



ORKUSTOFNUN  
Jarðhitadeild

**Könnun á lágviðnámsfráviki  
við Núp í Fljótshlíð**

Knútur Árnason

OS-94010/JHD-05 B

Febrúar 1994



**ORKUSTOFNUN**  
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Verknr. 530 341

**Könnun á lágviðnámsfráviki  
við Núp í Fljótshlíð**

Knútur Árnason

OS-94010/JHD-05 B

Febrúar 1994

## EFNISYFIRLIT

1. INNGANGUR	3
2. TEM-MÆLINGAR	4
3. JARÐLÖG OG MÆLINGAR Í HOLU VIÐ NÚP	7
3.1 Jarðlög	7
3.2 Jarðlagamælingar	7
3.2.1 Poruhluti	7
3.2.2 Eðlisviðnám	7
3.2.3 Samband eðlisviðnáms og poruhluta	8
3.3 Djúpsýni	11
4. SAMANBURÐUR Á TEM-MÆLINGUM OG VIÐNÁMSMÆLINGU Í HOLUNNI	12
5. NIÐURSTÖÐUR	13
6. HEIMILDIR	16

## MYNDIR

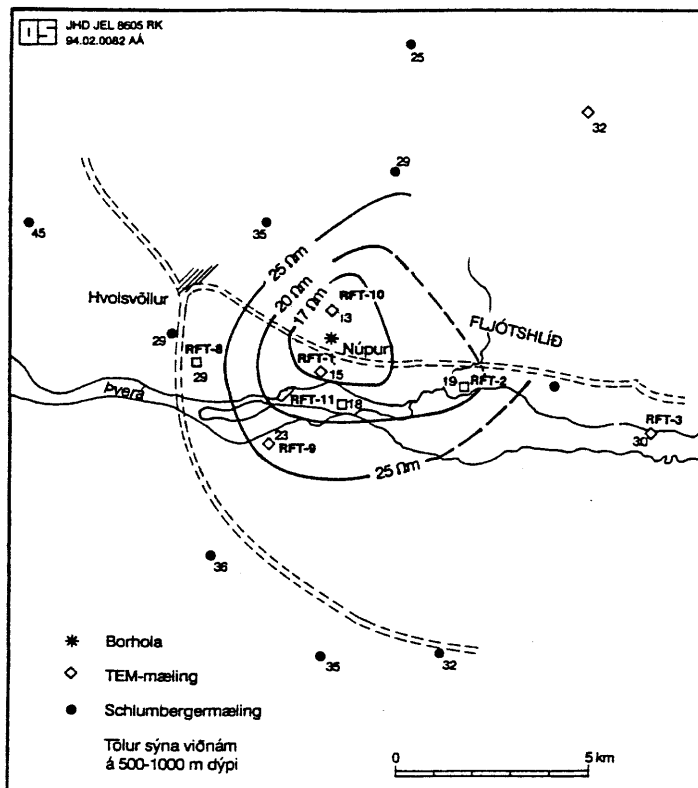
1. Staðsetning viðnámsmælinga og borholu í Fljótshlíð	3
2. Mældur hiti í holu við Núp í Fljótshlíð	4
3. Mældur ferill og einvíð túlkun viðnámsmælingar RFT-01	6
4. Mældur ferill og einvíð túlkun viðnámsmælingar RFT-10	6
5. Berglög, vídd og poruhluti og viðnám jarðlaga í holu við Núp	8
6. Samband eðlisviðnáms og poruhluta í jarðlögum ofan 150 m dýpis í holu við Núp	10
7. Samband eðlisviðnáms og poruhluta í jarðlögum neðan 150 m dýpis í holu við Núp	10
8. Leiðni jarðlaga í holu við Núp	13
9. Túlkun á TEM-mælingu RFT-01 með átta viðnámslögum	14
10. Túlkun á TEM-mælingu RFT-10 með átta viðnámslögum	14
11. Samanburður á viðnámslíkönnum fyrir TEM-mæl. RFT-01 og viðnámsmæl. í borholu	15
12. Samanburður á viðnámslíkönnum fyrir TEM-mæl. RFT-10 og viðnámsmæl. í borholu	15

# 1. INNGANGUR

Á árunum 1991 og 1992 fór fram jarðhitaleit í Fljótshlíð. Gerðar voru TEM-viðnámsmælingar og jarðfræðiathugun, og í framhaldi var boruð rúmlega 300 m djúp hola við Núp í Fljótshlíð. Viðnámsmælingarnar sýndu nokkuð lágt viðnám, um 16  $\Omega$ m um 215-220 m neðan sjávarmáls (245-250 m neðan láglandisins) við Núp. Þetta lága viðnám kom fram í tveimur mælingum, annarsvegar 800 m sunnan við (RFT-01) og hinsvegar 800 m norðan við Núp (RFT-10). Staðsetning viðnámsmælinganna er sýnd á mynd 1. Eldri viðnámsmælingar hafa sýnt að svæðisbundið viðnám á þessu dýpi á Suðurlandi er um 30  $\Omega$ m og staðfestu mælingarnar 1991 og 1992 það gildi. Því var litið á 16  $\Omega$ m sem lágviðnámsfrávik og hugsanlega tengt jarðhita.

Eina leiðin til að fá úr því skorið hvort lágviðnámsfrávikðið tendist jarðhita var að bora. Því var staðsett hola skammt austan við Núp og boruð niður á rúmlega 300 m dýpi. Staðsetning holunnar er sýnd á mynd 1. Hitamælingar í holunni (mynd 2) sýndu nokkuð jafnt vaxandi hita með dýpi og hitastig í botni (305 m) tæplega 29°C sem svarar til hitastiguls uppá um 84°C/km. Af hitamælingunni á mynd 2 er ljóst að lágviðnámsfrávikðið stafar ekki af hærri hitastigi en umhverfis, því að stigullinn í holunni við Núp er einungis lítið eitt hærri en í 575 m djúpri rannsóknarholu við Stórólfskvoll sem sýndi stigul uppá um 76°C/km (Ragna Karlsdóttir og Kristján Sæmundsson, 1992). Stigull í þessum holum er talinn vera nálægt svæðisbundnum stigli á þessum slóðum (Ólafur G. Flóvenz, munnl. uppl.)

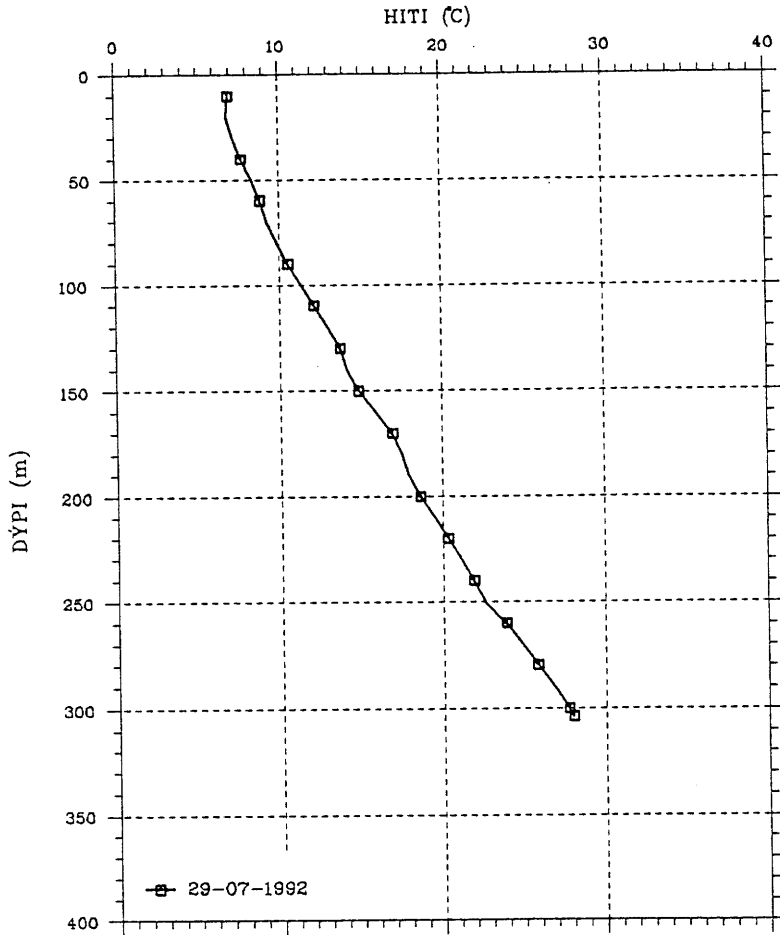
Hér á eftir verða niðurstöður viðnámsmælinganna við Núp bornar saman við upplýsingar sem fengist hafa úr borholunni í því skyni að reyna að átta sig á hvað veldur lágviðnámsfrávikinu. Uppi voru ráðagerðir um að gera bylgjubrotsmælingar til að kanna hljóðhraða í jarðlögnum þar sem lágviðnámsfrávikðið kemur fram, því talið er hugsanlegt að það tengist staðbundnum setlögum. Þegar til kom var hætt við slíkar ráðagerðir þar eð ljóst þótti að leggja þyrfti í allumfangsmiklar mælingar til að fá skýrar niðurstöður.



Mynd-1. Staðsetning viðnámsmælinga og borholu í Fljótshlíð.

21 Feb 1994 ka  
L= 82031 Oracle

### Núpur í Fljótshlíð Hola 1



Mynd-2. Mældur hiti í holu við Núp í Fljótshlíð.

## 2. TEM-MÆLINGAR

Myndir 3 og 4 sýna einvíða túlkun TEM-mælinganna RFT-01 og RFT-10. Í einvíðri túlkun er gert ráð fyrir því að jörðinni undir mælistað megi skipta upp í lárett lög þar sem hvert lag hefur ákveðið eðlisviðnám og þykkt. Einvíð túlkun felst í því ákvarða lagskipt líkan, þ.e. fjölda viðnámslaga, eðlisviðnám þeirra og þykkir, þannig að viðnámsmæling á yfirborði slíkrar lagskiptrar jarðar gefi samskonar mæliferil og þann sem túlka á. Einvíð túlkun er gerð með svokölluðum "inversion"-forritum og fer þannig fram að túlkunarmaður ákveður fjölda viðnámslaga og gefur þeim ágiskuð viðnámsgildi og þykkir. Túlkunarforritið breytir síðan viðnámsgildunum og lagþykkum þannig að reiknaður ferill falli sem best að þeim mælda. Þetta er gert fyrir mismunandi fjölda viðnámslaga og að öllum jafnaði er það líkan sem skýrt getur mælda ferilinn með sem fæstum viðnámslögum valið sem lokallíkan.

Á mynd 3 sést að í líkaninu fyrir RFT-01 eru fjögur viðnámslög. Næst yfirborði er þunnt lag með tiltölulega lágu viðnámi (um 24  $\Omega$ m) en síðan kemur 125 m þykkt lag með viðnámi um

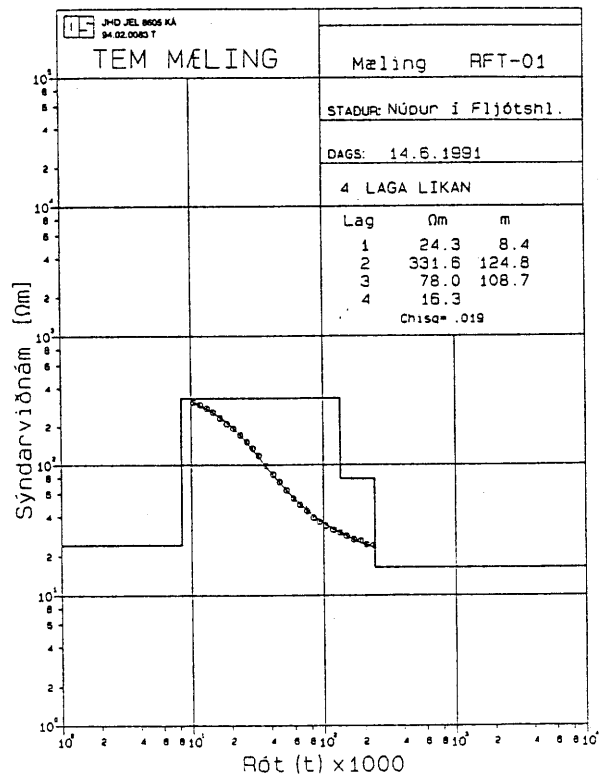
332  $\Omega$ m og þar fyrir neðan 109 m þykkt lag með 78  $\Omega$ m viðnámi. Á 242 m dýpi kemur síðan fram lag með um 16  $\Omega$ m viðnámi. Á mynd 4 sést að fjögurra laga líkan fyrir mælingu RFT-10 hefur svipaða uppbyggingu og fyrir RFT-01. Viðnámsgildin í þremur efstu lögunum eru að vísu nokkuð hærri og þriðja lagið þykkra. Á um 327 m dýpi kemur fram viðnámslag með 16  $\Omega$ m sem er sama gildi og í RFT-01. Það er þetta viðnámslag sem talið er vera lágviðnámsfrávik borið saman við svæðisbundið viðnám um 30  $\Omega$ m. Mæling RFT-01 er í um 30 m hæð yfir sjó þannig að 16  $\Omega$ m lagið í henni er um 210 m neðan sjávarms. RFT-10 er í um 105 m hæð yfir sjó og lágviðnámið er því um 220 m neðan sjávarmáls undir henni þannig að efri mörkum 16  $\Omega$ m viðnámsins ber vel saman í þessum tveimur mælingum.

Við einvíða túlkun TEM-mælinga er, eins og áður segir, að jafnaði tekið sem lokallíkan það lagskipta líkan, sem skýrt getur mælda ferilinn með sem fæstum viðnámslögum. Þetta er gert til þess að ekki sé verið að gera ráð fyrir meiri smáatriðum í viðnámsdreifingunni en mæligögnin gefa tilefni til. Mæliferlana má yfirleitt túlka með miklu fleiri lögum. Ef lögunum er síðan fækkað aftur kemur í ljós að túlkunarforritið gefur lögunum eðlisviðnám sem er einn á móti vegnu meðaltali af eðlisleiðni þeirra viðnámslaga sem sett eru saman í eitt. (Viðnámslag með eðlisviðnámið  $\rho$  hefur eðlisleiðni  $\sigma = 1/\rho$ ). Séu tvö viðnámslög með eðlisviðnámi  $\rho_1$  og  $\rho_2$  og þykkir  $d_1$  og  $d_2$  sett saman í eitt sem næst jafngilt viðnámslag mundi túlkunarforritið gefa lag með þykkt  $d$  og eðlisviðnám  $\rho$  nálægt

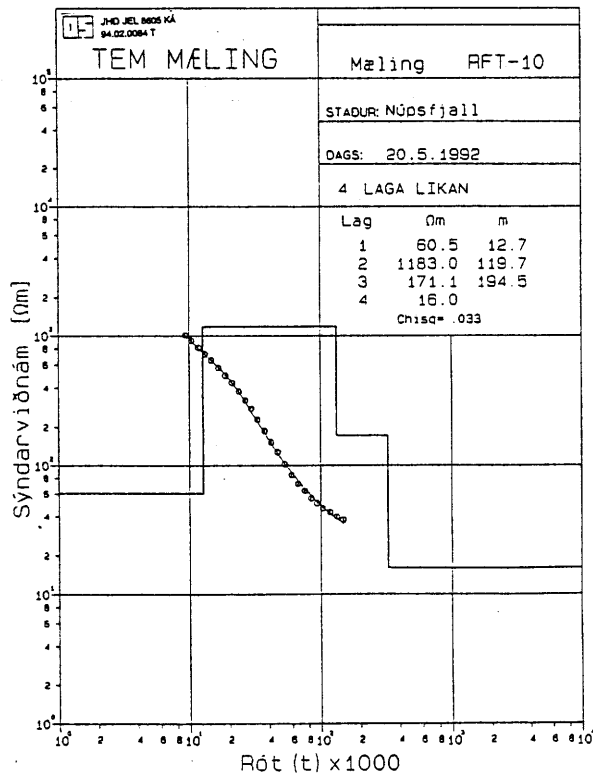
$$d = d_1 + d_2 \quad ; \quad \rho = \frac{1}{d_1/\rho_1 + d_2/\rho_2} \quad (1)$$

Ástæða þess að tekið er vegið meðaltal af leiðni laganna en ekki viðnámi er sú að TEM-mælingar spana sem næst lárétta strauma í jörðu, samsíða viðnámslögnum, og samliggjandi lög hegða sér því eins og samsíðatengd viðnám. Greiningarhæfni eða upplausn TEM-mælinga minnkar með dýpi. Það hefur í för með sér að ef dýpið á viðnámslögin er verulega meira en samanlögð þykkt þeirra og viðnámsgildi þeirra ekki því frábrugðnari þá mundi líkan, þar sem þeim hefur verið slegið saman í eitt jafngilt lag samkvæmt jögnum (1), geta skýrt mælda ferilinn allt að því jafn vel.

Af því sem hér hefur verið sagt leiðir að raunveruleg viðnámsdreifing, einkum djúpt í jörðu, getur verið nokkuð flóknari en fram kemur í líkönum einvíðrar túlkunar. TEM-mælingar eru næmar fyrir lágu viðnámi og dýpi niður á afgerandi lágt viðnám neðan jarðlaga með hátt viðnám er best ákvarðaða stærðin í viðnámslíkönum einvíðrar túlkunar. Það fer því ekki milli mála að um 210 - 220 m neðan sjávarmáls, undir RFT-01 og RFT-10, er jafngildisviðnámslag með viðnámi innan við 20  $\Omega$ m. Þetta lag getur verið samsett úr nokkrum raunverulegum lögum þar sem sum hafa eðlisviðnám lægra en 16  $\Omega$ m og önnur hærri.



Mynd-3. Mældur ferill og einvöð túlkun viðnámsmælingar RFT-01.



Mynd-4. Mældur ferill og einvöð túlkun viðnámsmælingar RFT-10.

### 3. JARÐLÖG OG MÆLINGAR Í HOLU VIÐ NÚP

Holan við Núp er nokkurnveginn mitt á milli mælinganna RFT-01 og RFT-10 (sjá mynd 1). Með borun holunnar átti að fá úr því skorið hvort lágviðnámsfrávikið sem fram kom í viðnámsmælingunum væri tengt jarðhita. Mæling RFT-01 sýndi dýpi á lágviðnámið tæpa 250 m og því var talið nauðsynlegt að holan yrði um 300 m djúp. Nokkrir erfiðleikar voru við borun vegna hruns og varð að nota borleðju í stað skolvatns við borun neðri hluta hennar. Holan var boruð niður á um 305 m dýpi.

#### 3.1 Jarðlög

Borsvarf úr holunni hefur verið greint í jarðlög (Jens Tómasson 1993) og er jarðlagasnið sýnt á mynd 5. Í efstu 50 m eru basalhraunlög ráðandi. Þar tekur við túfflag og er túff og breksía ráðandi niður á 124 m dýpi að undanskildum þremur hraunlögum á bilinu frá 64 m til 82 m. Frá 124 m og niður í 146 m er basalhraun en þar fyrir neðan er 10 m þykkt setlag. Frá 156 m og niður í 200 m skiptast á basaltrík breksía og túff. Í 200 m tekur við 20 m þykkt hraunlag og síðan túff niður í 244 m. Þar fyrir neðan og til botns eru misgrófkornótt setlög að undanskildum þunnum túff og hruanlögum kringum 270 m dýpi.

Ummyndun bergsins er mjög lítil. Í efstu 88 m er það alveg ferskt en þar fyrir neðan sést aðeins ummyndunarslikja og votta fer fyrir blöðrufyllingum. Þegar kemur niður fyrir 220 m er blöðrufylling orðin nokkur.

#### 3.2 Jarðlagamælingar

Gerðar voru almennar jarðlagamælingar í holunni en þá kom í ljós að hrun hafði orðið við setlag á 250 m dýpi þannig að mælitækjum varð ekki komið dýpra. Á mynd 5 er sýnd vídd, poruhluti og viðnám sem fall af dýpi. Víddarmælingin sýnir að töluverðir skápar eru í holunni í set- og túfflögum um og rétt neðan við 150 m.

##### 3.2.1 Poruhluti

Poruhluti er mældur með svokölluðum nifteindamælingum. Til að ákvarða poruhluta eru mæliniðurstöður umreiknaðar yfir í poruhluta (í %) með því að nota kvörðunarferla frá framleiðendum mælitækjanna. Þess ber að geta að nifteindamælingarnar nema í raun magn vetnis í berginu og verður það til þess að gjarnan mælist hærri poruhluti en svarar til holrýmis sem fyllt er vatni ef mikið er um vatnaðar steindir (vegna ummyndunar).

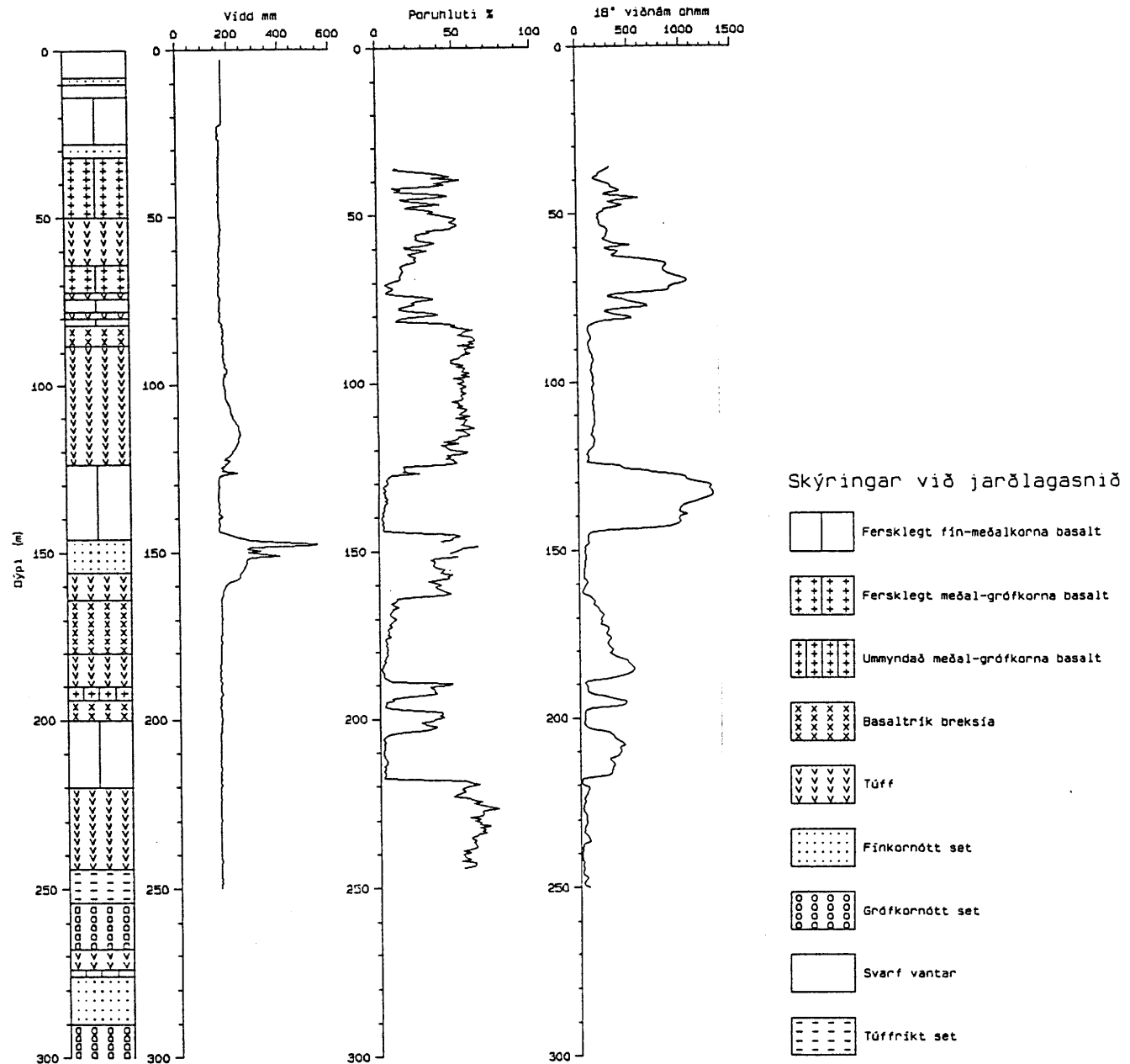
Á mynd 5 sést að poruhluti er hár (um eða yfir 50%) í túff- og setlögum en lágur í hraunlögum. Ekki getur talist sennilegt að raunverulegur poruhluti í túff- og setlögum sé yfir 50%. Ólafur G. Flóvenz hefur, með því að skoða hitastigul í mismunandi jarðlögum í holunni og nota reynslu samband milli varmaleiðni og poruhluta (Valgarður Stefánsson 1993), leitt líkur að því að poruhlutinn sem sýndur er á mynd 5 sé allt að því tvöfalt of hár. Slíkur munur verður ekki skýrður með vötnuðum steindum í berginu því að ummyndun þess er of lítil. Líklegra er að í nifteindamælingunni og/eða í kvörðunarreikningunum sé poruhlutinn ofmetinn.

##### 3.2.2 Eðlisviðnám

Viðnámsmælingin sem sýnd er á mynd 5 hefur verið víddarleiðrétt og tillit tekið til viðnáms holuvökva þ.e. ferillinn á að sýna eðlisviðnám jarðlaga við ríkjandi berghita. Viðnámið er til þess að gera lágt í túff- og setlögum en hátt í þéttum hraunlögum.



JHD JEL 8605 KÁ  
94.02.0085 T



Mynd-5 Berglög, vídd og poruhluti og viðnám jarðlaga í holu við Núp.

### 3.2.3 Samband eðlisviðnáms og poruhluta

Á mynd 5 sést að greinilegt samband er milli poruhluta og eðlisviðnáms þannig að viðnám er lágt þar sem poruhluti er hár en hátt þar sem poruhluti er lágur. Þó má sjá að á mörkum hraunlags og setlags á tæplega 150 m dýpi verður breyting á sambandi viðnáms og poruhluta þannig að neðan þessara marka er eðlisviðnám jarðlaga með sambærilegan poruhluta mun lægra en ofan þeirra.

Reynslan hefur sýnt að sambandi poruhluta og eðlisviðnáms vatnsmettaðs bergs má oft lýsa með veldislögmáli sem kennt er við Archie (Archi 1942)

$$\rho = \rho_w \cdot a \cdot \phi^{-m} \quad (2)$$

þar sem  $\rho_w$  er eðlisviðnám vatnsins,  $\phi$  er hlutfallslegur poruhluti (á bilinu 0 til 1) og  $a$  og  $m$  eru fastar.

Valgarður Stefánsson o.fl. (1982) hafa kannað samband eðlisviðnáms og poruhluta í basalt-hraunlögum í nokkrum borholum á Íslandi. Samkvæmt þeirra gögnum má lýsa því með jöfnu (2) þar sem fastinn  $m$  er um eða rúmlega 1 en stuðullinn  $a$  er nokkuð breytilegur á bilinu 1.4 til 4.5.

Í jöfnu (2) er gert ráð fyrir því að eðlisviðnám bergsins sé í beinu hlutfalli við eðlisviðnám vatnsins, en slíkt getur einungis átt sér stað ef rafleiðni er nánast eingöngu eftir vatninu í porum bergsins. Ef bergið er ummyndað af jarðhitavirkni geta verið til staðar leiðandi steindir, einkum leirsteindir, og er eðlisviðnám bergsins þá nánast óháð eðlisviðnámi vatnsins nema selta þess sé því meiri og eðlisviðnám vatnsins mjög lágt ( $\rho_w < 5 \Omega m$ ). Ólafur Flóvenz o.fl. (1985) hafa fundið að við slíkar aðstæður má í íslensku bergi lýsa sambandi eðlisviðnáms og poruhluta í meginatriðum með jöfnunni

$$\rho = b \cdot \phi^{-m} \quad (3)$$

þar sem  $m$  er á bilinu 1.0 - 1.2 og  $b$  er u.þ.b. 9 við stofuhita en lækkar verulega með hækkandi hitastigi.

Til þess að kanna nánar samband poruhluta og viðnáms jarðlaga í holunni við Núp er logarithmi af eðlisviðnámi, umreiknuðu að föstu hitastig ( $30^\circ C$ ), færður á móti logarithma af poruhluta (í %) á myndum 6 og 7. Mynd 6 sýnir mælingar ofan 150 m í holunni en mynd 7 neðan 150 m dýpis. Á þessum myndum sést að á log-log-skala er nokkuð gott línulegt samband milli viðnáms og poruhluta en það svarar til veldislögmáls á línulegum skala. Á myndum 6 og 7 sést að dreifingu punktanna má nálgast með eftirfarandi veldislögmáli:

$$\rho = B \cdot \phi^{-m} \quad (4)$$

þar sem

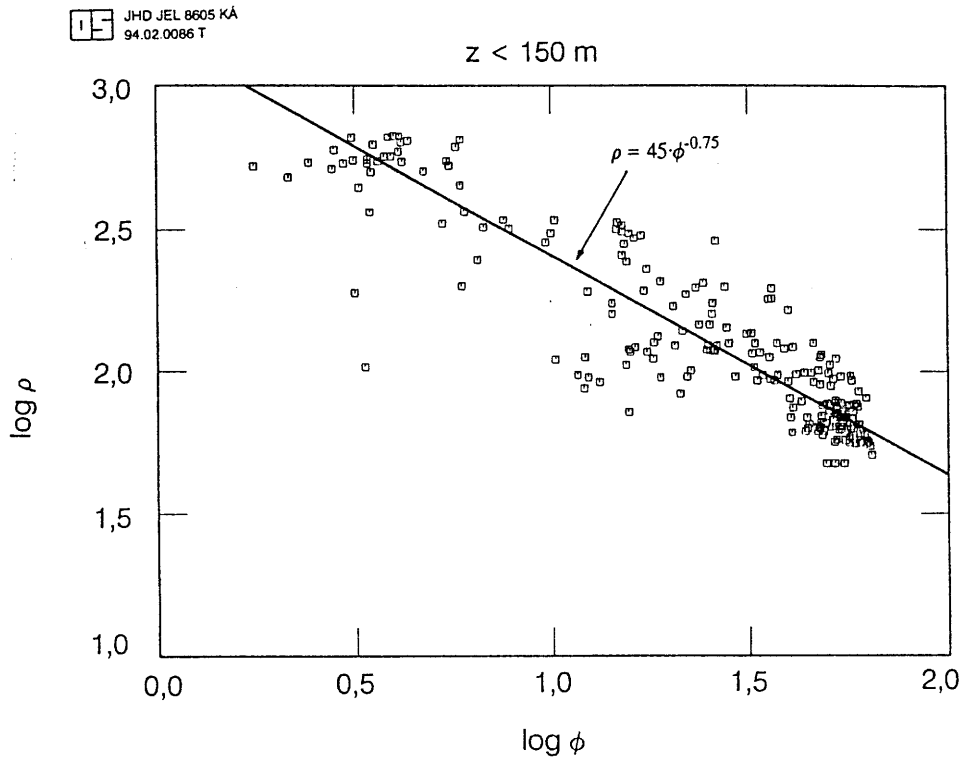
$$B = 45 \text{ og } m = 0.75 \quad \text{fyrir dýpi} < 150 \text{ m} \quad (4a)$$

$$B = 20 \text{ og } m = 0.70 \quad \text{fyrir dýpi} > 150 \text{ m} \quad (4b)$$

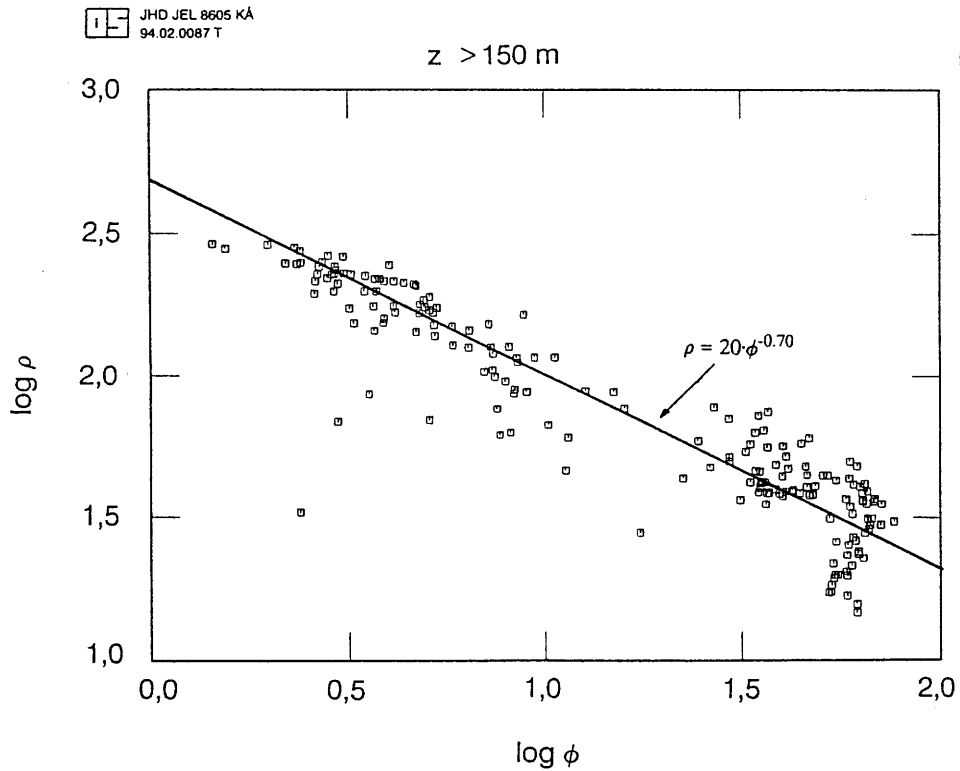
þar sem  $\phi$  er hlutfallslegur poruhluti (á bilinu 0 til 1).

Veldisvísirinn  $m$  er í báðum tilfellum nokkuð lægri en almennt fæst fyrir slík veldislögmál um samhengi viðnáms og poruhluta og er ekki tiltæk nein augljós skýring á því. Ef gert er ráð fyrir því að nifteindamælingarnar ofmeti poruhlutann allt að því tvöfalt verða stuðlarnir  $B$  í (4a) og (4b) um 40% lægri.

Á mynd 7 sést að við háan poruhluta er áberandi þyrping af punktum sem er nokkuð fyrir neðan meðaltalslínuna sem dregin hefur verið í gegnum punktastafnið. Þessi mæligildi eru úr neðstu u.þ.b. 10 m holunnar (240-250 m dýpi) og gefa vísbendingu um að neðan 240 m dýpis fengist stuðullinn  $B$  enn lægri en í (4b).



Mynd-6. Samband eðlisviðnáms og poruhluta í jarðlögum ofan 150 m dýpis í holu við Núp.



Mynd-7. Samband eðlisviðnáms og poruhluta í jarðlögum neðan 150 m dýpis í holu við Núp.

### 3.3 Djúpsýni

Tekin voru þrjú vatnssýni úr holunni; á 100 m, 130 m og 200 m dýpi. Sýnin voru efnagreind og mælt í þeim sýrustig og eðlisviðnám. Dýpsta sýnið var greinilega mengað af borleðju og hugsanlega steypu, en öll sýnin voru vandlega stuð áður en þau voru greind þannig að ekki er við því að búast að veruleg röskun sé á þeim kennistærðum sem gefnar eru í töflunni hér á eftir.

Dýpi (m)	Sýrustig (pH)	Eðlisviðnám ( $\Omega$ m)	Selta (mgCl/l)
100	8.43	24.6	20.4
130	10.42	22.3	24.6
200	10.88	16.9	73.9

Sýrustig og eðlisviðnám sýnanna var mælt við stofuhita (23°C).

Af töflunni hér að ofan sést að verulegur munur er á seltu og eðlisviðnámi vatnsins um og ofan við 130 m dýpi annars vegar og á 200 m dýpi hinsvegar. Selta er u.þ.b. þrefalt meiri og eðlisviðnám verulega lægra á 200 m dýpi. Eins og áður hefur komið fram sjást skil í sambandi eðlisviðnáms og poruhluta á um 150 m dýpi. Þar sem ummyndun er lítil í berginu og eðlisviðnám vatnsins í holunni frekar lágt er eðlilegt að gera ráð fyrir því að leiðni vatnsins hafi veruleg áhrif á eðlisleiðni vatnsmettaðs bergs umhverfis holuna. Að því gefnu má álykta að aukning verði í seltu vatnsins neðan 150 m dýpis. Eins og sést á jarðlagasniðinu á mynd 5 er þétt hraunlag á dýptarbilinu 125-145 m en þar fyrir neðan er gropið setlag. Af þessu virðist mega draga þá ályktun að við þetta hraunlag séu skil í seltu vatnsins og mun saltara vatn fyrir neðan.

Ef gert er ráð fyrir því að leiðni í vatni sé ráðandi í rafleiðni vatnsmettaðs bergsins umhverfis holuna, þ.e.a.s. að eðlisviðnámið fylgi jöfnu (2), má nota mæld gildi á eðlisviðnámi vatnsins í holunni til að meta stuðulinn  $a$  í jöfnu (2) því samkvæmt jöfnum (2) og (4) er  $B = \rho_w \cdot a$ . Eðlisviðnámin í töflunni hér að ofan eru við 23°C en stuðlarnir  $B$  í (4a) og (4b) við 30°C. Samband eðlisviðnáms vatns og hitastigs er vel þekkt á þessu hitabili og ef gert er ráð fyrir að sýnin á 100 og 130 m dýpi séu dæmigerð fyrir vatn ofan 150 m og sýnið á 200 m neðan 150 m fæst að við 30°C er  $\rho_w$  um 20  $\Omega$ m ofan 150 m og um 15  $\Omega$ m neðan 150 m. Þetta svarar til  $a = 2.25$  ofan 150 m og  $a = 1.4$  neðan 150 m dýpis. Af þessu sést að stuðullinn  $a$  er mun lægri neðan 150 m dýpis sem gæti bent til þess að þar sé yfirborðsleiðni vegna ummyndunar farin að hafa áhrif.

Eins og áður segir bendir samband viðnáms og poruhluta til þess að í neðstu 10 m sem mældir voru í holunni (neðan 240 m) sé stuðullinn  $B$  í jöfnu (4) lægri en 20. Þetta bendir til þess að þar sé farið að sjást í enn saltari vökva eða aukna leiðni vegna ummyndunar. Þess ber þó að geta að borleðja í holunni gæti haft einhver áhrif til lækkunar viðnámsins.

#### 4. SAMANBURÐUR Á TEM-MÆLINGUM OG VIÐNÁMSMÆLINGU Í HOLUNNI

Hér á eftir verður gerður samanburður á niðurstöðum TEM-mælinganna RFT-01 og RFT-10, og viðnámsmælingunni í holunni. Eins og rakið er í kafla 2 hér að framan þá gerir einvíð túlkun TEM-mælinga ráð fyrir því að jörðinni megi skipta upp í endanlega mörg lárétt viðnámslög. Þar kom einnig fram að leiðni hvers lags endurspeglar vegið meðaltal eðlisleiðni jarðlaga á viðkomandi dýptar bili. Við samnaburð á yfirborðsmælingunum og viðnámsmælingunni í holunni er því eðlilegar að líta á eðlisleiðni en eðlisviðnám.

Mynd 8 sýnir eðlisleiðni jarðlaga í holunni. Þar sést að þeim jarðlögum sem holan sker má skipta í 6 lög og er meðalleiðni hvers lag gefin til kynna með láréttum strikum og tilsvareandi eðlisviðnám skráð með tölustöfum fyrir ofan (nema fyrir efsta lagið,  $\rho_2$ ). Til þess að bera viðnámsmælinguna í holunni saman við TEM-mælingarnar voru þær túlkaðar einvítt með byrjunarlíkani eins sýnt er á mynd 8. Ekki er við því að búast að viðnámsskipan undir mælingunum RFT-01 og RFT-10 sé nákvæmlega eins og í holunni því að þær eru um 800 m frá holunni, en gert var ráð fyrir að viðnámslögin sem sjást í holunni séu til staðar undir mælingunum en ef til vill með eitthvað öðrum þykktum. TEM-mælingarnar voru því túlkaðar með 8-laga líkönum og túlkunarforritinu ekki leyft að breyta viðnámsgildum þeirra laga sem gefin eru með tölugildum á mynd 8 (lög 3, 4, 5, 6 og 7). Túlkunarforritið var látið ákvarða eðlisviðnám eins lags fyrir neðan þau lög sem sjást í holunni því að dýptarskynjun TEM-mælinganna er meiri en sem nemur dýpi holunnar. Þá var forritið látið ákvarða eðlisviðnám og þykkt eins yfirborðslags og enn fremur var viðnámsgildi efsta lagsins sem sést í holunni ekki haldið föstu því búast má við nokkrum breytingum í eðlisviðnám jarðar næst yfirborði frá einum stað til annars.

Niðurstöður þessarar einvíðu túlkunar eru sýndar á myndum 9 og 10. Með samanburði við myndir 3 og 4 sést að líkön með þessum viðnámsgildum falla álfka vel að mældu viðnámsferlunum eins og upphaflegu líkönin með færri viðnámslögum.

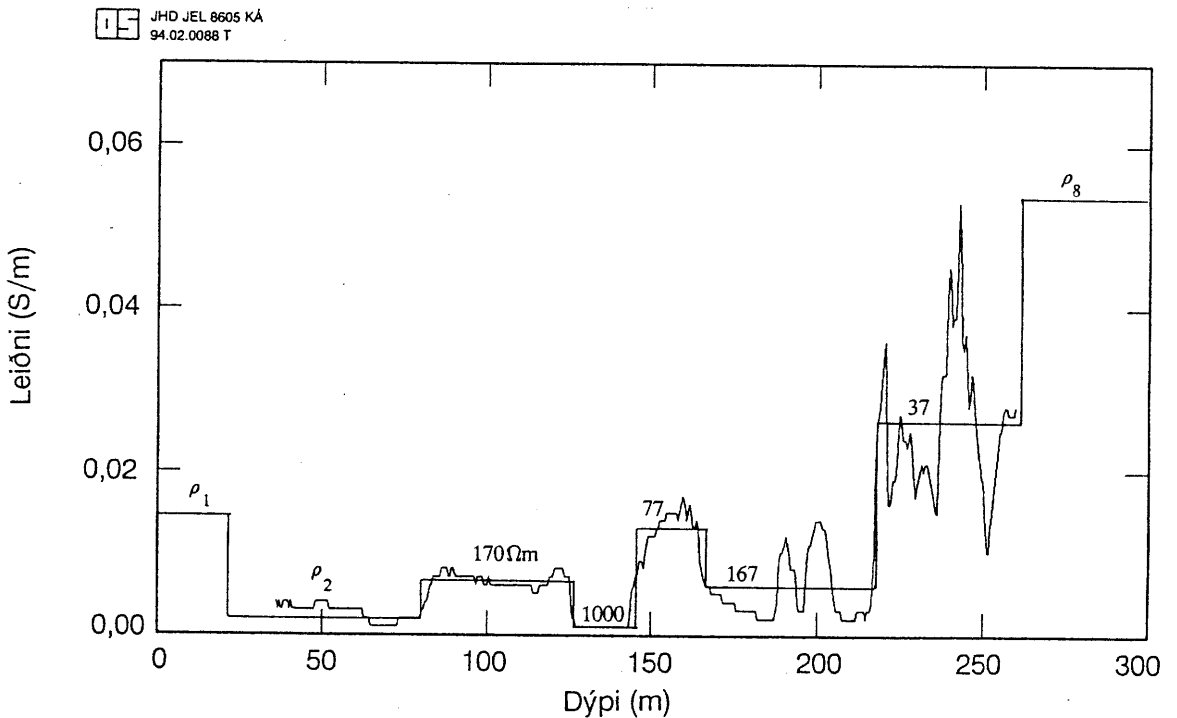
Samanburður á einvíðum viðnámslíkönum TEM-mælinganna RFT-01 og RFT-10 og viðnámsmælingu í holunni er sýndur á myndum 11 og 12. Mynd 11 sýnir leiðni jarðlaga í holunni ásamt 4-laga líkani RFT-01 (samkv. mynd 3) og 8-laga líkani (samkv. mynd 9). Mynd 12 sýnir samskonar samanburð fyrir RFT-10. (Efsta lagið í 8-laga líkaninu fyrir RFT-10 kemur ekki fram á mynd 12 því mælingin er um 75 m hærra yfir sjó en holan sem er aftur á móti í svipaðri hæð og RFT-01). Af þessum myndum sést að túlkunarforritið hefur breytt lagþykktum nokkuð frá byrjunarlíkaninu (sjá mynd 8), en sé tekið tillit til þess að ekki er hægt að búast við því að viðnámsskipan undir mælingunum sé í smáatriðum eins og í holunni, verður að segjast að viðnámslíkönum TEM-mælinganna beri vel saman við viðnámsmælinguna í holunni. Það sama má í raun segja um 4-laga líkönin því af myndum 11 og 12 sést að þessi líkön eru ekki fjarri því að gefa meðalleiðni jarðlaga samkvæmt mælingunni í holunni. Það sem einna helst ber í milli er að viðnámslíkönin fyrir RFT-10 gefa heldur meira dýpi á lágt viðnám (háa leiðni) en viðnámsmælingin í holunni.

Öllum viðnámslíkönunum ber saman um að við nedri mörk viðnámsmælingarinnar í borholunni lækki viðnámið niður í um 16  $\Omega$ m. Þar sem túlkun TEM-mælinganna ber vel saman við viðnámsmælinguna í holunni, eins djúpt og hún nær, er engin ástæða til að rengja niðurstöður yfirborðsmælinganna með það að þetta lága viðnám sé til staðar. Það er því nokkuð bagalegt að ekki skyldi hafa verið hægt að gera mælingar í holunni neðan 250 m dýpis vegna hruns.

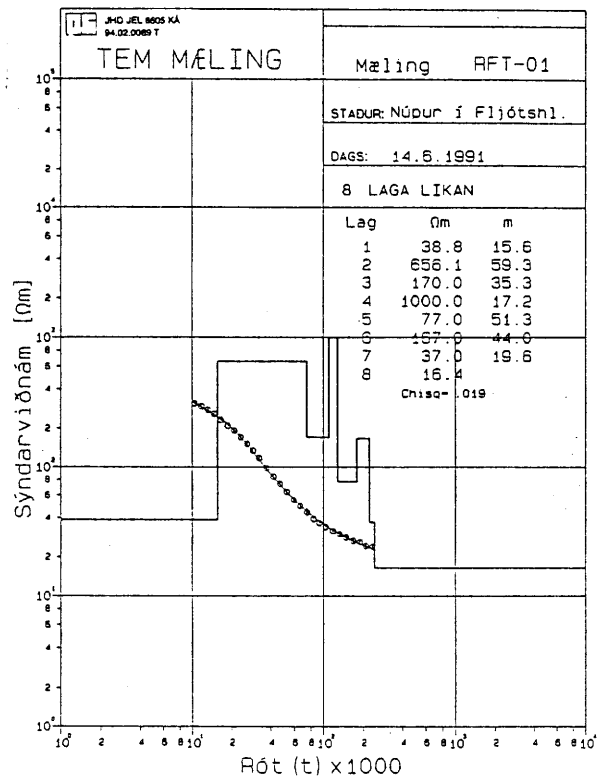
## 5. NIÐURSTÖÐUR

Samanburður á túlkun TEM-mælinganna RFT-01 og RFT-10 sem næstar eru við borholuna á Núpi og viðnámsmælinga í holunni sýnir að ekki er ástæða til að rengja niðurstöður TEM-mælinganna. Ekki var hægt að gera mælingar í holunni neðan 250 m dýpis, vegna hruns, en þar fyrir neðan kemur fram lágt viðnám ( $16 \Omega\text{m}$ ) í TEM-mælingunum sem hugsanlega var talið tengjast jarðhita. Hitamæling í holunni sýnir að þar er ekki um jarðhita að ræða og ummyndun bergsins er lítil þannig að ekki sjást merki þess að þar hafi verið jarðhiti að ráði.

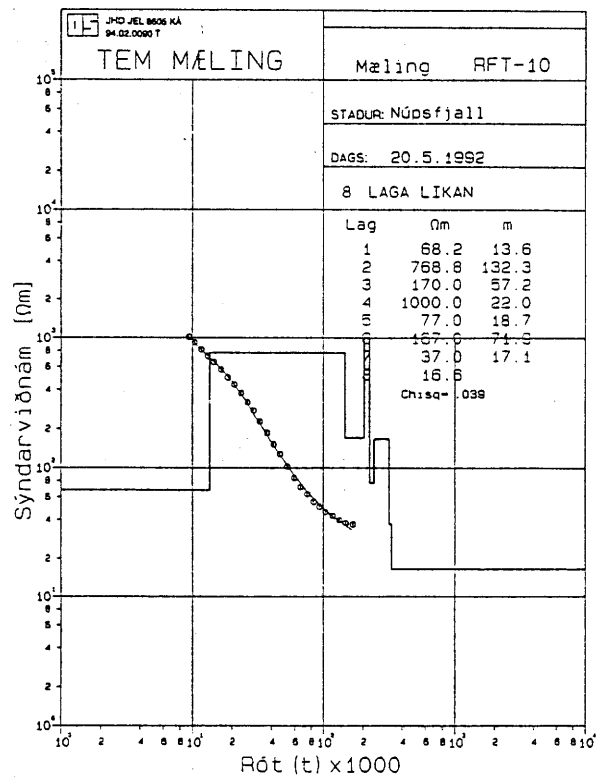
Vatnssýni sem tekin voru úr holunni sýna að selta vex verulega með dýpi. Samband viðnáms og poruhluta bendir til þess að seltan vaxi neðan þétts hraunlags á tæplega 150 m dýpi en jafnframt virðist ummyndun vera farin að hafa áhrif til lækkunar viðnáms þó hún sé ekki mikil. Jarðlagagreining holunnar sýnir að um og neðan við hrunkaflann við 250 m eru setlög ráðandi. Líklegasta skýringin á lágviðnáminu þar fyrir neðan er að þar sé selta vatnsins enn meiri en ofar í holunni og ef til vill heldur meiri ummyndun þó að hún sé ekki það mikil að hún bendi til jarðhita-virkni.



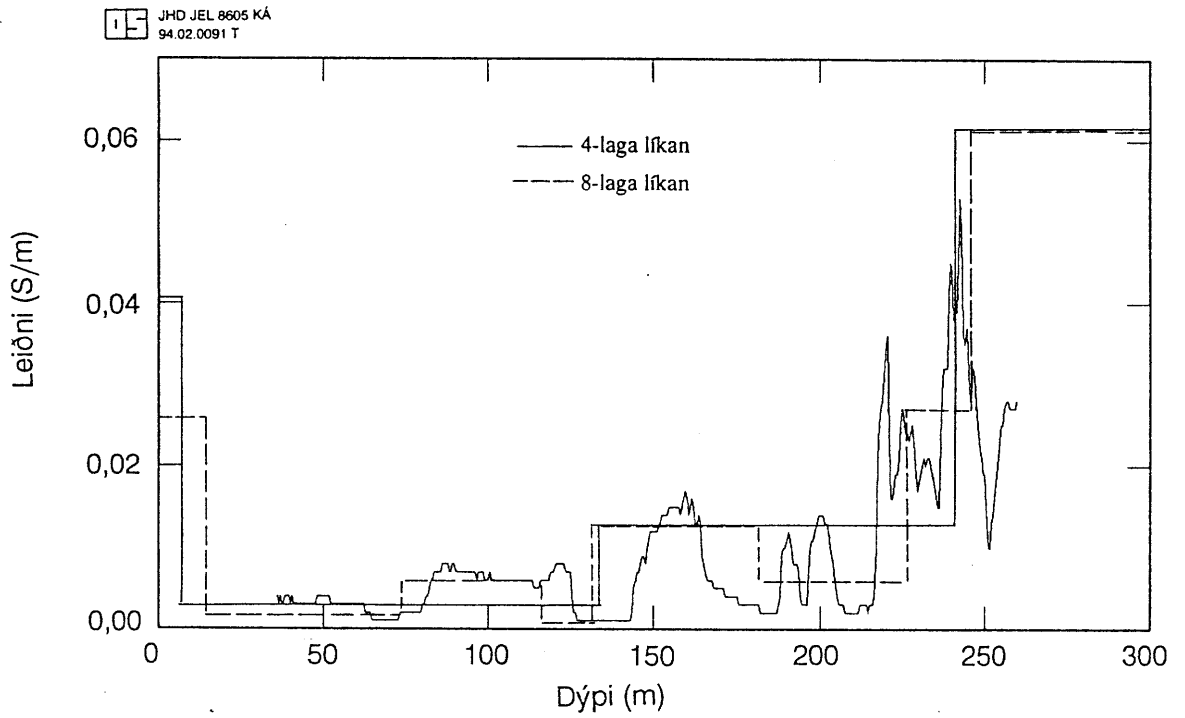
Mynd-8. Leiðni jarðlaga í holu við Núp.



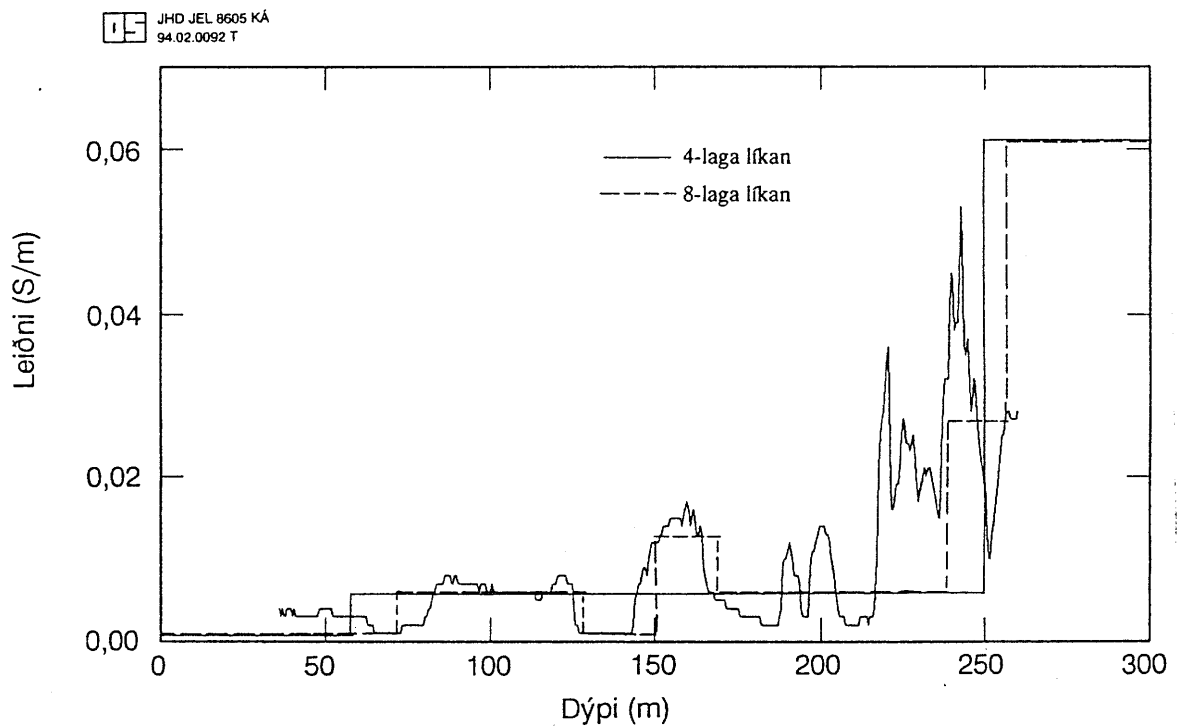
Mynd-9. Túlkun á TEM-mælingu RFT-01 með átta viðnámslögum.



Mynd-10. Túlkun á TEM-mælingu RFT-10 með átta viðnámslögum.



**Mynd-11.** Samanburður á viðnámslíkönum fyrir TEM-mælingu RFT-01 og viðnámsmælingu í borholu við Núp.



**Mynd-12.** Samanburður á viðnámslíkönum fyrir TEM-mælingu RFT-10 og viðnámsmælingu í borholu við Núp.



## 6. HEIMILDIR

Archie, G.E. 1942: The Electrical Resistivity Log as an Aid in Determining Some Reservoir Characteristics. *Tran. AIME*, 146, 54-67.

Jens Tómasson, 1993: Jarðlög holu-1, Núpi í Fljótshlíð. Orkustofnun, greinargerð, JT-93/02, 3 s.

Ólafur G. Flóvenz, Lúðvík S. Georgsson og Knútur Árnason, 1985: Resistivity Structure of the Upper Crust in Iceland. *Journal of Geophys. Res.* Vol. 90, No B12, 10136-10150.

Ragna Karlsdóttir og Kristján Sæmundsson, 1992: Jarðhitaleit við Núp í Fljótshlíð. Orkustofnun, greinargerð RK/KS-92/03, 7 s.

Valgarður Stefánsson, Guðni Axelsson og Ómar Sigurðsson, 1982: Resistivity Logging of Fractured Basalt. Eight Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Sanford University, 1982, 7 s.

Valgarður Stefánsson, 1993: Varmaleiðni og poruhluti. Orkustofnun, OS-93038/JHD-11, 41 s.