

In MIR-20 is een vervolg op het artikel met als titel 'De Tacheometer-liniaal' aangekondigd. Hierna een poging om het nut en de uitvoering van deze liniaal toe te lichten.

Tachymetrie

Tachymetrie (= snel-meting) is in de landmeetkunde een methode van detailmeting waarbij met een theodoliet, voorzien van een optische of elektro-optische afstandmeter (tachymeter), de richtingen, afstanden en, zo nodig, de hoogteverschillen naar terreinpunten wordt gemeten. Op deze punten wordt daartoe een baak resp. een reflector geplaatst. De bepaling van de standplaats geschiedt meestal met veelhoeksmeting; de metingen hiervoor worden eveneens met de tachymeter uitgevoerd.

Het instrument waarmee tachymetrie wordt uitgevoerd kent verschillende benamingen (die niet altijd eenduidig zijn, zie ook het kader hiernaast):

Ned: tachimeter, tachymeter of tacheometer, tachymeter-theodoliet, theodoliet-boussole

Eng: tachymeter, stadia

Du: tachymeter

Fr: stadia (= afstandsmeter)

Een tachymeter, een combinatie van hoek- en lengtemeter, kan een 'gewone' theodoliet zijn, voorzien van twee extra horizontale draden (afstandsmeter van Reichenbach).

Theodoliet

Een theodoliet, gebruikt in de landmeetkunde, dient voor het meten van zowel horizontale als verticale hoeken. Het instrument staat meestal op een statief, gecentreerd boven een terreinpunt. Het bestaat uit een kijker die verticaal kan draaien om een 'eerste' as en horizontaal om een 'tweede' as. De kijker is een zogenaamde richtkijker, voorzien van een

dradenkruis. Met behulp van een index en een verdeling kan het aantal graden verdraaiing worden afgelezen.

Meestal wordt de centesimale verdeling toegepast, waarbij een rechte hoek in 100 graden wordt verdeeld, onderverdeeld in centigraden (honderdste) en decimilligraden (tienduizendste).

In Angelsaksische landen gebruikt men de sexagesimale graden (90E in een rechte hoek) onderverdeeld in minuten en seconden.

Boussole

Een boussole is een instrument waarmee de hoek tussen de richting van het magnetische noorden en de te meten richting kan worden bepaald. In principe is de werking van een boussole als die van een kompas. Bij een

boussole met magneet-naald is de nauwkeurigheid niet bijzonder groot.

Tachymeter

De kijker van de tachymeter is gewoonlijk voorzien van drie horizontale draden. De afstand van de twee uiterste draden is meestal 1/100 van den brandpuntsafstand van het objectief; constante $c = 100$. De kijker wordt bij horizontale vizierlijn gericht op een in centimeters verdeelde, loodrecht geplaatste baak. Het aantal cm dat tussen de twee uiterste draden

wordt afgelezen, is gelijk aan het aantal meters, dat de baak van het instrument verwijderd is. Dit is echter alleen het geval, wanneer de kijker van een zogenaamde centraliserende lens is voorzien (afstandsmeter van Porro). Is dit niet het geval, dan moet de gevonden afstand met een zeker bedrag (constante $B =$ brandpuntsafstand objectief + afstand objectief tot draaipunt tweede as) vermeerderd worden. (afstandsmeter van Reichenbach)

Toerenteller

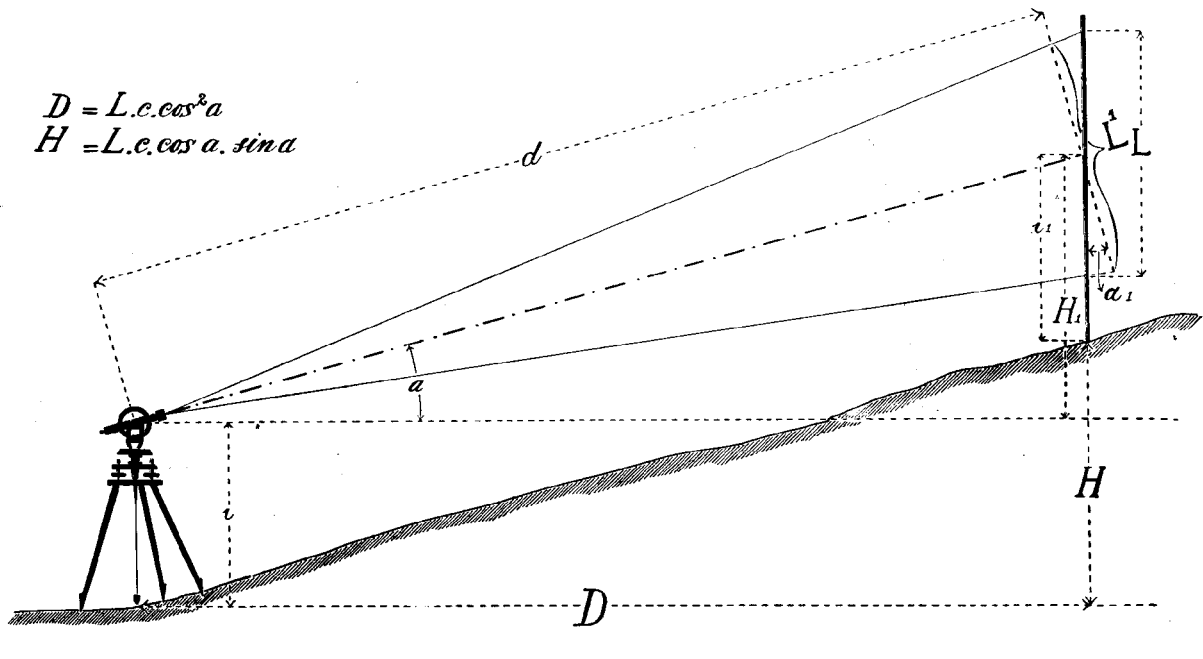
Het instrument dat dient om het aantal omwentelingen (eventueel per tijdseenheid) van een draaiende as te meten, noemen we in de praktijk meestal toerenteller, maar is ook bekend als:

Ned: tachometer of tacheometer, rotatiefrequentiemeter

Eng: tachometer, rev counter, rev indicator

Du: Umlaufzähler, Drehzahlmesser (NB; snelheidsmeter, Du: Tach(e)ometer)

Fr: compteur de tours, comte tours, tachimètre



Figuur 1

Als bij hellende vizierlijn op de baak wordt gericht (fig. 1), dan wordt op de baak de lengte L afgelezen.

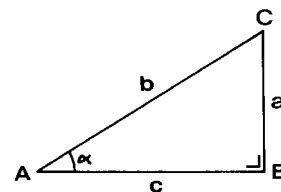
Omdat de hoeken \acute{a} en \acute{a}' gelijk zijn, is bij benadering $L' = L \cdot \cos \acute{a}$ (zie ook fig. 3). De afstand d wordt dan $d = c \cdot L \cdot \cos \acute{a}$.

De afstand $D = d \cdot \cos \acute{a}$. Ingevuld wordt het bij de afstandmeter;

van Porro: $D = c \cdot L \cdot \cos^2 \acute{a}$

van Reichenbach: $D = c \cdot L \cdot \cos^2 \acute{a} + B \cdot \cos \acute{a}$.

goniometrische functies

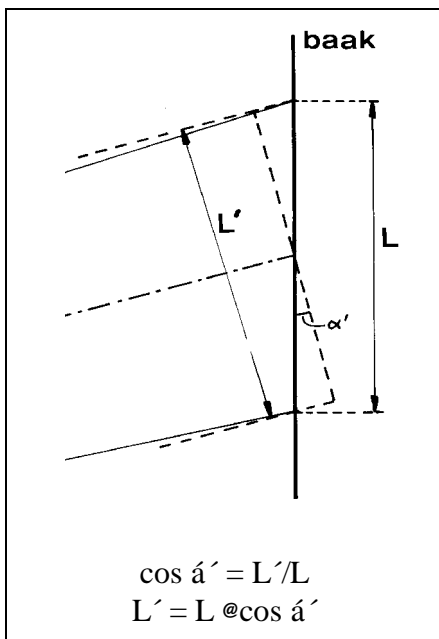


$$\sin \acute{a} = a/b$$

$$\cos \acute{a} = c/b$$

$$\text{tg } \acute{a} = a/c$$

Figuur 2



Figuur 3

Omdat de grootte B meestal gering is (0,3 à 0,4 m), wordt het verschil tussen $B \cdot \cos \acute{a}$ en $B \cdot \cos^2 \acute{a}$ gewoonlijk verwaarloosd, men stelt dan:

$$D = (c \cdot L + B) \cos^2 \acute{a}.$$

Uit $d = c \cdot L \cdot \cos \acute{a}$ en $H = d \cdot \sin \acute{a}$ volgt;

het hoogteverschil H is bij de afstandmeter:

van Porro $H = c \cdot L \cdot \cos \acute{a} \cdot \sin \acute{a}$.

van Reichenbach $H = c \cdot L \cdot \cos \acute{a} \cdot \sin \acute{a} + B \cdot \sin \acute{a}$.

waarbij men het kleine verschil tussen $B \cdot \sin \acute{a}$ en $B \cdot \cos \acute{a} \cdot \sin \acute{a}$ gewoonlijk verwaarloosd, waaruit volgt

$$H = (c \cdot L + B) \cos \acute{a} \cdot \sin \acute{a}.$$

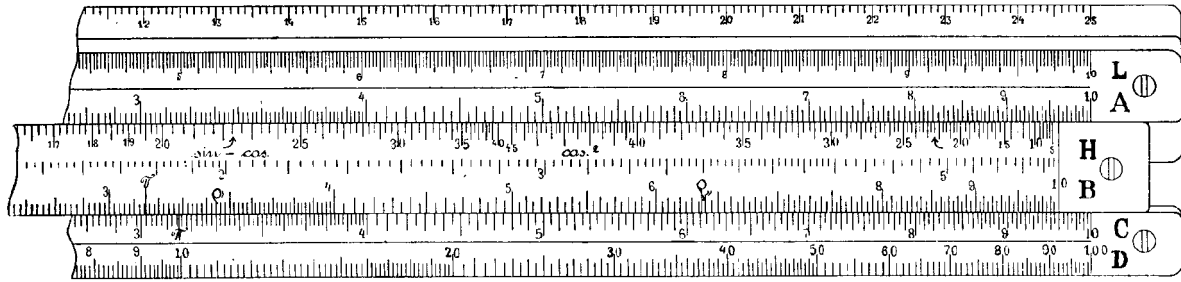
Bij figuur 3: De kleine onnauwkeurigheid in bovenstaande formules ontstaat door het verschil in de maat L van de evenwijdige gestreepte lijnen en de convergerende getrokken lijnen vanaf de kijker.

Tachymeter-liniaal

Tachymeter-rekenliniaalen worden gemaakt voor zowel sexagesimale als centesimale verdeling. Hierna volgt een beschrijving van een rekenliniaal met sexagesimale verdeling. De rekenliniaalen met centesimale verdeling zijn wat betreft uitvoering hetzelfde.

Voor het berekenen van de horizontale afstand en het hoogteverschil zijn speciale verdelingen in $\sin \cdot \cos$. en \cos^2 op de liniaal aangebracht. De tachymeter-liniaal kenmerkt zich dan ook door deze schaal; de 'H-schaal'.

In fig. 4 is een gedeelte van een tacheometrische rekenliniaal weergegeven.



Figuur 4

Schaal H: $\sin \cdot \cos$ - en \cos^2 -schaal

De verdeling $\sin \cdot \cos$ (H) op de schuif bestaat uit twee delen, de middelste en de bovenste schaal.

De middelste begint links met $0E35'$. Tot $2E$ is de verdeling in minuten; van $2E$ tot aan het einde van deze schaal ($= 5E44'$) klimt zij telkens met $2'$ op.

Deze verdeling gaat door op de bovenste schaal van de schuif links, waar de eerste verdeelstreep $5E46'$ is en die doorgaat tot $40E$.

Tot $6E$ heeft elke streep een waarde van $2'$, van $6E-15E$ is de verdeling in $5'$, van $15E-20E$ in $10'$, van $20E-30E$ in $20'$, en van $30E-40E$ in $\frac{1}{2}E$ aangebracht.

Op de bovenste schaal van de schuif kan ook \cos^2 worden afgelezen. Deze schaal loopt van *rechts* naar *links*, van $5E-45E$.

Tot $15E$ is de verdeling in $1E$, van $15E-20E$ in $\frac{1}{2}E$, en van $20E-40E$ in $20'$, en van $40E-45E$ in $10'$ aangebracht.

De schalen L, A, B, C en D zijn zoals gewoonlijk.

Ook de achterzijde van de schuif heeft de 'normale' schalen S ST T.

Berekening van het hoogteverschil en de horizontale afstand.

Beide berekeningen kan men meestal met slechts één instelling van de schuif uitvoeren, doordat de verdelingen $\sin \cdot \cos$ en \cos^2 over elkaar liggen.

De formule voor de horizontale afstand is: $D = c \cdot L \cdot \cos^2 \acute{\alpha}$, dus een vermenigvuldiging van $c \cdot L$ met $\cos^2 \acute{\alpha}$, welke wordt verricht met behulp van de verdeling \cos^2 en A.

Voorbeeld 1

Aflezing baak: 96 cm, hoek $\acute{\alpha} = 22E20'$, de constante $c = 100$.

Gevraagd: de horizontale afstand.

Men stelt de eindstreep van de verdeling \cos^2 (rechts) in op 96 van de verdeling A en leest dan bij $22E20'$ van de verdeling \cos^2 de uitkomst op A af: 82,2 meter (zie fig. 4).

De formule voor het hoogteverschil is:

$H = c \cdot L \cdot \cos \acute{\alpha} \cdot \sin \acute{\alpha}$, dus een vermenigvuldiging van $c \cdot L$ met $\cos \acute{\alpha} \cdot \sin \acute{\alpha}$.

Men kan nu zonder de schuif te verplaatsen, direct ook het hoogteverschil vinden, en leest daartoe (links op de H-schaal) boven de streep voor $22E20'$ van de verdeling $\sin \cdot \cos$ de uitkomst af: 3,37 meter (zie fig. 4).

Andere voorbeelden:

2. Aflezing baak:

83 cm, hoek $\acute{a} = 18E$, $c = 100$.

Uitkomst: $D = 78,9$ m, $H = 18,2$ m.

3. Aflezing baak:

73,5 cm, hoek $\acute{a} = 30E10'$, $c = 100$.

Uitkomst: $D = 54,95$ m, $H = 31,97$ m.

4. Aflezing baak:

48 cm, hoek $\acute{a} = 17E40'$, $c = 100$.

Uitkomst: $D = 43,6$ m, $H = 13,88$ m.

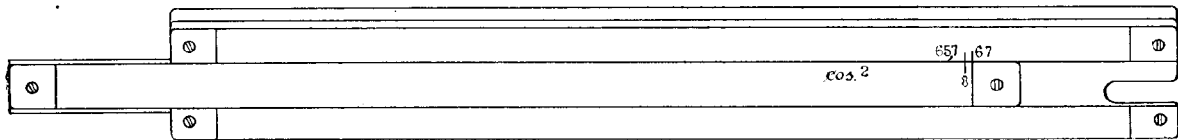
Echter niet altijd kan men met één instelling èn hoogteverschil èn horizontale afstand aflezen.

Men moet in dat geval voor de bepaling van de horizontale afstand met de indexstreep *rechts* van de verdeling \cos^2 en voor het hoogteverschil met de indexstreep *links* der verdeling $\sin \cdot \cos$ instellen.

Voorbeeld 5

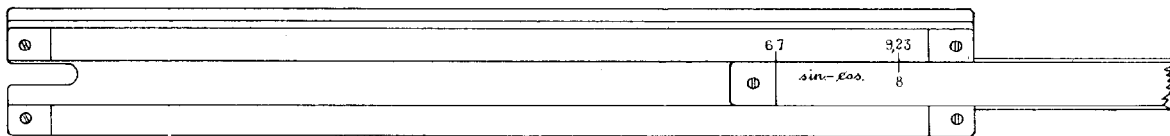
Aflezing baak: 67 cm, hoek $\acute{a} = 8E$, $c = 100$.

Stelt men nu de indexstreep van de verdeling \cos^2 in op 67 van A, dan valt de verdeling $\sin \cdot \cos$ buiten de liniaal. Men kan dus alleen \cos^2 aflezen. Uitkomst = 65,7 m (zie fig. 5).



Figuur 5

Voor de bepaling van het hoogteverschil stelt men de indexstreep van $\sin \cdot \cos$ in op 67 van A, en leest dan bij 8E de uitkomst af: 9,23 m (zie fig. 6).



Figuur 6

Voorbeeld 6

Aflezing baak: 345 cm, hoek $\acute{a} = 15E15'$,

$c = 100$.

Uitkomst: $D = 321$ m, $H = 87,56$ m.

Wil men voor hoeken, kleiner dan 5E de horizontale afstand zo nauwkeurig mogelijk berekenen dan herleid men de formule:

$$\begin{aligned}
 D &= c \cdot L \cdot \cos^2 \acute{a} \text{ op de volgende wijze:} \\
 D &= c \cdot L \cdot \cos^2 \acute{a} \quad (\sin^2 \acute{a} + \cos^2 \acute{a} = 1) \\
 &= c \cdot L \cdot (1 - \sin^2 \acute{a}) \\
 &= c \cdot L - c \cdot L \cdot \sin^2 \acute{a}
 \end{aligned}$$

Dat betekent, als men de vorm $c \cdot L \cdot \sin^2 \acute{a}$ berekent, deze daarna van $c \cdot L$ kan worden afgetrokken.

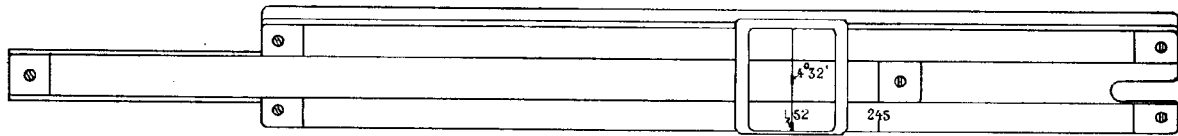
De berekening van $c \cdot L \cdot \sin^2 \acute{a}$ wordt gedaan

door $c \cdot L$ met de looper op de verdeling D in te stellen. Hierboven wordt de begin- of eindstreep van de verdeling geplaatst, en bij de hoek \acute{a} van de verdeling $\sin \cdot \cos$ het resultaat met behulp van de looper op D afgelezen. Deze uitkomst wordt van $c \cdot L$ afgetrokken.

Voorbeeld 7

Aflezing baak: 345 cm, hoek $\acute{a} = 4E32'$, $c = 100$.

Uitkomst: $D = c \cdot L - c \cdot L \cdot \sin^2 \acute{a} = 245 - 1,52 = 243,8$. Men stelt met de indexstreep de looper in op 245 van de verdeling D, stelt vervolgens de eindstreep van de verdeling H, onder deze indexstreep, en leest bij 4E32' van de verdeling $\sin \cdot \cos$ de uitkomst met de looper op D af. Men trekt nu 1,52 van 245 af (zie fig. 7).



Figuur 7

Andere voorbeelden:

8. Aflezing baak: 132 cm, hoek $\alpha = 3E15'$, $c = 100$.
 Uitkomst: $D = 132 \text{ m} - 0,42 \text{ m} = 131,58 \text{ m}$.
9. Aflezing baak: 46 cm, hoek $\alpha = 2E25'$, $c = 100$.
 Uitkomst: $D = 46 \text{ m} - 0,082 \text{ m} = 45,918 \text{ m}$.

Nauwkeurigheid van de liniaal.

Na enige oefening, kan men de tacheometrische berekeningen vlugger uitvoeren dan met een tafel. De gemiddelde nauwkeurigheid daarbij is:

- voor horizontale afstanden 1 decimeter.
- voor hoogteverschillen 1 centimeter.

Ten slotte

Mede door verschillende reacties van Kringleden was ik extra gemotiveerd tot het schrijven van bovenstaand artikel. Ton van Oosterhout was zo aardig om me een Nestler Geometer rekenliniaal ter beschikking te stellen. Bedankt Ton!

Voor kritische en/of aanvullende opmerkingen naar aanleiding van de 'tachymeterliniaal' houdt ik me aanbevolen.

Geraadpleegde literatuur:

- Handleiding bij het gebruik der rekenliniaal, Instrumentenfabriek "Physica", G. de Koningh, Arnhem (ca. 1930)
 (waaruit ook de figuren 1 en 4 t/m 7, alsmede delen uit de tekst)
- Landmeten en Waterpassen - platen, Schols, Mil. Academie, 5e dr. 1895
- Landmeten en Waterpassen, Muller/Scheffer, Stam - Haarlem, 1e dr. 1948 en 3e dr. 1961
- Landmeten en Waterpassen, Van Leusen, Waltman - Delft, 4e dr. 1936
- Winkler Prins - Technische encyclopedie, 90 10 01350 2, Elsevier - Amsterdam, 1978