ORKUSTOFNUN
RAFORKUDEILD

DAVÍÐ EGILSSON
SVEN SIGURÐSSON
GUNNLAUGUR JÓNSSON

V I Ð N Á M S M Æ L I N G

ÞYKKTARÁKVÖRÐUN JARÐVEGS MEÐ LENGDARMÆLINGU

OS-ROD-7615

APRIL 1976

Davíð Egilsson

Sven Sigurðsson

Gunnlaugur Jónsson

V I Ð N Á M S M Æ L I N G

Þykktarákvörðun jarðvegs með lengdarmælingu

APRÍL 1976

OS-ROD-7615

Þykktarákvörðun með lengdarmælingu

1. VIÐNÁMSMÆLINGAR

1.1 Eðli mæliaðferðar

Viðnámsmælingar svonefndar hafa verið notaðar hér á landi með mjög góðum árangri í nokkra áratugi við kortlagningu jarðlaga í jarðhitaleit, en þar sem viðnámsmælingar hafa lítið verið notaðar hérlendis til frumkönnunar fyrir mannvirkjagerð, er ekki úr vegi að lýsa aðferðinni stuttlega.

Mælt er eðlisviðnám jarðlaganna, eða með öðrum orðum sagt hversu vel þau leiða rafstraum. Eðlisviðnám í jarðlögum er háð mörgum breytistærðum, eins og t.d. hitastigi, seltu jarðvatns o.fl. en þó einkum vatnsgengd eða þéttleika bergsins. Getur eðlisviðnám verið mörgum sinnum lægra í sprungnu bergi eða lausum jarðlögum (50-100 Ωm) heldur en í þéttum hraunlögum (100-1000 Ωm).

Mælingin sjálf er fólgin í því að rafstraumur er sendur niður í jarðlögin um tvö skaut A og B og spennufallið milli tveggja annarra skauta M og N síðan mælt (sjá mynd 1 a). Viðnámið má þá reikna út, og ákvarðast það af mældum straum og spennugildum, en auk þess af uppröðun rafskauta.

Þetta viðnám er kallað sýndarviðnám, ρa, og má líta á það sem vegið meðaltal af eðlisviðnámi undirliggjandi jarðlaga.

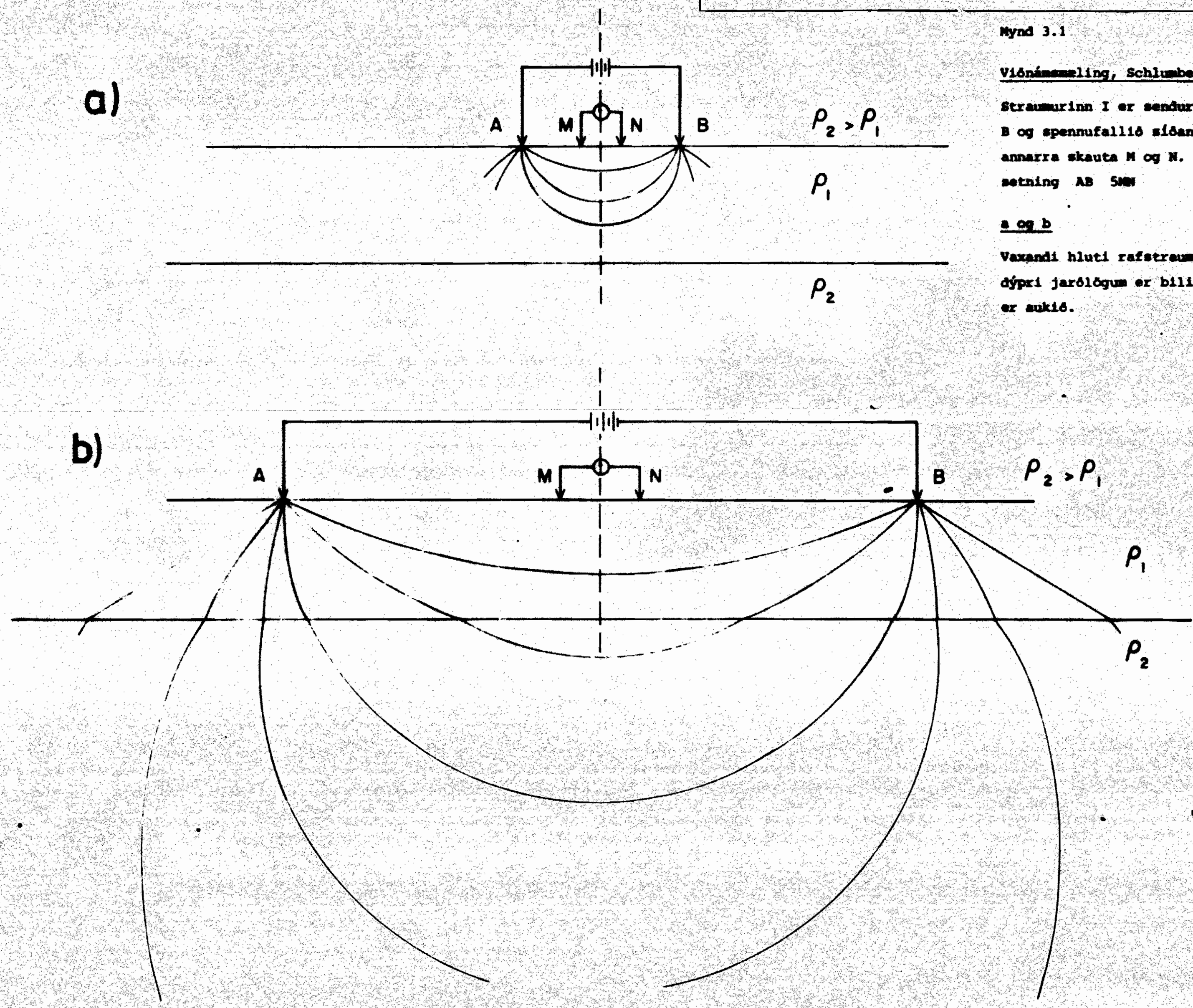
Margs konar uppsetningar á rafskautum hafa verið notaðar í gegnum árin (sjá Keller og Frischknecht, 1966 eða Zohdy, 1974), en sú sem mest hefur verið notuð upp á síðkastið er hin svokallaða Schlumberger uppsetning, sem sést á mynd 1a. Hefur hún einnig verið notuð við þetta verkefni.

ORKUSTOFNUN

VIÐNÁMSMÆLING

Schlumberger uppsetning

9.1.'76	DE/HO
Tnr. 39	Tnr. 1511
J-Ým	J-Viðnám
Fnr. 13793	



Mynd 3.1

<u>Viðnámsmæling, Schlumberger uppsetning</u>

Straumurinn I er sendur í gegnum skautin A og B og spennufallið síðan mælt milli tveggja annarra skauta M og N. Schlumberger uppsetning AB 5MN

<u>a og b</u>

Vaxandi hluti rafstraumsins fer eftir sífellt dýpri jarðlögum er bilið milli straumskautanna er aukið.

Tvær algengustu aðferðir viðnámsmælinga eru dýptarmælingar og lengdarmælingar.

1.2 Dýptarmæling

Dýptarmæling er notuð til að kanna fjölda, þykkt og leiðni mismunandi jarðlaga, neðan ákveðins staðar á yfirborði. Hún er framkvæmd með því að lengja bilið milli straumskauta eftir hverja einstaka mælingu. Vaxandi hluti rafstraumsins fer þá eftir sífellt dýpri jarðlögum (mynd 1). Sýndarviðnám er reiknað fyrir hvert skautabil og lagt út á móti lengd straumarms (AB/2) á log-log pappír. Út frá gerð slíkra línurita er hægt að finna viðnám og þykkt mismunandi viðnámslaga, með samanburði við útreiknaða ferla (Keller og Frischknecht, 1966; Zhody, 1965; Bhattacharia og Patra, 1968), eða tölulegum reikningum (Zhody, 1973).

1.3 Lengdarmæling

Lengdarmæling er framkvæmd með því að mæla breytingu á sýndarviðnámi eftir fyrirfram ákveðinni línu með óbreyttu skautabili. Miðja mæliuppsetningar er flutt eftir hvern aflestur og annar tekinn í næsta mælipunkti.

Sýndarviðnám í hverjum punkti er lagt út á móti fjarlægð hans frá upphafspunkti.

Lengdarmæling sýnir því breytinu í viðnámi við ákveðið skautabil eftir mælilínunni.

2. ÞYKKTARÁKVÖRÐUN MEÐ LENGDARMÆLINGU

Dýptarmæling (viðnáms), hljóðhraðamæling og beinar þykktarathugunaraðferðir svo sem Borro-borun og gryfjutaka segja aðeins til um dýpi á takmörkuðu svæði. Ekki er því fráleitt að kalla þær punktmælingar.

Þær geta orðið nokkuð dýrar og viðamiklar ef svæðið sem kanna þarf er mikið umfangs.

Lengdarmæling er í slíkum tilfellum kjörin til að fækka punktmælingunum þar sem breyting í viðnámi getur gefið til kynna þykktarbreytingu í efsta viðnámslagi.

2.1 Forsendur

Eftirfarandi forsendur þarf að gefa sér, þegar lengdarmæling er notuð við þykktarákvörðun.

1) Viðnámslög fylgi almennri jarðlagaskipan þannig að laus jarðlög hafi viðnámið ρ_1 og undirliggjandi jarðgrunnur ρ_2.

2) Viðnám í hverju lagi haldist óbreytt yfir svæðið þannig að ρ_1 og ρ_2 séu fastar.

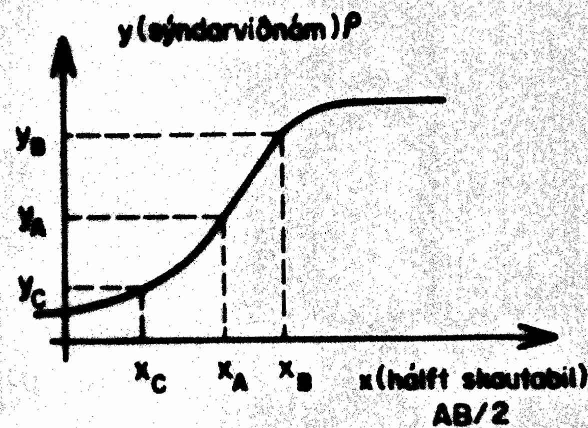
Þessum forsendum, séu þær réttar, fylgir sjálkrafa:
Breyting í sýndarviðnámi, táknar þykktarbreytingu á lausum jarðlögum.

Fyrsta forsendan gildir yfirleitt, þegar laus jarðlög eru vatnsósa, en berggrunnur þéttur. Undantekningar geta þó komið fram þegar jarðvatnsflötur fylgir ekki lagamótum.

Önnur forsendan virðist gilda mjög vel í mýrum, en þar sem farið er yfir land með mismunandi jarðvegsgerðum t.d. mói, mýri fellur hún úr gildi. Hugsanlegt er þó í slíkum tilfellum að mæla yfirborðsviðnámið, með aukamælingu á hverjum stað og nota þá ρ_2/ρ_1 sem breytistærð. Verður þessi aðferð vonandi reynd í sumar.

2.2 Túlkunaraðferðin

Á mynd 2 er sýnt dæmi um feril (á log-log pappír), sem sýnir sýndarviðnám sem fall af hálfri skautabilsfjarlægð fyrir tiltekin gildi á eðlisviðnámi efra og neðra lags, ρ_1 og ρ_2, og þykkt efra lags d_1. Samkvæmt þeim forsendum, sem við gefum okkur, ættu sýndarviðnámspunktar fyrir gefna dýptarmælingu að falla nálægt slíkum ferli, enda þótt frávik við stórar skautabilsfjarlægðir vegna breytinga á eðlisviðnámi neðra lags á dýpi >> d_1 komi reyndar ekki að sök. Af ferlinum lesum við t.d. að sýndarviðnámsgildi fyrir hálfa skautabilsfjarlægð X_A er Y_A.



MYND 2

Túlkun lengdarmælinga byggist nú á eftirfarandi athugasemd: Gefin forsendan, að ρ_1 og ρ_2 haldist óbreytt, getur breytt sýndarviðnámsgildi, Y_B (Y_C), annaðhvort svarað til þess, að hálf skautabilsfjarlægð hafi verið aukin í X_B (minnkuð í X_C) miðað við að d_1 sé óbreytt, eða til þess, að þykktin hafi minnkað niður í

$\frac{X_A}{X_B}\ d_1$ (vaxið í $\frac{X_A}{X_C}\ d_1$) miðað við að skautabilsfjarlægðin sé

óbreytt, þar eð breyting á hlutfalli skautabils og þykktar efra lags er sú sama í báðum tilvikum. Fyrir þessu er gert stærðfræðilega grein í viðauka A.

Þetta þýðir, ef við festum hálfa skautabilsfjarlægð við gildið X_A, að við getum notað ferilinn, sem fæst úr dýptarmælingunni, til þess að ákvarða þykkt efra lags út frá mældu sýndarviðnámi í lengdarmælingu. Við færum þá út á X-ásinn í stað skautabilsfjarlægða, þykktir, þannig að í stað X_A komi þykktin d_1, í stað X_B þykktin $d_1 \frac{X_A}{X_B}$, í stað X_C þykktin $d_1 \frac{X_A}{X_C}$ o.s.frv. Þægilegt er að búa til í eitt skipti fyrir öll lausan þykktarkvarða, sem leggja má upp að x-ásnum og hliðra til uns d_1 fellur að X_A. Kvarðinn á log-log pappír er nákvæmlega sá sami og skautabilskvarðinn að öðru leyti en því, að hann er viðsnúinn. Þykktargildið d_1 verður að meta út frá dýptarmælingunni, sé það ekki þekkt á annan hátt. Til þess að þykktarákvörðun verði sem nákvæmust, er mikilvægt að breyting á sýndarviðnámi með þykkt verði sem mest. Þetta þýðir að best er að velja X_A þannig stað á dýptarferlinum, að halli sýndarviðnámskúrfu sé sem mestur. Við ákveðum þannig út frá dýptarmælingunni heppilegustu skautabilsfjarlægðina fyrir tilsvarandi lengdarmælingu.

Keller og Frischknecht (1966) hafa mælt með ofangreindri aðferð við þykktarákvörðun, þegar ρ_2 er það mikið stærra en ρ_1 að $\frac{\rho_1}{\rho_2} \sim 0$. Í slíku tilviki er sýndarviðnámsferillinn í kringum X_A bein lína með hallatölu 1, ef X_A er nægilega stórt, þannig að mælt sýndarviðnám er nákvæmlega í öfugu hlutfalli við þykkt, ef skautabilsfjarlægð er nægilega stór.

Gunnlaugur Jónsson varð fyrstur á Orkustofnun til þess að nota ofangreinda aðferð við almenna tveggja laga þykktarákvörðun. Ekki hefur fundist nein tilvísun í bókum eða tímaritum í slíka notkun.

Ef forsenda um óbreytt ρ_1 og ρ_2 er ekki fullnægt, fellur aðferðin jafnframt úr gildi, nema því aðeins að hlutfallið ρ_1/ρ_2 haldist áfram óbreytt. Í því tilviki nægir að leiðrétta mælt sýndarviðnámsgildi í lengdarmælingu með því að margfalda það með $\frac{(\rho_1)_D}{(\rho_1)_L}$, þar sem $(\rho_1)_D$ er eðlisviðnám efra lags í dýptarmælingu og $(\rho_1)_L$ eðlisviðnám efra lags í lengdarmælingu, áður en þykktin er lesin af dýptarmælingarferlinum. Eðlisviðnám efra lags er tiltölulega auðvelt að ákvarða, þar sem það jafngildir sýndarviðnámi, ef skautabil er nægilega lítið. Ætlunin er að mæla þá stærð í lengdarmælingu í sumar. Forsendan um fast hlutfall milli ρ_1 og ρ_2 er t.d. raunhæf í tilviki Kellers og Frischknecht þegar $\frac{\rho_1}{\rho} \sim 0$.

2.3 Dæmi

Aðferðin skýrist best með dæmi.

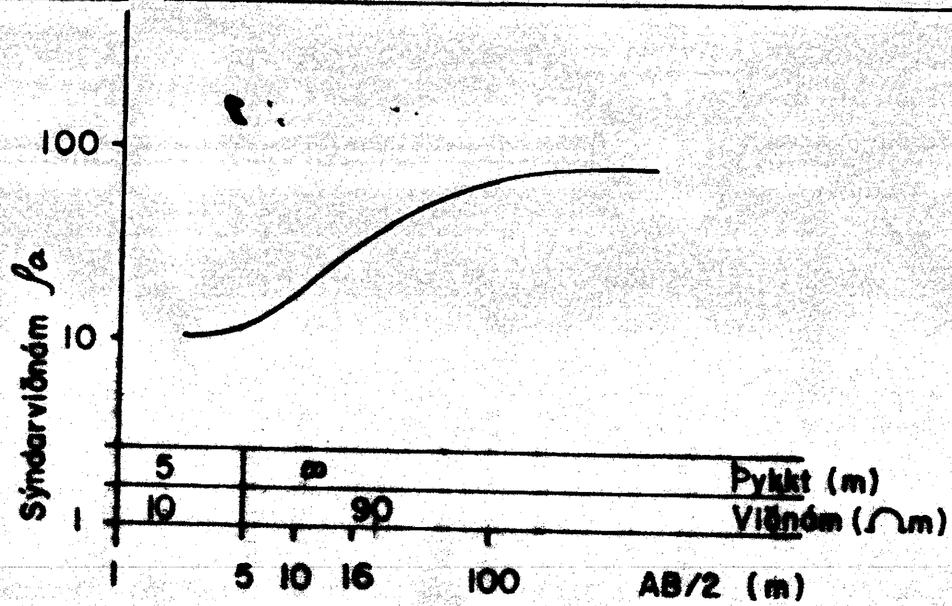
1) Dýptarmæling tekin og niðurstöður hennar settar á log-log pappír. Dýptarmælingin er síðan túlkuð í viðnámslög með mismunandi þykktar og viðnámsgildum (mynd 3).

2) Skautabil fyrir lengdarmælingu er valið þar sem dýptarmælingakúrfan er bröttust (á mynd 3 um 16 m).

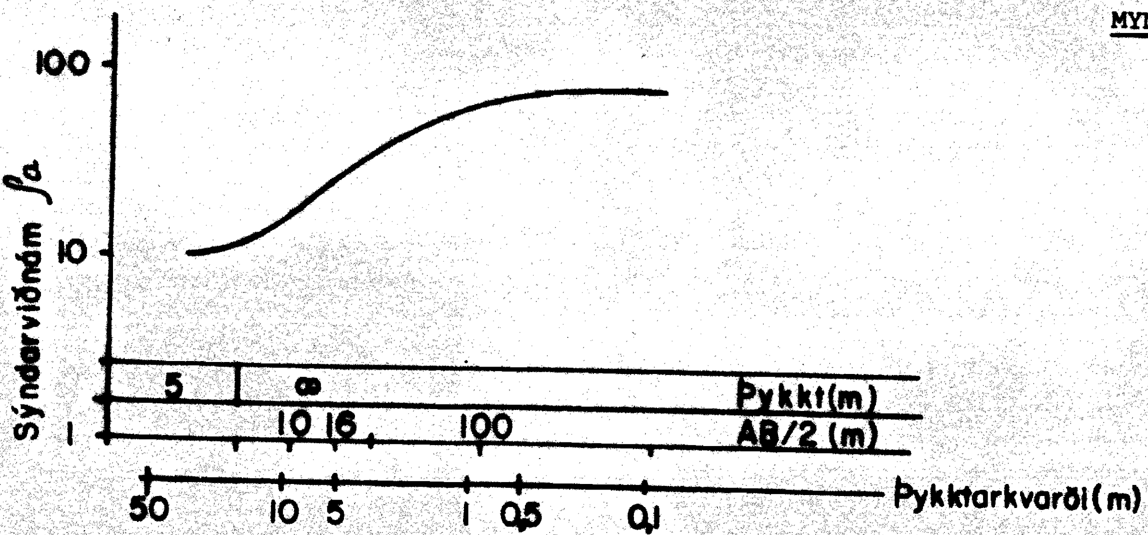
3) Þykktarkvarðanum er nú hliðrað eftir skautabilskvarðanum, þannig að tölugildi fyrir túlkaða þykkt efsta lags falli saman við tölugildi straumarms úr lengdarmælingunni (5 m á móti 16 m á mynd 4)

4) Lengdarmælingin framkvæmd. Þykktargildin loks lesin af þykktarkvarðanum fyrir samsvarandi viðnámsgildi úr lengdarmælingunni.

Þegar svæðin sem kanna þarf eru víðáttumikil er rétt að taka meira en eina dýptarmælingu.



MYND 3: TÚLKUÐ VIÐNÁMSMÆLING.

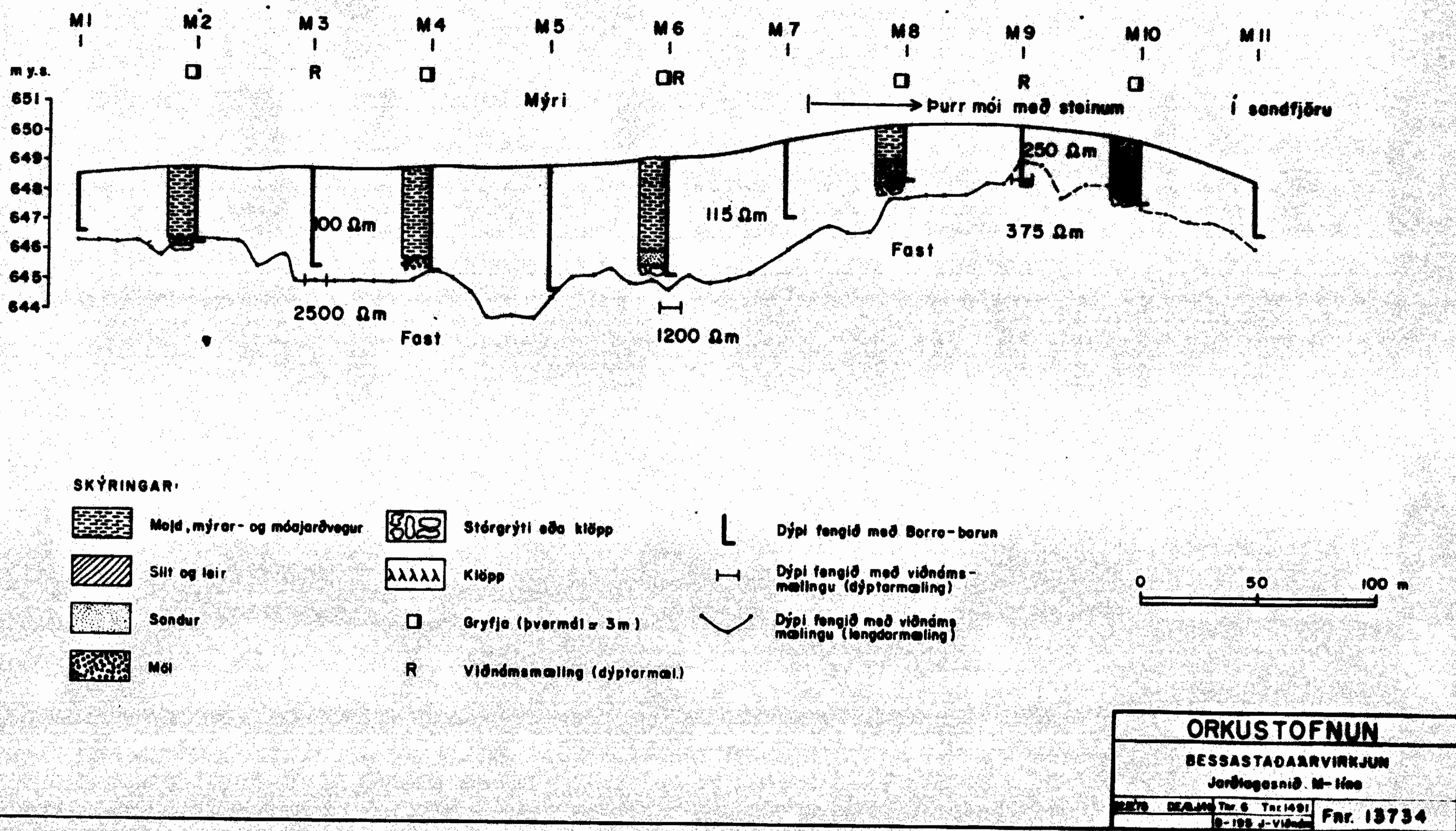


MYND 4: SAMA MÆLING OG Á MYND 3, EN BÚIÐ AÐ BÆTA ÞYKKTARKVARÐANUM VIÐ.

Við slíkar aðstæður getur komið fyrir að dýptarmælingaferlarnir falli ekki saman og sýni þannig mismunandi þykktir fyrir sömu viðnámsgildi. Reynslan og jarðfræðilegar aðstæður verða þá að skera úr um hvenær hver dýptarmælingaferill gildir.

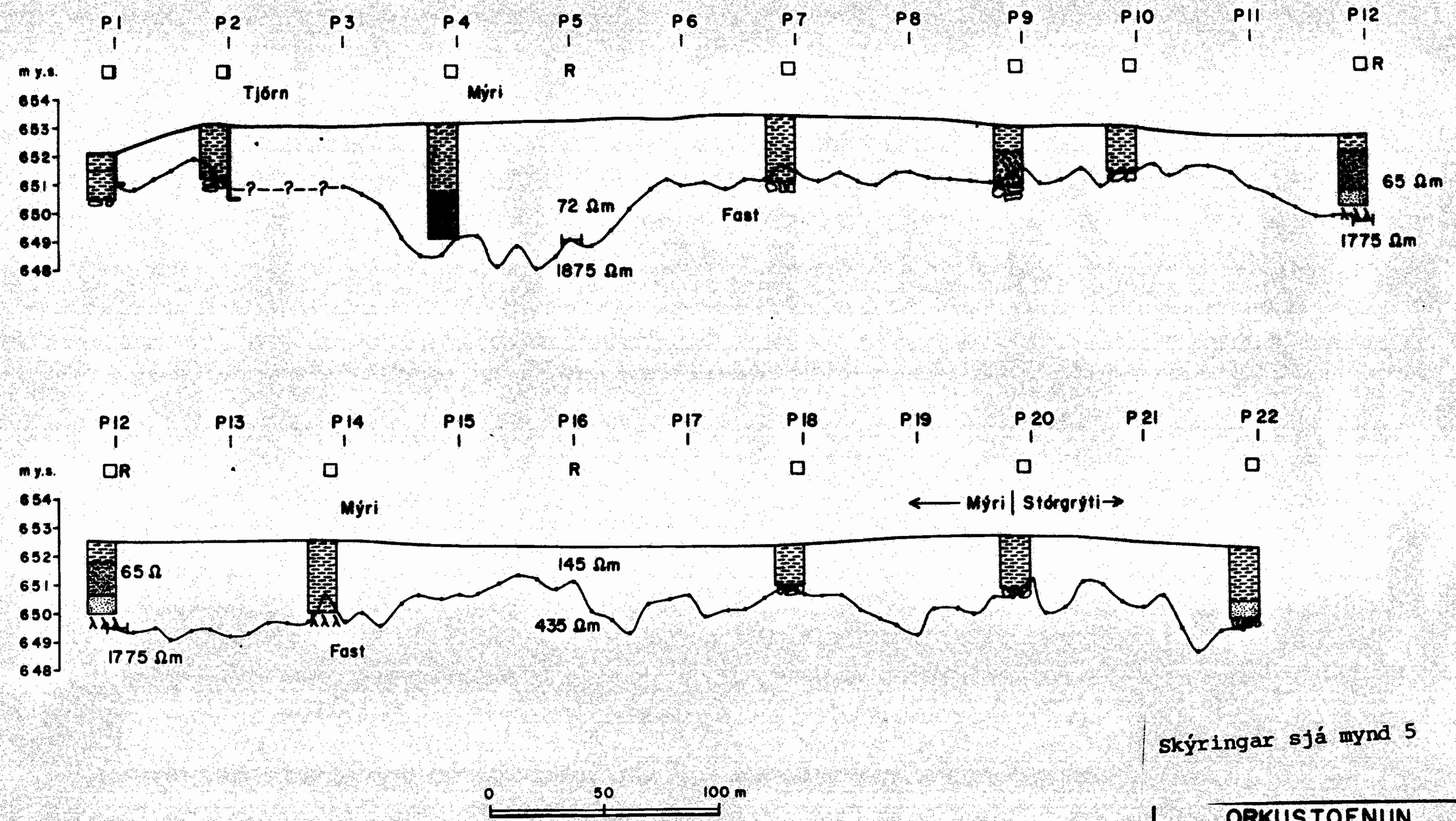
Myndir 5 og 6 sýna tvo staði sem þessi aðferð hefir verið notuð með góðum árangri.

Mynd 5



M1
M2
M3
M4
M5
M6
M7
M8
M9
M10
M11
m y.s.
651
650
649
648
647
646
645
644
R
R
R
Mýri
Þurr mói með steinum
í sandfjöru
250 Ωm
00 Ωm
115 Ωm
375 Ωm
Fast
2500 Ωm
Fast
1200 Ωm
SKÝRINGAR:
Mold, mýrar- og móajarðvegur
Silt og leir
Sandur
Möl
Stórgrýti eða klöpp
Klöpp
Gryfja (þvermál ≈ 3 m)
R
Viðnámsmæling (dýptarmæl.)
Dýpi fengið með Borro-borun
Dýpi fengið með viðnámsmælingu (dýptarmæling)
Dýpi fengið með viðnámsmælingu (lengdarmæling)
0
50
100 m
ORKUSTOFNUN
BESSASTAÐAÁRVIRKJUN
Jarðlagasnið. M-lína
Fnr. 13734

Mynd 6



Skýringar sjá mynd 5

ORKUSTOFNUN
BESSASTAÐAÁRVIRKJUN
Jarðlagasnið. P-lína
Fnr. 13733

Tilvitnanir

Bhattarcharya and Patra, 1968, Direct current geoelectric sounding, principles and interpretation: New York, Elsevier 135 bls.

Keller, G.V. and Frischknecht, F.C, 1966, Electrical methods in geophysical prospecting: Oxford, Pergamon Press 527 bls.

Zohdy, A.A.R., 1973, A computer program for the automatic interpretation of Schlumberger sounding curves over horizontally stratified media: N.T.S. Springfield.

" " " , 1974, Electrical Methods: Applications of surface geophysics to ground water investigations: Techn. Wat. Res. Inv. Unit. Stat. Geol. Survey, Book 2 Ch D1 pp. 1-66.

VIÐBÆTIR A

Sönnun á að $\phi(r\alpha,d) = \phi(r,d/\alpha)$

Fyrir tveggja laga viðnámsmódel gildir

$$\phi(r,d) = \rho_1 \, r^2 \int_0^\infty \frac{K\, e^{-2\lambda d}}{(1-K\, e^{-2\lambda d})} \, J_1 \, (\lambda r)\lambda d\lambda$$

þar sem

ρ_1 = eðlisviðnám efra lags

ρ_2 = eðlisviðnám neðra lags

d = þykkt efra lags

$$K = \frac{1-\dfrac{\rho_1}{\rho_2}}{1+\dfrac{\rho_1}{\rho_2}}$$

λ = Tegurbreyta

J_1 = Bessel fall af fyrstu gráðu

Viljum sýna fram á að aukning á skautabili jafngildi sömu hlutfallslegu þynningu á efra viðnámslagi þ.e.

$$\phi\,(\alpha r,d) = \phi(r,d/\alpha)$$

vitum að

1) $$\phi\,(\alpha r,d) = \rho_1\, \alpha^2\, r^2 \int_0^\infty \frac{K\, e^{-2\lambda d}}{1-K\, e^{-2\lambda d}} \, J_1\,(\lambda,\alpha r)\lambda d\lambda$$

$$2)\quad \phi\ (r_1 d/\alpha) = \rho_1\ r^2 \int_0^{\infty} \frac{K\ e^{-2\lambda d/\alpha}}{1-K\ e^{-2\lambda d/\alpha}}\ J_1\ (\lambda r)\lambda d\lambda$$

innleiðum í 1) nýja tegurbreytu $\mu = \lambda\alpha$

$$3)\quad \phi\ (\alpha r, d) = \rho_1\ \alpha^2\ r^2 \int_0^{\infty} \frac{K\ e^{-2\mu/\alpha\ d}}{1-K\ e^{-2\mu/\alpha\ d}}\ J_1\ (\mu r)\ \mu/\alpha\ d\mu/\alpha$$

eða

$$3a)\quad \phi(\alpha r, d) = \rho_1\ r^2 \int_0^{\infty} \frac{K\ e^{-2\mu/\alpha\ d}}{1-K\ e^{-2\mu/\alpha\ d}}\ J_1\ (\mu r)\ \mu d\mu$$

sem er það sama og 2)

þ.a. !

$$\phi\ (r, d/\alpha) = \phi(r\alpha, d)$$