

NIE NISZCZĄCE BADANIE DREWNA METODĄ REZONANSOWĄ

Jan Kuchtik

Katedra Użytkowania Lasu i Obróbki Drewna WSR w Brnie

Synopsis. The method applied is based on the analysis of the course of forced transverse vibration of the examined sample. This techniques makes it possible to determine relationship between factors affecting wood properties without destroying the material.

WSTĘP¹

Można założyć, że badanie nie niszczące zastępuje te metody badawcze, w których wyniku następuje uszkodzenie badanej próbki. Nie niszczą próbek metody dźwiękowe i ultradźwiękowe, badania za pomocą promieni gamma lub promieni Roentgena, metody powlekania fotoelastometrycznego, sposoby tensometryczne itp., przy czym tę samą próbkę można użyć kilka razy do różnych oznaczeń.

W pracy tej omówiono niektóre zagadnienia stosowania nie niszczącej metody rezonansowej.

I. NIEKTÓRE MOŻLIWOŚCI STOSOWANIA METODY REZONANSOWEJ PRZY
BADANIU REOLOGICZNYCH WŁAŚCIWOŚCI DREWNA I MATERIAŁÓW
DREWNOPOCHODNYCH

Zalety metody rezonansowej można wykorzystać szczególnie przy rozwiązywaniu następujących zagadnień:

1. Badanie wpływu środków impregnacyjnych na mechaniczne własności drewna oraz na jego odporność na rozkład biologiczny. Ustalenie szybkości procesu rozkładu drewna za pomocą niszczących badań z zastosowaniem obciążeń statycznych jest praktycznie niewykonalne. Natomiast metoda rezonansowa pozwala ustalać „na bieżące” zmiany mechanicznych i fizycznych właściwości drewna powstające w wyniku oddziaływania grzybów niszczących

¹ Pracę przełożył mgr inż. Juliusz Staehy.

drewno oraz obserwować szybkość procesu rozkładu drewna, na podstawie zaś tych danych — dokonywać wyboru granicy toksyczności dla nowego doświadczenia.

2. Przy stosowaniu drewna do budowy urządzeń chemicznych (konstrukcje, kadzie, rury itp.) często trzeba określać skutki korozji, powodowane przez różne roztwory i ciecze. W tej sytuacji stosowanie nie niszczącej metody rezonansowej jest bardziej korzystne niż metody niszczącej, przy czym można również wydatnie zmniejszyć liczbę badanych próbek.

3. W ostatnich latach prowadzi się prace nad modyfikacją własności drewna przez działanie metodami chemicznymi i obróbkę hydrotermiczną, napromieniowanie promieniami gamma itp. Metoda rezonansowa również znajduje tu zastosowanie.

Oczywiście, możliwości stosowania nie niszczącego badania drewna za pomocą metody rezonansowej jest bardzo dużo.

II. CHARAKTERYSTYKA DREWNA JAKO CIAŁA LEPKOSPĘŻYSTEGO

Drewno jest zespołem polimerów naturalnych, o różnej sprężystości i lepkości. Do wyjaśnienia mechanizmu zmian reologicznych właściwości drewna można użyć któregoś reologicznego modelu ciała lepkospężystego. Zazwyczaj stosujemy model Maxwella. Zgodnie z tym uważa się drewno za sprężyste szkielet celulozowy, wypełniony ligniną i hemicelulozami, przy czym celuloza jest elementem, w którym sprężystość przeważa nad niesprężystością, tj. lepkością. Ligninę i hemicelulozy zaliczamy do polimerów amorficznych, które w przeważającej mierze można uważać za plastyczne, ale i do pewnego stopnia za sprężyste. Plastyczność przeważa w nich nad sprężystością.

Przytoczone cechy reologicznego modelu drewna można udowodnić eksperymentalnie za pomocą metody rezonansowej.

Jeżeli działając siłą na drewno spowodujemy jego bardzo małe odkształcenie, to nie będzie ono odpowiadało fazie naprężenia, co nastąpiłoby, gdyby drewno było ciałem idealnie elastycznym. Jednak fazowe przesunięcie odkształcenia względem naprężenia nie odpowiada 90° , co powinno mieć miejsce, gdyby drewno było idealnie plastyczne. Wartość fazowego przesunięcia odkształcenia względem naprężenia odpowiada zatem ogólnie dla drewna jakiejś wartości zawartej między 0° a 90° .

Na przykład dla drewna świerkowego, przy wilgotności bezwzględnej 12% i temp. 20°C , wartość fazowego przesunięcia odkształcenia względem naprężenia ($\text{tg } \gamma$) przy częstotliwości 800 Hz waha się w granicach od $0^\circ 14'$ do $0^\circ 27'$; przy częstotliwości 3600 Hz zmienność $\text{tg } \gamma$ mieści się w granicach od $0^\circ 37'$ do $1^\circ 02'$. Tak więc drewno świerkowe jest bardziej elastyczne (sprężyste) niż plastyczne (lepkie). Pod względem mechanizmu odkształcania uważamy drewno za ciało lepkospężyste. Podobnie zachowują się również tworzywa wyprodukowane na bazie drewna.

III. URZĄDZENIE POMIAROWE STOSOWANE PRZY REZONANSOWEJ METODZIE DYNAMICZNEJ

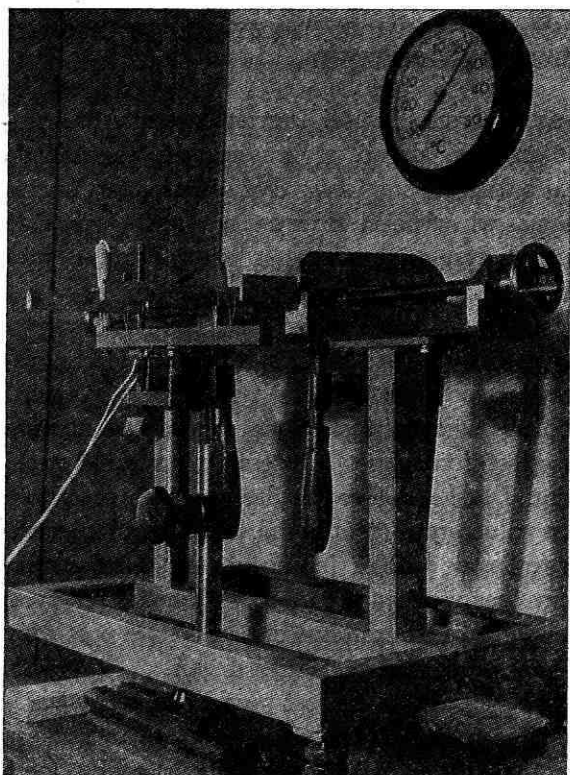
Do charakterystyki lepkosprężystych właściwości drewna i tworzyw drewnopochodnych można zastosować metodę drgań wymuszonych, tj. metodę rezonansową, którą zalicza się do kategorii pomiarów dynamicznych. Choć żadnym pomiarów mechanicznych właściwości drewna nie można uważać za czysto statyczne, to za pomiary dynamiczne można przyjąć takie, przy których odkształcenie następuje w czasie krótszym niż 1 sek., tzn. że w odkształceniach cyklicznych ich częstotliwość jest większa niż 1 Hz.

Zasada metody rezonansowej polega na określaniu sprężystych i plastycznych cech drewna na podstawie bezpośredniego lub pośredniego pomiaru szybkości rozchodzenia się fal, do czego wykorzystuje się wymuszone drgania tłumione. W ciele o kształcie wydłużonym (pręt) możemy wywołać drgania podłużne, poprzeczne lub skrętne. Dla każdej części drewna (lub materiału drewnopochodnego) o kształcie wydłużonym (pręt) odpowiednie są częstotliwości własne, będące funkcją wymiarów próbki, jej masy, właściwości sprężystych, wilgotności i temperatury oraz rodzaju drgań. Dla próbek o prostym, geometrycznym kształcie można wyprowadzić zależności zachodzące pomiędzy różnymi parametrami a częstotliwością różnych rodzajów drgań.

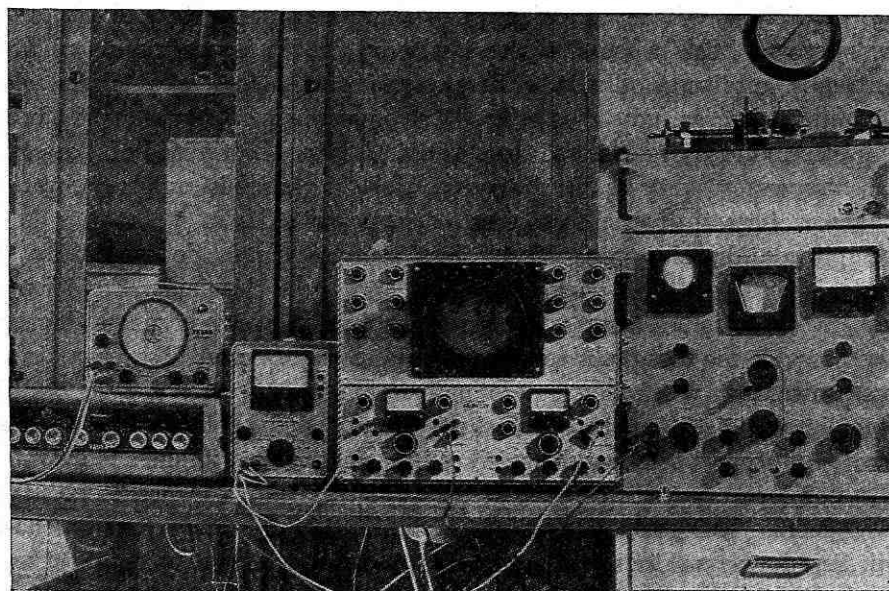
Przy ustalaniu częstotliwości własnej potrzebne jest urządzenie wzbudzające, wywołujące w próbce drgania (poprzeczne, podłużne, skrętne) za pomocą impulsów mechanicznych (elektromagnetycznych, dźwiękowych) o określonej częstotliwości, z możliwością ciągłej jej zmiany, oraz urządzenie zapisujące, które rejestrowałoby amplitudy i częstotliwości drgań próbki. Przez zmianę częstotliwości obwodu wzbudzającego — za pomocą generatora akustycznego — w obszarze bliskim częstotliwości własnej próbki wywołuje się zjawisko rezonansu. Amplituda odkształcenia zaczyna wzrastać, a jej wielkość osiąga maksimum wówczas, gdy częstotliwość wzbudzania jest równa częstotliwości własnej tłumionego drgania badanej próbki. Zależność amplitudy od częstotliwości nazywamy krzywą rezonansową; jej wierzchołek wskazuje wartość rezonansowej częstotliwości tłumionego drgania próbki.

Amplituda drgań wymuszonych jest proporcjonalna do amplitudy siły wzbudzającej i jest tym większa, im mniejsze jest tłumienie. Zmniejszenia częstotliwości rezonansowej wywołanego wpływem wewnętrznego tłumienia drewna zwykle nie uwzględnia się w toku dalszych obliczeń. Właściwa krzywa rezonansowa jest w okolicy swego maksimum tym wyższa i tym bardziej stroma, im mniejsze jest tłumienie i na odwrót. Na podstawie krzywej rezonansowej można zatem ustalić wielkość wewnętrznego tłumienia drewna.

Do pomiaru częstotliwości rezonansowej i tłumienia wewnętrznego używa się urządzenia, które można zestawić z przyrządów dostępnych w Czechosłowacji. Przede wszystkim są to: źródło drgań (oscylator, generator akustyczny — Tesla BM 269), wzmacniacz, od którego zasilany sygnał jest doprowadzany do wzbudnika elektromagnetycznego (rys. 1). Przy stosowaniu wyższych



Rys. 1. Urządzenie do zamocowania próbek

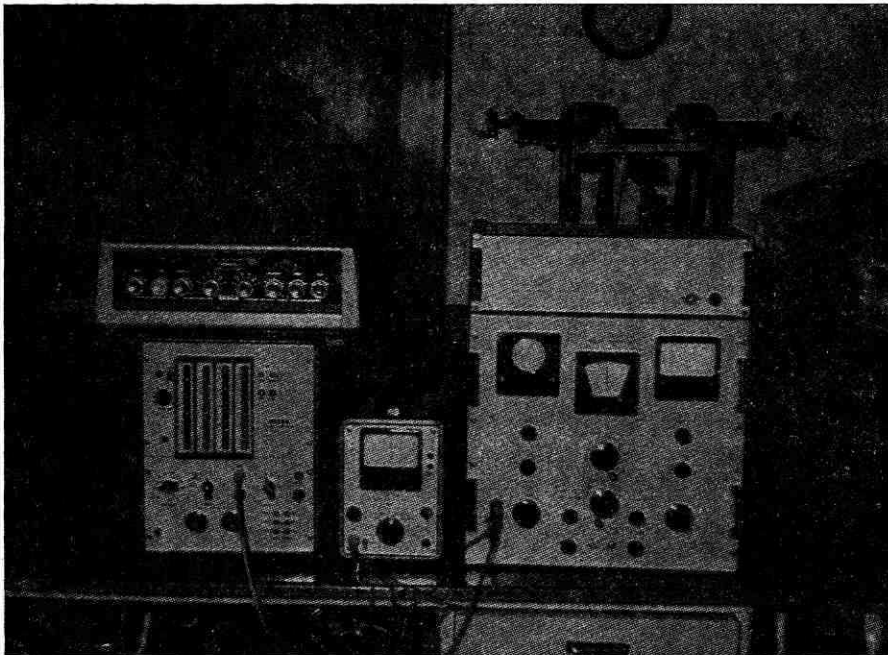


Rys. 2. Zestaw aparatury badawczej (wariant I)

tonów składowych badana próbka jest w strzałce drgań (pośrodku) zaopatrzona w żelazną płytkę wzbudzającą (powinna ona być jak najmniejsza). Zespół opisanych urządzeń tworzy obwód wzbudzający.

Początkiem obwodu wzbudzającego jest mały, stały magnes ferrytowy, umocowany na końcu próbki zwykle za pomocą kł'a lub kleju. Za jego pośrednictwem drgania próbki przenoszą się sposobem bezdotykowym na czujnik indukcyjny. Od czujnika sygnał dochodzi do miliwoltomierza (Tesla BM 384), którym mierzymy wielkość amplitudy odkształcenia. Jednocześnie sygnał jest doprowadzany również do odbiorczej lampy oscyloskopu, na którym obserwujemy przebieg krzywej rezonansowej.

W przypadku stosowania podstawowej częstotliwości rezonansowej, do jej ustalenia wystarcza dokonanie odczytu na generatorze wzbudzającym. Jeżeli używamy wyższych tonów składowych, do pomiaru częstotliwości rezonansowej potrzebny jest drugi generator akustyczny i oscyloskop (pomiar częstotliwości za pomocą figur Lissajousa) albo licznik częstotliwości (Tesla BM 362). Przy „dostatecznie swobodnym” zamocowaniu próbki — wzbudnika — występuje, oprócz podstawowej częstotliwości rezonansowej, częstotliwość określona przez różnicę pomiędzy wartością częstotliwości wzbudzanej a wartością częstotliwości mierzonej [3, 4]. Różnica ta pozostaje w prawidłowym stosunku do najwyższych tonów składowych oraz do ilorazu podstawowej częstotliwości rezonansowej i wyższych tonów składowych. Warianty urządzenia pomiarowego są przedstawione na rys. 2 i 3.



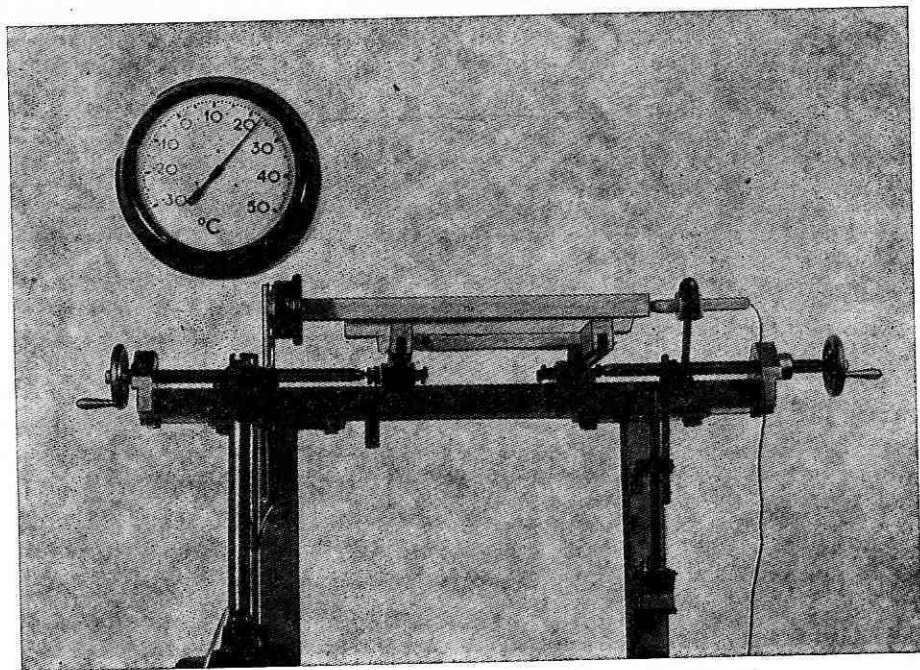
Rys. 3. Zestaw aparatury badawczej (wariant II)

Do aparatury pomiarowej należy również urządzenie do podpierania lub zawieszania próbek, ewentualnie do zakleszczania próbki (z jednym końcem wolnym). Konstrukcja urządzenia do podpierania i zawieszania próbki powinna być mocna, a jednocześnie powinna umożliwiać nieskomplikowaną przebudowę do stosowania poszczególnych typów drgań oraz próbek o różnych wymiarach. Możliwości umieszczania próbek w urządzeniu przedstawiono na rys. 1.

Sposób zamocowania próbek zależy od zastosowanego rodzaju drgań. Dla drgań poprzecznych (transwersalnych) stosujemy przede wszystkim zawieszania jak na rys. 1. Należy wybierać zawieszania lub pod próbki jak najcieńsze i o małej sztywności. Ponieważ chodzi o elementy o małej sztywności, należy baczyć, aby podpórki lub zawieszania były umieszczone dokładnie w węzłach. Miejsca węzłów powinny teoretycznie znajdować się — przy rezonansie dla częstotliwości podstawowej — w odległości równej $0,224$ długości próbki. Często jednak linie węzłowe nie są prostopadłe do dłuższej osi próbki, zwłaszcza gdy jej wysokość jest mniejsza niż szerokość. Przy powtarzaniu pomiarów oznacza się miejsca zawieszzeń.

Sztywne podpórki stosujemy tylko przy badaniach próbek o większych wymiarach (belki, klejone elementy nośne itp.). Jednak i wtedy należy, w miarę możliwości, stosować zawieszania, gdyż wówczas pomiary są dokładniejsze.

W przypadku drgań podłużnych (np. badanie modułu dynamicznego przy rozciąganiu lub ściskaniu), próbkę układamy na sztucznej podkładce albo zawieszamy (rys. 4). Gdy próbkę zawieszamy, wybieramy taką długość i taki



Rys. 4. Mocowanie próbki do badań drgań podłużnych

kąt zawieszenia, aby następowało drganie podłużne (wibracja) próbki, a nie wahania w jej kierunku wzdłużnym.

Doświadczenia prowadzone przy drganiu skrętnym wymagają użycia zawieszania na krążku.

IV. CZYNNIKI ZAPEWNIAJĄCE DOKŁADNOŚĆ I POWTARZALNOŚĆ WYNIKÓW POMIARÓW

Aby określić lepkosprężyste właściwości drewna, należy m. in. znać częstotliwość rezonansową f , oraz tzw. szerokość krzywej rezonansu (Δf). Przy ich ustalaniu za pomocą pomiarów powtarzalnych muszą być spełnione pewne warunki dotyczące przede wszystkim wilgotności i temperatury próbki oraz jej kształtu i wielkości.

1. WPLYW WILGOTNOŚCI PRÓBKII NA CZĘSTOTLIWOŚĆ I TŁUMIENIE WEWNĘTRZNE DRGAŃ

Jest rzeczą powszechnie znaną, że wilgotność drewna lub materiałów drewnopochodnych wywiera wpływ na jego właściwości mechaniczne i fizyczne. Na przykład przy stałej temperaturze, powyżej wilgotności wyznaczonej adsorpcją chemiczną ($W=4,5$ do $8,5\%$ w zależności od rodzaju drewna), wartość dynamicznego modułu sprężystości maleje, a wartość wewnętrznego tłumienia wzrasta. Inna prawidłowość charakteryzuje drewno o wilgotności od 0% do wilgotności adsorpcji chemicznej drewna. Dynamiczny moduł sprężystości przy wilgotności drewna od 0 do $8,5\%$ wzrasta, od tej zaś wartości maleje. W przypadku tłumienia wewnętrznego rzecz przedstawia się odwrotnie: od 0 do $8,5\%$ tłumienie maleje, a od tej granicy wzrasta.

Podobnie zmieniają się inne właściwości mechaniczne i fizyczne. Ten fakt należy uwzględnić przy wilgotnościach poniżej wilgotności wyznaczonej adsorpcją chemiczną, aby nie dochodziło do omyłki przy ocenianiu badanych właściwości i ich zmian. Biorąc pod uwagę tę prawidłowość, należy ustalić wilgotność adsorpcji chemicznej dla poszczególnych rodzajów drewna ewentualnie materiałów drewnopochodnych.

Rzeczywista przyczyna omawianego zjawiska nie jest w pełni wyjaśniona. Można przyjąć, że przy wilgotności wyznaczonej adsorpcją chemiczną woda występuje tylko w amorficznej części celulozy i wypełnia wolne przestrzenie systemu molekularnego, a „efektem wzmacniającym” są maksymalne wartości modułu dynamicznego; w tym stanie drewno jest najbardziej sprężyste. Równocześnie straty energii powodowane deformacją są minimalne — drewno w tym stanie jest najmniej plastyczne. Problemy te znajdują się jeszcze w stadium sprawdzania poszczególnych hipotez teoretycznych.

Zmiany naturalnych właściwości drewna, zależne od zawartości wody, przejawiają się w zmianach częstotliwości rezonansowej, a zależne od wartości ciężaru właściwego drewna, ewentualnie od wymiarów próbki — w wielkości

4f. Przeliczanie wartości na określoną wilgotność drewna nie zostało dotychczas zadowalająco rozwiązane. Dlatego badanie zmian właściwości drewna należy prowadzić przy tej samej wilgotności i tej samej temperaturze próbek.

2. WPŁYW TEMPERATURY PRÓBKII NA CZĘSTOTLIWOŚĆ I TŁUMIENIE WEWNĘTRZNE DRGAŃ

Temperatura badanej próbki oddziałuje na lepkosprężyste właściwości drewna podobnie jak wilgotność. W miarę podwyższania się temperatury drewna — przy tej samej wilgotności — zmniejsza się dynamiczny moduł sprężystości, tzn. maleje częstotliwość rezonansowa. W przeciwieństwie do tego, wartość wewnętrznego tłumienia drgań wzrasta w miarę podnoszenia się temperatury drewna. W celu osiągnięcia wartości porównywalnych należy utrzymywać wilgotność i temperaturę badanego drewna na stałym poziomie. Nieprzestrzeganie tego wymagania powoduje nałożenie się dwóch różnych wpływów wilgotności i temperatury, co bardzo utrudnia ocenę zmian właściwości drewna. Podczas drgań próbki zachodzi przemiana energii odkształcającej w ciepło (straty spowodowane tłumieniem wewnętrznym), wskutek czego podnosi się temperatura próbki. Na przykład przy poprzecznym drganiu próbki i wielkiej amplitudzie odkształcenia temperatura podnosi się w ciągu 15 minut aż o 9°C (w zależności od umiejscowienia węzłów i strzałek drgań [2]). Dlatego pomiar omawianych wielkości nie może trwać dłużej niż 4 minuty.

3. WPŁYW WIELKOŚCI PRÓBKII NA TŁUMIENIE WEWNĘTRZNE DRGAŃ

Tłumienie wewnętrzne drgań w drewnie jest zjawiskiem objętościowym. Przy jego określaniu nie mierzy się tylko strat energii wynikających z tego zjawiska, lecz mierzy się również ubytek energii odkształcającej, która przemienia się w wypromieniowane fale akustyczne. Strat tych można uniknąć przez dokonywanie pomiaru w próżni, co jest jednak bardzo uciążliwe. Przy zwiększaniu wymiarów próbki jej objętość wzrasta do trzeciej potęgi wymiarów liniowych, natomiast jej powierzchnia — do potęgi drugiej. Tłumienie wewnętrzne jest proporcjonalne do objętości, straty zaś wywołane przez promieniowanie są proporcjonalne do powierzchni próbki. Z tego powodu przy zwiększaniu wymiarów próbki zmniejszają się straty względne. W przypadku odkształcenia powodowanego zginaniem, naprężenia we włóknach drzewnych zwiększają się liniowo wraz z odległością od strefy obojętnej, co oznacza, że przy odkształceniu tej samej wielkości naprężenia będą różne w próbkach o różnej wysokości. Wielkość tłumienia wewnętrznego zależy od wielkości amplitudy odkształcenia (a zatem naprężenia), natomiast przy takiej samej amplitudzie odkształcenia, wielkość tłumienia wewnętrznego próbek cienkich będzie mniejsza niż próbek grubych.

Z tych powodów do badań wybiera się próbki o przekroju kwadratowym ($20 \times 20 \times 350$ mm) i o stosunku długości do wysokości większym niż 15:1 [3, 4]. Przy badaniu sklejek i płyt pilśniowych dobiera się taką samą szerokość.

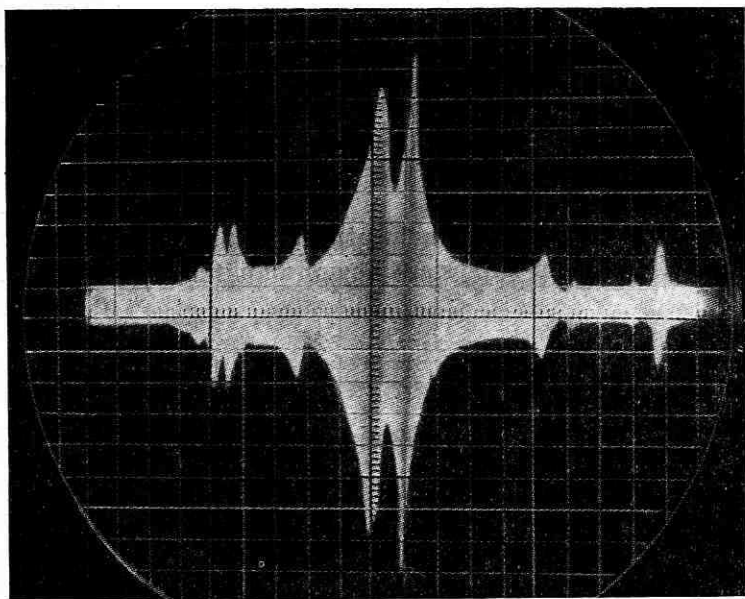
V. WIELKOŚCI CHARAKTERYZUJĄCE LEPKOSPĘŻYSTE WŁAŚCIWOŚCI DREWNA

Przy stosowaniu metody rezonansowej ustalenia wielkości charakteryzujących lepkospężyście właściwości drewna można dokonać za pomocą drgań poprzecznych, podłużnych i skrętnych. Ze względu na rozległość problematyki związanej z wymienionymi rodzajami drgań, ograniczymy się tylko do ustalenia charakterystyki drewna za pomocą wyznaczenia częstotliwości własnej poprzecznego (spowodowanego zginaniem) drgania próbki z końcami swobodnymi. Próbka jest zawieszona (rys. 1) w węzłach, które znajdują się w odległości $0,224 l$ od wolnych końców próbki, tzn. że próbka rezonuje z częstotliwością podstawową.

Głównymi wielkościami do dalszych obliczeń są:

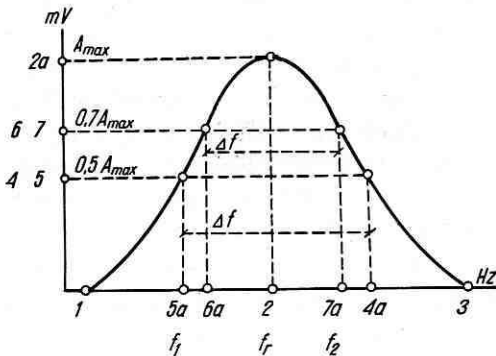
- a) częstotliwość rezonansowa f_r ,
- b) szerokość krzywej rezonansu Δf (do obliczenia tłumienia wewnętrznego).

Częstotliwość rezonansową mierzymy zmieniając częstotliwość generatora drgań tak, aby wychylenie na miliwoltomierzu było maksymalne. Oprócz podstawowej częstotliwości rezonansowej występuje w widmie drgań jeszcze inna częstotliwość rezonansowa (np. $0,5 f_r$), jednak jej amplituda odkształcenia jest znacznie mniejsza. Gdy wartość modułu sprężystości podczas zginania w kierunku promieniowym nie różni się zbyt od wartości w kierunku stycznym, dochodzi do powstania dwuwierzchołkowej krzywej rezonansu (rys. 5). W takim przypadku nadmiernie uwydatnia się wpływ poślizgu i momentów bezwładności i dlatego próbkę trzeba ponownie starannie zawiesić bądź ją



Rys. 5. Dwuwierzchołkowa krzywa rezonansowa (zakres od 200 do 2000 Hz)

obrócić. Jeżeli jednak nawet to nie eliminuje omawianego zjawiska, próbkę trzeba usunąć. Na dwuwierzchołkowej krzywej rezonansu można pomierzyć częstotliwość rezonansową f_r w płaszczyźnie drgania (wyższy wierzchołek), jednak szerokości krzywej rezonansu Δf zazwyczaj zmierzyć nie można.



Rys. 6. Schemat pomiaru parametru Δf

Wielkość Δf mierzymy na pojedynczej krzywej rezonansu (rys. 6) bądź za pomocą jej połowy, tzn. przy częstotliwości odpowiadającej $0,5 A_{\max}$, bądź przy częstotliwości odpowiadającej $\frac{A_{\max}}{\sqrt{2}}$, tj. $0,707 A_{\max}$. Amplitudę dzielimy przestrając generator tak, aby miliwoltomierz wskazał odpowiednią wartość $0,5 A_{\max}$ lub $0,707 A_{\max}$.

1. TŁUMIENIE WEWNĘTRZNE DRGAŃ W DREWNI

Jak już wspomniano, jest to zjawisko objętościowe, zależne od ilości wchłoniętej energii, z której część zużywa się na zwiększenie wewnętrznej energii drewna, nadmiar zaś przemienia się w ciepło. Tłumienie wewnętrzne można scharakteryzować za pomocą kilku wielkości, jednak zazwyczaj robi się to za pomocą logarytmicznego dekrementu tłumienia δ albo za pomocą kąta fazowego γ .

Wielkość logarytmicznego dekrementu tłumienia można obliczyć, jeżeli f_2 i f_1 są częstotliwościami odpowiadającymi amplitudzie $0,707 A_{\max}$, według wzoru

$$\delta = \pi \frac{f_2 - f_1}{f_r} = \frac{\pi \Delta f}{f_r} \quad (1)$$

Jeżeli częstotliwości f_2 i f_1 odpowiadają amplitudzie $0,5 A_{\max}$, to

$$\delta = \frac{\pi}{\sqrt{3}} \cdot \frac{f_2 - f_1}{f_r} = \frac{\pi}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\Delta f}{f_r} \quad (2)$$

przy czym f_r jest częstotliwością rezonansową, a f_2 i f_1 są wartościami mierzonymi na krzywej rezonansu (rys. 6).

Kąt fazowy γ dla amplitudy równej $0,707 A_{\max}$ oblicza się za pomocą wzoru

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{f_2 - f_1}{f_r} = \frac{\Delta f}{f_r}, \quad (3)$$

a dla amplitudy równej $0,5 A_{\max}$

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{f_2 - f_1}{\sqrt{3} f_r} = \frac{\Delta f_r}{\sqrt{3} f_r}. \quad (4)$$

Gdy Δf ma dużą wartość w stosunku do f_r (przy pomiarze materiałów drewnopochodnych o wielkim tłumieniu wewnętrznym), dla amplitudy $0,707 A_{\max}$ stosujemy wzór

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{\Delta f}{f_r + \frac{(\Delta f)^2}{8 f_r}}, \quad (5)$$

a dla amplitudy $0,5 A_{\max}$

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{\Delta f}{\sqrt{3} \left[f_r + \frac{(\Delta f)^2}{8 f_r} \right]}. \quad (6)$$

2. ZESPOLONY DYNAMICZNY MODUŁ SPRĘŻYSTOŚCI PRZY OBCIĄŻANIU ZGINAJĄCYM

Zespolony dynamiczny moduł sprężystości można uważać za wielkość, która jednoznacznie charakteryzuje lepkosprężyste właściwości drewna. Pod względem fizycznym moduł zespolony jest wektorową sumą modułu sprężystości jako składnika rzeczywistego i modułu strat jako składnika pozornego. Według Ferryego [2] moduł zespolony oblicza się za pomocą wzoru

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} \quad (7)$$

przy czym E_1 jest rzeczywistą częścią zespolonego modułu sprężystości przy obciążeniach zginających (8), E_2 jest pozorną częścią zespolonego modułu sprężystości (10).

Obliczanie modułu zespolonego jest celowe wtedy, gdy E_2 jest wartością dostatecznie wielką. Dla drewna naturalnego obliczanie to jest bezprzedmiotowe ze względu na wielką wartość E_1 i małą wartość E_2 .

3. RZECZYWISTA CZĘŚĆ ZESPOLONEGO DYNAMICZNEGO MODUŁU SPRĘŻYSTOŚCI

Rzeczywista część zespolonego modułu sprężystości, nazywana także modułem sprężystości lub dynamicznym modułem sprężystości, jest związana z gromadzeniem i uwalnianiem energii w procesie odkształcania cyklicznego. W fazie odkształcania, którego przebieg jest sinusoidalny, amplituda naprężenia jest amplitudą jednostkową o danej częstotliwości. Z tego powodu moduł ten jest niekiedy nazywany modułem współfazowym.

Do obliczenia E_1 stosuje się wzór

$$E_1 = 0,0789 \ c l^4 f_r^2 G_v i^{-2} \quad [\text{Nm}^{-2}] \quad (8)$$

gdzie:

- l — długość próbki w m,
- f_r — częstotliwość rezonansowa przy poprzecznym drganiu próbki w Hz,
- G_v — ciężar właściwy przy danej wilgotności w kgm^{-3} ,
- i — promień bezwładności przekroju poprzecznego próbki do osi, prostopadle do płaszczyzny drgania w m; dla graniastoslupa $i = \frac{h}{\sqrt{12}}$ [m],
- c — współczynnik korekcyjny, obejmujący wpływ poślizgu i bezwładności. Zależy on od stosunku promienia bezwładności do długości próbki l . Według Martińceka [5] dla stosunku $\frac{i}{l} = 0,00$ wynosi on 1,00, dla 0,01 = 1,01, dla 0,02 = 1,03 i dla 0,03 = 1,08.

W razie wyrażenia modułu E_1 w kG/cm^2 wzór przybierze postać

$$E_1 = 0,0789 \ c l^4 f_r^2 G \frac{1}{i^2} \quad [\text{kG/cm}^2] \quad (9)$$

gdzie:

- l — długość próbki w cm,
- $G = \frac{\gamma}{g}$ — gęstość drewna w kgs^2/cm^4 ,
- γ — ciężar objętościowy drewna w kG/cm^3 ,
- g — przyspieszenie ziemskie w cm/s^2 ,
- f_r, i, c — jak we wzorze (8).

Oprócz przytoczonych współczynników korekcyjnych, znane są jeszcze inne sposoby korektury, które zależą od wielkości naprężenia, odkształcenia wymiarów próbek (czynniki kształtu), korektury częstotliwości związanej z efektami bezwładności rotacyjnej i sił poślizgu. W miarę możliwości dobiera się takie wymiary próbek, aby nie trzeba było obliczać współczynników korekcyjnych.

Należy zwrócić uwagę, że wzór (8) do obliczania E_1 dotyczy tylko próbek z końcami wolnymi i gdy podpory są w węzłach w odległości $0,224 l$ od swobodnych końców próbek.

W wyniku tłumienia wewnętrznego częstotliwość rezonansowa f_r otrzymana z pomiaru nie odpowiada rzeczywistej częstotliwości rezonansowej. W przypadku znacznego tłumienia wewnętrznego do wzoru (8) zamiast f_r^2 wprowadzamy wartość

$$\left[f_r^2 + \frac{1}{8} (\Delta f)^2 \right].$$

4. POZORNA CZĘŚĆ ZESPOLONEGO DYNAMICZNEGO MODUŁU SPRĘŻYSTOŚCI

Wielkość ta jest miarą rozrzutu energii (mechanicznych strat w drewnie), która w ciągu jednego okresu odkształcenia cyklicznego przemienia się w ciepło. Z tego powodu niekiedy nazywa się ją również modułem strat; informuje nas ona o wielkości składnika plastycznego w drewnie. Jej wartość zależy od tłumienia wewnętrznego, tj. od kąta fazowego, o który cofa się (opóźnia) odkształcenie sinusoidalne, wywołane naprężeniem. Przy dużej częstotliwości amplituda naprężenia jednostkowa jest przesunięta o 90° w kierunku przeciwnym do odkształcenia i ma również przebieg sinusoidalny. Wielkość E_2 oblicza się według wzoru

$$E_2 = E_1 \operatorname{tg} \gamma \quad [\text{Nm}^{-2}]. \quad (10)$$

5. LEPKOŚĆ DYNAMICZNA

Zjawiska rozrzutowe przy naprężeniu zmiennym, powstające przy odkształceniach cyklicznych, mogą być również oceniane za pomocą lepkości dynamicznej, zdefiniowanej jako stosunek składowej naprężenia (która znajduje się w fazie z szybkością odkształcenia) do szybkości odkształcenia. Wielkość lepkości dynamicznej jest zatem zależna od częstotliwości; w pełni charakteryzuje straty energii przy odkształcaniu, a wyprowadza się ją w stosunku do jednostki powierzchni. Współczynnik korelacji pomiędzy ciężarem właściwym drewna [kgm^{-3}] a lepkością dynamiczną jest znaczny i wynosi średnio 0,76. Często korzystniej jest określić wielkość tłumienia wewnętrznego z lepkości dynamicznej niż z kąta fazowego lub logarytmicznego dekrementu tłumienia. Lepkość dynamiczną określa się wzorem

$$\eta_1 = \frac{E_2}{2\pi f_r} \quad [\text{Nsm}^{-2}]. \quad (11)$$

6. CZAS OPÓŹNIENIA τ_1

Odkształcenie sprężyste nie przebiega równocześnie z drganiami, a więc opóźnia się w stosunku do naprężenia.

Wielkość opóźnienia oblicza się wg wzoru

$$\tau_1 = \frac{E_2}{E_1 2\pi f_r} \quad [\text{s}]. \quad (12)$$

LITERATURA

1. Ferry J. D.: Viscoelastic properties of polymers. New York — London 1961.
2. Kuchtik J.: Rezonanci vlastnosti dreva. Metody a problemy jejich zjstovani. WSR, Brno 1963 (praca kandydacka).
3. Kuchtik J.: Problemy mereni kvality dreva pro vyrobu rezonancnich desek I. „Hudebni nástroje” 1967; nr 2.

4. Kuchtik J.: Problemy mereni kvality dreva pro vyrobu rezonancnich desek II. „Hudebni nastroje“ 1967; nr 3.
5. Martinec G.: Nedestruktivni dynamicke metody skusania stavebnych materialov. VSAV, Bratislava 1962.
6. Reiner M.: Deformation strain and flow. H. K. Levis, London 1960.

Ян Кухтик

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕ РАЗРУШАЮЩЕЕ ДРЕВЕСИНУ РЕЗОНАНСНЫМ МЕТОДОМ

Краткое содержание

В работе представлена методика исследования древесины пользующегося не разрушающим проб звуковым резонансным (динамическим) методом.

Приведенный метод определений и вычислений основан на анализе образования вынужденных поперечных колебаний исследуемой пробы. В виде величин характеризующих вязко-упругие свойства древесины принято:

- 1) фазовый угол тангенс γ ,
- 2) комплексный динамический модуль упругости E ,
- 3) действительную часть комплексного динамического модуля упругости E_1 ,
- 4) мнимую часть комплексного модуля упругости при изгибающей нагрузке E_2 ,
- 5) динамическую вязкость η_1 ,
- 6) время опоздания τ_1 .

Примененный метод позволяет на определение зависимости между факторами имеющими влияние на свойства древесины — без разрушения материала.

Jan Kuchtik

NOT DESTRUCTIVE EXAMINATION OF WOOD WITH THE AID OF A RESONANT METHOD

Summary

The paper presents the procedure of wood examination when applying a not destructive for samples sonic resonant (dynamic) method.

The presented method of determinations and calculations is based on an analysis of the course of forced transverse vibration of the sample tested. As values characterizing the viscous-elastic properties of wood there were accepted:

- 1) phase angle $\text{tg } \gamma$,
- 2) complex dynamic modulus of elasticity E ,
- 3) actual portion of the complex dynamic modulus of elasticity E_1 ,
- 4) apparent portion of the complex dynamic modulus of elasticity with bending load E_2 ,
- 5) dynamic viscosity η_1 ,
- 6) time lag τ_1 .

The presented method makes it possible to determine the relationship between factors affecting wood properties without the destruction of material.