



ORKUSTOFNUN  
Jarðhitadeild

**VIÐNÁMSMÆLINGAR  
Á GELDINGANESI**

Knútur Árnason

Unnið fyrir Hitaveitu Reykjavíkur

OS-96007/JHD-03 B

Febrúar 1996



**ORKUSTOFNUN**  
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Verknr. 616 001

**VIÐNÁMSMÆLINGAR  
Á GELDINGANESI**

Knútur Árnason

Unnið fyrir Hitaveitu Reykjavíkur

OS-96007/JHD-03 B

Febrúar 1996

## **EFNISYFIRLIT**

1. INNGANGUR	3
2. FRAMKVÆMD MÆLINGA OG ÚRVINNSLA	3
3. NIÐURSTÖÐUR	4
4. HEIMILDIR	6

## **MYNDIR**

Mynd 1. Staðsetning mælinga og viðnámssniðs	7
Mynd 2. Sýndarviðnámsferill TEM-mælingar GN-01 ásamt viðnámslíkani	8
Mynd 3. Sýndarviðnámsferill TEM-mælingar GN-02 ásamt viðnámslíkani	9
Mynd 4. Sýndarviðnámsferill TEM-mælingar GN-03 ásamt viðnámslíkani	10
Mynd 5. Sýndarviðnámsferill TEM-mælingar GN-04 ásamt viðnámslíkani	11
Mynd 6. Viðnámssnið frá Geldinganesi og ASA fyrir Úlfarsfell	12
Mynd 7. Samanburður á viðnámslíkani (GN-01) og áætluðum berghita í holu HS-44	13

## 1. INNGANGUR

Hitaveita Reykjavíkur fór á síðasta ári þess á leit við Orkustofnun að gerðar yrðu viðnámsmælingar í Geldinganesi til að kanna útbreiðslu jarðhita. Slíkt er nokkrum vandkvæðum háð, því nesið er nánast eyja, umflotið sjó á alla vegu, að undanskildu eiðinu sem tengir það við land. Geldinganes er um 2 km á lengd og 1 km á breidd. Þar er því lítið pláss til að gera viðnámsmælingar með Schlumbergeraðferð. Reyndar hefur verið gerð ein Schlumbergermæling á nesinu (Lúðvík S. Georgsson, 1985) og sýnir hún frekar lágt viðnám (um 18  $\Omega m$ ) á um 40 m dýpi, en viðnám þar fyrir neðan er óvísst vegna áhrifa sjávar. TEM-mælingar eru ekki eins plássfrekar og er hægt að koma fyrir einum þremur TEM-mælingum á nesinu.

Áhrif sjávar á viðnámsmælingar eru veruleg við þær aðstæður sem fyrir hendi eru á Geldinganesi. Á Jarðhitadeild Orkustofnunar hefur nýlega verið þróaður hugbúnaður til þrívíðra líknareikninga fyrir TEM-mælingar (Knútur Árnason, 1995a). Með þessum hugbúnaði má túlka mælingarnar með líkanreikningum þar sem dreifing sjávar og dýpi eru lesin af sjókort og líkön sett upp sem innihalda sjóinn.

Gerðir voru líkanreikningar til að kanna hvort áhrif sjávarins yrðu það mikil að þau yfirgnæfðu áhrif viðnámsbreytinga neðan jarðar. Niðurstöður voru þær að áhrif sjávar yrðu vissulega mikil á Geldinganesi, en samt ekki meiri en svo að viðnámsbreytingar í jörðu kæmu nokkuð vel fram í mælingunum. Því var ákveðið að gera tilraun með TEM-mælingar á nesinu þó að ekki væri við því að búast að túlkun með þrívíðum líkanreikningum gæfi eins áreiðanlegar niðurstöður og mælingar fjarri sjó. Í fyrsta lagi er erfitt að líkja eftir útbreiðslu sjávar í smáatriðum í líkönunum og í öðru lagi yfirskyggja áhrif sjávar að nokkru leyti áhrif af viðnámsbreytingum í jörðu. Líkanreikningarnir bentu þó eindregið til þess að greina megi viðnámsbreytingar upp á "faktor" 5 eða meira í efstu 300-400 m jarðar (þ.e.a.s. vel má sjá hvort viðnám jarðlaga er 10  $\Omega m$  eða 50  $\Omega m$ ). Lagt var til að gerðar yrðu 3 TEM-mælingar á Geldinganesi og 2 á landi til samanburðar, önnur nálægt Korpúlfsstöðum og hin SV við Úlfarsfell.

## 2. FRAMKVÆMD MÆLINGA OG ÚRVINNSLA

Mælingarnar voru framkvæmdar dagana 13. og 14. mars 1995. Gerðar voru 3 mælingar í Geldinganesi (GN-01 - GN-03) og gengu þær vel. Hinsvegar kom í ljós að ekki var hægt að koma fyrir mælingum vestan Úlfarsfells vegna raflína, en þær trufla TEM-mælingar verulega. Eftir nokkra leit að mögulegum mælistað var loks gerð ein mæling austan við Úlfarsfell, skammt NA við Skyggni, og látið þar við sitja. Staðsetning mælinganna er sýnd á mynd 1.

Úrvinnsla mælinganna hófst á hefðbundinni einvíðri túlkun. Mælingarnar þrjár í Geldinganesi voru síðan teknar til frekari túlkunar með þrívíðum líkanreikningum. Líkönin gera ráð fyrir óreglulegri dreifingu sjávar, en gert var ráð fyrir lárétt lagskiptri viðnáms-

dreifingu neðanjarðar. Útbreiðsla og dýpi sjávar var lesið af sjókorti og sett upp líkan fyrir hverja mælingu þar sem líkt er eftir sjónum umhverfis Geldinganes. Eðlisviðnámsgildi sjávarins var, samkvæmt upplýsingum Hafrannsóknastofnunar, sett  $0.5 \Omega m$ , nema í Leirvogi austan nessins, þar sem notað var nokkuð hærra gildi ( $0.7 \Omega m$ ), vegna meiri blöndunar ferskvatns. Niðurstöður einvíðarar túlkunar voru notaðar til að ákvarða viðnámslög nærri yfirborði, sem ráða lagi sýndarviðnámsferilsins áður en áhrifa sjávar fer að gæta að ráði. Túlkunin fólst síðan í því að ákvarða lagskiptingu viðnáms þar fyrir neðan, þannig að reiknaður ferill falli viðunandi að þeim mælda. Þetta var gert á hefðbundinn hátt með því að geta upp á lagskiptingu og reikna svörun líkansins og bera saman við mælda ferilinn. Líkaninu var síðan breytt, með hliðsjón af mismuni mælds og reiknaðs ferils.

Vel gekk að túlka mælingar GN-02 og GN-03 og fékkst þokkalegt samræmi milli mældra og reiknaðra ferla í annarsvegar 12 og hinsvegar 9 tilraunum. Erfiðlegar gekk að túlka GN-01, og þurfti 29 tilraunir til að fá viðunandi samræmi milli mælds og reiknaðs ferils. Við líkanreikningana þurfti að nota stór líkön (með mörgum hnitpunktum) til að fá nægilega reikninákvæmni og þess má til gamans geta að það tók mjög öflugra tölvu (DEC Alpha 3000/600 vinnustöð) um 8 klukkustundir (CPU) að reikna svörun hvers líkans. Heildar reiknitíminn sem notaður var við túlkun mælinganna var því um 400 (CPU) klukkustundir.

Lokalíkön mælinganna þriggja í Geldinganesi, ásamt með mældum og reiknuðum ferlum, eru sýnd á myndum 2 til 4 og einvíð túlkun mælingarinnar NA Skyggis er sýnd á mynd 5. Á þessum myndum sést að reiknaðir ferlar með þrívíðu líkanreikningunum falla ekki jafn vel að þeim mældu eins og í einvíðu túlkuninni. Ástæða þess er að sjálfsögðu sú, að í "handvirkri" túlkun með líkanreikningum eru stuðlar líkansins ekki "fínstilltir" af, eins og gerist í sjálfvirkum túlkunarforritum, og óvissa þeirra er því meiri. Þó nokkur munur er á líkönunum á myndum 2 til 4, fyrir mælingarnar í Geldinganesi, og þeim líkönunum sem fengust við einvíða túlkun þeirra. Megin munurinn liggur í því að einvíða túlkunin gaf verulega minna dýpi niður á lágviðnámslög, eins og við var að búast vegna áhrifa sjávar.

### 3. NIÐURSTÖÐUR

Mynd 6 sýnir viðnámsnið frá Geldinganesi og ASA yfir Úlfarsfell. Sniðið er byggt á niðurstöðum TEM-mælinganna í Geldinganesi og við Skyggni, auk tveggja Schlumbergermælinga, HB-115 og HB-111, vestan Úlfarsfells (Lúðvík S. Georgsson, 1985). Lega sniðsins og staðsetning mælinganna er sýnd á mynd 1.

Mælingarnar í Geldinganesi sýna viðnám um eða yfir  $100 \Omega m$  í efstu u.þ.b.  $100 m$ . Þar fyrir neðan lækkar viðnámið. Vestast er það á bilinu  $20-40 \Omega m$  frá því um  $100 m$  og niður á um  $350 m$  neðan sjávarmáls. Austar undir nesinu er viðnámið nokkuð lægra á þessu dýptarbili eða á bilinu  $10$  til  $20 \Omega m$ . Neðan  $350 m$  neðan sjávarmáls kemur fram,

undir vestanverðu Geldinganesi, um 200 *m* þykkt lágviðnámslag, með viðnám innan við 10  $\Omega m$  en síðan nokkuð hærra viðnámi (um 20  $\Omega m$ ) þar fyrir neðan. Í mælingunni þar fyrri austan (GN-02) er verulega hærra viðnám (> 50  $\Omega m$ ) á þessu dýpi. Í austustu mælingunni á Geldinganesi (GN-03) er einnig hátt viðnám á þessu dýptarbili, en þó með innskotnu lágviðnámslagi á um 500 *m* dýpi.

Schlumbergermælingarnar vestan Úlfarsfells sýna hátt viðnám næst yfirborði og virðist þykkt þess vaxa til ausurs. Þar fyrir neðan er viðnám á bilinu 30 til 40  $\Omega m$  eins djúpt og mælingarnar sjá. Hér ber að hafa í huga að þegar kemur nokkuð niður fyrir yfirborð sýna Schlumbergermælingar gjarnan nokkuð hærra viðnám en TEM-mælingar, ef berglagastaflinn er mjög lagskiptur (Knútur Árnason, 1995b). TEM-mælingin austan Úlfarsfells sýnir um 90  $\Omega m$  ofan sjávarmáls og síðan um 300 *m* þykkt lag með um 30  $\Omega m$ . Þar fyrir neðan er hærra viðnám (yfir 50  $\Omega m$ ). Of miklar eyður eru í mælingarnar austan Geldinganes til þess að hægt sé að tengja viðnámslög í sniðinu saman með nokkurri vissu.

Mælingarnar í Geldinganesi sýna að viðnámsskipanin undir vestanverðu sniðinu er nokkuð flókin. Þær sýna þó að neðan 300 *m* neðan sjávarmáls er viðnám lægra undir vesturenda nessins en undir því miðju og austurhlutanum. Þó virðist óumflýjanlegt að gera ráð fyrir staðbundnu lágviðnámi á um 500 *m* dýpi undir GN-03, en ekki er að sjá að það geti tengst lágviðnáminu á svipuðu dýpi undir GN-01. Lægra viðnám undir vestanverður Geldinganes bendir eindregið til hærri hita. Það er í samræmi við samantekt Gríms Björnssonar og Benedikts Steingrímssonar (1995) um hitastig í berggrunni NA Reykjavíkur, en þar kemur fram að hitastig er verulega hærra í holu HS-33 á vestanverðu nésinu, en í holu HS-25 á miðju Geldinganesi.

Seinnipart vetrar 1995 var boruð 1270 *m* djúp hola, HS-44, skammt frá HS-33 og viðnámsmælingunni GN-01 (sjá mynd 1). Mynd 7 sýnir áætlaðan berghita í holunni ásamt með viðnámslíkani GN-01. Á myndinni sést að nokkuð gott samræmi er milli eðlisviðnáms og hitastigs í holunni. Viðnámið er hátt við yfirborð, en lækkar síðan með dýpi um leið og hitastig hækkar. Þar sem hitastigið fer um og yfir 100°C er viðnámið orðið lægra en 10  $\Omega m$ . Þar fyrir neðan hækkar viðnámið nokkuð en hitastig helst svipað eða lækkar örlítið. Hitaferillinn bendir til góðrar lóðréttar lektar og virkrar hræringar. Hinn vægi viðsnúnigur í hitaferlinum gæti bent til þess að á 500 til 750 *m* dýpi sé betri lárétt lekt en dýpra í holunni og lárétt aðstreymi heits vatns. Slík túlkun er í samræmi við viðnámslíkan GN-01.

#### 4. HEIMILDIR

Grímur Björnsson og Benedikt Steingrímsson, 1995: *Hitalíkan af Reykjasvæðunum í Mosfellsbæ*, Samvinnuverk Hitaveitu Reykjavíkur og Orkustofnunar. Orkustofnun, OS-95016/JHD-02, 110 s.

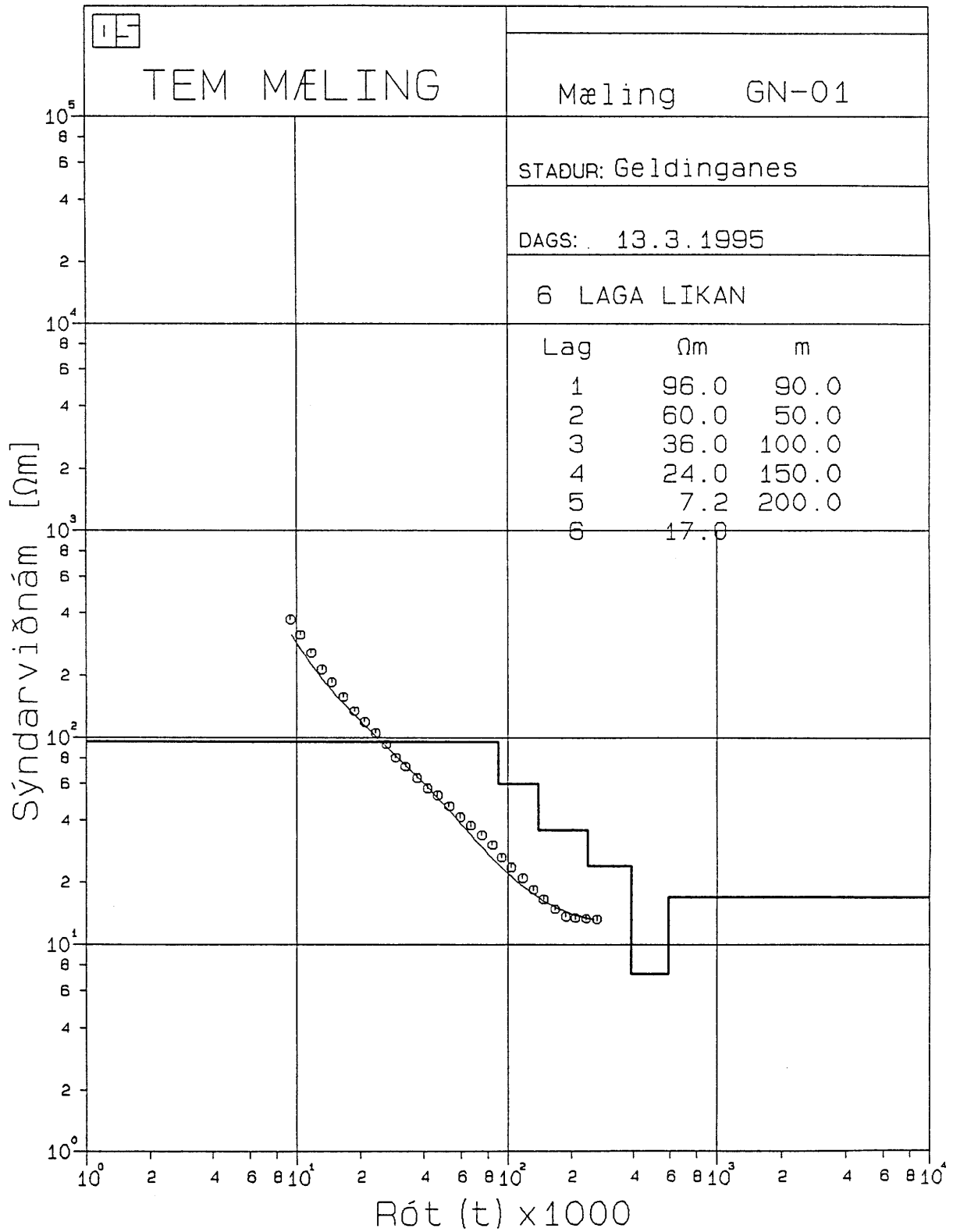
Knútur Árnason, 1995a: *TEMDDD: Forrit til þrívíðra líkanreikninga fyrir TEM-viðnámsmælingar*. Orkustofnun, OS-95015/JHD-10 B, 24 s.

Knútur Árnason, 1995b: *Áhrif lagskiptingar á niðurstöður viðnámsmælinga*. Orkustofnun, OS-95013/JHD-08 B, 12 s.

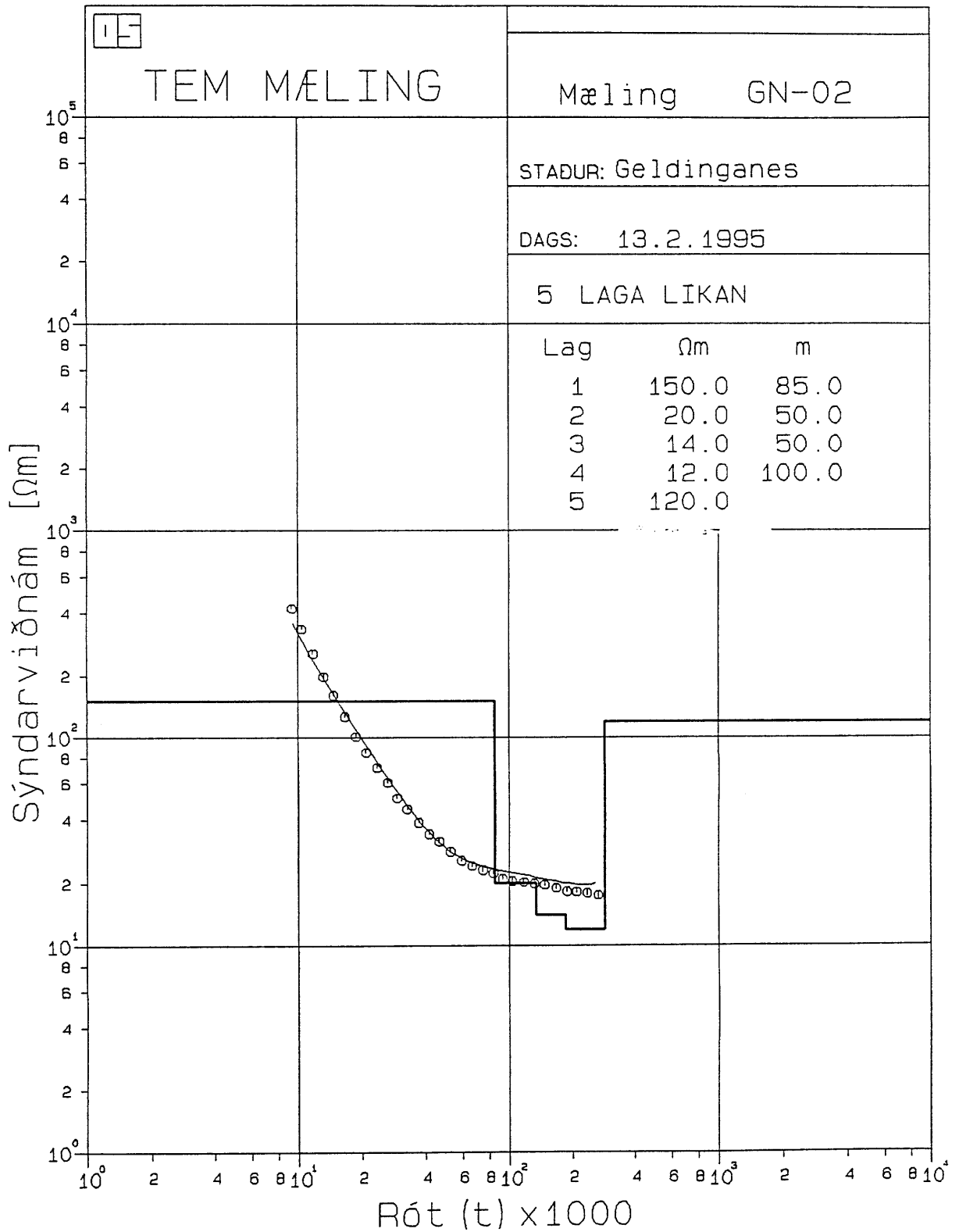
Lúðvík S. Georgsson, 1985: *Höfuðborgarsvæði-Borgarfjörður. Niðurstöður viðnámsmælinga*. Orkustofnun, OS-85111/JHD-14, 41 s.



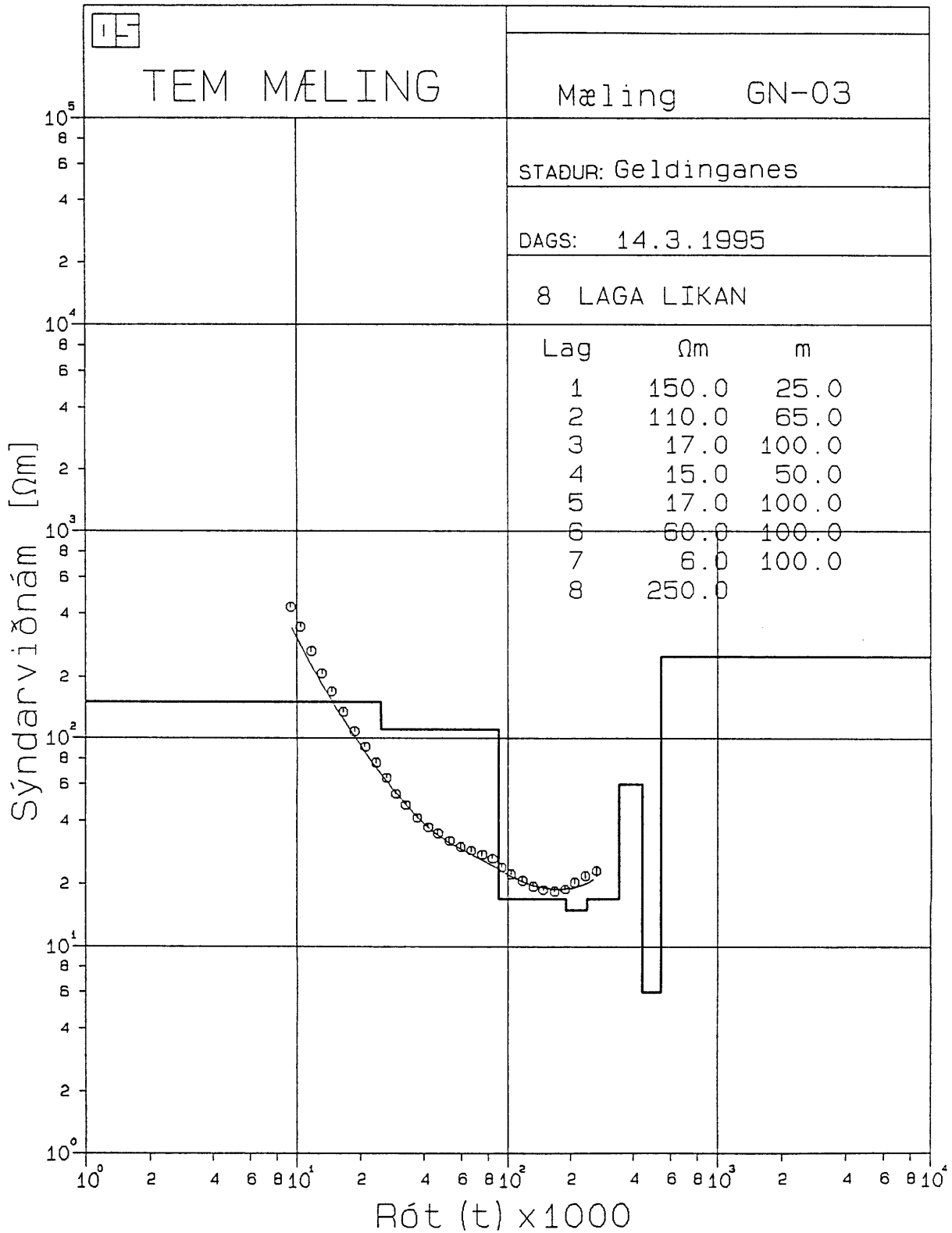




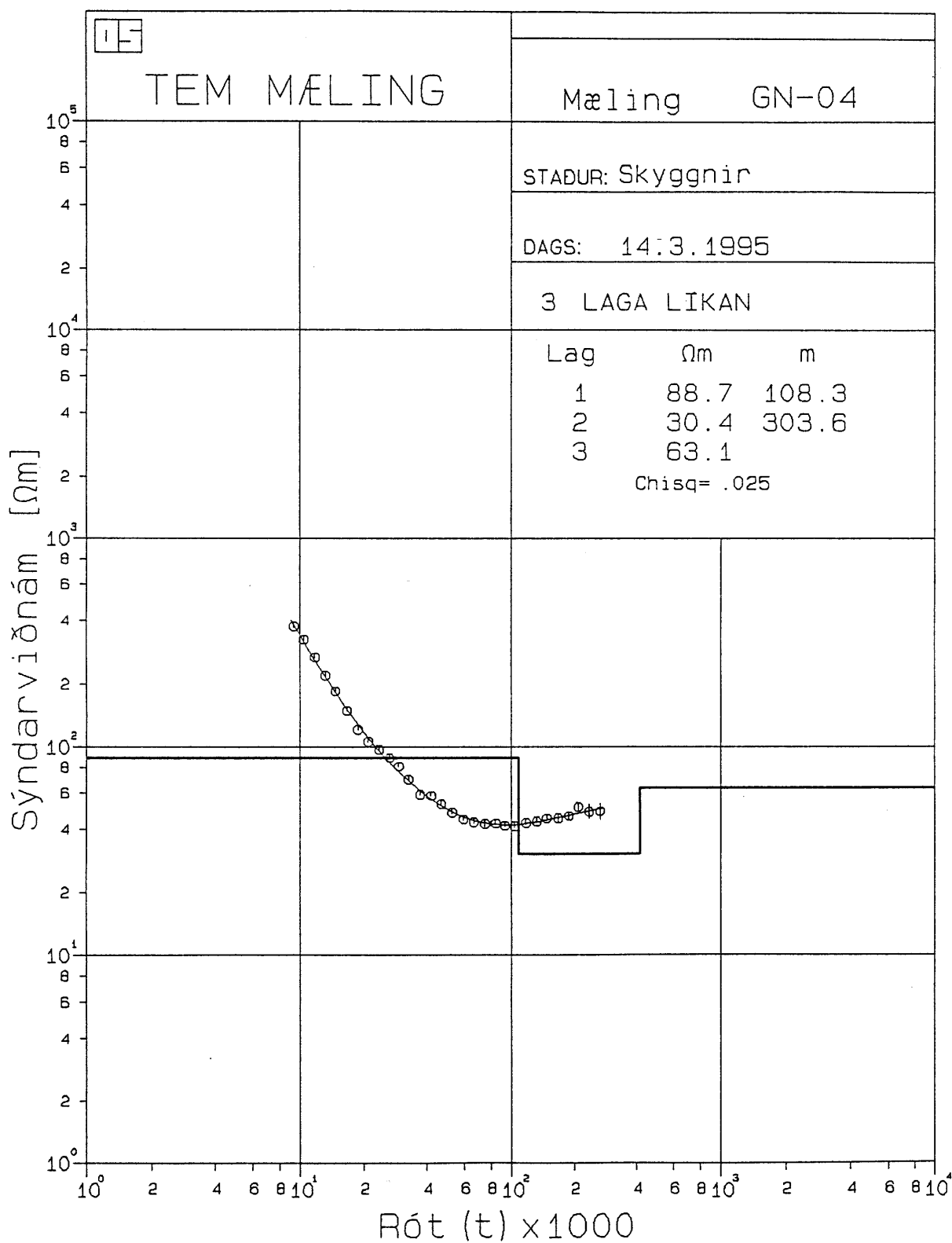
Mynd 2. Mældur (hringir) og reiknaður (heildreginn) sýndarviðnámsferill TEM-mælingar GN-01 ásamt viðnámslíkani. Þrívíð túlkun.



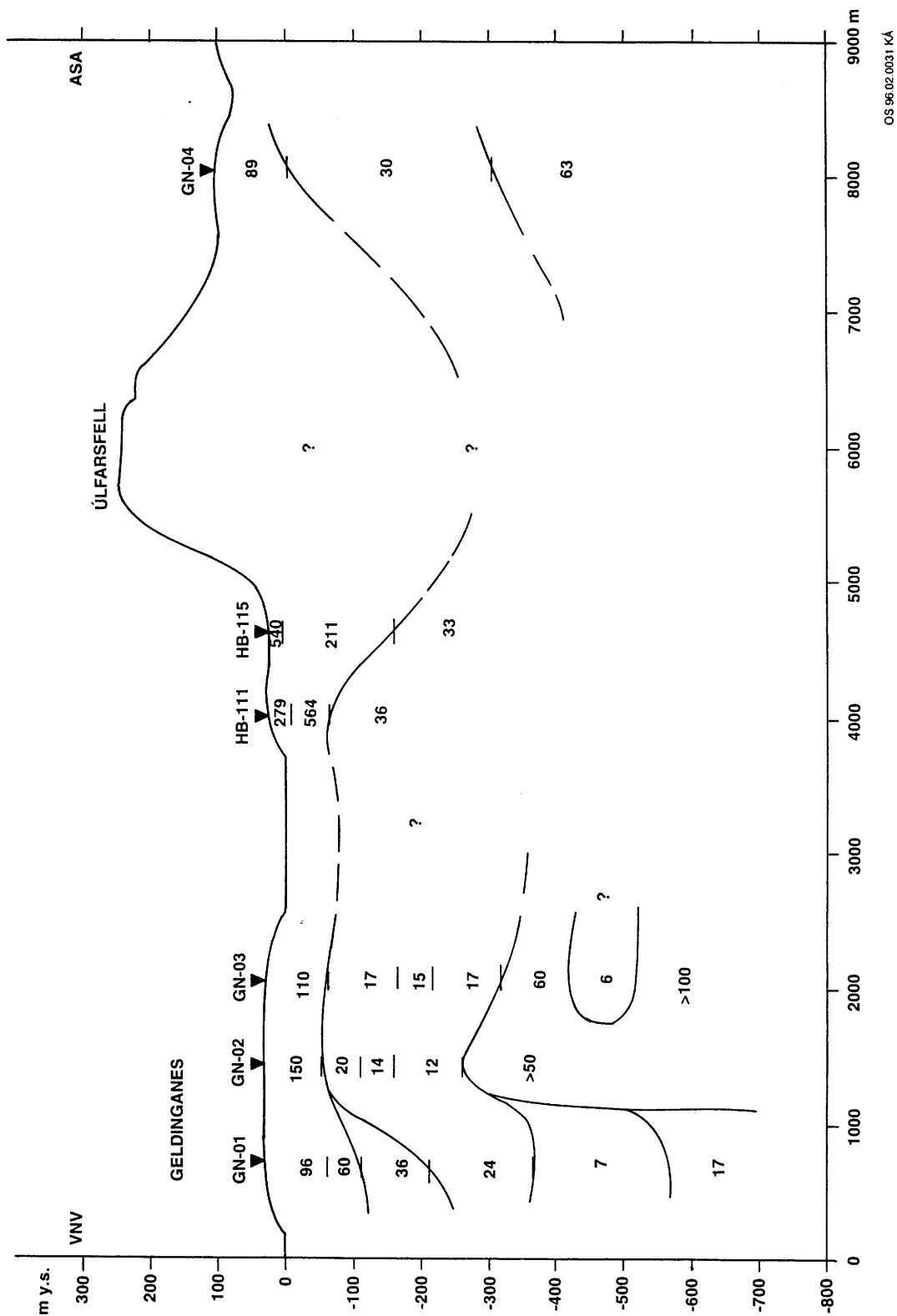
Mynd 3. Mældur (hringir) og reiknaður (heildreginn) sýndarviðnámsferill TEM-mælingar GN-02 ásamt viðnámslíkani. Þrívíð túlkun.



Mynd 4. Mældur (hringir) og reiknaður (heildreginn) sýndarviðnámsferill TEM-mælingar GN-03 ásamt viðnámslíkani. Þrívíð túlkun.



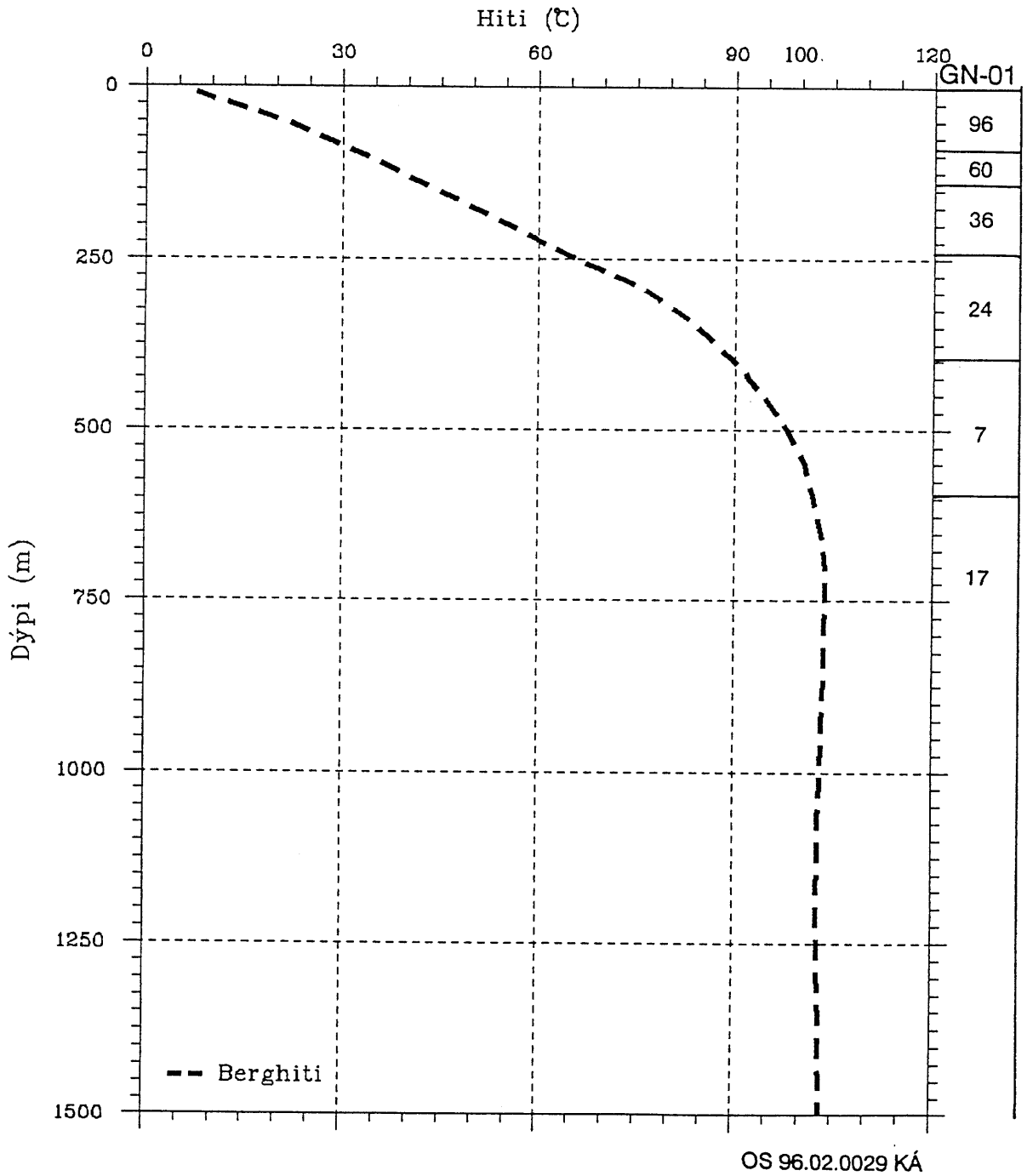
Mynd 5. Mældur (hringir) og reiknaður (heildreginn) sýndarviðnámsferill TEM-mælingar GN-04 ásamt viðnámslíkani. Einvíð túlkun.



Mynd 6. Viðnámssnið frá Geldinganesi og ASA fyrir Úlfarsfell.

12 Jan 1996 ka  
L= 1844 Oracle

### HS -44



Mynd 7. Samanburður á viðnámslíkani undir TEM-viðnámsmælingu GN-01 og áætluðum berghita í holu HS-44.