

DIETER FRANCISZEK GIEFING, SIEGFRIED LEWARK

Badanie drewna za pomocą urządzenia pilodyn

Исследования древесины при помощи устройства пилодин

Eine Untersuchung mit dem Holzprüfgerät „Pilodyn“

Powszechnie stosowane metody badania drewna przeprowadzane są na ogół na próbkach w laboratoriach. Na podstawie takich badań znajomość właściwości drewna drzew stojących ogranicza się do określonego przedziału, charakterystycznego dla badanego gatunku. Wskazane jest więc opracowanie metody badania drewna drzew stojących bez potrzeby pobierania próbek. W przedstawionej pracy prezentuje się realizację tego zadania za pomocą urządzenia pilodyn. Zasada działania pilodynu polega na wykorzystaniu zjawiska zróżnicowanej głębokości wnika-
nia w drewno o różnej gęstości penetratora w postaci stalowej igły o średnicy 2,5 mm pod wpływem nadanej mu energii 6 J. Wynikiem jest odczyt głębokości penetracji w mm.

Celem pracy jest określenie stopnia przydatności pilodynu do badania drewna. W celu umożliwienia porównania wyników badania pilodynem (głębokości penetracji) z innymi właściwościami drewna określono korelację głębokości penetracji z gęstością drewna. Zadaniem pracy jest ponadto wskazanie takiej metody badania drewna pilodynem, która umożliwiałaby uzyskanie najpełniejszej informacji o jego gęstości.

STAN BADAŃ

Pierwsze znane autorom próby badania drewna w warunkach terenowych za pomocą penetratora w postaci stalowej igły przeprowadzono w NRD. Wykonano je za pomocą aparatu Gillwalda przeznaczonego do oznaczania zgnilizn drewna (4). Aparat kreśli wykres oporów powstałych w trakcie wciskania w drewno stalowej igły o średnicy 4—6 mm. Duża masa (13 kg) urządzenia oraz brak skali utrudniają szersze wykorzystanie aparatu.

Pierwszych prób zastosowania pilodynu do oceny drewna dokonał w Nowej Zelandii D.J. C o w n (1), który ponadto wyniki swoich dalszych badań przedstawił na Światowym Kongresie IUFRO (2). Na kontynencie amerykańskim, w USA i Kanadzie ukazały się prace F. T a y l o r a (9)

oraz M. Micki (6), a w Europie G. Nepveu (7, 8) oraz S. Lewarka i D. Giefinga (5).

Ogólne prawidłowości, wskazujące na istnienie silnych związków między gęstością drewna a głębokością penetracji, zostały potwierdzone przez wszystkie badania z tego zakresu. Równocześnie jednak stwierdzono zróżnicowanie położenia prostych regresji w zależności od gatunku, wieku drzew, pory roku itp.

Cown (1, 2) dokonał porównania wyników badań przeprowadzonych za pomocą pilodynu i torsionometru, wykazując znaczną przewagę dokładności oceny drewna pilodynem.

Taylor (9) oraz Micko (6) zajmowali się gatunkami iglastymi. Badali oni drewno drzew w korze i bez kory. Stwierdzili, że udział kory wpływał na zmianę wartości współczynników korelacji, a także na zmianę położenia prostych regresji.

Nepveu (7, 8) zajmował się gatunkami iglastymi i liściastymi. Przedstawił wyniki badań dąglezi, sosny zwyczajnej, sosny czarnej, jodły olbrzymiej oraz brzozy.

Jedyną dostępną informacją na temat pilodynu w literaturze krajowej jest referat wygłoszony na I Krajowej Konferencji dotyczącej problemów techniki rolniczej i leśnej (3).

ZAŁOŻENIA METODYCZNE

Badania przeprowadzono na 15 świeżo ściętych drzewach świerka pospolitego w oddz. 18 leśn. Reinhausen w Dolnej Saksonii (RFN). Na drzewach próbnych w 1-metrowych odstępach wyznaczono co najmniej 3 punkty badań. Wyniki w nich uzyskane nazywane są dalej zespołami obserwacji. Łącznie na wszystkich drzewach wykonano 64 pomiary.

Zespół obserwacji obejmował: pomiar średnicy pnia, grubości kory, trzykrotny pomiar głębokości penetracji drewna w korze oraz bez kory, a także oznaczenie gęstości próbki drewna o długości 20—30 mm pobranej za pomocą świdra Presslera.

Średnicę drzew mierzono dwukrotnie (na krzyż), przyjmując do badań wartość średnią. Głębokość penetracji drewna badano za pomocą pilodynu z dokładnością do 1 mm. Pomiar penetracji drewna bez kory prowadzono po uprzednim wycięciu w korze okienek o wymiarach 20×40 mm. Grubość kory określano w mm na podstawie wysokości ściany okienka. Próbkę drewna umieszczono w szklanych probówkach, dodając do nich po kilka kropli wodnego roztworu formaliny w celu zapobieżenia ewentualnym infekcjom.

Ciężar właściwy drewna określano metodami: stereometryczną i hydrostatyczną (10). Pomiar długości i średnicy próbek wykonano z dokładnością do 0,1 mm. Zastosowanie obydwu metod pozwoliło wykluczyć ewentualny błąd oznaczania gęstości drewna. Do analiz przyjęto wyniki uzyskane metodą hydrostatyczną.

Materiał badawczy poddano analizie statystycznej. Scharakteryzowano go przez obliczenie średnich odchyłeń standardowych, średnich błędów standardowych oraz określenie obserwacji minimalnych i maksymal-

nych. Następnie, po przeprowadzeniu testu Kołmogorowa-Smirnowa na rozkład normalny, obliczono współczynniki korelacji i równania regresji dla związku gęstości drewna z głębokością penetracji. Sporządzono graficzne obrazy regresji badanych związków. Korelacje liczone kolejno dla: 1, 2, 3, maksymalnego, minimalnego, środkowego i średniego pomiaru pilodynem, w celu umożliwienia wskazania najlepszej metody posługiwania się urządzeniem.

WYNIKI BADAŃ

Średnice świerków w miejscu wykonywania pomiarów wahały się w granicach od 12 do 60 cm (tab. 1). Ekstremalne grubości kory w miejscu pomiarów wynosiły 2 i 13 mm. Związek średnicy drzew z grubością kory charakteryzuje się współczynnikiem korelacji $r = 0,763$.

Tabela 1

Charakterystyki opisowe materiału badawczego

Charakteryzowana cecha	Liczba obserwacji	Obserwacja			Średni błąd standardowy	Odchylenie standardowe
		średnia	minimalna	maksymalna		
Średnica drzewa cm	64	32,3	12,0	60,0	1,651	13,207
Grubość kory mm	64	5,8	2,0	13,0	2,466	1,973
Gęstość drewna						
stereometrycznie kg/m ³	64	422	274	653	9	72
hydrostatycznie kg/m ³	64	425	278	619	9	70
Głębokość penetracji drewna bez kory						
pomiar 1 mm	64	15,4	11,0	22,0	0,298	2,383
pomiar 2 mm	64	15,5	12,0	22,0	0,289	2,309
pomiar 3 mm	64	15,5	12,0	22,0	0,287	2,295
wyniki maksymalne mm	64	16,0	12,0	22,0	0,287	2,304
wyniki minimalne mm	64	15,0	11,0	22,0	0,289	2,374
wyniki środkowe mm	64	15,5	12,0	22,0	0,288	2,302
wyniki średnie						
pomiarów 1, 2, 3 mm	64	15,5	11,7	22,0	0,284	2,269
Głębokość penetracji drewna w korze						
pomiar 1 mm	64	19,1	14,0	24,0	0,346	2,770
pomiar 2 mm	64	19,0	14,0	24,0	0,353	2,826
pomiar 3 mm	64	19,2	14,0	24,0	0,351	2,807
wyniki maksymalne mm	64	20,5	15,0	24,0	0,346	2,530
wyniki minimalne mm	64	18,3	14,0	24,0	0,348	2,816
wyniki środkowe mm	64	18,9	14,0	24,0	0,349	2,793
wyniki średnie						
pomiarów 1, 2, 3 mm	64	19,1	14,3	24,0	0,331	2,650

Gęstość drewna badanych świerków jest silnie zróżnicowana (od 278 do 619 kg/m³ przy średniej 425 kg/m³). Obserwuje się równocześnie niewielkie zróżnicowanie gęstości drewna (331—403 kg/m³) i brak związku gęstości drewna z odległością punktu badań od odziomka na pniach poszczególnych drzew. Np. korelacja dla 14 obserwacji pierwszego drzewa wynosi $r = -0,008$.

Większe różnice gęstości drewna obserwuje się przy porównywaniu drzew. Obliczona zależność między średnicą pnia w miejscu pobrania próbek a gęstością drewna charakteryzuje się współczynnikiem korelacji $r = -0,469$, co wskazuje na jej istotność z poziomem ufności 0,000.

Przeprowadzone przy pomocy pilodynu pomiary głębokości penetracji drewna bez kory wahają się w granicach od 11 do 22 mm, przy czym zróżnicowanie między ekstremalnymi wartościami trzech kolejnych pomiarów w zespole obserwacji jest niewielkie. W jednym przypadku wynosiło 3 mm, w jedenastu 2 mm, zaś w pozostałych 52, spośród ogólnej liczby 63 stanowisk badań, różnice nie przekraczały 1 mm. Wskazuje to na dużą czułość i dokładność urządzenia oraz jego przydatność do badania drewna.

Średnie wyniki trzech pomiarów głębokości penetracji drewna w korze wahają się w granicach od 14,3 do 24 mm. Są więc mniej zróżnicowane niż w przypadku drewna bez kory. Natomiast zróżnicowanie wyników w jednym zespole pomiarów jest większe. Dwumilimetrowe różnice są tu zjawiskiem dosyć częstym i powtarzają się w 20 przypadkach. Ponadto, aż w 12 zespołach pomiarów zróżnicowanie to jest większe od 2 mm. Wskazuje to na nieco mniejszą precyzję pomiarów w trakcie oceny drewna w korze niż podczas badania drewna bez kory.

ZALEŻNOŚĆ MIĘDZY GŁĘBOKOŚCIĄ PENETRACJI DREWNA BEZ KORY A GĘSTOŚCIĄ DREWNA

Uzyskane wyniki (tab. 2) zróżnicowane są w niewielkim stopniu, dlatego też wykreślono jedynie prostą regresji dla najsilniej korelującego związku — średnich głębokości penetracji (średnia z trzech pomiarów) drewna bez kory z gęstością drewna (ryc. 1).

Poza podobnym przebiegiem prostych regresji obserwuje się tu także niewielkie zróżnicowanie siły związków. Współczynniki korelacji, dla zależności między kolejnymi: 1, 2, 3 pomiarami głębokości penetracji drewna bez kory a gęstością drewna, wahają się w granicach od $r = -0,794$ do $r = -0,820$, przy odchyleniu standardowym od prostej regresji w granicach od $S_{yx} = 40,6$ do $S_{yx} = 43,7$ kg/m³.

Przy dokonywaniu analiz na podstawie pomiarów maksymalnego, minimalnego i środkowego, siła związków jest podobna (tab. 2), chociaż można zauważyć niewielki jej wzrost w porównaniu z zależnościami kolejnych (1, 2, 3), pomiarów głębokości penetracji z gęstością drewna. Wyraźniejsze zmiany obserwuje się w przypadku porównania odchyłeń standardowych od prostej regresji. Wykazują one, że średni błąd oznaczania gęstości drewna na podstawie pojedynczego pomiaru głębokości penetra-

**Wielkości statystyczne charakteryzujące zależność
między głębokością penetracji igły w drewno
a gęstością drewna**

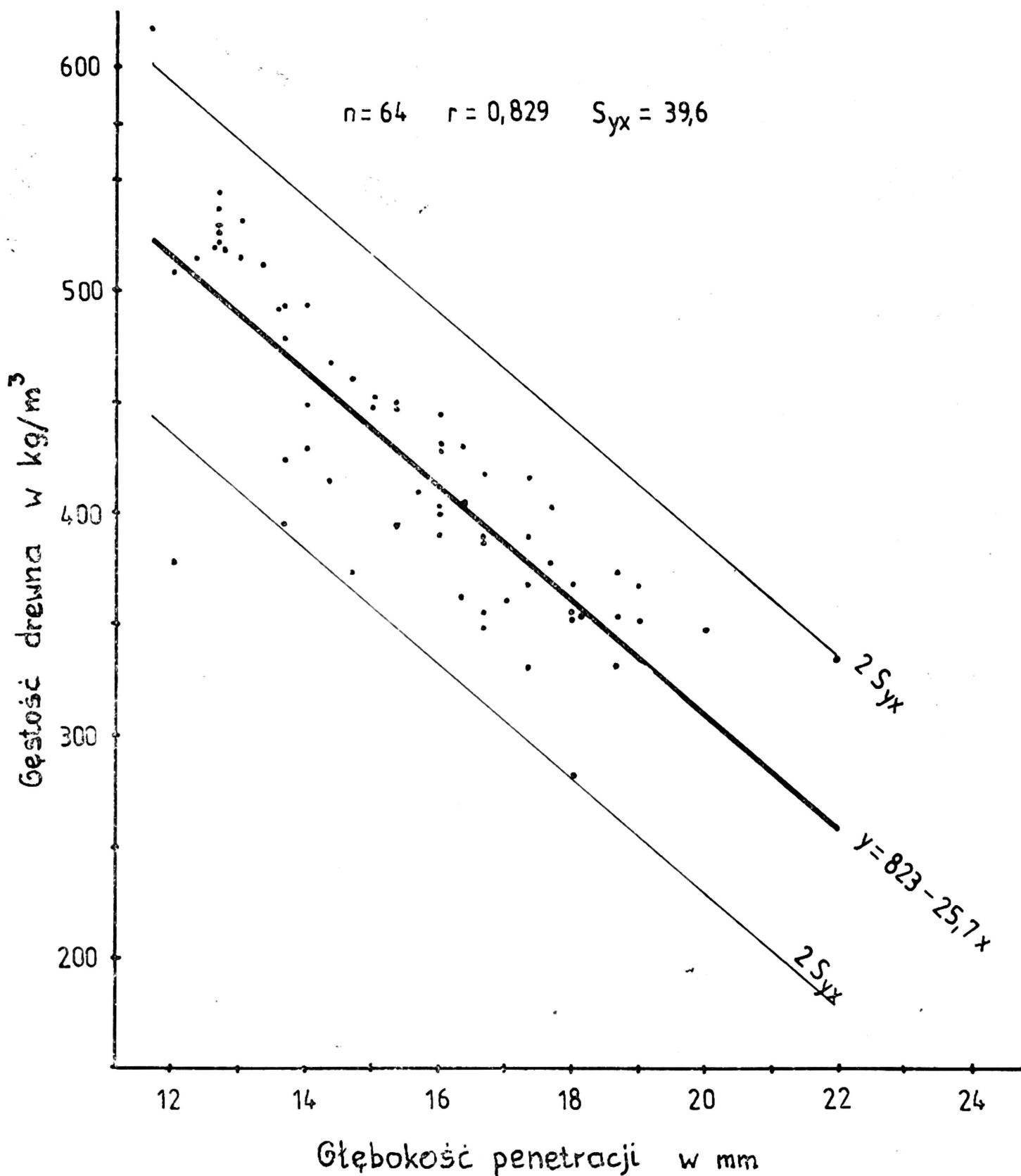
Związek gęstości drewna z głębokością penetracji igły w drewno	Równanie regresji $y = a + bx$	Współczynnik korelacji r_{xy}	Odchylenie standardowe S_{yx}
Bez kory			
pomiar 1	$y = 793 - 23,9x$	-0,809	41,6
pomiar 2	$y = 811 - 24,9x$	-0,820	40,6
pomiar 3	$y = 803 - 24,3x$	-0,794	43,7
maksymalny	$y = 822 - 24,9x$	-0,814	40,5
minimalny	$y = 796 - 24,7x$	-0,819	40,0
średkowy	$y = 803 - 24,6x$	-0,808	41,2
średni (1—3)	$y = 823 - 25,7x$	-0,829	39,6
W korze			
pomiar 1	$y = 820 - 20,7x$	-0,816	40,9
pomiar 2	$y = 812 - 20,4x$	-0,819	40,6
pomiar 3	$y = 802 - 19,7x$	-0,788	43,7
maksymalny	$y = 863 - 22,0x$	-0,842	37,5
minimalny	$y = 806 - 20,8x$	-0,807	41,2
średkowy	$y = 844 - 22,2x$	-0,821	39,9
średni (1—3)	$y = 850 - 22,6x$	-0,854	36,9

cji jest w każdym przypadku wyższy. Przy porównaniu pomiaru 3 z minimalnym różnica ta jest największa i wynosi 3,7 kg/m³.

Wyraźny wzrost siły korelacji obserwuje się dopiero przy analizie związku średniej z 3 pomiarów głębokości penetracji z gęstością drewna. Współczynnik korelacji jest tu najwyższy i osiąga wartość $r = -0,829$. Wyniki te wskazują na celowość posługiwania się średnią z trzech pomiarów głębokości penetracji drewna. Na ich podstawie można określić gęstość drewna z średnim błędem 40 kg/m³, według wzoru: $y = 823 - 25,7(x_1 + x_2 + x_3) : 3$. Należy jednak zauważyć, że pojedyncze wyniki pomiarów dają także silne związki, pozwalające na określenie gęstości drewna z niewiele mniejszą (o 4 kg/m³) dokładnością.

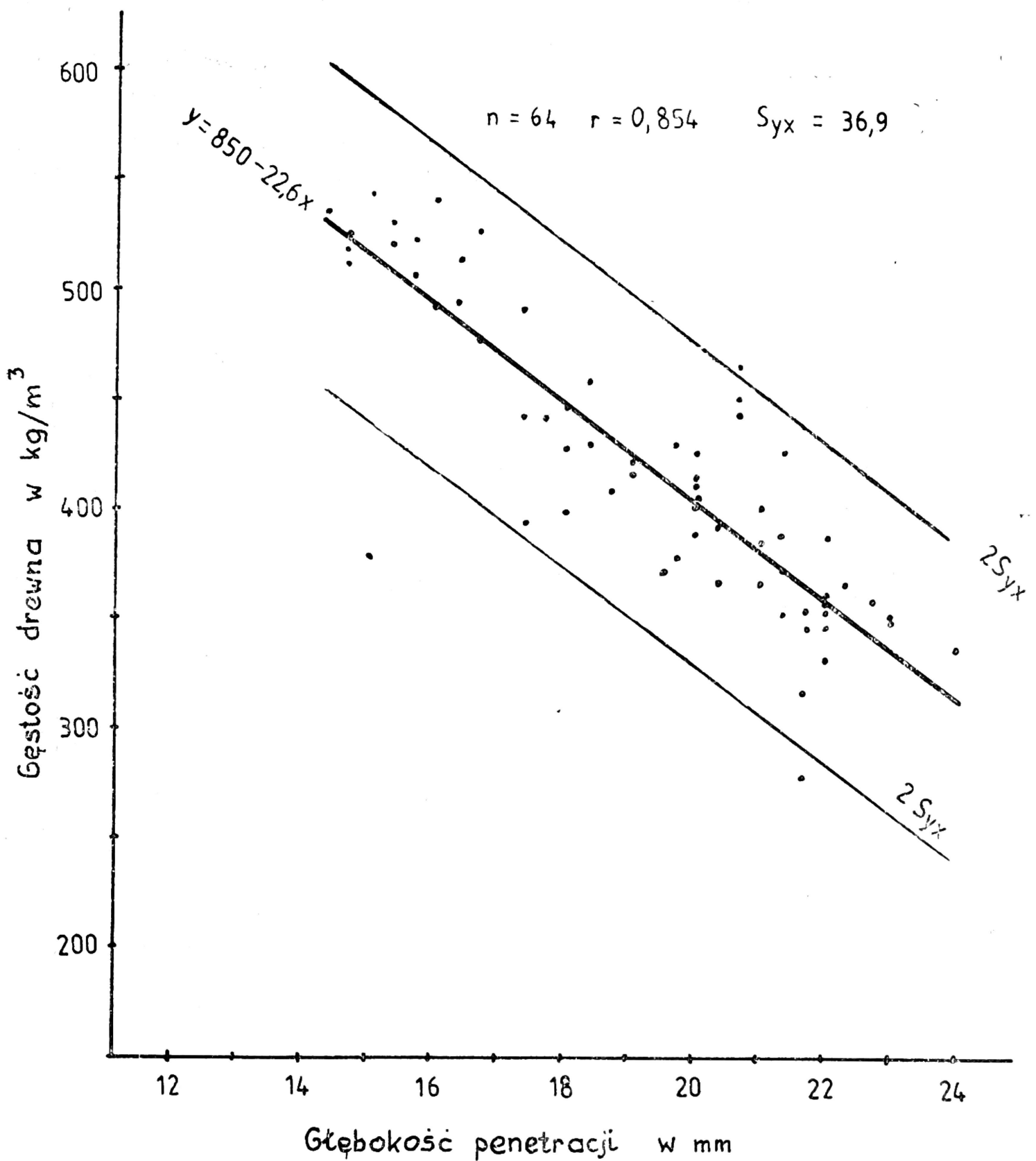
**ZALEŻNOŚĆ MIĘDZY GŁĘBOKOŚCIĄ PENETRACJI DREWNA W KORZE
A GĘSTOŚCIĄ DREWNA**

Siła analizowanych tu związków i przebieg prostych regresji są podobne, dlatego też — jak w przypadku oceny drewna bez kory — wykreślono tylko jedną prostą, charakteryzującą zależność między średnią



Ryc. 1. Prosta regresji między głębokością penetracji drewna bez kory a gęstością drewna

z trzech pomiarów głębokości penetracji a gęstością drewna (ryc. 2). Zależność tę charakteryzuje najwyższy współczynnik korelacji, który wynosi tu $r = -0,854$ oraz najniższe odchylenie standardowe od prostej regresji $S_{yx} = 36,9 \text{ kg/m}^3$.



Ryc. 2. Prosta regresji między głębokością penetracji drewna w korze a gęstością drewna

Na uwagę zasługują również wyniki analizy związków maksymalnej i środkowej głębokości penetracji z gęstością drewna. Współczynnik korelacji wynosi tu odpowiednio $r = -0,842$ i $r = -0,821$, a odchylenie standardowe $S_{yx} = 37,5$ i $S_{yx} = 39,9 \text{ kg/m}^3$. Średnie błędy oznaczenia gęstości drewna na podstawie kolejnych (1, 2, 3) pomiarów są wyższe (tab. 2). W skrajnym przypadku (pomiar 3 i maksymalny), różnica wielkości

odchylenia standardowego wynosi $6,2 \text{ kg/m}^3$, co stanowi wzrost średniego błędu oznaczania gęstości drewna o $14,2\%$.

Należy jednak podkreślić, że gęstość drewna, oznaczana według wzoru: $y = 850 - 22,6 (x_1 + x_2 + x_3) : 3$ na podstawie średniej z 3 pomiarów głębokości penetracji drewna, obarczona jest najmniejszym średnim błędem ($36,9 \text{ kg/m}^3$). Pojedynczy pomiar głębokości penetracji drewna w korze może stanowić podstawę określenia gęstości drewna dla celów praktycznych.

ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

Wyniki przeprowadzonych badań wykazują nieco większą siłę związków gęstości drewna z głębokością penetracji drewna w korze niż bez kory. Zjawisko to należy uznać za przypadkowe. Wskazują na to wyniki badań wielu autorów (1, 2, 5, 6, 9). Np. Mićko dla omawianej zależności u *Picea glauca* Voss w korze podaje $r = -0,75$, a bez kory $r = -0,83$. Stwierdzenie występowania podobnie silnych związków, zarówno w przypadku badania drewna świerkowego w korze jak i bez kory, ma duże praktyczne znaczenie. Umożliwia bowiem prowadzenie badań drewna drzew stojących bez potrzeby zdejmowania kory.

W trakcie analizy wykreślonych równań regresji (ryc. 1 i 2), zwracają uwagę dość silne odchylenia niektórych wyników od prostej regresji. Stwierdza się jednocześnie, że wszystkie 3 pomiary pilodynem są tu identyczne lub bardzo podobne. Wskazuje to na niereprezentatywną dla danego punktu badań gęstość drewna próbki. Przyczynami mogą tu być np. mikropęknięcia lub wystąpienie pęcherza żywicznego. Wydaje się, że pobranie dwóch, ewentualnie trzech próbek do określenia gęstości drewna wpłynęłoby na ograniczenie liczby obserwacji silnie odchylnych od prostej regresji. Potwierdzeniem przedstawionej hipotezy może być również porównanie głębokości penetracji i gęstości drewna na poszczególnych drzewach. Na ogół, o czym mówiono już w trakcie charakteryzowania materiału badawczego, gęstość drewna i głębokość penetracji na poszczególnych drzewach są słabo zróżnicowane. W przypadku obserwacji znacznie odchylnych od prostej regresji wyniki pomiarów głębokości penetracji wszystkich punktów badań na drzewie są podobne (np. drzewo 9, bez kory 12—13 mm, w korze 14—16 mm), natomiast gęstość drewna próbki (377 kg/m^3) z drugiego stanowiska badań jest o wiele niższa od pozostałych (514 — 524 kg/m^3). Wyznaczone przez nią punkty (ryc. 1 i 2) są silnie odchyłone od prostej regresji.

W podsumowaniu należy podkreślić celowość stosowania pilodynu do określenia gęstości drewna. Wskazuje na to wielkość odchylen standardowych. Wynoszą one od $S_{yx} = 36,9 \text{ kg/m}^3$ w przypadku oceny gęstości na podstawie średniej z trzech pomiarów głębokości penetracji drewna w korze do $S_{yx} = 39,6 \text{ kg/m}^3$ przy pomiarach drewna bez kory. W granicach takiego odchylenia mieści się 67% wyników, a w granicach dwóch odchylen standardowych, które wynoszą $S_{yx} = 73,8$ do $S_{yx} = 79,2 \text{ kg/m}^3$, mieści się ich 95% . Wobec znacznego zróżnicowania gęstości drewna świerka pospolitego (w analizowanym materiale od 278 do 619 kg/m^3)

szybka i nieskomplikowana metoda oznaczania gęstości drewna, chociaż obarczona niewielkim błędem, może stanowić źródło cennych informacji w praktyce i w badaniach naukowych.

WNIOSKI I UOGÓLNIENIA

1. Pilodyn jest urządzeniem przydatnym do badania drewna. Wynikiem badania jest głębokość penetracji drewna w mm.

2. Badanie drewna przeprowadzone pilodynem umożliwia oznaczanie jego gęstości. Zależności między gęstością drewna a głębokością penetracji drewna w korze ($r = -0,85$) i bez kory ($r = -0,83$) dla *Picea excelsa* są podobne. Wskazuje to na możliwość prowadzenia pilodynem badań drewna świerka pospolitego bez zdejmowania kory.

3. Pojedynczy pomiar pilodynem umożliwia ocenę gęstości drewna pospolitego ze średnim błędem 42 kg/m^3 . Zwiększenie dokładności następuje przy wykorzystaniu średniej z trzech pomiarów głębokości penetracji drewna. Zastosowanie znajdują tu podane wyżej wzory.

4. Przy prowadzeniu badań związków głębokości penetracji drewna z gęstością drewna uważa się za celowe pobieranie z każdego punktu badań co najmniej dwóch próbek drewna do oznaczania gęstości.

LITERATURA

1. C o w n D. J.: Comparison of the Pilodyn and Torsiometer methods for the rapid assessment of wood density in living trees. New Zealand J. Forest. 1978 No. 21.
2. C o w n D. J.: Use of the Pilodyn wood tester for estimating wood density in standing trees — influence of site and tree age. Referat — XVII Światowy Kongres IUFRO, Kyoto, 1981.
3. G i e f i n g D. F.: Z badań nad przydatnością penetratora Pilodyn do oceny drewna. I Krajowa Konferencja Naukowa — Problemy techniki rolniczej i leśnej, Warszawa 1984.
4. K u b i a k M.: Uwagi o przydatności nowej metody do oznaczania zgnilizny drewna drzew stojących. Sylwan 1963 R. 107 nr 4.
5. L e w a r k S., G i e f i n g D.: Erste Erfahrungen bei der Rohdichtebestimmung mit dem Pilodyn-Holzprüfgerät an Buche und Fichte. Forst- u. Holzwirt 1983 Jg. 39 H. 20.
6. M i c k o M. M., W a n g E. J. C., T a y l o r R. W., Y a n c h u k A. D.: Determination of wood specific gravity in standing white spruce using a Pilodyn tester. Forest. Chron. 1982 No. 58.
7. N e p v e u G.: Etat actuel de la situation pour l'essai Pilodyn. Raport z badań 1981.
8. N e p v e u G.: Resultats au Pilodyn concernant la Finlande. Raport z badań 1982.
9. T a y l o r F. W.: Rapid determination of southern pine specific gravity with a Pilodyn tester. For. Sci. 1981 Vol. 27.

10. Wedel K.: Hydrostatische Verfahren zur Bestimmung der Rohdichte von Holzproben. Holz. Roh-Werkst. 1962 Nr. 20.

Praca wpłynęła do Komitetu Redakcyjnego 9 maja 1984 r.

Краткое содержание

Устройство пилодин дает возможность обозначения плотности древесины растущих и спиленных деревьев, а также пиловочника. С этой целью прикладываем его к поверхности древесины, в которую при помощи пружины вбивается стальная игла устройства. Глубина проникновения зависит от плотности внешнего слоя древесины.

Проведенные методические исследования дают возможность определения точности обозначения плотности еловой древесины на основании разных вариантов измерений пилодином. На основании 64 измерительных пунктов рассчитаны коэффициенты корреляции и уравнения регрессии для зависимости между плотностью древесины и последующими результатами измерений пилодином: трех отдельных измерений в коре и без коры, средней арифметической, средней, минимальной и максимальной величин.

Коэффициент корреляции, а также средние стандартные отклонения от прямой регрессии у всех 14 зависимостей равняются около $r = -0,8$ и $S_{yx} = 40 \text{ кг/м}^3$ (таблица 2). Самые сильные связи были получены для средней арифметической в коре, а также для максимальных измерений в коре. Для практических целей, для обозначения плотности древесины, достаточно одно измерение пилодином древесины в коре. Очередные результаты (корреляция, стандартные отклонения) были дифференцированы только в незначительной степени.

Zusammenfassung

Das Holzprüfgerät „Pilodyn“ kann zur indirekten Rohdichtebestimmung an stehenden und gefällten Bäumen und auch an Schnittholz benutzt werden. Das wird das Gerät auf die Holzoberfläche gesetzt und ein Stahlstift wird mit Federkraft in das Holz geschossen. Die Eindringtiefe ist mit der Rohdichte des äusseren Holzmantels korreliert.

In einer methodischen Untersuchung an liegenden Fichten sollte geprüft werden, welche Schätzgenauigkeit mit verschiedenen Varianten des Pilodyn-Einsatzes zu erreichen ist. Berechnet wurden Korrelationen und Regressionen der Rohdichte von Bohrkernen mit folgenden Pilodyn-Messwerten an 64 Messpunkten: mit drei einzelnen Messungen mit und ohne Rinde, mit den arithmetischen Mitteln daraus, den Zentralwerten und den kleinsten und grössten Werten.

Korrelationskoeffizienten und Standardschätzfehler lagen bei allen 14 Beziehungen nahe beieinander, um $r = -0,8$ und $s_{yx} = 40 \text{ kg/m}^3$ (Tabelle 2). Die engsten Zusammenhänge ergaben sich für die arithmetischen Mittel mit Rinde und die Maximalwerte mit Rinde. Für den praktischen Einsatz dürfte eine einzige Messung mit Rinde genügend genaue Schätzungen ergeben, wenn das Unterschenkmaterial keine zu geringe Rohdichtestreuung aufweist.