

Raforaumálastjóri
Jarðhitadeild

SKÝRSLA UM JARÐSVEIFLUMÆLINGAR Á HAFI VIÐ BÚRFELL I
ÞJÓRSÁRDAL 6. - 18.7.64

eftir

Þorstein Vilhjálmsson

Agúst 1964

Skýrsla um jarðsveiflumælingar á Hafi við Þúrfelli í
Þjórsárdal 6. - 18.7.64

I. Inngangur

Mælingarnar fóru fram á tímabilinu 6. - 18. júlí eftir því sem veður og aðrar aðstæður leyfðu. Á mælingunum unnu, auk undirritaðs, þeir Þórarinn Stefánsson, sem hafði veg og vanda af mælitækjum og öðrum tæknilegum atriðum, Einar Kristinsson, er var einkum honum til aðstoðar, og Egill Egilsson, sem aðstoðaði undirritaðan við úrvinnslu gagna o.fl. Á mælingum loknum hófst frekari úrvinnsla á skrifstofu jarðhitadeildar í Reykjavík, en með hjálp Egils til 30. júlí, en þá tók Gylfi Guðnason við og mun hann etv. halda áfram útreikningum o.fl. eftir að þessi skýrsla er skrifuð.

II. Verklýsing

Svæði sem rannsaka átti er í svokölluðu Hafi norðnorða- austur af Þúrfelli, nánar tiltekið kringum borholurnar BD-9 og PC-4, 5 og 15 annars vegar, en BD-10 og 11 og PC-16 og 17 hins vegar.

Jarðlagaskipun er þarna allflókin. Efst er vikurlag, 1-4 m á þykkt skv. borunum, þá póstglasíalt hraun, 3-12 m, síðan aftur vikur, 0-12 m, en þá er komið niður á "fast". Á þessu svæði er um þrenns konar berggrunn að ræða skv. borholusniðum, og vísa ég til þeirra um nánari skilgreiningu bergtegundanna (í sumum holunum virðast menn aðeins hafa getið sér til um berggrunninn og ef til vill mátti draga ályktanir af umræddum mælingum um réttmæti þeirra tilgátta). Jarðvatn stendur ýmist nokkuð uppi í hraunlaginu eða í neðra vikurlaginu.

Tilgangur mælinganna á vestursvæðinu (við BD-9, PC-4-5 og 15), sem aðaláherzla var lögð á, var að finna dýpið niður á berggrunninn, einkum þó breytingar þess frá suðaustri til norðvesturs. Á austursvæðinu skyldi hins vegar reynt að finna dýpt niður að neðra vikurlagi. Þar er jarðlagaskipan er svo flókin sem fyrr greinir þótti rétt að reyna að sprengja dýnamitið í borholunum, enda var þá gert ráð fyrir að hljóðhraðinn í neðra vikurlaginu væri mun minni en í hrauninu ofan á því, en slíkt er óskekilegt við venjulegar seismískar mælingar.

III. Aðferðir

Við mælingarnar voru notuð venjuleg seismísk refraksjónstæki af Century-gerð. Við nákvæma prófun eftir mælingarnar reyndist tímamæling þeirra rétt (þ.e. sjálfar tímálínurnar á filmunum). Hins vegar voru oft nokkur tölmerki á að lesa s.k. tímamerki (þ.e. tímarnir þegar sprengingin verður) rétt af filmunum. Í fyrstu var notuð röng aðferð við þennan aflestur en það var síðan leiðrétt. Ásamt eðlilegum mismun aðstæðna við skotstað veldur óvissa tímamerkisins um 5 ms óvissu í tímaaflestri fyrir hvert einstakt skot en óvissa á tímabreytingum milli fóna er yfirleitt um 1-2 ms.

Notaðir voru 11 jarðfónar (geófónar) og þeir yfirleitt lagðir eftir beinni línu með 5, 10, eða 15 metra milli-bili. Fyrst voru teknir nokkrir venjulegir prófilar með skotum á yfirborði, en síðan sprengt í borholunum. Var fónalínan þá gjarnan lögð í stefnu milli tveggja borhola og síðan sprengt í holunum beggja vegna, en einnig lagðar nokkrar lagnir þvert á slíka stefnu á vestursvæðinu, þar sem áður nefndar SA-NV-breytingar fengust vart með öðru móti.

IV. Frágangur og úrvinnsla

Eftirtalin tákni eru notuð við frágang:

I-XIX:	Númer lagnar (prófíls)
A	Endi fónalínu nær tækjum (1. fónn)
B	Endi " fjar " (11. fónn)
a (1,2 etc.):	Skot(staður) á fónalínu út frá A
b (1,2 etc.):	" " " " " B
c	" við miðja lögn
d (1,2 etc.):	" á hlið við fónalínu
h	" í borholu (einnig skotið á yfirb.)
l	Fjarlægð milli fóna
S _a , S _b etc.	Fjarlægð frá A til a, B til b etc.

Þegar skotstarðir eru gefnar upp er miðað við 1" x 8" túbur, sem voru notaðar eingöngu.

Haldin var allýtarleg dagbók um mælingarnar, þar sem lýst er m.a. staðháttum, staðarákvörðunum o.fl., en vera kann, að rithönd bókarinnar reynist ókunnugum erfið viðureignar. Eftir að heim var komið, var staðsetning lagnanna merkt inn á kort orkudeildar af svæðinu (mkv. 1:2000) samkvæmt upplýsingum dagbókarinnar.

Tímagildi voru sett upp í töflur sem fúnksjón af fjarlægð fóns frá skotstað (eftir yfirborði, enda er ástæðulaust að reikna með dýpt borholanna nema 10-30 m út frá þeim). Jafnframt voru teiknuð línurit eftir töflunum á venjulegan hátt, til hraða- (og dýptar-) ákvörðunar. Ábúrnefnd tíma- skekkja er færð inn á þau línurit sem við á þannig að dregið er 1 cm lárétt strik fyrir ofan skotstaðinn, þar sem réttur absissuás stíti að koma. Þar sem skotið var í fleiri en einni borholu á hverja lögn voru enn fremur gerðar töflur og línurit um s.k. töf ("delay time") í efri lögum og gefa þau línurit nokkra hugmynd um þykkt laganna svo sem síðar mun skýrt.

V. Fræðileg undirstaða

Bakur þar um jarðeðlisfræðileg efni, sem ég hef haft aðgang að, segja ekkert um seismik í svo djúpum borholum sem hér er um að ræða og fátt um neðri lög með minni hraða en þau efri, eins og gert var ráð fyrir að hér væri fyrir hendi. Hef ég því orðið að viðhafa miklar teoretískar vangaveltur á eigin spýtur, en það sem eftir á að hyggja virðist þýðingarmest við úrvinnsluna er þó að mestu uppsæta eftir bók Dobrins um jarðeðlisfræði, þar sem notað er hugtakið "t₀f" ("delay time") sem áður er nefnt.

Það, að við sprengdum í borholum, virðist ekki hafa haft mikil áhrif á túlkun niðurstaðanna, því að hraðinn í efri lögnum reyndist svo miklu minni en í því neðsta, að hljóðbylgjan fer nokkurn veginn beint upp úr neðsta laginu og það kemur til aðgunnar tiltölulega stutt frá borholunni, einkum þar sem unnt var að sprengja alveg niðri við það. Þó má að sjálfsögðu ekki taka tillit til fyrstu fónanna þegar dregin er lína til hraðaðkvörðunar o.s.frv. enda eiga punktar sem svara til þeirra á x - t línuriti að liggja á kúrfu sem líkist hýperbólu, nokkru neðar en línan sem svarar til neðsta lagsins.

Vegna hinnar flóknu jarðlagaskipunar gefa venjulegar yfirborðsprengingar heldur óljósar hugmyndir um dýpi laganna. Að vísu reyndist hljóðhraði hraunlagsins mun minni en búist var við (450 - 600 m/s á austursv., 1000- 1500 m/s á vestursv.) og minni en ástlaður hraði í vikri og jarðvatni, en millilögin virðast víða svo þunn að þau koma ekki fram á línuritum. (Sbr. Leet: Practical Seismology and Seismic Prospecting. pp. 145-149). Vegna þessara óræugleika hef ég einkum beitt aðferðum sem gefa tiltölulega haldgóða vitneskju um afstæðar þykktarbreytingar efri laga, og má þá nota borholurnar sem viðmiðun.

Þar sem hljóðhraði berggrunnins mælist mismunandi við gagnstæð skot á sömu lögn er um að ræða (tiltölulega jafnan) halla neðsta lagsins. Þar sem um aðeins tvö lög er að ræða, gildir með þeim nálgunum sem hér virðist mega beita (1. gráðu nálgun í hallanum α og hraðahlutfallinu V_0):

$$\alpha = \frac{V_0 \frac{\Delta t}{2}}{\Delta x} = \frac{V_0}{\Delta x} \frac{1}{2} (\Delta t_- - \Delta t_+) = \frac{V_0}{\Delta x} \frac{1}{2} \Delta x \left(\frac{1}{V_{1-}} - \frac{1}{V_{1+}} \right) = \frac{V_0}{2} \frac{V_{1+} - V_{1-}}{V_{1+} V_{1-}}$$

Hér táknar Δt_+ og Δt_- tímann sem það virðist taka bylgjuna að fara vegalengdina Δx á móti eða undan hallanum (Δx getur t.d. verið lengd lagnarinnar) en V_{1+} og V_{1-} eru tilsvareandi hraðagildi.

Þar sem halli berggrunnins breytist verður mun torveldara að beita áðurgreindri aðferð, en þá má nota hugtakið "töf" ("delay time"), sem áður var nefnt, til þess að fá hugmynd um þykktarbreytingar efri laganna. Um töfina D gildir einfaldlega.

$$D = T - \frac{x}{V}$$

Þar sem T er mældur tími, x fjarlægð fóns frá sprengistæð og V er meðalhraði neðsta lagsins yfir lögnina (lagnirnar). V reiknast hér skv. formúlunni

$$\frac{1}{V} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{V_+} + \frac{1}{V_-} \right) \quad \text{eða} \quad V = \frac{2 V_+ V_-}{V_+ + V_-}$$

Þessi formúla byggist á sömu nálgunum og formúlan fyrir .
Með þessum nálgunum tákna D einfaldlega tímann sem það
tekur bylgjuna að fara upp úr neðsta lagi við jarðfóninn.

Einn megingalli þessarar aðferðar er fólgin í því, að
hraðinn V virðist nokkuð breytilegur á svæðinu, enda er
sums staðar alllangt milli lagnar og skotstaðar. Nokkur
kontróll fæst með því að setja inn mismunandi gildi á V
og bera saman tafarlínurit fyrir gagnstæð skot.

Við túlkun línuritanna verður að hafa hugfast, hve hraði
efra vikurlagsins er miklu minni en hrauns eða neðra
vikurlags. Litlar breytingar á þykkt efri vikurs hafa
því tiltölulega mikil áhrif á tölfina. Þau áhrif hverfa
þó að nokkru ef dreginn er jafnaður ferill í tafarlínu-
ritin, svo að líklega má gera ráð fyrir að línuleg inter-
pólásjón milli borhola verði fullnægjandi nálgun eftir
það (1 m óvissa í efri vikri svarar til upp. 5 m í neðri
lögum, sem telst víst ekki of mikið).

VI. Niðurstæður

Hljóðhraði hinna ýmsu laga reyndist nokkuð annar en gert
var ráð fyrir í byrjun. Þótt hraði efri vikursins komi
hvergi fram, virðist ekki fjarri lagi að reikna með
ca. 300 m/s fyrir hann. Hraunið á vestursvæðinu hefur
hraðann 1000-1500 m/s en á austursvæðinu 450-600 m/s,
amk. langleiðina niður úr því. Neðri vikur hefur ástlaban
hraða 1500 - 1800 m/s, enda stendur jarðvatn næstum alls
staðar í honum. Hraðinn í berggrunninum mælist 3 - 4000 m/s,
yfirleitt heldur meiri á vestursvæði en austursvæði.

Með áburgreindum skýringum gefa línuritin sjálf til kynna
niðurstæður mælinganna og skulu hér aðeins nefndar þær
helstu, í og með sem dæmi.

Í lögnum VIII kemur þannig fram halli milli PC-15 og PC-4
svo sem við mátti búast skv. borunum. Sama gildir um
IX-X varðandi PC-4 og PC-5. Lagnir XIII-XV sýna lágmarks-

þykkt efri laga upp. 150 m frá BD-9 og sá hryggur kemur einnig fram í XVI-XVII, þá ca. 120 m frá BD-9. Skv. XXVII-XXVIII virðist hryggurinn lækka austur af línu milli PC-4 og BD-9.

Í lögnum XXV-XXVI kemur fram, að efri lögin eru hvað þynnst við BD-9 og svarar hallinn til suðausturs til ca. 5 m meiri þykktar efri vikurs við XXVI B.

Á austursvæðinu virðast millilögin gjarnan hverfa skv. því sem áður var sagt. Lögn XXIII gefur til kynna nokkurn halla við BD-11 til suðausturs. Í lögn XXIV virðist vera um snögga hallabreytingu að ræða um 40 m frá PC-17 (ekki venjulegt seismískt "brot" því að þetta brot kemur á sama stað við mismunandi skotfjarlægð).

Reykjavík, 4. ágúst 1964

Þorsteinn Vilhjálmsson