

ANDRZEJ KAWALEC, STANISŁAW KRUPINSKI

Koincydencyjna metoda pomiaru średnicy drzewa stojącego

Метод совпадения измерений диаметра растущего дерева

Coincident method of diameter measurement of standing tree

1. WSTĘP

Rozwój metod pomiaru miąższości drzewostanu i jej przyrostu opartych na pomiarze drzew stojących zmierza w kierunku osiągnięcia coraz większej dokładności. Jedną z dróg prowadzących do tego celu jest pomiar wysokich średnic drzewa stojącego.

Stosowane w innych krajach zmodyfikowane rodzaje klupy umożliwiają pomiar na określonych wysokościach, np. 7 m (5, 6). Są jednak нефункционалне — ze względu na trudności w przenoszeniu i posługiwaniu się nimi. Alternatywą są tu dendrometry optyczne, które można podzielić na dwie podstawowe grupy: a) dendrometry dwuobrazowe, w których pomiar następuje przez zgrywanie dwóch obrazów tego samego obiektu oraz b) dendrometry, w których pomiar następuje przez porównanie obiektu i skali. Przyrządy pierwszej grupy (np. dendometr Barra i Strouda (3) lub dendometr Wheelera (4)) umożliwiają pomiar bez użycia łąty: dowolnej odległości — bez redukcji do poziomu, średnicy i kąta nachylenia celowej. Zastosowanie tych przyrządów ograniczają ich znaczne rozmiary.

Przyrządy grupy drugiej, wykorzystujące wzorce stałych kątów paralaktycznych — jednostki relaskopowe i ich pochodne (1, 2, 7), umożliwiają pomiar średnicy wyrażonej w procentach odległości poziomej. Odległość ta może być zmierzona przyrządem lub w inny sposób, np. taśmą. W porównaniu ze starszymi wersjami przyrządów, gdzie pomiar ograniczał się w zasadzie do zadanych odległości (2), obecnie dąży się do pomiaru z dowolnej odległości od drzewa, nawet kosztem utrudnienia pomiaru przez wprowadzenie dodatkowego wyposażenia i konieczności przeliczeń wyników. Przyrządy tej grupy ze względu na zasadę pomiaru mają znacznie mniejsze rozmiary, co umożliwia np. w przypadku relaskopu swobodną pracę z ręki.

Wadą obu rodzajów przyrządów jest konieczność wykonywania prze-

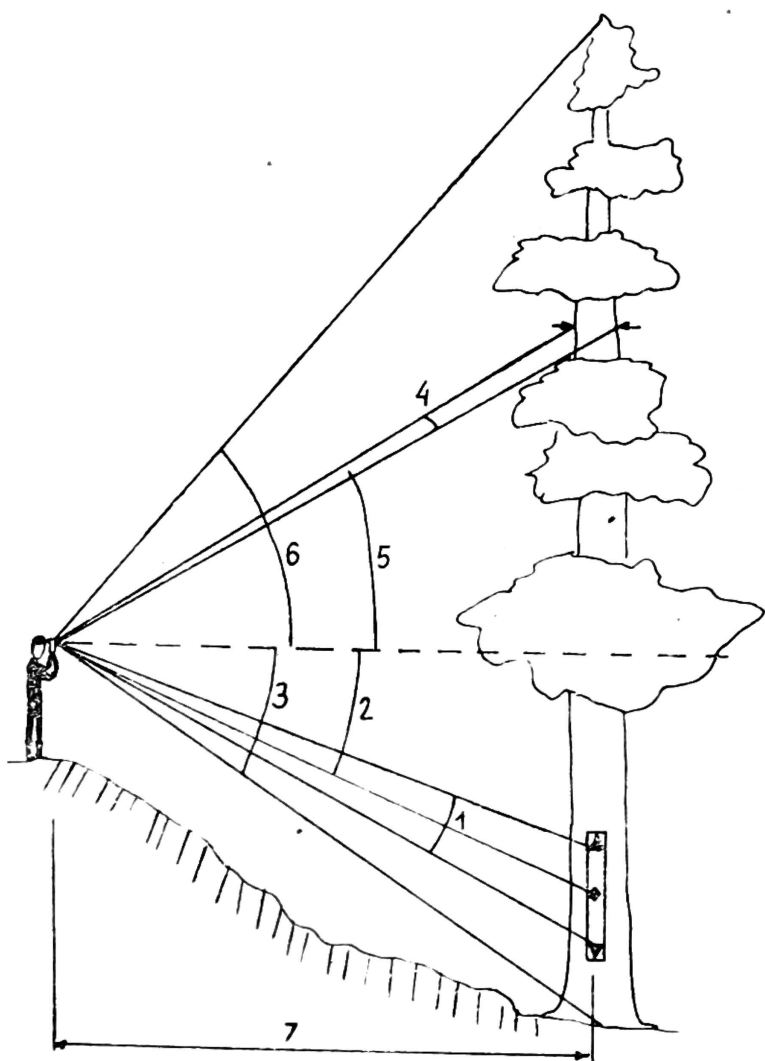
liczeń poza instrumentem w celu uzyskania bezwzględnych wartości elementów mierzonych, tj. odległości poziomej, wysokości lub średnicy.

Opisany w artykule kodimetr, znany też jako dendrometr bębnowy, należy zaliczyć do przyrządów umożliwiających pomiar odległości i średnicy przez określenie wielkości kąta paralaktycznego. Oryginalność przyrządu polega na zastosowaniu koincydencyjnej metody pomiaru kąta paralaktycznego. Dzięki zastosowaniu tej metody oraz specjalnemu systemowi skal, wartość odległości poziomej i średnicy uzyskuje się, dla dowolnej odległości i kąta nachylenia, wprost ze skal instrumentu, bez konieczności dodatkowych przeliczeń.

2. POMIAR POJEDYNCZEGO DRZEWA STOJĄCEGO — ELEMENTY MIERZONE

Podstawowymi elementami mierzonymi w celu określenia wymiarów pnia drzewa są: wysokość całkowita oraz wysokości i średnice wybranych przekrojów pnia. W przypadku zastosowania przyrządu optycznego do określenia tych wielkości niezbędna jest ponadto znajomość odległości poziomej od obserwatora do drzewa. Przyjmując, że określenie tych wielkości będzie oparte na paralaktycznym pomiarze odległości i średnicy, można wyodrębnić trzy etapy pomiaru drzewa stojącego:

— odległość pozioma od drzewa zostaje określona na podstawie wiel-



Ryc. 1. Pomiar pojedynczego drzewa stojącego — zależności geometryczne: 1 — kąt paralaktyczny pod którym widoczna jest łąta, 2 — kąt nachylenia celowej do środka łąty, 3 — kąt nachylenia celowej do podstawy drzewa, 4 — kąt paralaktyczny pod jakim widoczna jest średnica wybranego przekroju pnia, 5 — kąt nachylenia do środka przekroju, 6 — kąt nachylenia celowej do wierzchołka drzewa, 7 — odległość pozioma od obserwatora do drzewa.

kości kąta pod jakim widoczny jest pionowy odcinek o znanej długości — łąta (ryc. 1 p. 1) oraz kąta nachylenia celowej do środka tego odcinka (ryc. 1 p. 2),

— wysokość całkowita zostaje określona na podstawie znanej odległości poziomej oraz kątów nachylenia do podstawy (ryc. 1 p. 3) i wierzchołka drzewa (ryc. 1 p. 6),

— wielkość średnicy i wysokości dowolnego przekroju pnia zostaje określona przez pomiar kąta pod jakim widoczna jest średnica (ryc. 1 p. 4) oraz kąt nachylenia celowej do przekroju (ryc. 1 p. 5).

Dotychczas stosowane systemy pomiarowe umożliwiają pomiar kąta paralaktycznego przez porównanie ze skalą o stałych jednostkach (np. jednostki relaskopowe). Pociąga to za sobą konieczność zliczania działek i oszacowywania pozostałej części działki. Dokładność tego oszacowania decyduje o błędzie odczytu.

3. KOINCYDENCYJNY SPOSÓB POMIARU KĄTA PARALAKTYCZNEGO I WZORY PRZELICZENIOWE

Drogą podniesienia dokładności pomiaru i uproszczenia odczytu jest zastosowanie koincydencyjnego sposobu pomiaru kąta paralaktycznego. Obraz łąty lub drzewa jest tu wtedy koincydowany z obrazem pasma pomiarowego, którego szerokość może być płynnie zmieniona przez obserwatora.

Zależność między poszukiwanymi wielkościami odległości i średnicy a mierzonymi kątami paralaktycznymi wyrażają wzory:

— dla średnicy

$$\gamma_d = \arcsin \frac{d}{2L_d} \quad (3.1)$$

gdzie

γ_d — kąt pod jakim widoczna jest średnica drzewa,

d — średnica drzewa,

L_d — odległość do środka przekroju, którego średnicę mierzymy

— dla odległości

$$\gamma_L = 2 \arctg \frac{t}{L} \quad (3.2)$$

gdzie

γ_L — kąt pod jakim widoczna jest łąta

t — długość łąty bazowej

L — odległość od łąty, przy założeniu prostopadłości łąty do celowej.

Na podstawie tych wzorów można przypisać określonym kątom paralaktycznym wartości odległości i średnic, a więc opisać pasmo pomiarowe:

— w jednostkach odległości, przy zadanej długości łąty,

— w jednostkach średnicy, przy zadanej odległości od średnicy (odległości bazowej).

W ogólnym przypadku, aby określić wybraną średnicę i jej wysokość od podstawy drzewa, należy wykonać następujące przeliczenia:

1. Odczyt odległości należy poprawić ze względu na nieprostokątność łąty do celowej, a następnie zredukować do poziomu. Redukcje te opisuje wzór

$$L_x = L_o \cos^2 \alpha_L - \frac{t^2}{4L_o} \cos^2 \alpha_L \quad (3.3)$$

gdzie

- L_x — odległość pozioma
- L_o — odczyt odległości
- α_L — kąt nachylenia celowej do środka łąty
- t — długość łąty pionowej, zawieszanej na drzewie.

Wielkość drugiego składnika jest w większości zastosowań pomijana, a więc można przyjąć, że:

$$L_x = L_o \cos^2 \alpha_L \quad (3.4)$$

2. Znając odległość poziomą oraz kąt nachylenia celowej można przy założeniu pionowości pnia obliczyć odległość od środka przekroju poprzecznego drzewa na podstawie wzoru:

$$L_d = \frac{L_x}{\cos \alpha_d} \quad (3.5)$$

- L_d — odległość ukośna do środka przekroju,
- L_x — odległość pozioma,
- α_d — kąt nachylenia celowej do przekroju.

Rzeczywistą wartość średnicy otrzymuje się przeliczając odczyt średnicy (d_b) w przyjętej odległości bazowej (L_b) za pomocą wzoru:

$$d = d_b \cdot \frac{L_d}{L_b} \quad (3.6)$$

po podstawieniu wzoru (3.5) otrzymując:

$$d = \frac{d_b L_x}{\cos \alpha_d L_b} \quad (3.7)$$

3. Wysokość przekroju od podstawy drzewa jako funkcję odległości poziomej i kątów nachylenia wyraża następujący wzór:

$$H = L_x (\operatorname{tg} \alpha_d - \operatorname{tg} \alpha_p) \quad (3.8)$$

gdzie

- α_d — kąt nachylenia celowej do środka przekroju drzewa,
 - α_p — kąt nachylenia celowej do podstawy drzewa.
- przy czym przyjmuje się, że celowym skierowanym w dół odpowiada ujemny kąt nachylenia.

Wzór ten może również zostać zastosowany do obliczania wysokości całego drzewa.

W wielu przyrządach dendrometrycznych wielkość iloczynu $L_b \cdot \operatorname{tg} \alpha$ oznacza się jako H_L np. $H_{10} = 10 \operatorname{tg} \alpha$, wtedy wzór (3.8) przybrałby następującą postać:

$$H = \frac{L_x}{10} (H_{10^d} - H_{10^p}) \quad \text{dla } L = 10 \text{ m} \quad (3.9)$$

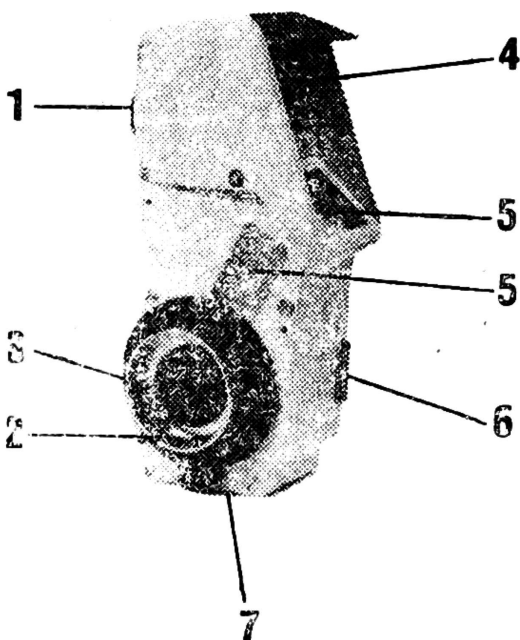
Wzory powyższe mogą być realizowane za pomocą kalkulatora lub nomogramu.

Przeliczenia odczytów za pomocą wzorów 3.4 i 3.7 można uniknąć, jeżeli zostanie odrzucona zasada stałości opisu szerokości pasma pomiarowego. Aktualny, dostosowany do warunków geometrycznych pomiaru, tj. odległości i nachylenia celowej, opis pasma można uzyskać przez odpowiednie przesunięcia skali odczytowej względem pasma. Dzięki temu zabiegowi wielkość odległości poziomej lub średnicy można odczytać w jednostkach bezwzględnych, wprost ze skal instrumentu, bez konieczności wykonywania przeliczeń. Wielkość przesunięcia zostanie określona za pomocą odpowiednich skal pomocniczych. Taka koncepcja systemu pomiaru odległości poziomej i średnicy została zastosowana w kodimetrze.

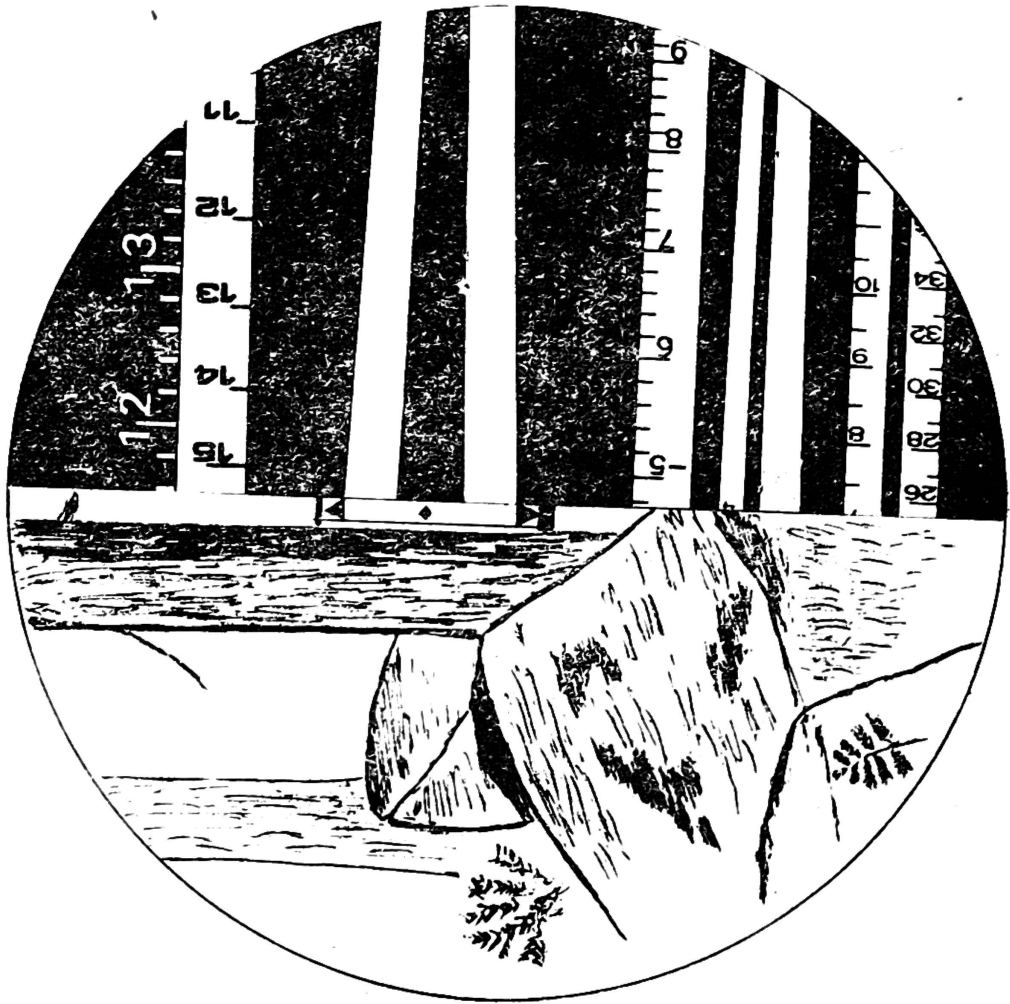
4. KODIMETR — OPIS PRZYRZĄDU

Podstawowym elementem konstrukcji są trzy bębny: inercyjny oraz dwa nastawne — z naniesionymi na ich powierzchni skalami.

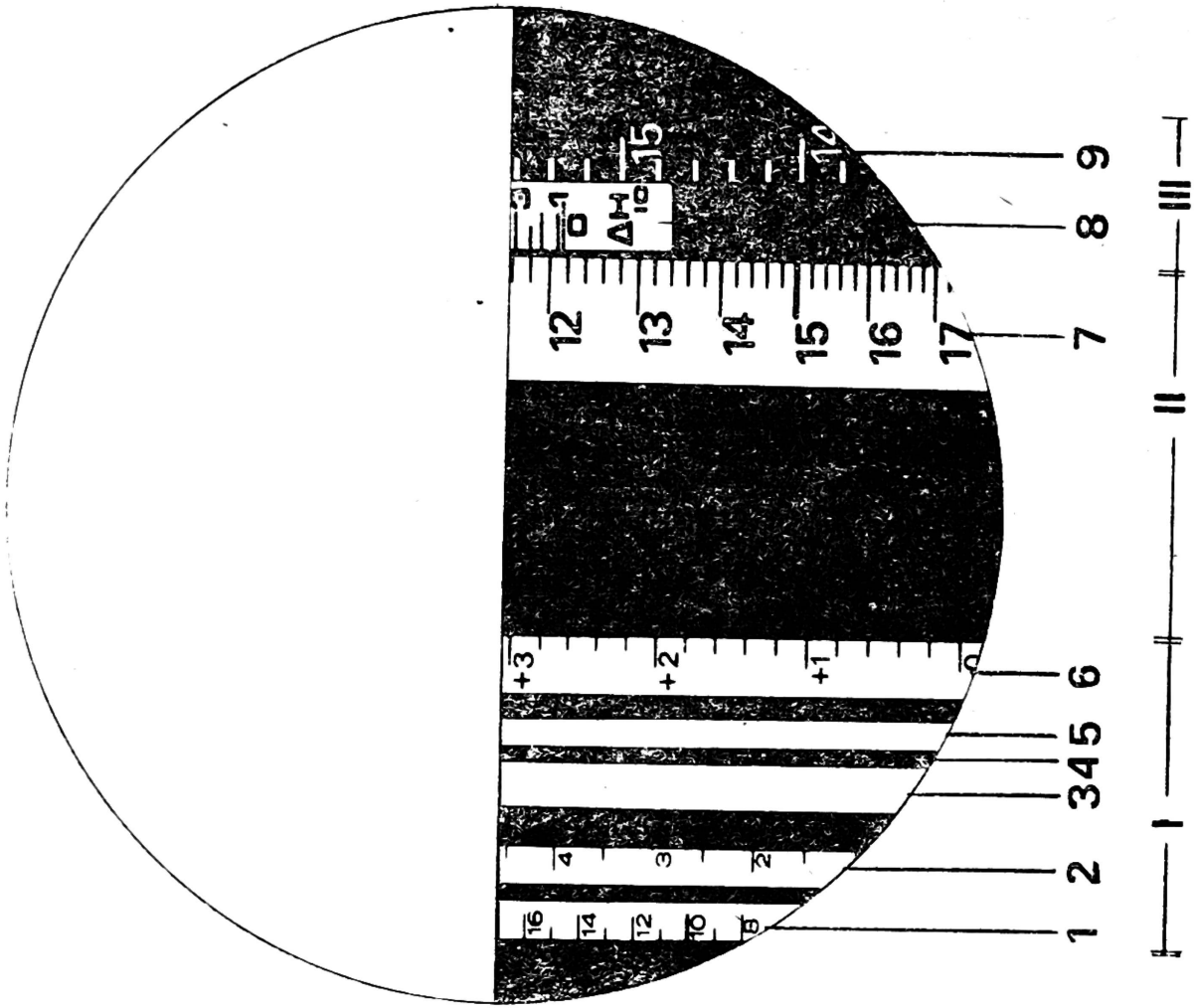
Bębny nastawne mogą się obracać wspólnie lub jeden względem drugiego za pomocą specjalnych pokręteł. Obraz z bębnow przenoszony jest w dolną część pola widzenia. W górnej znajduje się obraz terenu bez powiększenia.



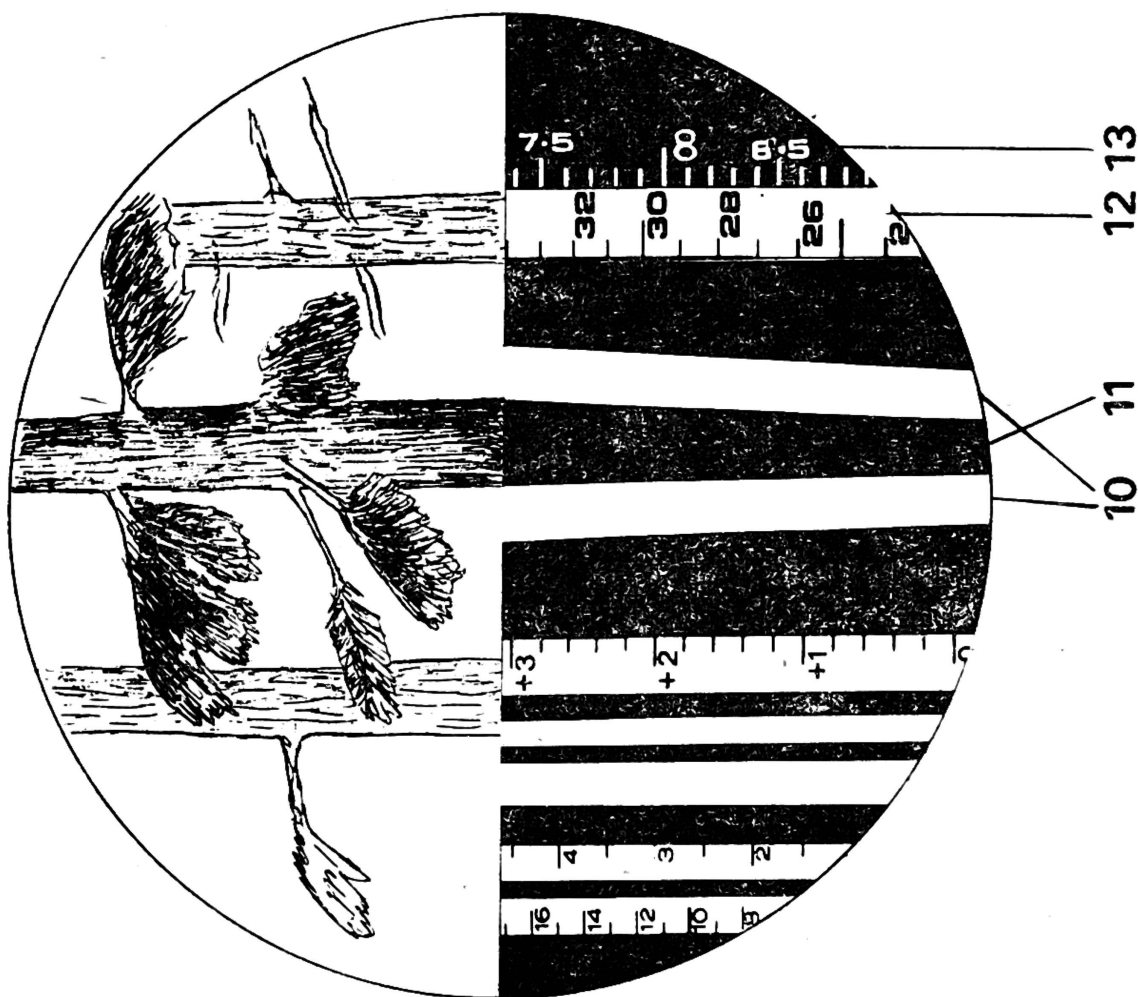
Ryc. 2. Kodimetr — wygląd zewnętrzny: 1 — wizerunek, 2 — pokrętło bębnow nastawnych, 3 — pokrętło bębna diagramów pomiarowych, 4 — okno obserwacyjne, 5 — okno oświetleniowe skal, 6 — hamulec bębna inercyjnego, 7 — gniazdo statywu.



RYC. 3a



RYC. 3b



Ryc. 3. Pole widzenia kodimetru — w trakcie: a — pomiaru odległości, b — wprowadzania danych korekcyjnych przed pomiarem średnicy, c — pomiaru średnicy. I — Bęben inercyjny, II — bęben diagramów pomiarowych, III — bęben skal odczytowych, 1 — skala kąta nachylenia w stopniach, 2 — skala wysokości ΔH_{15} , 3 — pas próby relaskopowej o współczynniku 1, 4 — pas uzupełniający do próby relaskopowej o współczynniku 2, 5 — pas uzupełniający po próbie o współczynniku 4, 6 — skala wysokości ΔH_{10} , 7 — pas pomiarowy odległości, 8 — pas pomiarowy średnicy, 9 — skala odczytowa średnicy, 10 — skala odczytowa odległości, 11 — skala korekcyjna odległości poziomej, 12 i 13 — korekcyjne przewyższenia ΔH_{10} .

RYC. 3c

Bęben inercyjny służy do pomiaru kąta nachylenia celowej, opisywanego poprzez przewyższenie odniesione do odległości bazowej $L_b = 10$ m ($H_{10} = 10 \operatorname{tg}\alpha$). Skala ΔH_{10} jest podstawową skalą w dendrometrze wykorzystywaną do redukcji odległości i średnicy oraz do określenia wysokości. Pozostałe skale umieszczone na tym bębnie poszerzają zakres zastosowania przyrządu. Są to skale relaskopowe, skala wysokości dla odległości bazowej 15 m i skala kąta nachylenia w stopniach.

Do pomiaru odległości i średnicy zastosowano dwa bębny nastawne. Koincydencyjny pomiar długości łąty lub szerokości drzewa jest dokonywany przez obrót obydwu bębnow jednocześnie, aż do zrównania szerokości pasma z obrazem mierzonego obiektu. Ilustrują to ryciny 3a i 3c. Skale opisujące diagramy pomiarowe znajdują się na prawym bębnie nastawnym (ryc. 3c p. 12 i 13). Przesunięcie opisu diagramów o wielkości korekcji realizuje się przez obrót bębnow nastawnych względem siebie. Właściwe przesunięcia zapewniają dodatkowe skale umieszczone na obydwu bębnach (ryc. 3b p. 7, 8 i 9) oraz znak indeksowy.

W układzie skal umieszczonych na bębnach wyraźnie rozdzielono funkcje pomiarowe i korekcyjne tak, aby w polu widzenia nie znajdowało się zbyt wiele elementów, co utrudnia pomiar i może być źródłem omyłek. Z tego samego względu podziałki do przeliczenia wysokości odczytanej na rzeczywistą umieszczono na ścianie bocznej przyrządu. Wyraźnie odróżniono kolorem podziałki do redukcji i odczytu odległości (białe cyfry) od podziałek przeliczeń i odczytu średnicy (czarne cyfry).

5. SPOSÓB POMIARU

Podstawowym pomiarem, niezbędnym dla uzyskania dalszych wyników, jest pomiar odległości. Etapy pomiaru odległości:

a. Po zawieszeniu łąty na drzewie wykonuje się pomiar kąta nachylenia poprzez nacelowanie linią podziału pola na środek łąty i odczyt wielkości przewyższenia (ze skali ΔH_{10} — ryc. 3b p. 6).

b. Po wprowadzeniu w pole widzenia odpowiedniej skali przeliczeniowej (ryc. 3 p. 9) obrotem środkowego bębna przesuwają się indeks znajdujący się na bębnie środkowym tak, by znalazł się naprzeciw odczytanej uprzednio wartości przewyższenia H_{10} . W ten sposób następuje przesunięcie skal odczytowych względem diagramów pomiarowych o wielkość uwzględniającą kąt nachylenia celowej.

c. Pomiar odległości wykonuje się w poziomym położeniu instrumentu, obracając jednocześnie obydwoma bębnami nastawnymi tak, by szerokość białego pasa była równa długości obrazu łąty (ryc. 3a). Odczytana nad diagramem wielkość ze skali o białych cyfrach jest odległością poziomą (w przykładzie $L_x = 11,6$ m). Odczytaną odległość należy powiększyć o połowę średnicy drzewa, jeżeli łąta jest zawieszona od czoła drzewa.

Pomiar średnicy jest analogiczny do pomiaru odległości, tyle tylko, że należy uwzględnić większą liczbę elementów. Kolejność pomiaru jest następująca:

a) celując na wybrany przekrój drzewa odczytuje się wielkość przewyższenia H_{10} (skala 6 na ryc. 3), w przykładzie ΔH_{10} wyniosła +3,1;

b) obracając wzajemnie bębny nastawne należy ustawić naprzeciw: wielkość odległości poziomej (na skali 7 — ryc. 3) i odczyt ze skali ΔH_{10} (na skali 8 — ryc. 3), uwzględniając w ten sposób redukcję ze względu na inną niż bazowa odległość poziomą i kąt nachylenia celowej (ryc. 3b);

c) obracając obydwie bębny razem doprowadza się do koincydencji czarnego pasa z obrazem pnia, jak na ryc. 3c i odczytuje się wartość średnicy (skala 12 — ryc. 3c); w przykładzie $d = 34$ cm.

Pomiar wysokości jest wykonywany podobnie jak we wszystkich przyrządach dendrometrycznych. W przypadku poziomych różnych od 10 do 13 m, otrzymaną na podstawie odczytów ze skali H_{10} wysokość, należy przeliczyć przy pomocy nomogramu umieszczonego na bocznej ścianie przyrządu.

Nomogram składa się z dwóch współśrodkowo umieszczonych kołowych skal:

- nieruchomej wewnętrznej skali ΔH_{10}
- ruchomej zewnętrznej skali odległości zredukowanej i wysokości rzeczywistej.

W celu określenia wysokości należy przez obrót ruchomej skali ustawić wartość odległości poziomej naprzeciw nieruchomego wskaźnika indeksowego. Wysokość rzeczywistą odczytuje się ze skali zewnętrznej naprzeciw wartości odpowiadającej przewyższeniu ΔH_{10} na skali wewnętrznej.

6. PARAMETRY UŻYTKOWE KODIMETRU ZE STANDARDOWĄ WERSJĄ

Kodimetr umożliwia wykonanie następujących pomiarów:

— dowolnej odległości zredukowanej do poziomu z zakresu od 5 do 30 m, przy kącie nachylenia celowej do 65° ,

— średnicy w przedziale od 0,2 do 12% odległości (odczyt wprost dla średnic w przedziale 6—60 cm) przy kącie nachylenia celowej mniejszym od 75° ,

— wysokości z dowolnej odległości przy użyciu skali przewyższeń odniesionej do 10 m (H_{10}) i nomogramu przeliczeniowego lub przy użyciu skal ΔH_{10} i ΔH_{15} umożliwiających prosty odczyt z odległości poziomych równych: 10, 15, 20, 25, 30 m przez sumowanie lub podwajanie odczytów,

— kąt nachylenia z zakresu od -75° do $+75^\circ$ oraz próby relaskopowej o współczynnikach 1, 2, 4 z redukcją do poziomu.

Przyrząd nie ma powiększenia i jest w zasadzie przeznaczony do pracy z ręki, umożliwiając wtedy osiągnięcie dokładności charakteryzowanej następującymi błędami średnimi:

- odległości: 1—2%
- średnicy: 0,03% odległości
- kąt nachylenia: $0,3^\circ$

Podniesienie dokładności można osiągnąć wykorzystując do pomiaru łąkę z podwójnej długości oraz lekki statyw lub podpórkę.

7. ZASTOSOWANIE PRZYRZĄDU

Kodimetr — dendrometr bębnowy jest przyrządem szczególnie przydatnym do pomiaru pojedynczego drzewa stojącego. Zapewnia swobodę wyboru najdogodniejszego ze względu na widoczność pnia, dokładność identyfikacji i kąt nachylenia celowej stanowiska pomiarowego oraz szybki i prosty pomiar średnicy drzewa na dowolnie wybranej wysokości. Szczególne znaczenie ma to w warunkach górskich lub gęstego lasu.

Przyrząd pozwala na szybkie określenie miąższości pojedynczego drzewa stojącego na podstawie pomiaru średnic na zadanych lub dowolnie wybranych częściach wysokości.

Istnieje możliwość wymiany zestawu bębnow instrumentu na bębny wyposażone w skale zwiększające zakres pomiarowy lub przeznaczone do pomiarów specjalnych, np. pomiarów szerokości korony. Zakres zastosowań zwiększa się również w przypadku użycia wraz z dendrometrem bębnowym kalkulatora programowego.

LITERATURA

1. Bitterlich W.: The relascope idea. Comm. Agric. Bureaux 1984.
2. Finlayson W.: The relascope with standard metric scale and wide scale. F.O.B.
3. Pardé J.: Dendrometrie. Nancy: Editions de l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts 1961.
4. Rawart M.: Le compas optique de Wheeler. Rev. For. Fr. 1984 Vol. 36 no. 2.
5. Rhody B., Gehrts E.: Zur Ermittlung des Schaftholzvolumens im Rahmen von Waldinventuren. Schweiz. Z. Forstw. 1984 Jg. 135 Nr. 1.
6. Schlaepfer R.: Les inventaires forestiers en Suisse. Rev. For. Fr. 1984 Vol. 36 no. 2.
7. Ulbrich R.: Geräteentwicklung zur Erhebung von Grundfläche und Bestandeshöhe. Beitr. Forstwirtsch. 1982 Bd. 16 H. 2.

Praca wpłynęła do Komitetu Redakcyjnego 27 stycznia 1987 r.

Краткое содержание

В статье рассматривается концепция измерения диаметра основанная на методе совпадения измерения параллактического угла и её применение в новом польском дендрометрическом приборе — кодиметре. Этот метод одновременно даёт возможность измерения расстояния при применении рейки определённой длины. Примененная в кодиметре измерительная система даёт возможность быстрого и лёгкого измерения расстояния от дерева, величины выбранных его диаметров и высот. Проведение измерений возможно с произвольно выбранного расстояния, а также при значительном наклоне визирной линии, при чём отсчёт расстояния редуцированного до горизонтали, а также диаметра осуществляются прямо со шкал прибора, без необходимости дальнейших вычислений.

Возможность быстрого измерения диаметров ствола на заданных или произвольно выбранных высотах позволяет использовать инструмент для определения объема отдельного растущего дерева, а также насаждения.

В статье представлена, кроме концепции измерения, также схема конструкции кодиметра и способ измерения.

Summary

In the paper, the author discusses the concept of diameter measurement based on coincident method of measurement of parallactic angle and its application in a new Polish dendrometric instrument — the codimeter. This method renders possible, too, the measurement of distance at application of a staff of determined length. Applied in the codimeter measurement system allows to quickly and easily measure the distance from a tree, its chosen diameters and heights. The performance of measurement is possible from any distance, also at considerable inclination of the sight line. The reading of the distance reduced to the level and of the diameter is done then directly from the scale of the instrument, without the necessity of further conversions. The possibility of quick measurement of stem diameters at assigned or freely chosen heights allows to use the instrument for determination of the volume of a single standing tree as well as of a stand. Beside the concept of measurement, also the construction of the codimeter and the way of measuring are presented in the paper.