 1984)

Rannsóknir á skjálftavirkni á Hengilssvæðinu í samvinnu Orkustofnunar, Hitaveitu Reykjavíkur og Raunvísindastofnunar Háskóla Íslands hafa staðið yfir frá árinu 1978 (Foulger og Páll Einarsson 1980; Foulger 1981; Foulger 1983). Skjálftavirkni er mikil á háhitasvæðinu öllu, þó minnst í sprungusveimnum nema rétt undir Hengli sjálfum. Dreifing skjálfta myndar tvö belti, annað með stefnu SV-NA en hitt með stefnu SA-NV. Það fyrrnefnda liggur um Katlatjarnir-Álftatjörn, en hitt um Ölkelduhnúk-Klambragil, en þar er yfirborðsjarðhiti mikill og lægð kemur fram á segulkortinu. Ekki varð vart við smáskjálftavirkni við Kolviðarhól. Hins vegar var töluverð virkni á Mosfellsheiði, vestur af Sleggju og Marardal. Úrvinnslu skjálftamælinganna er ólokið.

Rannsóknir á Nesjavöllum hafa staðið yfir með hvíldum frá 1968, aðallega boranir og rannsóknir á borholunum. Þar undir er jarðhitakerfið í suðu og hiti í borholum um 300°C neðan 1000 m dýpis (Valgarður Stefánsson o.fl. 1983).

Við rannsóknir og túlkun gagna úr Vestur-Hengli hefur mjög verið stuðst við fyrri rannsóknir. Vegna svipaðra jarðfræðilegra skilyrða mætti búast við mestri líkingu við Nesjavelli.

Að beiðni Hitaveitu Reykjavíkur var 1982 gerð úttekt á stöðu rannsókna við Vestur-Hengil og gerð áætlun um þær rannsóknir sem á vantaði til að unnt væri að hefja

rannsóknarboranir þar. Vinnuhópur á Jarðhitadeild Orkustofnunar vann þetta verk. Í þeim hópi voru Helgi Torfason (verkefnisstjóri), Gylfi Páll Hersir, Halldór Ármannsson, Hilmar Sigvaldason, Hrefna Kristmannsdóttir, Kristján Sæmundsson og Þorstein Thorsteinsson. Niðurstöður þeirrar úttektar voru birtar í áætlun um rannsóknir í Vestur-Hengli (Helgi Torfason o.fl. 1982).

Unnið var samkvæmt áætlun vinnuhópsins og bætt við þeim rannsóknum sem á vantaði. Fór sú vinna fram á árunum 1982 og 1983. Hluti af vinnuhópnum vann þessar rannsóknir (sbr. höfundar þessarar skýrslu). Rannsóknirnar 1982-1983 í Vestur-Hengli beindust einkum að svæðinu kringum og norður af Kolviðarhóli, sem er í eigu Reykjavíkurborgar (sjá mynd 1). Meginmarkmið yfirborðsrannsókna var að fá það haldgóða vitneskju um jarðhitann að hægt væri að staðsetja fyrstu rannsóknarborholu og ákveða dýpt hennar.

Jarðfræðirannsóknir voru að mestu leyti endurskoðun ýmissa þátta í jarðfræði Vestur-Hengils (sbr. (Kristján Sæmundsson 1967), og beindust jöfnum höndum að berglögum og höggun berggrunnsins. Fóru þær að mestu leyti fram árið 1983.

Viðamesti þáttur viðbótarrannsókna voru viðnámsmælingar. Voru þær nauðsynlegar til að fá skýrari mynd af viðnámsdreifingu undir Vestur-Hengli. Mælingar þessar fóru fram í byrjun júlí 1982 og lauk frumtúlkun þeirra í lok júlí 1982 (Gylfi Páll Hersir 1982), en úrvinnsla var lokið árið eftir. Þyngdarmælingar voru gerðar 1982 og lokið 1983.

Heildarkönnun á efnafræði Hengilssvæðisins hófst 1982 á vegum Hitaveitu Reykjavíkur og Háskóla Íslands. Tekin voru sýni af vatni, gasi og gufu og þau efnagreind. Þó voru ekki greindir ísótópar. Í kafla 6 hér á eftir er gerð grein fyrir efnagreiningunum að því leyti sem þær snerta Vestur-Hengil, en heildarniðurstöður efnafræðirannsókna hafa ekki verið birtar, enda mun þeim ekki lokið.

2 JARÐFRÆÐI

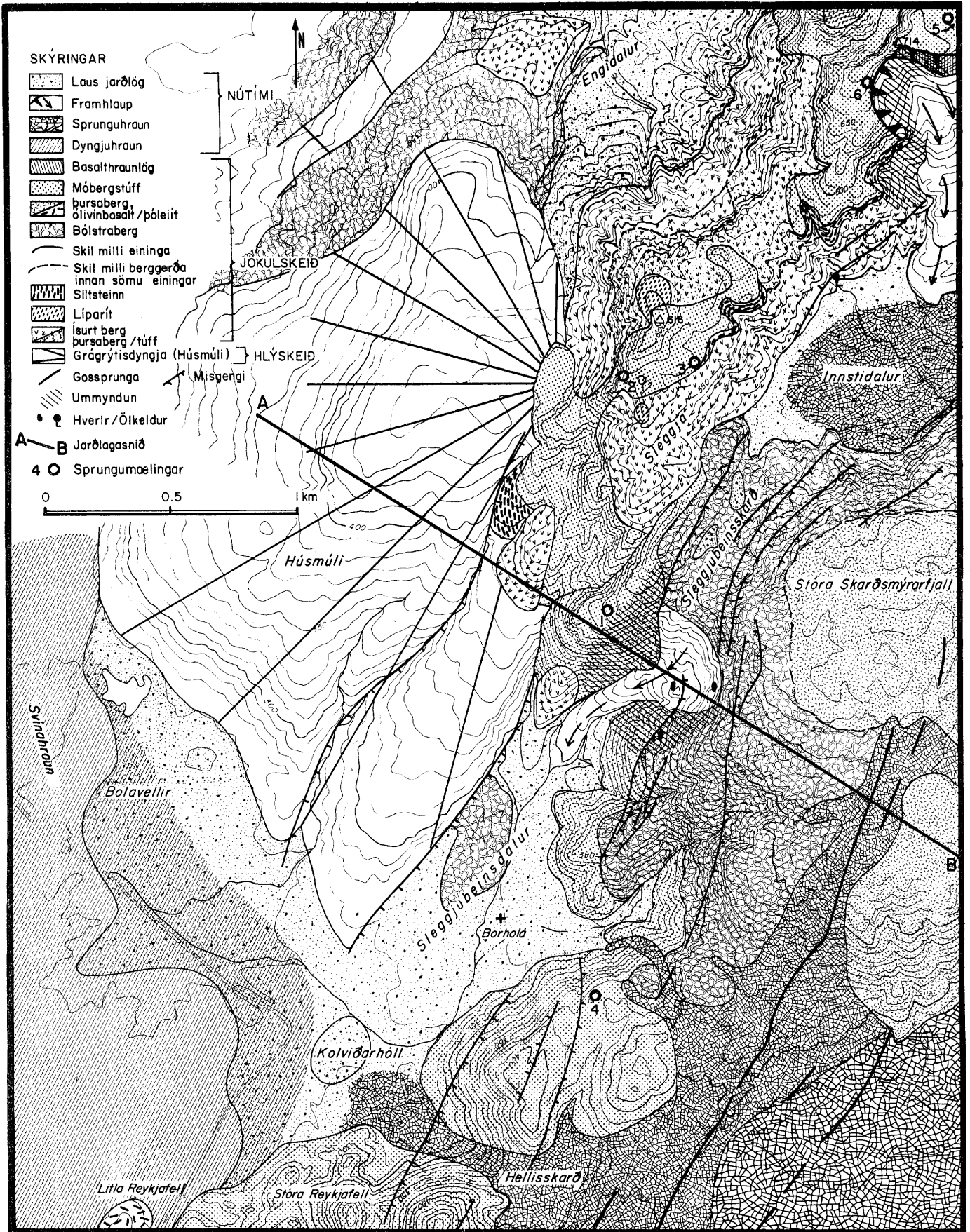
Hengill myndar eitt eldstöðvakerfi ásamt gígaröðum, móbergsfjöllum, gjám og misgengissprungum, sem liggja frá honum suðvestur á Selvogsheiði og norðaustur fyrir Þingvallavatn. Hálendisbálgurinn kringum Hengil heitir einu nafni Henglafjöll. Þar er megineldstöð með súru bergi, háhitasvæði og mestri framleiðslu gosefna í eldstöðvakerfinu. Gegnum megineldstöðina liggur sprungusveimur um 4 km á breidd með fjölda misgengja og gossprungna, sem flestar stefna NA-SV. Jarðfræðilýsingin hér að neðan nær yfir 18 km² suðvestast í Henglafjöllum. Suðausturhluti þessa skika liggur innan virka sprungusveimsins, en norðvesturhlutinn er þar utan við.

Fyrir 17 árum kom út jarðfræðilýsing á Hengilssvæðinu ásamt kortum (Kristján Sæmundsson 1967) og er hér um endurskoðun á hluta þess verks að ræða. Helsti agnúinn á jarðfræðimyndinni frá 1967 er að í hana vantar stór misgengi austan við Húsmúla.

2.1 Berggerðir

Á jarðfræðikortinu (mynd 2) eru bæði ríkjandi berggerð og helstu goseiningar sýndar. Í hraunum og grágrýti er það vandalítið, hins vegar gegnir öðru máli um móbergið. Berggerðum í því er skipt í bólstraberg, þursaberg og móbergstúff, en sjaldnast eru þær svo vel aðgreindar, að unnt sé að fylgja slíkri flokkun út í æsar á kortinu. Því er farin sú leið að gefa til kynna einungis þá berggerð sem er mest áberandi. Varðandi móbergið ber að hafa í huga myndunaraðstæður. Það verður til við gos undir jökli eða í vatni. Sé jökullinn þykkur (eða vatnið djúpt) myndast haugur af bólstrabergi umhverfis gosopin. Hann smáhækkar og verður um leið hlíðbrattur. Þursaberg verður til í hlíðunum við hrún. Síðar myndast móbergstúff, þegar goshrúgaldið hefur náð meiri hæð og vatnslagið yfir grynkar. Gjósi í þunnum jökli ber lítt á bólstrabergi, en þursaberg og móbergstúff yfirgnæfir. Goseiningarnar í móberginu hafa augljóslega myndast sumar hverjar, þegar þykkur jökull lá yfir þessu svæði t.d. Stóra Skarðsmýrarfjall sem er að mestu bólstraberg, en aðrar í þunnum jökli t.d. Stóra Reykjafell sem er að mestu móbergstúff.

JHD-JK-8717 KS
83.01.0145 AA



Mynd 2 Jarðfræðikort af Vestur-Hengli.

2.2 Berglagaskipan

Berglögum verður hér lýst í aldursröð og byrjað á þeim elstu (tafla 1). Afstæður aldur berglaga liggur nokkuð ljós fyrir. Af gerð þeirra má ráða, hvort þau mynduðust á íslausu landi (hraun) eða í jökli (móberg), og af gerð móbergsins má ráða í þykkt jökulsins. Með hliðsjón af þessu má ætla, að myndunarskeið berglaga sem sjást á yfirborði hefjist í byrjun síðasta jökulskeiðs fyrir um 70.000 árum, meginhluti þeirra sé myndaður á síðasta jökulskeiði fyrir 70.000-10.000 árum, en laus jarðlög og hraun eftir ísöld.

Tafla 1 Helstu berglög í SV-hluta Henglafjalla

Tími	Eining	Bergtegund
Nútími	Laus jarðlög	
	Sprunguhraun (Hellisheiðarhraun 1 og 2) Dyngjuhraun (Svínahraun)	millistigsbasalt ólivínbasalt
10.000 ár	Bólstraberg í Stóra Skarðsmýrarfjalli	ólivínbasalt
Jökulskeið	Móberg og hraunlög ofan á Sleggju	millistig milli
	Móbergstúff í Sleggjubeinsdal og Sleggjubeinsskarði	ólivínbasalts og þóleiíts
70.000 ár	Pursaberg í Litla Reykjafelli Eitlar í Sleggju	þóleiítt líparít og andesít
	Bólstraberg og dyngjuhraun í Húsmúla	ólivínbasalt

Allar einingar sem nefndar eru í töflunni hér að ofan tilheyra eldstöðvakerfi Hengils, nema Svínahraun sem er aðrunnið frá Bláfjöllum. Bergtegundir í Hengilskerfinu eru allbreytilegar. Ljóst virðist að dæmigert þóleiítt, ísúrt og súrt berg er einungis að finna meðal goseininga frá fyrri hluta síðasta jökulskeiðs.

2.3 Bólstraberg og hraunlög frá lokum síðasta hlýskeiðs

2.3.1 Húsmúli

Elsta myndunin sem sér í á svæðinu er grágrýttisdyngjan Húsmúli, sem liggur vestan við Sleggjubeinsdal og Sleggju. Hæð hennar er 200 m miðað við sléttlendið vestan við og hlíðarhalli allmikill eða um 8° að jafnaði. Húsmúli er tvískiptur að uppbyggingu. Efri hlutinn er hlaðinn upp úr beltóttu hrauni, sem gengur alveg niður undir jafnsléttu sunnan megin. Undir grágrýttinu norðan megin er sökkull úr bólstrabergi með ívafi af þursabergi og vottar fyrir norðlægum laghalla. Í bólstraberginu kemur fram um 40 m þykk syrpa af hraunbeltum norðvestast í múlanum. Bólstrabergið er eins að útliti og hraunbeltin, ólivínbasalt með smáum feldspatdílum, og er nokkuð örugglega sama goseiningin. Húsmúli minnir þannig á stapa að uppbyggingu, en gera verður ráð fyrir að gosið hafi í þunnum jökli, vegna þess hve bólstrabergssökkullinn er lágur og nær skammt suður.

Húsmúli er víða þakinn hörðnuðum jökulruðningi og móbergsframburði, einkum suðvestantil, hlémegin við skriðjökulstefnu.

2.4 Móberg og líparít frá jökulskeiði

Móberg er fyrirferðarmesta bergtegundin í Henglafjöllum. Innan þess má greina margar misgamlar goseiningar, sem flestar eru upprunnar í sprungugosum (hryggir), en þó einnig í dyngjugosum (stapar). Auk móbergsins, sem er basalt að samsetningu, finnst í suðvestanverðum Henglafjöllum súrt og ísúrt berg, sem einnig hefur komið upp undir jökli, og er að því er best verður séð elsta einingin í jökulskeiðssyrpunni.

2.4.1 Sleggja

Frá Hengli liggur hár og brattur hryggur til suðvesturs og myndar vesturhlíð Innstadals og Sleggjubeinsskarðs.

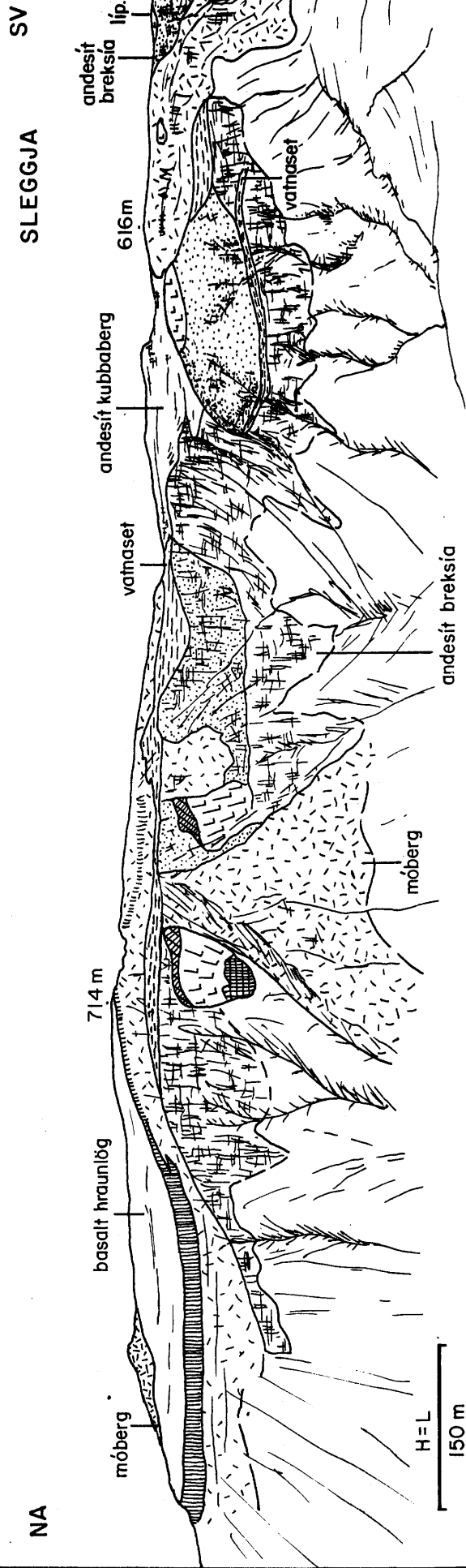
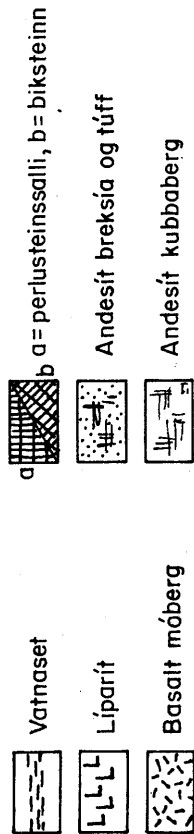
Hryggur þessi ber nafnið Sleggja, a.m.k. syðst. Hann er að langmestu leyti úr andesíti. Það myndar stóra eitla og linsur, sumar um og yfir 1 km á lengd og tugi metra á hæð. Innan um andesítið sjást nokkrir minni eitlar úr líparíti. Setlag gengur inn á milli eitlanna vestan undir 616 m hæðinni á Sleggju miðri. Samkvæmt því hefur súra og ísúra bergið í Sleggju komið upp í fleiri en einu gosi. Mynd 3 sýnir vesturhlið Sleggju og sundurgreiningu í eitla.

Ætla verður af gerð ísúra bergsins, að það sé allt myndað á kafi í jökli þar sem hröð vatnskæling hefur valdið smásprungnum eitlum sem minna á kubbaberg, svo og brotabergi og móbergi þegar haugurinn þykknaði og nálgadist yfirborð. Flekkir af andesítmóbergi liggja vestur á Húsmúla, en einungis þunn skán. Í eldri jarðfræðilýsingu (Kristján Sæmundsson 1967) var meginhluti bergsins í Sleggju talinn vera dasít. Basalt-andesít, sem þar finnst einnig, svo og líparítið var talið vera gangar og innskot. Nánari athugun hefur leitt í ljós, að þar er einungis um eitla eða linsur að ræða myndaðar við gos í jökli. Nýjar efnagreiningar á bergi úr Sleggju (Vigdís Harðardóttir 1983) benda til breytilegrar efnasamsetningar frá basalt-andesíti yfir í líparít. Ísúra og súra bergið í Sleggju hefur komið upp á gossprungu sem legið hefur frá NA til SV í framhaldi af stóru misgengi austan í Húsmúla. Andesítið hverfur innundir yngri móbergsmýndanir til norðurs upp við Hengil, og gæti náð nokkuð undir hann. Þessi myndun kemur fram á smábletti innst í Sleggjubeinsdal, en yngra móberg hylur hana þar að miklu leyti (mynd 3 og 4).

2.4.2 Litla Reykjafell

Litla Reykjafell er lágur ás í SV-framhaldi af Sleggju. Fellið er gert úr móbergi og þursabergi með dulkornóttum basaltmolum. Eftir háfellinu liggur berggangur tæplega 2 m á breidd úr sama dulkornóttu basaltinu, en þar er það mjög straumflögótt. Líklega er þarna um að ræða aðfærsluæð samaldra móbergi fellsins (Þorleifur Einarsson 1960). Efnagreining sýnir, að bergtegundin er þóleiít (Vigdís Harðardóttir 1983). Í útliti líkist bergið í Litla Reykjafelli mjög þóleiítinu í Háhrygg norðan Hengils (Kristján Sæmundsson 1967). Sú myndun gengur innundir Hengil og er sú elsta af móbergsmýndunum þeim megin. Gera má ráð fyrir, að þóleiítískt móberg sé útbreitt neðst í

JARÐLÖG Í VESTURHLÍÐ SLEGGJU



Mynd 3 Vesturhlíð Sleggju og sundurgreining í eitla. Ofarlega í hæð 616 m og suðvestur þaðan er linsa úr glerkenndum andesítmulningi og andesítmóbergi. Hún er aðskilin frá neðri einingunum af túffkenndu setlagi allt að 15 m þykku. Suðvestan undir 714 m hæðinni er þykk linsa svo til eingöngu úr andesítmóbergi og fyllir lægð norðan við neðstu þéttu eitlana. Norðaustur af henni leggst líparíteitill ofan

á andesítið. Hann er með þykkri biksteinsbrynju efst, en úr ljósgráu brotabergskenndu, stundum rauðslegru líparíti innst. Þykkur bunki af gráum glersalla (perlusteini) leggst utan á líparíteitilinn hið neðra. Ofan á líparítinu tekur við andesíteitill og myndar linsulaga brík þar norðaustur af.

móbergsmyndunum undir Hengli og Hengladölum (mynd 3). Fínkornótt "móbergsvöluberg" sem Tómas Tryggvason (í Trausti Einarsson o.fl. 1951) lýsir í borholu við Kolviðarhól í 40-97 m dýpi, kann að eiga við samskonar myndun og að ofan var lýst.

2.4.3 Móbergstúff í Sleggjubeinsdal og Sleggjubeinsskarði

Hér er móbergirun í brekkunum austan við Sleggjubeinsdal og vestan við Sleggjubeinsskarð slengt í sömu einingu. Í henni er móbergstúff ráðandi berggerð, en þursaberg sést þar innan um á stöku stað. Móbergstúffið sést hverfa innundir bólstraberg frá Stóra Skarðsmýrarfjalli innst í Sleggjubeinsdal og austan í Sleggju. Í hamrinum syðst á Sleggju er móbergstúffið lagskipt, og suðurhallandi. Austan í Sleggjubeinsdal er halli suðvestlægur. Móbergstúffið syðst á Sleggju er nokkuð ummyndað. Þar sem þessa gætir mest er bergið gráleitt af kalsíti og zeólítum. Annars staðar er móbergstúffið brúnleitt og nánast ferskt.

Móbergstúff er einnig í Stóra Reykjafelli. Þar eru varðveittar tvær stórar gígskálar myndaðar í gufusprengigosum. Þar gæti verið um yngri gosmyndun að ræða.

2.4.4 Móberg og hraunlög á Sleggju

Norðantil er Sleggja þakin móbergi og hraunlögum. Við skarðið sunnan undir háhnúkunum (714 m) skiptir um berggerð frá lagskiptu móbergstúffi sunnan við, yfir í þursaberg og hraunlög norðan við. Móbergstúffið er lagskipt því sem næst lárétt uppi á Sleggju en í vesturhlíðinni er brattur laghalli ofan til Engidals. Þursabergið er norðvestan í hnúknum og gengur undir hraunlög þeim megin. Suðaustan í hnúknum sjást ein 10 hraunlög alls um 70 m, öll fremur þunn með þykkum gjallhroða og túffi inn á milli. Lítilsháttar halli er á hraunlögnum til NA. Þar er líklega um rennslishalla að ræða. Upptakanna væri samkvæmt því að leita nærri háhnúkunum (714 m).

Berggerðir í þessari einingu benda til goss í þunnum jökli. Lagskipta túffið myndaðist í byrjun við gufusprengingar, en hraunlögin í framhaldi þar af, eftir

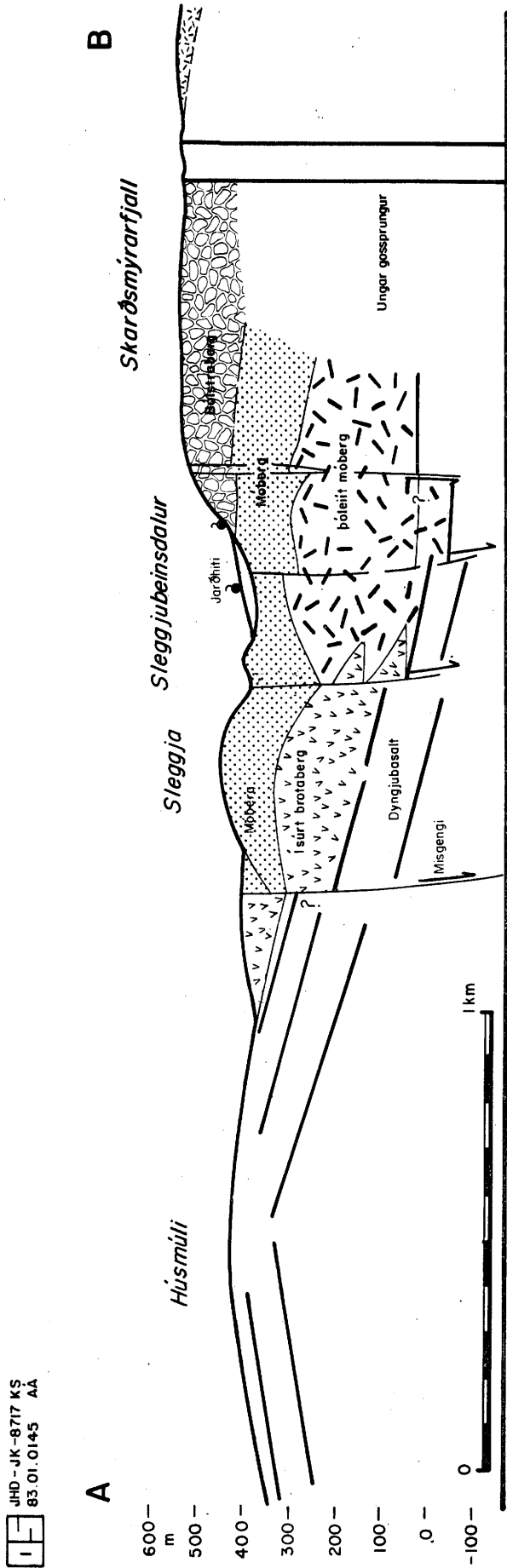
að gígurinn komst á þurrt. Þursabergið er líklega myndað við hraunrennsli í vatn, enda bólstrótt, en lagskipting í því er óglögg. Undir móbergstúffinu og neðst í því er fíngert lagskipt vatnaset, gráleitt og blandað jökulleir neðantil, en túffkenndara ofar. Þykktin er 10-20 m. Myndun vatnasettsins virðist nátengd gosinu, sem skóp móbergstúffið.

Sunnan til á Sleggju hvílir lagskipt móbergstúff ofan á ísúra berginu og líparítinu. Líkt og norðar er lagskipt gráleitt og fínkrnað vatnaset sums staðar undir því. Vestan og sunnan í Sleggju hefur móbergið lagst í hauga utan á fjallshlíðina. Lagskiptingin í túffinu er óreglulegri en norðar, meira um skálögun og önnur einkenni sem benda til að túffið sé vatnsflutt. Bólstrabergsívaf er í því sunnan í hæsta hnúknunum á suðurfjallinu (616 m). Hugsanlega er túffið upprunnið þar í grennd. Bólstrabergslag er einnig í haugnum sem hrúgast hefur upp suðvestan undir Sleggju.

Bergfræðilegur munur er lítill á túffinu á suðurfjallinu og móberginu og hraunlögunum á norðurfjallinu, helst sá að nyrðri einingin er meira dílótt. Auk þess er túffið á suðurfjallinu laust við ummyndun af jarðhita, en túffið og hraunlögin norðar eru með sprungufyllingum og nokkuð ummynduð. Mest ber á því kringum háhnúkinn (714 m). Gæti vel verið um tvær goseiningar að ræða.

2.4.5 Stóra Skarðsmýrarfjall

Stóra Skarðsmýrarfjall er að stofni til stapi, að langmestu leyti hlaðið úr bólstrabergi, þó með þunnri kápu af brotabergi og túffi austantil. Hraunskjöld, sem annars einkennir stapana, ventar. Fjallið virðist hafa hlaðist upp í alldjúpum jökli og gosið ekki enst til að byggja það upp úr honum. Hlíðar Sleggjubeinsskarðs og innsta hluta Sleggjubeinsdals eru ofantil úr þessari myndun og er þar svotil eingöngu um bólstraberg að ræða.



Mynd 4 Jarðlagasnið í Vestur-Hengli.

Innarlega í Sleggjubeinsdal liggur haugur af bólstrabergi vestan lækjar. Í fyrri jarðfræðilýsingu (Kristján Sæmundsson 1967) var það talið ganga undir Húsmúla-grágrýtið, en það fær ekki staðist, heldur er hér um yngri myndun að ræða, sem þó verður ekki tengd öðrum nálægum móbergsmyndunum með vissu. Bergið er smávegis dílótt og stendur nærri mörkum ólivínbasalts og þóleiíts, sem sett eru við 5% ólivín (Walker 1959).

2.5 Nútímamyndanir

Nútímamyndanir eru tvenns konar, hraun og laus jarðlög. Með vissu verða einungis aðgreind þrjú hraun á því svæði sem kortið nær yfir. Tvö þeirra eru upprunnin í gossprungum nærri austurjaðri kortsins. Á þeim gossprungum hefur gosið fjórum sinnum á nútíma. Hraun frá eldri gossprungunum gætu legið undir yngri hraununum, helst sunnan Skarðsmýrarfjalls. Það nyrsta sem sér til eldri hraunanna er í gígaröðunum austan við Stóra Reykjafell. Þar kemur fram sunnan undir einum af ungu gígunum gjall og gjallkennt hraun sömu gerðar og elsta Hellisheiðarhraunið (mjög feldspatdílótt).

2.5.1 Svínahraun

Svínahraun hefur runnið sunnan að norður með Reykjafellunum og nær að Húsmúla og e.t.v. eitthvað inn í Sleggjubeinsdal. Framburður frá Sleggjubeinsdal og giljunum í Húsmúla hefur fyllt í hraunið svo norðurtakmörk þess verða ekki séð. Svínahraun er runnið frá Leitum austan undir Bláfjöllum og er að gerð dæmigert beltótt helluhraun. Innra eru slík hraun gljúp. Lækir frá Sleggjubeinsdal og Húsmúla hverfa þar í jörð, en renna áður drjúgan spöl út á hraunið. Svínahraun er skv. aldursgreiningum á mó undan því rúmlega 4500 ára (Jón Jónsson 1978).

2.5.2 Hellisheiðarhraun 1 og 2

Tvö yngstu Hellisheiðarhraunin eru upprunnin í gossprungum, sem liggja frá NA til SV, önnur yfir Innstadal og Stóra

Skarðsmýrarfjall og þaðan eftir vatnaskilum í Stóra Reykjafell. Hin gossprungan og sú yngri nær norður að Stóra Skarðsmýrarfjalli.

Gossprungan, sem eldra hraunið er komið frá er nokkur hundruð metrum vestar en sú yngri og gengur yfir Stóra Skarðsmýrarfjall og Innstadal. Botn Innstadals er alpakinn hrauni frá henni. Hólar úr því stinga sér upp úr framburði sem þekur dalbotninn vestanverðan. Hraun frá þessari gossprungu hefur runnið vestur úr Hellisskarði og gæti verið í botni Sleggjubeinsdals. Aldur þessa hrauns er um 5000 ár skv. geislakolsgreiningum (Jón Jónsson 1977).

Yngri gossprungan og sú eystri nær að rótum Stóra Skarðsmýrarfjalls. Hraun frá henni hefur runnið vestur fyrir sunnan Reykjafellin og lagst norður með þeim að vestan. Aldur þess er tæp 1900 ár skv. geislakolsgreiningum (Jón Jónsson 1977). Bæði hraunin eru svipuð að gerð með um 5% ólivín (Jón Jónsson 1977).

2.5.3 Laus jarðlög

Meðal lausu jarðlaganna skipta mestu máli framburður og grjótskriður auk jarðvegs. Nokkur smá framhlaup koma einnig fyrir.

Framburðarmyndanir eru mestar á botni Sleggjubeinsdals og á ræmu milli Svínahrauns og Húsmúla og hafa þar náð að breiðast eitthvað út á hraunið. Framburðurinn er fremur grófur, myndaður að mestu úr bólstrabrotum og móbergsmylsnu. Næst giljunum er hann ber en gróinn fjær. Vatn sprettur fram úr giljunum árið um kring en sígur í jörð í framburðinn og hraunin undir.

Grjótskriður hylja neðri hliðar móbergsfjallanna, þykkastar við fjallsræturnar. Skörp skil eru ekki á milli framburðarmyndana og grjótskriðna, þær síðarnefndu eru þó úr enn grófara efni.

Framhlaup hefur fallið niður í Innstadal ofan úr Sleggju. Framhlaupsbingurinn er um 30-40 m þykkur framan til og myndar nokkra stórgerða skára upp að sveigлага skriðufari í brún Sleggju. Í skriðufarinu hvílir nokkurra tuga metra þykk túff- og hraunlagasyrpa ofan á andesíti. Milli túffsins og andesítsins eru mjög ummynduð leirkennd

setlög. Framhlaup hafa einnig fallið vestan í Sleggju niður til Engidals, en þau eru ekki jafnungleg og framhlaupið í Innstadal. Innst í Sleggjubeinsdal sýnist skriða hafa fallið úr Stóra Skarðsmýrarfjalli þar ofan yfir sem hverirnir eru.

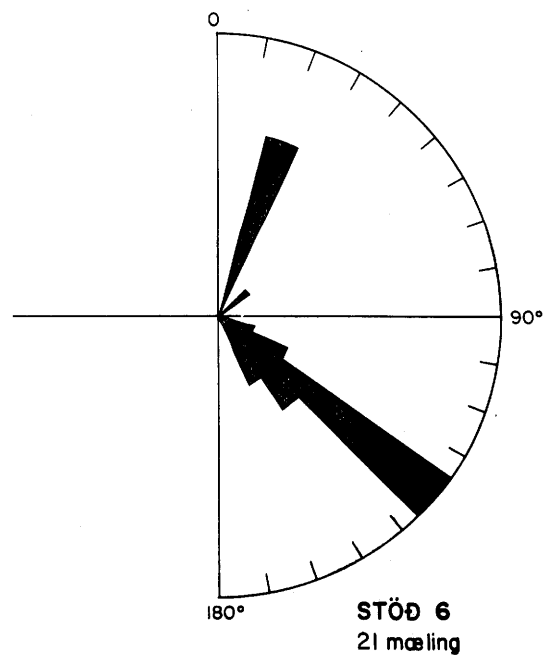
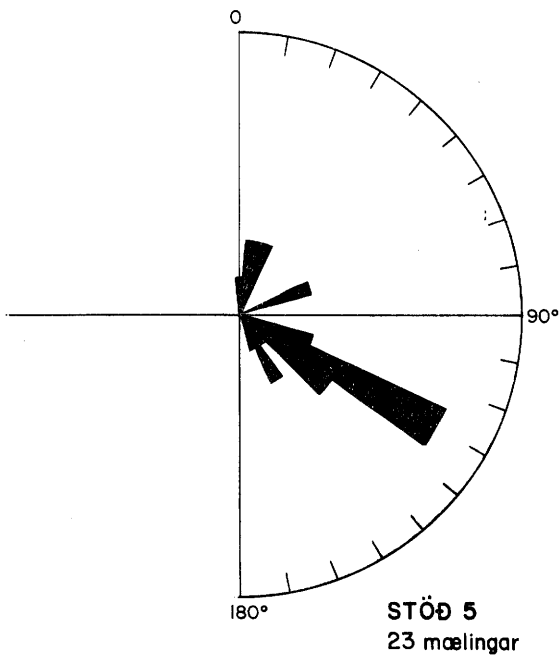
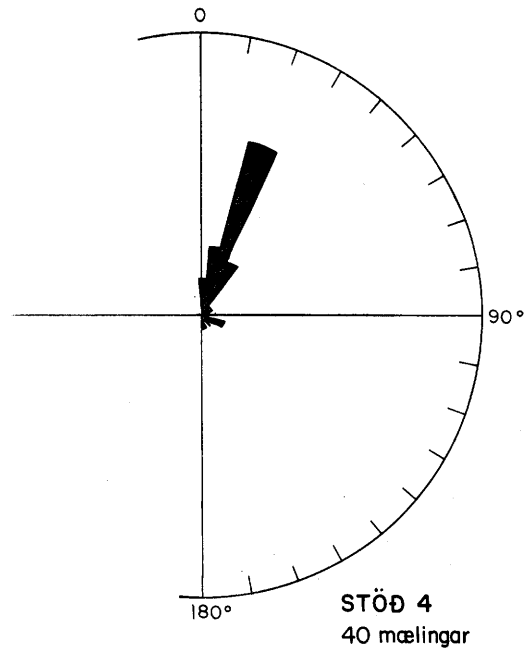
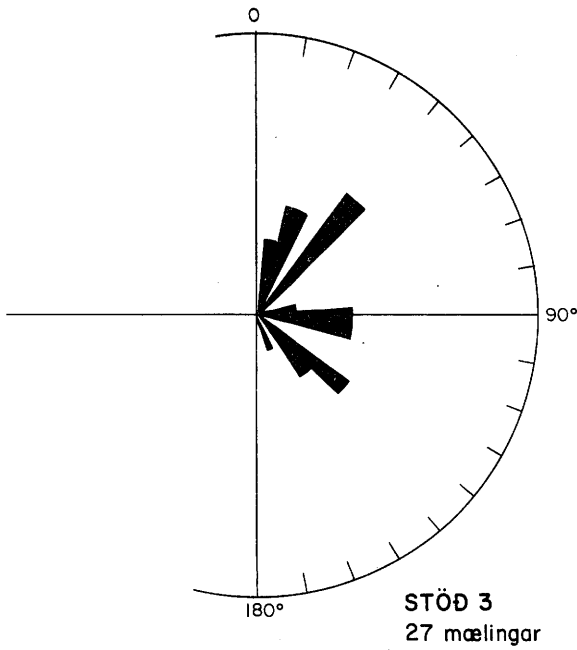
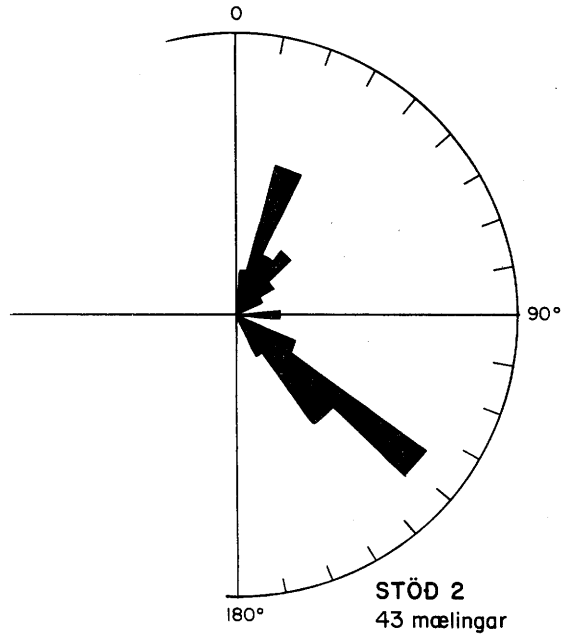
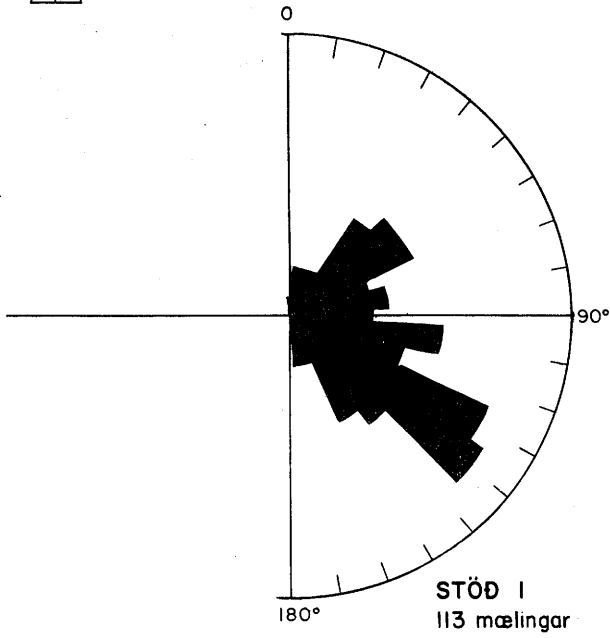
Jarðvegur. Mest af fjalllendinu er bert og gróðurlaust nema hlíðar og giljadrög. Þar tollir jarðvegur, en liggur undir áföllum af grjótskriðum og vatnsrennsli. Innstidalur má heita algróinn. Í botni hans er hraun, sem ár og lækir frá hlíðunum umhverfis hafa borið í og síðan gróið upp. Sama máli gegnir um Sleggjubeinsdal og jaðra Svínahrauns.

2.6 Misgengi og sprungur

Suðvesturhluti Henglafjalla er við jaðarinn á sprungusveimi Hengilskerfisins. Fjöldi misgengja liggur þar yfir og er meginstefna þeirra NA-SV. Meðal misgengjanna er greinilegur aldursmunur, þannig að misgengin vestan við Sleggjubeinsdal (mynd 2) sýna ekki merki um hreyfingu á nútíma. Hin sem liggja um austurbrekkur dalsins hafa hins vegar öll hreyfst á nútíma. Ekki er vitað um tíðni sprunguhreyfinga. Síðasti viðburður af því tagi varð 1789. Stærð misgengjanna er breytileg, frá innan við einn m upp í tugi m. Langstærsta misgengið liggur vestan við Sleggjubeinsdal. Sýnileg stærð þess er 60 m en líklegt er, að það sé mun stærra. Við þetta misgengi hverfur grágrýtið í Húsmúla niður fyrir botn Sleggjubeinsdals. Andesítið og líparítið í Sleggju hefur komið upp á NA-framhaldi þess. Borhola í Sleggjubeinsdal spölkorn innan við Kolviðarhól lenti í móbergi eingöngu til botns í 97,5 m dýpi. Af því má ráða, að misgengi þetta sé a.m.k. 100 m að stærð. Misgengi er líklega einnig austan við hamarinn framan í Sleggju og gengur upp Sleggjubeinsskarð að vestan og inn með Sleggju. Stærð þess er óljós. Misgengin austan í Húsmúla minna nokkuð á misgengin við SV-enda Þingvallavatns norðar í þessum sama sprungusveimi. Þar er grágrýtisdýngja frá hlýskeiði sundurríst og austurhlutinn siginn niður fyrir sjávarmál um rúma 200 m.

Misgengi koma fyrir með stuttu millibili í austurhlíðum Sleggjubeinsdals og Sleggjubeinsskarðs, yfirleitt öll með nokkurra metra sigi austanmegin. Reynt var að ákvarða halla misgengjanna, en því varð ekki komið við nema á

JHD-JK-8717 KS
83.11.1551 AA



örfáum stöðum. Reyndust þau vera á bilinu frá 90° til 80°, hallandi undir signu spilduna (þ.e. austur).

Segja má, að misgengin sem liggja um Sleggjubeinsdal marki vesturjaðar sigdældarinnar gegnum Hengil. Gossprungur í suðausturhorni kortsins (mynd 2) eru nálægt ási þeirrar sigdældar. Vitað er, að misgengin eru tilkomin við síendurteknar smáfærslur sem sést m.a. af því að sama misgengið mælist stærra eftir því sem það sker eldri myndanir. Móbergið í austurbrekkum Sleggjubeinsdals er líklega myndað seint á síðasta jökulskeiði. Undir því eru eldri myndanir, móberg og síðan grágrýti. Í þeim mætti vænta mun stærri færslu á misgengjum. Þetta er gefið til kynna skematískt á jarðlagasniði (mynd 4). Sum misgengjanna austan við Sleggjubeinsdal hafa norð-suðlæga stefnu. Sama stefna kemur fram í langási Sleggju syðst, í dreifingu líparíts sunnan við 616 m hæðina á Sleggju og misgengjum norður og upp af Sleggjubeinsdal.

Sprungur aðrar en misgengi sjást hvarvetna þar sem opnur eru á annað borð. Þær eiga sér margvíslegar orsakir. Má þar nefna samdráttarsprungur (stuðlar) vegna storknunar bergs eða þornunar, skriðsprungur tilkomnar vegna framsigs í bólstrabergs- og móbergshaugum og vegna jökulfergingar, og loks tektónískar sprungur tilkomnar vegna átaka í jarðskorpunni. Vandí getur verið að greina þarna á milli. Við sprunguathuganir var reynt að velja tektónískar sprungur úr og einungis teknar með sprungur, sem voru >5 m langar, hallandi 80-90° og beinar. Niðurstöður sprungumælinga á 6 stöðum voru teiknaðar á Wolf's net (mynd 5). Á öllum stöðunum var mælt í móbergi eða móbergstúffi. Hver athugunarstaður var 1/4-1/2 hektari að stærð. Mælt var eftir þremur 50-100 m löngum línunum, sem mættust undir 60° horni. Misgengishreyfing á sprungunum var yfirleitt ekki mælanleg.

Í öllum mælingunum kemur fram sprungustefnan N 20° A, sem er svipuð og aðalstefna misgengjanna. Einnig er NV-SA-stefna áberandi í flestum mælingunum og raunar yfirgnæfandi í sumum (nálægt N 50° V). Báðar þessar stefnur koma fyrir í misgengjum og gossprungum, NV-SA-stefna þó miklu sjaldséðari. Kemur því á óvart, hversu sterk hún reynist í sprungumælingunum. Hugsanlegt er að sprungurnar eigi að einhverju leyti rætur að rekja til jökulfargs eða jökulskriðs, meðan móbergshrúgurnar voru nýmyndaðar og efni þeirra enn að setjast til.

2.7 Jarðhiti

Í sprungusveimnum, sem liggur yfir Hengil, er jarðhiti á 12 km löngum og 3 km breiðum kafla milli Nesjalauga og Hveradala. Sleggjubeinsdalur er í vesturjaðrinum á þessu hitasvæði. Jarðhitaummerki eru nokkuð samfelld norður og austur frá Sleggjubeinsdal, en til suðurs sjást engin slík ummerki fyrr en í Hveradölum og Hverahlíð.

Innst í Sleggjubeinsdal er allmikið hverasvæði í hlíðinni austan megin og ummyndunarskellur þar í kring. Í giljunum þar neðan undir er bergið nokkuð ummyndað og móbergið neðst í hamrinum syðst á Sleggju er mjög umbreytt. Hverir eru á þremur stöðum, allt brennisteinshverir og fylgja misgengjum. Vatn sem sprettur fram í giljum þar neðan undir er að hluta til volgt. Utan í Sleggju er berg nokkuð ummyndað. Mest ber á þessu norðaustan til, þegar kemur inn undir framhlaupið. Ummyndunin í Sleggju er eldri en móbergstúffið syðst, en gengur að nokkru upp í móbergið og hraunlögin í skriðufarinu í NA-horni kortsins. Á þessu svæði sjást nú einungis ölkeldur. Þó eru allmagnaðir brennisteinshverir innst í krikanum milli Sleggju og Hengils tæpan kílómetra frá NA-takmörkum kortsins. Jarðhita verður ekki vart sunnar í Sleggjubeinsdal og ekki fyrr en kemur suður fyrir Stóra Reykjafell 3 km suðvestur fyrir brennisteinshverina í Sleggjubeinsdal. 100 m djúp borhola (boruð 1949) við Kolviðarhól reyndist köld í botn (Tómas Tryggvason í Trausti Einarsson o.fl 1951). Af yfirborðsummerkjum mætti ætla að djúpt sé á jarðhita milli Sleggjubeinsskarðs og Hveradala, sömuleiðis vestan Sleggjubeinsdals. Hinsvegar sé samfelldur jarðhiti nærri yfirborði í átt til Innstadals og Stóra Skarðsmýrarfjalls.

3 VIÐNÁMSMÆLINGAR

3.1 INNGANGUR

Á undanförnum þremur áratugum hefur viðnámsmælingum verið beitt við könnun háhitasvæða. Niðurstöður þeirra eru mjög gagnlegar við gerð líkans af jarðhitakerfi viðkomandi svæðis. Á árunum 1970-1977 var mældur fjöldi viðnámsmælinga á Hengilssvæðinu og gefa niðurstöður þeirra þokkalega heildarmynd af svæðinu. Fram kemur lágviðnámslag (< 10 ohmm) á mismunandi dýpi, sem er túlkað sem hár hiti í bergi (Axel Björnsson o.fl. 1974, Gylfi Páll Hersir 1980, Axel Björnsson og Gylfi Páll Hersir 1981). Til staðfestingar á tilvist þessa lága viðnáms undir Vestur-Hengli og til frekari könnunar á viðnámsdreifingu þar, var 10 viðnámsmælingum bætt í hópinn sumarið 1982.

Til þess að fá sem gleggsta mynd af viðnámi jarðlaga undir fyrrnefndu svæði voru 25 mælingar af svipuðum slóðum frá fyrri árum (1972, 1974 og 1975) endurtúlkaðar með aðstoð forritsins CIRCLE2. Þær niðurstöður ásamt niðurstöðum mælinganna frá 1982 voru felldar saman. Tilgangur þessarar vinnu var eftirfarandi:

- a) að staðsetja ytri mörk lágviðnámslagsins
- b) að athuga hvort það tengist misgengjum og brotum (þ.e. höggun svæðisins)
- c) að kanna breytilegt dýpi niður á lágviðnámslagið
- d) að kanna breytilegt viðnám í lágviðnámslaginu sjálfu
- e) að athuga, hvort hátt viðnám leynist undir lágviðnámslaginu.

Síðastnefnda atriðið hefur gerst æ áleitnara eftir þá reynslu, sem fengist hefur af borunum á Kröflusvæðinu og nú síðast á Nesjavöllum.

Fram til þessa hafa viðnámsmælingar verið túlkaðar einvitt þ.e.a.s. í túlkun er gert ráð fyrir, að viðnámsdreifing jarðar sé lárétt lagskipt, sérhvert lag með óendanlega útbreiðslu og hafi ákveðið viðnám og þykkt. Árið 1981 eignaðist Orkustofnun forrit, sem túlkar viðnámsmælingar tvívitt (DIM2). Með því má fá upplýsingar bæði um lárétta

lagskiptingu viðnáms og viðnámsbreytingar í eina stefnu í láréttum fleti.

Algengt er að viðnám yfirborðslaga í gosbeltinu sé 15.000 - 30.000 ohmm eða herra (þurr hraun). Á háhitasvæðum lækkar viðnám niður í fáeina ohmm í sjálfu jarðhitakerfinu. Er það vegna aukinnar ummyndunar, holrýmis, hita, lektar og/eða aukins magns uppleystra efna í jarðhitavökvanum. Þess vegna eru viðnámsmælingar einn mikilvægasti þáttur yfirborðsrannsókna á háhitasvæðum.

Hér á eftir verður fjallað um helstu niðurstöður viðnámsmælinga frá Hengilssvæðinu til þessa, sagt frá framkvæmd mælinga í Vestur-Hengli, þeim vandamálum sem þar var við að etja og greint frá niðurstöðum einvíðrar og tvívíðrar túlkunar. Að lokum eru aðalniðurstöður viðnámsmælinga frá Vestur-Hengilssvæðinu dregnar saman og reynt að tengja þær jarðhitafræðilegum þáttum, sem ákvarða gerð og lögun jarðhitasvæðis. Í viðauka I er fjallað almennt um framkvæmd viðnámsmælinga og túlkun niðurstaðna, bæði einvíða og tvívíða túlkun. Einkum er fjallað um vandamál sem tengjast framkvæmd og túlkun viðnámsmælinga á háhitasvæðum.

3.2 NIÐURSTÖÐUR VIÐNÁMSMÆLINGA

3.2.1 Fyrri niðurstöður frá Hengilssvæðinu

Á síðasta áratug voru gerðar alls 83 viðnámsmælingar á Hengilssvæðinu, þar af 65 með Schlumberger uppsetningu rafskauta og 18 með tvípól uppsetningu. Auk þess voru mældar 7 magnetotellurískar mælingar (MT-mælingar) sumarið 1976 í samvinnu við háskólann í Árósum. Sumarið 1982 voru mældar 7 MT-mælingar til viðbótar í samvinnu við Brown-háskóla á Rhode Island í Bandaríkjunum.

Sú mynd, sem viðnámsmælingar gefa af viðnámi á Hengilssvæðinu er ófullkomin og ekki treystandi nema í grófum dráttum. Er þar einkum um að kenna ófullkominni mælitækni, þegar mælingar voru framkvæmdar, of stuttum straumörmum og of fáum mælingum. Þetta á m.a. við um Vestur-Hengilssvæðið. Flestar eldri viðnámsmælingar á Hengilssvæðinu eiga það sammerkt, að straumarmar ná

HENGILL

Eðlisviðnám í Ω m á 400 m
dýpi undir sjávarmáli

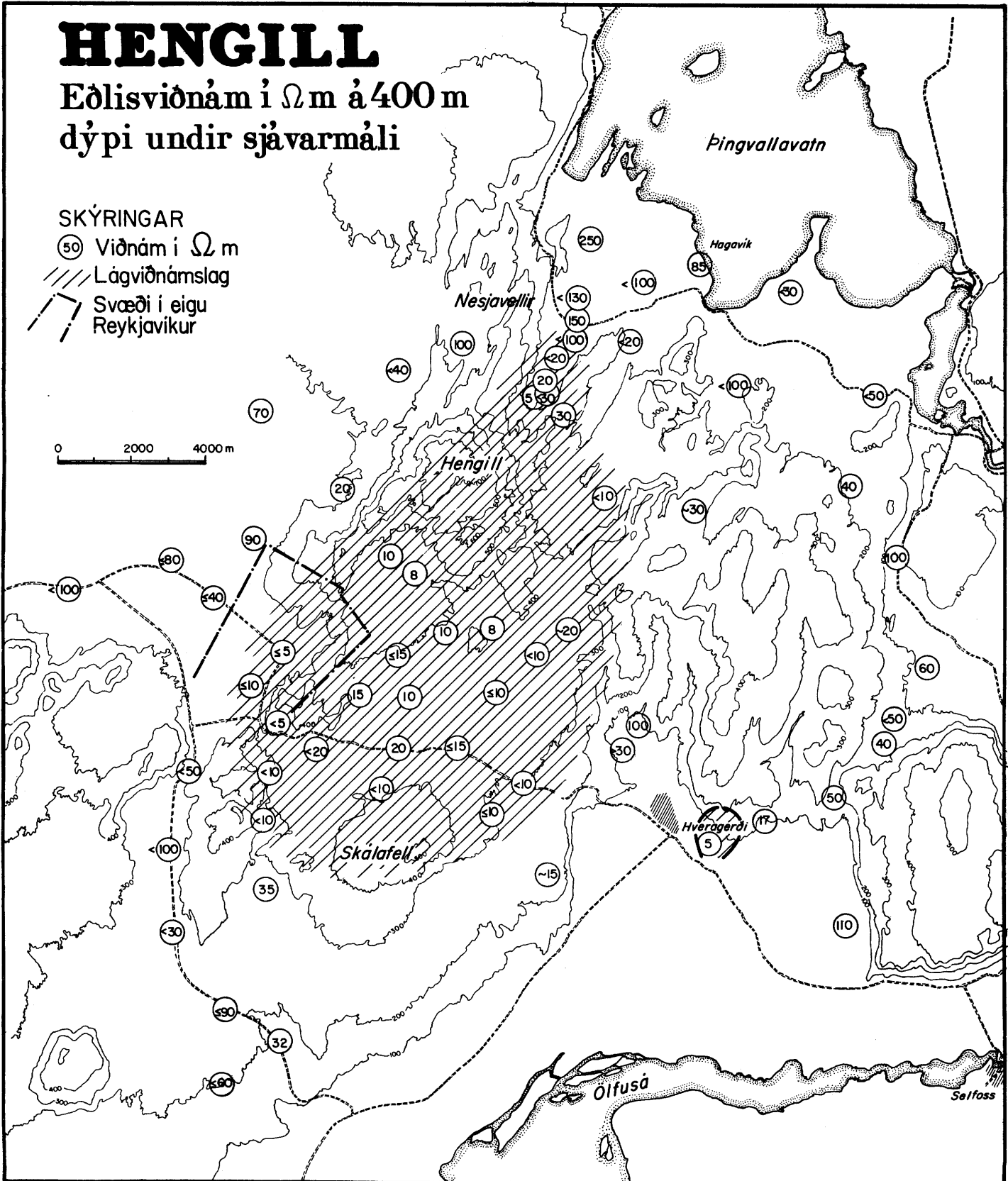
SKÝRINGAR

⊙ Viðnám í Ω m

/// Lágviðnámslag

--- Svæði í eigu
Reykjavíkur

0 2000 4000 m



'79.05.22.GPH/ÁÁ

Viðm. F 18467

Mynd 6 Eðlisviðnám í ohmm á 400 m dýpi undir sjávarmáli.

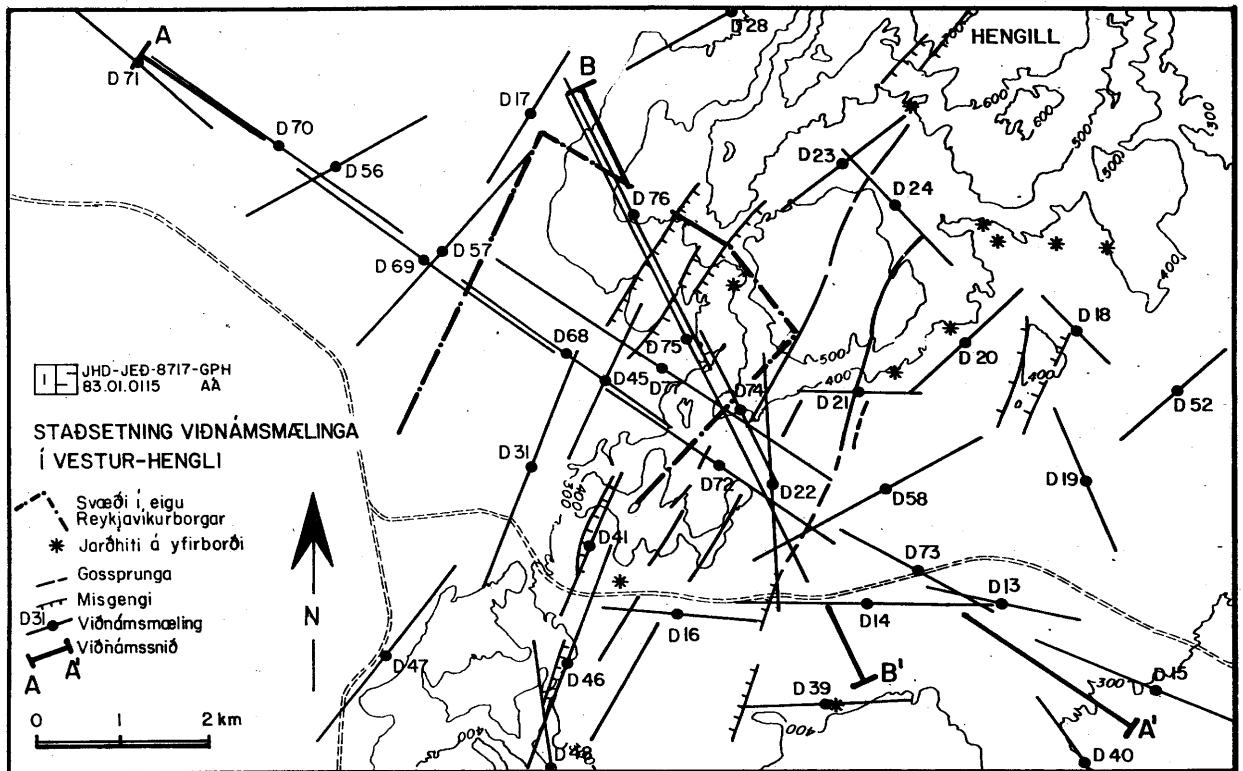
aðeins út í 900 m í stað 1500-2300 m, eins og tíðkast hefur hin seinni ár. Þetta er afar óheppilegt, þar eð oft fást ekki nægar upplýsingar um viðnám neðsta lagsins, sem hver mæling skynjar. Þegar svo stendur á er einungis hægt að fullyrða, að viðnám þess lags sé minna en ákveðið gildi (t.d. < 40 ohmm).

Mynd 6 sýnir eðlisviðnám (í ohmm) á 400 m dýpi undir sjávarmáli. Skyggða svæðið sýnir, hvar telja má fullvíst, að lágt viðnám (< 10 ohmm) sé til staðar. Flatarmál þessa svæðis er um það bil 100 ferkílómetrar. Hugsanlegt er, að svæðið sé stærra, því mörk lágviðnámsins eru sums staðar óljós. Einkum á þetta við um vestur og suðvestur hluta Hengilssvæðisins. Tilfinnanlega vantar fleiri mælingar á eystri hluta svæðisins, norðan Hveragerðis, en það er mjög torfært vegna fjalllendis. Einmitt á þessu svæði er útbreiðsla yfirborðsjarðhita hvað mest.

Með MT-mælingum má fá upplýsingar um viðnám á miklu dýpi (2-100 km). Hér á landi hafa þær einkum verið notaðar til þess að rekja hlutbráðið berglag með mjög lágu viðnámi, sem er talið tengjast mótum skorpu og möttuls. Á suðvesturlandi eykst bæði dýpi á þetta lag og viðnám í því með vaxandi aldri skorpunnar, þ.e.a.s. eftir því sem fjær dregur frá gosbeltinu (Gylfi Páll Hersir o.fl. 1984). Á Nesjavöllum er dýpi á þetta lag um 7,5 km (Gylfi Páll Hersir 1980).

3.2.2 Framkvæmd viðnámsmælinga

Af viðnámsmælingum fyrri ára eru 25 frá Vestur-Hengilssvæðinu. Nákvæm staðsetning viðnámsmælinga (Schlumberger) er gefin upp í viðauka II.1, auk ýmissa annarra upplýsinga um þær. Á mynd 7 er sýnd staðsetning viðnámsmælinga og lengd straumarma, jafnframt eru gossprungur, misgengi og yfirborðsjarðhiti sýndur. Af eldri mælingunum 25 eru aðeins 10 með straumarm lengri en 1000 m. Þá eru þær misjafnar að gæðum.



Mynd 7 Staðsetning viðnámsmælinga í Vestur-Hengli.

Viðnámsmælingarnar D68-D77 voru framkvæmdar sumarið 1982. Til þess að unnt væri að túlka þær tvívítt var ákveðið að staðsetja níu þeirra, hverja í framhaldi af annarri þvert á meginbrotastefnuna (sjá mynd 7). Annars vegar sex mælingar frá Lyklafelli að Urðarási (D68-D73) og hins vegar þrjár mælingar frá Bolavöllum að Smiðjulaut (D74-D76). Sú síðasta (D77) var mæld, þegar hinar níu höfðu verið lauslega túlkaðar. Straumarmar tveggja mælinga voru óvenjulega langir. Í mælingu D77 var straumarmurinn 2300 m og í mælingu D75 var hann 3160 m, sem mun vera lengsta Schlumberger viðnámsmæling hér á landi til þessa. Til þess að framkvæma viðnámsmælingar með mjög löngum straumörmum (þar sem sýndarviðnám er orðið afar lágt) þarf mjög nákvæm mælitæki. Þau hafa ekki verið til hér á landi fyrr en allra síðustu árin.

Vandamál tengd framkvæmd viðnámsmælinga á háhitasvæðum

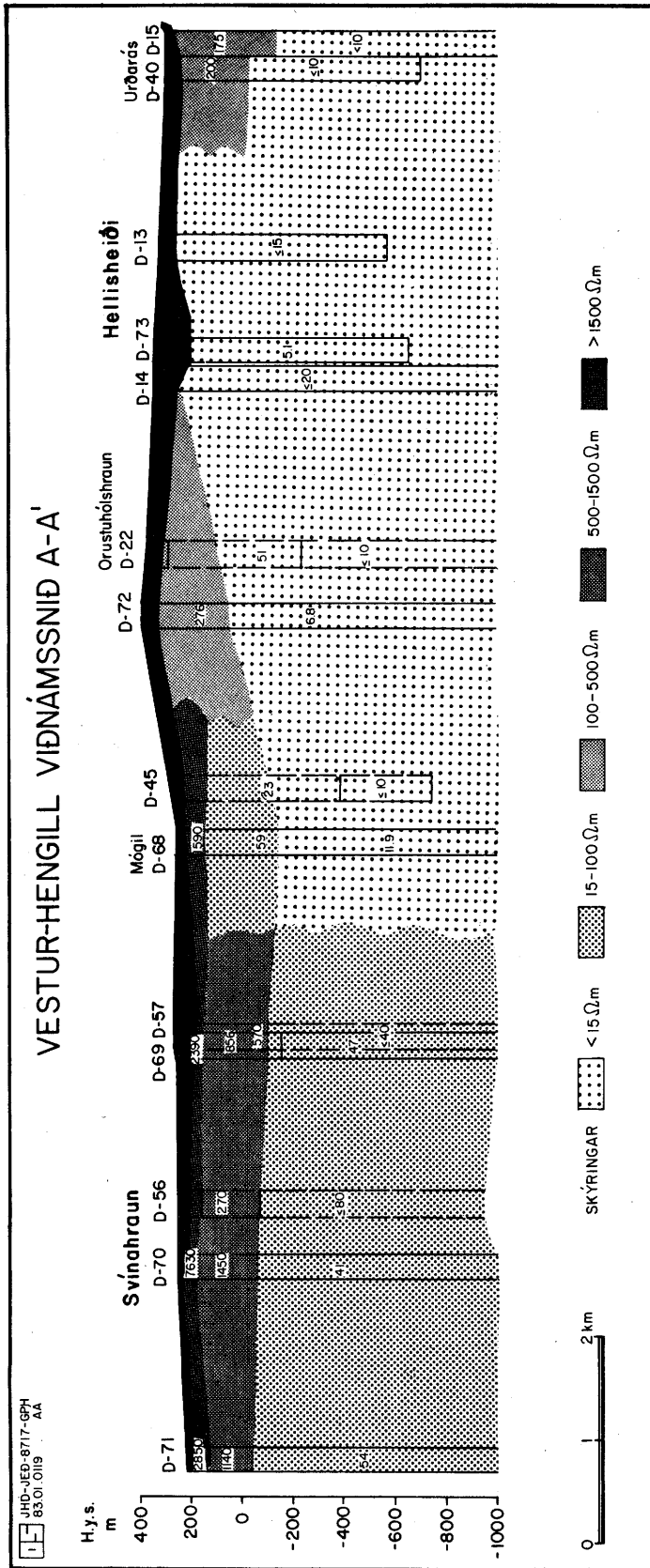
(sjá viðauka I.2.5) eru til staðar í ríkum mæli í Vestur-Hengli. Yfirborð jarðar á þessum slóðum er þakið hrauni og mosa, sem veldur lélegri leiðni milli rafskauta og móður jarðar. Auk þess hefur þurrt hraunið mjög hátt viðnám. Þar sem viðnám er mjög lágt í jarðhitakerfinu koma fram svokölluð "spennustökk" í mæliferilinn, en leiðrétt var fyrir þeim áður en túlkun hófst (sjá viðauka I.2.5). Þá var tímafrekt að framkvæma mælingarnar tvær með löngu straumörmunum. Þess má geta, að Búrfellslína II er sem næst samsíða syðri mælingunum sex. Jarðtengt er milli háspennustaura og varð því að hafa sérstaka aðgát þar (sjá viðauka I.2.3). Þegar mæling D77 var framkvæmd voru gerðar sérstakar athuganir á því, hvort sýndarviðnám breyttist um leið og straumarmar eru færðir að og frá háspennulínu. Í ljós kom, að sýndarviðnám virðist einungis breytast, ef straumarmar eru vel innan við 100 m frá henni.

3.2.3 Einvíð túlkun

Viðnámsmælingarnar 35 voru túlkaðar einvitt með aðstoð forritsins CIRCLE2, sem lýst er í viðauka I.2.2. Í viðauka II.2 eru sýndarviðnámsferlar einstakra mælinga ásamt einvíðri túlkun þeirra.

Teiknuð voru tvö viðnámssnið og er staðsetning þeirra sýnd á mynd 7. Snið A-A' er sýnt á mynd 8, en það nær frá Lyklafelli að Urðarási. Snið B-B' er sýnt á mynd 9 og nær það frá Bolavöllum að Smiðjulaut. Bæði sniðin eru teiknuð samkvæmt einvíðri túlkun þeirra viðnámsmælinga, sem eru samsíða hvoru sniðinu fyrir sig. Einvíð túlkun þeirra viðnámsmælinga, sem liggja þvert á sniðin er sett inn í kassa með brotnum línunum á myndum 8 og 9 og er ekki tekið tillit til þeirra við teikningu viðnámssniða.

Snið A-A' er teiknað samkvæmt einvíðri túlkun 10 mælinga þ.e.: D71, D70, D69, D68, D72, D14, D73, D13, D40 og D15 en snið B-B' samkvæmt einvíðri túlkun 5 mælinga þ.e.: D17, D76, D75, D74 og D22. Í báðum viðnámssniðum sést sama lágviðnámslagið og sýnt er á mynd 6 og eru ytri mörk þess til vesturs á þessu svæði nokkuð ljós. Samkvæmt sniði A-A' eru þau milli mælistaða D68 og D69 eða rétt suðvestur af Draugatjörn og samkvæmt sniði B-B' milli mælistaða D76 og D17, eða í vesturhlíðum Húsmúla. Þá grynkar á lagið eftir því sem austar dregur allt að



Mynd 8 Viðnámsnið A-A: Einvið túlkun.

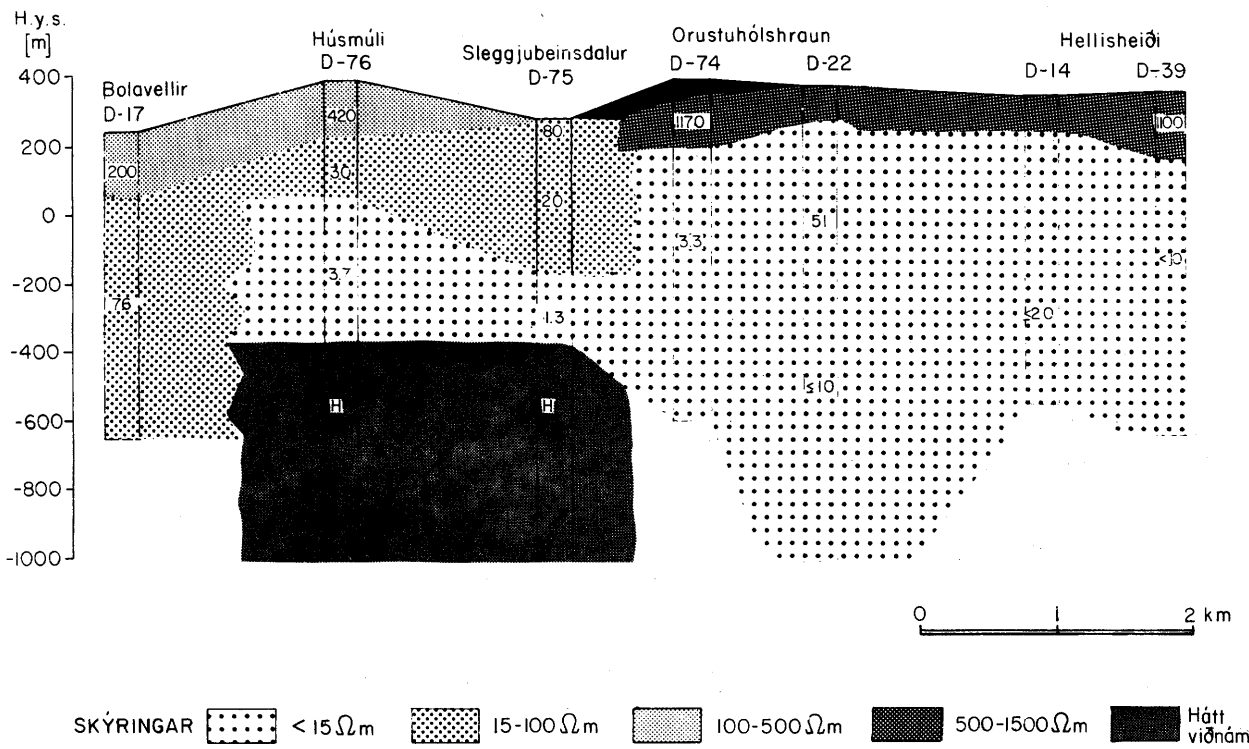
há-Hellisheiðinni, en þar er grynnt á það samkvæmt sniði A-A. Mælingar við Urðarás sýna, að austan há-Hellisheiðarinnar fer aftur að dýpka á lágviðnámslagið, enda eru þær mælingar við ytri mörk lágviðnámslagsins til austurs (Gylfi Páll Hersir 1980). Samkvæmt mælingu D75 við Sleggjubeinsdal er dýpi niður á lága viðnámið um 400 m.

Einungis þrjár mælingar eru það áreiðanlegar (m.a. vegna langra straumarma), að fullyrt verði, að einvíð túlkun sýni, að hátt viðnám er undir lágviðnámslaginu. Samkvæmt mælingu D75 (Sleggjubeinsdalur) er dýpi niður á hátt viðnám á bilinu 480-820 m, í mælingu D76 (Húsmúli) er það 570-990 m og í D77 (milli Sleggjubeinsdals og Kolviðarhóls) er það 390-840 m. Næsta ólíklegt er, að undir mælistöðunum D72 (rétt austan Hellisskarðs) og D68-D71 (vestan Kolviðarhóls) leynist líka hátt viðnám. Hins vegar verður ekkert fullyrt í þessum efnunum um mælistað D73, sem er á há-Hellisheiði og D74, sem liggur milli Orustuhólshrauns og Sleggjubeinsdals. Um það hvort hátt viðnám komi fram í eldri mælingum er lítið hægt að fullyrða. Þá ber að geta þess, að viðnám í lágviðnámslaginu undir mælistað D74 er líklega talið fulllægt. Norðvestur straumpóllinn fer niður mikla brekku af Hellisheiði í átt að Sleggjubeinsdal og síðan upp á Húsmúla. Slíkur "dalur" veldur því að mælt sýndarviðnám er lægra en raunverulegt sýndarviðnám. Samkvæmt einvíðri túlkun er viðnám í lágviðnámslaginu lægst í mælingu D75 í Sleggjubeinsdal og mælingu D77 á flötunum þar fyrir sunnan.

Í viðauka I.2.3 er fjallað um óvissur og jafngildislög í einvíðri túlkun viðnámsmælinga. Þar kemur m.a. fram, að dýpi niður á lágviðnámslagið er mjög vel ákvarðað (sjá mælingu D75). Eins og áður sagði kemur fram hátt viðnám undir lágviðnámslaginu í mælingum D75, D76 og D77. Því er lágviðnámslagið í þessum þrem mælingum svokallað s-jafngildislag, þ.e.a.s. einungis hlutfall á milli þykktar og viðnáms lagsins í þessum þrem mælingum er vel ákvarðað. Með því að hækka viðnám og auka jafnframt þykkt lagsins fæst sama niðurstaða og ef viðnám hefði verið lækkað og þykkt lagsins minnkuð (sjá nánar viðauka I.2.3). Viðnám og þykkt lágviðnámslagsins, og þar af leiðandi dýpi á háa viðnámið, er þannig afar illa ákvarðað í þessum þremur mælingum, og sömu sögu er raunar að segja um stærðargráðu háa viðnámsins. Viðnám í lágviðnámslaginu

JHD-JEÐ-8717-GPH
83.01.0118 AA

VESTUR-HENGILL VIÐNÁMSSNIÐ B-B'



Mynd 9 Viðnámssnið B-B': Einvíð túlkun.

í þessum þremur mælingum er a.m.k. minna en 6 ohmm, og minna en 2,5 ohmm í mælingu D75. Háa viðnámið er af stærðargráðunni nokkur hundruð ohmm, eða á bilinu 500 til 1000 ohmm.

3.2.4 Tvívíð túlkun

Einvíð túlkun viðnámsmælinga getur oft reynst villandi, ef viðnámsdreifing er raunverulega tvívíð eða jafnvel þrívíð þ.e.a.s. hún breytist ekki einungis með dýpi heldur líka eftir einni stefnu í láréttum fleti eða jafnvel báðum. Til dæmis er viðnám oft mismunandi sitt hvorum megin við misgengi; þar myndast viðnámsskil. Á háhitasvæðum eru yfirleitt nær lóðrétt viðnámsskil við ytri mörk lágviðnámslaga. Sýndarviðnám getur mælst ýmist herra eða lægra en það raunverulega er, ef straumarmar ná út fyrir viðnámsskil. Algengt er að fram komi eins konar brot í sýndarviðnámsferlana, þegar straumarmar eru lagðir yfir viðnámsskil (sjá t.d. sýndarviðnámsferil mælingar D75 við straumarminn AB/2=1200 m í viðauka II.2).

Þeir þættir, sem hér hafa verið raktir voru hafðir í huga við staðsetningu viðnámsmælinga í Vestur-Hengli sumarið 1982. Einkum þar sem markmið mælinganna var m.a. að staðsetja ytri mörk lágviðnámslagsins til vesturs og kanna tengsl þess við höggun svæðisins. Því voru þær staðsettar hver í framhaldi af annarri eftir viðnámsenniðunum tveim A-A' og B-B', sem sýnd eru á mynd 7. Með því að hafa þann háttinn á gafst jafnframt möguleiki á að túlka viðnámsmælingarnar tvívítt. Tvívíð túlkun viðnámsenniða A-A' og B-B' er sýnd á myndum 10 og 11.

Tvívíðri túlkun viðnámsmælinga eru gerð skil í viðauka I.2.4. Í viðauka II.3 má sjá hversu "góð" túlkunin er, hvað einstakar mælingar varðar. Til þess að fá hentugt mat á því, hvort tvívíð túlkun í heild er nægilega góð fyrir sniðin tvö eru mældir og reiknaðir sýndarviðnámsferlar birtir í viðauka II.4. Með því að bera þá saman sést að túlkunin er nokkuð góð. Athyglisvert er að bera saman melda sýndarviðnámsferilinn í mælingu D75, reiknaða sýndarviðnámsferilinn samkvæmt einvíðri túlkun (sjá viðauka II.2) og reiknaða sýndarviðnámsferilinn samkvæmt tvívíðri túlkun (sjá viðauka II.3). Brotið, sem kemur fram í melda ferlinum við staumarminn AB/2=1200 m verður engan veginn skýrt með einvíðri túlkun eins og getið var um hér

að framan. Hins vegar skýrir tvívíð túlkun þetta ágætlega. Samkvæmt tvívíðri túlkun er hátt viðnám (200 ohmm) neðan við D69. Þetta viðnámsgildi er líklega of hátt (t.a.m. í ósamræmi við jarðfræði og þyngdarmælingar). Ekki er þó talin ástæða til að eltast við frekari túlkun, þar sem mælingin er örugglega utan við lágviðnámslagið og hafði ekki sýnileg áhrif á niðurstöður túlkunar nærliggjandi mælinga.

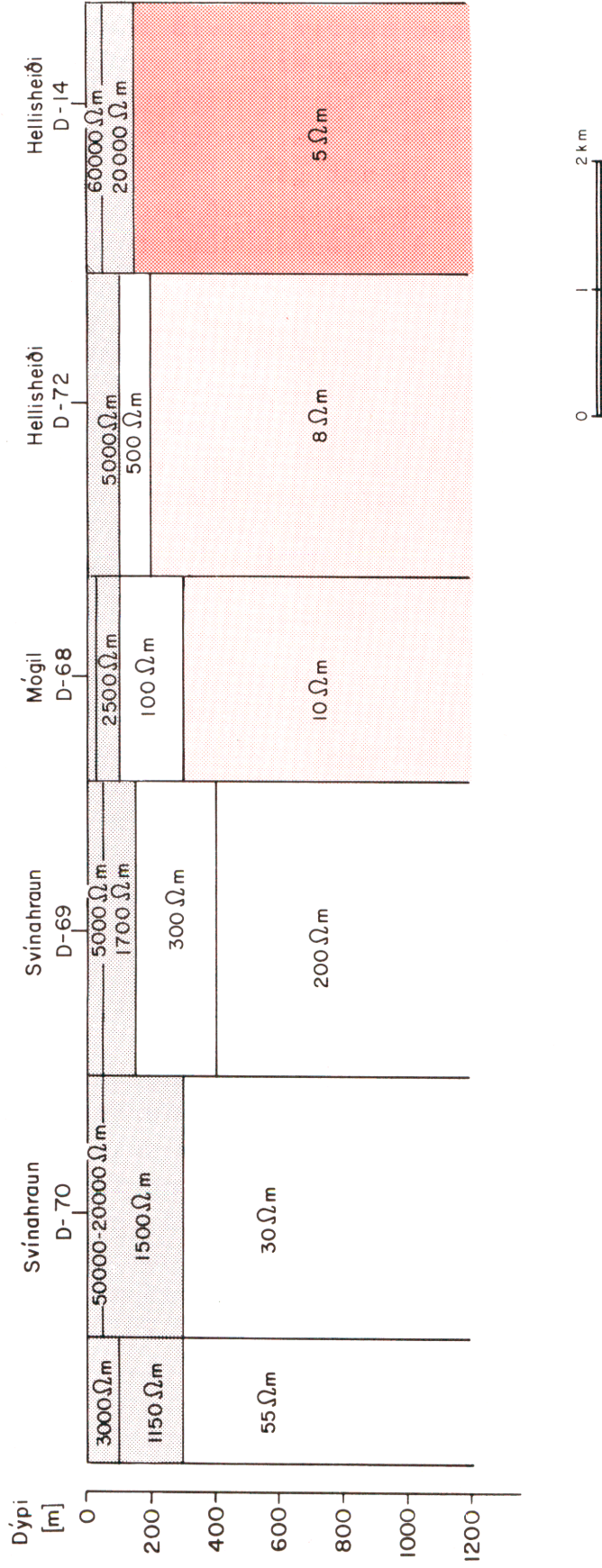
Samkvæmt tvívíðri túlkun fyrir viðnámssnið A-A' eru ytri mörk lágviðnámslagsins til vesturs milli mælistaðanna D68 og D69. Þó heldur nær D68. Viðnám í lágviðnámslaginu fer lökkandi til austurs og sömu sögu er að segja um dýpi niður á það. Við mælistað D68 suðvestur af Mógili er viðnám í lágviðnámslaginu 10 ohmm og dýpi niður á það 300 m. Á há-Hellisheiði er viðnám hins vegar komið niður í 5 ohmm og dýpi orðið 150 m.

Samkvæmt tvívíðri túlkun fyrir viðnámssnið B-B' eru ytri mörk lágviðnámslagsins til vesturs rétt austan við mælistað D17 á Bolavöllum. Viðnám í lágviðnámslaginu undir D74 er sennilega of lágt metið eins og getið var um í kaflanum hér að framan. Líklegt gildi er 2-3 ohmm. Tvívíð túlkun staðfestir niðurstöður einvíðrar túlkunar um að hátt viðnám sé neðan lágviðnáms í mælingum D75 og D76. Athyglisvert er, að samkvæmt bæði ein- og tvívíðri túlkun er mun dýpra á lágviðnámslagið í mælingu D75 við Sleggjubeinsdal en í mælingu D76 á Húsmúla. Hluti skýringarinnar felst vafalaust í hæðarmismun milli mælipunkta (sjá mynd 9). Misgengin tvö á mynd 7 (sjá ennfremur mynd 2), sem skera austurhlíðar Húsmúlans og ganga upp Sleggjubeinsskarð að vestan og inn með Sleggju hafa verið merkt inn á mynd 11. Landsspildan austan megin við þau hefur sigið miðað við spilduna vestan við misgengin. Samkvæmt jarðfræðikaflanum (2.6) er misgengið a.m.k. 100 m að stærð. Túlkun viðnámsmælinga sýnir að dýpi niður á lágviðnámslagið í mælingu D75 er um 100 m meira en í mælingu D76. Ekki er ólíklegt, að samfara því sem landsspildan hefur fallið hafi lekt svæðisins aukist. Í þessu gæti hugsanlega falist ástæðan fyrir mismunandi niðurstöðum viðnámsmælinga D75 og D76.

Dýpi á lágviðnámslagið fer lökkandi eftir því sem austar dregur samkvæmt sniði B-B' á svipaðan hátt og kom fram á sniði A-A'. Í mælistað D75 við Sleggjubeinsdal er dýpið 400 m, en við mælistaðina D74 og D22 í Orustuhólshrauni er

JHD-JED-8717-GPH
83.01.0149 AA

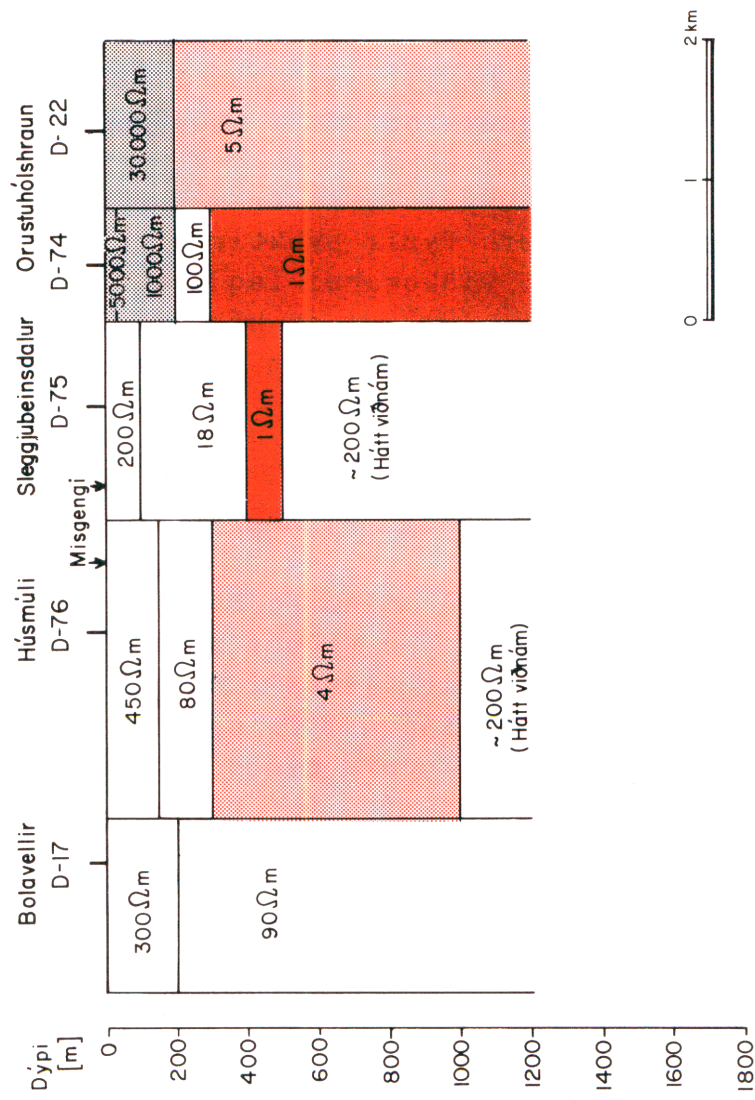
VESTUR-HENGILL SNID A-A' - TVÍVÍÐ TÚLKUN



Mynd 10 Viðnámssnið A-A: Tvívíð túlkun.

JHD-JEB-8717-GPH
 83.01.0146 AA

VESTUR-HENGILL SNIÐ B-B' – TVÍVIÐ TÚLKUN



Mynd 11 Viðnámssnið B-B: Tvívið túlkun.

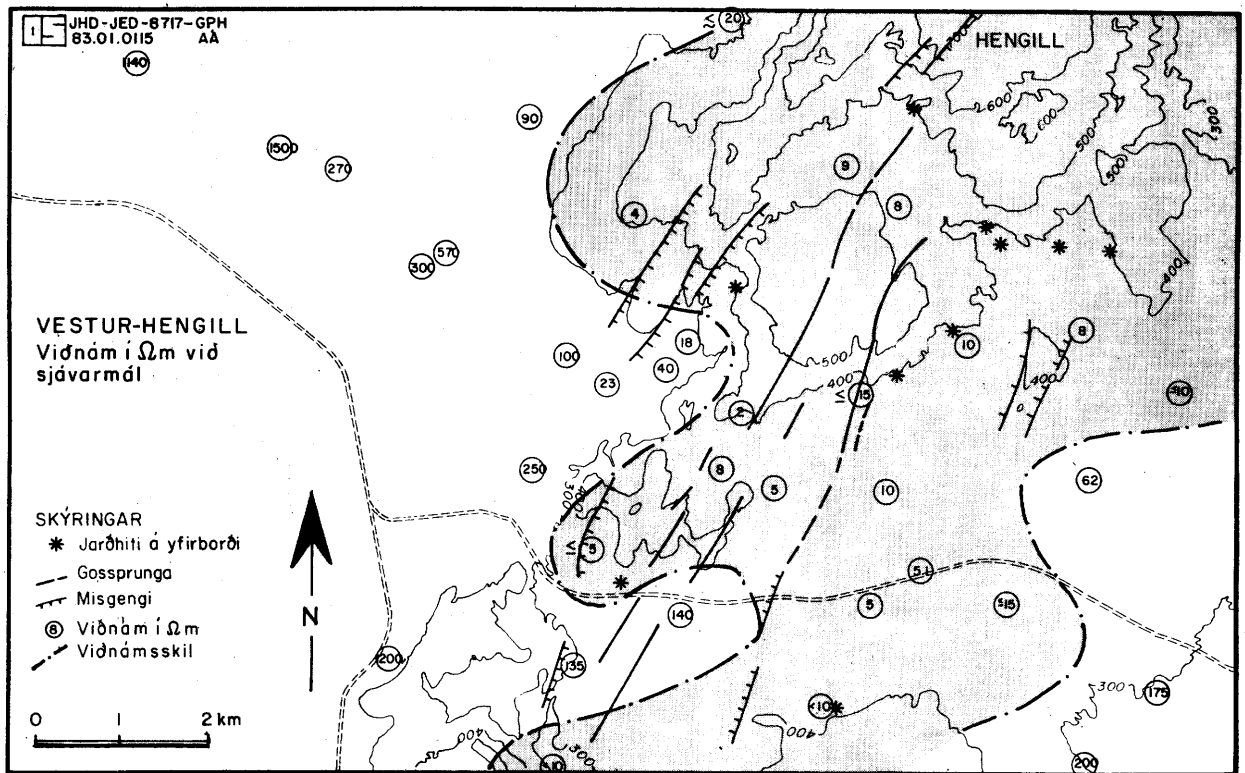
dýpið orðið 300 m og 200 m. Viðnám í lágviðnámslaginu er lægst í mælistað D75 í Sleggjubeinsdal. Þegar niðurstöður tvívíðrar túlkunar (myndir 10 og 11) eru skoðaðar ber að hafa í huga, að ekki er tekið tillit til landslagsáhrifa við túlkun. Um töluverðar hæðarbreytingar er að ræða milli mælipunkta, einkum frá Bolavöllum og Svínahrauni upp á Hellisheiði. Þá er mælistaðurinn D76 uppi á sjálfum Húsmúla. Því má gera ráð fyrir, að samkvæmt tvívíðri túlkun, liggi viðnámslögin eitthvað ofar við D17 á Bolavöllum, D68 við Mógil og D75 í Sleggjubeinsdal og neðar við D76 á Húsmúla og D74 í Orustuhólshrauni.

Að lokum skal það skýrt tekið fram, að ekki má líta á þær tölur, sem gefnar eru fyrir þykktir einstakra viðnámslaga á þann hátt, að viðkomandi lag byrji á ákveðnu dýpi og endi á ákveðnu dýpi. Heldur er hér um að ræða eins konar vegin meðalgildi viðnáms yfir ákveðið dýptarbil eins og bent er á í viðauka I.

3.2.5 Niðurstöður viðnámsmælinga

Til að átta sig betur á niðurstöðum viðnámsmælinga voru gerð þrjú kort, sem sýna viðnám á ákveðnu dýpi miðað við sjávarmál. Mynd 12 sýnir viðnám í ohmm við sjávarmál, mynd 13 á 200 m dýpi undir sjávarmáli og mynd 14 á 600 m dýpi undir sjávarmáli. Kortin eru byggð á niðurstöðum tvívíðrar túlkunar mælinganna á sniðum A-A' og B-B' (sjá mynd 9 og 10) auk einvíðrar túlkunar annarra mælinga af Vestur-Hengilssvæðinu (sjá viðauka II.2). Þessi kort sýna, hvernig lágviðnám í Hengli teygist til vesturs, mismunandi mikið eftir dýpi. Lágt viðnám er alls staðar undir, þar sem jarðhiti er á yfirborði. Lágviðnám kemur alls staðar fram innan sprungusveimsins á Vestur-Hengilssvæðinu. Við sjávarmál innan sprungusveimsins á Hengilssvæðinu er lágt viðnám, en þó eru skikar þar sem lágt viðnám er ekki til staðar á þessu dýpi. Lágt viðnám teygir sig suður eftir sprungusveimnum (sjá mynd 12). Vegna skorts á mælingum við Bruna og í Þrengslum eru mörk lágviðnámslagsins þar til vesturs óljós.

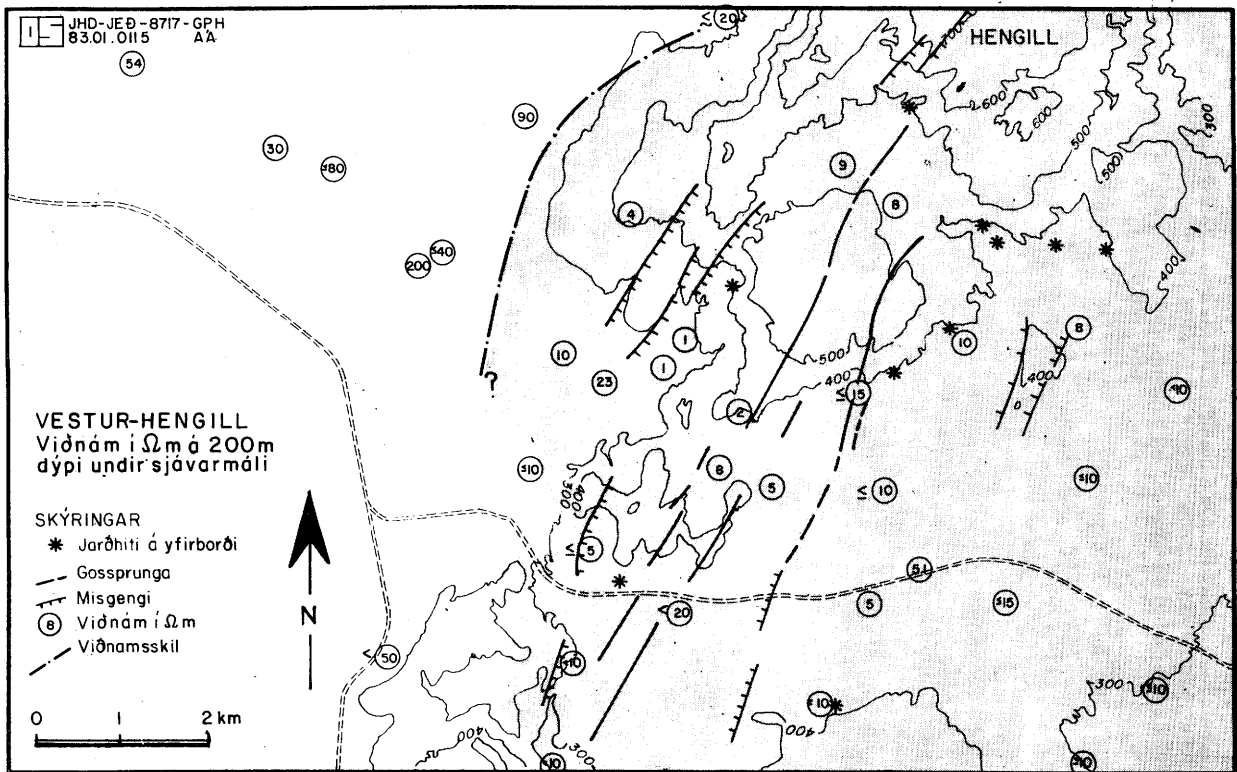
Á korti, sem sýnir viðnám á 600 m dýpi undir sjávarmáli kemur hátt viðnám fram neðan lágviðnámslagsins. Ekkert verður fullyrt um útbreiðslu þess til austurs eða



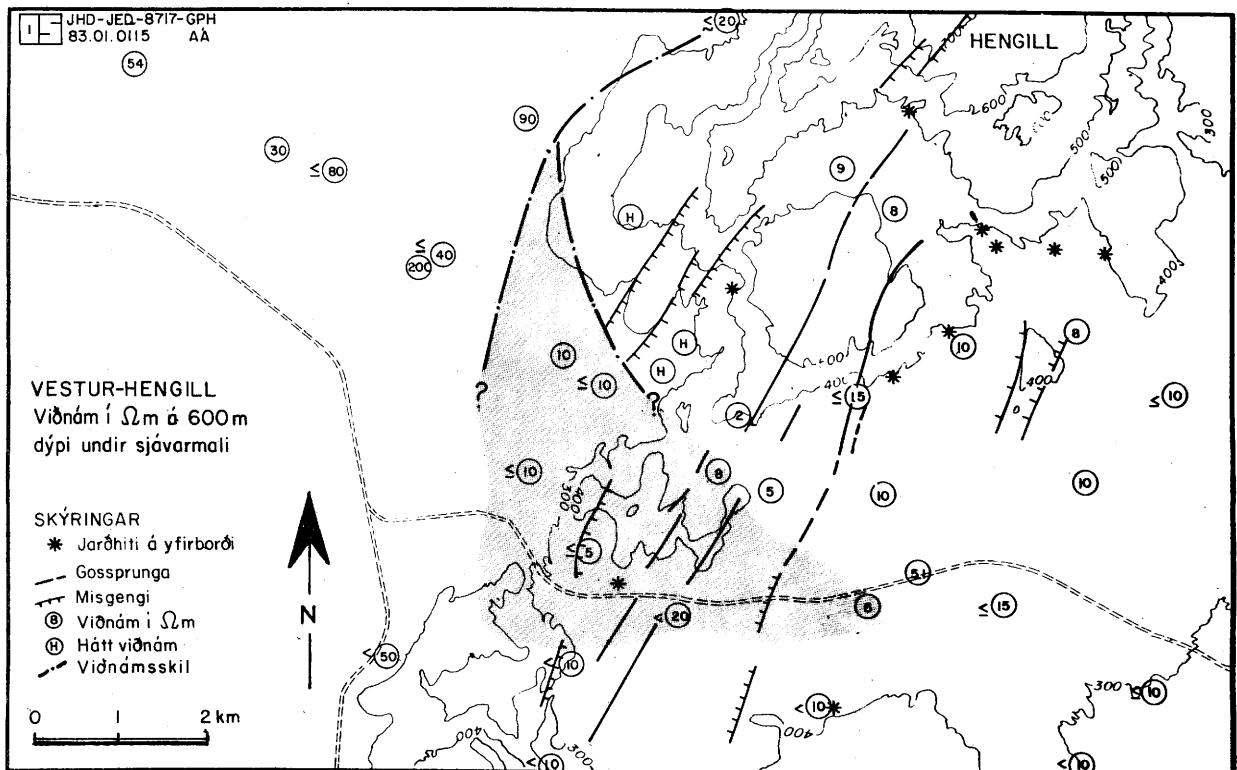
Mynd 12 Eðlisviðnám í ohmm við sjávarmál.

norðausturs. Þó ber að geta þess, að tvíþólmælingar benda eindregið til, að lagið sé undir Hengladölum og nái allt norður að Nesjavöllum og austur að Ölkelduhálsi (Gylfi Páll Hersir 1980).

Eins og kemur fram í kafla 6, er hitastig í Sleggjubeinsdal talið vera um 300°C. Samband viðnáms, hitastigs og holrýmis (poruhluta) við svo hátt hitastig er mjög flókið (Keller og Frischknecht, 1966). Enn eru engin aðlögunarlögmál (empíríulögmál) þekkt, sem gilda almennt um háhitasvæði á Íslandi. Undantekning er, þar sem viðnám jarðhitavöka er af sviðaðri stærðargráðu og viðnám sjávar (t.d. á háhitasvæðum á Reykjanesi). Á Nesjavöllum er viðnám jarðhitavökvans fimmtíu sinnum hærra en viðnám sjávar (Einar Gunnlaugsson, persónulegar upplýsingar). Því er ekki hægt að gefa upp neinar tölur í þessu sambandi heldur aðeins benda á ákveðnar tilhneigingar.



Mynd 13 Eðlisviðnám í ohmm á 200 m dýpi.



Mynd 14 Eðlisviðnám í ohmm á 600 m dýpi.

Hátt viðnám undir lágviðnámslagi á háhitasvæðum er ekki með öllu óþekkt hér á landi. Á háhitasvæðunum á Reykjanesi (Svartsengi, Eldvörpum) kemur hátt viðnám ekki í ljós undir lágviðnámi. Hátt viðnám er undir lágviðnámi bæði í Kröflu og á Þeistareykjum. Boranir eru ekki hafnar á Þeistareykjum. Í Kröflu hækkar viðnám á 1100-1200 m dýpi og er það talið stafa af auknum þéttleika innskotslaga, en sú túlkun fellur ágætlega saman við rannsóknir í borholum á Kröflusvæðinu, bæði hvað varðar jarðlög, viðnámsmælingar og ummyndun (Ragna Karlsdóttir o.fl. 1978).

Samkvæmt lauslegum útreikningum ætti minnkandi í holrými, sem veldur viðnámsþéttun af stærðargráðu 1:100 (milli mælinga D75 og D74, sjá mynd 11), að koma greinilega fram sem þyngdarsviðsaukning. Þyngdarmælingar í Vestur-Hengli (mynd 16) og óbirt þyngdarkort af Hengilssvæðinu sýna, að þyngdarsvið lækkar til austurs. Þá má geta þess, að innskotamyndun á Nesjavöllum fer ekki að gæta fyrr en á 1500 m dýpi (Valgarður Stefánsson o.fl., 1983). Því er nær útilokað, að hátt viðnám neðan lágviðnámslagsins á Vestur-Hengilssvæðinu stafi eingöngu af minnkandi holrými. Fleira þarf að koma til.

Samkvæmt Quist og Marshall (1968) hækkar viðnám mjög ört, þegar hitastig er komið upp fyrir 300°C. Eftir því sem þrýstingur er minni verður þessi breyting fyrr og viðnám vex hraðar. Þá snarhækkar viðnám um leið og fasaskipti verða í jarðhitakerfinu úr vökvafasa í gufufasa. Boranir á Nesjavöllum hafa leitt í ljós að hluti jarðhitakerfisins er í gufufasa, en þar er 300°C heitt gufulag á 900 m dýpi (Valgarður Stefánsson o.fl., 1983). Nýlegar viðnámsmælingar á sama stað sýna, að undir lágviðnámslagi (2 ohm) er hátt viðnám á 400-800 m dýpi (óbirt gögn). Bæði skýringin á mjög háum hita og hin um fasaskiptin eru vel hugsanlegar. Til útskýringar á tilvist háa viðnámsins í Vestur-Hengli.

Meginniðurstöður viðnámsmælinga frá Vestur-Hengilssvæðinu má draga saman á eftirfarandi hátt:

1. Lágviðnámslag (< 10 ohm) kemur fram á suðvestur hluta Hengilssvæðisins á mismunandi dýpi og tengist það háhitasvæðinu í Hengli. Dýpi niður á lágviðnámslagið fer lækkandi eftir því sem austar

dregur, nær há-Hellisheiðinni. Ytri mörk þess til vesturs liggja um vesturhlíðar Húsmúla og rétt suðvestur af Draugatjörn. Almennt lækkar viðnám til austurs, en þó mældist viðnám í lágviðnámslaginu lægst í Sleggjubeinsdal og á flötunum þar fyrir sunnan. Að öðru leyti fer viðnám í laginu lökkandi til austurs. Lökkun á viðnámi verður að öllum líkindum vegna vaxandi hitastigs og/eða aukins holrýmis (poruhluta) bergs.

2. Lágviðnámslag kemur fram í öllum sprungusveimnum á suðvestur hluta Hengilssvæðisins og undir þeim yfirborðsjarðhita sem þar hefur fundist. Dýpra er á lágviðnámslagið austan misgengjanna við Sleggjubeinsdal en vestan megin við þau. Þessi dýptarmunur er álíka mikill og nemur falli misgengjanna. Það bendir til þess að þar hafi lekt svæðisins aukist.

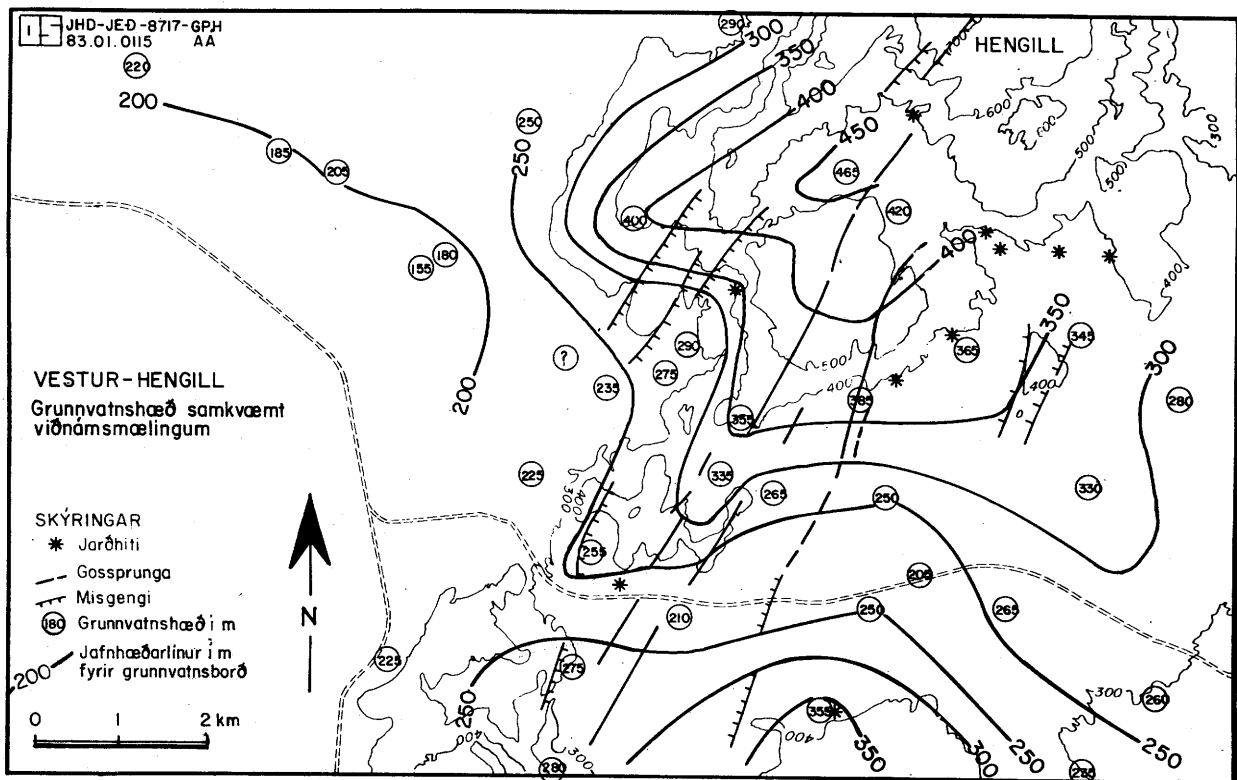
3. Túlkun viðnámsmælinga frá Húsmúla, við Sleggjubeinsdal og á flötunum milli Sleggjubeinsdals og Kolviðarhóls sýna, að undir lágviðnámslaginu á þessum þrem svæðum er hátt viðnám á u.þ.b. 500-800 m dýpi. Innskotavirkni ein sér skýrir tæplega þessa viðnámsþækkun, þar sem þyngdarmælingar gefa ekkert slíkt í skyn. Engu að síður getur hún átt þar hlut að máli. Þá getur skýringarinnar verið að leita í háu hitastigi og/eða að hluti jarðhitakerfisins sé í gufufasa.

4 GRUNNVATNSHÆÐ

Nota má viðnámsmælingar til þess að reikna út grunnvatnshæð. Við kaldvatnsöflun kemur sér vel að vita hver hún er. Freyr Þórarinsson (1981) hefur birt grunnvatnskort af Hengilssvæðinu útfrá niðurstöðum handtúlkaðra viðnámsmælinga. Þar sem þær hafa verið endurtúlkaðar í tölvu og 10 mælingar best í hópinn var ákveðið að gera sérstakt grunnvatnshæðarkort fyrir suðvestur hluta Hengilssvæðisins. Við ákvörðun grunnvatnshæðar var höfð hliðsjón af legu tjarna, lækja og spræna á svæðinu. Miðað var við að viðnám í grunnvatni svæðisins væri af stærðargráðunni 500-1500 ohmm. Oft er álitamál við hvaða viðnámslag grunnvatnsborð er. Reynt hefur verið að meta dýpi niður á grunnvatnsborð og sést árangurinn á töflu 2 og mynd 15. Þar sem hér er um óbeinar mælingar að ræða ber að taka þeim með hæfilegum fyrirvara.

Túlkun mælinganna bendir til að grunnvatnshæð fylgi landslagi og teygi sig auk þess suður eftir sprungusveimnum. Jafnframt kemur greinilega í ljós "grunnvatnsdalur" milli Skálafells og Skarðsmýrarfjalls. Hann liggur þvert yfir miðjan sprungusveiminn. Bent hefur verið á tvo möguleika þessu til útskýringar (Freyr Þórarinsson, 1981). Annars vegar, að á milli móbergsfjallanna Skálafells og Skarðsmýrarfjalls sé uppfylling úr basalthraunum, sem eru mun lekari en móbergið. Hins vegar, að um sé að ræða brotasvæði með aukinni vatnsleiðni eftir stefnu brotanna. Jafnframt benda þessar niðurstöður til þess, að jarðhitavatn úr sunnanverðum Hengli renni til jarðhitasvæðisins í Hveragerði.

Við nánari athugun á mynd 15 og töflu 2 má sjá, að dýpst er á grunnvatnsborð í Svínahrauni og Orustuhólshrauni, enda má búast við að lekt sé þar tiltölulega mikil. Sömuleiðis er dýpra á grunnvatn innan sprungusveimsins en utan hans, enda einkennist sprungusveimur af miklum brotum. Þá er grunnt á grunnvatnsborð í Hengladöllum, við rætur Skarðsmýrarfjalls (milli hrauns og hliðar) og við rætur Húsmúla. Þetta á jafnframt við um Sleggjubeinsdal og nánasta umhverfi hans, samanber mælingar D75-D77. Enda er Draugatjörn þarna rétt hjá sem og ýmsar sprænur sem renna úr giljunum.



Mynd 15 Grunnvatnshæð í Vestur-Hengli.

Eins og áður var getið má ekki treysta um of á grunnvatnshæðarkort. Bæði er, að um óbeinar mælingar er að ræða og eins hitt, að grunnvatnsborð getur verið falskt. Á háhitasvæðinu við Trölladyngju á Reykjanesi var borað eftir köldu vatni síðastliðið sumar (1983) í samræmi við grunnvatnshæðarkort, sem gert var út frá niðurstöðum viðnámsmælinga. Við borun kom hins vegar í ljós falskt "grunnvatnsborð" og lá raunverulegt grunnvatnsborð mun dýpra.

Sem dæmi um útreikning grunnvatnshæðar samkvæmt viðnámsmælingum er tekin viðnámsmæling D74 í Orustuhólshrauni (sjá viðauka II.2). Samkvæmt túlkun hennar eru þunn yfirborðslög ofan við 11.2 m þykk og þurr hraunlög með 27200 ohmm viðnámi. Fyrir neðan þetta viðnámslag eru tvö millilög með 2430 ohmm viðnámi og 1170 ohmm viðnámi. Þau eru 34.5 m og 154 m þykk. Þar fyrir neðan er sjálft

jarðhitakerfið með 3.3 ohmm viðnámi. Í þessari mælingu er grunnvatn talið vera neðan við þurru hraunlögin og efst í 1170 ohmm laginu. Efra millilagið hefur of hátt viðnám til þess að geta talist vatnsmettað. Grunnvatnshæðin er því samkvæmt þessari viðnámsmælingu: Hæð mælingar yfir sjávarmáli, sem er 400 m (sjá viðauka II.1), að frádregnum 45.7 m eða u.þ.b. 355 m.

TAFLA 2 Grunnvatnshæð í Vestur-Hengli.

Mæling:	Hæð yfir sjávar- máli:	Grunn- vatns- hæð:	Mæling:	Hæð yfir sjávar- máli:	Grunn- vatns- hæð:
	m	m		m	m
D13	330	265	D45	260	235
D14	350	250	D46	300	275
D15	300	260	D47	270	225
D16	350	210	D48	300	280
D17	250	250	D52	370	280
D18	350	345	D56	250	205
D19	340	330	D57	260	180
D20	370	365	D58	370	250
D21	390	385	D69	260	155
D22	380	265	D70	250	185
D23	470	465	D71	220	220
D24	440	420	D72	400	335
D28	290	290	D73	350	205
D31	270	225	D74	400	355
D39	360	355	D75	290	290
D40	300	235	D76	400	400
D41	320	255	D77	275	275

5 ÞYNGDARMÆLINGAR

5.1 Inngangur

Þyngdarmælingar voru gerðar í mælilínu suðvestan Henglafjalla til að kanna misgengi í austanverðum Húsmúla (sjá mynd 2). Auk þess var ætlunin að reyna að finna hvort stór misgengi væri að finna vestan hans, en engin ummerki sjást um slíkt á yfirborði. Mælt var þvert á brotastefnu Hengils-sprungusveimisins, en meginstefna þeirra brota er NA-SV.

Með þyngdarmælingum er mæld þyngdarhröðun á yfirborði jarðar. Þyngdarhröðun er aðallega háð massadreifingu í jörðu undir athugunarstað og hæð hans yfir sjó (fjarlægð frá massamiðju jarðar). Til þess að þyngdargildi mismunandi mælistöðva innan athugunarsvæðis verði sambærileg eru gerðar ýmsar leiðréttingar á mældum þyngdargildum (sjá töflu 3). Leiðrétt er fyrir hæð mælistöðva með því að miða allar mælingar við sjávarmál. Einnig er leiðrétt fyrir þeim massa sem er milli sjávarmáls og mælistöðvar. Gerð er landslagsleiðrétting til að leiðrétta fyrir breytilegu landslagi (fjöllum, dölum) umhverfis mælistöð og auk þess er leiðrétt fyrir breytilegri staðsetningu (breidd) mælistöðva. Árangur þessarar athugana á Vestur-Hengilssvæðinu er sýndur með þyngdarmælilínu (Bouguer-línu) er sýnir massadreifingu í jörðinni.

5.2 Mælingar og úrvinnsla þyngdarmælinga

Þyngdarmælingarnar í Vestur-Hengli hófust síðla árs 1982 og lauk 1983. Mælt var meðfram Búrfellslínu II frá Hellisheiði, þar sem raflínan fer yfir þjóðveginn, og vestur fyrir Svínahraun, alls 29 mælistöðvar á um 11 km langri mælilínu. Við mælingar í Vestur-Hengli var miðað við mælistöð FM5451 á Skólavörðuholti í Reykjavík. FM5451 er í landsneti þyngdarmælinga og hefur þyngdargildið: 982273,69 mgal. Beinir aflestrarar þyngdarmælis eru umreiknaðir í mgal (1 mgal = 10 m/s) og leiðrétt er fyrir aðdráttarafli tungls og sólar (earth tide correction). Eftir þessar leiðréttingar er rek í þyngdarmælinum jafnað línulega.

Öll þyngdargildi voru umreiknuð í Bouguergildi, þar sem notuð var líkingin :

$$g_B = g_M + g_h + g_\rho + g_L + g_N$$

Hér er g_B Bouguer gildi í mgal.

g_M er mælt gildi leiðrétt fyrir reki, flóði og fjöru og heimfært á íslenska landsnetið (Guðmundur Pálmason o.fl. 1973).

g_h er hæðarleiðrétting, $g_h = 0,3086 * h$, þar sem h er hæð í metrum. Hæð mælistöðvar er fengin úr töflum um Búrfellslínu II frá Landsvirkjun.

g_ρ er leiðrétting vegna massa sem er milli mælistöðvar og sjávarmáls. $g_\rho = -0,04191 * \rho * h$, þar sem ρ er eðlismassi í g/cm^3 . Við útreikninga í Vestur-Hengli var allstaðar notaður eðlismassinn $\rho = 2,3 g/cm^3$.

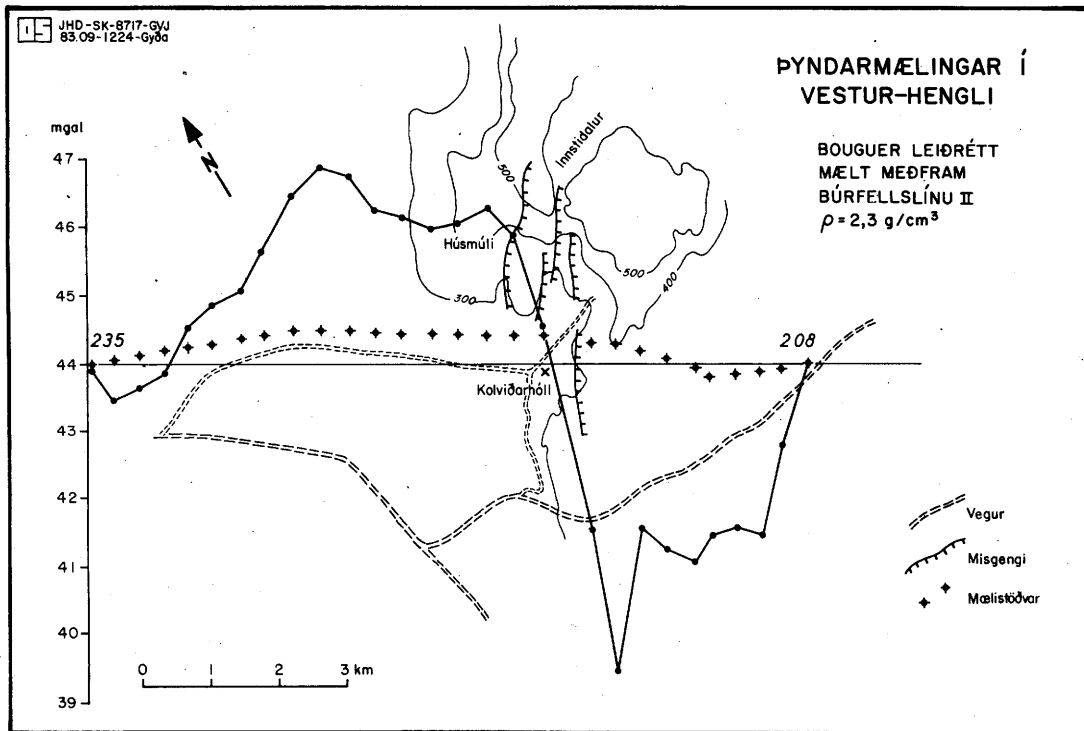
g_L er landslagsleiðrétting, sem er gerð vegna þyngdaráhrifa umhverfisins (fjalla, dala o.s.frv.) á mælistöð. Á Vestur-Hengilssvæðinu var þessi leiðrétting einungis reiknuð út í um 4,5 km fjarlægð frá hverri mælistöð.

g_N er leiðrétting vegna mismunandi legu mælistöðva.

$g_N = 978,0490 (1 + 0,0052884 \sin^2\phi - 0,000059 \sin^2 2\phi)$ í gal, þar sem ϕ er norðlæg breidd mælistöðvar. Niðurstöður útreikninga ásamt ýmsum upplýsingum um mælistöðvar er að finna í töflu 3.

5.3 Niðurstöður og túlkun þyngdarmælinga

Niðurstöður þyngdarmælinganna eru sýndar á mynd 16. Á myndinni ber mest á þyngdarmun milli svæðisins norðvestan Húsmúla og svæðisins suðaustan hans. Milli þessarra svæða er greinileg samsvörun milli lökkunar þyngdar og legu stórra misgengja m.a. í austanverðum Húsmúla. Þetta má túlka á þann veg, að þegar komið er inn í sprungubeltið verður berg léttara vegna aukins hlutfalls móbergs og gropins bergs, sem fyllir sigspilduna í miðju Hengils-sprungusveimsins. Annar aðaltilgangur þyngdarmælinganna var að kanna hvort stór misgengi væri að finna vestan Húsmúla, en ummerki um þau sjást ekki á yfirborði. Í ljósi þessar þyngdarmælinga verður að telja að svo sé ekki.



Mynd 16 Þyngdarmælingalína um Vestur-Hengil.

Unnið er að gerð þyngdarkorts af öllu Hengilssvæðinu. Samkvæmt því er ljóst að þyngdarlægð er yfir Hengilssvæðinu í heild (óbirt gögn Orkustofnunar). Sprungubeltið um vestanvert Hengilssvæðið kemur fram sem enn dýpri lægð, um 3-4 km á breidd innan aðallægðarinnar, en breidd sprungusveimsins hér er um 4 km (kaflí 2). Suðvestan Húsmúla er lítilsháttar hæð í þyngdarsviðinu. Þyngdarmælingalínan er í góðu samræmi við þetta.

Þyngdarmælingalínuna í heild má því skýra út frá jarðfræði svæðisins (sbr. 2. kaflí t.d. mynd 4): lág þyngdargildi eru þar sem móberg er ríkjandi en hærri þyngd er yfir hraunlögum. Vesturhluti mælingunnar liggur norðan móbergsfjalla Bláfjallasprungusveimsins og því líklegt að þyngdarlægðin þar stafi af móbergshryggjum í framhaldi þeirra. Þetta svæði er nú allt þakið nýlegum hraunum. Suðvestan Húsmúla er hæð í þyngdarsviðinu, en Húsmúli er

grágrýtisdýngja og elsta myndun á svæðinu; þyngdarhæðin gæti staðið í sambandi við aukið hlutfall hraunlaga þar. Austar tekur sprungubeltið við, og þar sjást veruleg skil í þyngdarmælingum, viðnámsmælingum og jarðfræði.

Gerð var tilraun til að meta eðlismassa svæðisins með aðferð er kennd er við Nettleton. Aðferðin byggist á því að reikna út Bouguer gildi fyrir mælistöðvar á mælilínunum, er liggja yfir fjöll eða stalla í landslagi, og nota til þess mismunandi eðlismassa (t.d. $\rho = 2,0 \text{ g/cm}^3, 2,1 \dots 3,0 \text{ g/cm}^3$). Sá eðlismassi, sem gefur minnsta samsvörun við hæðarbreytingu er talinn bestur. Í mælilínunni yfir vesturhluta Hengilssvæðisins kom í ljós, að ekki var hægt að skýra þyngdarlægðina með landhæðarbreytingum, en skilyrði þess er að einn eðlismassi sé á öllu svæðinu.

5.4 Þyngdar- og hæðarmælingar vegna vinnslu jarðvarma

Til að fylgjast með nýtingu jarðvarma og spá fyrir um hugsanlegt landssig af hennar völdum er víða farið að þyngdar- og hæðarmæla á háhitasvæðum. Þessar mælingar eru gerðar í neti með föstum mælistöðvum. Með endurteknum þyngdarmælingum á sama stað má finna mjög nákvæmlega breytingar á þyngdarsviðinu. Þessar þyngdarbreytingar má skýra með breytingu í hæð lands og/eða breytingu á massadreifingu undir athugunarstað, og er þá gert ráð fyrir að önnur áhrif séu hverfandi eða þá leiðrétt er fyrir þeim. Sé hæðarmælt og þyngdarmælt samtímis má reikna fræðilega út þann hluta þyngdarbreytingarinnar sem stafar af hæðarbreytingu lands. Með þessu móti er hægt að fá hugmynd um massabreytingar vegna nýtingar svæðisins.

Ástæða er til að leggja áherslu á, að þær mælingar sem nú hafa verið gerðar koma ekki að gagni í þessum tilgangi og verða ekki grunnur fyrir síðari mælingar. Æskilegt er að setja út net mælistöðva í Vestur-Hengli og þyngdar- og hæðarmæla í því. Þetta net gæti t.d. verið tvær mælilínur, hornréttar hvor á aðra, ásamt nokkrum mælistöðvum utan og innan væntanlegs vinnslusvæðis. Þessar mælilínur þurfa að ná 7-8 km út fyrir vinnslusvæðið og helst þyrfti það að tengjast öðrum eldri og væntanlegum mælilínum á Hengilssvæðinu (Nesjavellir, Innstidalur). Slíkt mælinet þarf að setja út áður en boranir hefjast.

Tafla 3 Þyngdarmælingar meðfram Búrfellslínu II
í Vestur-Hengli.

Stöðvar	Hnit mælistöðva		hæð	$G_{mælt}$	G_N	G_L^*	G_B^*
	breidd	lengd	m				
Búrfellslína II mastur nr.							
208	64°01'19"	21°19'27"	354.1	982194.08	982225.333	0,10	44.0
209	64°01'24"	21°19'53"	359.7	- 191.69	- 225.433	0,13	42.7
210	64°01'28"	21°20'15"	365.6	- 189.18	- 225.511	0,14	41.4
211	64°01'33"	21°20'40"	374.0	- 187.60	- 225.611	0,13	41.5
212	64°01'39"	21°21'06"	382.4	- 185.85	- 225.732	0,10	41.4
213	64°01'45"	21°21'14"	382.3	- 185.63	- 225.853	0,10	41.0
214	64°01'56"	21°21'36"	383.3	- 185.71	- 226.067	0,18	41.2
215	64°02'06"	21°21'58"	385.6	- 185.59	- 226.267	0,30	41.5
216	64°02'15"	21°22'16"	400.5	- 179.70	- 226.445	1,15	39.4
217	64°02'22"	21°22'38"	392.6	- 182.35	- 226.581	2,35	41.5
218	64°02'36"	21°23'21"	268.7	- 213.63	- 226.858	0,74	44.5
219	64°02'43"	21°23'45"	266.2	- 215.62	- 227.001	0,72	45.8
220	64°02'50"	21°24'12"	255.0	- 218.86	- 227.136	0,41	46.2
221	64°02'58"	21°24'36"	253.9	- 219.11	- 227.293	0,32	46.0
222	64°03'04"	21°25'02"	257.0	- 218.57	- 227.414	0,22	45.9
223	64°03'13"	21°25'29"	256.2	- 219.15	- 227.592	0,17	46.1
224	64°03'19"	21°25'52"	254.7	- 219.78	- 227.713	0,11	46.2
225	64°03'26"	21°26'17"	252.7	- 220.88	- 227.849	0,09	46.7
226	64°03'33"	21°26'43"	248.7	- 221.95	- 227.991	0,06	46.8
227	64°03'40"	21°27'09"	251.2	- 221.17	- 228.126	0,03	46.4
228	64°03'46"	21°27'36"	248.8	- 221.05	- 228.247	0,02	45.6
229	64°03'50"	21°28'02"	246.9	- 220.87	- 228.326	0,06	45.0
230	64°03'55"	21°28'32"	241.0	- 222.06	- 228.425	0,01	44.8
231	64°03'59"	21°28'55"	239.3	- 222.20	- 228.504	0,05	44.5
232	64°04'03"	21°29'21"	234.1	- 222.69	- 228.582	0,02	43.8
233	64°04'07"	21°29'47"	223.5	- 224.83	- 228.660	0,05	43.6
234	64°04'13"	21°30'13"	216.0	- 226.34	- 228.781	0,05	43.4
235	64°04'16"	21°39'35"	213.7	- 227.37	- 228.838	0,05	43.9

* landslagsleiðrétting nær út í um 4.5 km

* gert fyrir $\rho = 2,3 \text{ g/cm}^3$

6 SAMSETNING GASS Í VESTUR-HENGLI

6.1 Inngangur

Hitaveita Reykjavíkur hefur unnið í samvinnu við Raunvísindastofnun Háskólans að efnagreiningum á gasi í Hengli. Tilgangurinn var fyrst og fremst að fá heildarmynd af samsetningu gass í Henglinum, en jafnframt að fá einhverja vitneskju um svæðið í Sleggjubeinsdal og nágrenni, vegna staðsetningar borholu á þeim slóðum.

Í Henglinum er talið að séu um 60 gufuaugu eða gufuaugnaþyrpingar, en í Sleggjubeinsdal er aðeins eitt gufuaugnasvæði. Þegar hefur verið safnað hátt í 60 sýnum af gasi og gufu víðs vegar af Hengilssvæðinu. Fáeinir staðir eru enn eftir til að fylla í myndina. Þessi samantekt segir frá efnafræðilegum tengslum jarðhitavirkinnar í Sleggjubeinsdal við aðra jarðhitastaði í Hengli.

6.2 Aðferðir

6.2.1 Söfnun sýna

Gufu og gasi var safnað á þann hátt, að plasttrekt var sett yfir gufuúfstreymin og leir settur að til þéttingar. Gastúpa með "neftappa" (septum) var lofttæmd með því að láta gufu streyma í gegnum túpuna og hún þannig hituð. Túpunni var síðan lokað og hún kæld. Í einstaka tilfelli þar sem streymi var lítið þurfti að nota túpur sem höfðu verið lofttæmdar á rannsóknastofu. Sýni til greiningar á heildarstyrk koldíoxíðs og brennisteinsvetnis var safnað í ákveðið rúmmál af 60% KOH (með þekktu eðlisþyngd) sem sprautað var inn í túpuna, en aðrar gastegundir (H_2 , CH_4 , N_2 , O_2 , Ar) söfnuðust fyrir yfir lútnum. NH_4 var greint í þéttivatni.

6.2.2 Efnagreiningar

Heildarstyrkur koldíoxíðs var ákvarðaður á þann hátt að hluti KOH-lausnar var oxaður með peroxíði til að eyða brennisteinsvetni, en lausnin síðan þynnt. PH lausnarinnar var stillt á 8,2 og síðan títrerað með 0,1 N saltsýru að pH 3,80.

Heildarstyrkur brennisteinsvetnis í KOH-lausninni var ákvarðaður með títrun með kvikasilfuracetati með dithizone sem indikator. Báðum greiningaraðferðum hefur verið lýst af Stefáni Arnórssyni og Einari Gunnlaugssyni (1975).

Rúmmálshlutföll annarra gastegunda voru ákvörðuð með "gas-krómatógrafíu", eftir að loftþyngd inni í gastúpu hafði verið stillt á 1 atm.

NH₄ var ákvarðað með "ion-selectróðu" (rafgreiningu).

Hlutfall gastegunda safnað yfir lút og KOH-lausnar var reiknað úr frá þunga KOH-lausnar og rúmmáli gass.

6.3 Niðurstöður mælinga

6.3.1 Gashitamælar

Ef efnajafnvægi ríkir í jarðhitakerfi milli allra aðalefna og ummyndunarstéinda virðist styrkur allra óhlaðinna efnapátta (chemical species), sem ekki innihalda klór, einungis vera háður hita. Þannig eru allar helstu gastegundir (CO₂, H₂S, H₂, CH₄) í gufu í gufuaugum háðar hita þess vatns er leggur til gufuna (Arnórsson o.fl. 1983). Styrkur CO₂, H₂S og H₂ í jarðhitavatni eykst með auknum hita. Þannig eykst styrkur þessara gastegunda í gufu sem losnar úr jarðhitageyminum í hlutfalli við hita vatnsins.

Arnórsson og fl. (1983) birtu kvörðun á gashitamæli, sem byggir á styrk CO₂ í gufu við 100°C. Þessi kvörðun hefur nú verið endurskoðuð jafnframt því sem kvörðun annara gashitamæla var gerð (Arnórsson og Gunnlaugsson 1984).

Tafla 4

Jöfnur fyrir gashitamæla. Styrkur gass er í mól/kg af gufu.
(eftir Arnórsson og Gunnlaugsson 1984).

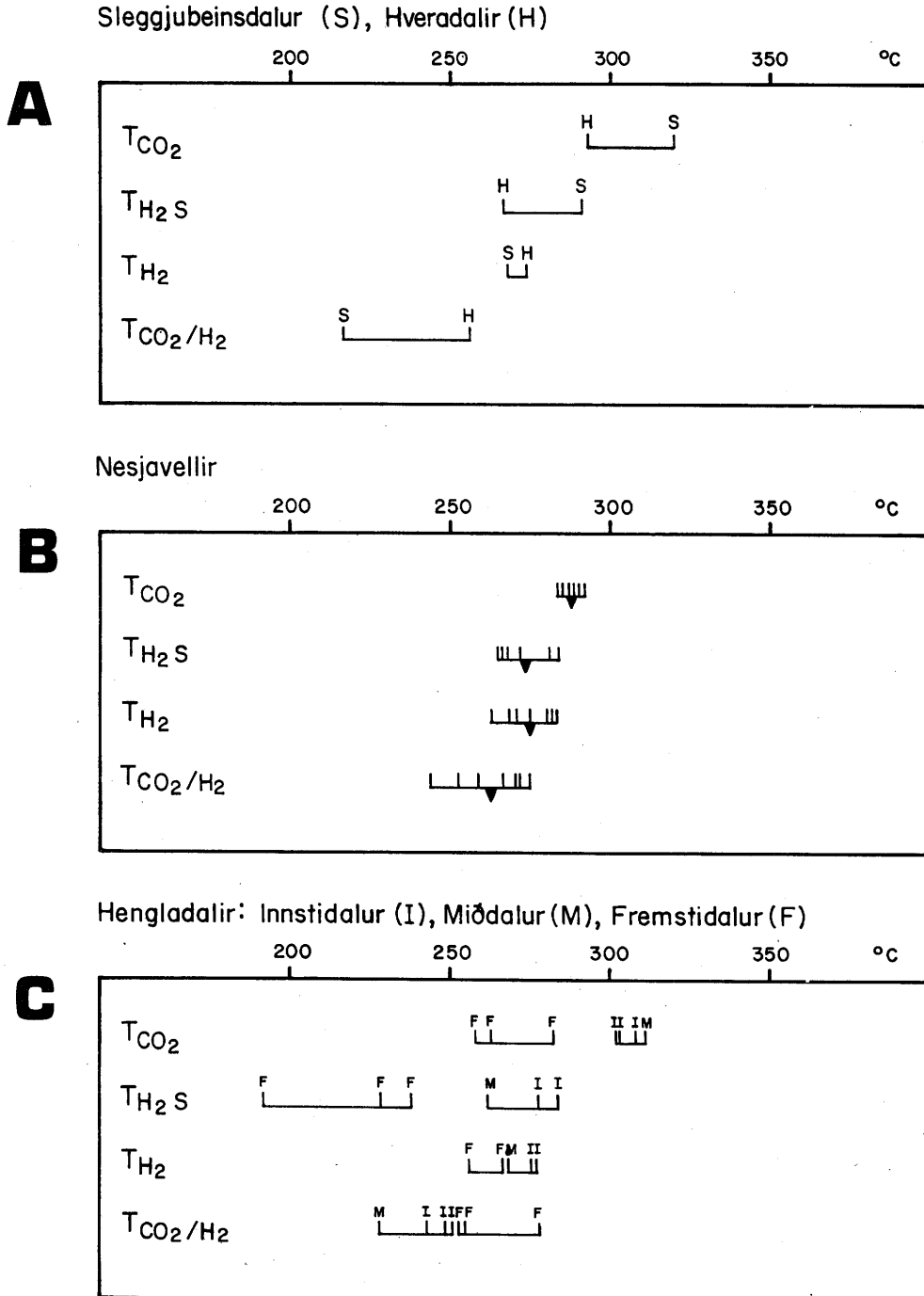
Efnahitamælir

Líking

Athugasemd.

CO ₂	$\cdot C = -44.1 + 269.25 \log CO_2 - 76.88 (\log CO_2)^2 + 9.52 (\log CO_2)^3$	Gildir fyrir allt vatn
H ₂ S	$\cdot C = 246.7 + 44.81 \log H_2S$	Gildir fyrir allt vatn
H ₂	$\cdot C = 277.2 + 20.99 \log H_2$	yfir 300°C og vatn milli
CO ₂ /H ₂	$\cdot C = 341.7 - 28.57 \log (CO_2/H_2)$	200 - 300°C ef klór er
H ₂ S/H ₂	$\cdot C = 304.1 - 39.48 \log (H_2S/H_2)$	yfir 500 ppm
H ₂ S	$\cdot C = 173.2 + 65.04 \log H_2S$	Gildir fyrir allt vatn
H ₂	$\cdot C = 212.2 + 38.59 \log H_2$	undir 200°C og vatn á
CO ₂ /H ₂	$\cdot C = 311.7 - 66.72 \log (CO_2/H_2)$	bilinu 200 + 300°C ef klór er undir 500 ppm

JHD - JK - 8717 - HeTo.
84.01.0136 - Gyða



Mynd 17 Samanburður á útreiknuðum gashita í A: Sleggjubeinsdal og Hveradölum, B: á Nesjavöllum og C: í Hengladöllum.

Í töflu 4 eru líkingar fyrir þessa gashitamæla. Kvarðanirnar byggja á styrk gastegunda í borholum þar sem hiti er þekktur. Síðan er gert ráð fyrir suðu niður í "atmosferískan" þrýsting og jafnvægis-afgösun. Í töflunni sést að notast er við tvær líkingar fyrir H_2S og H_2 gashitamæla, þar sem hvor um sig gildir fyrir ákveðið seltu- og hitastigsbil. Ekki er ljóst hvaða steindir stjórna styrk CO_2 , H_2S og H_2 við hita lægri en $200-250^\circ C$. Við hærri hita virðist epidót, prehnít, kalsít og kvars stjórna styrk CO_2 . Pýrít, pyrrhotít, epidót og prehnít stjórna styrk H_2S og H_2 ef styrkur klórs er undir 500 ppm og hitastig undir $300^\circ C$ og pýrít, epidót, prehnít og magnetít eða klórít stjórna styrk H_2S og H_2 ef styrkur klórs er yfir 500 ppm (Arnórsson og Gunnlaugsson 1984).

Ýmsar ytri aðstæður geta haft áhrif á útreiknaðan gashita. Þétting á gufu í uppstreymi og aðgreining vatns og gufu við þrýsting hærri en 1 atm. getur orsakað há gildi fyrir CO_2 , H_2S og H_2 hita þar sem þessir hitamælar byggja á styrk gastegunda í gufu. Samanburður á útreiknuðum gashita í gufuaugum og mældum hita í nærliggjandi borholum á nokkrum jarðhitasvæðum, bendir til þess að brennisteinsvetni og vetni tapist í uppstreymisrásum, líklega vegna efnabreytinga við ummyndunarsteindir og/eða vegna oxunar (Arnórsson og Gunnlaugsson 1984). Af þessari ástæðu ætti CO_2/H_2 hiti að gefa lág gildi, þar sem hlutfall koldíoxíði og vetnis eykst með lækkandi hitastigi, sbr. jöfnuna í töflu 4. Koldíoxíð virðist ekki tapast úr gufu í uppstreymi og má því líta á CO_2 hita sem efri mörk. Hiti byggður á styrk brennisteinsvetnis og vetnis er oft á milli þeirra gilda sem fengin eru frá hlutfallinu CO_2/H_2 og styrk CO_2 , þar sem tap á H_2S og H_2 í uppstreymi vinnur gegn áhrifum þéttingar.

Til þessa hafa þessir gashitamælar ekki verið notaðir til að segja fyrir um djúphita. Aftur á móti hefur mælt hitastig í borholum og hitastig fengið frá gashitamælum í nærliggjandi gufuaugum verið borið saman, eins og vikið er að hér að framan. Við mat á djúphita í Sleggjubeinsdal er því rétt að hafa til hliðsjónar slíkan samanburð fyrir Nesjavelli. Á mynd 17 er sýnd dreifing á útreiknuðum gashita í gufuaugum fyrir; A: Sleggjubeinsdal (S) og Hveradali (H), B: Nesjavelli og C: Hengladali. Síðasti hluti myndarinnar er hér einungis hafður með til fróðleiks en verður ekkert ræddur sérstaklega.

Þó nokkur munur er á hinum ýmsu útreiknuðu gashitamælum fyrir Sleggjubeinsdal. Koldíoxíðhiti er hæstur og hiti byggður á hlutfallinu CO_2/H_2 langlægstur. Ef haft er í huga það sem að framan er sagt þá er líklegt að hiti byggður á hlutfallinu CO_2/H_2 sé of lágur og koldíoxíðhiti hugsanlega of hár.

Útreiknaður hiti byggður á brennisteinsvetni og vetni fellur milli gilda sem reiknuð eru út frá styrk koldíoxíðs annars vegar og hlutfallinu CO_2/H_2 hins vegar. Ef litið er á sambærilega mynd fyrir Nesjavelli sést að munur milli mismunandi gashitamæla er mun minni en í Sleggjubeinsdal. Þó er heildarmyndin sú sama. Koldíoxíðhitinn er hæstur, hiti byggður á hlutfallinu CO_2/H_2 lægstur og gildi fyrir H_2S hita og H_2 hita lenda á milli hinna gildanna.

Efnagreiningar þær í gasi sem Nesjavallamyndin byggir á eru allar af gasi í gufuaugum í Nesjalaugagili og Köldulaugagili. Sum þessara gufuaugna eru í næsta nágrenni holu 6 á Nesjavöllum. Hita- og þrýstimælingar í þeirri holu benda til að innstreymishiti sé á bilinu $290\text{-}300^\circ\text{C}$ (Valgarður Stefánsson o.fl. 1983). Meðalkoldíoxíðhiti í gufuaugum á Nesjavöllum er 288°C (spönn $284\text{-}292^\circ\text{C}$), meðal vetnishiti 275°C (spönn $263\text{-}283^\circ\text{C}$) og meðal brennisteinsvetnishiti 274°C (spönn $265\text{-}284^\circ\text{C}$). Það er því ljóst að koldíoxíðhiti gefur gildi næst því sem mælist í holu 6 á Nesjavöllum, en aðrir hitamælar gefa lægri gildi.

Í Sleggjubeinsdal er munur á milli hita reiknuðum samkvæmt mismunandi gashitamælum meiri en á Nesjavöllum. Eins og áður segir er koldíoxíðhiti lang hæstur (320°C) og getur verið of hár vegna þéttingar á gufu í uppstreymi. Með samanburði við Nesjavelli gæti hiti byggður á brennisteinsvetni (291°C) og hiti byggður á vetni (268°C) verið heldur lágir. Sennilegur djúphiti fyrir Sleggjubeinsdal er því trúlega um 300°C . Með sömu skýringum er trúlegt að djúphiti í Hveradölum sé $280\text{-}290^\circ\text{C}$.

6.3.2 Dreifing gass í Hengli

Dreifing á styrk einstakra gastegunda og hlutfall gastegunda á Hengilssvæðinu getur gefið upplýsingar um uppstreymissvæði og jarðhitafræðilegt samhendi jarðhitastaða þar. Hér verður ekki farið út í þá athugun enda krefst hún mun meiri úrvinnslu á öllum gasgreiningum og verður það að bíða frekari úttektar. Þó getur verið fróðlegt að líta á nokkur atriði.

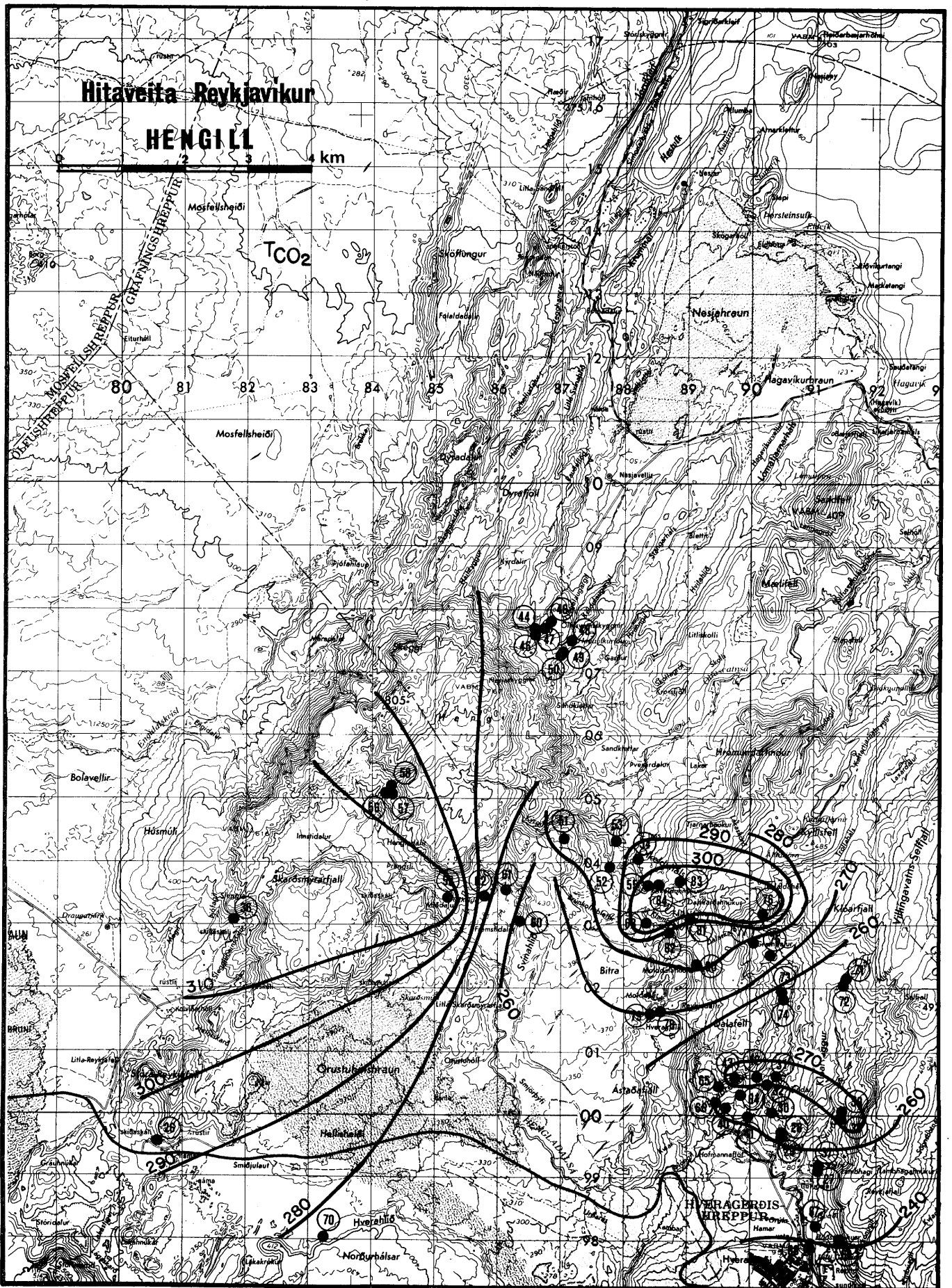
Í töflu 5 eru sýndar nokkrar efnagreiningar af gasi í gufuaugum á Hengilssvæðinu, m.a. úr Sleggjubeinsdal. Á mynd 18 eru sýndir sýnitökustaðir og jafnframt dreifing á útreiknuðum koldíoxíðhita. Það skal tekið fram að einungis er um að ræða útreiknað hitastig samkvæmt líkingu í töflu 4, en ekki lagt mat á hvort sá hiti kunni að vera brenglaður t.d. vegna þéttingar á gufu í uppstreymi. Þessi mynd sýnir því þá dreifingu sem fram kemur á styrk koldíoxíðs. Mestur styrkur koldíoxíðs og þar með hæsti reiknaði koldíoxíðhiti er í Sleggjubeinsdal. Á Ölkelduhálsi er styrkur koldíoxíðs jafnframt hár en lækkar síðan til suðurs í átt að Hveragerði.

Heildarmagn og styrkur brennisteinsvetnis sýna svipaða dreifingu og koldíoxíð. Mesta gasmagnið er í Sleggjubeinsdal, en jafnframt er svæðið á Ölkelduhálsi með meira gas en staðir umhverfis. Dreifing brennisteinsvetnis sýnir aukið magn upp af Ölfusdal auk þess sem styrkur brennisteinsvetnis er hár í Vestur-Hengli (Sleggjubeinsdal) og á Ölkelduhálsi svipað og fram kemur í dreifingu koldíoxíðs og heildargass.

Dreifing vetnis í Hengli er lítið eitt frábrugðin. Styrkur er mestur á Nesjavallasvæðinu, en lækkar til suðurs og suðausturs yfir á Ölkelduháls. Sunnan og austan við Ölkelduháls er styrkur vetnis mun lægri en á Nesjavallasvæðinu og sprungusveimnum þaðan til SV. Upp af Ölfusdal kemur fram aukning í vetni, og svipað kemur fram í brennisteinsvetni.

Tafla 5 Nokkrar efnagreiningar af gasi í Hengli.

Staður	nr.	Gasstyrkur gufu (m. mole/kg steam)										Mole fraction (%)							\sum_{gas}
		CO ₂	H ₂ S	H ₂	O ₂	CH ₄	N ₂	Ar	NH ₃	H ₂ O	CO ₂	H ₂ S	H ₂	O ₂	CH ₄	N ₂	Ar	NH ₃	
Sleggjubeinsdalur	82-3036	729.20	64.79	27.61	0.13	2.91	12.10	0.64	0.02	98.5138	1.2942	0.1150	0.0490	0.0002	0.0052	0.0215	0.0011	0.0000	1.4862
Hveradalir	82-3026	269.04	27.68	39.15	0.00	1.06	3.57	0.47	0.04	99.3894	0.4817	0.0496	0.0701	0.0000	0.0019	0.0064	0.0008	0.0001	0.6106
Hverahlíðar - Skálafell	82-3070	181.79	29.39	19.81	0.38	0.36	7.23	0.24	0.02	99.5709	0.3261	0.0527	0.0355	0.0007	0.0006	0.0130	0.0004	0.0000	0.4291
Innstidalur	82-3057	388.98	50.91	45.19	0.00	0.96	10.23	0.92	0.00	99.1122	0.6745	0.0909	0.0807	0.0000	0.0017	0.0183	0.0016	0.0000	0.8978
Middalur	82-3059	522.34	22.85	29.53	0.00	2.55	4.56	0.27	0.00	99.9522	0.9312	0.0407	0.0526	0.0000	0.0045	0.0081	0.0005	0.0000	1.0378
Fremstidalur	82-3062	183.87	9.81	25.76	0.03	0.69	2.13	0.12	0.01	99.6009	0.3299	0.0176	0.0462	0.0001	0.0012	0.0038	0.0002	0.0000	0.3991
Grænadalásá	82-3074	81.55	4.52	1.09	0.00	0.05	16.17	0.00	0.00	99.8141	0.1466	0.0081	0.0020	0.0000	0.0001	0.0291	0.0000	0.0000	0.1859
Reykjadalur ofan MR-sels	82-3028	100.43	5.68	4.20	0.00	0.18	6.55	0.22	0.01	99.7892	0.1805	0.0102	0.0076	0.0000	0.0003	0.0118	0.0004	0.0000	0.2109
Hveragerði	82-3068	48.32	2.36	0.39	0.06	0.02	1.45	0.05	0.00	99.9052	0.0870	0.0042	0.0007	0.0001	0.0000	0.0026	0.0001	0.0000	0.0948
Nesjvellir, Nesjaulaugargil	82-3045	242.76	50.52	67.47	0.00	0.62	4.45	0.46	0.24	99.3440	0.4345	0.0304	0.1208	0.0000	0.0011	0.0080	0.0008	0.0004	0.6560
Nesjvellir, Kaldulaugargil	82-3049	207.38	26.47	33.44	0.00	0.78	4.93	0.23	0.02	99.5102	0.3718	0.0475	0.0599	0.0000	0.0014	0.0088	0.0004	0.0000	0.4898



Mynd 18 Hitastig í jarðhitakerfinu í Vestur-Hengli samkvæmt koldíoxíði (CO₂). Punktar : sýnatökustaðir; heildregnar línur: jafnhitalínur í °C.

Eins og áður er vikið að er styrkur vetnis hitastigsháður, en styrkur þess lækkar hlutfallslega meira en annarra gastegunda við lakkandi hitastig. Þetta og tap vetnis eftir því sem fjær dregur meginuppstreymi gæti átt þátt í að skýra mun lægri styrk vetnis sunnan og austan Ölkelduháls en í sprungusveimnum frá Nesjavöllum yfir í Vestur-Hengil.

Í stuttu máli má segja að styrkur koldíoxíðs og brennisteinsvetnis bendi til þess að hitamiðjur séu í Vestur-Hengli og á Ölkelduhálsi. Styrkur vetnis sýnir aftur á móti hæstan hita á Nesjavöllum og nán tengsl jarðhitastaða í sprungusveimnum.

7 LÍKAN AF JARÐHITASVÆÐINU Í VESTUR-HENGLI

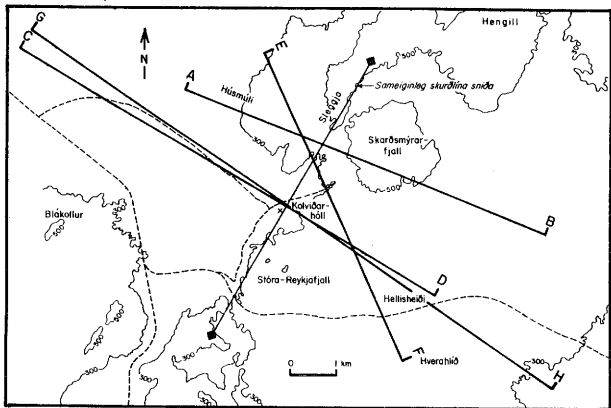
7.1 Inngangur

Sú mynd sem er gefin í þessari skýrslu af háhitasvæðinu í Vestur-Hengli byggir nær eingöngu á rannsóknum á yfirborði og samanburði við háhitasvæði, einkum Nesjavelli. Þó ráða megí sitthvað í innviði svæðisins með ýmsum jarðeðlisfræðilegum mælingum verður ekkert sagt með vissu um hita, afl og endingu þess án borana. Hér á eftir verða niðurstöður rannsókna sem unnar hafa verið á vestanverðu Hengilssvæðinu dregnar saman í líkan af svæðinu. Þetta líkan er byggt á þeim gögnum sem nú eru tiltæk, með aukinni þekkingu á svæðinu er ekki ólíklegt að þetta líkan breytist að meira eða minna leyti.

7.2 Líkan af Vestur-Hengli

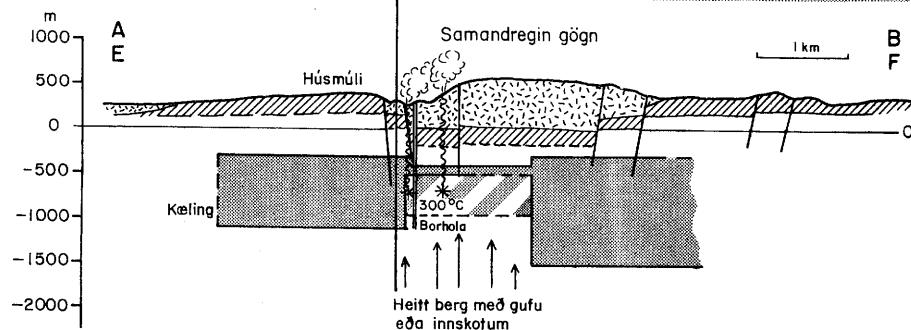
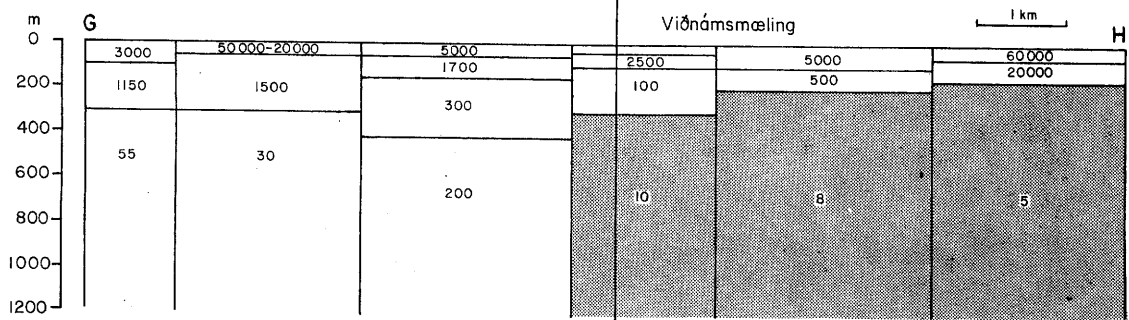
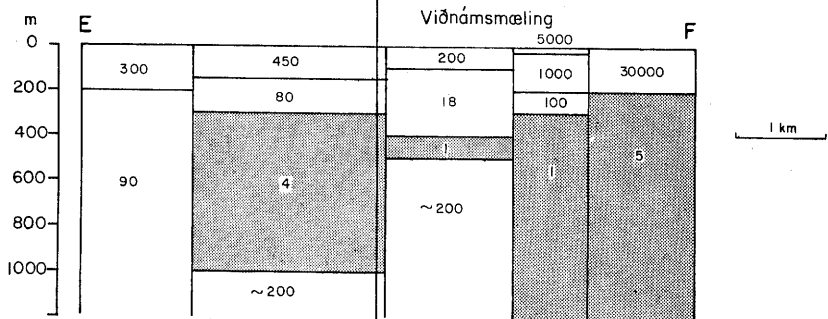
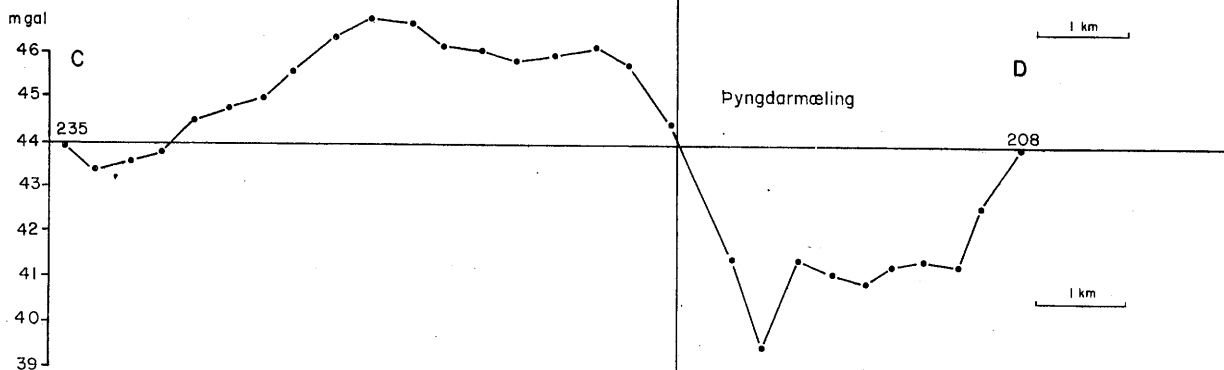
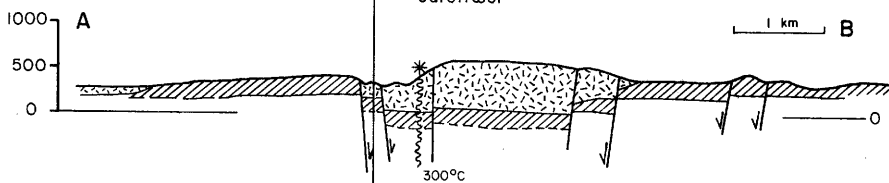
Á mynd 19 eru niðurstöður rannsókna á Vestur-Henglissvæðinu teknar saman. Til að forðast misskilning er rétt að benda á að sniðin sem sýnd eru á mynd 19 eru ekki öll frá nákvæmlega sama stað og dýptarkvarði á sniðum er mismunandi, eins og sýnt er á myndinni. Jarðfræðisniðið sýnir sigdal sem myndaður er í Hengilssprungusveimnum, og er sigdalurinn fylltur móbergi. Til að geta gert sér einhverja hugmynd um hvernig jarðlög gætu verið er dýpra kemur í jarðlagastaflann er annars vegar litið til Nesjavalla, og hins vegar til þyngdarmælinga og viðnámsmælinga.

Á Nesjavöllum er framhald sprungusveimsins til norðurs. Í borholum þar eru efstu 600 metrarnir mestmegnis móberg, á 600-1500 m dýpi eru basalt hraunamyndanir ríkjandi, og innskot þar fyrir neðan, a.m.k. niður á 2000 m dýpi (Jens Tómasson o.fl. 1974, Valgarður Stefánsson o.fl. 1983) Ekki er fráleitt að hugsa sér að jarðlagastaflinn undir Vestur-Hengli sé uppbyggður í líkingu við það sem er á Nesjavöllum, þó ekki sé hann nákvæmlega eins. Í þyngdarmælingum kemur fram minnkandi þyngd inn að sprungusveimnum (mynd 19), sem bendir til eðlisléttara bergs þar undir, þ.e.a.s. móberg er líklega ráðandi í efri hluta jarðskorpunnar (sjá kafla 5).



VESTUR-HENGILL

- Móberg
- Hraunlög
- Lágviðnámslög
- Misgengi
- Jarðhiti



Misgengin sem marka vesturjaðar sigðaldarinnar gegnum Hengil (sjá jarðfræðisniðið) koma fram sem þyngdarsviðslægð í þyngdarmælingum. Þá er dýpra á lágviðnámslagið austan misgengjanna en vestan megin við þau (snið E-F). Þessi dýptarmunur er álíka mikill og nemur falli misgengjanna. Þetta bendir til þess að þar hafi lekt svæðisins aukist og eðlisþyngd bergs lækkað.

Samkvæmt niðurstöðum viðnámsmælinga má skipta efsta hluta jarðhitasvæðisins í Vestur-Hengli gróflega í 3-4 hæðir eftir dreifingu viðnáms. Á efstu hæðinni er viðnám hátt, yfir 1000 ohmm, og stjórnast af köldu grunnvatni, þurrum ungunum hraunum og öðrum jarðmyndunum. Á næstu hæð er viðnám 10-1000 ohmm, og er þessi hæð yfirleitt ofan við lágviðnámslagið, en jafnframt einkennandi fyrir það svæði sem er utan jarðhitasvæðisins. Þar fyrir neðan er viðnám lágt, minna en 10 ohmm og er þar komið í jarðhitakerfi með háum hita. Misdjúpt er niður á þriðju hæðina og grynnist á hana til austurs. Á fjórðu hæðinni er viðnám hátt (meira en 100 ohmm), en ekki er þessi hæð undir öllu jarðhitasvæðinu í Hengli (kafla 3). Háviðnámslagið kemur fram í mælingum við rætur Hengilsins í Sleggjubeinsdal og undir Húsmúla. Dýpi niður á háviðnámslagið er 500-800 m í Sleggjubeinsdal. Á mynd 19 eru tvö viðnáms-snið (tvívíð túlkun) og má sjá tengsl hins lága viðnáms við sprungusveiminn (sigdalinn), því lágt viðnám nær lítið útfyrir jaðarmisgengin vestanmegin. Lágt viðnám er undir Húsmúla og undir því kemur fram hátt viðnám (mynd 19 og kafla 3). Þetta háa viðnám má túlka sem háan hita og/eða, að hluti jarðhitakerfisins sé í suðufasa. Ef háviðnámið er vegna innskota ætti það að koma fram í þyngdarmælingum sem aukin þyngd inni í sprungusveimnum, en mælingar benda til léttara bergs. Auk þess hefst innskotamyndun á Nesjavöllum ekki fyrr en á 1500 m dýpi. Engu að síður getur hún átt einhvern hlut að máli.

Efnahitamælar (sjá kafla 6) benda til mikils hita í Vestur-Hengli, um 300°C samkvæmt efnagreiningum á gasi úr gufuaugum í Sleggjubeinsdal. Eins og sagt var hér á undan er ein skýring á hinu háa viðnámi undir lágviðnáminu að kerfið sé í suðu. Sé nú gert ráð fyrir að hiti í jarðhitakerfinu fylgi suðumarksferli í vatnsfasa (þ.e. hiti sé í þrýstijafnvægi við umhverfi sitt), kemur gufa sem er 300°C heit af um það bil 1100 m dýpi. Með því að bera þessa dýpt saman við viðnáms-sniðin ætti sú gufa sem kemur upp í Sleggjubeinsdal að vera komin frá eða úr nágrenni

djúplæga háviðnámslagsins (mynd 19). Þessi hái hiti styrkir þá hugmynd að jarðhitakerfið sé í suðu.

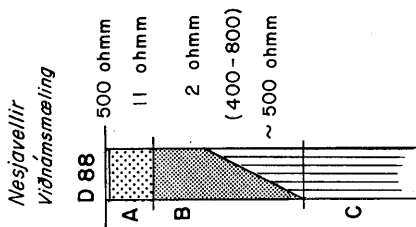
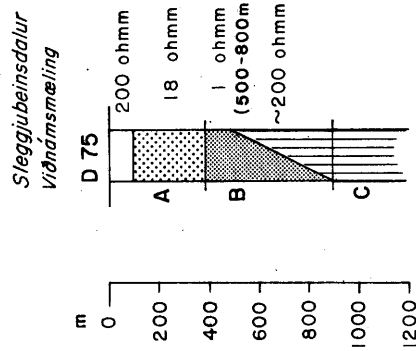
Í skýrslu um hitamælingar á holu 5 á Nesjavöllum (Benedikt Steingrímsson og Valgarður Stefánsson 1979) var talið líklegt að mikill hiti væri í jarðhitakerfinu, líklega yfir 300°C, og jarðhitakerfið væri í suðu. Árið 1982 var boruð rannsóknarborhola á Nesjavöllum (NG-6) og eru vinnslueiginleikar hennar taldir mjög góðir (Valgarður Stefánsson o.fl. 1983). Hola NG-6 fer gegnum vatnskerfi með yfirþrýstingi niður fyrir 800 m dýpi, á 900-1000 m dýpi eykst þrýstingur óverulega og virðist þar vera komið í hreina 300°C heita gufu (Valgarður Stefánsson o.fl. 1983). Í viðnámsmælingu D88 sem var gerð við holu NG-6 haustið 1983 kemur fram hátt viðnám undir lágviðnámslagi á 400-800 m dýpi (óbirt gögn OS, sjá mynd 20). Ummyndun bergs í holu NG-6 er lítil niður á 600-800 m dýpi en eykst mjög ört neðan þess dýpis. Með samanburði við aðstæður á Nesjavöllum er ekki fráleitt að draga þá ályktun af gögnunum um Vestur-Hengil að jarðhitakerfið þar sé í suðu, þó ekki sé unnt að slá því föstu.

7.3 Vesturhluti Hengilssvæðisins

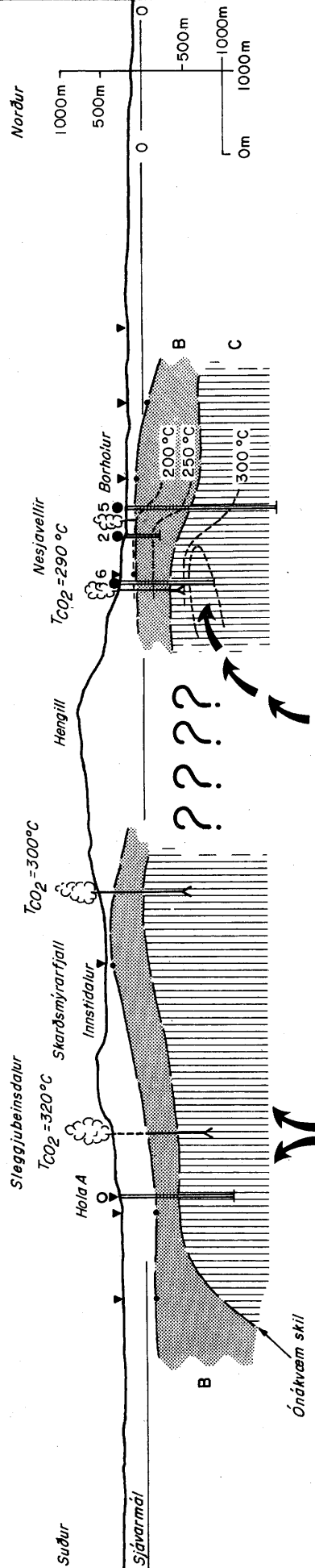
Á mynd 20 eru dregin saman þau gögn sem tiltæk eru yfir vesturhluta jarðhitasvæðisins í Hengli, m.a. til að bera saman þau líkön sem gerð hafa verið af þessum hluta svæðisins. Einkum er stuðst við viðnámsmælingar (sjá samantekt og endurtúlkningar Gylfa Páls Hersis 1980 og gögn sem birt eru í þessari skýrslu), jarðfræði, jarðefnafræði (t.d. T°C₀₂) og gögn úr borholum á Nesjavöllum (Jens Tómasson o.fl. 1974, Valgarður Stefánsson o.fl. 1983). Myndin ber þess merki, að fáar viðnámsmælingar eru til á vesturhluta Hengilssvæðisins einkum um miðbikið vegna mikils fjalllendis. Því er töluverð óvissa falin í jafnviðnámslínunum og tengsl Nesjavalla við Vestur-Hengil ekki ljós. Einna athyglisverðast er, hve keimlík þessi tvö svæði eru. Ef mynd 20 gefur rétta mynd af þessum hluta jarðhitasvæðisins og boranir í Vestur-Hengli verða jákvæðar, er full ástæða til að rannsaka betur tilvist háviðnámslagsins, útbreiðslu þess og þýðingu.

LÍKAN AF JARÐHITASVÆÐINU Í VESTANVERÐUM HENGLI

JHD - JK - 8717 - HeTo
83.10. - 1496 - Gyða



▼ = Viðnámsmæling
 T_{CO_2} = Hiti í hverum
sku koldíoxíði



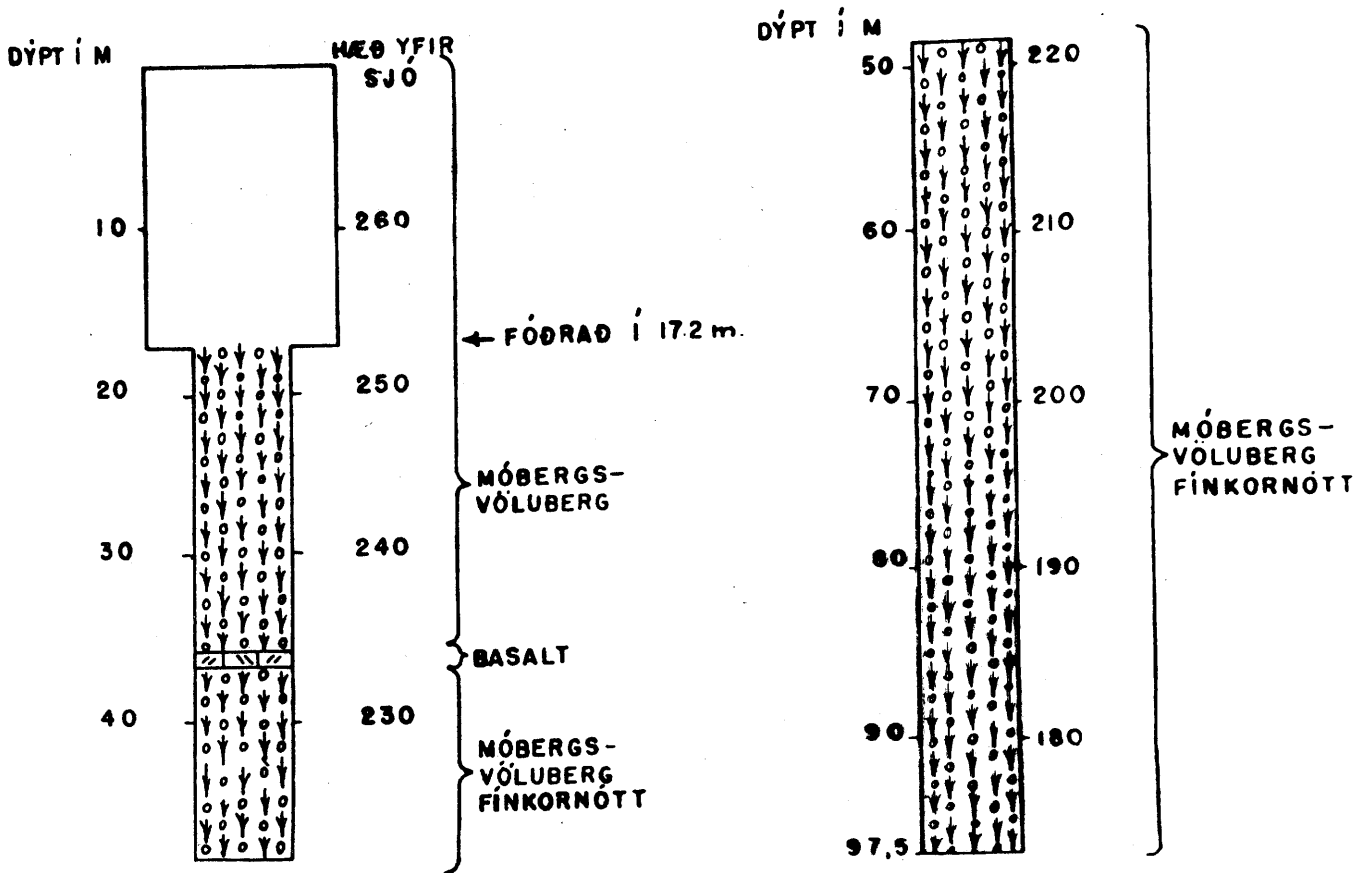
8 RANNSÓKNARBORANIR

8.1 Borun árið 1949

Árið 1949 var boruð 97.5 m djúp rannsóknarhola í 270 m h.y.s. í Sleggjubeinsdal (mynd 21). Hún er staðsett um 800 m NNA af Kolviðarhóli, og 1500 m SA af Draugatjörn. Fóðrað var niður á 17 m dýpi. Holan (mynd 21) er svo til öll í lítið myndbreyttu, fínkornóttu móbergsseti (Tómas Tryggvason, 1951). Víða þurfti að steypa í hana vegna hruns og vegna algjörskoltaps (1-3 l/s) neðan við 53 m dýpi. Botnhiti mældist 8°C. Leitað var að holunni sl. vetur og vor, en án árangurs.

8.2 Öflun skolvatns

Við borun þarf vatn til kælingar og til þess að flytja bergmylsnu frá borkrónunni upp holuna. Við borun grynri hola má einnig nota loft til að flytja svarf frá borkrónunni. Á svæðinu við Kolviðarhól eru tveir möguleikar til öflunar skolvatns. Annar er sá að bora 2-3 grunnar holur, fáeina tugi metra á dýpt og sækja vatn í grunnvatn á svæðinu með dælingu. Bora má annaðhvort með höggbor eða með lofti (Ýmir). Höggborsholur eru víðari, en fljótlegra er að bora með lofti; kostnaður er þó sambærilegur. Hinn kosturinn er sá að nota yfirborðsvatn, þ.e. með því að stífla í Mógili, sem er nálægt 1 km vestan við væntanlegt borsvæði. Síðastliðið sumar var talið nægilegt vatn í Mógili, miðað við minni borana. Sé gert ráð fyrir að fyrsta rannsóknarborhola verði 1200-1400 m djúp koma einkum þrjú bortæki til greina til að vinna það verk: Narfi, Dofri (Gufubor) og Jötunn. Vatnspörf boranna er mismikil, t.d. þarf Narfi um 20 l/s en sá stærsti, Jötunn, þarf 40-50 l/s af vatni. Draugatjörn er við hraunjaðar vestan við Húsmúla í 260 m h.y.s. Ef vatnsborð hennar er í samræmi við grunnvatnsstöðu má ætla að grunnvatn sé nærri yfirborði í Sleggjubeinsdal, vestan og norðan við Kolviðarhól, samkvæmt niðurstöðum viðnámsmælinga (kaflí 4). Verið getur að grunnvatnsborð sé falskt, og raunverulegt grunnvatnsborð liggja neðar en kemur fram í viðnámsmælingum og verður einungis úr því skorið með borunum. Ef viðnámsmælingar gefa rétta mynd af grunnvatns-



HITI Í HÖLUNNI 4°C

BORHOLA 120 — Kolviðarhóll 1949.

Mynd 21 Jarðlagasnið úr borholu (1949) við Kolviðarhól.

borði kemur helst til greina að bora við Kolviðarhól til að afla skolvatns vegna djúpborunar á jarðhitasvæðinu. Eins og sjá má í kafla 4, er grunnvatnshæð samkvæmt viðnámsmælingum í nágrenni Kolviðarhóls milli 250-300m yfir sjávarmáli og því ættu 80-100m djúpar holur að nægja til vatnsöflunar, en yrðu að vera dýpri ef grunnvatnsborð er falskt. Holur yrðu væntanlega staðsettar um 100 m norðan við vegamótin við Kolviðarhól, um 1 km frá væntanlegu borstæði (mynd 22).

8.3 Staðsetning og borun rannsóknarholu

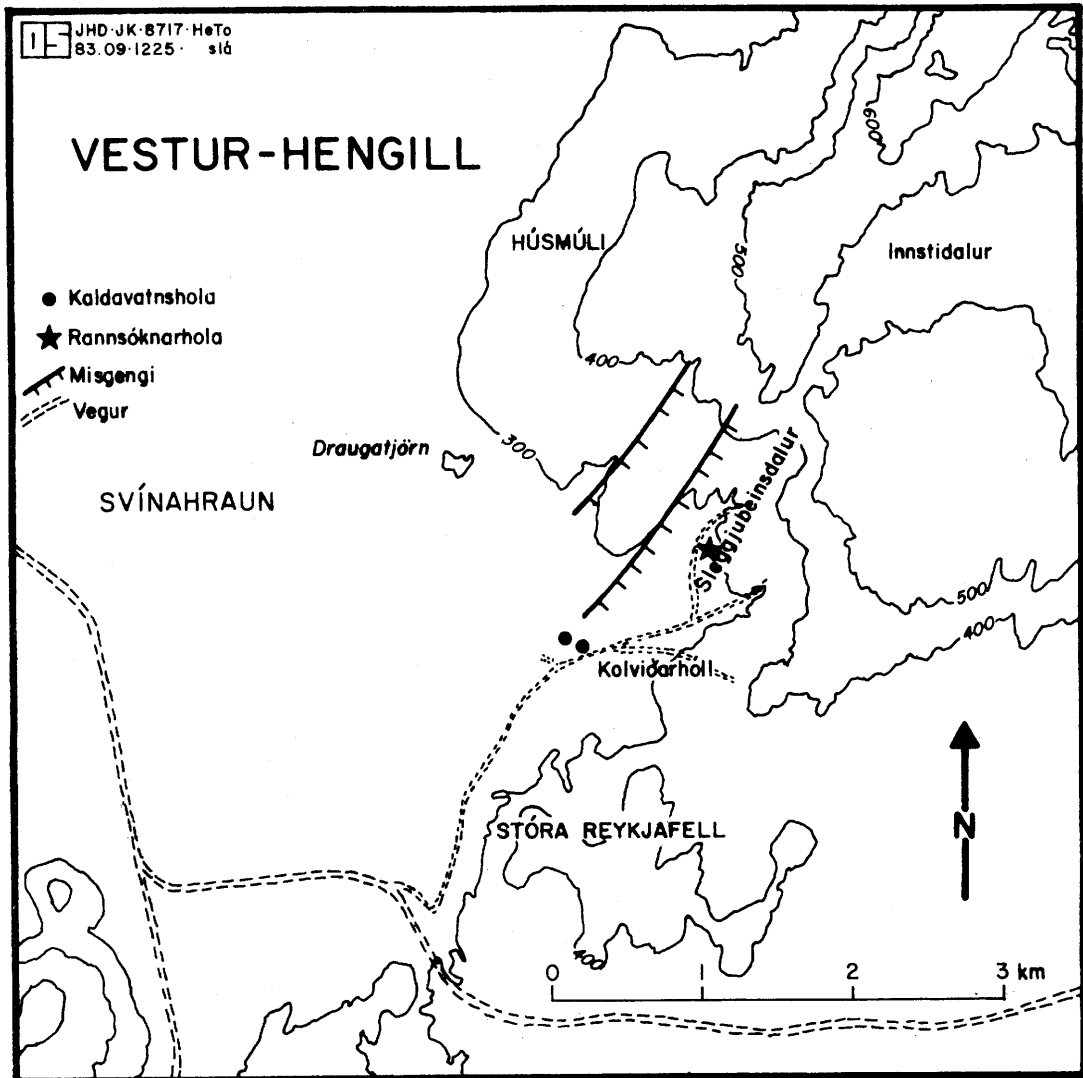
Rannsóknarboranir eru óaðskiljanlegur hluti af rannsókn hvers jarðhitakerfis, og jafnframt sá dýrasti. Með borunum er byrjað að kanna mikinn fjölda jarðfræðilegra og

eðlisfræðilegra atriða sem ráða gerð jarðhitasvæðis og eru holur staðsettar með það í huga að fá sem mestar upplýsingar úr þeim. Þau atriði sem rannsóknarboranir beinast að eru m.a. vinnslueiginleikar bergs, vatnsleiðni og lega vatnsæða, hiti, þrýstingur, efnasamsetning djúpvökva, afl, vinnslugeta, jarðfræði og saga ummyndunar. Í Vestur-Hengli er auk þessarar atriða lagt til að kanna eðli háviðnámslags sem kemur fram undir lögum með lágu viðnámi (sbr. kafla 3) og tákna hugsanlega suðu í jarðhitakerfinu. Til að ná vel niður í háviðnámslagið þarf holan að vera a.m.k. 1200-1400 m djúp.

Fyrsta rannsóknarborholan í Vestur-Hengli mun væntanlega gefa mikilvægar upplýsingar um jarðhitakerfið og þýðingu neðra háviðnámslagsins. Með rannsóknum á viðnámsdreifingu í berggrunninum má geta í rúmmál og takmörk svæðisins og auka þannig öryggi í staðsetningu næstu borhola. Að borun lokinni er gert ráð fyrir verulegum mælingum á holunni, s.s. viðnámi, poruhluta, vídd, svarfi (jarðlög) o.fl. Þá er gert ráð fyrir því að holan verði látin blása og gerðar á henni aflmælingar, dæluprófanir, athuguð efnasamsetning vökvans og fl.

Lagt er til að boruð verði rannsóknarhola sem hægt er að láta blása (hönnuð sem vinnsluhola), þ.e. neðri hluti hennar verði a.m.k. 165 mm í þvermál (6 1/2``) og í holuna verði settur raufaður leiðari. Mælt er með að kjarnasýni verði tekin eftir því sem talið er nauðsynlegt. Kjarnasýni hafa það fram yfir svarfsýni að vitað er nákvæmlega hvaðan úr holunni þau koma, en svarf hefur hinsvegar verið að velkjast upp með skolvatninu í langan tíma. Kjarnasýni eru stærri og má fá meiri upplýsingar úr þeim t.d. holufyllingar, poruhluta, berggerð o.fl.

Jarðhitasvæðið í Vestur-Hengli liggur að miklum hluta í fjalllendi. Það ætti þó ekki að hamla nýtingu þess, því borun skáhola gæti leyst þann vanda. Lagt er til að fyrsta rannsóknarborholan verði bein, því skáborun er dýrari en borun beinnar holu.



Mynd 22 Staðsetning borhola.

Á mynd 22 er sýnd staðsetning kaldavatnshola og fyrstu rannsóknarborholu. Við staðsetningu fyrstu rannsóknarholu er farið eftir jarðfræði, efnafræði, og túlkun á viðnámsmælingum auk þess sem reynsla annars staðar frá kemur til góða. Þannig eru rök fyrir dýpt og staðsetningu fyrstu borholu margþætt og skulu nú rakin að nokkru. Yfirborðshiti er í Sleggjubeinsskarði og er talsverð ummyndun á svæðinu umhverfis. Hiti leitar til yfirborðs eftir sprungum og misgengjum í berggrunni. Jarðhiti í

Vestur-Hengli er innan Hengilssprungusveimsins og benda niðurstöður viðnámsmælinga til þess að þar nái hiti (lágt viðnám) ekki langt vestur fyrir jaðar virka sprungusveimsins. Stór misgengi skera suðausturhlíðar Húsmúla, eins og kemur fram í jarðfræði svæðisins og þyngdarmælingum (mynd 19). Eins og greint hefur verið frá í köflum 3 og 7 má skipta efsta hluta jarðhitasvæðisins í Vestur-Hengli gróflega í 3-4 hæðir eftir dreifingu viðnáms (sjá mynd 19). Á neðstu hæð er hátt viðnám undir lágviðnámslögum, en ekki er þessi hæð undir öllu jarðhitasvæðinu í Hengli. Háviðnámslagið kemur m.a. fram í mælingum við rætur Hengilsins í Sleggjubeinsdal og undir Húsmúla. Líklegasta skýringin á þessu háa viðnámi er mjög hár hiti (um eða yfir 300°C) og/eða, að hluti jarðhitakerfisins sé í suðufasa. Dýpi niður á háviðnámslagið er 500-800 m í Sleggjubeinsdal. Með hliðsjón af holu NG-6 á Nesjavöllum er talið rétt kanna háviðnámið. Til þess þarf fyrsta hola að ná nokkuð niður í háviðnámslagið og dýpt holunnar þarf því að vera a.m.k. 1200 m. Gera má ráð fyrir talsverðum yfirþrýstingi í holunni, a.m.k. í efri hluta hennar, eins og á Nesjavöllum, því jarðfræðilegar aðstæður eru svipaðar. Efnahitamælar (kafli 6) benda til um 300°C hita í jarðhitakerfinu og (sé gert ráð fyrir sjóðandi vatnssúlu) þarf að fara niður á um 1100 m dýpi til að svo heit gufa geti verið í þrýstijafnvægi við umhverfi sitt. Þannig virðist mega draga þá ályktun að gufa, sem kemur til yfirborðs í Sleggjubeinsskarði komi úr nágrenni háviðnámslagsins á 500-800 m dýpi undir yfirborði Sleggjubeinsdals. Þannig er fyrstu rannsóknarholu valinn staður þar sem jarðlög eru brotin af misgengjum og þá trúlega vel vatnsgeng, viðnám lágt sem bendir til hás hita og lektar, en hátt þar fyrir neðan sem með hliðsjón af niðurstöðum efnafræðinnar má túlka sem suðu.

9 NIÐURSTÖÐUR

Niðurstöður af rannsóknum í Vestur-Hengli benda til þess að unnt sé að bora niður í jarðhitageymi með um 300°C hita. Hvort unnt er að nýta þá orku sem þar er fólgin verður ekkert um sagt fyrr en djúprannsókn svæðisins hefst. Helstu niðurstöður eru eftirfarandi :

1. Hengill er megineldstöð og gegnum hana liggur sprungusveimur með stefnu NA-SV. Jarðlög sem sjást á yfirborði eru mynduð á síðari hluta ísaldar og fáein hraun eru frá nútíma. Eldgos hafa ekki orðið á Vestur-Hengilssvæðinu á sögulegum tíma. Höggun svæðisins er mikil og hafa misgengi og brot verið virk á síðustu öldum.
2. Jarðhiti er á yfirborði í Sleggjubeinsskarði og benda efnahitamælar til þess að hiti í jarðhitakerfinu sé um 300°C og að uppstreymissvæði geti verið undir Vestur-Hengli.
3. Samkvæmt viðnámsmælingum er lágt viðnám (minna en 10 ohmm) innan sprungusveimsins í Hengli og nær það ekki langt vestur fyrir jaðar hans. Almennt lækkar viðnám í lágviðnámslaginu til austurs, en þó mældist viðnám lægst í Sleggjubeinsdal. Dýpi niður á það minnkar til austurs. Undir lágviðnámslaginu kemur sums staðar fram hátt viðnám. Í Sleggjubeinsdal kemur það fram á bilinu 500-800 m dýpi. Þetta háa viðnám er túlkað sem mjög hár hiti (um eða yfir 300°C) og/eða, að hluti jarðhitakerfisins sé í gufufasa. Þá getur innskotamyndun átt einhvern hlut að máli.
4. Jarðhitakerfið í Vestur-Hengli er borið saman við það líkan sem gert hefur verið af jarðhitakerfinu á Nesjavöllum og byggt er á rannsóknarborunum þar. Samkvæmt líkani því af jarðhitasvæðinu í Vestur-Hengli sem hér er lagt fram og byggt er á yfirborðsrannsóknum má vænta yfirþrýstings, a.m.k. í efri hluta jarðhitakerfisins og mikils hita á um 1000 m dýpi.
5. Lagt er til að fyrsta rannsóknarhola í Vestur-Hengli verði boruð í Sleggjubeinsdal og nái niður í háviðnámslög þau sem eru neðan lágviðnámslaganna. Til þess þarf borholan að vera a.m.k. 1200-1400 m djúp.

Heimildir

Árnason, Bragi, Páll Theodórsson, Sveinbjörn Björnsson og Kristján Sæmundsson 1969: Hengill, a high temperature thermal area in Iceland. Bull.Volc. 33,1:245-260.

Árnason, Knútur, 1983. Shifts and discontinuities in the apparent resistivity curves of Schlumberger sounding due to a change in the potential electrode separation. Orkustofnun, JHD (í undirbúningi).

Arnórsson, S., E. Gunnlaugsson and H. Svavarsson, 1983. The chemistry of geothermal waters in Iceland. III Chemical geothermometry in geothermal investigations. Geochim. Cosmochim. Acta (in press)

Arnórsson, Stefán og Einar Gunnlaugsson, 1984: New gas geothermometers for geothermal exploration. - Calibration and application. (Í undirbúningi).

Ásmundur Jakobsson og Gylfi Páll Hersir, 1978: Forritið CIRCLE2 til túlkunar viðnámsmælinga. Orkustofnun, OS JHD 7844.

Axel Björnsson, 1980: Háhitasvæðið við Hengil - Jarðeðlisfræðilegar forathuganir. Dagskrá og ágrip. Ráðstefna um jarðhita, Hótel Loftleiðum:44-46, Jarðfræðafélag Íslands.

Axel Björnsson, Jens Tómasson og Kristján Sæmundsson, 1974: Hengilssvæðið, staða jarðhitarannsókna vorið 1974. Orkustofnun, OS JHD 7415.

Axel Björnsson og Gylfi Páll Hersir, 1981: sjá Björnsson Axel og Gylfi Páll Hersir, 1981.

- Barth, T. F. W. 1950: Volcanic geology, hot springs, and geysers of Iceland. Carnegie Inst. Washington, Publ.587, 174 s.
- Björnsson, Axel og Gylfi Páll Hersir, 1981: Geophysical Reconnaissance Study of the Hengill High-Temperature Area, SW-Iceland. Geothermal Resources Council, Trans. 5 : 55-58.
- Benedikt Steingrímsson og Valgarður Stefánsson, 1979: Nesjavellir, hitastig og þrýstingur í jarðhitasvæðinu. Orkustofnun, OS79032/JHD15.
- Bragi Árnason o.fl, 1969 : sjá Árnason B. o.fl. 1969.
- Böðvarsson, G. og G.Pálmason, 1961: Exploration of subsurface temperature in Iceland. Jökull, 11, 39-48.
- D'Amore, F. og Panichi, C., 1980. Evaluation of deep temperatures of hydrothermal systems by a new gas geothermometer. Geochm. Cosmochim. Acta, 44, 549-556.
- Dey, A., 1976. Resistivity modeling for arbitrary shaped two-dimensional structures, Part 2: users guide to the FORTRAN algorithm RESIS2D. Berkeley, Lawrence Berkeley Laboratory, LBL-5283.
- Dey, A. og H. F. Morrison, 1976: Resistivity modeling for arbitrary two-dimensional structures, Part 1: theoretical formulation. Berkeley, Lawrence Berkeley Laboratory, LBL-5233.
- Einarsson, Þorleifur, 1960. Geologie von HELLISHEIÐI. Sonderveröffentl. Geol. Inst. Univ. Köln 5, 55 s.
- Ellis, A.J., 1979. Chemical geothermometry in geothermal systems. Chem. Geol., 25, 219-226.

- Foulger, G. 1981 : The seismological field project of June-October 1981 in the Hengill area. Raunvísindastofnun Háskólans, RH-81-18 : 50 bls.
- Foulger, G. 1983 : Progress report on the seismological research project of the Hengill area. (óbirt gögn um rannsóknir á Hengilssvæðinu), Raunvísindastofnun, 28 bls.
- Foulger, G. og P. Einarsson, 1980: Recent earthquakes in the Hengill-Hellisheiði area in SW-Iceland. J. Geophys. 47, 171-175.
- Freyr Þórarinnsson, 1981: Jarðhiti og brotalínur. Tímarit V.F.Í. 66, 6, 81-91.
- Guðmundur Pálmason, T.H.Nilsen og Gunnar Þorbergsson, 1973: sjá Pálmason, Guðmundur, T.H.Nilsen og Gunnar Þorbergsson, 1973.
- Guðmundur Pálmason, 1980: Jarðhiti á Íslandi. Náttúrufræðingurinn 50, 3-4:145-156.
- Gunnar Böðvarsson, 1951: Skýrsla um rannsóknir á jarðhita í Hengli, Hveragerði og nágrenni, árin 1947-1949. - Fyrri hluti. Tímarit Verkfræðingafél. Ísl., 1 : 1-48.
- Gunnar Böðvarsson, 1970: An estimate of the natural heat resources in a thermal area in Iceland. Geothermics, spec.issue, 2, 2 :1289-1293.
- Gunnar Böðvarsson og Guðmundur Pálmason, 1961: sjá Böðvarsson, G. og G.Pálmason, 1961.
- Gylfi Páll Hersir, 1980: sjá Hersir, Gylfi Páll, 1980.
- Gylfi Páll Hersir og fl., 1984 : sjá Hersir, Gylfi Páll o.fl., 1984.
- Gylfi Páll Hersir, 1982: Greinargerð vegna viðnámsmælinga í Vestur-Hengli. Orkustofnun JHD, Greinargerð GPH-82/03, 3 s.

- Halldór Halldórsson, 1982: Lýsing á tvívíðu viðnámsforriti DIM2. Orkustofnun.
- Harðardóttir, Vigdís, 1983: The petrology of the Hengill volcanic system, southern Iceland. McGill University. M.Sc. Thesis. 269 bls.
- Helgi Torfason, Kristján Sæmundsson, Halldór Ármannsson, Gylfi Páll Hersir, Hilmar Sigvaldason og Þorsteinn Thorsteinsson, 1982: Hengill; Áætlun um rannsóknir 1982. Orkustofnun, Greinargerð HeTo-KS-HÁ-GPH-HS-ÞTh-82/01, 16 s.
- Hersir, Gylfi Páll, 1980: Electric and electromagnetic measurements across the Mid-Atlantic Ridge in Southwest-Iceland, with special reference to the high temperature area of Hengill. Mag. Scient ritgerð við Árósháskóla, 165 s.
- Hersir, Gylfi Páll, Axel Björnsson og Laust Börsting Pedersen, 1984: Magnetotellurics across the active spreading zone in South West Iceland. Journal of Volc. and Geoth. Research., 20, (í prentun).
- Jens Tómasson, Karl Grönvold, Hrefna Kristmannsdóttir og Þorsteinn Thorsteinsson, 1974: Nesjavellir hola 5. Orkustofnun OS-JHD-23, 50 s.
- Johansen, H.K., 1977: A man/computer interpretation system for resistivity soundings over a horizontally stratified earth. Geophys. Prosp. 25, 667-691.
- Jón Jónsson, 1977: Reykjafellsgígir og Skarðsmýrarhraun. Náttúrufræðingurinn 47, 17-26.
- Jón Jónsson, 1978: Jarðfræðikort af Reykjanesskaga. Orkustofnun, OS JHD 7831, 303 bls.+myndir og kort.
- Keller, G.V. og F.C. Frischknecht, 1966: Electrical methods in geophysical prospecting. Pergamon Press, 517 bls.
- Knútur Árnason, 1983. : sjá Arnason, Knútur, 1983.

- Kristján Sæmundsson, 1964, 1967: sjá Sæmundsson, K. 1964, 1967.
- Merz og McLellan, 1964: Summary report on geothermal power station project at Hveragerði. Raforkumálastjóri, 79s.
- Oldenburg, D.W., 1978: The interpretation of direct current resistivity measurements. *Geophysics* 43, 610-625.
- Pálmason, Guðmundur, T.H.Nilsen og Gunnar Þorbergsson, 1973: Gravity base station network in Iceland 1968-70. *Jökull* 23: 70-125.
- Quist, A.S. og W.L. Marshall, 1968: Electrical conductances of aqueous sodium chloride solutions from 0 to 800°C and at pressures to 4000 bars. *Journ. Phys. Chem.*, 72: 684-703.
- Ragna Karlsdóttir, Gunnar Johnsen, Axel Björnsson, Ómar Sigurðsson og Egill Hauksson, 1978: Jarðhitasvæðið við Kröflu. Áfangaskýrsla um jarðeðlisfræðilegar rannsóknir 1976-1978. Orkustofnun OS JHD 7847.
- Stefán Arnórsson og Einar Gunnlaugsson, 1975: Leiðbeiningar um söfnun vatns og gassýna. Orkustofnun, JHD 7552.
- Stefán Arnórsson og Einar Gunnlaugsson, 1984: sjá Arnórsson, S. og Einar Gunnlaugsson, 1984.
- Stefán Arnórsson, Einar Gunnlaugsson og Hörður Svavarsson, 1983: sjá Arnórsson, S., E. Gunnlaugsson and H. Svavarsson, 1983.
- Sæmundsson, K. 1964 : Die Geologie des Hengill-Gebietes (Südwest-Island). Diplomarbeit, der Universität at Köln, 150s.
- Sæmundsson, K. 1967 : Vulkanismus und Tektonik des Hengill-Gebietes in Südwest-Island. *Acta Nat. Isl.* 2 (7), 109 s.

- Sveinbjörn Björnsson, 1974: Afl og ending Hengilssvæðisins. Orkustofnun JHD7514, 3 s.
- Thoroddsen, Þorvaldur, 1925 : Die Geschichte des isländischen Vulkane Vidensk. Selsk. Skrifter., Kaupmannahöfn.
- Trausti Einarsson, Þorbjörn Sigurgeirsson, Tómas Tryggvason, Sigurjón Rist, Baldur Línadal og Helmuth Schwabe, 1951: Skýrsla um rannsóknir á jarðhita í Hengli, Hveragerði og nágrenni, árin 1947-1949. - Síðari hluti. Tímarit Verkfræðingafél.Ísl. 3-4 hefti: 49-82.
- Valgarður Stefánsson, Gestur Gíslason, Helgi Torfason, Lúðvík S. Georgsson, Stefán G. Sigurmundsson og Sverrir Þórhallsson, 1982. Skipulegar rannsóknir á háhitasvæðum landsins. Orkustofnun, OS82093/JHD13.
- Valgarður Stefánsson, Jens Tómasson, Einar Gunnlaugsson, Hilmar Sigvaldason, Hjalti Franzson og Ómar Sigurðsson, 1983: Nesjavellir-Hola NG-6, borun, rannsóknir og vinnslueiginleikar. Orkustofnun OS83023/JHD04. - í undirbúningi.
- Vigdís Harðardóttir 1983 : sjá Harðardóttir, Vigdís 1983.
- Walker G.P.L., 1959. Geology of the Reyðarfjörður area, eastern Iceland. Quart.Journ.geol.Soc.London, 114: 367-393.
- Þorkell Þorkelsson, 1910, 1940 : sjá Þorkelsson, Þorkell 1910, 1940.
- Þorkelsson, Þorkell 1910 . The hot springs of Iceland. Vidensk. Selsk. Skrifter, Kaupmannahöfn.
- Þorkelsson, Þorkell 1940. On thermal activity in Iceland. Reykjavík.
- Þorleifur Einarsson, 1960 sjá : Einarsson, Þorleifur 1960.
- Þorvaldur Thoroddsen, 1925 : sjá Thoroddsen, Þorvaldur, 1925.

V I Ð A U K A R

VIÐAUKI I FRAMKVÆMD OG TÖLKUN VIÐNÁMSMÆLINGA

I.1 Framkvæmd viðnámsmælinga

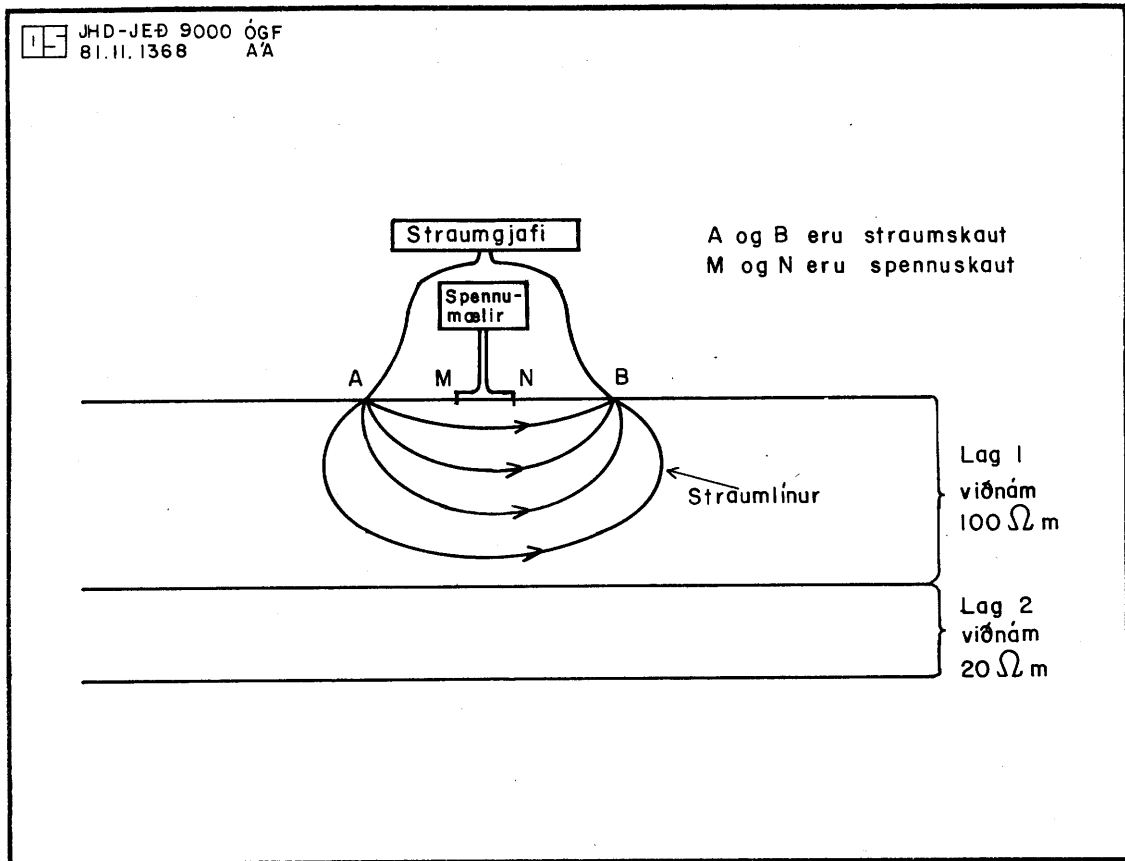
Viðnámsmælingar felast í því að mæla hvernig eðlisviðnám berglaga gegn rafstraumi breytist með dýpi frá einum stað til annars. Eðlisviðnám berglaga getur verið afar mismunandi, enda er það háð ýmsum breytistærðum. Þær mikilvægustu eru vatnsinnihald í bergi, selta jarðhitavökvans (m.ö.o. magn uppleystra efna), hitastig og síðast en ekki síst gerð bergsins, s.s. lögun og stærð hola, glufna og sprungna. Sé berg mettað vökva fer eðlisviðnám lækkandi með:

1. Auknu seltumagni jarðvökva
2. Hækkandi hitastigi
3. Auknu holrými bergs

Á jarðhitasvæðum er berg venjulega vatnssósa neðan við ákveðið dýpi. Þeir þrír þættir, sem stuðla að lækkandi eðlisviðnámi eru yfirleitt allir til staðar á jarðhitasvæðum. Þeir eru að meira eða minna leyti tengdir innbyrðis. Þannig eykst t.d. selta jarðvatns með hækkandi hitastigi. Við tiltölulega lágt hitastig og seltu ræðst viðnám fyrst og fremst af yfirborðsleiðni í samtengdum glufum.

Viðnámsmælingar skiptast í tvo flokka, jafnstraumsmælingar og riðstraumsmælingar. Eftir 1970 hefur nær eingöngu verið notast við jafnstraumsmælingar við jarðhitaleit á Íslandi.

Jafnstraumsmælingar fara þannig fram, að jafnstraumi er hleypt niður í jörðina gegnum tvö straumskaut. Spennunurinn sem myndast við það á yfirborði jarðar við önnur tvö rafskaut er mældur. Til eru ýmsar tegundir jafnstraumsmælinga með mismunandi innbyrðis afstöðu straum- og spennuskauta. Algengast er, að þau séu á beinni línu, straumskaut yst og spennuskaut mitt á milli. Ef fjarlægð milli spennuskauta er höfð mun minni en fjarlægð milli straumskauta, er mæliuppsetningin nefnd Schlumberger-



Mynd VI Schlumberger-uppsetning viðnámsmælinga.

uppsetning. Fjarlægð milli straumskauta er höfð a.m.k. fimmföld fjarlægð milli spennuskauta. Schlumberger-uppsetning er langalgengust hér á landi og verður átt við hana fyrst og fremst, þegar rætt verður um viðnámsmælingar hér á eftir. Hún er sýnd á mynd VI.

Eins og fram kemur af mynd VI sendir straumgjafi út straum milli straumskautanna A og B. Straumur dreifist um jörðina og nær því dýpra niður sem lengra er milli straumskauta. Spennunurinn, sem við þetta myndast milli spennuskauta M og N er mældur með spennumæli. Spennunurinn V (volt) er háður styrk útsends straums I (amper), innbyrðis afstöðu rafskauta og viðnámi jarðlaga, sem straumurinn fer um.

Svonefnt sýndarviðnám (ρ_a) er reiknað út samkvæmt eftirfarandi jöfnu:

$$\rho_a = K \times V/I$$

Fastinn K er einungis háður innbyrðis afstöðu straum- og spennuskauta.

Eins og áður sagði er straumdreifingin í jörðinni háð fjarlægð milli straumskauta. Á mynd V1 er fjarlægð milli straumskauta mun minni en þykkt efra lagsins og nærri allur straumurinn berst eftir því. Sýndarviðnámið verður því jafnt raunverulegu viðnámi efra lagsins þ.e. 100 ohmm. Til þess að fá upplýsingar um viðnámsdreifingu neðar í jörðinni er fjarlægð milli straumskauta smáaukin. Þegar fjarlægðin er orðin mun meiri en þykkt efra lagsins fer straumurinn nær eingöngu eftir neðra laginu og sýndarviðnám nálgast því raunverulegt viðnám neðra lagsins þ.e. 20 ohmm.

Líkön af eðlisviðnámi jarðlaga eru ekki jafneinföld og það tveggja laga líkan sem hér hefur verið lýst. Í raun er jörðin samsett úr miklum fjölda örþunnra viðnámslaga. Uppleysanleiki mælinga er hins vegar ekki meiri en svo, að oftast eru fjögur til sex lög látin nægja. Grunnhugmyndin verður eftir sem áður hin sama, en útfærslan (úrvinnslan) verður ögn flóknari, þegar fengist er við fjögur til sex lög í stað tveggja.

Í Schlumbergermælingum er fjarlægð milli straumskauta aukin smám saman og sýndarviðnám mælt fyrir hvert straumskautabil. Mælt sýndarviðnám er teiknað sem fall af hálfri fjarlægð milli straumskauta ($AB/2$) á tvílogaritmiskan pappír. Dæmi um slíka viðnámsferla er að finna í viðauka II.2. Mælingaflokkar Orkustofnunar skila niðurstöðum mælinga frá sér á þessu formi til þeirra, sem annast úrvinnslu.

I.2 Úrvinnsla viðnámsmælinga

I.2.1 Almenn atriði

Úrvinnsla viðnámsmælinga er tvíþætt. Í fyrsta lagi þarf að túlka sýndarviðnámsferla í "raunverulegt" viðnám jarðar og

draga saman niðurstöður einstakra viðnámsmælinga í eina heildarmynd af viðnámsdreifingu svæðisins. Í öðru lagi er viðnámsdreifingin borin saman við aðrar rannsóknir af sömu slóðum s.s. jarðfræði, segul- og þyngdarmælingar, efnafræði- og smáskjálftarannsóknir o.s.frv. Þannig fæst heilsteypt mynd af viðnámsdreifingunni, sem síðan er tengd ýmsum jarðhitafræðilegum þáttum, sem ákvarða gerð og lögun jarðhitasvæðis, eins og hitastig, holrými, ummyndun, seltu, fasa o.s.frv.

Á jarðhitadeild Orkustofnunar eru til forrit, sem túlka viðnámsmælingar, bæði einvítt og tvívítt. Erlendis er unnið að þróun forrita, sem túlka viðnámsmælingar þrívítt. Geysilangur tölvutími háir þeirri þróun enn sem komið er.

I.2.2 Einvíð túlkun viðnámsmælinga

Í einvíðri túlkun er gert ráð fyrir því, að jörðinni sé skipt í lárétt lög með óendanlega útbreiðslu. Sérhvert lag hefur fasta þykkt og viðnám. Fjöldi laga má ákvarða út frá lögun sýndarviðnámsferils, en að því loknu má reikna út viðnám og þykkt einstakra laga. Fram til ársins 1978 var það gert með samanburði við fræðilega reiknaða sýndarviðnámsferla.

Arið 1978 eignaðist Jarðhitadeild Orkustofnunar forritið CIRCLE2, sem túlkar viðnámsmælingar einvítt (Johansen 1977, Ásmundur Jakobsson og Gylfi Páll Hersir 1978). Forritið er sjálfvirkt á þann hátt, að tölvan er mötuð á mæligildum, fjöldi laga og ágiskunum byrjunargildum fyrir viðnám og þykkt sérhvers lags. Síðan leitar tölvan uppi það jarðlagalíkan fyrir ákveðinn lagafjölda, sem gefur þann útreiknaða sýndarviðnámsferil, sem fellur best að mældum sýndarviðnámsferli.

Ýmsir gallar eru á þessari túlkunaraðferð. Hún sýnir t.d. einungis þá lausn sem felur í sér fæst möguleg viðnámslög, og eru þau viðnámsgildi einstakra laga sem út úr túlkun koma eins konar vegin meðalgildi viðnáms yfir ákveðin dýptarbil. Auk þess eru alltaf einhverjar viðnámsbreytingar í lárétta stefnu. Ef þær eru óverulegar á svæði sem nemur lengd straumarms (AB/2), umhverfis sitthvort straumskaut er einvíð túlkun talin góð og gild.

Unnið er að þróun forrita, sem túlka viðnámsmælingar einvítt, þar sem jörðinni er ekki skipt niður í ákveðin viðnámslög, heldur er viðnámi sem fall af dýpi leyft að breytast samfellt (Oldenburg 1978). Þessi þróun á all nokkuð í land áður en hún getur leyst fyrirnefnda aðferð af hólmi.

1.2.3 Óvissur og jafngildislög í einvíðri túlkun

Sérhvertt sýndarviðnámsgildi er mælt með ákveðinni óvissu. Hér á eftir verður gerð grein fyrir helstu óvissuvöldum og þeim afleiðingum í túlkun niðurstaða, sem þessi óvissa hefur í för með sér.

Ákveðin óvissa felst bæði í mælingu útsends straums og við aflestur spennufallsins, sem straumurinn skapar. Einnig er óvissa í ákvörðun á fjarlægð milli rafskauta. Þar sem viðnámsdreifingin er aldrei algerlega einvíð falla mæld sýndarviðnámsgildi mismunandi vel að reiknuðum sýndarviðnámsferlum. Ýmislegt getur skammhleypt útsendum straum, s.s. ýmiss konar jarðlagnir t.d. jarðtengingar milli háspennustaura, jarðsímalínur og í minna mæli girðingar og ýmislegt járnadrasl. Þá getur sjórinn skammhleypt straumnum. Ef straumur skammhleypur, mælist minna spennufall en ella og sýndarvið nám mælist því lægra en það raunverulega er. Ýmsir aðrir óvissuliðir eru einnig fyrir hendi, t.d. vegna mælitækja, óreglulegs landslags (fjöll, dalir) eiginspennu í jörðu o.s.frv.

Flestir þessarar óvissuliða eru óháðir hver öðrum. Venja er að draga saman allar óvissur og meta heildaróvissuna sem 3,5% af mældu sýndarviðnámsgildi að viðbættu staðalfrávik í sérhverjum mælipunkti. Yfirleitt vex staðalfrávik með vaxandi straumarmslengd og fer fyrst að skipta verulegu máli, þegar hálf fjarlægð milli straumarma ($AB/2$) er orðin 1000 m. Ástæður fyrir þessu eru einkum tvær. Annars vegar minnkar spennufall með vaxandi straumarmslengd og mælióvissan verður þar af leiðandi hlutfallslega stærri. Hins vegar valda segulsviðsstraumar í háloftum jarðstraumum, sem ýmist leggjast við eða dragast frá "réttum spennunum". Sum mæligildi verður því að mæla mörgum sinnum og taka síðan veginn meðaltal, þar sem staðalfrávik er haft til viðmiðunar.

Ef sérhvert sýndarviðnámsgildi ákveðinnar mælingar væri fullkomlega laust við alla skekkju væri eftirleikurinn auðveldur, því eitt og aðeins eitt jarðlagalíkan svaraði þá til þess sýndarviðnámsferils, sem mældur er.

Áhrif óvissu á túlkun má skipta í tvennt. Í fyrsta lagi þættir sem hafa bein áhrif á þann hátt, að þeir setja þykkt og viðnámi einstakra jarðlaga ákveðin óvissumörk. Í öðru lagi eru jarðfræðilegir þættir eða m.ö.o. ákveðin gerð jarðlaga, sem hefur óbein áhrif og veldur svokölluðum jafngildislögum. Með þeim er átt við, að allar lausnir, sem fást með því að breyta viðnámi og þykkt jarðlagsins, eru jafngildar, ef þær gefa sama feril innan óvissumarka. Innan þeirra má breyta þykkt viðkomandi jarðlags og viðnámi að vild sé þess gætt að annaðhvort margfeldi þykktar og viðnáms sé fasti (t-jafngildislag) eða hlutfall á milli þykktar og viðnáms (s-jafngildislag). Jafngildislög koma fram þegar þykkt ákveðins jarðlags er minni en dýpið niður á það og ef það er milli tveggja jarðlaga sem bæði hafa lægra viðnám (t-jafngildislag), eða ef það er milli tveggja jarðlaga sem bæði hafa herra viðnám (s-jafngildislag).

Ef jarðlagalíkan gerir ráð fyrir jafngildislagi og því er breytt í samræmi við það sem sagt var hér að framan má að vísu fá fram ólíka sýndarviðnámsferla. En, munurinn á þeim er það lítill, að þeir verða innan óvissumarka mælds sýndarviðnámsferils. Ágæt dæmi um jafngildislög eru einmitt frá Vestur-Hengilssvæðinu. Til dæmis í mælingum D75, D76 og D77 eru jarðlög með hátt viðnám ofan við lágviðnámslag, en neðan við það er jarðlag með háu viðnámi (sjá viðauka II.2). Þykkt lágviðnámslagsins, sem þarna er milli tveggja jarðlaga með háu viðnámi, er minni en dýpi niður á það. Því er þetta lágviðnámslag í þessum þremur mælingum dæmigert s-jafngildislag. Þar af leiðandi verður einungis hlutfall á milli þykktar og viðnáms þessa lags í þessum mælingum vel ákvarðað, og aðeins hægt að setja ytri mörk fyrir þykkt og viðnám lagsins (sjá einnig kafla 3.2.3).

Einn aðalkosturinn við forritið CIRCLE2 er, að það gerir mjög góða grein fyrir því, hvað mæld óvissa í sýndarviðnámi merkir fyrir óvissu á þykkt og viðnámi einstakra jarðlaga. Auk þess gerir það góða grein fyrir, hvernig einkennisstærðir jarðlaga (þykktir og viðnám) eru háðar hver annarri. Þá má sjá, hvað er vel ákvarðað og hvað ekki, sem og hver eru hæstu og lögstu möguleg gildi, sem þykkt og

viðnám einstakra jarðlaga geta haft, miðað við mældan sýndarviðnámsferil og óvissumörk hans.

I.2.4 Tvívíð túlkun viðnámsmælinga

Árið 1981 eignaðist Orkustofnun forrit, sem túlkar viðnámsmælingar tvívítt þ.e.a.s. upplýsingar fást bæði um lárétta lagskiptingu viðnáms (einvíð túlkun) og viðnámsbreytingar í eina stefnu í láréttum fleti (Dey 1976, Dey og Morrison 1976, Halldór Halldórsson 1982). Til þess að fá nægileg gögn verður að framkvæma nokkrar viðnámsmælingar hverja í framhaldi af annarri, þannig að rafskaut allra mælinga séu á sem næst beinni línu. Venjulega er mælt þvert á þau viðnámsskil eða skrokka sem verið er að kanna og fást þá upplýsingar um viðnám bæði lóðrétt og lárétt í stefnu mællínu. Mælingar verða að ná vel út fyrir áhrifasvæði þeirra viðnámsskila, sem ætlunin er að skoða.

Tvívíð túlkun fer þannig fram, að búið er til viðnámsnið úr réttthyrndum blokkum. Viðnámi er haldið föstu hornrétt á það. Dæmi um slíkt viðnámsnið er á myndum 10 og 11. Síðan eru reiknaðir í tölvu þeir sýndarviðnámsferlar, sem fást ef mældar eru Schlumbergermælingar eftir sniðinu. Útreiknaðir sýndarviðnámsferlar eru síðan bornir saman við melda sýndarviðnámsferla. Á viðnámsniðinu á mynd 11 eru það mælingar D76, D75 og D74. Ef samræmið er ekki nægilega gott er viðnámsniðinu breytt og nýir sýndarviðnámsferlar reiknaðir og þannig koll af kalli, uns viðunandi samræmi næst milli reiknaðra og mældra sýndarviðnámsferla. Í viðauka II.3 sést hvert samræmið er hvað varðar mælingar D74, D75 og D76. Þá er stundum borið beint saman mælt sýndarviðnámsnið annars vegar og reiknað sýndarviðnámsnið hins vegar. Með því móti fæst hentugt mat á því hvort túlkunin er nægilega góð fyrir sniðið í heild. Mæld og reiknuð sýndarviðnámsnið fyrir viðnámsniðin á myndum 10 og 11 eru sýnd á myndum V3 og V5 annars vegar og V4 og V6 hins vegar.

Við tvívíða túlkun er viðnámslíkan fellt inn í net punkta í forritinu. Þar sem netið inniheldur takmarkaðan fjölda punkta, verður sniðið alltaf dálítið gróft og upplausnin í forritinu því takmörkuð. Hún batnar með auknum fjölda punkta, en um leið eykst keyrslutími forritsins í tölvu

verulega. Því verður að finna hentugan meðalveg, þannig að netið verði hvorki of gróft né keyrslutími of langur. Forritið er mjög frekt á tölvutíma og því ærið kostnaðarsamt að túlka mælingar tvívítt. Að auki eru flest þau vandamál til staðar í tvívíðri, sem rætt var um hér að framan.

Sú lausn sem fæst er ekki einkvæm, þ.e.a.s. fleira en eitt viðnámssemi geta skýrt sama sýndarviðnámsferil. Forritið ræður illa við samliggjandi viðnámsblokkir þar sem viðnámshlutföll milli blokka eru mjög há. Túlkunaraðferð þessi er hentug til að finna lóðrétt viðnámskil og gefur allgóða mynd af viðnámi undir mælimiðju. Hún veitir hins vegar ekki áreiðanlegar upplýsingar um við nám og þykktir á lögum handan lóðréttra skila. Með mörgum mælingum á beinni línu má vinna gegn þessum veikleika. Þá er einnig sá galli á forritinu, að ekki er tekið tillit til landslagsáhrifa við túlkun. Þetta er bagalegt þar sem brattar brekkur eru, eins og á Kolviðarhólssvæðinu frá Bolavöllum uppá Hellisheiði. Unnið er að endurbótum á forritinu, þar sem gert er ráð fyrir landslagsáhrifum.

I.2.5 Vandamál við túlkun viðnámsmælinga á háhitasvæðum

Ýmis mælitæknileg vandamál eru tengd viðnámsmælingum á háhitasvæðum. Þau má einkum rekja til eftirfarandi þriggja þátta:

1. Lélegs sambands milli straumskauta og jarðar
2. Lágs viðnáms í jörðu
3. Mjög mikilla viðnámsbreytinga milli jarðlaga

Hér verður fjallað stuttlega um þessa þætti og áhrif þeirra á viðnámsmælingar.

Flest háhitasvæði á Íslandi eru tengd eldvirkni. Yfirborð þeirra er því iðulega þakið þurrum og lítt grónum ungum hraunum þannig að mjög erfitt er að fá gott samband milli straumskauta og jarðar. Af þessu leiðir að sá straumur sem hægt er að senda milli straumskauta er að jafnaði lítill. Spennufall milli spennuskauta er í beinu hlutfalli við útsendan straum og er því einnig lítið. Þetta verður til þess að óvissur og skekkjur í mældri spennu (s.s. frá jarðspennum og innri skekkjum í spennumæli, þegar hann er

notaður að ystu mörkum) geta orðið hlutfallslega mjög stórar. Óvissum er reynt að halda í skefjum með því að margendurtaka spennumælinguna og reikna síðan vegið meðaltal. Innri skekkjur í mælitækjum er hins vegar ekki hægt að losna við og verður því í einstaka tilfellum að hætta mælingu mun fyrr en áætlað var.

Viðnám í jarðhitakerfum háhitasvæða er að jafnaði mjög lágt. Spennufall milli spennuskauta verður því lítið (það má í grófum dráttum skilja af ohmslögmáli: spenna=viðnám x straumur). Lágt viðnám á háhitasvæðum hefur því í för með sér sama vandamál og lýst var hér að framan. Af því sem hér hefur verið rakið má sjá að eitt aðalvandamálið við viðnámsmælingar á háhitasvæðum er lítið spennufall milli spennuskauta.

Spennufall má auka með því að auka fjarlægð milli spennuskauta. Í viðnámsmælingum er það að jafnaði gert þrisvar til fjórum sinnum eftir því sem straumarmur er lengdur. Hins vegar er ekki hægt að hafa fjarlægð milli spennuskauta eins mikla og verkast vill. Fyrir því liggja einkum tvær ástæður. Í fyrsta lagi er hægt að sýna fram á að dýptarskynjun viðnámsmælinga er ekki meiri en styttesta fjarlægð frá straumskauti að spennuskauti (Knútur Árnason 1983). Til að hafa dýptarskynjun sem mesta er því æskilegt að hafa spennuskaut sem lengst frá straumskautum þ.e.a.s. sem minnst bil milli spennuskauta. Í öðru lagi er í flestum forritum sem notuð eru til einvíðrar túlkunar (þar á meðal CIRCLE2) gert ráð fyrir að fjarlægð milli spennuskauta sé miklu minni en fjarlægð milli straumskauta (samanber viðauka I.2.4). Af þessum ástæðum er leitast við að hafa fjarlægð milli spennuskauta sem stytsta og ekki lengri en fimmtung af fjarlægð milli straumskauta. Velja verður miðju mælingar af sérstakri gaumgæfni. Hún má ekki vera þannig staðsett að annað spennuskaut eða bæði lendi innan lítils svæðis, þar sem yfirborðslagið hefur mun minna viðnám en svæðið umhverfis (t.a.m. ummyndunarskellur á háhitasvæðum). Við slíkar aðstæður (gjarnan nefnd "grasbalaáhrif") mælist sýndarviðnám mun minna en það raunverulega er.

Breytingar á fjarlægð milli spennuskauta (spennuarmi) hafa, auk þess sem áður er nefnt, oft í för með sér annað vandamál. Þegar spennuarmur er lengdur breytist sýndarviðnám iðulega, þ.e.a.s. ekki mælist sama sýndarviðnám á stuttum og löngum spennuarmi við sama

straumarm. Þetta gefur ósamfelli eða hliðrun í mældum sýndarviðnámsferli (spennustökk). Það er mjög bagalegt því að þau forrit, sem notuð eru við túlkun mælinga krefjast samfelldra viðnámsferla. Áður en túlkun getur hafist verður því að leiðrétta ferlana til þess að losna við ósamfellur. Slíkar leiðréttingar geta verið mjög vandasamar og oft orkar tvímælis hvernig þær skuli framkvæmdar. Þó má oft greina á milli tveggja mismunandi gerða af ósamfellum:

1. Hliðrun, sem minnkar með vaxandi straumarmi
2. Hliðrun, sem helst óbreytt með vaxandi straumarmi

Þessar ósamfellur eiga sér mismunandi orsakir (Knútur Árnason 1983). Þær fyrrnefndu eiga rætur sínar að rekja til mjög mikilla viðnámsbreytinga milli láréttra jarðlaga nálægt yfirborði. Þessar ósamfellur eru leiðréttar á þann hátt að notuð eru sýndarviðnámsgildi fyrir styttri spennuarminn eins lengi og hægt er (æskilegast væri þar til hliðrunin er horfin) og síðan sýndarviðnámsgildi fyrir lengri spennuarminn.

Ósamfellur af síðarnefndu gerðinni eiga rætur sínar að rekja til óreglu í viðnámi við spennuskaut. Þær eru alla jafna lagfærðar með því að hliðra þeim hluta ferilsins sem mældur er með stuttum spennuarmi að þeim hluta ferilsins sem mældur er með lengri spennuarmi.

Að lokum ber að geta þess, að verið er að ljúka við forrit, sem ætlað er að leysa CIRCLE2 af hólmi. Í því er gert ráð fyrir báðum tegundum spennustökka. Miklar vonir eru bundnar við notkun þessa forrits við túlkun viðnámsmælinga frá háhitasvæðum.

VIÐAUKI II VIÐNÁMSMÆLINGÖGN ÚR VESTUR-HENGLI

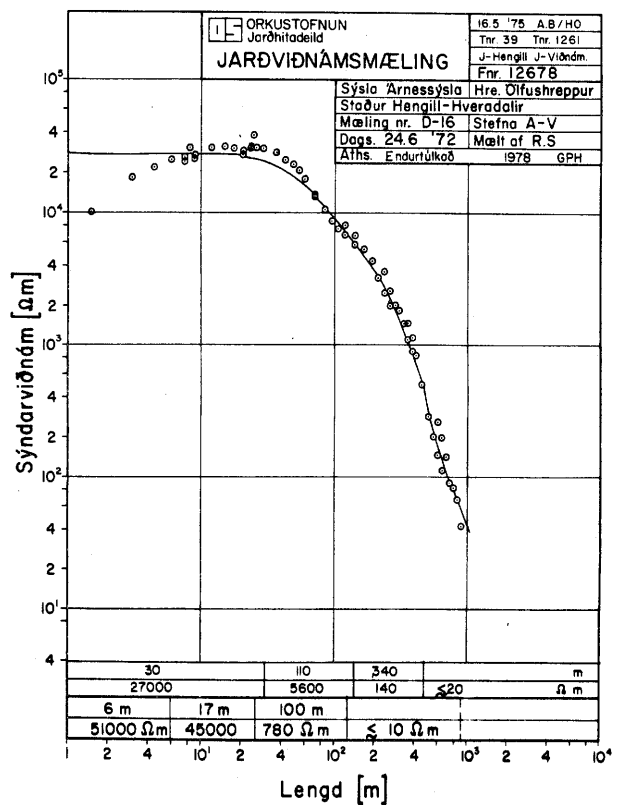
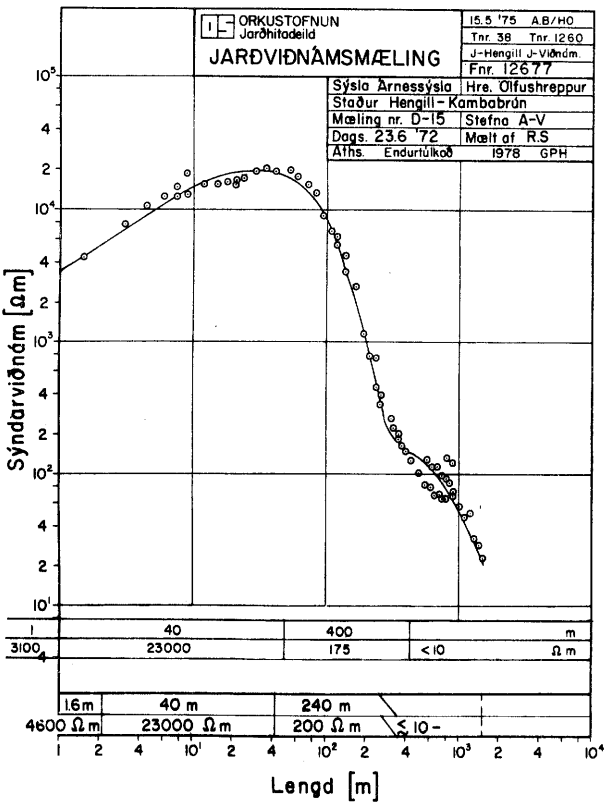
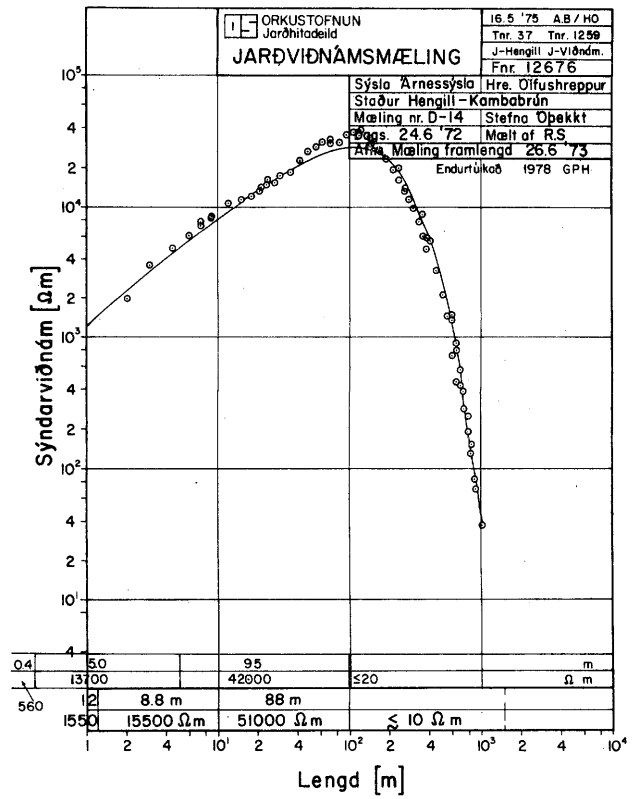
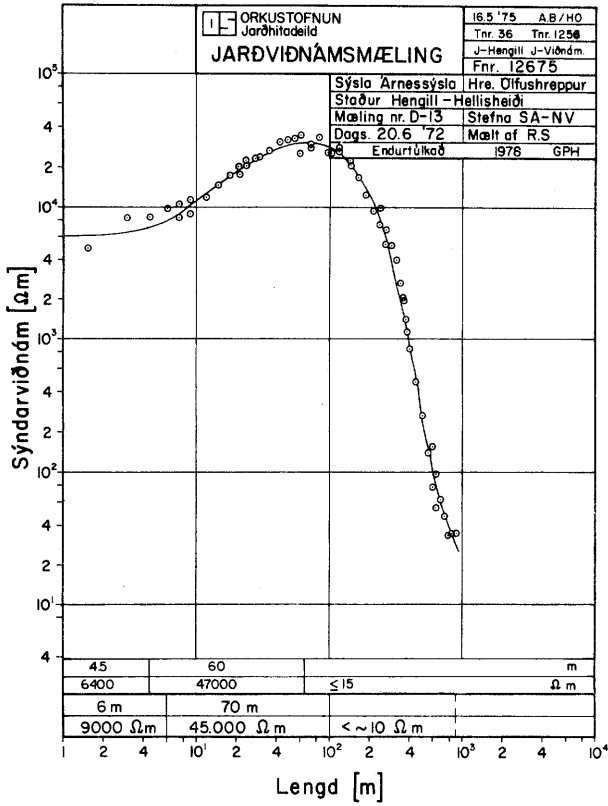
II.1 Staðsetning Schlumberger-viðnámsmælinga í Vestur-Hengli 1972-82. Notuð eru Mercator-hnitin á bandarísku AMS-kortunum í mælikvarða 1:50.000.

Heiti mælingar	Ár	AMS hnit Breidd Lengd	Stefna straumarma	Hæð yfir sjávarmáli	Staðarlýsing
D13	72	⁷⁰ 99.15 ⁴ 85.20	N103°A	330	Hellisheiði
D14	72	99.20 83.60	N88°A	350	Hellisheiði
D15	72	98.25 86.95	N112°A	300	Urðarás
D16	72	99.15 81.40	N97°A	350	Smiðjulaut
D17	72	⁷¹ 04.95 79.70	N27°A	250	Bolavellir
D18	72	02.35 86.15	N138°A	350	Fremstidalur
D19	72	00.65 86.25	N160°A	340	Orustuhóll
D20	72	02.25 84.90	N49°A	370	Skarósmýri
D21	72	01.65 83.65	N21°A	390	Skarósmýrarfjall
D22	72	00.65 82.50	N175°A	380	Orustuhólshraun
D23	72	04.30 83.50	N54°A	470	Innstidalur
D24	72	03.80 84.15	N138°A	440	Innstidalur
D28	72	06.10 82.25	N63°A	290	Engidalur
D31	72	00.80 79.70	N22°A	270	Litla-Reykjafell
D39	74	⁷⁰ 98.10 ⁴ 83.15	N86°A	360	Hverahlíð
D40	74	97.40 86.15	N145°A	300	Urðarás
D41	74	99.95 80.35	N23°A	320	Hveradalir
D45	74	⁷¹ 01.80 80.70	N25°A	260	Kolviðarhóll
D46	74	⁷⁰ 98.60 80.20	N18°A	300	Hveradalir
D47	74	98.60 77.95	N38°A	270	Lambafell
D48	74	97.30 80.00	N170°A	300	Lágaskarð, Stóri Meitill
D52	74	⁷¹ 01.65 87.35	N48°A	370	Bitra
D56	75	⁷¹ 04.35 ⁴ 77.40	N64°A	250	Svínahraun
D57	75	03.40 78.60	N42°A	260	Svínahraun
D58	75	00.50 83.95	N63°A	370	Orustuhólshraun
D68	82	⁷¹ 02.10 ⁴ 80.10	N123°A	260	Mógil
D69	82	03.25 78.50	N134°A	260	Svínahraun
D70	82	04.60 76.80	N126°A	250	Svínahraun
D71	82	05.65 75.10	N126°A	220	Svínahraun
D72	82	00.85 81.90	N123°A	400	Hellisskarð
D73	82	⁷⁰ 99.60 84.15	N124°A	350	Hellisheiði
D74	82	⁷¹ 01.50 82.15	N153°A	400	Orustuhólshraun
D75	82	02.35 81.50	N153°A	290	Sleggjubeinsdalur
D76	82	03.75 80.80	N153°A	400	Húsmúli
D77	82	02.00 81.25	N132°A	275	við Sleggjubeins- dal

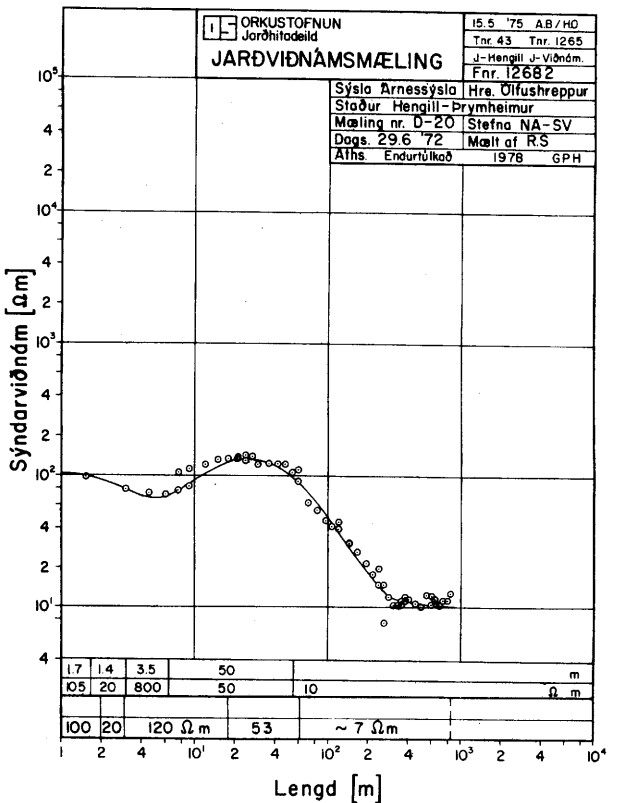
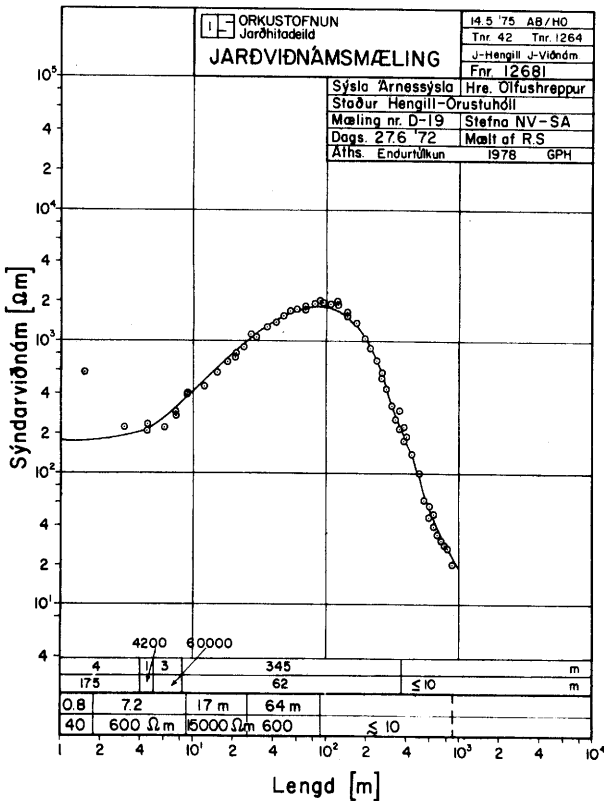
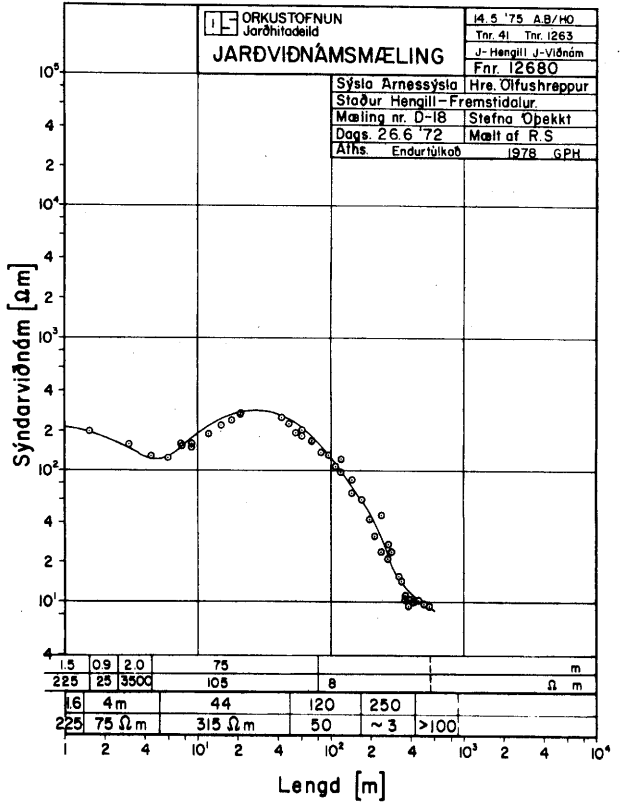
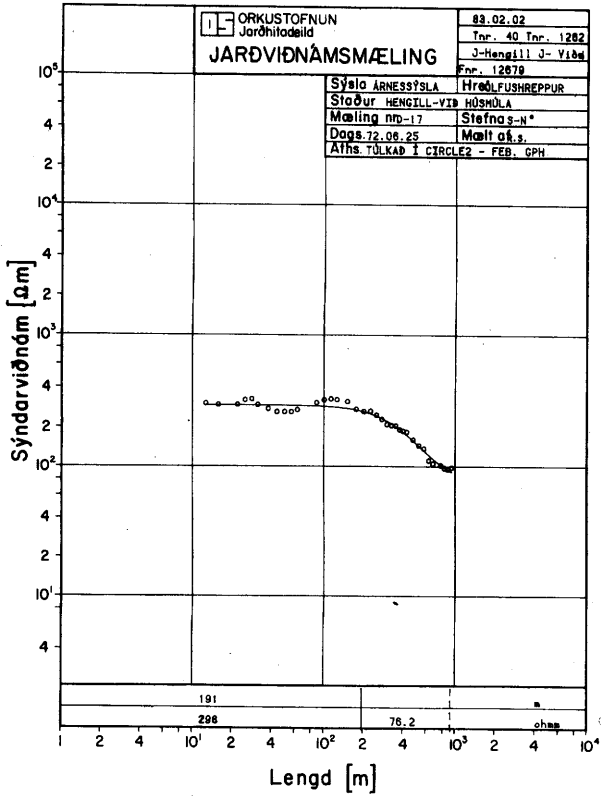
II-2 Einvíð túlkun viðnámsmælinga í Vestur-Hengli

Teiknaði ferillinn er sá reiknaði sýndarviðnámsferill sem fæst, ef jörðin er lárétt lagskipt (einvíð) og lagskiptingin er eins og túlkunin, sem er neðst á hverri mynd. Við eldri mælingarnar 25 (D13-D58) eru sýndar tvær túlkanir. Sú neðri er gömul handtúlkun en sú efri er ný tölvutúlkun sömu gagna, og við hana er stuðst.

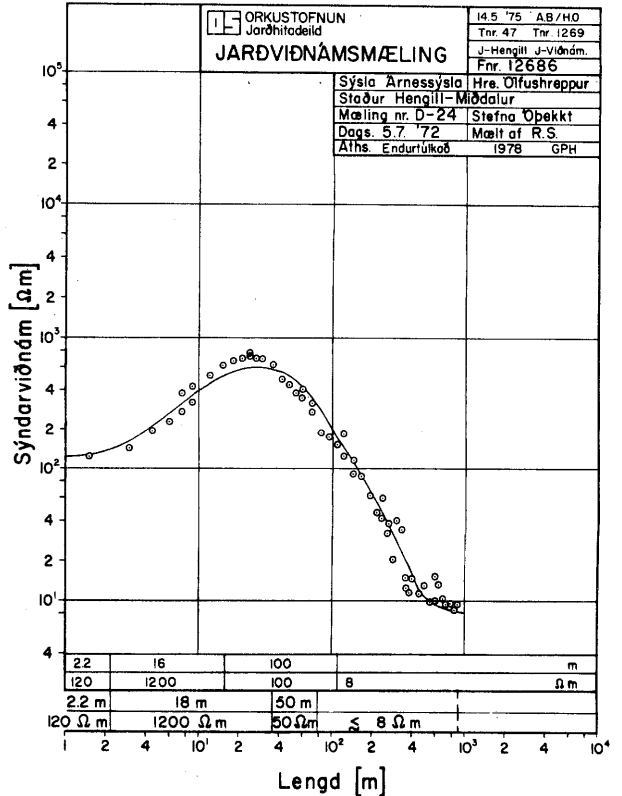
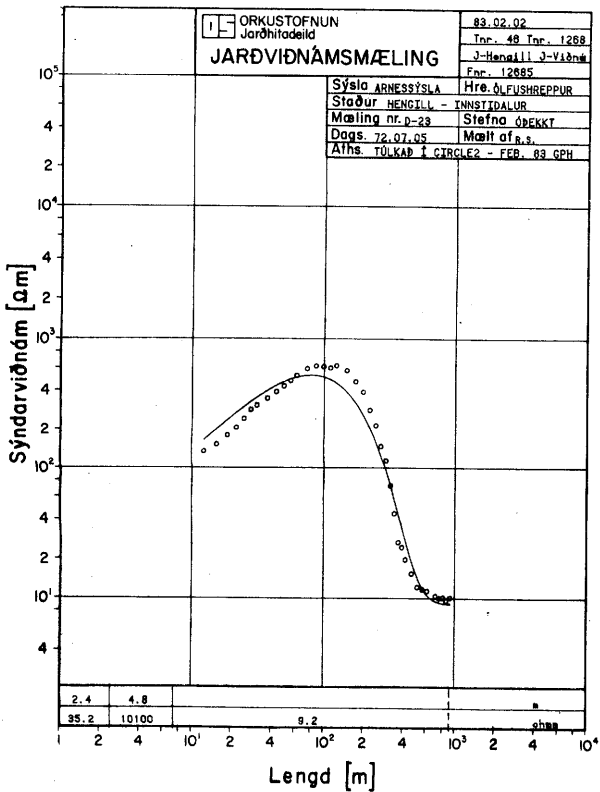
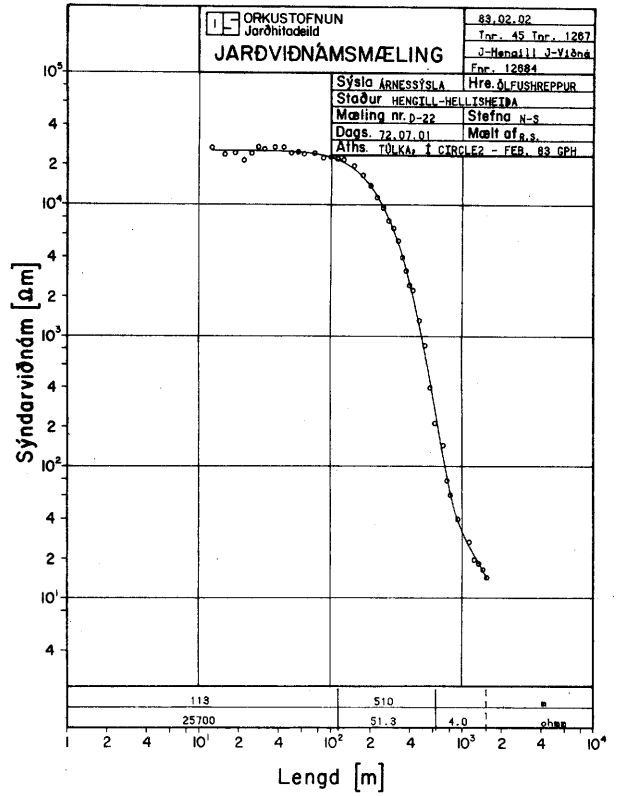
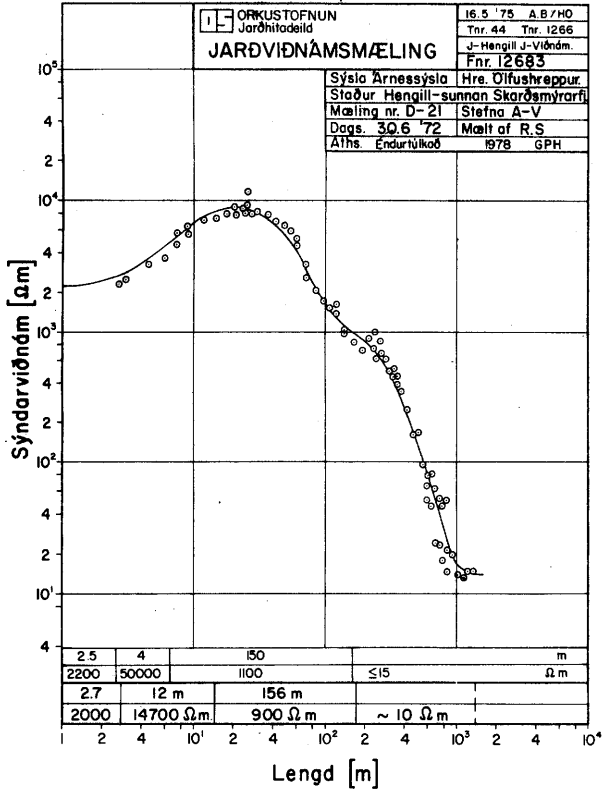
Einvið túlkun viðnámsmælinga



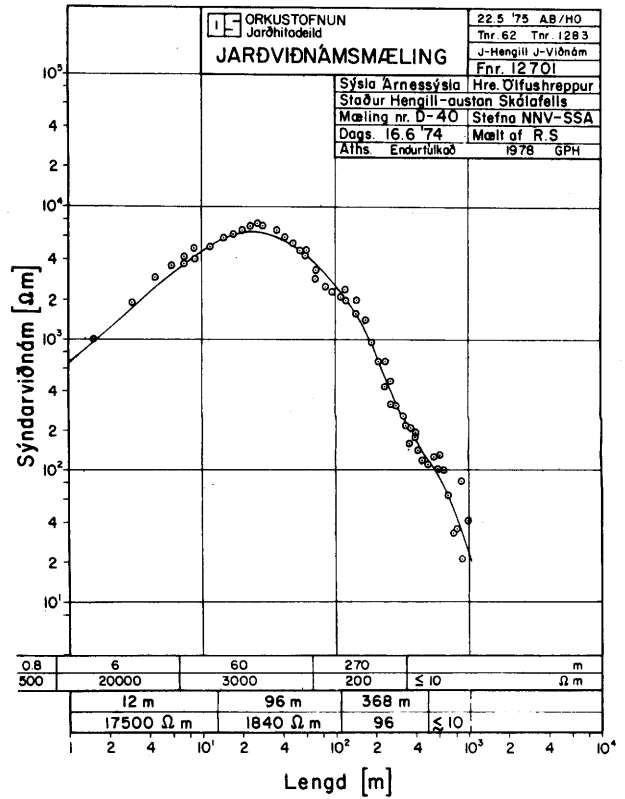
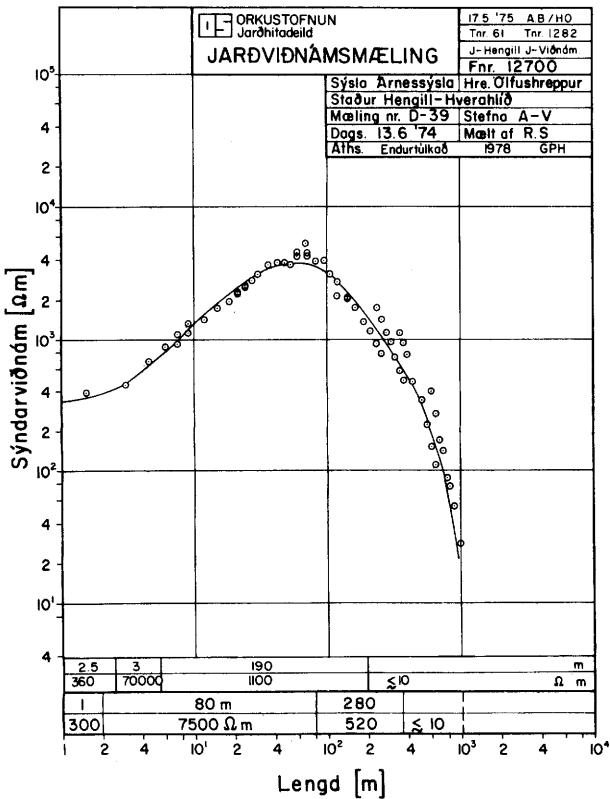
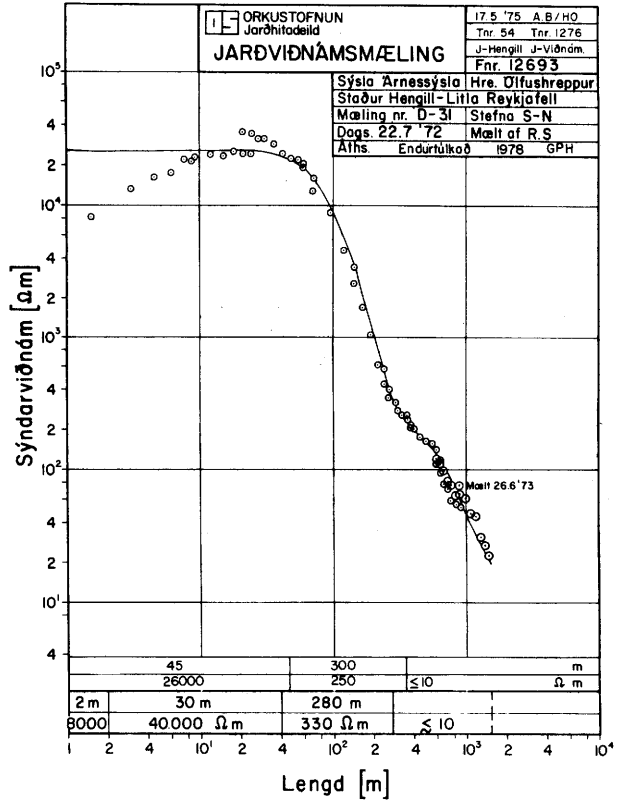
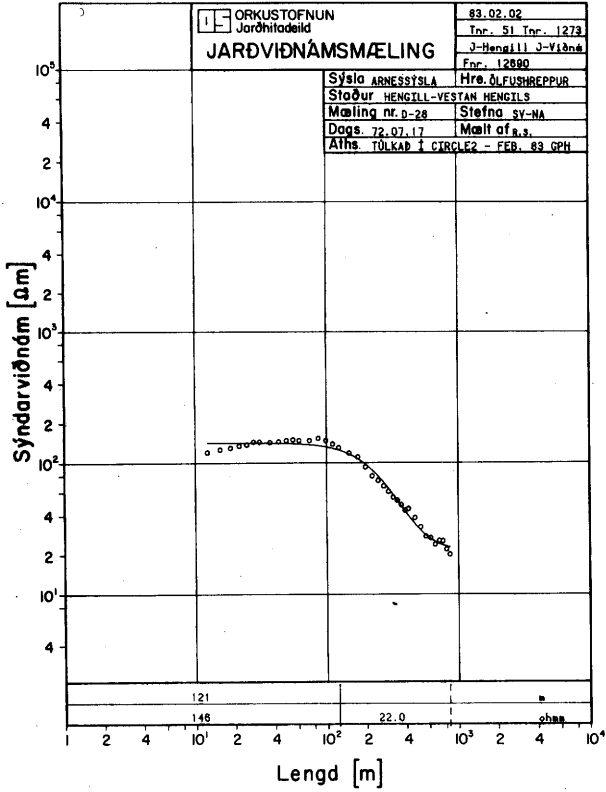
Einvið túlkun viðnámsmælinga



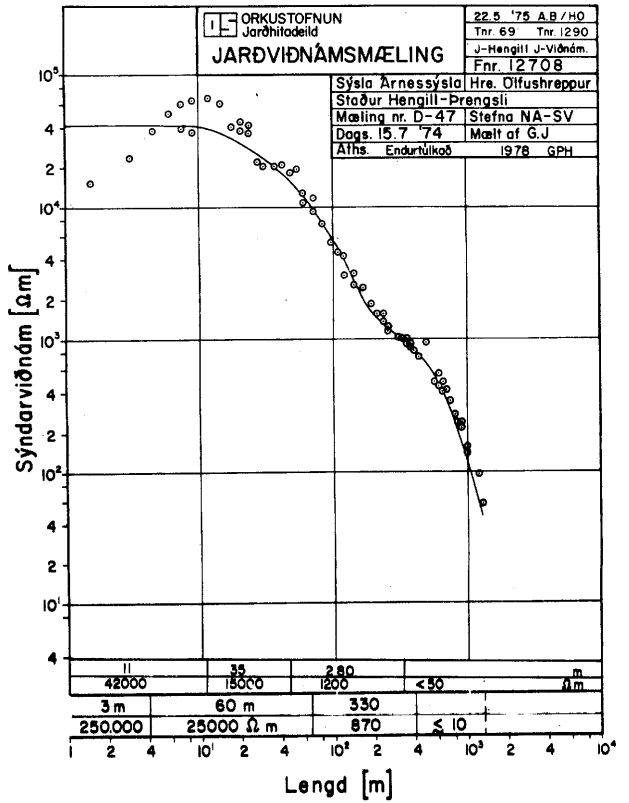
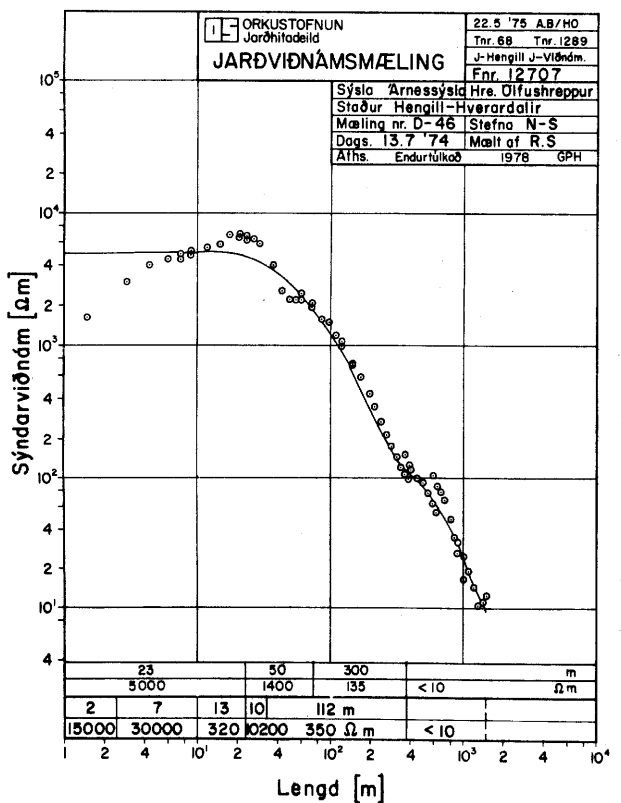
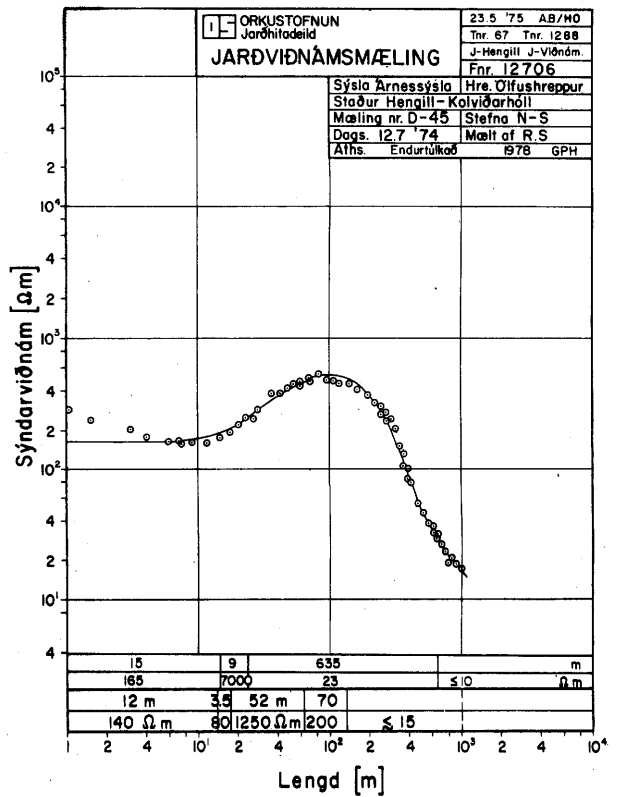
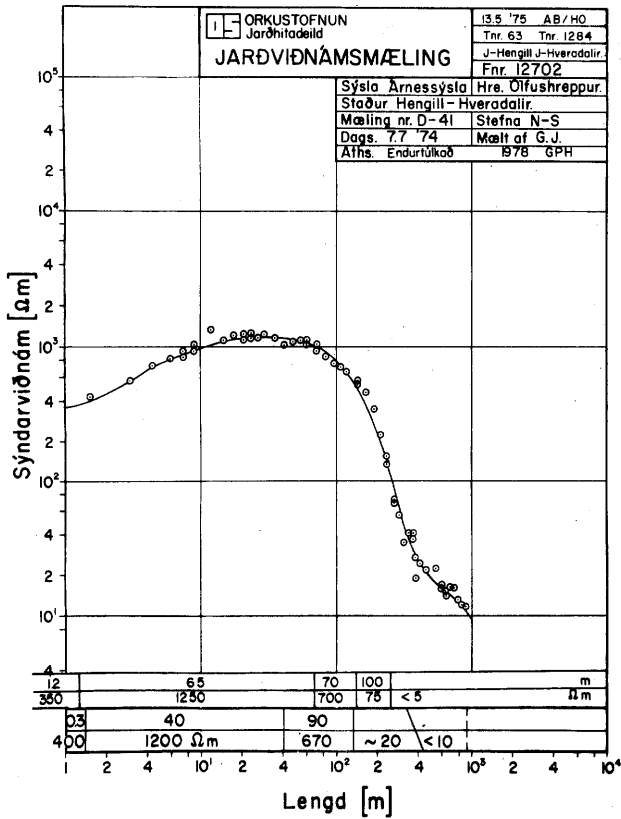
Einvið túlkun viðnámsmælinga



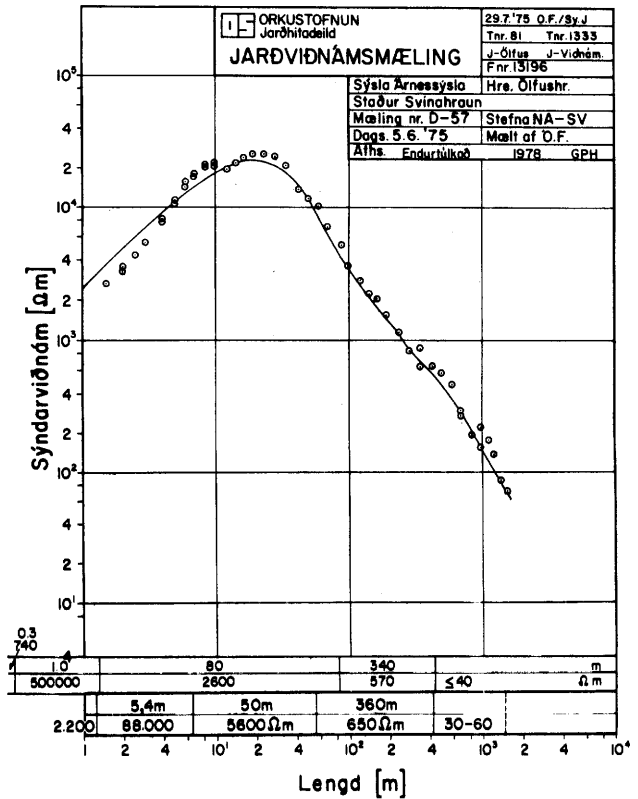
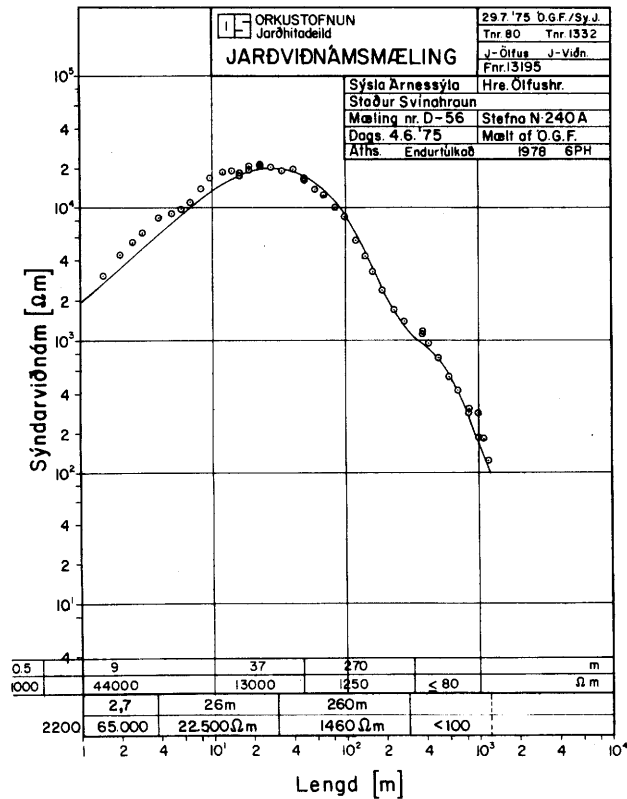
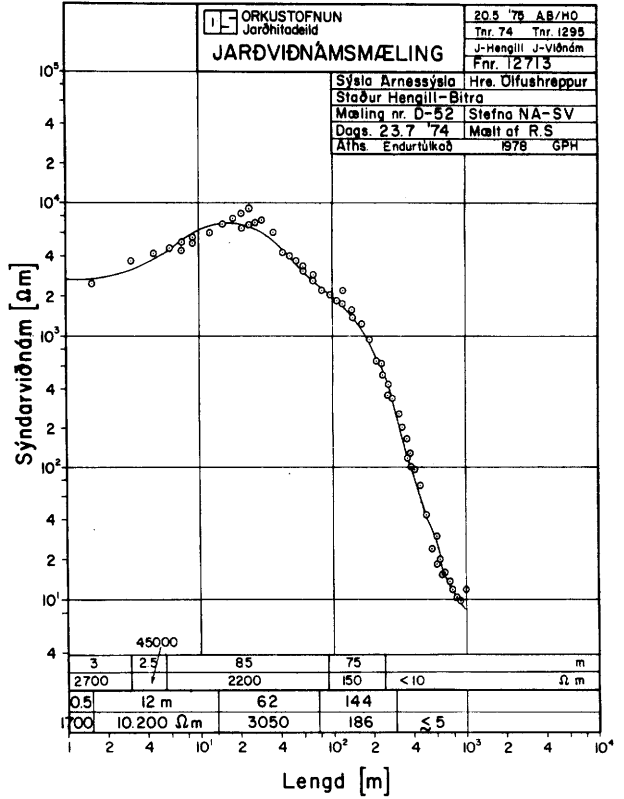
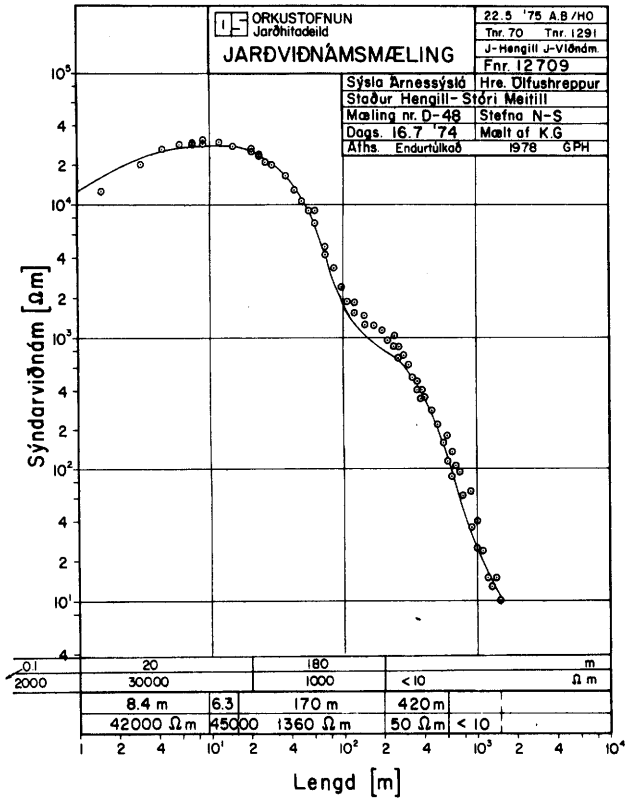
Einvið túlkun viðnámsmælinga



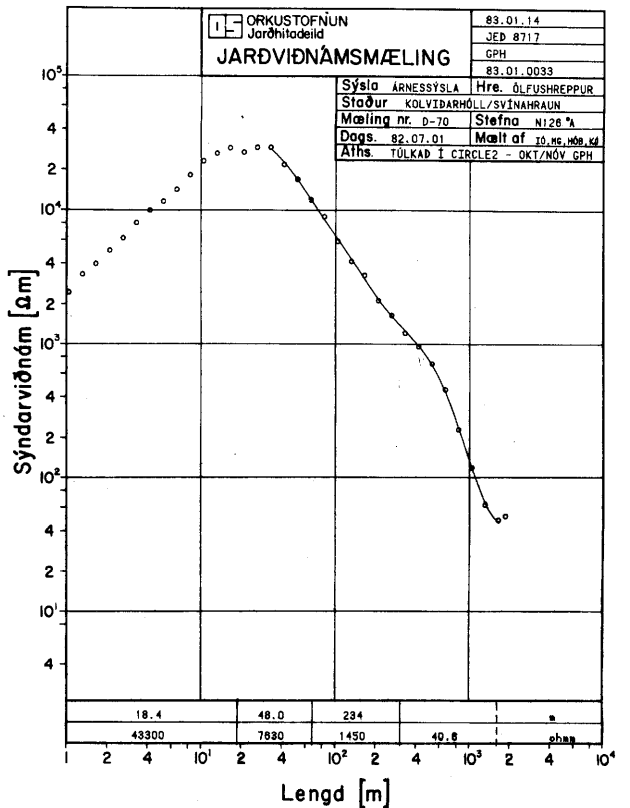
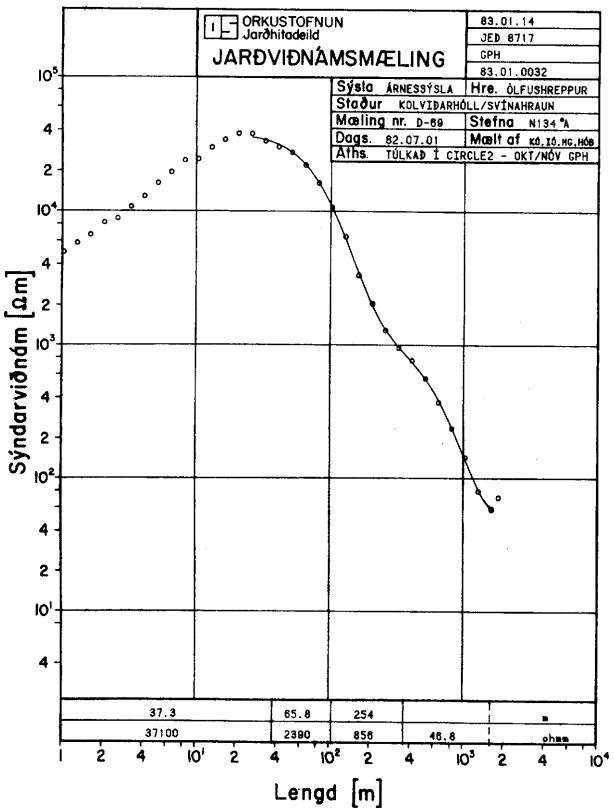
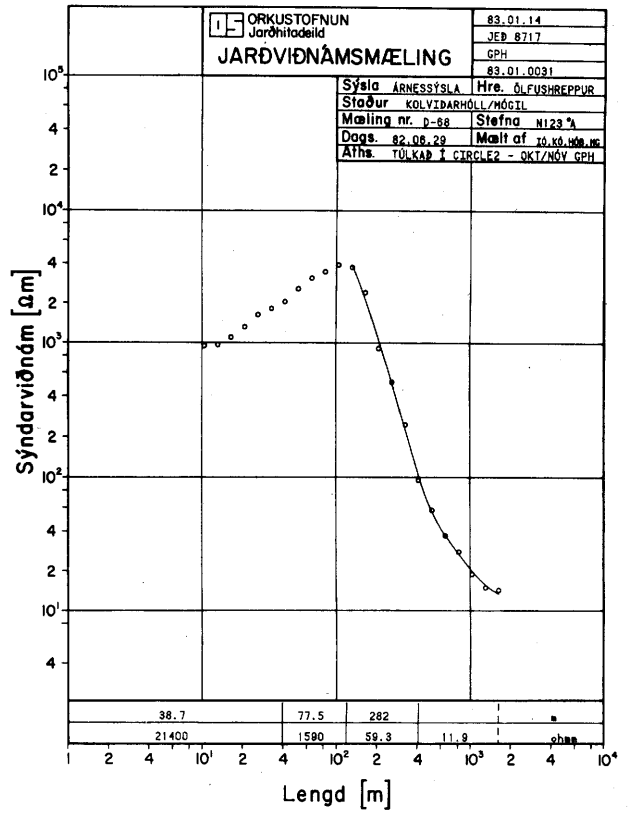
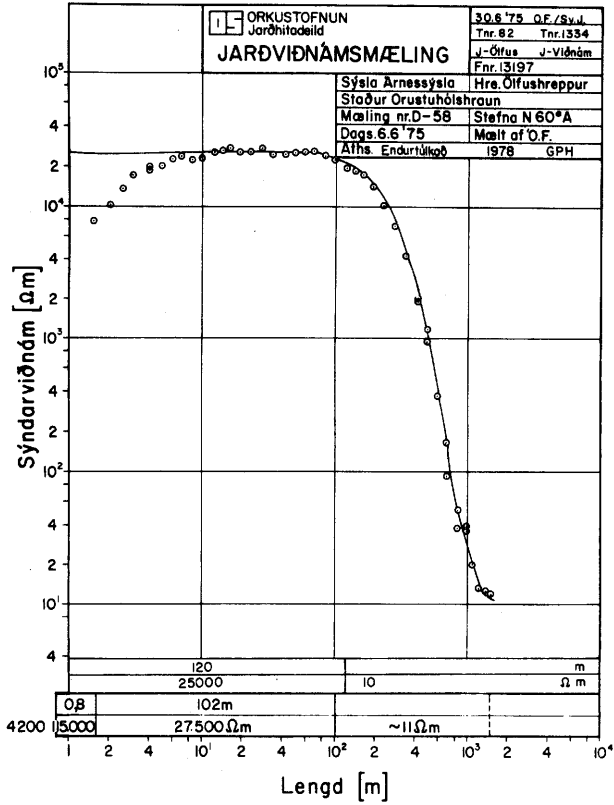
Einvið túlkun viðnámsmælinga



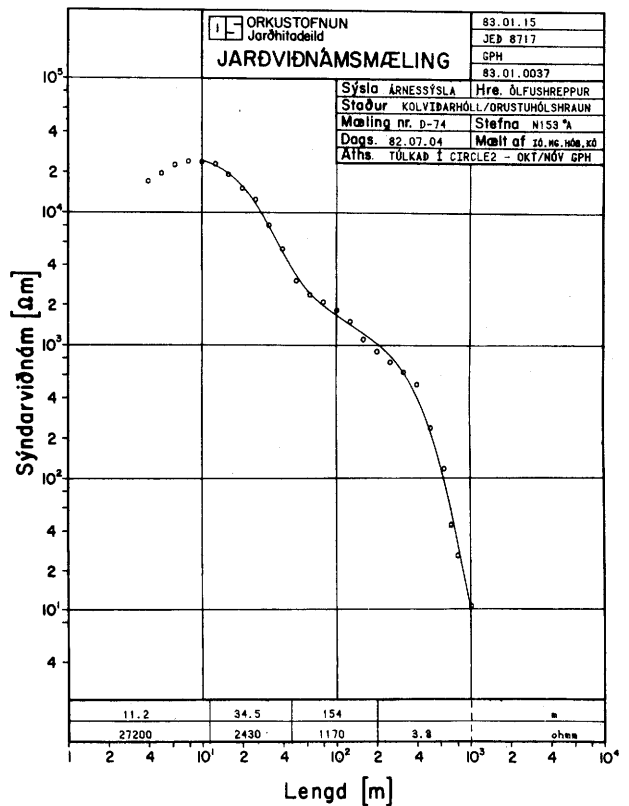
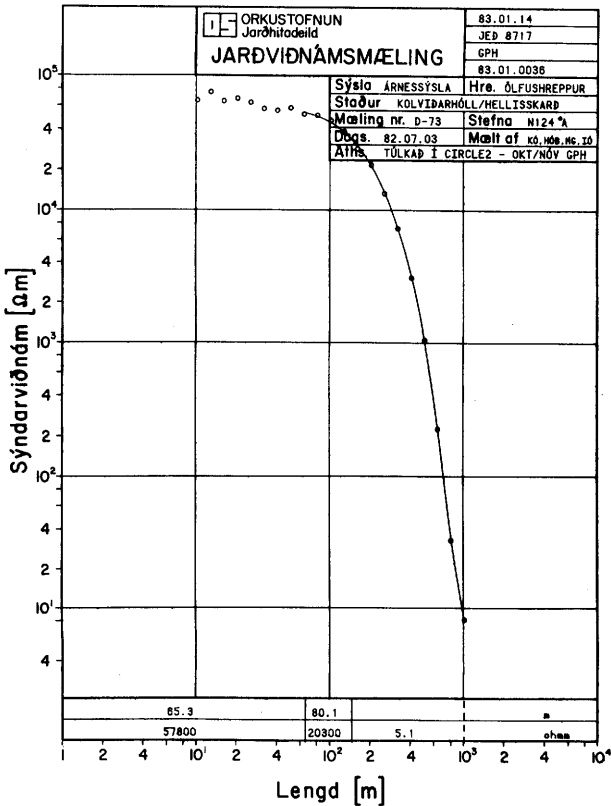
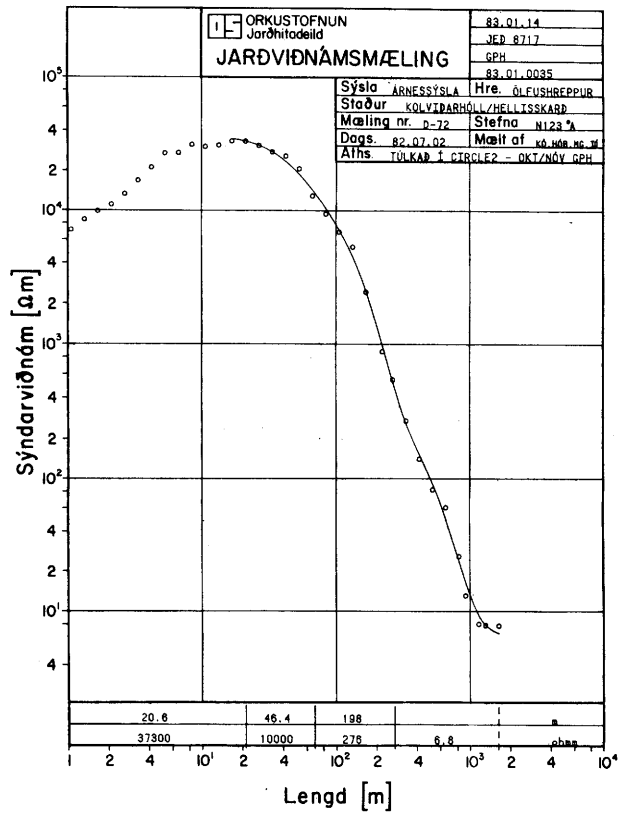
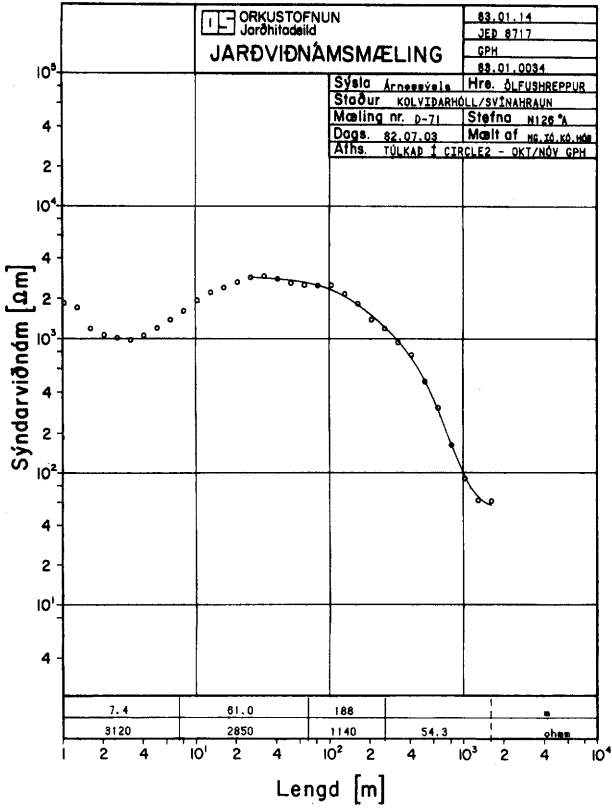
Einvið túlkun viðnámsmælinga



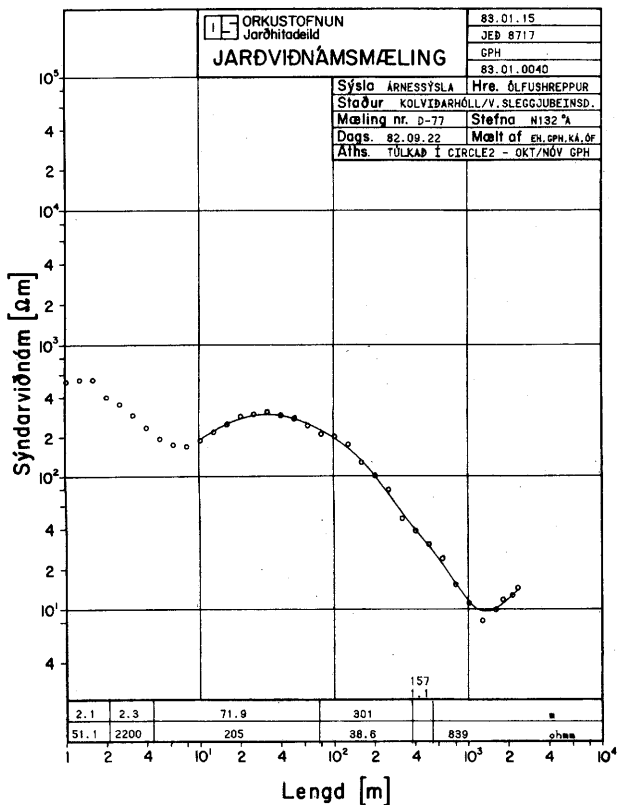
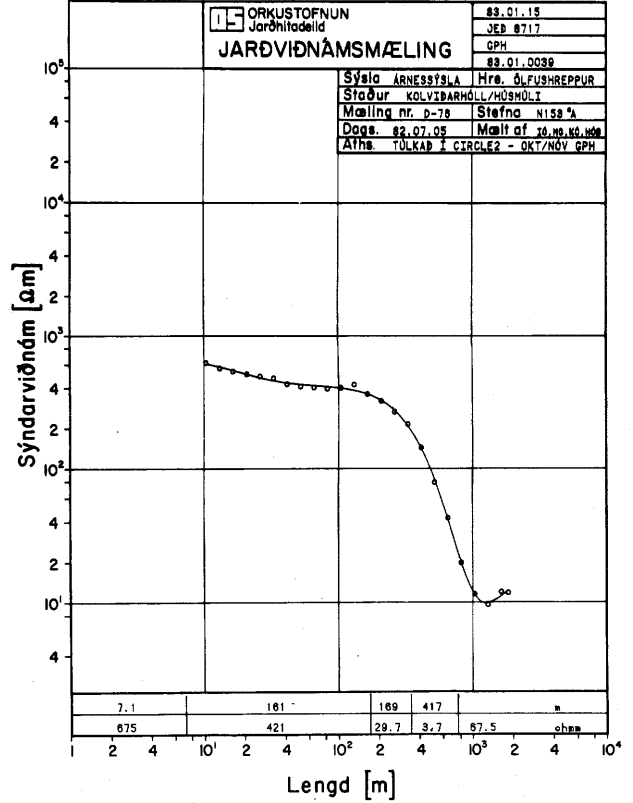
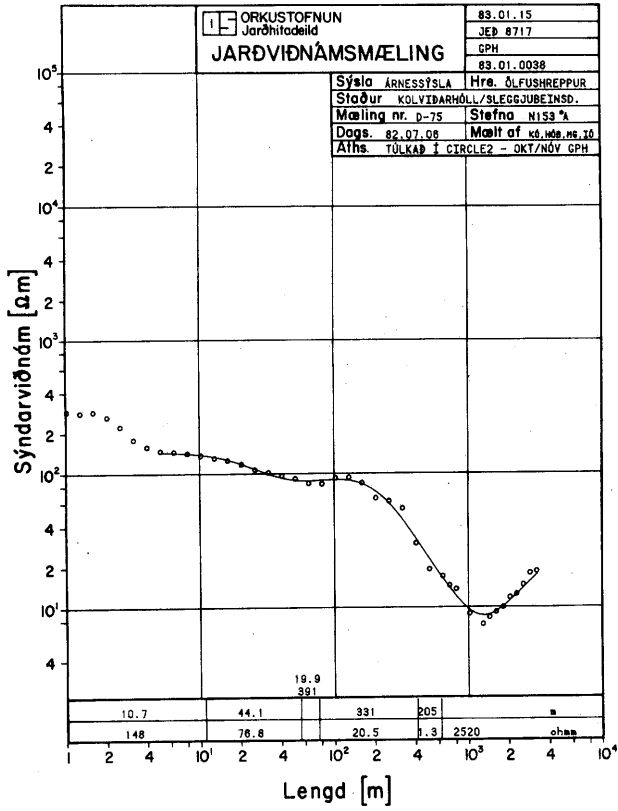
Einvið túlkun viðnámsmælinga



Einvið túlkun viðnámsmælinga



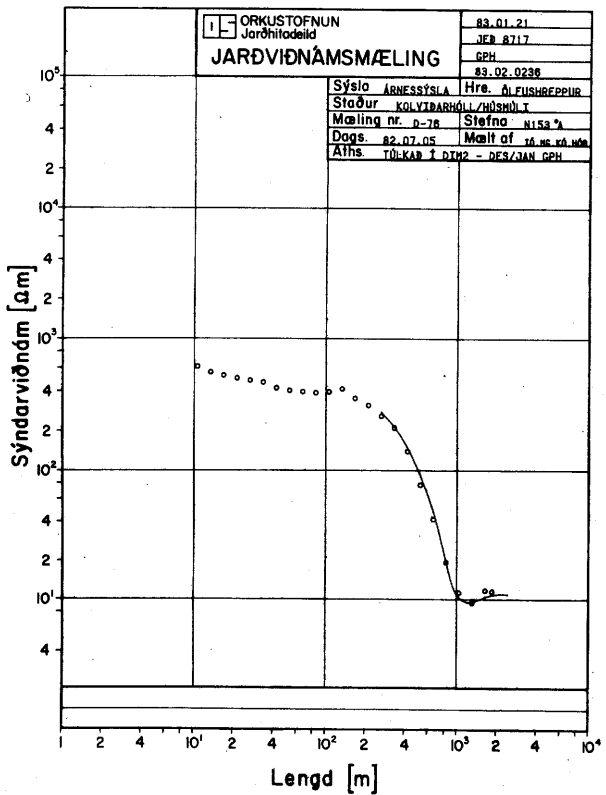
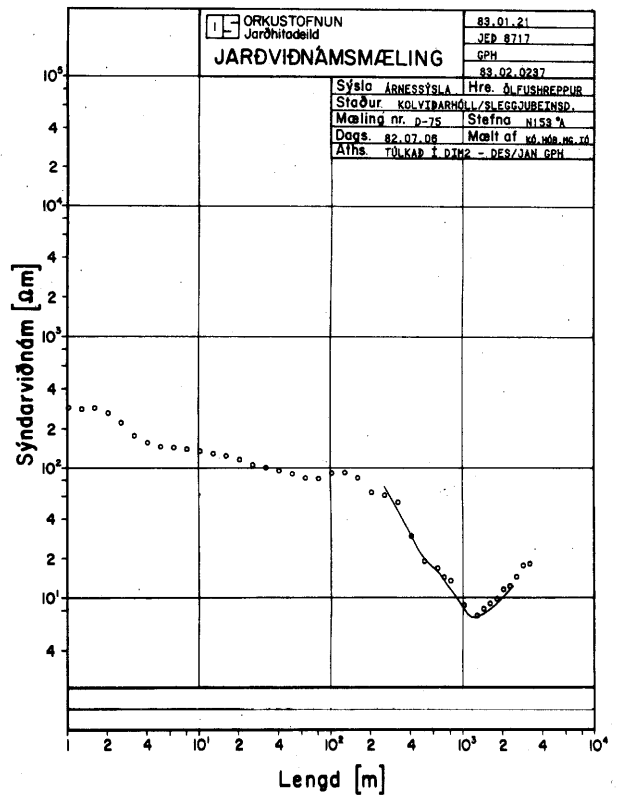
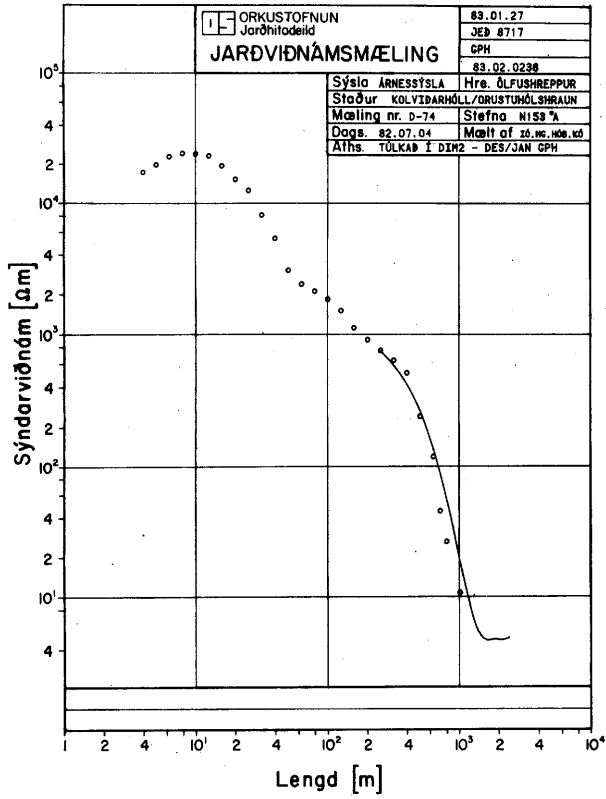
Einvið túlkun viðnámsmælinga



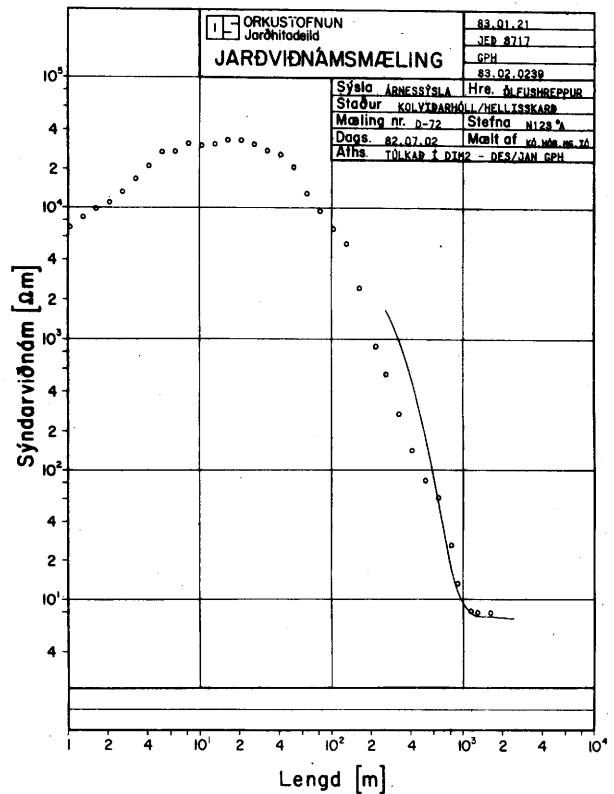
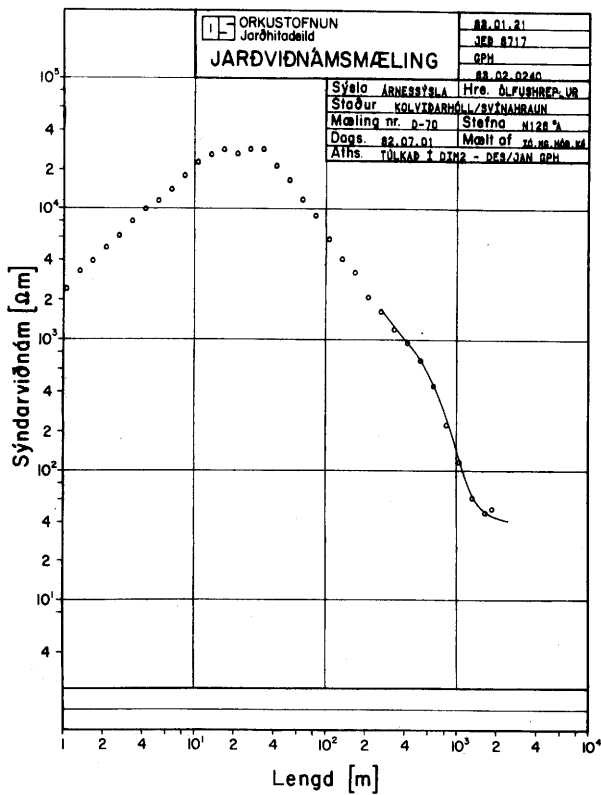
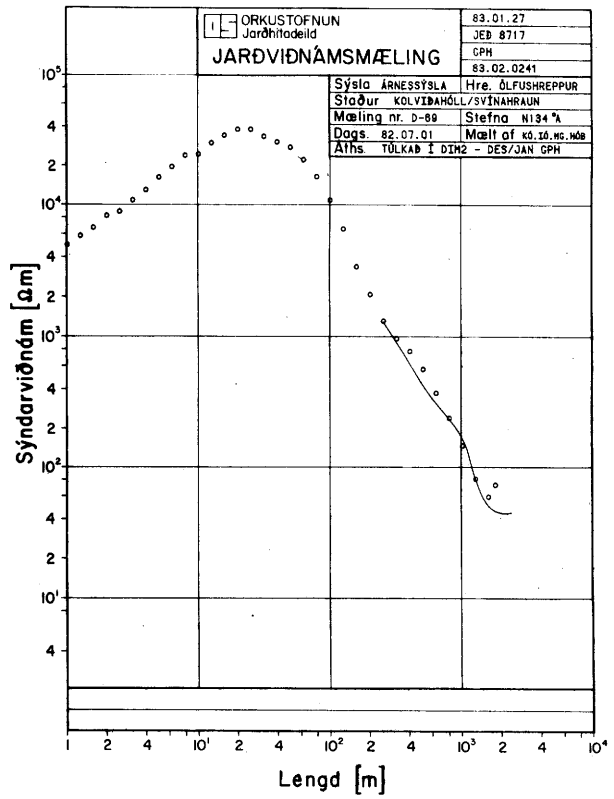
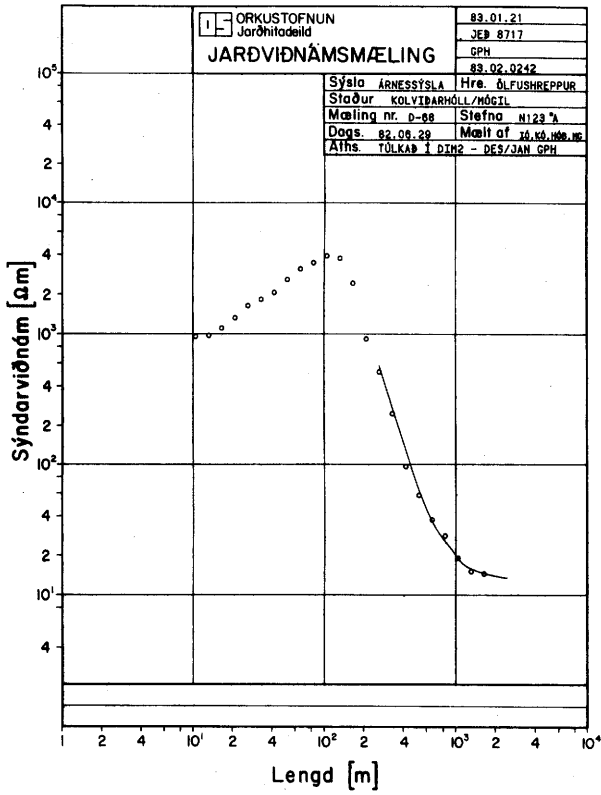
II-3 Tvívíð túlkun viðnámsmælinga í Vestur-Hengli

Hringir tákna mældan sýndarviðnámsferil, en óbrotin lína þann sýndarviðnámsferil, sem myndi mælast, ef viðnámsdreifing í jörðinni samsvarar líkönum þeim sem sýnd eru á myndum 10 og 11 (bls. 40 og 41).

Tvívíð túlkun viðnámsmælinga



Tvívíð túlkun viðnámsmælinga

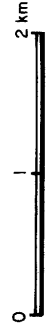
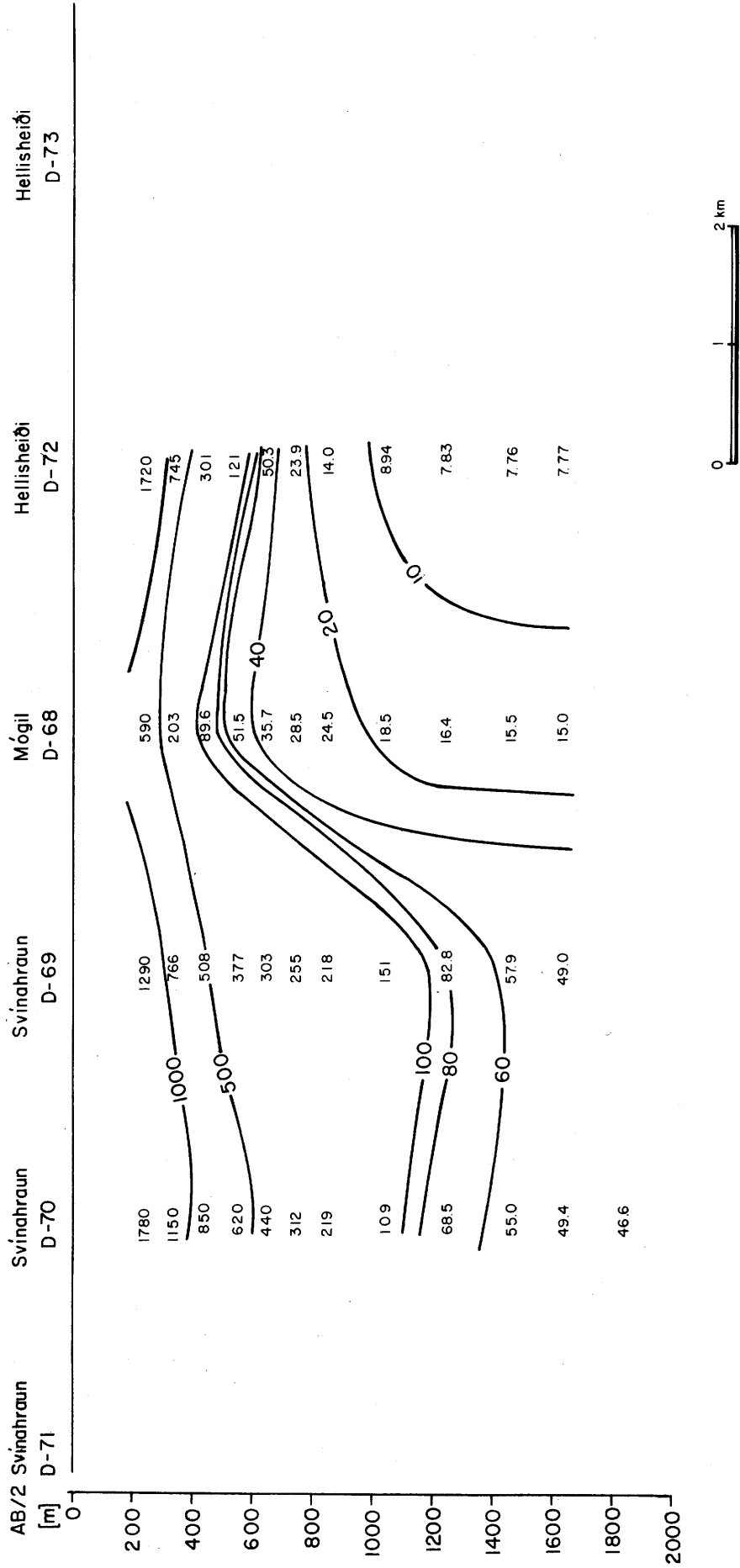


II.4 Mæld og reiknuð sýndarviðnámssnið



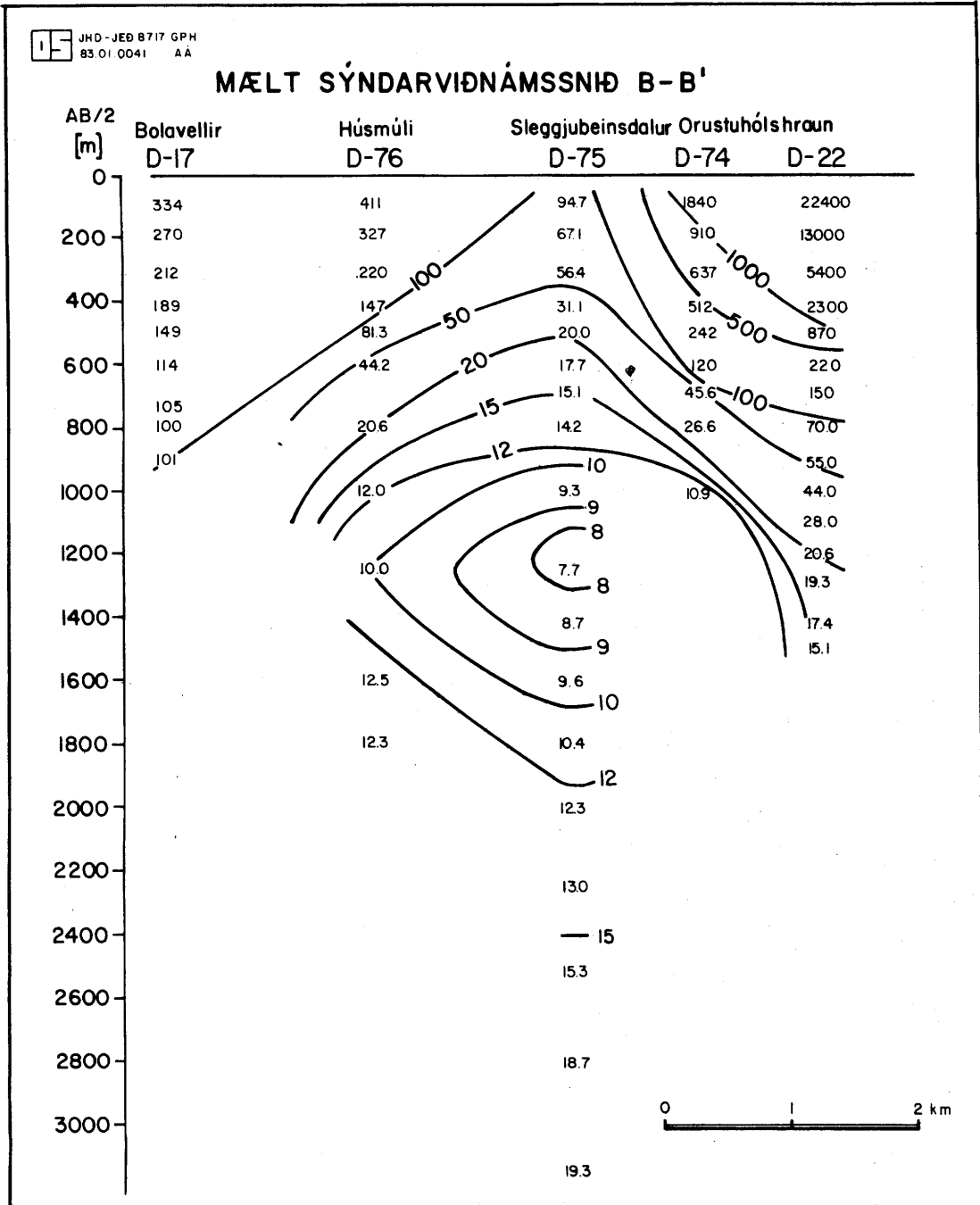
Mynd V2 Mælt sýndarviðnámssnið A-A'.

VESTUR-HENGILL - REIKNAD SÝNDARVIÐNÁMSSNIÐ A-A'



Mynd V3 Reiknað sýndarviðnámssnið A-A'.

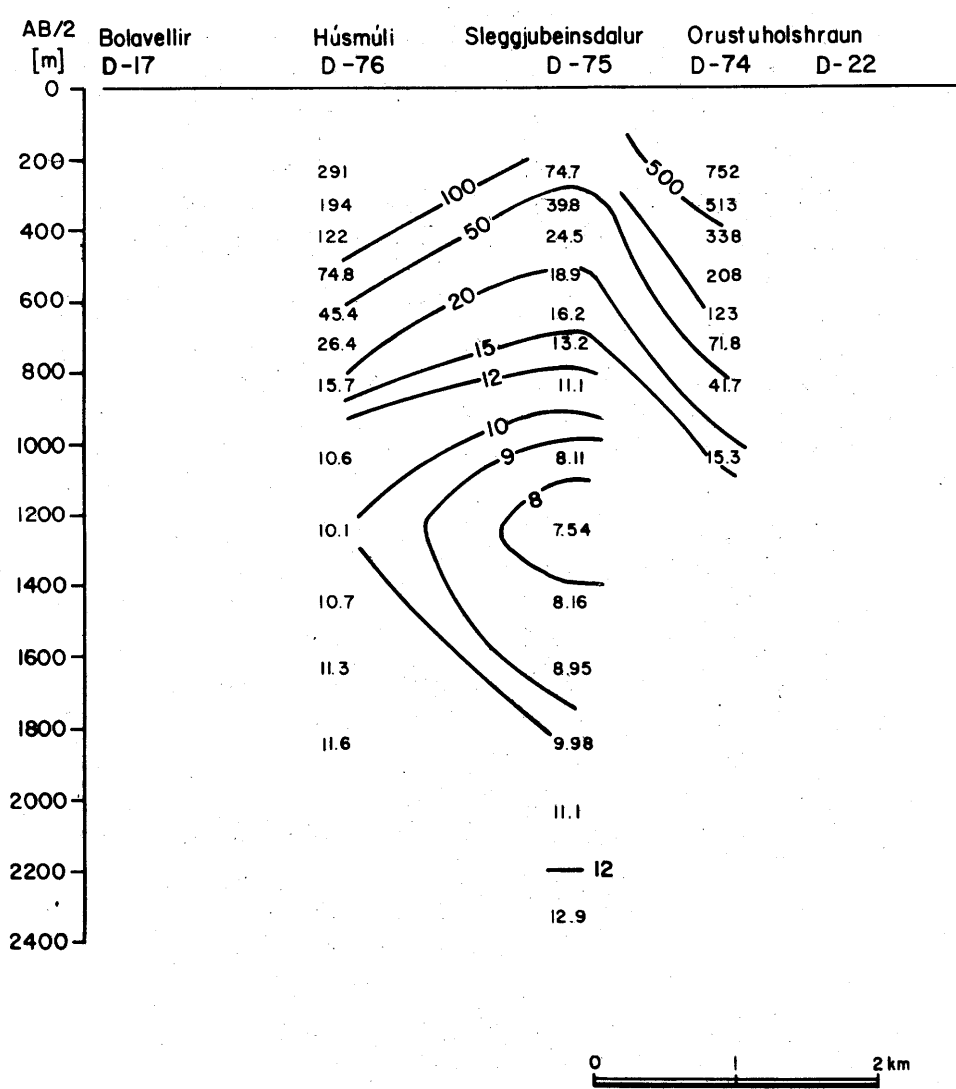
JHD-JEÐ-8717-GPH
83.01.0148 AA



Mynd V4 Mælt sýndarviðnámssnið B-B'.

JHD-JED-8717-GPH
83.01.0147 AA

REIKNAD SÝNDARVIÐNÁMSSNIÐ B-B'



Mynd V5 Reiknað sýndarviðnámssnið B-B'.