

FELIKS KOBYLIŃSKI

Dynamiczny moduł sprężystości drewna

Динамический модуль упругости древесины

Dynamic Modulus of Wood Elasticity

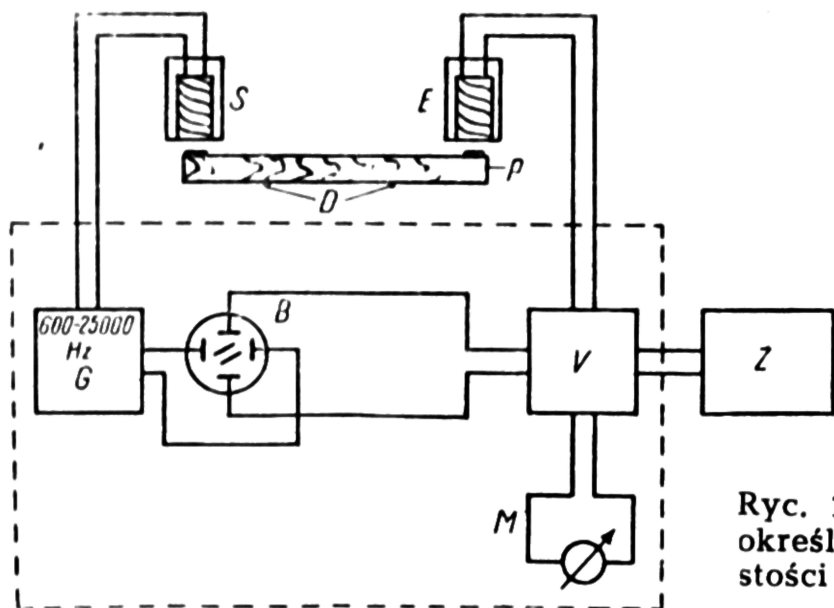
W numerze 2/1960 czasopisma „Holz als Roh — und Werkstoff” ukazał się artykuł F. Kollmanna i H. Krecha pt. „Dynamiczny pomiar elastycznych własności drewna i tłumienia — Przyczynek do badań nie niszczących materiału próbnego” (Dynamische Messung der elastischen Holzeigenschaften und der Dämpfung — Ein Beitrag zur zerstörungsfreien Werkstoffprüfung). Jak już z samego tytułu wynika, jest to temat obecnie bardzo aktualny.

W pracy autorzy omawiają sposób określenia i zastosowania dynamicznego modułu sprężystości. W odróżnieniu od statycznego modułu sprężystości, badanego przy różnie działających siłach (zginanie, rozciąganie, ściskanie i skręcanie), którego określenie jest bardzo pracochłonne i wymaga skomplikowanej aparatury, autorzy zalecają stosowanie dynamicznego modułu sprężystości, określanego metodą elektronową na zasadzie częstotliwości drgań. Poza prostotą metodyki na szczególne podkreślenie zasługuje fakt, że przy badaniach nie niszczy się materiału próbnego. Przy badaniach drewna, jako materiału anizotropowego, odznaczającego się dużą różnorodnością własności technicznych, a więc wymagającego do ich oznaczania dużej ilości prób, ma to bardzo ważne znaczenie, gdyż te same próbki mogą być użyte do innych badań.

Znaczenie modułu sprężystości w świetle najnowszych zdobyczy wiedzy jest tym większe, że dzięki istniejącej współzależności statystycznej, fizyczne i mechaniczne właściwości drewna mogą być określane na podstawie tego modułu.

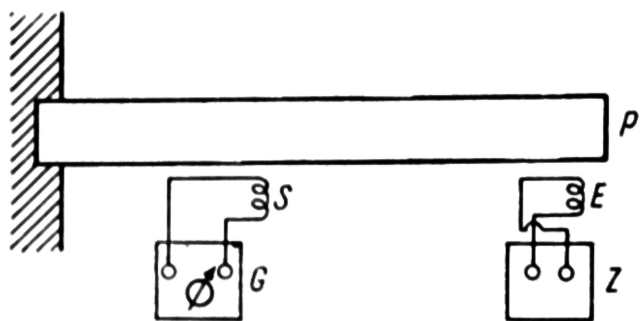
Do badań został użyty przyrząd zwany „Elastomatem”, którego schemat uwidoczniony jest na rycinie 1.

W drewnianym pręcie P, szerokości $b=8$ mm, wysokości $h=10$ mm i długości $l=200$ mm, leżącym na cienkich, silnie napiętych drutach stalowych D, i do którego na dwóch przeciwległych końcach naklejono dwie płytki żelazne, wzbudza się drgania rezonansowe za pomocą elektromagnesu S. Elektromagnes jest zasilany przez generator G, o częstotliwości rzędu drgań akustycznych (600 — 25 000 Hz). Napięcie w generatorze może być regulowane w zakresie amplitud i częstotliwości i przekazywane poza szpulę do poziomych odwróconych płytek w rurze Brauna B. Rezonansowe drgania próbki są za pomocą elektromagnetycznego odbiornika E przekształcane



Ryc. 1. Schemat przyrządu „Elastomat” do określania dynamicznego modułu sprężystości próbki zamocowanej na dwóch podporach.

w drgania elektryczne i przez transformatory V przekazywane do przyrządu pomiarowego M oraz do licznika elektronowego Z. Przy doprowadzeniu wskazówek przyrządu pomiarowego do maksymalnej wartości licznik podaje liczbę drgań, jakie wykazała próbka w określonym czasie: 1 sek, 10 sek lub 100 sek. Częstotliwość rezonancji jest określana z dokładnością: 1 Hz, 0,1 Hz lub 0,01 Hz.



Ryc. 2. Schemat przyrządu do określenia dynamicznego modułu sprężystości próbki jednostronnie zamocowanej.

S. W a n i n (4) podaje taki sam sposób wzbudzania drgań akustycznych do oznaczania dynamicznego modułu sprężystości, lecz w próbce zamocowanej jednostronnie jak to uwidocznione na rycinie 2. Zachodzą tu jednak dodatkowe tłumienia zniekształcające odczytaną wielkość częstotliwości, a w następstwie i ostateczną wartość modułu sprężystości obliczaną według wzoru:

$$E = \frac{F \cdot \gamma \cdot l^4 \cdot f^4}{308 I} \cdot 10^{-8}$$

w którym:

F — powierzchnia poprzecznego przekroju pręta,

γ — ciężar właściwy,

l — swobodna długość pręta,

f — częstotliwość drgań,

I — moment bezwładności poprzecznego przekroju pręta.

W pracy F. Kollmanna i H. Krecha dynamiczny moduł sprężystości E był badany łącznie z modułem przesuwności G, szybkością rozchodzenia się dźwięku c i dekrementem tłumienia λ , z uwzględnieniem wpływu wilgotności i ciężaru właściwego drewna. Moduł sprężystości, lub jego stosunek $s \cdot \frac{E}{G}$ (gdzie s jest to czyn-

nik kształtu określony empirycznie równający się $1,06 \pm 2\%$) obliczono na podstawie

metody E. Goensa oddzielnie dla drgań podłużnych E_l i drgań poprzecznych E_t , następnie szybkość rozchodzenia się dźwięku c i logarytmiczny dekrement tłumienia λ , według następujących wzorów wyjściowych:

$$E_l = \frac{4 l^2}{n} \cdot f_{ln}^2 \cdot \frac{r}{g}$$

$$E_t = \frac{48\pi^2 \cdot l^4}{h^2 \cdot m_n^4} \cdot \frac{r}{g} \cdot f_{t_n}^2$$

$$c = \frac{2 l^2}{1 \cdot m_l^2} f_{t_1}$$

$$\lambda = \frac{f}{f_0} \cdot \frac{\pi}{\sqrt{3}}$$

w których:

r — ciężar próbki,

g — przyspieszenie ziemskie,

f — częstotliwość drgań,

n — liczba częstotliwości,

m — oblicza się z transcendentalnego równania $\cos m_n \cdot \cos h m_n = 1$

Badaniom zostało poddane drewno świerkowe i dębowe. Wyniki badań są zestawione w tabeli 1.

W badaniach innej serii prób zostały porównane ze sobą dynamiczne moduły sprężystości wzdłuż włókien i w poprzek włókien oraz statyczny moduł sprężystości otrzymany z próby na zginanie statyczne. Z uwidocznionego w tabeli 2 porównania wynika, że moduły sprężystości otrzymane z drgań podłużnych i poprzecznych są ze sobą prawie zgodne, natomiast moduł statyczny jest od nich nieco mniejszy (o około 4%). Różnica ta mieści się w granicach błędów pomiarowych i może być praktycznie pominięta.

W omawianej pracy F. Kollmanna i H. Krecha poza wartościami średnimi szybkości rozchodzenia się dźwięku, modułu sprężystości, modułu przesuwności i logarytmicznego dekrementu, zostały statystycznie wyliczone i zilustrowane graficznie ich zależności od ciężaru właściwego i wilgotności oraz zależność dekrementu tłumienia od częstotliwości drgań.

W stosunku do ciężaru właściwego zależność prostoliniową w drewnie dębowym wykazały zarówno szybkość rozchodzenia się dźwięku, jak też moduły sprężystości i przesuwności oraz logarytmiczny dekrement tłumienia, natomiast w drewnie świerkowym zależność taką wykazywał tylko moduł sprężystości E_y oraz jego stosunek

$$s = \frac{E_y}{G_{xy}} \quad \text{i} \quad s = \frac{E_y}{G_{zy}}$$

W wyniku badań wpływu częstotliwości drgań (frekwencji) na dekrement tłumienia, okazało się, że tłumienie jest od częstotliwości niezależne.

Wpływ wilgotności zależnie od jej stopnia nasilenia w stanie chemosorpcji (0—6%), adsorpcji (6—15%) i kondensacji kapilarnej (15—30%, tj. do punktu nasycenia włókien) kształtuje się różnie w poszczególnych zbadanych własnościach drewna. Podczas gdy moduły sprężystości i szybkość rozchodzenia się dźwięku ze wzrostem wilgotności maleją wykazując w granicach wilgotności 8—16% (dla E) lub 8—18% (dla c), przebieg zbliżony do linii prostej, to zależność dekrementu tłumienia od wilgotności w granicach 0—16% przebiega w postaci krzywej zbliżonej do paraboli, której minimum przypada przy wilgotności około 8%. Zależność tłumienia od wilgotności można określić tak, że w stanie chemosorpcji tłumienie maleje, natomiast w dalszych wzrastających stopniach wilgotności aż do punktu nasycenia włókien — wzrasta.

Tabela 1

Uzyskane przez F. Kollmanna i H. Krecha wyniki badań szybkości rozchodzenia się dźwięku, modułu sprężystości w kierunku włókien, modułu przesuwności i tłumienia dla drewna świerkowego i dębowego

Oznaczenia	Jednostka miary	Wartość średnia	Współczynnik zmienności %
świerk			
Liczba prób N		43	
Ciężar właściwy r_n	G/cm ³	0,497	3,0
Wilgotność u		0,143	
Szybkość rozchodzenia się dźwięku c_v	cm/sek	$5,91 \cdot 10^5$	1,1
Moduł sprężystości E_v	kG/cm ²	178 200	4,6
Moduł przesuwności w płaszczyźnie stycznej G_{xy}	kG/cm ²	6 350	4,9
Moduł przesuwności w płaszczyźnie promieniowej G_{zy}	kG/cm ²	5 960	4,4
$s \cdot \frac{E_v}{G_{xy}}$		29,5	7,1
$s \cdot \frac{E_v}{G_{zy}}$		32,0	7,2
Logarytmiczny dekrement tłumienia λ		0,0195	8,2
dąb			
Liczba prób N		30	
Ciężar właściwy r_n	G/cm ³	0,663	6,3
Wilgotność u		0,151	
Szybkość rozchodzenia się dźwięku c_v	cm/sek	$4,28 \cdot 10^5$	5,3
Moduł sprężystości E_v	kG/cm ²	124 100	16,1
Moduł przesuwności w płaszczyźnie stycznej G_{xy}	kG/cm ²	7 970	10,3
Moduł przesuwności w płaszczyźnie promieniowej G_{zy}	kG/cm ²	11 570	12,2
$s \cdot \frac{E_v}{G_{xy}}$		16,6	13,6
$s \cdot \frac{E_v}{G_{zy}}$		11,5	19,7
Logarytmiczny dekrement tłumienia λ		0,024	7,5

Opisane wyżej badania rzucają światło na mało dotychczas znane akustyczne i reologiczne własności drewna i wskazują nowe możliwości w dziedzinie badania fizycznych i mechanicznych własności drewna.

Porównanie statycznych i dynamicznych modułów sprężystości dla drewna świerkowego i dębowego uzyskanych na próbkach o wymiarach $2 \times 2 \times 36$ cm (według F. Kollmanna i H. Krecha)

Oznaczenie	Jednostka miary	Świerk		Dąb	
		wartość średnia	współczynnik zmienności %	wartość średnia	współczynnik zmienności %
Ciężar właściwy γ_D	G/cm ³	0,501	2,3	0,653	6,4
Dynamiczny moduł sprężystości w poprzek włókien E_t	kG/cm ²	161 800	3,6	115 800	11,7
Dynamiczny moduł sprężystości z poprawką wpływu sił przesuwności E_{tk}	kG/cm ²	178 800	3,6	123 000	11,7
Dynamiczny moduł sprężystości wzdłuż włókien E_l	kG/cm ²	180 500	3,9	125 500	12,1
Statyczny moduł sprężystości na zginanie E_b	kG/cm ²	151 400	4,0	110 500	10,4
Stacyjny moduł sprężystości z poprawką wpływu sił zginających E_{bk}	kG/cm ²	171 000	4,0	118 400	10,4
$\frac{E_l}{E_{tk}}$		1,01	2,7	1,02	2,0
$\frac{E_{tk}}{E_{bk}}$		1,045	2,9	1,037	2,5
$\frac{E_t}{E_b}$		1,07	2,9	1,05	2,5

LITERATURA

1. Kollmann F., Krech H. — Dynamische Messung der elastischen Holzeigenschaften und der Dämpfung. „Holz als Roh- und Werkstoff“, nr 2, 1960.
2. Kollmann F. — Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe. Wyd. 2, tom 1; Berlin-Göttingen-Heidelberg 1951.
3. Krzysik F. — Nauka o drewnie. Warszawa 1957.
4. Wanin S. — Nauka o drewnie. Warszawa 1953.

Praca wpłynęła do Komitetu Redakcyjnego 17 lutego 1962 r.

Краткое содержание

В отличие от применяемого до сих пор статического модуля упругости древесины Ф. Коллманн и Г. Крех в своей работе:

рекомендуют ввести в исследования динамический модуль упругости, определяемый электронным методом без разрушения опытного материала.

На основании динамического модуля упругости древесины, благодаря существующей статистической взаимозависимости, можно сделать выводы о других его механических свойствах.

Кроме абсолютных величин модуля упругости, быстроты проникания звука и модуля скольжения, даются их зависимости от удельного веса и влажности для еловой и дубовой древесины.

Summary

Unlike the static modulus of wood elasticity in application until recently, F. Kolmann and H. Krech, recommend in their paper entitled: — „Dynamische Messung der elastischen Holzeigenschaften und der Dämpfung“ (Holz als Roh- und Werkstoff 1960 Heft 2) the dynamic modulus of elasticity which is determined with the electronic method, leaving the sample intact. This modulus is adequate for research purposes.

The dynamic modulus of elasticity may serve as basis for drawing conclusions as to the other mechanical properties of wood owing to the existing statistical relationships.

Besides, the absolute values of the modulus of elasticity, the sound velocity and the displacement modulus and their dependence of specific gravity and moisture content, are given for spruce and oak wood.