De ‘Tacheometer-liniaal’

H.J. van Dooren

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-meeting) 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).

> **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

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.

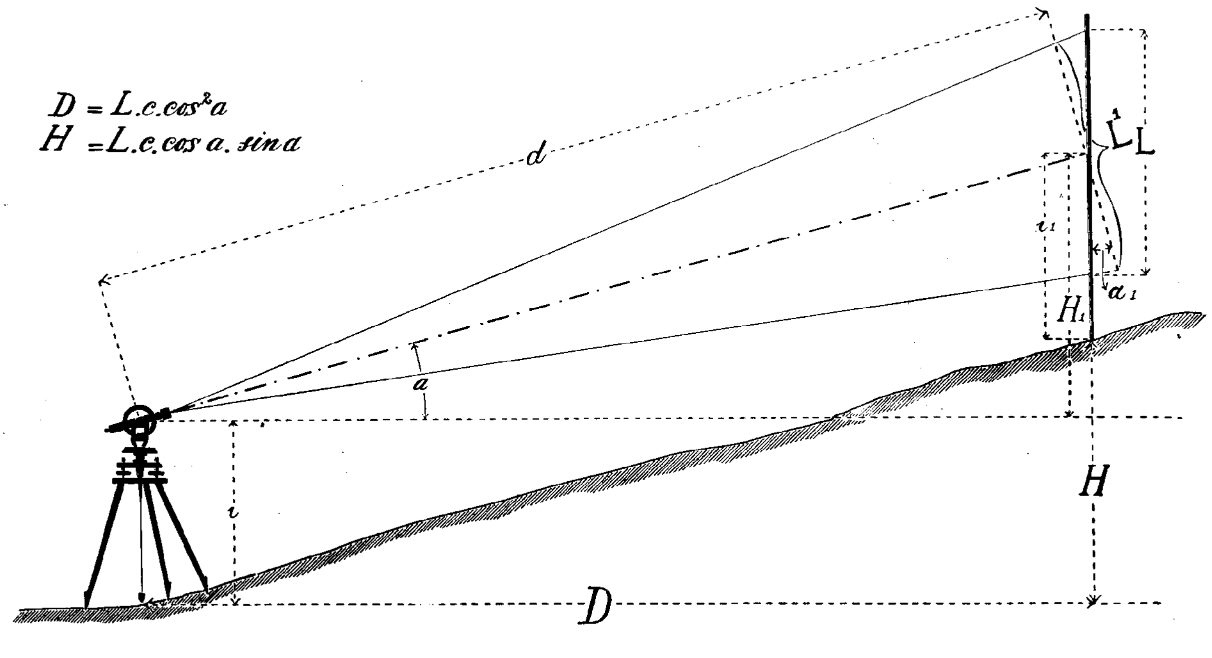
Boussole

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 (afstandmeter 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. (afstandmeter van Reichenbach)

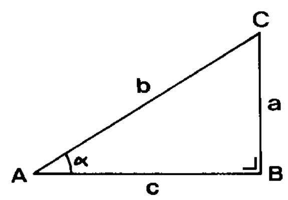


Figuur 1

Als bij hellende vizierlijn op de baak wordt gericht (fig. 1), dan wordt op de baak de lengte L afgelezen.
Omdat de hoeken *á* en *á´* gelijk zijn, is bij benadering L´ = L · cos *á* (zie ook fig. 3). De afstand *d* wordt dan *d* = c · L· cos á.

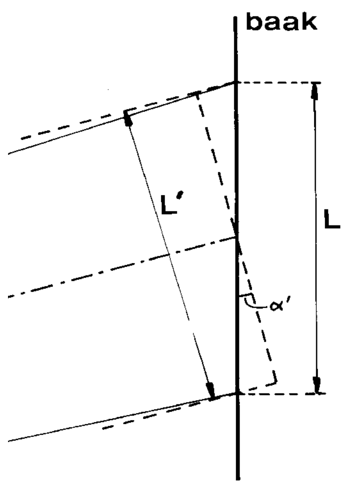
De afstand *D* = *d*· cos á. Ingevuld wordt het bij de afstandmeter;
van Porro: *D* = c·L · cos^2 *á*
van Reichenbach: *D* = c·L·cos^2 *á* + *B*· cos *á*.

goniometrische functies



sin á = a/b
cos á = c/b
tg á = a/c

Figuur 2



cos á´ = L´/L
L´ = L · cos á´

Figuur 3

Omdat de grootte *B* meestal gering is (0,3 à 0,4 m), wordt het verschil tussen *B*·cos á en *B*·cos^2 á gewoonlijk verwaarloosd, men stelt dan:

D = (c·L + *B*) cos^2 á.

Uit *d* = c·L·cos á en *H* = *d*·sin á volgt;
het hoogteverschil *H* is bij de afstandmeter:
van Porro *H* = c·L·cos á·sin á.
van Reichenbach *H* = c·L·cos á·sin á + *B*·sin á.
waarbij men het kleine verschil tussen *B*·sin á en *B*·cos á·sin á gewoonlijk verwaarloosd, waaruit volgt

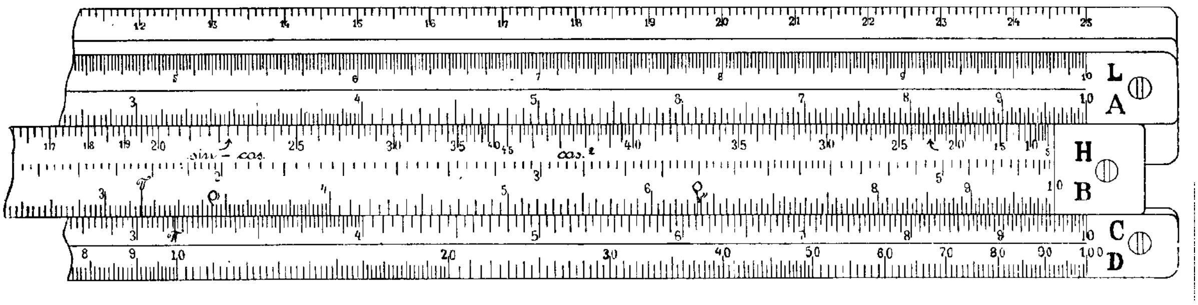
H = (*c*·*L* + *B*)cos *á* · sin *á*.

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

Voor het berekenen van de horizontale afstand en het hoogteverschil zijn speciale verdelingen in sin·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·cos- en $\cos^2$-schaal

De verdeling sin·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 ½E 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 ½E, 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·cos en $\cos^2$ over elkaar liggen.
De formule voor de horizontale afstand is:
$D = c \cdot L \cdot \cos^2 á$, dus een vermenigvuldiging van $c \cdot L$ met $\cos^2 á$, welke wordt verricht met behulp van de verdeling $\cos^2$ en A.

Voorbeeld 1

Aflezing baak: 96 cm, hoek á = 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:
$H = c \cdot L \cdot \cos á \cdot \sin á$, dus een vermenigvuldiging van $c \cdot L$ met $\cos á \cdot \sin á$.
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·cos de uitkomst af: 3,37 meter (zie fig. 4).

Andere voorbeelden:

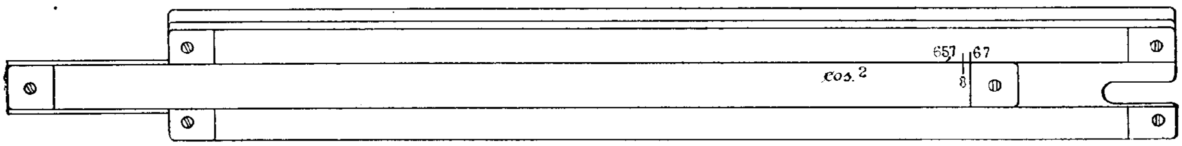
2. Aflezing baak:
   83 cm, hoek á = 18E, c = 100.
   Uitkomst: *D* = 78,9 m, *H* = 18,2 m.
3. Aflezing baak:
   73,5 cm, hoek á = 30E10', c = 100.
   Uitkomst: *D* = 54.95 m, *H* = 31,97 m.
4. Aflezing baak:
   48 cm, hoek á = 17E40', c = 100.
   Uitkomst: *D* = 43,6 m, *H* = 13,88 m.

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.cos* instellen.

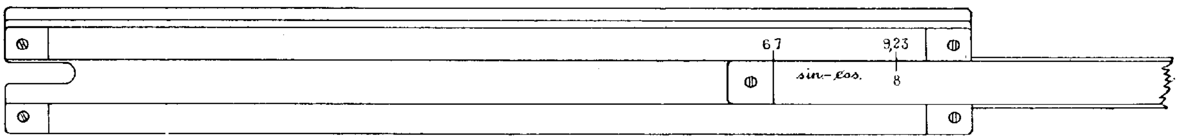
Voorbeeld 5

Aflezing baak: 67 cm, hoek á = 8E, c = 100.
Stelt men nu de indexstreep van de verdeling cos^2 in op 67 van A, dan valt de verdeling sin.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.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 á = 15E15',
c = 100.
Uitkomst: D = 321 m, H = 87,56 m.

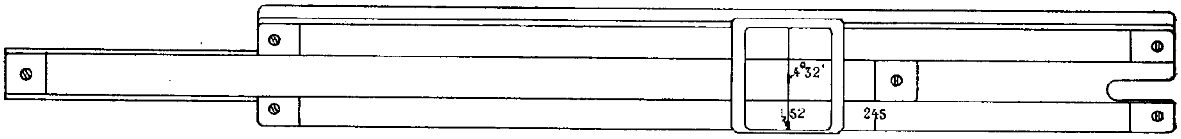
Wil men voor hoeken, kleiner dan 5E de horizontale afstand zo nauwkeurig mogelijk berekenen dan herleid men de formule:

D = c·L·cos^2 á op de volgende wijze:
D = c·L·cos^2 á (sin^2 á + cos^2 á = 1)
= c·L· (1-sin^2 á)
= c·L - c·L·sin^2 á

Dat betekent, als men de vorm c·L·sin^2 á berekent, deze daarna van c·L kan worden afgetrokken.
De berekening van c·L·sin^2 á wordt gedaan door c·L met de loper op de verdeling D in te stellen. Hierboven wordt de begin- of eindstreep van de verdeling geplaatst, en bij de hoek á van de verdeling sin·cos het resultaat met behulp van de loper op D afgelezen. Deze uitkomst wordt van c·L afgetrokken.

Voorbeeld 7

Aflezing baak: 345 cm, hoek á = 4E32', c = 100.
Uitkomst: *D* = c·L - c·L·sin^2 á = 245 - 1,52 = 243,8. Men stelt met de indexstreep de loper 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· cos de uitkomst met de loper op D af.
Men trekt nu 1,52 van 245 af (zie fig. 7).



Figuur 7

Andere voorbeelden:

8. Aflezing baak: 132 cm, hoek á = 3E15', c = 100.
   Uitkomst: *D* = 132 m - 0,42 m = 131,58 m.
9. Aflezing baak: 46 cm, hoek á = 2E25', c = 100.
   Uitkomst: *D* = 46 m - 0,082 m = 45,918 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