



ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

Hjálmar Eysteinnsson
Helgi Torfason

JARÐHITARANNSÓKNIR Í SKARÐDAL 1989

OS-90015/JHD-03
Reykjavík, apríl 1990

Unnið fyrir
Hitaveitu Siglufjarðar



ORKUSTOFNUN
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Hjálmar Eysteinnsson
Helgi Torfason

JARÐHITARANNSÓKNIR **Í SKARÐDAL 1989**

OS-90015/JHD-03
Reykjavík, apríl 1990

Unnið fyrir
Hitaveitu Siglufjarðar

ÁGRIP

Hitastigulsboranir sem gerðar voru haustið 1988 bentu til mögulegs jarðhita í Skarðdal í Siglufirði. Til að kanna þetta svæði betur voru gerðar viðnámssniðs- og segulmælingar ásamt nákvæmari jarðfræðiathugunum í Skarðdal, í júlí 1989. Niðurstöður þessara mælinga gefa ekki til kynna lágviðnámsvæði í námunda við hitastigulsholur frá 1988, heldur að mögulega sé jarðhita að finna í vesturhluta dalsins, nokkru vestar en hitastigulsholurnar eru. Ekki er unnt að staðsetja legu jarðhitans með nákvæmni, þar sem mælinur náðu ekki nógu langt vestur, en snjór hamlaði því sumarið 1989. Í framhaldi af þeim rannsóknum sem hér er lýst er æskilegt að gera nokkrar athuganir til viðbótar fyrir vestan svæðið sem mælt var 1989 og síðan bora rannsóknarholur. Líklega þurfa rannsóknarholur að ná 100-200 m niðurfyrir sjávarmál, eða 400-500 m niðurfyrir yfirborð í Skarðdal.

EFNISYFIRLIT

ÁGRIP	2
1. INNGANGUR	5
2. JARÐFRÆÐI	5
3. SEGULMÆLINGAR	10
4. VIÐNÁMSSNIÐSMÆLINGAR	13
4.1 Framkvæmd mælinga	13
4.2 Túlkun mælinga	13
4.3 Niðurstöður	14
5. FRAMHALD RANNSÓKNA	17
HEIMILDIR	18
VIÐAUKI A: Segulmælingar	19
VIÐAUKI B: Niðurstöður viðnámssniðsmælinga	25

MYNDASKRÁ

	bls.
1. Hitastigull á Tröllaskaga og nágrenni	5
2. Jarðfræði í Skarðdal	8
3. Hitastigull í Skarðdal	9
4. Staðsetning segulmælinga í Skarðdal	11
5. Staðsetning línulegra segul- og viðnámsfrávika og brota í Skarðdal	12
6. Uppsetning straum- og spennuskauta í viðnámssniðsmælingu	13
7. Staðsetning viðnámssniðsmælinga í Skarðdal	15
8. Túlkun mæilína 2 og 3	16
Í VIÐAUKA A:	
Áhrif ýmissa bergmyndanna á segulsvið	21
Jafnsegulkort af mælisvæði í Skarðdal	22
Segulferlar í Skarðdal	23
Síað segulkort sem gefur norð-vestlægt brot í Skarðdal	24

Í VIDAUKA B:

Mæliniðurstöður á línu 1 í Skarðdal	26
Mæliniðurstöður og túlkun á línu 2 í Skarðdal	27
Mæliniðurstöður og túlkun á línu 3 í Skarðdal	28
Mæliniðurstöður á línu 4 í Skarðdal	29
Mæliniðurstöður á línu 5 í Skarðdal	30
Mæliniðurstöður á línu 6 í Skarðdal	31

TÖFLUSKRÁ

Tafla 1

Hitastigulsholur á Siglufirði, dýpt og númer

bls.
6

1. INNGANGUR

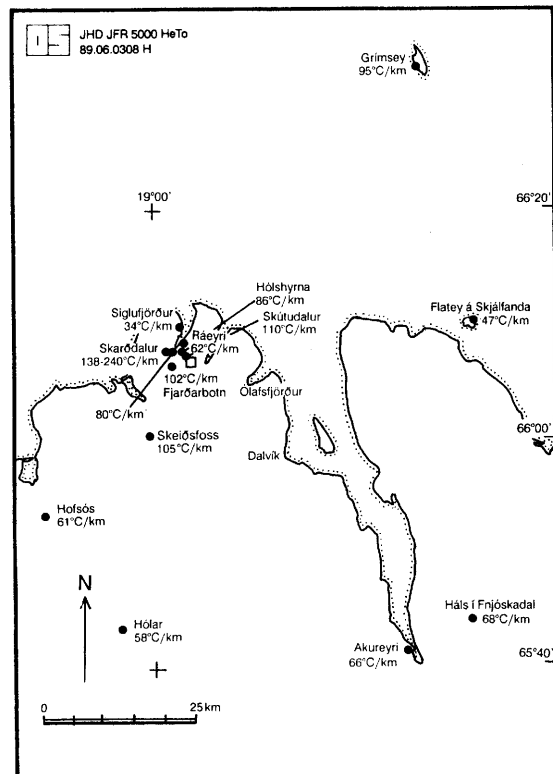
Sumarið 1988 var gerð lausleg athugun á jarðfræði innri hluta Siglufjarðar með það fyrir augum að staðsetja 7 hitastigulsholur og var niðurstöðum af þeim rannsóknum skilað í greinargerð til Hitaveitu Siglufjarðar (Helgi Torfason 1988: Greinargerð HeTo-88/07). Tilgangurinn með borun hitastigulshola var að kanna hitaástand berggrunnins og leita þannig að jarðhita sem ekki sést á yfirborði en gæti nýst Hitaveitu Siglufjarðar. Jarðhiti á yfirborði er ekki þekktur í Siglufirði annarstaðar en í Skútudal, en það svæði er talið fullnýtt.

Hitastigulsholurnar voru í fyrstu staðsettar nokkuð dreift um fjörðinn til að fá mynd af hitaástandi berggrunnins sem víðast og skyldu þær vera 60 m djúpar. Boranir hófust 14. október og lauk 26. október 1988 (Helgi Torfason: Greinargerð HeTo-88/09; Helgi Torfason 1989).

Hæstur hitastigull fannst í Skarðdal 130-240°C/km miðað við 34-100°C annars staðar á Tröllaskaga og nágrenni (mynd 1). Var því ákveðið að kanna það svæði með jarðeðlisfræðilegum aðferðum og bæta við jarðfræðiathugunum. Þær athuganir voru gerðar í júlí 1989. Tilgangur þeirra mælinga var að reyna að afmarka betur hitahámark í berggrunni í Skarðdal og sjá hverju það tengist. Í framhaldi af því var stefnt að staðsetningu fyrstu rannsóknarborholu og ákvörðun á dýpt hennar. Hitastigull var mældur í borun og aftur sumarið 1989 (tafla 1).

Þar sem snjór hafði verið mikill veturinn 1988/89, og tók seint upp, var ekki farið til Siglufjarðar fyrr en í byrjun júlí og reyndist það raunar fullsnemmt, því skaflar voru víðast í giljum sem hamlaði rannsóknum. Gerðar voru viðnáms- og segulmælingar og athuguð jarðfræði eftir því sem unnt var. Jarðfræðiathugunum hefur verið gerð nokkur skil í greinargerð (Helgi Torfason:

HeTo-1989/06) og verða aðeins raktar í stórum dráttum hér á eftir. Æskilegt er að bæta við þær á árinu 1990 þar sem niðurstöður úr jarðeðlisfræðilegum athugunum voru ekki eins afgerandi og vonast hafði verið til.



MYND 1 Hitastigull á Tröllaskaga og nágrenni.

2. JARÐFRÆÐI

Jarðfræði Tröllaskaga hefur aðeins að litlu leyti verið kortlögð. Það er bagalegt þegar verið er að rannsaka lítil svæði að hafa ekki yfirlit yfir jarðfræðina á stærra svæði, m.a. til að geta metið áhrif stórra misgengja, halla o.fl. Þá er einnig erfiðara að meta óreglu í jarðfræði ákveðins staðar, t.d. ef um óvenjulegt brotasvæði virðist vera að ræða, sé jarðfræðin yfir stærra svæði ekki þekkt. Slík atriði geta verið mikilvæg fyrir rennsli jarðhitavatns.

TAFLA 1: Hitastigulsholur í Siglufirði.					
Hola	Staður	Bordýpi	Hitastigull 1988	Hitastigull 1989	Athugasemdir
		m	°C/km	°C/km	
S-1	Norðan bæjar	58	34	30	sambærilegt
S-2	Fjarðarbotn	60	102	98	sambærilegt
S-3	Skútudalur	61	110	100	sambærilegt
S-4	Ráeyri	63	62	64	sambærilegt
S-5	Skarðdalur	62	80	82	sambærilegt
S-6	Skútudalur	63	86	80	sambærilegt
S-7	Skarðdalur	61	240	216	aðeins lægra
S-8	Skarðdalur	63	170	190	aðeins hærra
S-9	Skarðdalur	54	138	102	aðeins lægra
S-10	Skarðdalur	59	226	250	öll holan, hærra
				332	neðri hluti 48-60 m
S-11	Skarðdalur	57	220	300	öll holan, hærra
				222	efri hluti 10-44 m
				300	neðri hluti 46-56 m

Aldursgreiningar (K-Ar) gefa til kynna að elstu jarðlög á Tröllaskaga séu um 12 milljón ára gömul og koma þau fram neðst í Ólafsfjarðarmúla og fjöllunum sem eru þar norður af (Kristján Sæmundsson o.fl. 1980). Samkvæmt jarðlagahalla ættu álíka gömul jarðlög að koma fram í utanverðum Siglufirði. Með hliðsjón af því eru jarðlög í Skútudal trúlega um 10-11 milljón ára gömul og e.t.v. um 9-10 milljón ára í Skarðdal.

Megnið af bergi því sem er umhverfis Siglufjörð, í Héðinsfirði og Fljótum er gert úr tertíerum basalthraunlögum með fremur þunnum setlögum á milli. Hraunlögin eru yfirleitt 4-8 m þykk, og að auki með 1-2 m gjallkarga að ofan, en þynnra og stundum engu gjalli undir. Milli hraunlaganna eru oft rauðleit setlög, yfirleitt fínkorna og stundum með förum eftir gróður. Setlögin eru frá 1-2 cm upp í 0,5-1 m á þykkt og yfirleitt orðin vel hörð. Berglagastaflinn í Siglufirði hefur ekki verið kortlagður með tilliti til berggerðar, en sum hraunanna eru áberandi feldspatdálótt og því ætti slík kortlag-

ing ekki að verða mjög erfið. Slíkt jarðlagakort yrði vafalaust til hjálpar við greiningu borsvarfs þegar þar að kemur, auk þess sem jarðfræðikort eru nauðsynlegur þáttur í úrvinnslu annarra rannsókna.

Halli jarðlaga við Siglufjörð er til suð-vesturs (140/6-10°SV), um 10° við sjávarmál en minnkar er ofar dregur í fjöllin og er orðinn 2-4° í efstu fjallatoppum. Í Skarðdal er halli jarðlaga um 8-10° til SSV í dalbotni og minnkar er ofar dregur í hlíðar fjallanna í kring, og er um 2-3° í Illviðrahnúk og í Siglufjarðarskarði.

Í farvegi Leyningsár fundust 9 gangar (mynd 2), samtals 20,5 m á þykkt og stefna þeir NNA og hallar öllum til austurs um 75-85°. Gangar eru um 2 % af berginu í Leyningsá, sem er nokkru minna en í Strákagöngunum 15 % (Þorleifur Einarsson 1984). Gangar stefna yfirleitt dálítið austar en brotin.

Misgengi og brot eru nokkuð mörg (mynd 2) og er stefna þeirra NNA með litlum frávikum. Við Skútuá virðast brotin vera yngri

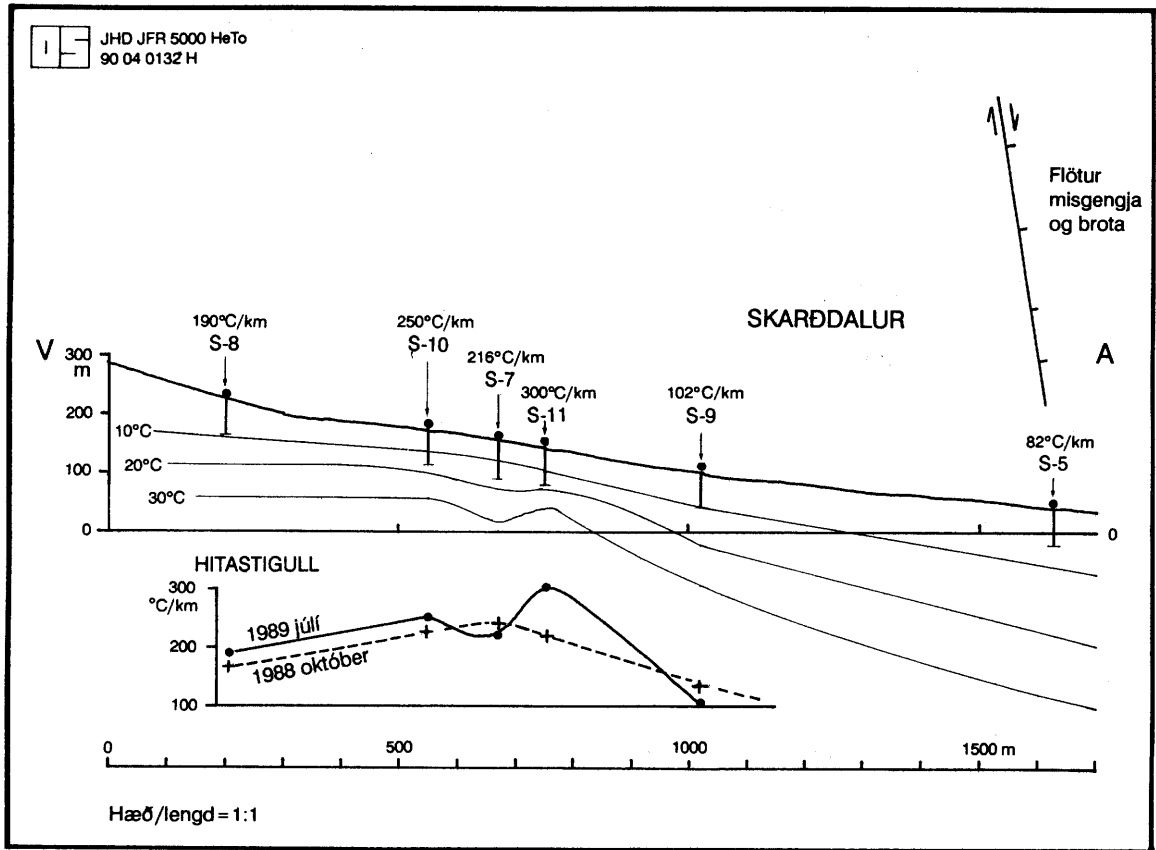
en gangarnir (Helgi Torfason 1989). Þetta þýðir ekki að tengsl séu engin milli ganga og rennslis heita vatnsins, heldur er bent á að fleiri þættir ráða rennslinu en gangar eingöngu. Misgengi stefna yfirleitt 010-020° og halli þeirra er um 75° til austurs, og gildir þessi stefna einnig um smásprungur í berginu. Meginstefna misgengja og ganga er dálítið mismunandi, en ef miðað er við að brot og misgengi hafi stefnuna 010/75°A og gangar 020/80°A er skurðlína þeirra nálægt 150/8-9A. Norð-vestlæg misgengi og brot eru fremur fátíð og virðast ekki vera ráðandi, a.m.k. ekki í innri hluta Siglufjarðar.

Svokallað "Tjörnes-þvergengi" er stór brotalóm í jarðskorpunni sem liggur frá Húsavík til norð-vesturs, fyrir norðan Flateyjardal og vestur fyrir Grímsey, þar sem misgengi þetta sveigir til norðurs (Kristján Sæmundsson 1974, 1979). Þvergengi þetta verður til er stórir flekar í jarðskorpunni hreyfast lárrétt í gagnstæðar áttir. Breiðar spildur beggja vegna við þvergengið brotna upp og skekkjast. Þannig hefur undist upp á jarðlagastaflann og hann velst til suð-vesturs á Flateyjardal og þar í nánd (Young o.fl.1985). Þessi sveigja nær einnig til norðurhluta Tröllaskaga, en NV-læg brot og misgengi eru í Strákagöngum (Þorleifur Einarsson 1984). Þessum umbyltingum tengjast stórir jarðskjálftar sem hafa gert spjöll á Húsavík, Dalvík og víðar á Norðurlandi. Það væri því æskilegt að hugað verði að brotakerfum Norðurlands í náninni framtíð og helst gerð nákvæm kort af byggingarlagi norðurhluta Tröllaskaga, halla, berggöngum og brotalínunum o.þ.h.

Þegar verið er að rannsaka einstök jarðhitasvæði er mikilvægt að þekkja vel stefnu og stærð brota og bergganga yfir stórt svæði, miklu stærra en jarðhitasvæðið sjálft. Ástæða þess er sú að óreglur í berglagastaflanum eins og aukinn fjöldi misgengja eða ganga myndar rásir þær sem heitt vatn nýtir sér á leið sinni um berglögin.

Því er æskilegt að haldið verði áfram að gera nákvæmt kort yfir þessi atriði í sambandi við væntanlegar boranir í Skarðdal.

Hinn háí hitastigull í Skarðdal er talinn benda til jarðhita í berggrunni, þó ekki skuli fullyrt að svo komnu máli hve háan hita má vinna úr berginu. Til þess að kanna það þarf rannsóknarboranir í Skarðdal, en mynd 3 sýnir mældan hitastigul upp dalinn og mögleg tengsl á milli hitastiguls í holunum. Framhaldsrannsóknir í Skarðdal beinast að staðsetningu rannsóknarborhola. Á mynd 3 má sjá tvær leiðir til að túlka hitaástand berggrunns í Skarðdal og bendir önnur til þess að áhugaverðasti bletturinn sé nálægt holum S-7, S-10 og S-11, en hin til þess að hitinn sé talsvert vestar. Viðnáms- og segulmælingar voru gerðar til að styrkja þessa mynd af jarðhitakerfinu og athuga legu brota og bergganga til að auðvelda staðsetningu rannsóknarholu og er þeim rannsóknunum gerð skil hér á eftir.



MYND 3: Hitastigull í Skarðdal. Tvær leiðir til að teikna jafnhitalínur á 50 m dýpi.

3. SEGULMÆLINGAR

Mældur var heildarsegulsviðstyrkur í 2,5 m hæð frá yfirborði á 5 m fresti eftir beinum línunum langsum eftir dalnum. Bil milli lína var haft 25 m. Alls vor mældir 19,5 km, dagana 3.-7. júlí 1989. Mynd 4 sýnir staðsetningu mælinanna. Tilgangur þessara mælinga var að kortleggja misfellur (ganga og misgengi) í berggrunninum sem eru huldar lausu yfirborðslagi og sem hugsanlega mætti tengja háum hitastigli sem fengist hafði úr rannsóknarborholunum. Í viðauka A er fjallað lauslega um eðli og notagildi segulmælinga ásamt mæliaðferðum.

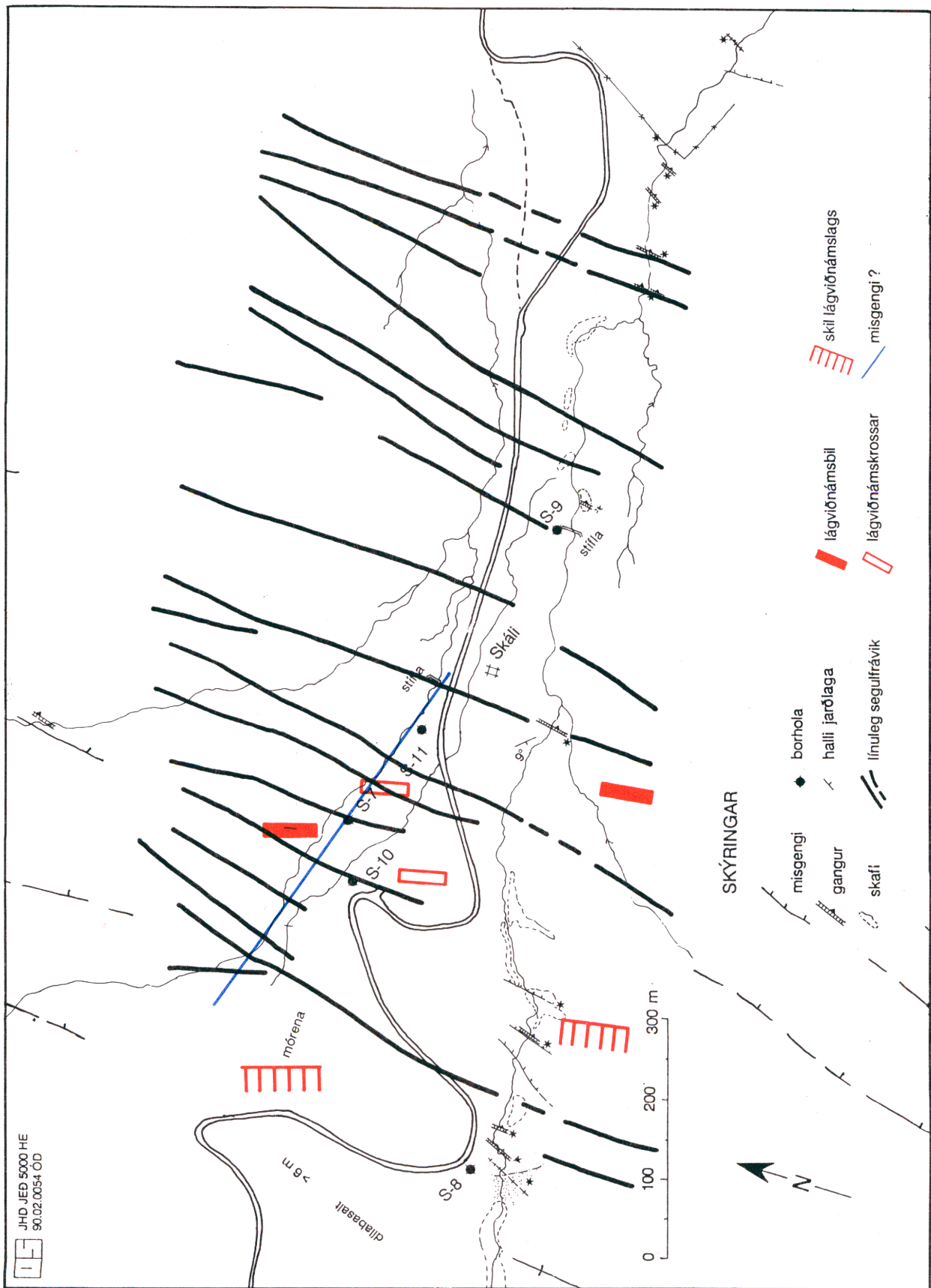
Í viðauka A er sýnt segulkort af mælisvæðinu. Bláu litirnir sýna segulægðir en þeir rauðu segulhæðir. Staðsetning vegar og annara kennileita fæst með því að fella meðfylgjandi glæru yfir kortið. Fram koma allmörg segulfrávik með stefnur 0-17° austan við norður. Einnig er í viðauka A mynd sem sýnir styrkleika segulsviðsins eftir mælinunum. Þar koma einnig fram sömu segulfrávik og á segulkortinu. Af lögum segulferlana má ráða að sennilegast stafa flest þessara línulegu segulfrávika af því sem næst lóðréttum göngum. Þessum línulegu segulfrávikum hefur verið varpað á yfirlitskortið á mynd 5. Sum þessara segulfrávika passa vel við staðsetningu ganganna á jarðfræðikortinu (mynd 2), samanber ganga A5, A6, A8 og A11.

Eins og sést á segulkortinu eru öll sjáanleg segulfrávik með nokkurn veginn sömu stefnu. Hægt er með þartilgerðum tölvuhugbúnaði að sía þessar stefnur í burtu. Þegar þetta hefur verið gert kemur í ljós línulegt segulfrávik sem er nokkurn veginn þvert á hin frávikin og u.þ.b. 10 sinnum minna að styrk (sjá mynd í viðauka A). Lega þessa fráviks hefur verið færð inn á mynd 5, en lögun þess bendir til að það stafi af misgengi. Líta verður á þessa niðurstöðu einungis sem vísbendingu um misgengi og

verður að staðfesta hana með öðru móti. Athyglisvert er þó að þetta hugsanlega misgengi liggur rétt við þær holur þar sem hitastigulinn hefur mælst hæstur.



MYND 4: Staðsetning segulmælilína í Skarðdal.



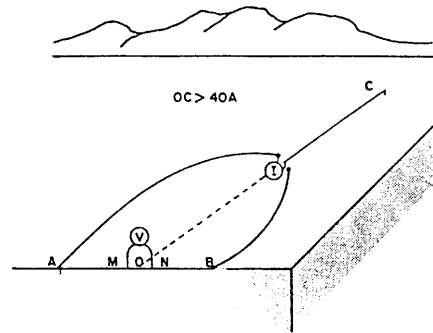
MYND 5: Staðsetning línulegra segulfrávika í Skarðdal. Hugsanlegt NV-lægt misgengisbrot, staðsetning lágviðnámsskila og lágviðnámslags.

4. VIÐNÁMSSNIÐSMÆLINGAR

Dagana 4.-12. júlí 1989 voru gerðar viðnámsniðsmælingar í Skarðdal. Viðnámsniðsmælingarnar eru sérstök tegund viðnámsmælinga sem er mjög hentug til að finna nær lóðrétt viðnámskil (ganga, sprungu eða misgengi) sem liggja þvert á jarðlagastaflan og hafa verulega hærra eða lægra eðlisviðnám en bergið umhverfis. Þegar viðnámið í slíkum skilum eða veggjum er mun lægra en viðnámið umhverfis má búst við að slíkur veggur leiði heitt vatn. Sé viðnámið hisvegar mun hærra í slíkum vegg er sennilegast um að ræða þéttan gang eða misgengi sem getur verið rennslishindrun.

4.1 Framkvæmd mælinga

Uppsetning mælinga er sýnt á mynd 6. Punktur A,B og C eru straumskaut, en spenna er mæld á milli punkta M og N. Straumskautunum A og B, og spennuskautunum M og N er raðað á beina línu. Straumpóll C er hafður í mikilli fjarlægð frá mælinunni. Mæld eru þrjú svokölluð sýndarviðnám. Í fyrsta lagi þegar straumur fer á milli pólanna A og B (ρ_{AB}), í öðrulagi þegar straumur er sendur milli skautanna A og C (ρ_{AC}), og í þriðjalagi þegar straumur er sendur milli skautanna B og C (ρ_{BC}). Straumskautum og spennuskautum á mælinunni er hliðrað eftir línunni og þessi þrjú viðnámsgildi ($\rho_{AB}, \rho_{AC}, \rho_{BC}$) mæld á 25 m fresti. Ef engin breyting er á viðnámi eftir mælinunni t.d. ef jörðin er einungis gerð úr láréttum viðnámslögum, eru öll viðnámsgildin eins. Hins vegar, ef lóðrétt viðnámskil eru til staðar, fæst breyting á þessum viðnámsgildum í nánd við skilin. Þegar teiknaðir eru upp tveir mæliferlar, annars vegar $\rho_{AC} - \rho_{AB}$, og $\rho_{BC} - \rho_{AB}$ hins vegar, krossast þeir í einföldum tilvikum beint yfir viðnámskilunum. Þannig má oft gera sér nokkra grein fyrir staðsetningu lóðréttra viðnámskila jafnóðum og mælt er.



MYND 6: Uppsetning straumskauta (A,B og C) og spennuskauta (M og N) í viðnámsniðsmælingu.

Ef talverðar breytingar eru á viðnámsdreifingu jarðar með dýpi er nauðsynlegt að afla upplýsinga um það með því að mæla viðnámsgildin með tveim mismunandi straumörmum (þ.e. AB/2 á mynd 6). Hér voru notaðir 300 og 500 m straumarmar og gefa þá mælingar með 500 m arminum upplýsingar um viðnámsdreifingu jarðar á meira dýpi samanborið við mælingar með 300 m straumarmi.

Um frekari lýsingu á mæliaðferðinni er bent á skýrslu Orkustofnunar eftir Sigurð Th. Rögnvaldsson o.fl. 1987.

Í Skarðdal voru mældar 6 mælinúnur og er staðsetning þeirra sýnd á mynd 7. Allar línurnar voru mældar með tveim straumörmum utan línu 5 sem mæld var einungis með 300 m straumarmi. Mælinúnur 1,2,3 og 6 voru lagðar út eftir dalnum, en línur 4 og 5 þvert á dalinn.

4.2 Túlkun mælinga

Í túlkun mælinga er gert ráð fyrir að viðnám jarðar geti breyst bæði með dýpi og eftir mælinúnu. Þetta er kölluð tvívíð túlkun. Túlkun hvernar mælinúnu hefst á því að gert er líkan af viðnámi jarðar. Með allflóknum tölvuhugbúnaði er síðan reiknað út bestu viðnámsgildin í líkaninu, þannig að sem best samræmi fáiast milli mældra viðnámsferla og reiknaðra ferla. Líkaninu er síðan breytt og

aftur reiknuð út bestu viðnámsgildi líkansins. Þessu er haldið áfram uns viðunandi samræmi fæst milli mældra og reiknaðra ferla.

4.3 Niðurstöður

Mæliniðurstöður eru sýndar í viðauka B.

Línur 4 og 5 liggja þvert á dalinn, en í þeim kemur fram mjög skarpur lágviðnámskross. Staðsetning hans er beint yfir háspennukapli sem grafin er í jörð og stafar þessi kross af járnkapli sem lagður er með háspennuvírnunum, en kaplar þessir liggja nokkurn veginn þvert á mæliníurnar. Ekki er því unnt að túlka þessar línur.

Línur 1 og 6 liggja báðrar nokkuð samsíða fyrirnefndum háspennukapli og fara báðar yfir hann. Þær virðast báðar vera truflaðar, trúlegast af völdum kapalsins, og reyndist ekki unnt að túlka þær.

Línur 2 og 3 liggja sitthvorum megin í dalnum og virðast vera ótruflaðar af háspennukaplinum. Niðurstöður túlkana þessara mælinga er sýndar á viðnámsniðunum á mynd 8.

Meginniðurstöður túlkunarinnar er að ekki sjást nein meiri háttar lóðrétt lágviðnámskil undir mælisvæðinu með N-S stefnu. Ekki er þó hægt að útiloka lágviðnámskil þvert á ríkjandi brotstefnur. Mæliníunum sem var ætlað að gefa upplýsingar um slík skil (línur 4 og 5) voru báðar truflaðar af háspennukaplinum. Hinsvegar krefst túlkun mælinganna þess að lágviðnámslag sé vestur af mælisvæðinu á 1-200 m dýpi undir sjávarmáli. Þetta dýpi er þó mjög illa ákvarðað þar sem þessum mælingum er fyrst og fremst ætlað að finna lóðrétt viðnámskil en ekki lárétt. Láviðnámskil koma þó fram undir miðju mælisvæðinu, en ná ekki djúpt niður, eða einungis 1-200 m undir yfirborð. Staðsetning þessara lágviðnámskila er sýnd á mynd 5. Einnig er á mynd 5 sýnd staðsetning lágviðnámskrossa úr línunum 1 og 6 á 300

m straumarminum. Þessi skil tengjast ekki neinum gangi eða misfelli samkvæmt segulmælingunum. Á mynd 5 er einnig sett inn staðsetning endamarka lágviðnámslagsins samkvæmt túlkun á línunum 2 og 3. Þessi skil tengjast heldur ekki neinum segulfrávikum.

5. FRAMHALD RANNSÓKNA

Hár hitastigull í Skarðdal er talinn benda til þess að afbrigðilega heitt berg sé þar að finna og er tæpast öðrum möguleikum til að dreifa en streymi heits vatns eftir sprungum. Ekki er vitað um hita vatnsins, hversu djúpt það liggur, né hve mikið magn er þar á ferðinni. Verið getur að hér sé eitthvert magn af 20-30°C heitu vatni, eða minna magn af heitara vatni. Bergið á þessu svæði er þétt og ekki að vænta mikillar lektar í jarðlögum og því líklegast að rennsli vatnsins tengist sprungum eða göngum.

Niðurstöður úr viðnámsmælingum benda til þess að heitt berg (lágt viðnám) sé vestan við hitastigulsholurnar sem boraðar voru 1988. Ef niðurstöður viðnáms-sniðsmælinganna eru réttar þarf rannsóknarhola til að kanna lágviðnám vestan mælisvæðisins að ná 100-200 m niðurfyrir sjávarmál, eða 400-500 m niðurfyrir yfirborð (sem er í rúmlega 200 m hæð). Það má því gera ráð fyrir að rannsóknarhola þurfi að vera um 500 m djúp til að kanna lágviðnám í Skarðdal. Eins og málin standa nú er um tvo kosti að ræða:

- Bora nálægt hámarki því sem fannst í hitastigulsholum 1988, eða rétt austan við holu S-11.
- Bora vestan við mælisvæðið til að kanna láviðnám sem þar kom fram í viðnáms-sniðsmælingum 1989.

Til þess að vinna betur að staðsetningu djúpar borholu er mælt með að gerðar verði svokallaðar TEM-mælingar í samvinnu við Orkustofnun, en þær mælingar ættu að hjálpa til við að staðsetja lágviðnámssvæðið og kanna útbreiðslu þess. Ef það gengur ekki er ekki um aðrar leiðir að ræða en bora og þá er mjög mikilvægt að hafa einhverja þekkingu á legu brota, misgengja og bergganga. Þess vegna er rétt að auka við jarðfræðiathuganir á yfirborði áður en

djúpri (300-500 m) rannsóknarborhola er valinn staður, því boranir eru dýrar og því miklu til kostandi að finna sem réttasta staðsetningu borhola. Kortlagning brota og ganga í vestanverðum Skarðdal og næsta nágrenni er ekki svo mikið verk að neitt stórfé sparist við að sleppa því, en slík vinna getur gefið mjög mikilvægar upplýsingar.

Því er lagt til að framhald rannsókna í Skarðdal verði eitthvað á þessa leið.

• ÁFANGI 1

- Ítarlegri könnun á brotakerfinu í suður og norður af vesturhluta Skarðdals. Kortlögð lega brota og stærð, og athugaðir berggangar. Þetta eru líklegustu vatnsleiðarar á svæðinu. Þetta yrði framhald af athugunum 1989, en þá voru miklar vonir bundnar við niðurstöður viðnámsmælinga.

- TEM-mælingar fyrir vestan mælisvæðið frá 1989 til að reyna að finna lágviðnám í berggrunni er gæti tengst væntanlegum jarðhita.

- Staðsetning rannsóknarborholu á grundvelli fyrirbyggjandi gagna.

• ÁFANGI 2

- Borun 500 m djúprar rannsóknarholu og tekin ákvörðun á grundvelli niðurstaðna úr henni hvað gert skuli í framhaldi. Líklega verður ekki hjá því komist að bora fleiri en eina holu.

- Rannsókn holunnar, svarfgreining, hitamæling og tekið sýni til efnagreininga, en útfrá efnagreiningum er oft hægt að geta í djúphitastig vatnsins.

Hitasvæðið í Skarðdal er áhugavert vegna nálægðar þess við bæinn (um 3,5 km), en auk þess liggur vegur inná svæðið og háspennulínur, sem gæti sparað einhvern kostnað, ef virkjanlegur jarðhiti er þar fyrir hendi.

Áfanga 1 og 2 er unnt að framkvæma alla á sama sumrinu.

Kostnaður við rannsóknarholuna yrði dýrasti hluti verksins og því mikils virði að áfangi 1 verði unninn af nákvæmni. Borun rannsóknarholu er vafalaust hagkvæmast að bjóða út.

HEIMILDIR

Helgi Torfason: HeTo - 88/07 1988: *Hitaveita Siglufjarðar - Jarðhitaleit: Staðsetning hitastigulshola.* - Greinargerð Orkustofnunar, 5 s.

Helgi Torfason: HeTo -88/09 1988: *Hitaveita Siglufjarðar - Staða rannsókna í október 1988.* - Greinargerð Orkustofnunar, 5 s.

Helgi Torfason 1989 a: *Hitaveita Siglufjarðar: Borun hitastigulshola í október 1988.* Orkustofnun OS-89019/JHD-07 B.

Helgi Torfason: HeTo-89/06: *Hitaveita Siglufjarðar: Rannsóknir í Siglufirði 1990.* Greinargerð Orkustofnunar 8 s.

Kristján Sæmundsson 1974: Evolution of the axial rifting zone in northern Iceland and the Tjörnes Fracture Zone. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 88: 495-504.

Kristján Sæmundsson 1979: Outline of the geology of Iceland. *Jökull*, 29: 7-28.

Kristján Sæmundsson, Leó Kristjánsson, I. McDougall og N.D. Watkins 1980: K-Ar dating, geological and palaeomagnetic study of a 5-km lava succession in northern Iceland. *Journ. Geophys. Res.*, 85, B7: 3628-3646.

Sigurður Th. Rögnvaldsson, Gylfi Páll Hersir og Knútur Árnason 1987: *Viðnámsmælingar. Fræðileg úttekt, mæling og túlkun á linu VIII á Nesjavöllum.* Orkustofnun OS-87024/JHD-15

B.

Young, K.D., M. Jancin, B. Voight & N.I. Orkan 1985: Transform deformation of tertiary rocks along the Tjörnes Fracture Zone, north central Iceland. *J.G.R.*, 90, B12: 9986-10.010.

Þorleifur Einarsson 1984: Jarðfræðilegar aðstæður í Strákagöngum. *Tímarit VFFÍ*, 69, 5-6: 65-70

VIÐAUKI A: Segulmælingar

SEGULMÆLINGAR

Inngangur

Segulmælingar hafa mikið verið notaðar hér á landi við að kortleggja misfellur í berggrunni, sem eru huldar lausum yfirborðslögum, t.d. árframburði, skriðum og jaróvegi. Slíkar misfellur eru t.d. gangar, misgengi, sprungur og hraunjaðrar. Mælingarnar eru mjög fljótgerðar og fremur ódýrar.

Eðli segulmælinga

Hraunkvika sem storknar í segulsviði jarðar, segulmagnast oftast varanlega. Segulmagnun hraunsins verður samsíða stefnu jarðsviðsins þegar kvikan storknar. Styrkur segulsviðs frá hrauninu er háður styrk jarðsviðsins og magni segulmagnanlegra steintegunda í kvikunni. Segulsvið jarðar er stöðugum breytingum undirorpið og hefur margsinnis breytt um stefnu og styrk á síðustu milljónum ára. Markverðasta breytingin er þegar stefna sviðsins snýst alveg við en slíkt gerist með óreglulegu millibili. Áætlað er a.m.k. 60 slíkar kollsteypur hafi orðið á segulsviði jarðar á síðustu 20 milljónum ára þ.e. á þeim tíma er Ísland hefur verið að hlaðast upp.

Talað er um rétta segulstefnu þegar segulnorðurlínan er nærri landfræðilega suðurskautinu og um öfuga stefnu þegar segulnorðurlínan er nærri landfræðilega norðurskautinu. Núverandi segulstefna er rétt og hér á landi er hún hallandi niður til norðurs um 75° frá láréttnu og 24° til vesturs frá réttvísandi norðri. Breytingarnar á segulsviðinu valda því að hraunlög frá mismunandi jarðsögulegum tíma eru yfirleitt ekki eins segulmagnuð. Með því að mæla segulstefnuna í hraunum má oft ákvarða aldur þeirra. Mæling á segulstyrk gerir oft kleift að greina í sundur jarðmyndanir sem ekki verða aðgreindar á annan hátt.

Notagildi

Segulmælingar hafa mest verið notaðar hér á landi við að leita uppi og kortleggja bergganga, misgengi og sprungur. Þær hafa gefist einkar vel við kortlagningu bergganga og innskotslaga í grennd við jarðhitasvæði á blágrýtissvæðum landsins. Innskot myndast er hraunkvika treðst upp um sprungur og misgengi eða á milli hraunlaga og storknar þar. Innskot myndast því seinna en bergið umhverfis og eru því oft ódrúsi segulmagnuð. Sá hluti innskota sem storknað hefur í sprungum nefnist berggangar. Þeir eru vanalega hornrétt á aðliggjandi jarðlög. Sé segulsvið mælt yfir berggangi kemur venjulega fram frávik frá ótrufluðu jarð-

sviði. Frávikio er jákvætt yfir rétt segulmagnuðum gangi, þ.e. þar mælist sterkara segulsvið en neikvætt yfir öfugt segulmagnuðum gangi, þ.e. veikara segulsvið.

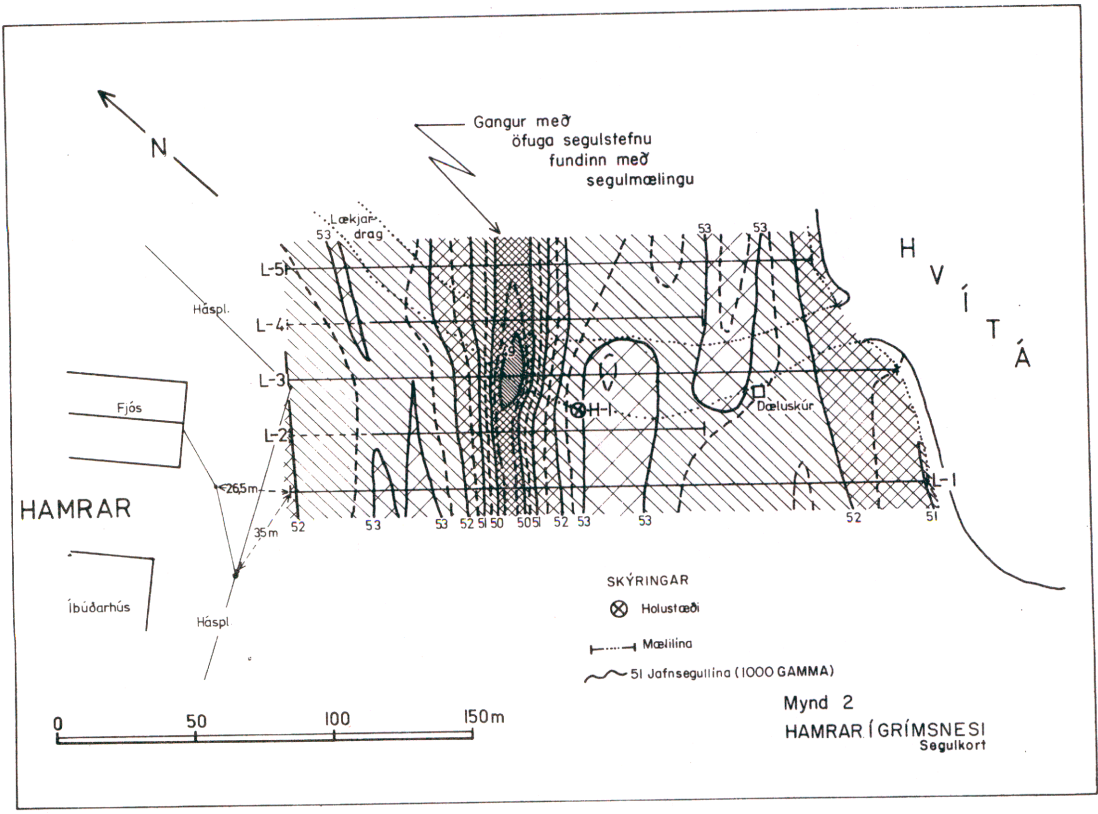
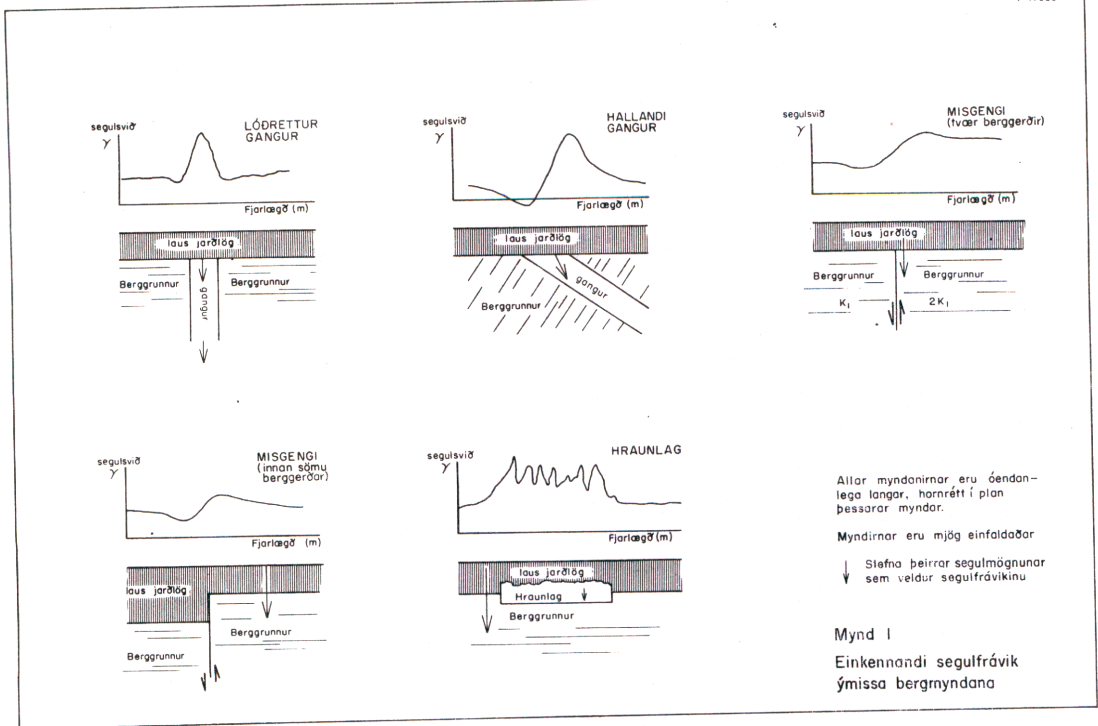
Mynd 1. sýnir áhrif ýmissa bergmyndana á segulsviðið. Að gefnum ákveðnum forsendum er unnt að reikna út lögum og dýpi þeirra myndana er valda mældu staðbundnu frávikinu á heildarsviðinu. Nákvæmni í staðsetningu þeirra bergmyndana er valda frávikinu er að mestu háð þykkt yfirborðslaganna, gerð og halla myndananna, halla segulsviðsins og þéttleika mælinganna. Best er að staðsetja lóðrétta bergganga. Yfirleitt er hægt að staðsetja þá með 2 m óvissu undir 4 m þykkum yfirborðslögum. Hallandi ganga og misgengi er mun erfiðara að staðsetja en óvissumörkin eru þó yfirleitt talin vera innan við 20 m undir 4 m þykkum yfirborðslögum.

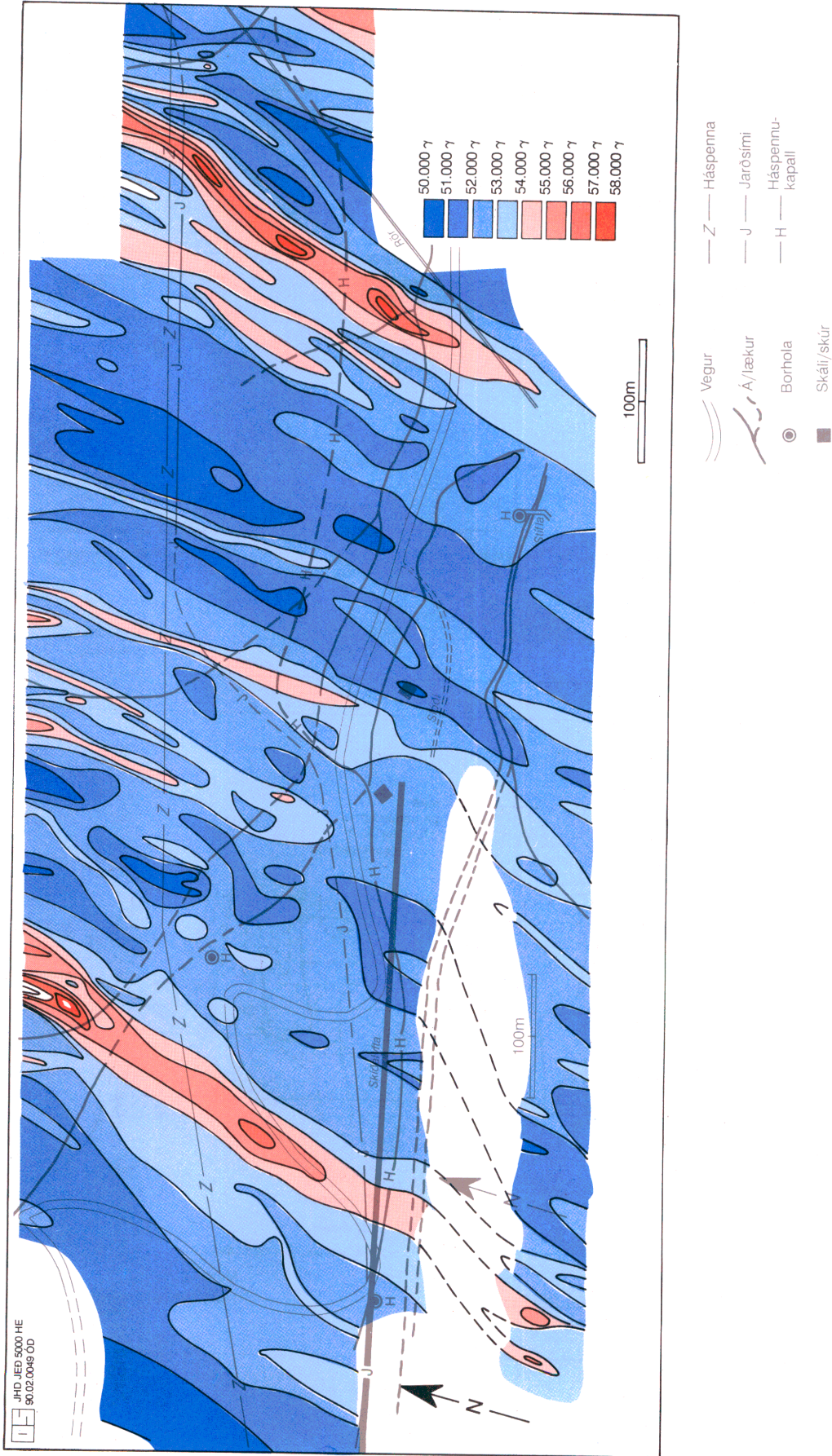
Stundum eru staðbundin áhrif frá jarðmyndunum það veik að þau valda ekki marktæku segulfrávikinu. Segulmælingar gagna að sjálfsögðu ekki þar, við að greina í sundur jarðmyndanir sem eru huldar lausum yfirborðslögum.

Mæliaðferð og mannaflí

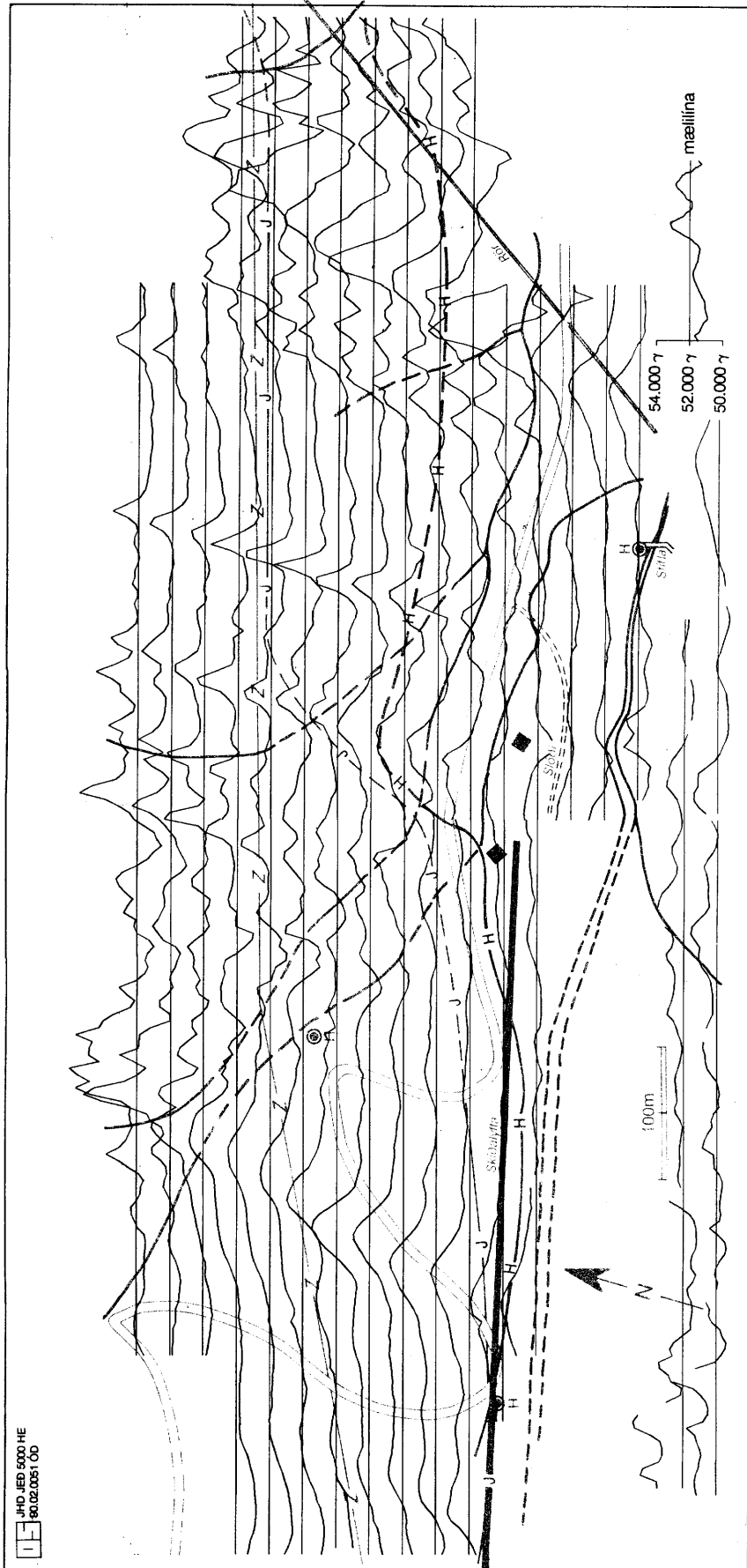
Segulmælingar eru oftast gerðar með segulmæli sem mælir heildarstyrk sviðsins (prótónusegulmælir). Mælt er í um það bil 2,5-4 m hæð yfir jörðu eftir ákveðnum línunum eða í neti. Fjarlægð á milli lína eða punkta í neti fer eftir því hve örur breytingar verða á segulsviðinu og þeirri nákvæmni og upplausn sem krafist er í hvert skipti. Við kortlagningu ganga er oftast mælt eftir beinum línunum og eru 20-30 m á milli mællína en 5 m á milli punkta á hverri línu. Netið er lagt út með hornamælingum og mælisnúrum áður en segulmælingarnar hefjast. Tveir menn framkvæma segulmælingar og lætur nærri að þeir komist yfir um 3-4 km á dag en það er þó mjög háð aðstæðum. Niðurstöður eru venjulega birtar á korti með jafnsviðslínunum og helstu kennileitum, sbr. mynd 2. Jafnsviðslínur sýna því styrk segulsviðsins á svipaðan hátt og hæðarlínur sýna hæð lands yfir sjó á venjulegu landakorti. Það fer eftir stærð og lögum segulfráviks hve þétt jafnsviðslínur eru dregnar en oft er nægilegt að hafa eitt mikrotlesla (1000 gamma) á milli lína. Við minniháttar verkefni er oft látið nægja að birta einstaka mæliferla og kort sem sýnir staðsetningu þeirra. Þetta á sérstaklega við ef langt er á milli mællína.

F-17000

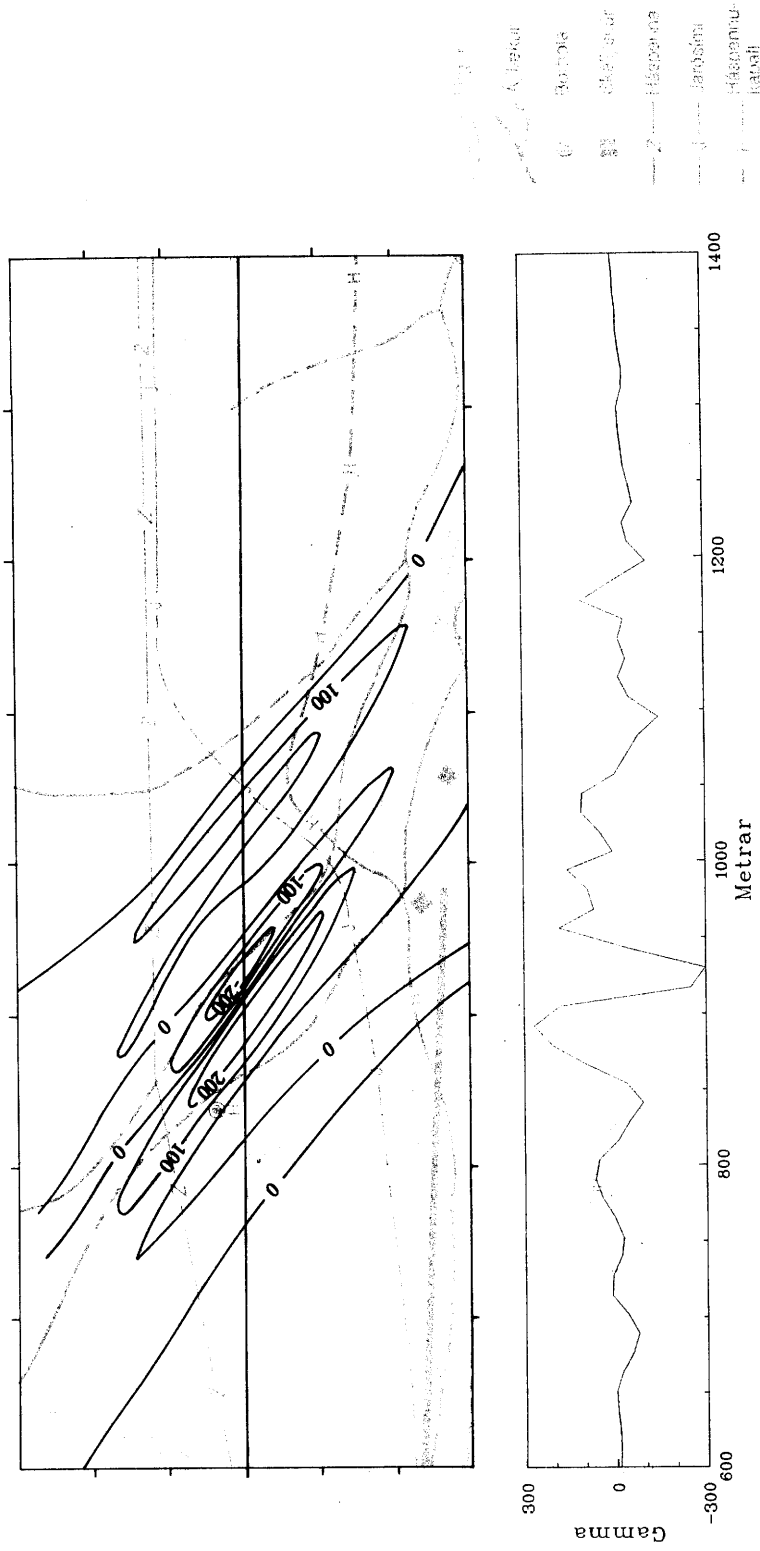




Segulkort af mælisvæðinu í Skarðdal. Bláu líturnir sýna segullægðir en þeir rauðu segulhæðir.



Segulferlar í Skarðdal. Beinu línurnar sína staðsetningu mællínna.



Segulkort þegar búið er að síá út öll norðlæg línuleg segulfrávik frá gögnunum. Neðri hluti myndarinnar er segulferill eftir breiðu línuni á segulkortinu.

VIÐAUKI B: Niðurstöður viðnámsniðsmælinga

Heilir og brotnir ferlar á viðnámsferlum lína 2 og 3 eru svörun líkananna á mynd 8.

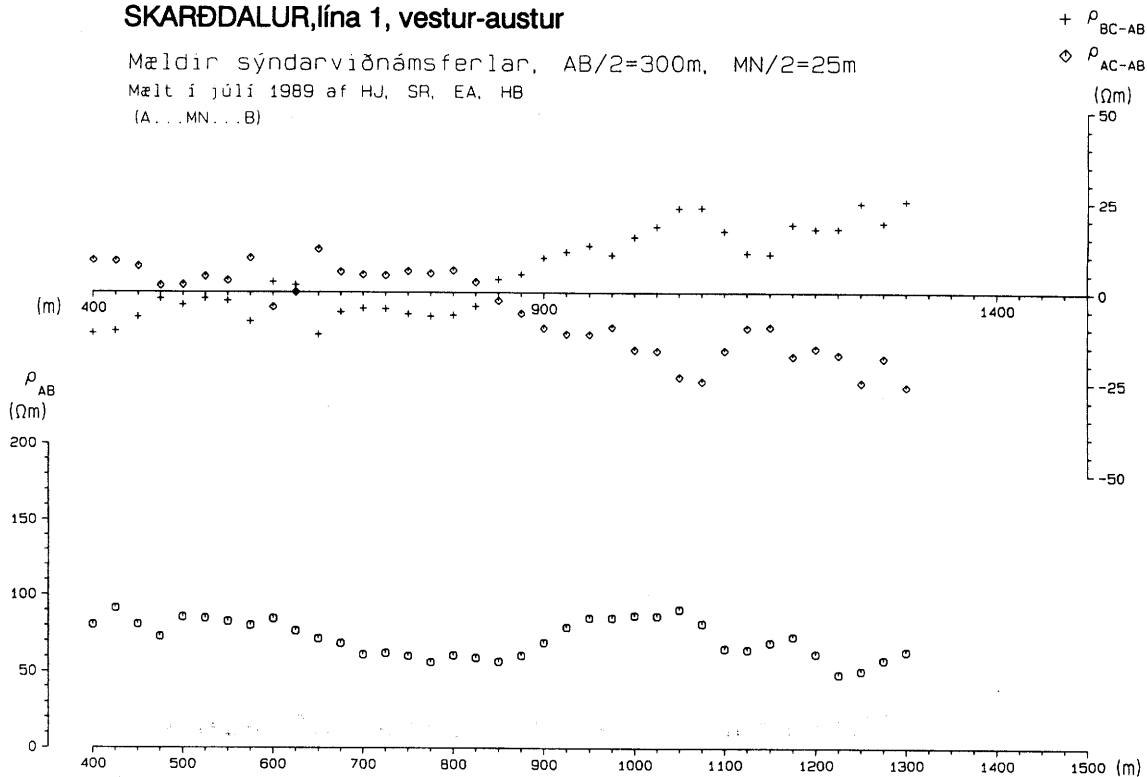
JHD JED 5000 HE
90.02.0042 T

SKARÐDALUR, lína 1, vestur-austur

Mældir sýndarviðnámsferlar, $AB/2=300\text{m}$, $MN/2=25\text{m}$

Mælt í júlí 1989 af HJ, SR, EA, HB

(A...MN...B)

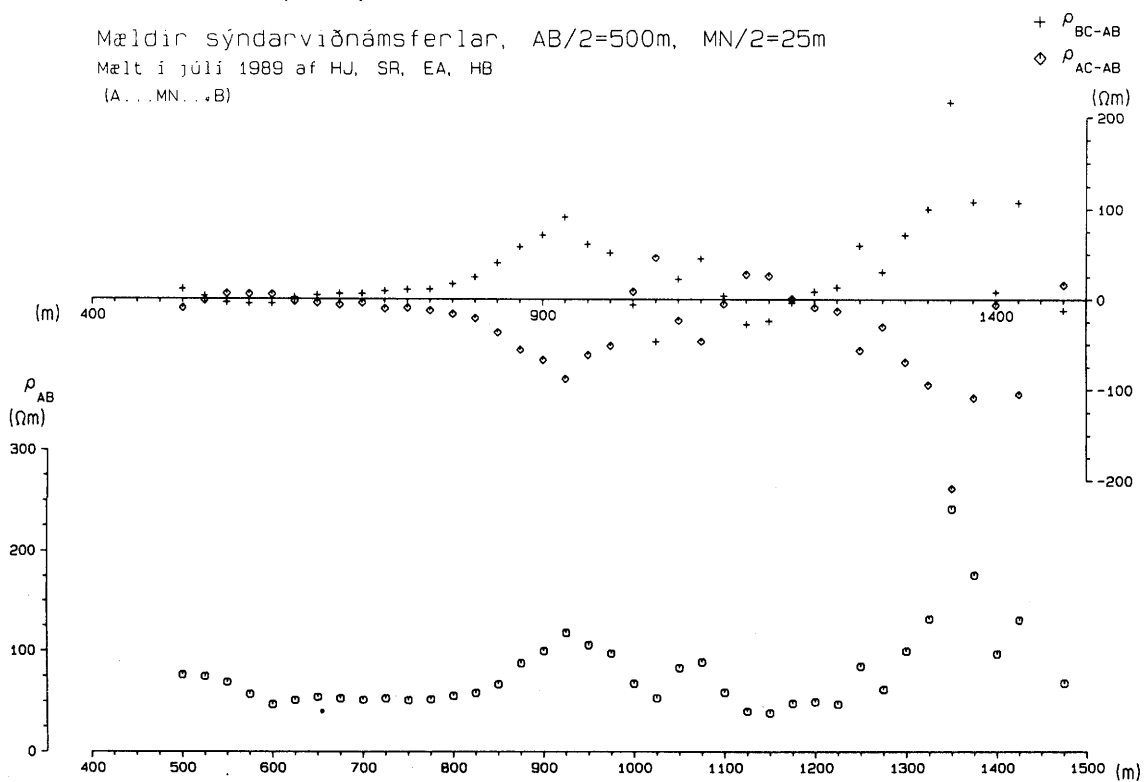


SKARÐDALUR, lína 1, vestur-austur

Mældir sýndarviðnámsferlar, $AB/2=500\text{m}$, $MN/2=25\text{m}$

Mælt í júlí 1989 af HJ, SR, EA, HB

(A...MN...B)



JHD JED 5000 HE
90.02.0043 T

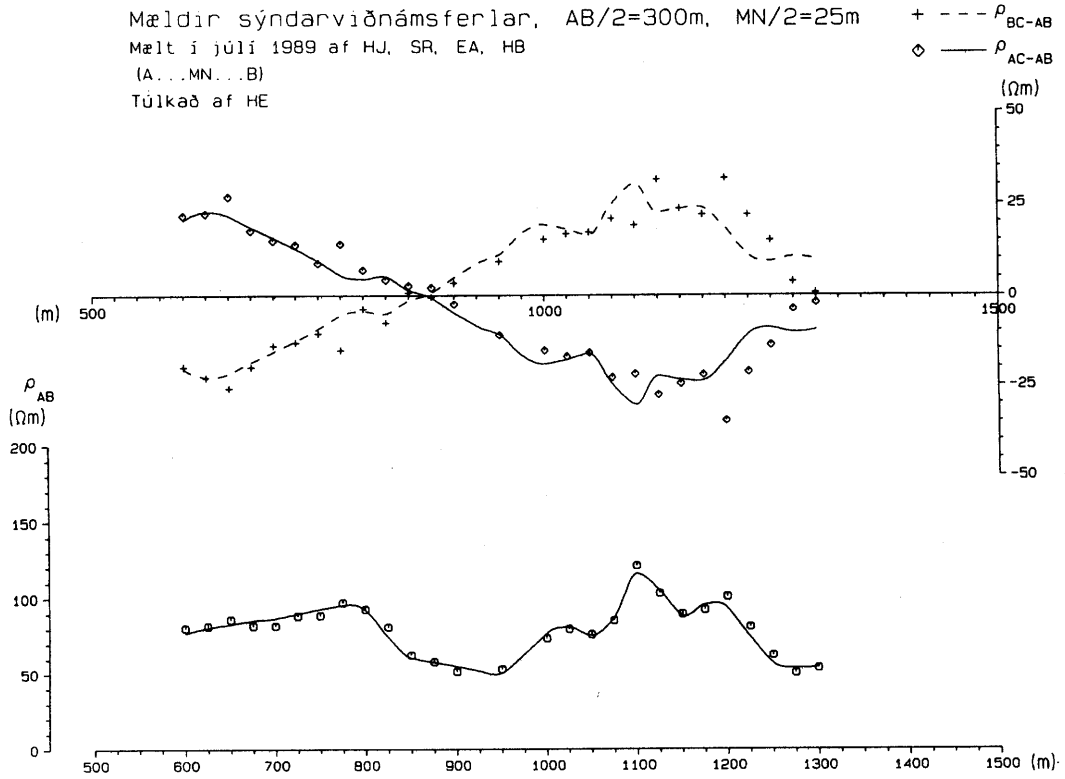
SKARÐDALUR, lína 2, vestur-austur

Mældir sýndarviðnámsferlar, $AB/2=300\text{m}$, $MN/2=25\text{m}$

Mælt í júlí 1989 af HJ, SR, EA, HB

(A...MN...B)

Túlkad af HE



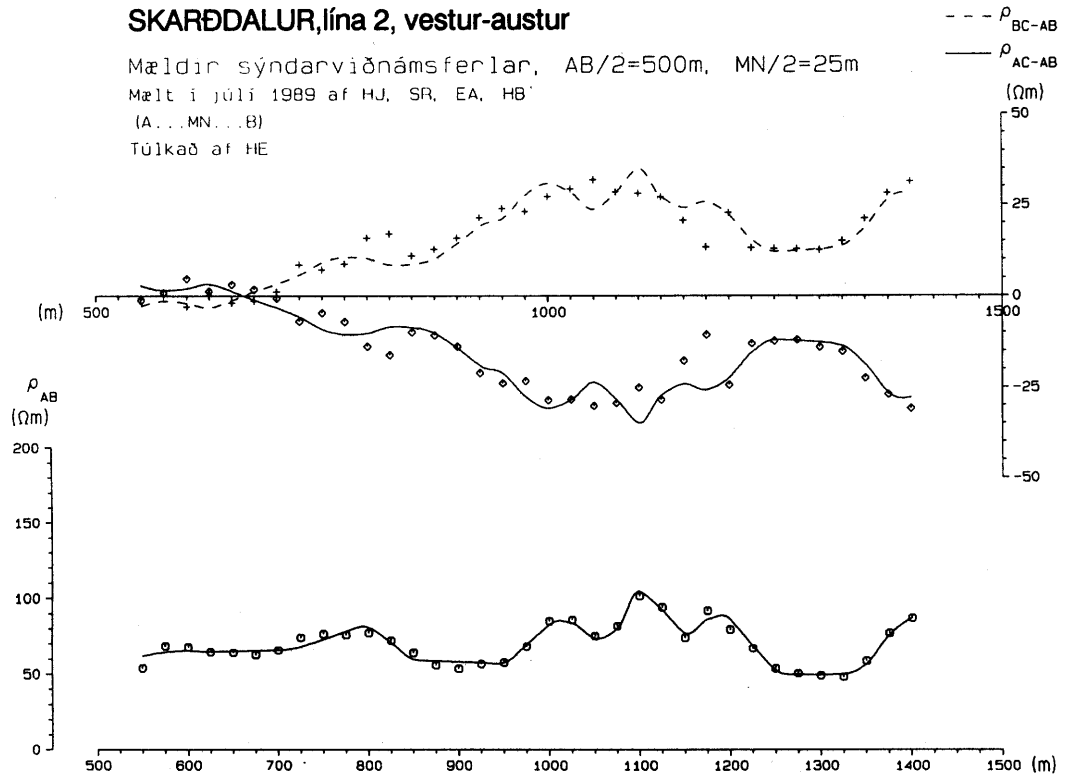
SKARÐDALUR, lína 2, vestur-austur

Mældir sýndarviðnámsferlar, $AB/2=500\text{m}$, $MN/2=25\text{m}$

Mælt í júlí 1989 af HJ, SR, EA, HB

(A...MN...B)

Túlkad af HE



JHD JED 5000 HE
90.02.0044 T

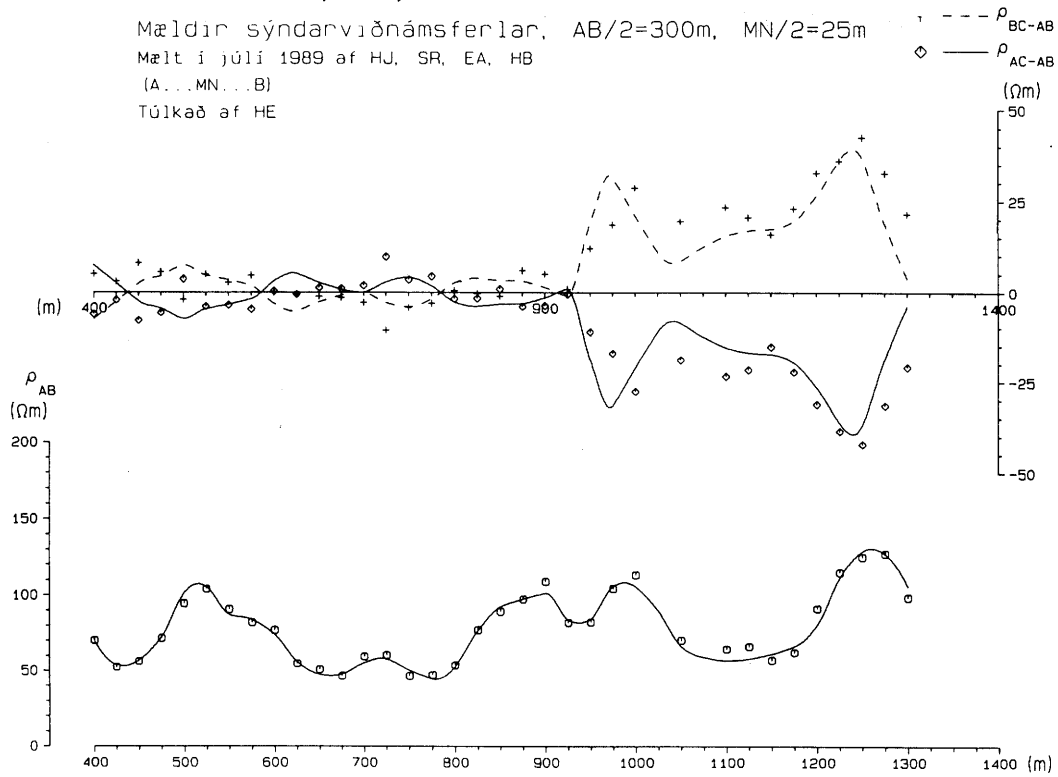
SKARÐDALUR, lína 3, vestur-austur

Mældir sýndarviðnámsferlar, $AB/2=300\text{m}$, $MN/2=25\text{m}$

Mælt í júlí 1989 af HJ, SR, EA, HB

(A...MN...B)

Túlkad af HE



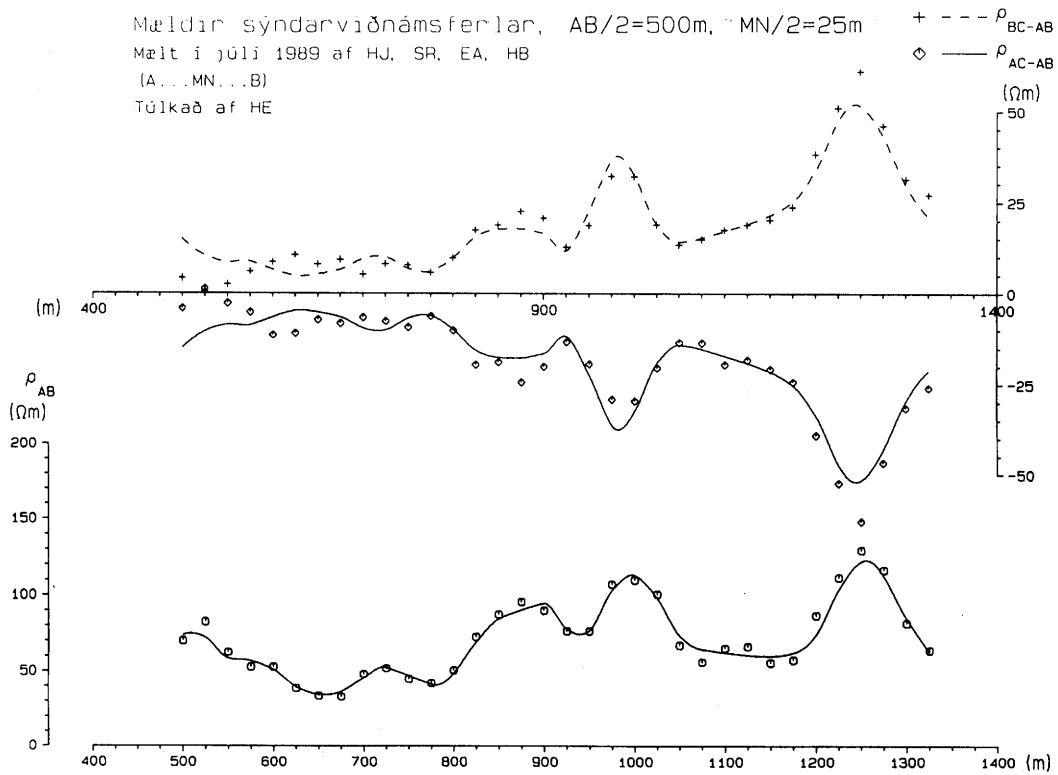
SKARÐDALUR, lína 3, vestur-austur

Mældir sýndarviðnámsferlar, $AB/2=500\text{m}$, $MN/2=25\text{m}$

Mælt í júlí 1989 af HJ, SR, EA, HB

(A...MN...B)

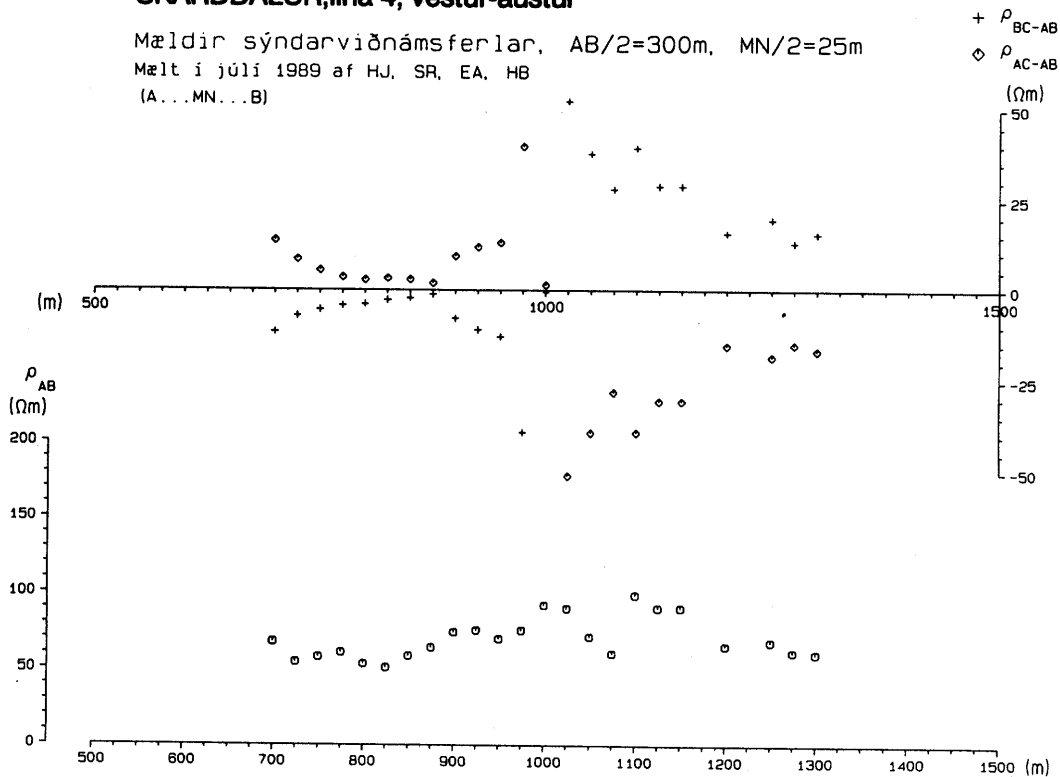
Túlkad af HE



JHD JED 5000 HE
90.02.0045 T

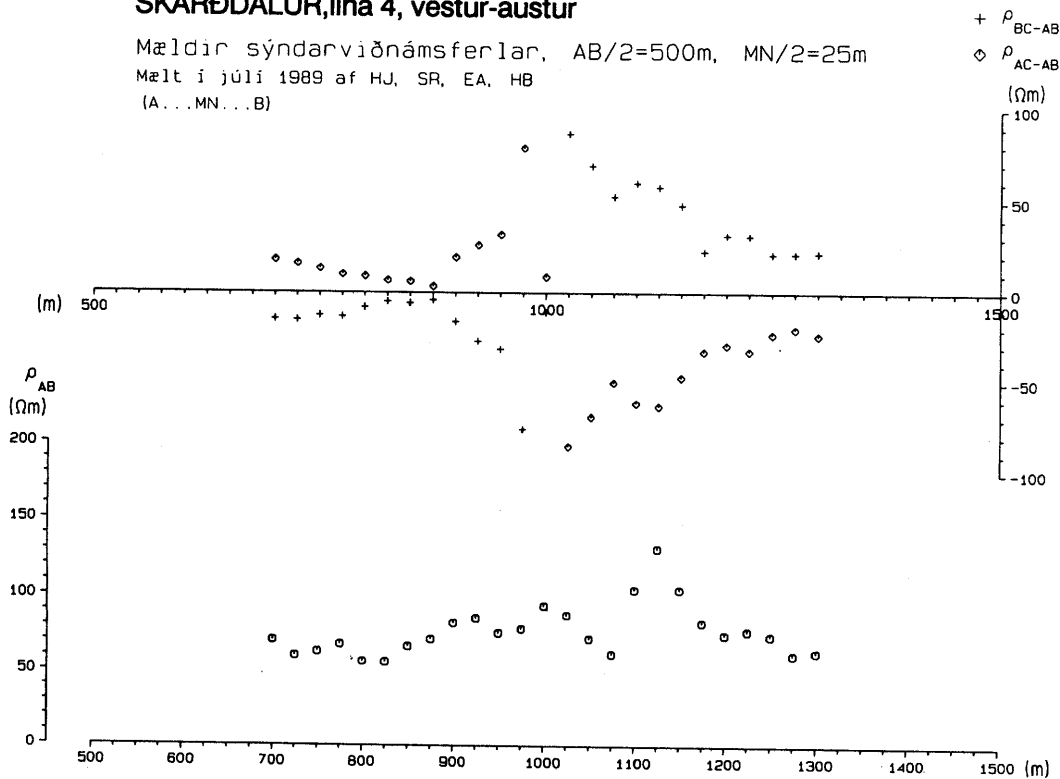
SKARÐDALUR, lína 4, vestur-austur

Mældir sýndarviðnámsferlar, AB/2=300m, MN/2=25m
Mælt í júlí 1989 af HJ, SR, EA, HB
(A...MN...B)



SKARÐDALUR, lína 4, vestur-austur

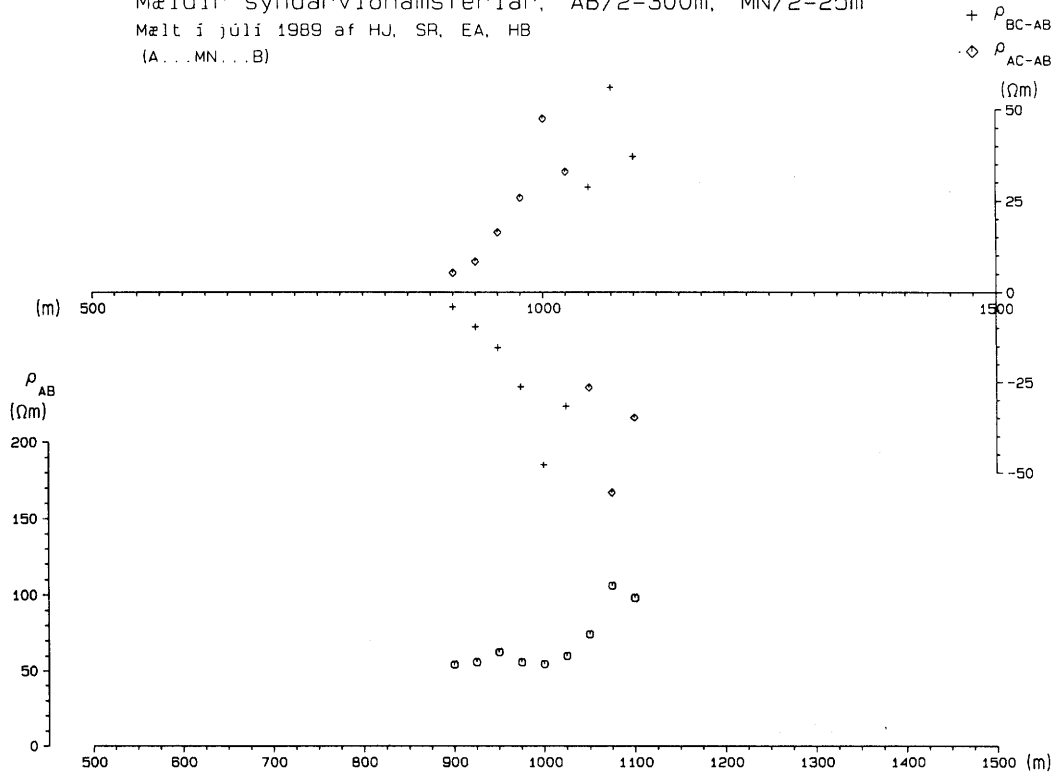
Mældir sýndarviðnámsferlar, AB/2=500m, MN/2=25m
Mælt í júlí 1989 af HJ, SR, EA, HB
(A...MN...B)



JHD JED 5000 HE
90.02.0046 T

SKARÐDALUR, lína 5, vestur-austur

Mældir sýndarviðnámsferlar, $AB/2=300\text{m}$, $MN/2=25\text{m}$
Mælt í júlí 1989 af HJ, SR, EA, HB
(A...MN...B)



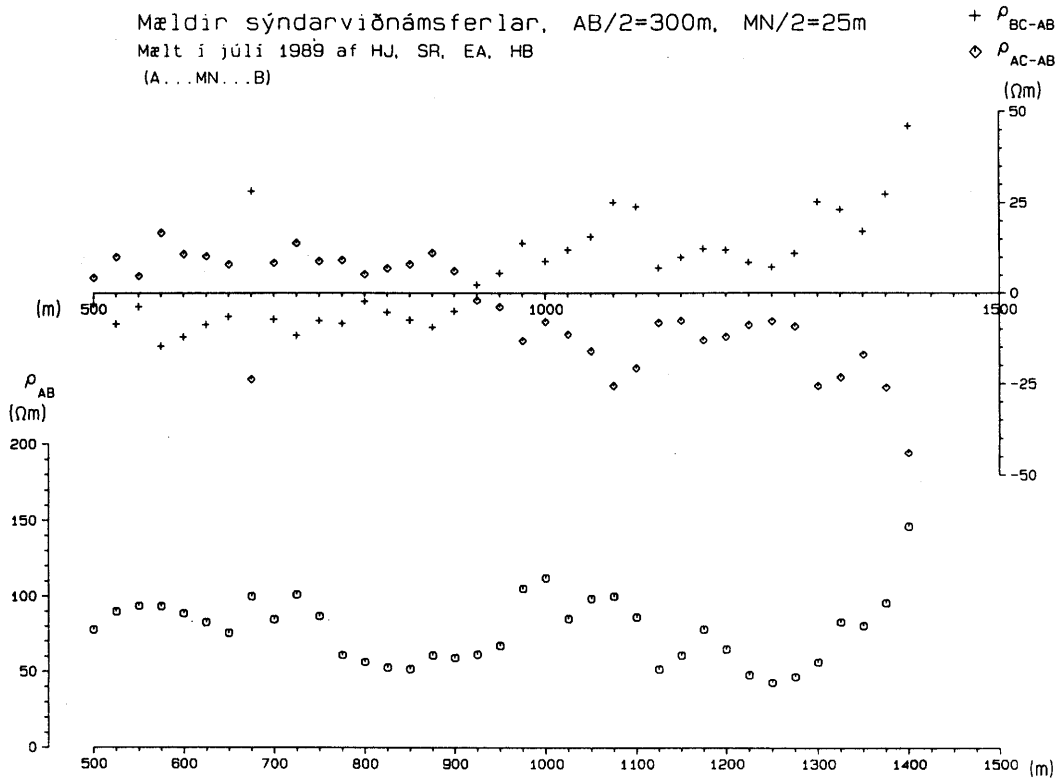
JHD JED 5000 HE
90.02.0047 T

SKARÐDALUR, lína 6, vestur-austur

Mældir sýndarviðnámsferlar, $AB/2=300m$, $MN/2=25m$

Mælt í júlí 1989 af HJ, SR, EA, HB

(A...MN...B)



SKARÐDALUR, lína 6, vestur-austur

Mældir sýndarviðnámsferlar, $AB/2=500m$, $MN/2=25m$

Mælt í júlí 1989 af HJ, SR, EA, HB

(A...MN...B)

