

Л. ШТЕГЕНА:
ОПЫТНЫЕ ГЕОТЕРМИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Автор в своей статье описывает результаты геотермических измерений в области промышленной геологии. В теоретической части он излагает два специальных решения дифференциального уравнения теплопроводности Фурье. В второй части своей статьи касается вопросов конструкции прибора. В третьей части изложены результаты опытов уже показавших возможность применения сконструированного прибора при определении глубины залегания известняков, а также при определении сброса, заполненного водой высокой температуры.

L. STEGENA:
EXPERIMENTAL MEASUREMENTS WITH A THERMAL MEASURING
ARRANGEMENT

Author is dealing in this article with the geothermal measurements of economical geology. The theoretical part discusses two special solutions of Fourier's heat-conducting differential equation, the second part the problems of instrumental constructions and the third part gives an account of the experimental results. Author made a successful use of his arrangement in one case when defining the depth of the limestone-ayer and in another case when demonstrating heaves carrying thermal waters.

KÍSÉRLETI MÉRÉSEK EGY TERMÁLIS MÉRŐBERENDEZÉSEL
STEGENA LAJOS

A geotermális mérések a gazdasági geológia problémáinak megoldására általában két típusba sorolhatók:

a) a közelfelszíni hőmérsékletmérések a hőmérséklet vízszintes gradien-sének meghatározására, b) mérések furólyukakban a hőmérséklet vertikális eloszlásának tanulmányozására.

Jelen tanulmányomban egy, a hőmérséklet vízszintes irányú változásá-nak mérésére alkalmas eszközzől, és a végzett mérésekről számolok be.

I. Elméleti rész

A mérési eredmények értelmezése céljából áttekintjük a hőáramlás Fourier-féle elméletének alapösszefüggéseit. A hőáramlásnál használt fogal-mak általában analogok a hidrodinamika és elektrodinamika egyes fogal-maival.

A hőáramlás alapvető differenciál-egyenlete:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \mu \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right). \quad (I)$$

ahol a T a hőmérséklet, t az idő, x, y, z a három térkoordináta.

Ez a differenciálegyenlet megadja a lehetőséget T meghatározására, ha μ ismeretes. μ anyagi konstans, $\mu = \frac{K}{e \cdot c}$, ahol K a közeg hővezetőképességét, c a fajhőjét és e a tömegsűrűséget jelenti.

A következőkben két egyszerű esetet tekintünk, mindkettőt $\mu = \text{const.}$ feltétellel. Feltételezzük még, hogy nagy, homogén síkfelületekről van szó.

Megnézzük, hogy 1. milyen hőmérsékleteloszlás felel meg a stacionárius állapotnak ($T = \text{constans}$, az időtől független) és 2. milyen jelenséget okoz a felső rétegekben a felszíni hőmérséklet ingadozása. E két eset a geotermális mérések értelmezésének két alapvető kritériumát adja meg.

1. Ebben az esetben (I) megoldása

$$T = A + Bx + Cy + Dz \quad (II)$$

Tehát lineáris hőmérsékleteloszlásunk van, az izotermális felületek pedig párhuzamos síkok.

Ha feltesszük még, hogy a hőmérséklet a felszínen azonos és a hőmérsékleti gradiens vertikális, azaz

$$T_{x=0} = \Theta, \quad \frac{\partial T}{\partial x} = G, \quad \frac{\partial T}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial T}{\partial z} = 0,$$

akkor

$$T = \Theta + G_x. \quad (III)$$

2. Ha feltételezzük, hogy a hőingadozás (napi, évi) periódikus,

$$T = T_0 \sin \omega t \quad (IV)$$

és a felszín hőmérséklete $t = 0$ időpillanatban Θ , akkor a kezdeti feltétel $x = 0$ helyen, y és z -től függetlenül

$$T = \Theta + T_0 \sin \omega t \quad (V)$$

az (I) alatti differenciálegyenlet megoldása pedig

$$T = A + T_0 \cdot e^{-2\pi \frac{(x \cdot \cos \alpha + y \cdot \cos \beta + z \cdot \cos \gamma)}{\lambda}} \cdot \sin 2\pi \left(\frac{t}{\tau} - \frac{x \cos \alpha + y \cos \beta + z \cos \gamma}{\lambda} \right) \quad (VI)$$

ahol $\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta + \cos^2 \gamma = 1$.

A kezdeti feltétel figyelembevételével

$$\cos \alpha = 1, \quad \cos \beta = \cos \gamma = 0, \quad A = \Theta$$

s így a megoldás

$$T = \Theta + T_0 \cdot e^{-2\pi \frac{x}{\lambda}} \cdot \sin 2\pi \left(\frac{t}{\tau} - \frac{x}{\lambda} \right) \quad (\text{VII})$$

Itt λ hullámhossz, $\lambda = 2 \sqrt{\pi \cdot \mu \cdot \tau}$ és τ rezgésidő, $\tau = 2\pi/\omega$.

Látható, hogy a külső hőingadozás behatol a kéregbe, mégpedig a továbbterjedése hullámszerű. A hullám amplitudója gyorsan esik, minél mélyebben vizsgáljuk tehát, annál kisebb amplitudót és annál nagyobb fáziskésést tapasztalunk.

Vegyünk figyelembe csak egy napi ingadozást ($\tau = 1$ nap) és nézzük az amplitudót 1 hullám mélységben. (A fáziskésés nyilván 1 nap). Ekkor:

$$\lambda = 2 \sqrt{\pi \cdot 0,049 \cdot 86 \cdot 400} \approx 70 \text{ cm.}$$

Itt az amplitudó $T_0 \cdot e^{-2\pi} \approx T_0 \cdot 0,002$. 20° C hőingadozást tételezve fel:

$$20 \cdot 0,002 = 0,04^\circ \text{ C}$$

Eszerint tehát 70 cm mélységben még észlelhető bizonyos kis ingadozás a napi hőmérsékletjárás következtében, kb 1 m mélységben azonban már a mérési hibahatáron belül van.

Fourier képletéből kitűnik a hővezetőképesség (κ) döntő volta. Néhány közet hővezetőképességét az 1. táblázatban közlöm.

1. táblázat

Közetek hővezetőképessége 10^8 c.g.s. egységben			
Levegő (0° C)	0,05	Gránit	4—8
Víz	1,4	Gipsz	2—4
Talaj	0,03—0,9	Mészkö	5—8
Petroleum	3—4	Csillám	0,9—1,8
Kövső	6—7	Földpát	5
Homokkő	5—7	Szén	0,3—0,8

II. Eszköz-szerkesztés

Az előzőkből is kitűnik, hogy geológiai kutatási célokra a hőmérsékletnek kb. $1/100^\circ \text{ C}$ pontossággal történő mérése szükséges. A mérés régebben speciális higanyos hőmérőkkel történt. Ezek — bár pontosak — igen körülményesek és drágák. Hamarosan áttértek az ellenállásmérők, termoelemek és termooszlopok alkalmazására.

Mi az ellenállás-hőmérők mellőzésével a termoelemes megoldást választottuk. Termooszlop alkalmazása kisebb érzékenyséű műszert kíván, de nagyobb a hőkapacitása. A kémiailag ellentállóbb nemes fémek (platina, ródiium) hiányában réz-konstantán összeállítású termoelemeket készítettünk. $0,4 \text{ m/m}$ -es réz és $0,4 \text{ m/m}$ -es konstantán huzalt PVC masszával kéteres drót formában bevulkanizáltunk. A huzalt 3 m-es darabokra elvágtuk és egyik végét kb 1 cm-es darabon letisztítva, a rézvezetékét a konstantán vezetékkel szénelektrodával összehegesztettük. Az így kapott termoelemek EME-je 45 mikrovolt pro 1° C .

A mérési elrendezés kompenzációs rendszerű (1. ábra).

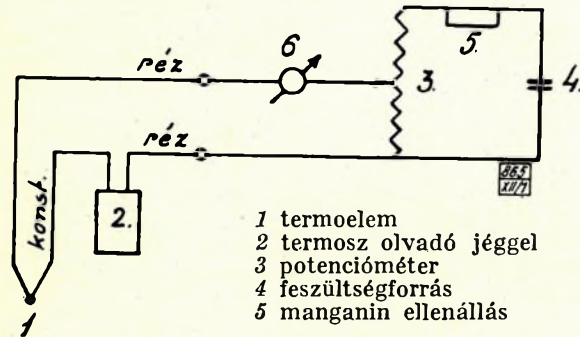
A mérési elv igen egyszerű, de a megvalósítása a kívánt pontosság miatt elég nehéz.

A galvanométer megkívánt érzékenysége: mivel $0,01^\circ \text{C}$ pontossággal akarunk dolgozni, a fenti termoelem-érzékenység miatt — $4,5 \cdot 10^{-7}$ volt skálaérzékenységű műszerre van szükség. Ez terepműszernél elég nagy követelmény. Mi egy torziószálas fénymutatós műszert használtunk erre a célra.

A potenciómétertől megkivánjuk, hogy leolvasásai $0,01\%$ -ra visszaterjenek és a potencióméter ellenállása a hőfokkal ne változzék. Ezek a követelmények igen finom mechanikai megoldást igényelnek. Mi egy

HARTMANN—BRAUN-rendszerű, 100 ohmos mangánin huzalpotenciómétert használtunk.

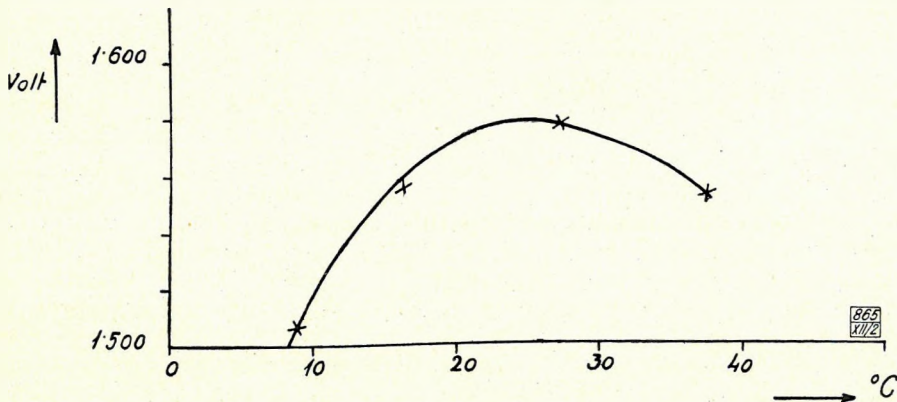
Az összehasonlító feszültségforrástól megkivánjuk, hogy feszültsége állandó legyen, ne függjön se a hőfoktól, se a szobajövő, $10\text{--}15$ mikroamperes terheléstől. E célra Weston vagy telített WESTON normál-elem látszik a legalkalmasabbnak. Házi gyártmányú Weston normál-elemünk feszültsége



1. ábra

a hőfoktól nem függött, de függött a terheléstől. Hosszabb állás után bekapcsolva nagyobb EME-t mutatott, mint használat közben és mérés közben is ingadozott $2\text{--}3$ ezreléket. Emiatt, mivel jó Weston elemet nem tudtunk kapni, áttértünk rúdelem használatára. Ennek feszültsége kellő előkészítés után nem ingadozott. Az előkészítés abban állt, hogy az új rúdelemet 1 órán keresztül 200 milliamperral terheltük. A rúdelem feszültsége hőfokfüggő. A hőfokjárást kimértük (2. ábra), de mindjárt tapasztaltuk, hogy a levegő hőmérsékletét a rúdelem elég lassan követi, nagy fáziskéséssel.

Rúdelem EME-jének függése a hőfoktól.

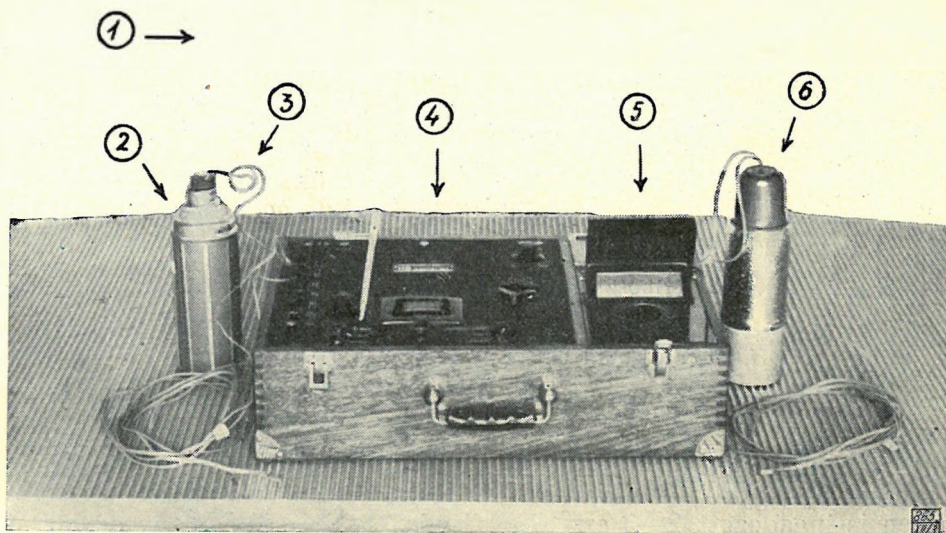


2. ábra

Ezért célszerűnek látszott korrekciós faktorok helyett úgy dolgozni, hogy a rúdelemet aszbeszt-gyapot között termoszba zártuk. Így elértük, hogy 1—1 szelvény mérésének ideje (1—2 óra) alatt az elem EME-je nem változott a megkívánt 0,5 ezrelék hibahatáron kívül.

Az 1. ábrán 5-tel jelölt feszültségkorlátozó ellenállás nálunk 100 kilo-ohmos mangánellenállás volt. Így a 100 ohmos potencióméteren az 1,5 voltos elem feszültségéből 1,5 millivolt esett, tehát műszerünk a réz-konstan-tán termoelemekkel 0—33° C hőfok-tartományt fog át.

Termális eszköz kalibrálása



3. ábra

1 1/100° C hőmérő; 2 termosz olvadó jéggel; 3 termoelem; 4 potencióméter; 5 galvanóméter; 6 rúdelem termoszban

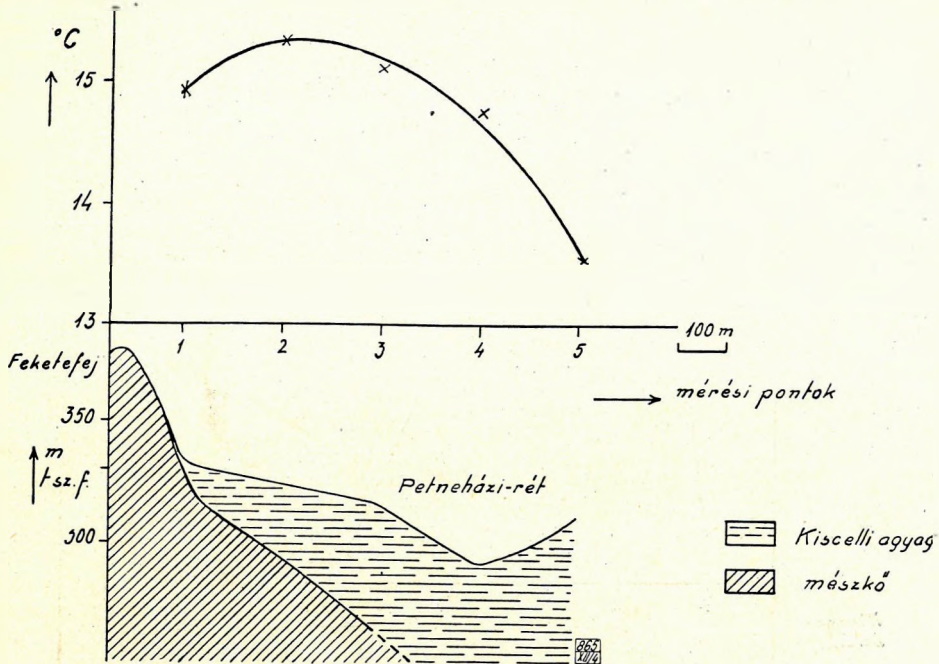
Bár a kötéseknel gondosan ügyeltünk, másodlagos kis termo-elemek felleptét eszközünkben nem tudtuk elkerülni. Ezeknek feszültsége, függvén a levegő hőmérsékletétől, méréseinket eléggé zavarta. Jelenlétüket valószínűleg a felhasznált anyagok tisztátlanságai okozták. A bajon úgy segítettünk, hogy eszközünkbe pólusfordító kapcsolót építettünk be, amely egyszerre változtatja a termoelem és a rúdelem polaritását. Kétoldali észlelés középértékéből az eszköz termofeszültsége kiesik. Valamennyi termoelemünket 1/100° C pontosságú higanyos hőmérővel több hőfokon bekalibráltuk (3. ábra).

III. Terepmérések

Eszközünket először Hajduszoboszlón próbáltuk ki. Itt szereztünk tapasztalatokat a fúrás, termoelem-lehelyezés, fúrási mélység, az elektrodák benn tartási ideje körül. Végül kimértük a melegvizes medencék termális hatását a medencéktől távolodó szelvényekben.

Miután eszközünk a várakozásnak megfelelően viselkedett, szelvényeket mértünk a Budai hegységben. Első szelvényünket a Hárshegy mellett mértük, a Hárshegy és Feketefej között. A fúrás mélysége 260 cm, az elektrodák benn tartásának ideje a fúrásban 16 óra volt. A 4. ábra ábrázolja a termális szelvényt, alatta pedig a valószínű geológiai szelvényt tüntettük fel.

Figyelembe véve az 1. táblázat adatait, amely szerint a talaj hővezetőképessége $0,3-0,9 \cdot 10^{-3}$ cgs, a mészkőé $5-8 \cdot 10^{-3}$ cgs, eredményeink a várakozásnak megfelelőek. A mészkő süllyedésével a talajhőmérséklet csökken.



4. ábra

Egy másik szelvényünk a Hármashatárhegytől az aquincumi temető felé húzódik. A hármashatárhegyi termális szelvényt és a geológiai szelvényt az 5. ábrán közöljük. Méréseinkben a budai termális fővető hatalmas maximummal jelentkeznek.

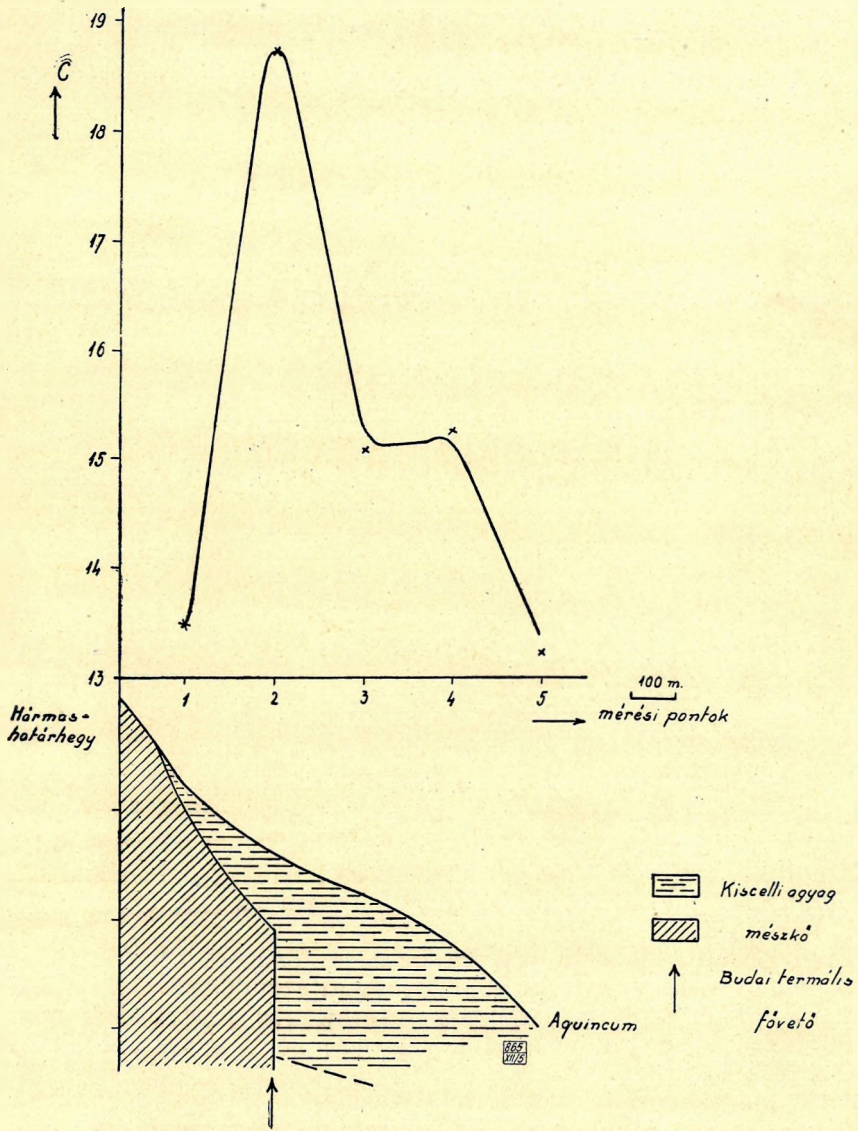
Ezen kezdeti, kísérleti mérések után eszközünket rádióaktív anyagok kutatásánál és szulfidos vasérccek kutatásánál szándékozunk kipróbálni.

Méréseinkkel párhuzamosan laboratóriumban meg fogjuk mérni jellemzőbb hazai kőzeteink hővezetőképességét, hogy méréseink biztosabban értelmezhetőek legyenek.

Jelen dolgozat az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet szeizmikus laboratóriumában készült. Munkatársak: Gálfi János, Stegena Lajos, Pacsirszky László.

SZAKIRODALOM

- B. GUTENBERG: «Physics of the Earth» 1939.
 L. R. INGERSOLL: Geothermal Gradient Determinations... Trans. Soc. Pet. Geoph. Vol. II. 1932 március.
 VAN ORSRAND: Application of Geothermics to Geology. Bul. A. A. P. G. 1934. jan.
 M. W. STRONG: «Significance of Underground Temperatures». Journ. Instr. Petr. Techn. 1934. febr.
 J. JAKOSKY: Exporation Geophysics, 1951.
 Komáromy István: Különböző azimutokban végzett gravitációs észlelések vizsgálata.



5. ábra

Felelős kiadó: Solt Sándor

Műszaki felelős: Rózsa István

Megrendelve: 1952. VIII. 12. — Imprimálva 1952. XII. 2. — Papír alakja : 70/100.
 A könyv azonossági száma: 865 — Ívek száma: 1¹/₄. — Ábrák száma: 12. — Példányszám: 500.

Ez a könyv az MNOSZ 5601—50 Á és MNOSZ 5602—50 Á szabványok szerint készült.

4884. Franklin-nyomda Budapest, VIII., Szentkirályi-utca 28.
 Felelős: Ketskés János.