



**Barbara Misztal\***

## *Oszacowanie efektywnej sztywności i modułu sprężystości różnych gatunków drewna na podstawie pomiarów drgań swobodnych*

### *The calculation of effective stiffness and elasticity modulus of different types of wood on the basis of measurements of free vibrations*

#### *Wprowadzenie*

Zachowane do dzisiaj kopuły z drewna jednolitego zawdzięczają swoją trwałość starannemu doborowi drewna na konstrukcję. Opisana w pracy [1] kopuła G. Mollera, o średnicy 33,50 m, wybudowana w latach 1822–1827 jako przekrycie kościoła św. Ludwika w Darmstadt (Niemcy), jest przykładem takiego obiektu [2].

Na ilustracji 1 pokazano widok kościoła św. Ludwika w Darmstadt, a na ilustracji 2 jego południkowo-równoleżnikową konstrukcję kopuły żebrowej wykonanej z drewna dębowego. Na ilustracji 3 przedstawiono usztywnienie głównych żebrowych południkowych stężeniami równoleżnikowymi<sup>1</sup>. Południkowe żebra główne wykonano z pięciu warstw krążyn. Pomiędzy żebrowymi głównymi wbudowano żebra pośrednie złożone z trzech warstw krążyn. Stężenie żebrowych południkowych stanowiły pasy podwójne i pojedyncze zwane łańcuchem. Aby zapewnić współpracę żebrowych południkowych, wpuszczono pasy żebrowych równoleżnikowych, podwójnych w krążynach żebrowych południkowych na głębokość około 5,0 cm. W celu utrzymania kształtu konstrukcji kopuły podwójne żebra równoleżnikowe wykonano z podatnego, młodego drewna dębowego. Pojedyncze żebra równoleżnikowe wraz

#### *Introduction*

The great durability of original cupolas made of solid wood is the result of a careful selection of wood for their construction. The cupola described in [1] designed by G. Moller, with a 33.50 m long diameter, built in 1822–1827 as the roof for St. Ludwig's Church in Darmstadt (Germany), is a good example of such a structure [2].

Figure 1 presents the view of St. Ludwig's Church in Darmstadt, and Figure 2 shows the structure of its cupola made of oak wood ribs going horizontally and vertically. Figure 3 shows the system of the main vertical ribs braced with horizontal members<sup>1</sup>. The main vertical ribs were made of five layers of centering with intermediate ribs made of three layers of centering between them. The vertical ribs were braced with double and single blocks called *chains*. The cooperation between the vertical ribs was provided by the bends of horizontal double ribs inserted about 5.0 cm in the centering of vertical ribs. In order to maintain the shape of the cupola the horizontal double ribs were made of young, flexible oak wood. The single horizontal ribs (called *chains*) with blocks were applied to prevent the vertical ribs from buckling. These chains were constructed from dry oak wood, chosen as a result of years of carpentry experience, to provide for the technical

\* Wydział Architektury Politechniki Wrocławskiej/Faculty of Architecture, Wrocław University of Technology.

<sup>1</sup> Ilustracje 1–3 wykonała autorka na podstawie schematu konstrukcji kopuły zawartego w książce dr. Otto Wartha *Konstruktionen in Holz* [2].

<sup>1</sup> Figures 1–3 were made by the author on the basis of the cupola construction diagram from the book *Konstruktionen in Holz* by dr. Otto Warth [2].

z przewiązkami (nazwane łańcuchami) stosowano w celu zabezpieczenia żeber południkowych przed wybozczeniem. Zbudowano je z suchego drewna dębowego. Tak przemyślany dobór drewna na konstrukcję wynikający z wielowiekowych doświadczeń cieśli zapewnił do dzisiaj sprawność techniczną konstrukcji i trwałość obiektu.

Dotychczas nie opracowano dokładniejszych metod wyboru drewna do budowy trwałych i prestiżowych konstrukcji inżynierskich niż te wizualne opisane w pracy [3]. W tym artykule autorka proponuje poszerzenie tradycyjnych metod doboru materiału w drodze wykorzystania pomiarów dynamicznych ujawniających właściwości drewna. W pracy [4] i [5] pokazano wykorzystanie pomiarów parametrów drgań swobodnych do wykrywania elementów drewnianych o podwyższonej wilgotności w grupie elementów podobnych. Pokazano, że ważnym wskaźnikiem wad ukrytych elementu i systemu są odchyłki częstości i tłumienia drgań od wartości oczekiwanych, zwłaszcza w obiektach złożonych o dużej liczbie elementów podobnych (il. 2).

### *Cel i opis badań*

W niniejszym artykule opisano przeprowadzone badania dynamiczne drgań swobodnych drewna: sosny, świerku, modrzewia i dębu w stanie powietrznosuchym. Pokazano, jak wykorzystać pozyskane z badań parametry drgań swobodnych do obliczenia właściwości drewna, takich jak sztywność i moduł sprężystości. Zobrazowano, jak wykorzystać pozyskane z badań parametry drgań swobodnych: okres drgań  $T$ , tłumienie drgań  $\rho$ , częstość  $\omega$ , logarytmiczny dekrement tłumienia  $\Delta$ , do oszacowania właściwości drewna, a zwłaszcza efektywnej sztywności  $K$  i efektywnego modułu sprężystości  $E$ .

Oszacowanie  $K$  i  $E$  na podstawie badań dynamicznych jest szczególnie przydatne do selekcji drewna, do projektowania oraz do diagnostyki konstrukcji jako obiektywna weryfikacja stosowanych powszechnie oględzin, w tym pomiarów gęstości drewna i odległości pomiędzy słojami drewna. Pomiar gęstości drewna odzwierciedla lokalną

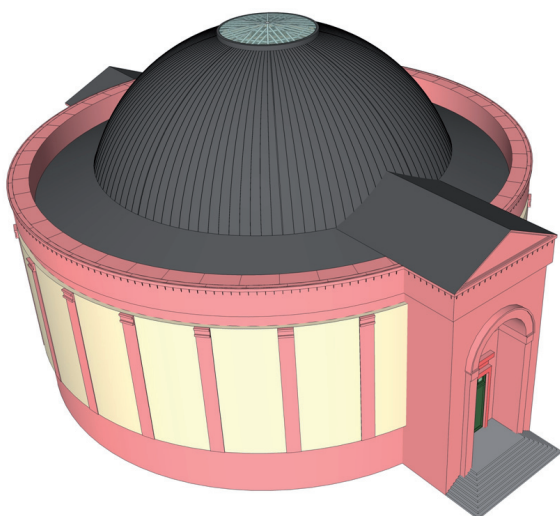
efficiency of the construction and the durability of the building until today.

So far, no better detailed methods of wood selection for the construction of durable and prestigious engineering structures have been developed than the visual ones described in [3]. This paper offers to extend the traditional methods of the selection of material by using the dynamic measurements disclosing the qualities of wood. [4] and [5] show the use of measurements of parameters of free vibrations in selecting wood elements with a higher humidity from a group of similar elements. It was demonstrated that the deviations in the frequency and absorption of vibrations from expected values, especially in complex structures with many similar elements, are an important indicator of hidden defects of an element and a system (Fig. 2).

### *Objective and description of tests*

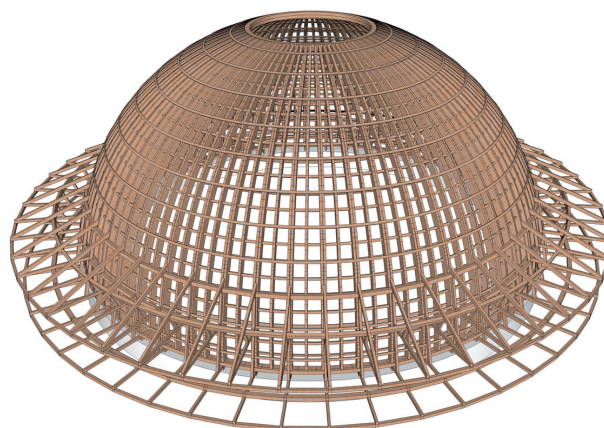
This paper describes the dynamic tests of free vibrations of wood conducted on the following dry wood samples: pine, spruce, larch and oak. It shows how to use the parameters of free vibrations determined in the tests, such as stiffness and elasticity modulus, to calculate the qualities of wood. It also demonstrates how to use the parameters of free vibrations determined in the tests, such as period of vibrations  $T$ , absorption of vibrations  $\rho$ , frequency  $\omega$ , logarithmic absorption decrement  $\Delta$ , to calculate the qualities of wood, especially effective stiffness  $K$  and effective elasticity modulus  $E$ .

The calculation of  $K$  and  $E$  on the basis of the dynamic tests is especially useful in the selection of wood in designing and evaluating the condition of structures as objective verification of universally applied visual inspections, including the measurements of wood density and distance between tree rings. The measurement of wood density demonstrates the local quality of a member, whereas the measurement of distance between tree rings depends on subjective carpenter's skills.



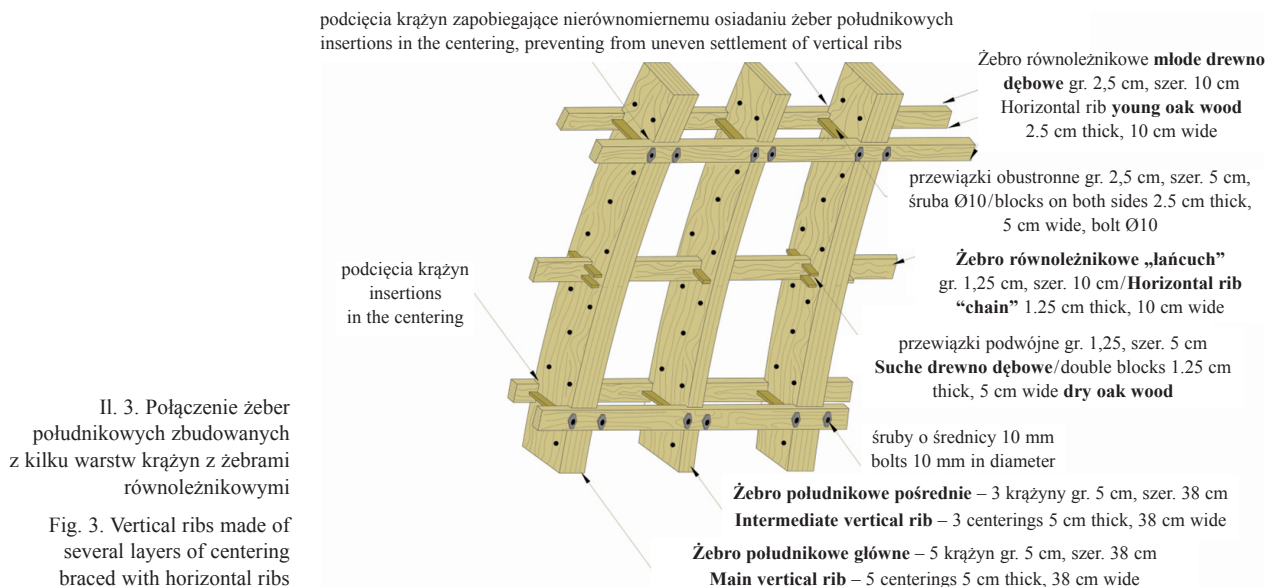
Il. 1. Widok budynku kościoła św. Ludwika w Darmstadt

Fig. 1. View of St. Ludwig's Church in Darmstadt



Il. 2. Konstrukcja kopuły drewnianej,  
o średnicy 33,50 m,  
kościola św. Ludwika w Darmstadt

Fig. 2. Structure of the cupola made of wood, 33.50 m in diameter,  
St. Ludwig's Church in Darmstadt



II. 3. Połączenie żebier południkowych zbudowanych z kilku warstw krążyn z żebrami równoleżnikowymi

Fig. 3. Vertical ribs made of several layers of centering braced with horizontal ribs

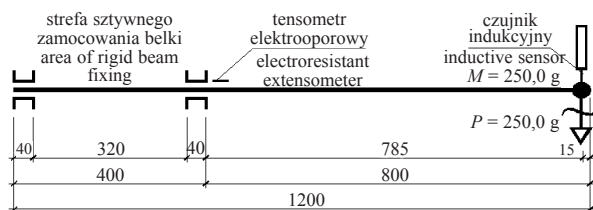
właściwość elementu, a pomiar odległości pomiędzy słojami drewna zależy od subiektywnych umiejętności cieśli.

**Badania modeli z drewna**

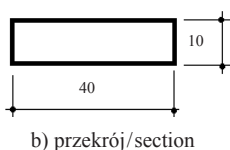
Do badań przygotowano modele desek w stanie powietrznosuchym, o przekroju 10×40 mm, długości 1200 mm. W ruch drgający wprowadzano deski obciążone wspornikowo jak na ilustracji 4.

Przed doświadczeniem modele z desek zważono w stanie powietrznosuchym. Obciążenie wymuszające przykładano na końcu wspornika prostopadle do płaszczyzny mniejszej sztywności belki. W celu ograniczenia wpływu drgań drugiego rzędu wprowadzono masę skupioną  $m = 250,0$  g na końcu wspornika.

Badano częstość  $n$  i tłumienie  $\rho$  drgań swobodnych wymuszonych impulsem za pośrednictwem obciążenia  $P = 250,0$  g zawieszono na końcu wspornika. Drgania wzbudzano poprzez przecięcie zawiesia utrzymującego obciążenie. Parametry ruchu drgającego  $T, \rho, \omega, \Delta$  (zestawione



a) Schemat belki do badań dynamicznych/Schematic diagram of a beam for dynamic testing



b) przekrój/section

II. 4. Model badawczy testowanych belek [3]

Fig. 4. Model of beams being tested [3]

**Tests of wood models**

The tests were conducted on models made of dry wood beams, 10×40 mm in cross section and 1200 mm long. The vibrations were induced to the cantilever beams fixed as shown in Figure 4.

The models made of dry boards were weighed before the test. The load was applied at the end of the beam perpendicularly to the plane of lower stiffness of the beam. A concentrated mass of  $m = 250.0$  g was placed at the end of the beam to limit the influence of secondary vibrations.

The test included the measurement of frequency  $n$  and absorption  $\rho$  of free vibrations induced by impulse from load  $P = 250.0$  g suspended at the end of the beam. The vibrations were induced by cutting the suspension of the load. The parameters of the vibratory movement  $T, \rho, \omega, \Delta$  (listed in Tab. 1–4) were calculated on the basis of numerical results of the measurements with the use of Excel spread sheets.

Table 1 shows the results of the tests of models made of dry pine wood beams. The following tables and graphs show the results of the tests of vibrations of models made of dry spruce (Tab. 2, Fig. 6), larch (Tab. 3, Fig. 7), and oak (Tab. 4, Fig. 8).

**Analysis of dynamic measurements**

In all cases the absorbed free vibrations, regardless of the variety of wood, were well described by the following function (1) according to [6]:

$$y_t = y_0 e^{-\rho t} \cos(\sqrt{\alpha^2 - \rho^2} t + \varphi), \tag{1}$$

where:

- $\alpha$  – frequency of free vibrations,
- $\rho$  – dimensional absorption of vibrations,
- $\varphi$  – phase shift.

w tab. 1–4) wyznaczono na podstawie numerycznych wyników pomiarów za pomocą arkuszy kalkulacyjnych Excel.

W tabeli 1 przedstawiono wyniki badań modeli z desek sosnowych w stanie powietrznosuchym. W kolejnych

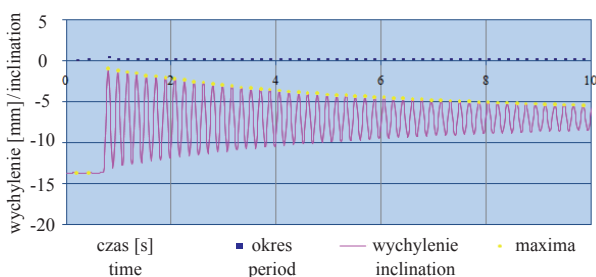
Tab. 1. Parametry drgań swobodnych modelu z sosny (il. 4)

Tab. 1. Parameters of free vibrations of the model made of pine wood (Fig. 4)

$T_s$	$t_0$	$y_0$	$\rho_s$	$n_s = 1/T$	$\omega_s$	$\varphi$	$\Delta_s$
[s]	[s]	[mm]	[1/s]	[1/s]	[°]	[°]	
0,186	0,5733	13,68	0,14	5,38	33,80	11,15	0,026

Legenda do tab. 1–4/ Legend to Tab. 1–4:

$T_s$  – okres drgań/period of vibrations,  $t_0$  – czas początkowy/initial time,  $y_0$  – maksymalne wychylenie/maximum inclination,  $\rho_s$  – tłumienie drgań/absorption of vibrations,  $n_s$  – częstość drgań modelu/frequency of vibrations of the model,  $\omega_s$  prędkość kołowa drgań tłumionych/circular speed of absorbed vibrations,  $\varphi$  – przesunięcie fazowe/phase shift,  $\Delta_s$  – logarytmiczny dekrement tłumienia/logarithmic absorption decrement, indeks  $s$  oznacza stan powietrznosuchy/index  $s$  means dry wood



Il. 5. Drgania swobodne modelu z sosny w czasie pierwszych 10 s badań

Fig. 5. Free vibrations of the model made of pine wood during the first 10 s of the test

The circular speed of absorbed vibrations:

$$\omega = \sqrt{\alpha^2 - \rho^2} \quad (2)$$

The circular speed of absorbed vibrations  $\omega$  [°] and absorption  $\rho$  [1/s] were used to calculate the actual effective  $K_{ef}$  stiffness and the effective elasticity modulus  $E_{ef}$  of tested beams. Table 5 shows the results.

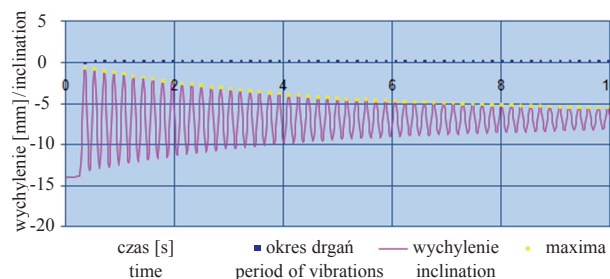
Publication [6] presents the relationship between stiffness  $K$ , mass  $m$ , speed of vibrations  $\omega$ , and absorption  $\rho$ . If viscosity  $\eta$  is ignored, the local effective stiffness  $K_{ef}$  of the rod can be calculated with the following formula:

$$K_{ef} = m_z \alpha^2 \quad (3)$$

Tab. 2. Parametry drgań swobodnych modelu ze świerku (il. 4)

Tab. 2. Parameters of free vibrations of the model made of spruce wood (Fig. 4)

$T_s$	$t_0$	$y_0$	$\rho_s$	$n_s = 1/T$	$\omega_s$	$\varphi$	$\Delta_s$
[s]	[s]	[mm]	[1/s]	[1/s]	[1/s]	[°]	
0,173	0,2667	13,99	0,17	5,78	36,32	-3,49754	0,029



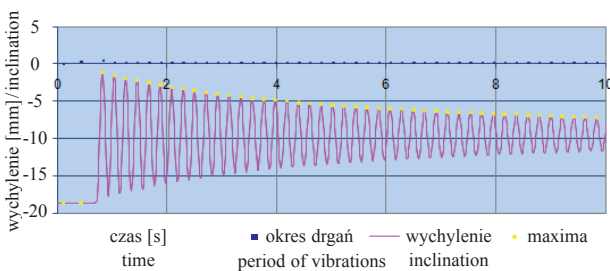
Il. 6. Drgania swobodne modelu ze świerku w czasie pierwszych 10 s badań

Fig. 6. Free vibrations of the model made of spruce wood during the first 10 s of the test

Tab. 3. Parametry drgań swobodnych modelu z modrzewia (il. 4)

Tab. 3. Parameters of free vibrations of the model made of larch wood (Fig. 4)

$T_s$	$t_0$	$y_0$	$\rho_s$	$n_s = 1/T$	$\omega_s$	$\varphi$	$\Delta_s$
[s]	[s]	[mm]	[1/s]	[1/s]	[1/s]	[°]	
0,21	0,72	18,76	0,148	4,762	30,0	21,70679	0,031



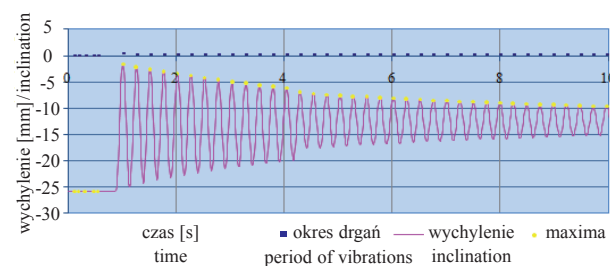
Il. 7. Drgania swobodne modelu z modrzewia w czasie pierwszych 10 s badań

Fig. 7. Free vibrations of the model made of larch wood during the first 10 s of the test

Tab. 4. Parametry drgań swobodnych modelu z dębu (il. 4)

Tab. 4. Parameters of free vibrations of the model made of oak wood (Fig. 4)

$T_s$	$t_0$	$y_0$	$\rho_s$	$n_s = 1/T$	$\omega_s$	$\varphi$	$\Delta_s$
[s]	[s]	[mm]	[1/s]	[1/s]	[1/s]	[°]	
0,253	0,11067	25,77	0,167	3,953	24,83	2,251	0,042



Il. 8. Drgania swobodne modelu z dębu w czasie pierwszych 10 s badań

Fig. 8. Free vibrations of the model made of oak wood during the first 10 s of the test

tabelach i na wykresach zawarto wyniki badania drgań modeli z desek: świerkowej (tab. 2, il. 6), modrzewiowej (tab. 3, il. 7) i dębowej (tab. 4, il. 8), również badanych w stanie powietrzno suchym.

### Analiza pomiarów dynamicznych

We wszystkich przypadkach tłumione drgania swobodne, niezależnie od gatunku drewna, dobrze opisywała funkcja (1) według [6]:

$$y_t = y_0 e^{-\rho t} \cos(\sqrt{\alpha^2 - \rho^2} t + \varphi), \quad (1)$$

gdzie:

$\alpha$  – częstość drgań własnych,

$\rho$  – wymiarowe tłumienie drgań,

$\varphi$  – przesunięcie fazowe.

Prędkość kołowa drgań tłumionych:

$$\omega = \sqrt{\alpha^2 - \rho^2} \quad (2)$$

Prędkość kołową drgań swobodnych  $\omega$  [°] i tłumienie  $\rho$  [1/s], wykorzystano do oszacowania efektywnej  $K_{ef}$  sztywności rzeczywistej i efektywnego modułu sprężystości  $E_{ef}$  badanych belek. Wyniki zestawiono w tabeli 5.

W pracy [6] podano związki między sztywnością  $K$ , masą  $m$ , prędkością drgań  $\omega$ , i tłumieniem  $\rho$ . Pomijając lepkość  $\eta$  można oszacować lokalną efektywną sztywność  $K_{ef}$  pręta ze wzoru:

$$K_{ef} = m_z \alpha^2 \quad (3)$$

Zastępczą masę skupioną  $m_z$  oszacowano z wzoru (4) według [7]:

$$m_z = 0,243ql + 250, \quad (4)$$

gdzie:  $q$  – pomierzony ciężar na 1 mb wspornika.

Z porównania przemieszczeń  $y = Pl^3/3E_{ef}J$  i  $y = P/K_{ef}$  otrzymano równanie (5):

$$\frac{Pl^3}{3EJ} = \frac{P}{K_{ef}} \quad (5)$$

Moduł sprężystości podłużnej  $E_{ef}$  otrzymano z równania (6):

$$E_{ef} = \frac{K_{ef} l^3}{3J} \quad (6)$$

Modele z drewna poddano również sześciokrotnemu wzbudzeniu impulsowemu według schematu pokazanego na ilustracji 4. Po zakończeniu próby trwającej kilkanaście minut dla każdego modelu sześć razy wzbudzonego do drgań pomierzono ugięcia końca wspornika. Ugięcia po zakończeniu próby nazwano resztkowym. W tabeli 6 zamieszczono ugięcia resztkowe badanych modeli.

Ugięcia po pewnym czasie zmniejszały się do wartości, która nie ulegała już zmianom. Ugięcia te nazwano trwałymi. Modele badane w czasie kilkudziesięciu minut wykazały takie ugięcia resztkowe i trwałe, jak po długotrwałych badaniach statycznych.

Najmniejsze ugięcia resztkowe po sześciu cyklach impulsowo wzbudzonych drgań wykazują gatunki drzew iglastych. Wśród gatunków iglastych największe ugięcia trwałe wykazuje modrzew. Wśród badanych modeli

The equivalent concentrated mass  $m_z$  was calculated from formula (4) according to [7]:

$$m_z = 0.243ql + 250, \quad (4)$$

where:  $q$  – measured weight per 1 linear meter of beam.

The comparison of movements  $y = Pl^3/3E_{ef}J$  and  $y = P/K_{ef}$  resulted in the following equation (5):

$$\frac{Pl^3}{3EJ} = \frac{P}{K_{ef}} \quad (5)$$

The longitudinal elasticity modulus  $E_{ef}$  was calculated from the following equation (6):

$$E_{ef} = \frac{K_{ef} l^3}{3J} \quad (6)$$

The models made of wood were also subjected to excitation with impulse six times as shown in Figure 4. After the test was complete, which lasted for a dozen or so minutes for each model excited to vibrate six times, the deflections of the end of the beam were measured. The deflection was called residual. Table 6 shows the residual deflections of the tested models.

After some time the deflections decreased to the values which did not change any further. These deflections were called permanent. Over a few dozen minutes the tested models demonstrated the same residual and permanent deflections as after long-term static tests.

After six series of impulse induced vibrations, softwoods demonstrated the smallest residual deflection. Among different varieties of softwood, larch demonstrates the biggest permanent deflections. From among tested models, spruce has the smallest and oak has the biggest residual and permanent deflections.

### Conclusions

On the basis of dynamic tests one can therefore calculate properties of wood elements such as stiffness and longitudinal elasticity modulus.

The results of the test described above provide for a better understanding of the structural design of the cupola by G. Moller from 1827 made of oak wood. Low elasticity modulus of oak wood justifies the application of horizontal bracing in the form of a so called “chain” made of dry oak wood (Fig. 3). The “chains” reduce the length of the buckling of vertical ribs along the plane of their lower stiffness. The application of that solution, when combined with a relatively low elasticity modulus  $E$  of oak wood, can significantly increase the critical load bearing capacity of the compressed vertical rib. The large permanent deflections of this type of wood, confirmed in dynamic tests, explain the application of double horizontal ribs (Fig. 3) made of young oak wood. The double horizontal bend adjusts to the displacements of vertical ribs, maintaining, after a slight deformation, the shape of the cupola.

The measurements of free vibrations of the models made of wood are worth recommending when selecting wood to be used in construction as well as when evaluating the condition of historic buildings. The elements

Tab. 5. Porównawcze zestawienie efektywnej sztywności  $K_{ef}$  i efektywnych modułów sprężystości  $E_{ef}$  modeli badanych w stanie powietrznosuchym  
 Tab. 5. The comparison of effective stiffness  $K_{ef}$  and effective elasticity moduli  $E_{ef}$  of dry tested models

Parametry dynamiczne modeli w stanie powietrznosuchym badanych według il. 4 Dynamic parameters of dry models tested according to Fig. 4						$m_z$	$K_{ef} = m_z \alpha_s^2$	$E_{ef}$ modeli w stanie powietrzno- suchym $E_{ef}$ of dry models	$E$ wg normy $E$ per standard	
material material	masa modelu weight of model	masa rów. rozłożona weight uniformly placed	$\rho_s$	$\omega_s$	drżania własne free vibrations					
			$\rho_s^2$	$\omega_s^2$	$\alpha_s^2 = \rho_s^2 + \omega_s^2$					
	[g]	[g/m]	[1/s]	[1/s]	[1/s <sup>2</sup> ]	[g]	[g/s <sup>2</sup> ]	[GPa]	[GPa]	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Sosna Pine wood	260,70	178,15	0,14	33,80		285,498	326170,1	17,98	11÷14	
			0,0196	1142,44	1142,46					
Świerk Spruce wood	224,58	153,46	0,1724	36,3168		280,578	370065,5	20,40		
			0,0297	1318,91	1318,94					
Modrzew Larch wood	267,60	182,86	0,1485	30,01375		286,437	258035,6	14,23		
			0,0220	900,825	900,847					
Dąb Oak wood	314,42	214,85	0,1673	24,835		292,811	180607,3	9,96		brak danych w normie no data within norm
			0,028	616,777	616,805					

najmniejsze ugięcie resztkowe i trwałe ma świerk, największe dąb.

### Wnioski

Na podstawie testów dynamicznych można oszacować wartości własne elementów z drewna, takie jak sztywność i moduł sprężystości podłużnej.

Wyniki badań uzyskane w opisanym eksperymencie pozwalają lepiej zrozumieć rozwiązanie konstrukcji z drewna dębowego – kopuły G. Mollera z 1827 r. Niski moduł sprężystości drewna dębowego uzasadnia zastosowanie równoleżnikowego stężenia usztywniającego w postaci zwanej „łańcuchem” z suchego drewna dębowego (il. 3). „Łańcuchy” zmniejszają długość wybojeniową żeber południkowych w płaszczyźnie ich mniejszej sztywności. Zabieg ten pozwala przy stosunkowo małym module sprężystości  $E$  drewna dębowego istotnie zwiększyć nośność krytyczną ściskanego żebra południkowego. Potwierdzone w badaniach dynamicznych duże ugięcia trwałe tego gatunku drewna uzasadniają wbudowanie podwójnych żeber równoleżnikowych (il. 3) z młodego drewna dębowego. Podwójny pas równoleżnikowy dopasowuje się do przemieszczeń żeber południkowych, zachowując po niewielkim odkształceniu kształt sfery kopuły.

Pomiary drgań swobodnych modeli z drewna warto polecić do selekcji drewna stosowanego do budowy konstrukcji drewnianych, a także do diagnostyki obiektów zabytkowych. Elementy wzbudzone do drgań swobodnych, pokazujące większe tłumienie, są w słabszym stanie tech-

Tab. 6. Zestawienie ugięć czterech gatunków drewna po sześciu cyklach wzbudzenia do drgań masą 250,0 g

Tab. 6. List of deflections of four types of wood after six series of induced vibrations with weight of 250.0 g

Gatunek drewna Wood type	Ugięcie resztkowe końca wspornika po 6 wzbudzeniach masą 250 g w mm Residual deflection of the end of the beam after 6 excitations with 250 g in mm	Ugięcie trwałe w mm końca wspornika długości 785 mm Permanent deflection of the end of the 785 mm long beam in mm
Sosna Pine wood	0,29	0,05
Świerk Spruce wood	0,13	0,02
Modrzew Larch wood	0,39	0,07
Dąb Oak wood	2,93	2,01

induced to vibrate free, demonstrating a greater absorption, are in poorer technical condition than other boards in the group of similar boards. The elements with higher frequency of vibrations, lower absorption and lower logarithmic absorption decrement are in good technical condition and guarantee a greater durability of buildings.

nicznym niż inne deski w grupie desek podobnych. Elementy posiadające wyższe częstotliwości drgań, mniejsze tłumienie i mniejszy logarytmiczny dekrement tłumienia są w dobrym stanie technicznym i zapewniają większą trwałość budowli.

Badania dynamiczne pozwalają na szybką porównawczą ocenę jakościową właściwości fizycznych drewna. Pozwalają na oszacowanie przydatności drewna do wykorzystania w konstrukcji po kilku minutach, nie po kilku dniach, a nawet latach, jak w przypadku badań długotrwałych.

Pomierzone efektywne moduły sprężystości były większe aniżeli w [8]. Wskazuje to na potrzebę doświadczalnego szacowania sztywności użytych materiałów.

Dynamic tests provide a quick comparative qualitative assessment of the physical properties of wood. They allow for evaluating the usability of wood in construction after a few minutes and not a few days or even years as in the case of long-term tests.

The measured effective elasticity moduli were greater than in [8] which indicates the need to experimentally calculate the stiffness of used materials.

Translated by  
Tadeusz Szalamacha

### Bibliografia/References

- [1] Misztal B., *Domes in architecture*, „Architectus” 2010, nr 2(28), 289–293.
- [2] Warth O., *Konstruktionen in holz*, J.M. Gebhardt's, Leipzig 1900.
- [3] Misztal B., *Dynamic parameters of the free vibrations of various wood species*, „Architectus” 2012, nr 1(31), 125–128.
- [4] Misztal B., *Comparison of the Vibration Frequency and Damping of Beam Models Made of Dry and Wet Pine Wood*, WCTE 2008 – 10<sup>th</sup> World Conference on Timber Engineering – Miyazaki, JAPAN – June 2–5, 2008.
- [5] Misztal B., *Kształtowanie kopuł z drewna jednolitego (Shaping Domes of solid Wood)*, Oficyna Wydawnicza PWR, Wrocław 2012.
- [6] Kowal Z., *Dynamika nieważkiej belki na podporach lepkosprężystych*, „Archiwum Inżynierii Lądowej” 1966, 1(12), 29–42.
- [7] Banasiak M. (red.), *Ćwiczenia laboratoryjne z wytrzymałości materiałów*, PWN, Warszawa 1985.
- [8] PN-B-03150. *Konstrukcje drewniane. Obliczenia statyczne i projektowanie*. PKN, Warszawa 2000.

### Streszczenie

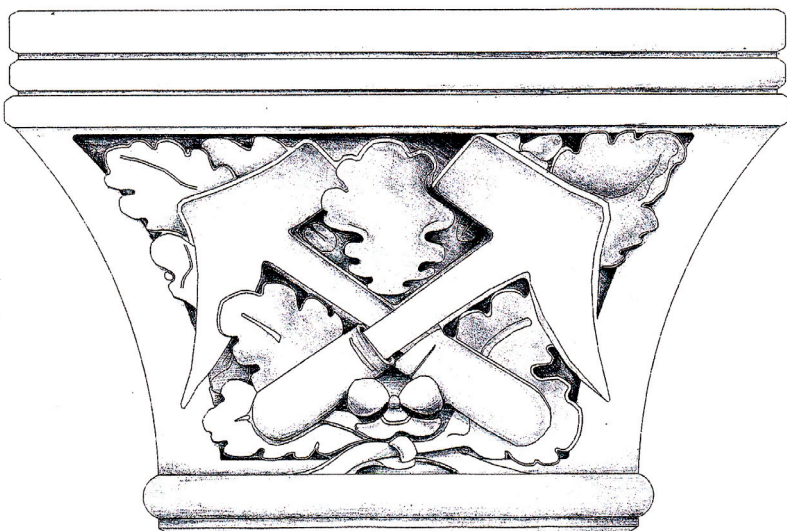
W artykule opisano badania dynamiczne modeli z drewna sosnowego, świerkowego, modrzewiowego i dębowego. Badania przeprowadzono w celu oszacowania efektywnych sztywności  $K_{ef}$  i  $E_{ef}$  modułu sprężystości podłużnej różnych gatunków drewna. Przebieg drgań swobodnych każdego z modeli zilustrowano na wykresach. Pokazano różnice efektywnych modułów sprężystości drewna gatunków iglastych i liściastych. Oszacowane moduły sprężystości podłużnej  $E_{ef}$  porównano z wartościami ujętymi w PN-B-03150:2000 *Konstrukcje drewniane*. Pokazano korzyści wynikające z krótkich testów dynamicznych do wyznaczania i porównywania właściwości drewna. Otrzymane w wyniku analizy drgań swobodnych obiektywne dane o właściwościach drewna można wprowadzić na bieżąco do projektowania i diagnostyki konstrukcji, uściślając wizualne umiejętności cieśli.

**Słowa kluczowe:** dynamika, częstotliwość drgań, tłumienie, logarytmiczny dekrement tłumienia, efektywna sztywność, efektywny moduł sprężystości

### Abstract

The paper presents dynamic tests of models made of pine wood, larch, and oak. The tests were conducted in order to calculate the effective stiffness  $K_{ef}$  and  $E_{ef}$  of the longitudinal elasticity modulus of different types of wood. The course of free vibrations of each of the models was illustrated in graphs and the differences in effective elasticity modules of softwoods and hardwoods were presented. The calculated longitudinal elasticity moduli  $E_{ef}$  were compared with the values provided in the standard PN-B-03150:2000 *Wood Constructions*. The benefits of quick dynamic tests to determine and compare the qualities of wood were demonstrated. The objective results of the analysis of free vibrations regarding the qualities of wood can be used on a regular basis in designing and evaluating structures, adding to the visual capabilities of the carpenter.

**Key words:** dynamics, frequency of vibrations, absorption, logarithmic absorption decrement, effective stiffness, effective elasticity module



Rys. Paulina Starmach  
Drawn by Paulina Starmach