

De H-variometer van La Cour bij grote gevoeligheid

door

D. van Sabben
=====

Voor bepaalde onderzoekingen, bijvoorbeeld bij de studie van magnetische pulsaties, is het gewenst de gevoeligheid van de variometers, die bij de magnetische registrering gebruikt worden, sterk op te voeren. Bij de normale registrering (papiersnelheid 15 mm/uur) is de gevoeligheidsconstante meestal $\approx 5 \gamma/\text{mm}$. Pulsaties met een periode < 100 sec zijn op deze registrering praktisch niet uit te meten. Hiervoor wordt de z.g. snelregistrering gebruikt (papiersnelheid 180 of 360 mm/uur), waarbij dan de gevoeligheid van de variometers ongeveer 5x zo groot gemaakt wordt. Dit kan vrij eenvoudig en op verschillende manieren gebeuren door het aanleggen van hulpvelden ter plaatse van het draaibare magneetje, al of niet in combinatie met het inhangen van een dunnere ophangdraad. Bij vergroting van de gevoeligheid op een willekeurige manier vergroot men echter ook de invloed van de temperatuur op de registrering en deze is dan niet meer te compenseren met het optische compensatie-systeem dat bij de La Cour variometers ingebouwd is. Nu is dit voor de registrering van pulsaties op zichzelf geen bezwaar. In Witteveen, waar de dagelijkse gang van de temperatuur in het gebouw $\leq 1^\circ$ is, werd dan ook jarenlang op deze wijze geregistreerd.

In de registreervertrekken van de tropische stations Paramaribo en Hollandia is de dagelijkse gang van de temperatuur echter veel groter ($\approx 5^\circ$). De ongecompenseerde temperatuurinvloed, gecombineerd met de schommelingen tengevolge van de dagelijkse variatie van H, die op deze stations toch al groot is, maakt het dan vrijwel onmogelijk de gevoelige snelregistrering een geheel etmaal op het papier te houden, zonder tussentijds bijstellen. Door het aanleggen van een bepaald hulpveld, tegengesteld aan H en $\approx \frac{1}{2} H$, kan men echter een zeer goede temperatuurcompensatie verkrijgen (de methode werd reeds beschreven door G. Hartnell, U.S. Coast and Geodetic Survey, Spec. Publ. 89, 1922). Voor het vergroten van de gevoeligheid kan men verder gebruik maken van een hulpveld loodrecht op H. In het volgende wordt een en ander met formules toegelicht en wordt tevens aangegeven hoe men een lastig nevenverschijnsel, verbonden aan de vergroting van de gevoeligheid, namelijk de verandering van de gevoeligheid met de afwijking uit de evenwichtsstand, binnen de perken kan houden (Zie hiervoor ook: S.E. Forbush, Terr. Magn. vol. 39, pp. 135 - 143).

- A. In de normale opstelling, d.w.z. zonder gebruik van hulpmagneten, is de gevoeligheid van de H-variometer alleen afhankelijk van $\frac{T}{m}$, waarin T = torsiecoëfficiënt van de ophangdraad
 m = ^{magnetisch} moment van het opgehangen magneetje.

Evenwichtsvergelijking:

$$T(\varphi_0 + \varphi) = m \cdot H \cdot \cos \varphi \quad (1)$$

waarin:

φ = afwijking van stand \perp magn. noordrichting

φ_0 = torsiehoek in stand \perp magn. noordrichting

De gevoeligheid $\frac{\partial \varphi}{\partial H}$ wordt gevonden door differentiëren naar H:

$$T \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial H} = m \cdot \cos \varphi - m H \cdot \sin \varphi \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial H}$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial H} = \frac{\cos \varphi}{\frac{T}{m} + H \sin \varphi} \approx \frac{1}{\frac{T}{m} + H \cdot \varphi}$$

Er is dus ook een afhankelijkheid van φ (term $H \cdot \varphi$ in de noemer), maar deze is in het normale geval van weinig belang aangezien dan

$$\frac{T}{m} \approx 0,17 \text{ is en } \varphi < 0,1 \text{ dus } H \cdot \varphi \ll \frac{T}{m}$$

Bij de normale opstelling is nl. $\Delta \varphi = 1'$ voor

$\Delta H \approx 5 \text{ } \delta$ (schaalconstante: $5 \text{ } \delta$ /mm op afstand 170 cm),

$$\text{dus } \frac{\partial \varphi}{\partial H} = \frac{1}{3438} \cdot \frac{1}{5 \cdot 10^{-5}} = \frac{1}{0,17}$$

zodat dan $\frac{T}{m} \approx 0,17$

Bij een schaalconstante van $5 \text{ } \delta$ /mm op afstand 170 cm is, gezien de ervaringen bij de sterkste magnetische stormen, de afwijking op de registrering steeds $< 30 \text{ cm}$ dus $\varphi < 0,1$.

B. Snelregistrering

De meest voor de hand liggende methode om de gevoeligheid te vergroten is: een draad te nemen met kleinere T , stel $\Theta \cdot T$.

De torsiehoek φ_0 die nodig is om de magneet \perp H te draaien wordt dan $\frac{1}{\Theta}$ maal zo groot.

De temperatuurinvloed vindt men door de evenwichtsvergelijking te differentiëren naar t :

$$T \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial t} = \frac{\partial m}{\partial t} \cdot H \cdot \cos \varphi - m H \sin \varphi \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial t}$$

$$m = m_0 (1 - \alpha t)$$

$$\frac{\partial m}{\partial t} = -\alpha m_0$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} = \frac{-\alpha H}{\frac{T}{m_0} + H \cdot \varphi} = -\alpha \frac{\partial \varphi}{\partial H} \cdot H$$

De temperatuur-afhankelijkheid is dus evenredig met de gevoeligheidsconstante en zou dus in het beschouwde geval ook 5x zo groot worden. Deze moeilijkheid wordt voorkomen door het aanleggen van een hulpveld F tegengesteld aan H, d.m.v. een hulpmagneet op enige afstand van de opgehangen magneet.

De evenwichtsvergelijking (1) wordt dan:

$$T(\varphi_0 + \varphi) = m \cdot (H - F) \cdot \cos \varphi$$

Gevoeligheid:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial H} = \frac{1}{T/m + (H - F) \cdot \varphi}$$

Temperatuur-afhankelijkheid:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} = -\alpha \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial H} \cdot (H - 2F)$$

Deze laatste formule is afgeleid in de veronderstelling dat de temp. coëff. van de hulpmagneet gelijk is aan die van de opgehangen magneet. Voor de algemene formules: zie verderop. Kiest men $F \approx \frac{1}{2} H$ dan is de temperatuur-afhankelijkheid te verwaarlozen, ook al wordt de gevoeligheid $\frac{\partial \varphi}{\partial H}$ sterk opgevoerd. Bovendien is dan de verandering van de gevoeligheid met φ (term $(H - F)\varphi$) slechts de helft van deze verandering zonder hulpveld.

Ook de torsiehoek φ_0 wordt tot op de helft gereduceerd.

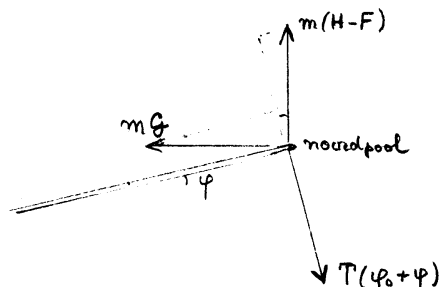
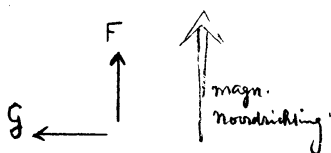
Op de gevoeligheid zelf heeft F echter geen invloed; deze kan, behalve door keuze van de draad, geregeld worden met een hulpveld G loodrecht op H.

- o - o - o -

Met de twee hulpvelden F en G worden de formules als volgt:

Evenwichtsvergelijking:

$$T(\varphi_0 + \varphi) = m \cdot (H - F) \cos \varphi + m \cdot G \cdot \sin \varphi \quad (2)$$



Uit deze evenwichtsvergelijking volgt:

Gevoeligheid:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial H} = \frac{1}{T_m - G + (H-F) \cdot \varphi} \quad (3)$$

Temperatuurafhankelijkheid:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} = -\alpha \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial H} \{ H - (1 + \beta_1/\alpha) F - (1 + \beta_2/\alpha) G \cdot \varphi \} \quad (4)$$

α = temp. coëfficiënt opgehangen magneet
 $\beta_{1,2}$ = temp. coëfficiënten van de hulpmagneten.

$$\frac{\partial m}{\partial t} = -\alpha \cdot m$$

$$\frac{\partial F}{\partial t} = -\beta_1 \cdot F$$

$$\frac{\partial G}{\partial t} = -\beta_2 \cdot G$$

Stelt men: $\beta_1 = \beta_2 = \alpha$ dan is

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} = -\alpha \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial H} (H - 2F - 2G \cdot \varphi)$$

Ook hierbij moet dus, om de temperatuurafhankelijkheid zo klein mogelijk te maken, $F = \frac{1}{2} H$ gekozen worden.

De gevoeligheid is dan:

(zie (3))

$$\frac{\partial \varphi}{\partial H} = \frac{1}{T_m - G + \frac{1}{2} H \cdot \varphi}$$

Voor een "normale" draad bleek $T_m \approx 0,17$ te zijn (zie bl. 2).

Een 5x zo grote gevoeligheid wordt bereikt met $T_m - G \approx 0,035$

De term $|\frac{1}{2} H \cdot \varphi|$ veroorzaakt de verandering van de gevoeligheid met φ . Wegens $\varphi < 0,05$ (uiterste bereik van de registrering) is deze term $< 0,025 H$.

Voor een tropisch station geldt $|\frac{1}{2} H \varphi| \leq 0,01$. De gevoeligheid in de uiterste standen is dan: $\frac{1}{0,025}$ resp. $\frac{1}{0,045}$, dus is er toch nog een aanzienlijk verschil.

Men kan dit verschil nog wat verminderen, ten koste van de temperatuur-onafhankelijkheid, door F iets groter dan $\frac{1}{2} H$ te nemen. Daarbij kan een zekere temperatuurafhankelijkheid nog met behulp van de optiek gecompenseerd worden.

Men heeft: (zie (4))

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} \cong -\alpha \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial H} \{ H - (1 + \beta_1/\alpha) F \}$$

Als de gevoeligheid $\frac{\partial \varphi}{\partial H}$ 5x de normale grootte heeft, zal, om dezelfde of kleinere temperatuurafhankelijkheid te krijgen als in het normale geval, moeten gelden:

$$|H - (1 + \beta_1 \alpha) F| \leq \frac{1}{5} H$$

waaruit volgt:

$$F \leq \frac{6}{5(1 + \beta_1 \alpha)} \cdot H$$

Ingeval $\beta_1 = \alpha$ is, neme men dus $F = \frac{3}{5} H$. De temperatuurafhankelijkheid is dan gelijk aan de normale, die gecompenseerd kan worden met de optiek. Alleen het teken is tegengesteld, dus de lamel waaraan het prisma hangt moet omgedraaid worden.

Voor de verandering van de gevoeligheid met φ vindt men dan 20% (naar weerszijden) bij $\varphi = 0,05$ (afwijking van 17 cm van de normale stand).

Opmerking

Men kan in de praktijk de grootte van het aangelegde hulpveld F bepalen door de torsiehoek φ_0 af te lezen zònder hulpveld en met hulpveld.

$$\begin{aligned} \text{Men heeft: } T \varphi_0 &= m \cdot H_0 \\ T \varphi_{0F} &= m \cdot (H_0 - F) \end{aligned}$$

$\frac{\pi}{2} + \varphi_0$ is de hoek waarover de torsiekop gedraaid moet worden om de magneet uit zijn stand $\parallel H$ te brengen in de stand $\perp H$. Men heeft dus een hulpveld $F = \alpha \cdot H_0$ aangelegd als blijkt dat deze hoek teruggebracht is tot $\frac{\pi}{2} + (1 - \alpha) \cdot \varphi_0$ ($= \frac{\pi}{2} + \varphi_{0F}$)

Samenvatting

De gevoeligheid van de H-variometer kan vergroot worden door een dunnere kwartsdraad te nemen (voor zover deze nog de vereiste tordering toelaat) en verder ad libitum met een labiliserend hulpveld G loodrecht op H . Tengevolge van de vergroting van de gevoeligheid ontstaat:

- a. een even sterke vergroting van de temperatuurafhankelijkheid;
- b. een niet meer te verwaarlozen verandering van de gevoeligheid met de afwijking.

De temperatuurafhankelijkheid kan tot normale proporties teruggebracht worden door het aanleggen van een hulpveld F , tegengesteld aan H en $\cong \frac{1}{5} H$. Tevens wordt daarmee de verandering van de gevoeligheid met de afwijking verminderd, maar deze blijft vrij aanzienlijk.