

SEISMOGRAPHIKUS FELJEGYZÉSEK ÉRTELMEZÉSE.*

Dr. KÖVESLIGETHY RADÓ-TÓL.

Ha a Föld belsejének sűrűségi törvényét ismeretesnek tételezzük fel, akkor a földrengési sugár alakja és ezzel együtt a földrengés egész geometriai elmélete megadható. De bárha VON SEEBACH, A. SCHMIDT, M. P. RUDZKI s szerző maga is ily elméletet elég jó sikerrel felállított, mégis nem tagadható, hogy az összes seismikus műszerek adata — bármilyen is legyen szerkezete — kizárólag csak a műszer legközelebbi környezetének rengési állapotára vonatkozhatik, melyből a rengési fészkek állapotára a földkéreg számtalan egyenetlensége folytán következtetést vonni nem lehet.

A rengés kezdete és vége a seismometer adatából mindig leolvasható, úgyszintén lefolyásának főbb mozzanatai. A lökés iránya és intenzitásának bár viszonylagos becslése is majd mindig csak helyi jelentőséggel fog bírni és ez idő szerint nem vonatkoztatható a rengés fészkeire. Ily következtetés csak akkor képzelhető el, ha a földkéreg magaviseletét az egész rengési sugár mentén ismernők.

Noha erre kilátás — ha egyáltalán — csak távol jövőben nyilhatik, mégis felvethető a kérdés, vajjon nem kívánatos-e a seismogrammoknak részletesebb leolvasása is? Ezek jellemzik a műszer közvetlen szomszédságát tevő talaj mechanikai magaviseletét, s ha ezt sok helyen megfigyeltük, mégis alkothatunk némi képet a földkéreg felszínes rétegeinek általános, közös vonásairól. De ettől eltekintve sem szabad felednünk, hogy a közvetlen leolvasások előzetes reductió nélkül nem használhatók, hogy belőlük akár a talajmozgás módjára, akár a Hold vagy időjárás periodikus befolyására következtetést vonjunk. Ily számolások előzetes kiigazítás nélkül csak a műszer és talaj együtthatását jellemezhetnék, soha nem a talaj mozgásait magában véve.

Mindenek előtt felmerül tehát az a kérdés, hogy seismographjaink tulajdonképpen mit jegyeznek fel?

Mindenesetre annyi világos, hogy minden műszer, bármilyen legyen is szerkezeti elve, csak azon különbségi rezgést jegyezheti fel, melyet az inga a regisztráló hengerhez képest végez. A mily magától érthető e gondolat, szabatosan kifejezve csak ODDONE «Ricerche strumentali in sismometria con apparati non pendolari» (Modena, 1900) című dolgozatában

* Előadta szerző a Strassburgban f. évi április 11—13-ikán tartott első nemzetközi földrengési conferentián.

Földtani Közlöny. XXXI. köt. 1901.

találtam, melyet éppen e tanulmányom befejezésekor vettem kézhez. REBEUR-PASCHWITZ, EHLERT (és részben SCHMIDT is) a horizontális inga kielengését a talajhajlás abszolút mértékének tekintik, és ennél fogva hibáztak.

Hasonló megfontolás minden seismometerre érvényes, akár talajhajlásokat mérünk vele, akár gyorsulásokat. Egyebek mellett megadják ama felállítási feltételeket, melyek mellett bármely irányból jövő lökés sem vész el észrevétlenül. (Ezért kell egy állomásban három horizontális ingát egyesíteni.)

A dolog lényegébe mélyedő megfontolás csakhamar mutatja, hogy a feljegyzés tulajdonképpen igen bonyolult folyamat eredménye. A Huygens-féle elv felhasználása mellett, mely az itt alkalmi zandó terjedelmében feltétlenül szigorúnak mondható, mindig kijelölhető oly a talaj minőségétől és a megfigyelő állomás szerkezetétől függő C pont, melyben az addig egyszerű sugár kettéhasad, úgy hogy egyik összetevője az inga pillérjébe, másika a registráló henger pillérjébe haladjon. Ha felteszszük egyszerűség kedvéért, hogy e pillérek merev szerkezetek, hogy tehát a talajtól átvett rezgéseket másíthatatlanul közlik, akkor a henger is a talajjal azonos rezgéseket végez, melyek összetevői derékszögű térbeli koordinátarendszerre vonatkoztatva x_0, y_0, z_0 legyenek.

Az inga felfüggesztési pontja - ha ugyan ennek pillérje is merev — szintén a talajmozgás egyenes behatása alatt áll és rezgéseket végez, melyek összetevői az előbbi koordinátarendszerben x_1, y_1, z_1 . A felfüggesztés ezen rezgése folytán maga az inga is lengésbe jön s lengésének komponensei x, y, z legyenek.

Ekkor tehát

$$\xi = x - x_0; \quad \eta = y - y_0; \quad \zeta = z - z_0$$

azon kitérések, melyeket inga és henger különbségi lengése a papírra ír, tehát a közvetlen leolvasás adatai.

Egy és ugyanazon műszer alig szokta megadni mindhárom összetevőt, hanem csak ξ -t és η -t, ha csupán horizontális, vagy ζ -t, ha csak vertikális lökésekre reagál. A további levezetésünk közvetlenül a VICENTINI-féle ingákra érvényes ugyan, de minden nehézség nélkül bármily szerkezetű ingára is alkalmazható, a horizontális ingákra úgy, mint a vertikális komponens mérő szerkezetekre is.

Ha egyszerű, vagy legalább ezekből összetehető rezgésekkel van dolgunk, akkor az x_0 és x_1, y_0 és y_1, z_0 és z_1 között fennálló összefüggés könnyen megadható. Ugyanis t időpillanatban C pontban áll:

$$X = \sum s_i \sin 2\pi \frac{t}{T_i},$$

és ennél fogva az inga felfüggesztése és a jelzőhenger

$$x_1 = \sum s_i \sin 2\pi \left(\frac{t}{T_i} - \frac{d_1}{\lambda_i} \right) \quad \text{és} \quad x_0 = \sum s_i \sin 2\pi \left(\frac{t}{T_i} - \frac{d_0}{\lambda_i} \right)$$

rezgéseket végzi, melyben s_i a talajmozgás amplitudja, T_i a rezgési idő, λ_i pedig a hullámhosszaság. d_1 és d_0 a nevezett két pont távolsága C -től a rengési sugár mentén lemérve. E két mennyiség adott műszer-felállítás számára állandó helyiségben állandó, és értéke távoli rengéseknél még legfőlebb a lökés irányától függhetne. E két állandó értéke közvetlen kísérletekkel is elég könnyen megállapítható. Feltételeztem továbbá — de ez csak a számítás egyszerűsítésére szolgál — hogy a pillér nem változtatja meg érezhetően a rezgés amplitudját. Esetleg észlelhető abszorpczió-koefficiens hatása könnyen számításba vehető. Mindenesetre azonban megállapítható a felfüggesztés és jelzőhenger mozgásainak összefüggése kísérleti úton is.

Az inga mozgását, ha a felfüggesztő ponté ismeretes, már a mechanika szolgáltatja. Röviden úgy fejezhetjük ki, hogy az inga leírja ama tractrix görbét, melyet a suspensió directrixé előír.

Vicentini-typusú ingát tárgyalok, melyet matematikai inga gyanánt fogunk fel. Nyujthatatlan fonálnak hossza l , a nehézség gyorsulása g legyen. Ha kilengéseinek x , y , z összetevői az l ingahosszhoz végtelen kicsinyek, akkor állanak számára a következő egyenletek:

$$\begin{aligned} \frac{d^2x}{dt^2} &= -\frac{g}{l}(x-x_1) - 2\varepsilon \frac{dx}{dt} \\ \frac{d^2y}{dt^2} &= -\frac{g}{l}(y-y_1) - 2\varepsilon \frac{dy}{dt} \\ \frac{d^2z}{dt^2} &= -g - \frac{g}{l}(z-z_1) - 2\varepsilon \frac{dz}{dt}, \end{aligned}$$

ha még felteszszük, hogy a levegő ellentállása — melyet ε -nal mérünk — a sebességgel arányos. l másodrendű kis mennyiségekig ($z_1 - z$)-vel egyenlő; az utolsó egyenlet tehát elesik magától és a megmaradó egyenletek symmetriája folytán egyetlenegynek a tárgyalása elegendő.

Az előbbiek szerint volt

$$\xi = x - x_0, \quad \text{vagy} \quad x = x_0 + \xi;$$

és ha ezt a differenciálegyenletbe helyettesítjük:

$$\frac{d^2x_0}{dt^2} + \frac{d^2\xi}{dt^2} = -\frac{g}{l}(\xi + x_0 - x_1) - 2\varepsilon \left(\frac{dx_0}{dt} + \frac{d\xi}{dt} \right).$$

Mint hogy x_0 és x_1 mozgását, előzőleg már egyszerű rezgésnek minő-

sítettük, nem is szükséges a különben egyszerű integrációt végeznünk, hogy a diagramm ξ -jének összefüggését akár az ingafelfüggesztés x_1 -vel, akár a jelzőhenger x_0 mozgásával, akár végre a C pont rezgésével megismerjük.

Ha a diagrammban rajzolt görbe egyenlete

$$\xi = \sum \sigma_k \sin 2\pi \frac{t}{T_k},$$

azaz oly harmonikus mozgások összege, melyek egyenkint σ_k amplitudóval és T_k rezgési idővel bírnak, akkor a fenti differenciálegyenlet a következő

$$\begin{aligned} \sum \left(\frac{1}{T_i^2} - \frac{1}{\theta^2} \right) s_i \sin 2\pi \left(\frac{t}{T_i} - \frac{d_0}{\lambda_i} \right) + \sum \frac{s_i}{\theta^2} \sin 2\pi \left(\frac{t}{T_i} - \frac{d_1}{\lambda_i} \right) - \\ \sum \frac{\varepsilon}{\pi T_i} s_i \cos 2\pi \left(\frac{t}{T_i} - \frac{d_0}{\lambda_i} \right) = - \sum \left(\frac{1}{T_k^2} - \frac{1}{\theta^2} \right) \sigma_k \sin 2\pi \frac{t}{T_k} + \\ + \sum \frac{\varepsilon \sigma_k}{\pi T_k} \cos 2\pi \frac{t}{T_k}, \end{aligned}$$

összefüggéshez vezet. Ebben θ az inga saját lengésének teljes periodusa, mely az ismeretes

$$\frac{g}{l} = \frac{4\pi^2}{\theta^2}$$

egyenlet által adott. A ξ és x_0 vagy x_1 -ben előforduló rezgések, minthogy főleg kényszerített lengésekkel van dolgunk, nagyobbreszt egymással egyenlők. De előnyös, ha a diagrammot eredeti általánosságban meghagyva az i és k indexet megkülönböztetjük.

Ha a levezetett egyenlet a rezgés egész tartama alatt érvényes, akkor mindenképp előtt kell, hogy legyen $k = i$, azaz, a talaj minden mozgása a diagrammban is kifejezést talál. Azonkívül minden egyes lengésre áll:

$$\left\{ \left(\frac{1}{T_i^2} - \frac{1}{\theta^2} \right) \cos 2\pi \frac{d_0}{\lambda_i} + \frac{1}{\theta^2} \cos 2\pi \frac{d_1}{\lambda_i} - \frac{\varepsilon}{\pi T_i} \sin 2\pi \frac{d_0}{\lambda_i} \right\} s_i = - \left(\frac{1}{T_i^2} - \frac{1}{\theta^2} \right) \sigma_i$$

és

$$\left\{ \left(\frac{1}{T_i^2} - \frac{1}{\theta^2} \right) \sin 2\pi \frac{d_0}{\lambda_i} + \frac{1}{\theta^2} \sin 2\pi \frac{d_1}{\lambda_i} + \frac{\varepsilon}{\pi T_i} \cos 2\pi \frac{d_0}{\lambda_i} \right\} s_i = - \frac{\varepsilon}{\pi T_i} \sigma_i,$$

mely egyenletekből meghatározható s_i a talajmozgás amplitudója σ_i által

és azonkívül még d_0 vagy d_1 . Minthogy a $d_1 - d_0$ különbség — mint említők — kísérletileg megállapítható, σ_i és T_i a diagrammból közvetlenül leolvasható, θ és ε az inga lengetéséből levezethető és λ_i az egyébként meghatározandó c terjedési sebességgel és T_i -vel adott ($\lambda_i = cT_i$), úgy C pont mozgása a rengési görbéből csakugyan rekonstruálható.

De a fenti differenciálegyenlet még kissé másképp is fogható fel. Ha ugyanis $x_0 - x_1$ megfigyelések által adottnak tekinthető, akkor tényleg differenciálegyenlettel van dolgunk, mely x_0 számára nehézség nélkül integrálható. Felteszem — a mi távoli rengések esetében teljesen talál, hogy a d_0 és d_1 távolságok a hullámhosszasághoz képest igen kicsinyek, úgy hogy $\frac{d}{\lambda}$ második és magasabb hatványa elhanyagolható. E feltevés nem lényeges, hanem nagyon egyszerűsíti a számolást.

Ha most általában a felfüggesztés mozgását $f(t)$ -vel jelöljük, akkor a jelzőhengeré, a mely τ idővel később kezdődik:

$$x_1 = f(t); \quad x_0 = f(t - \tau) = x_1 - \tau \frac{df(t)}{dt},$$

és ennél fogva differenciálegyenleteinkből:

$$\frac{d^2 f(t)}{dt^2} + \frac{d^2 \xi}{dt^2} = - \frac{4\pi^2}{\theta^2} \left[\xi - \tau \frac{df(t)}{dt} \right] - 2\varepsilon \left[\frac{d\xi}{dt} + \frac{df(t)}{dt} \right].$$

τ itt szintén ismeretes, mert egyszerűen

$$\frac{\tau}{T_i} = \frac{d_0 - d_1}{\lambda_i}$$

egyenlet által adott. Ezen differenciálegyenlet integrálja

$$f(t) = P + Qe^{-at} - \xi - \frac{4\pi^2}{\theta^2} \int e^{-at} dt \int e^{at} \xi(t + \tau) dt,$$

melyben P és Q a két önkényes állandó,

$$a = 2\varepsilon - \frac{4\pi^2}{\theta^2} \tau,$$

és $\xi(t + \tau)$ a diagramm ama pontja, mely $t + \tau$ időre érvényes. Rengések-nél tehát az inga unllpontja általában véve eltolódást szenved, mely igen gyorsan P állandó nagyságot ér el.

Ha korábbi egyenletünkben, melyben egyszerű rengések szerepelnek hasonló elhanyagolással élünk, akkor

$$\left(1 - \frac{2\varepsilon}{c} d_0 \right) s_i = \left(\frac{T_i^2}{\theta^2} - 1 \right) \sigma_i$$

$$\left[\frac{2\pi}{c} \left(\frac{1}{T_i^2} - \frac{1}{\theta^2} \right) d_0 + \frac{2\pi}{c\theta^2} d_1 + \frac{\varepsilon}{\pi} \right] s_i = - \frac{\varepsilon}{\pi} \sigma_i,$$

ha c a rengés terjedési sebességét jelenti. Ennél fogva nagy közelítéssel áll:

$$s_i = \left(\frac{T_i^2}{\theta^2} - 1 \right) \sigma_i,$$

$$\frac{2\pi}{cT_i^2} \left(\frac{T_i^2}{\theta^2} - 1 \right)^2 d_0 - \frac{2\pi}{c\theta^2} \left(\frac{T_i^2}{\theta^2} - 1 \right) d_1 - \frac{\varepsilon}{\pi} \frac{T_i^2}{\theta^2} = 0,$$

de a második egyenlet el is hagyható, ha $d_0 - d_1$ különbség kísérletileg már meg van határozva.

A gyakorlati igényeknek teljesen megfelelő számolás ugyan lehetőleg egyszerű, de azért fontos ama megjegyzés, hogy könnyű oly készüléket szerkeszteni, mely a diagram bejárása által közvetlenül az inga felfüggesztés vagy épen a C pontnak tényleges mozgását adja. Ily készülék a Vicentini pantograph mintájára egyszerűen az ingára is alkalmazható, úgy hogy az inga rajza közvetlenül a talajmozgást adja.

Érdekes ama megjegyzés is, hogy a fenti egyenletek nyomán az egyes kilengések burkoló görbéjének egyenlete is megadható. Ez különösen akkor fontos, ha a jelzőhenger túlkicsiny sebessége folytán az egyes lengések nem élesen szétválaszthatók.

Az itt levezetett egyenletek a ráhangzás jelenségének egyenleteivel azonosak, de fordított alakban jelennek meg, a mennyiben most a resonator mozgásából a környezet mozgását iparkodunk levezetni.

Elméletileg nem nehéz ugyan a C pont mozgásából következtetést vonni a rengési fészekben végbement mozgásokra, de ily következtetésnek a bevezetőleg mondottak értelmében egyelőre vajmi kis súlya lehetne.

Mindazon talajmozgások, melyeknek periodusa az ingáéval pontosan összevág, egyenletünk értelmében észrevehetetlenek, bármi is legyen a lökés iránya. Azonfelül nem tagadható, hogy a pillérekben és a talaj utolsó elemeiben megnyilatkozó ismeretlen befolyások megmásíthatják a talaj- és ingalengések amplitudjainak viszonyát. A legjobb elmélet mellett is fontos tehát, hogy abszolút seismometer birtokában legyünk.

Teljesen kifogástalan seismometer szerkeszthető ugyan, de alkalmazásának határai kissé szűkre vannak szabva.

Vegyünk betontömbbe mereven beágyazott és állandóan az északi sark felé irányított távcsövet, mely tehát a talaj rengését lehetőleg változatlanul veszi át. Olcsóbb reflektor a célzott egészen jól fogja szolgálni. Látómezeje akkorának választandó, hogy a Sarkcsillag egész napi körét felölelje; sugara tehát legalább is $1^\circ 15'$ legyen. A távcsövet photographiai kamarával lássuk el, melyet óramű segítségével a napi mozgással párhuzamosan megfelelő sebességgel mozgatunk. A készülék természetesen csak éjjel alkalmazható; nappal a fotografiai registrálás helyébe a szemmel való megfigyelés léphetne, ha ugyan az első tremorok bekövetkezéséről idejekorán értesülhetünk. De minthogy a seismikus mozgás a Föld felszínének igen nagy részében megnyilatkozik, majdnem folytonos regis-

trálás képzelhető, ha hat-hat órás hosszkülönbségű helyeken négy távcsövet állítunk fel. A lemez sebessége tetemesen nagyra választható, úgy hogy az egyes rezgések eléggé elkülönülnek. Ha azonban csak az amplitudó nagysága és a rengés főfázisai érdekelnek, akkor a lemezt nem is kell óraművel hajtani; a Sarkcsillag ekkor körivet ír le, melyről közelítőleg az idő is leolvasható.

A Föld felszínén minden millimetryni eltolódásnak megfelel a Sarkcsillag helyváltozása az égen, mely a legnagyobb kör mentén $\frac{1}{30860}$ ívmásodpercet tesz ki. E számadatokból folyik, hogy a horizontális gyorsulás lemérése alig lehetséges. Ha ugyanis f a távcső gyújtótávolsága milliméterekben, a képeltolódás milliméterenkint

$$\frac{f}{206265 \times 30860} \text{ mm,}$$

a mi teljességgel érezhetetlen.

Másképen áll a dolog talajhajlásoknál. Ha valamely hullám a távcsőpillér keleti oldalát i ívmásodpercczel hajlítja, akkor a Sarkcsillag képe vízszintes irányban

$$\Delta x = \frac{if}{206265} \cos(\varphi - \delta)$$

milliméterrel tolódik el, ha φ a megfigyelési hely geographiai szélessége és δ a Sarkcsillag declinációja. A meridiánmenti i hajlás függélyes irányban

$$\Delta y = \frac{if}{206265}$$

eltérést okoz. Mindkét kitérés a lemezen mikroskóp alatt könnyen és biztosan mérhető, mint azt a parallaxis meghatározása czéljából eszközölt leolvasások mutatják.

Az itt adott elmélet csak első közelítés, mely a sugártörés és hasonló befolyások tekintetbe vételével még kevéssel módosítandó.

Minden rengés a Sarkcsillag képét bizonyos irányban kitéríti, úgy hogy a talajhajlásnak mindkét összetevője levezethető.

Az így felszerelt távcső minden további nehézség nélkül egyszersmind relativ eltolódások mérésére is alkalmas. Két egymásra merőleges irányban, és oly távolságban, a mely a hullámhosszúságnak jelentős törtrészét teszi, két kollimator állítandó fel, mely a távcsőhöz hasonlóan szilárdan van alapozva. Ezek fényjelét a távcsőhöz szilárdan erősített tükörrel vessük a látmezőbe. Rengés alkalmával ezen fénypontok képei is kitérnek, de a kitérés most a távcső és kollimator viszonylagos mozgása lesz, szintén fontos adat, mely egyebek között a hullámhosszaság független meg-

határozásához is vezet. E kitérésre természetesen a földi sugártörés nagy befolyást fog gyakorolni.

Ezen abszolút seismometer kitűnő segédeszköz a rendszeren alkalmazott seismographok állandóinak meghatározására és ezért kívánatos, hogy elsőrendű állomáson, pl. Strassburgban állíttassék fel. Hasonló állomásokul ajánlkoznak Tokyo, Toronto vagy Washington és Wellington, Uj-Zeelandon vagy Honolulu Oahún.

Megjegyzések: Nyomban az előadás után felszólalt Hecker, a potsdami geodéziai intézet segéde, egyszersmind a horizontális inga elméletének egyik legjobb ismerője, a ki földrengés okozta eltolódást a távcső látmezejében álló csillagon véletlenül tényleg megfigyelt. A képertolódás oly nagy volt, hogy lemérése nem okozott volna nehézséget. Egyszersmind dr. KOBOLD, a strassburgi csillagvizsgáló observatora bemutatta a San Jago de Chile-i csillagvizsgáló egyik évkönyvét,* a melyben a déli sark körüli csillagok napi mozgásának fényképe is látható. E fénykép a sarkmagassági változások kimutatására szolgál és a rendkívül kis változások a fényképen mérés nélkül is szembeötlők. Remélhető tehát, hogy az ajánlottam módszer a célnak teljesen megfelel.

* Anuario del Observatorio astronomico de Santjago de Chile. Tomo II. 1900.