

# Możliwości diagnostyki drewna zabytkowego na przykładzie badań więźby kościoła w Jastrzębiu-Zdroju

Possibilities of diagnostics of historic wood on the example of testing the truss of a church in Jastrzębie-Zdrój

mgr inż. Joanna Drobiec (ORCID: 0009-0000-4364-8841), dr hab. inż. Beata Nowogońska, prof. uczelni (ORCID: 0000-0001-6343-4840), Uniwersytet Zielonogórski

DOI: 10.5604/01.3001.0053.9356

**Streszczenie:** W artykule opisano współczesne możliwości diagnostyki zabytkowych więźb dachowych. Przedstawiono wyniki nieniszczących badań więźby zabytkowego kościoła w Jastrzębiu-Zdroju. Wykonano badania metodą sklerometryczną oraz metodami ultradźwiękowymi. Przeprowadzone badania wykazały, że metody nieniszczące można stosować do jakościowej oceny drewna w obiektach zabytkowych.

**Słowa kluczowe:** badania nieniszczące, diagnostyka konstrukcji drewnianych, metoda ultradźwiękowa, metoda sklerometryczna.

**Abstract:** The article describes modern possibilities of diagnostics of historic roof trusses. The results of non-destructive testing of the truss of the historic church in Jastrzębie-Zdrój were presented. Sclerometric and ultrasonic tests were performed. The conducted research showed that non-destructive methods can be used for the qualitative assessment of wood in historic buildings.

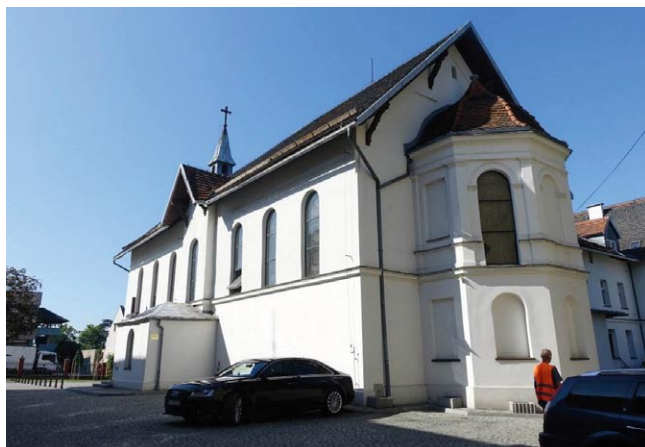
**Keywords:** non-destructive testing, diagnostics of wooden structures, ultrasonic method, sclerometric method.

## 1. Wprowadzenie

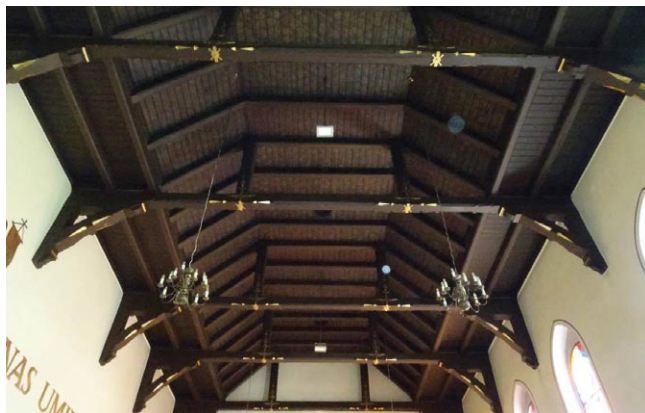
Naprawa zabytkowych konstrukcji drewnianych uwarunkowana jest znajomością zdolności mechanicznych zachowanych elementów. Analizy prowadzone na historycznej tkance obiektu wykluczają zwykle zastosowanie badań niszczących. Poszczególne elementy konstrukcji mogą być natomiast poddawane badaniom nieniszczącym (NDT) przeprowadzonym in situ [1–6]. Zaprezentowana w artykule metodologia badania NDT oparta została na zastosowaniu techniki ultradźwiękowej i sklerometrycznej. Elementy drewniane poddaje się tego rodzaju analizie od lat pięćdziesiątych XX wieku [2, 7, 8]. W badaniach ultradźwiękowych stosuje się najczęściej urządzenia emitujące falę podłużną. Nowością prezentowanych badań jest zastosowanie do badań drewna zabytkowego urządzenia analizującego prędkość przepływu fal poprzecznych. Badaniom poddano więźbę dachową zabytkowego kościoła p.w. Najświętszego Serca Pana Jezusa w Jastrzębiu Zdroju.

## 2. Analizowany obiekt

Budynek kościoła datuje się na rok 1898 r. Widok kościoła pokazano na rysunku 1. Więźba dachowa, będąca przedmiotem badań, wykonana została jako płatwiowa wieszakowa dwuwieszakowa. Jest to więźba częściowo otwarta z pułapem trapezowym i nadwieszeniem poziomym [9, 10]. Więźba ta ma dodatkowe zastrzały i rozpór, na których



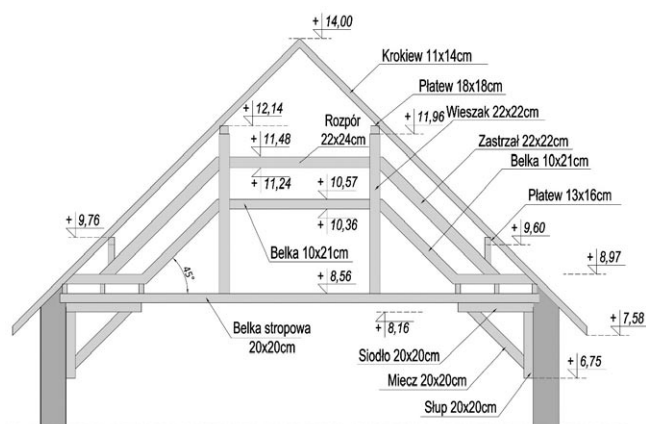
Rys. 1. Widok budynku kościoła od strony północnej



Rys. 2. Widok więźby od strony wnętrza kościoła



Rys. 3. Widok więźby nad kościołem od strony strychu



Rys. 4. Przekrój więźby kościoła

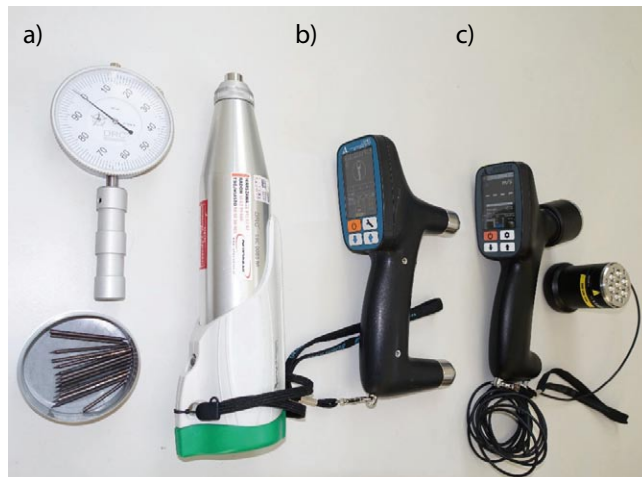
zabudowano sufit. Na wieszakach więźby ułożono płatwie, a na nich krokwie. Elementy więźby od strony kościoła są dodatkowo rzeźbione i malowane. Sufit pomalowano na brązowo i ozdobiono ornamentami roślinnymi. Widok więźby od strony kościoła pokazano na rysunku 2, od strony strychu na rysunku 3, a przekrój więźby na rysunku 4.

### 3. Wykonane badania i ich wyniki

Więzbę dachową poddano badaniom semi-nieniszczącym młotkiem do drewna Wood Peker DRC 19C0085M (rys. 5a). Przeprowadzono ponadto badania ultradźwiękowe przy wykorzystaniu urządzenia UK 1401 SURFER (rys. 5b) mierzącego prędkość przepływu fali poprzecznej wzdłuż włókien oraz przy wykorzystaniu urządzenia UK 1410 PULSAR (rys. 5c) dokonującego pomiaru prędkości podłużnej fali ultradźwiękowej w poprzek włókien. Dodatkowo wykonano również pomiar wilgotności elementów badanej konstrukcji.

#### 3.1. Semi-nieniszczące badania elementów więźby młotkiem do drewna

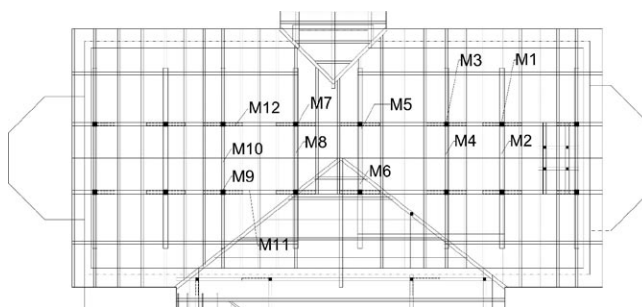
Badanie młotkiem do drewna polega na wbiciu igły o średnicy 2,5 mm, długości 50 mm, wykonanej ze stali o twardości 60 HRC i zakończonej stożkiem o kącie 35°. Energia uderzenia wynosi 2,207 Nm. Po pięciokrotnym uderzeniu młotkiem,



Rys. 5. Urządzenia wykorzystane w badaniach: a) Wood Peker DRC 19C0085M, b) UK 1401 SURFER, c) UK 1410 PULSAR



Rys. 6. Badanie młotkiem Schmidta do drewna (wieszak więźby wieszarowej)



Rys. 7. Miejsca badań młotkiem Schmidta

przy użyciu wskaźnika zegarowego, zostaje zmierzona głębokość igły i na tej podstawie z tabel lub wzorów określa się parametry wytrzymałościowe drewna. Przykładowy widok młotka Schmidta do drewna podczas badań pokazano na rysunku 6a, a przykładowy wynik pomiaru igły na rysunku 6b. Badania prowadzono w wybranych 11 elementach więźby, a miejsca badań oznaczono symbolem M1–M11 (rys. 7). Badania prowadzono na elementach bez korozji biologicznej oraz na elementach wykazujących uszkodzenia. Wyniki badań zamieszczono w tabeli 1.

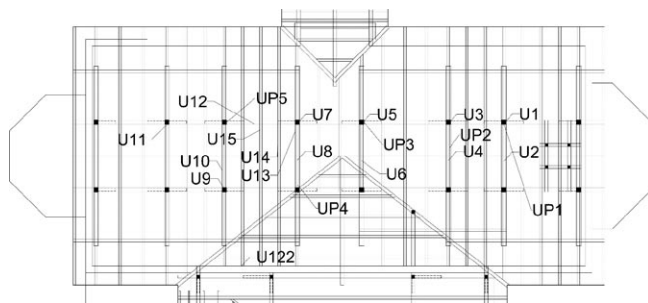
**Tabela 1.** Wyniki badań młotkiem Schmidta do drewna

Miejsce badania	Korozja biologiczna	Głębokość wbicia igły, mm
M1 (wieszak)	tak	32,15
M2 (rygiel)	nie	25,2
M3 (wieszak)	nie	26,45
M4 (rygiel)	tak	36,53
M5 (wieszak)	tak, niewielka	28,35
M6 (rygiel)	nie	23,12
M7 (wieszak)	tak, niewielka	28,54
M8 (rygiel)	tak	31,71
M9 (wieszak)	tak	30,46
M10 (rygiel)	nie	22,25
M11 (płatew)	nie	22,08
M12 (płatew)	nie	23,08

### 3.2. Nieniszczące ultradźwiękowe badania elementów więźby

Przeprowadzono nieniszczące ultradźwiękowe badania elementów więźby. Badanie polega na pomiarze czasu przejścia fali ultradźwiękowej przez drewno. Urządzenia rejestrują czas przejścia fali ultradźwiękowej i automatycznie obliczają prędkość fali ultradźwiękowej na podstawie odległości między głowicami nadawczą i odbiorczą. W urządzeniu UK1401 Surfer wykorzystuje się ultradźwiękową falę poprzeczną, a samo badanie prowadzi się wzdłuż włókien drewna badanego elementu. W urządzeniu UK1410 Pulsar wykorzystuje się ultradźwiękową falę podłużną, a badanie wykonuje się w poprzek włókien. Oba urządzenia zaopatrzone są w ultradźwiękowe głowice eksponencjalne (punktowe), które nie wymagają dodatkowego sprzężenia akustycznego. W urządzeniu UK1401 Surfer zabudowano dwie głowice w stałym rozstawie 15 cm, natomiast w urządzeniu UK1410 Pulsar zabudowano 2x po 7 głowic. W urządzeniach zastosowano głowice na sprężynach, dostosowujące się do płaszczyzny badanego elementu. W obu urządzeniach można wykonać badania przez wady drewna (np. sęki). Widok urządzeń podczas badań pokazano na rysunku 8.

Badania wykonywano w wybranych 20 miejscach więźby dachowej, które pokazano na rysunku 9. Badania prowadzone urządzeniem UK1401 Surfer oznaczono symbolem U, natomiast badania prowadzone urządzeniem UK1410 Pulsar symbolem UP. Podobnie jak w przypadku badań młotkiem

**Rys. 8.** Miejsca badań urządzeniami: a) UK1401 Surfer, b) UK1410 Pulsar**Rys. 9.** Miejsca badań urządzeniami: a) UK1401 Surfer (oznaczone U), b) UK1410 Pulsar (oznaczone UP)

do drewna badania prowadzono w miejscach nieuszkodzonych oraz w miejscach wykazujących korozję biologiczną. Dodatkowo urządzeniem UK1401 Surfer badano prędkość przepływu ultradźwięku przez wady drewna (sęki). Wyniki badań podano w tabeli 2.

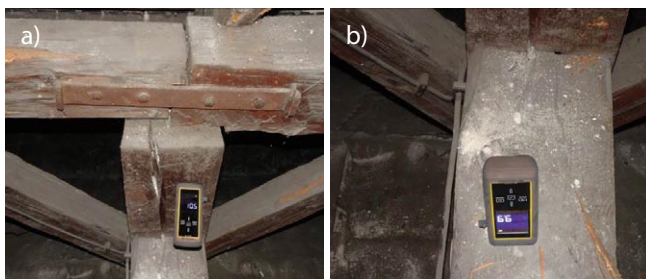
**Tabela 2.** Wyniki badań ultradźwiękowych

Miejsce badania	Korozja biologiczna	Wada drewna	Prędkość ultradźwięku, m/s
U1 (wieszak)	tak	nie	4920
U2 (rygiel)	nie	tak	3850
U3 (wieszak)	nie	nie	5310
U4 (rygiel)	tak	nie	4710
U5 (wieszak)	tak	nie	4830
U6 (rygiel)	nie	nie	5150
U7 (wieszak)	nie	nie	5300
U8 (rygiel)	tak, niewielka	nie	5110
U9 (wieszak)	Nie	nie	5630
U10 (rygiel)	nie	tak	4520
U11 (wieszak)	nie	nie	5810
U12 (płatew)	nie	nie	5680
U13 (krokiew)	nie	nie	5410
U14 (krokiew)	nie	nie	5460
U15 (krokiew)	tak, niewielka	nie	5040
UP1 (wieszak)	tak	nie	1280
UP2 (rygiel)	nie	nie	1950
UP3 (wieszak)	tak	nie	1380
UP4 (wieszak)	tak	nie	1430
UP5 (krokiew)	nie	nie	1910

### 3.3. Badania wilgotności

Wykonano punktowe badania wilgotności drewna urządzeniem T510 firmy Trotec. W wilgotnościomierzu tym pomiar wilgotności następuje poprzez czujniki pojemnościowe za pomocą dielektrycznej metody pomiarowej, wbijanej do drewna. Dokładność pomiaru wilgotności drewna urządzeniem T510 wynosi  $\pm 0,8\%$  przy wilgotności do 5%,  $\pm 0,2\%$  przy wilgotności od 5 do 30% i  $\pm 0,1\%$  przy wilgotności większej. Badania prowadzono w wybranych miejscach na elementach więźby dachowej. Przykładowe wyniki badań pokazano na rysunku 10.

W pracy [11] podano, że elementy drewniane znajdujące się w nieogrzewanych pomieszczeniach zamkniętych powinny cechować się wilgotnością równowagową  $12\% \pm 3\%$ . Taki



**Rys. 10.** Wyniki pomiaru wilgotnościomierzem T510: a) wieżak – wilgotność 10,5%, b) rozpór – wilgotność 9,9%

właśnie wynik uzyskano w badanych elementach przedmiotowej więźby. Według [11] wilgotność równowagowa dla konstrukcji wystawionych na działanie warunków atmosferycznych to  $18\% \pm 6\%$ . Literatura [11] podaje ponadto, że przy wilgotności  $< 20\%$  nie występuje zagrzybienie drewna. W badaniach zawsze uzyskiwano wilgotność  $< 20\%$  (najwyżej 12,8%), a podczas wizji nie stwierdzono śladów zagrzybień ani charakterystycznego zapachu stęchlizny.

#### 4. Analiza wyników

W przypadku badań młotkiem do drewna nie udało się określić wytrzymałości drewna. Producent urządzenia podaje co prawda korelację głębokości wbicia stalowej igły do wytrzymałości drewna na zginanie, ale dla włoskich gatunków drewna: jodły, kasztanu i dębu. Więźbę wykonano z krajowego drewna świerkowego. Producent podaje ponadto korelację tylko w przedziale głębokości wbicia 12–18 mm. W przedmiotowym przypadku igła wbijała się głębiej. Nie można było zatem skorzystać z krzywych głębokość wbicia igły – wytrzymałość drewna opracowanych przez producenta.

Na podstawie uzyskanych wyników można jednak dokonać jakościowej oceny drewna. W elementach skorodowanych igła wbijała się głębiej. W elementach nieuszkodzonych średnia głębokość wbicia igły wyniosła 23,7 mm, przy odchyleniu standardowym równym 1,75 mm (współczynnik zmienności 7,4%), natomiast w elementach silnie uszkodzonych średnia głębokość wbicia igły wyniosła 32,7 mm, przy odchyleniu standardowym równym 2,64 mm (współczynnik zmienności 8,1%).

W przypadku badań ultradźwiękowych również nie można było określić wytrzymałości drewna, ponieważ dostępne w literaturze krzywe korelacyjne nie dotyczą krajowego drewna zabytkowego. W literaturze krajowej i zagranicznej nie znaleziono ponadto krzywych korelacyjnych opisujących zależność między wytrzymałością drewna, a prędkością poprzecznej fali ultradźwiękowej.

Na podstawie wykonanych badań można dokonać jednak analizy jakościowej. W przypadku badań urządzeniem UK1401 Surfer (ultradźwiękowa fala poprzeczna) w elementach nieuszkodzonych uzyskano średnią prędkość ultradźwięku równą 5469 m/s, przy odchyleniu standardowym 222 m/s (współczynnik zmienności 4,1%). W elementach z korozją

biologiczną uzyskano średnią prędkość ultradźwięku równą 4922 m/s, przy odchyleniu standardowym 160 m/s (współczynnik zmienności 3,3%). Urządzenie UK1401 Surfer wykorzystano ponadto w badaniach wad (sęki). Zbadano dwa miejsca wadliwe umieszczając głowice urządzenia po obu stronach sęku. Uzyskano średnią prędkość ultradźwięku równą 4185 m/s. Widać zatem wyraźnie, że prędkość ultradźwięku w okolicy wady maleje o 25%, gdyż wydłuża się droga przepływu fali ultradźwiękowej (fala omija wadę).

W przypadku badań wykonanych urządzeniem UK1410 Pulsar (ultradźwiękowa fala podłużna) w elementach nieuszkodzonych uzyskano średnią prędkość ultradźwięku równą 1930 m/s, natomiast w elementach uszkodzonych prędkość była o 70% mniejsza i wynosiła 1363 m/s.

#### 5. Podsumowanie

Przeprowadzone badania wykazały, że metody nieniszczące i semi-nieniszczące można stosować do jakościowej oceny drewna w obiektach zabytkowych. Metodami tymi można wyznaczać miejsca korozji biologicznej oraz określać wpływ wad wewnętrznych na jakość drewna. Aby określić wytrzymałość drewna należy opracować krzywe korelacyjne opisujące zależność wynik badania nieniszczącego – wytrzymałość drewna. Wymaga to przeprowadzenia nieniszczących i niszczących badań laboratoryjnych drewna zabytkowego. Takie badania są właśnie prowadzone przez autorki artykułu na pełnowymiarowych elementach belkowych pozyskanych z obiektów zabytkowych. Dodatkowo prowadzi się badania tych elementów tomografem ultradźwiękowym.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] Calderoni C., De Matteis G., Giubileo C., Mazzolani F. M., Experimental correlations between destructive and non-destructive tests on ancient timber elements, *Engineering Structures*, tom. 32, 2/2010, str. 442–448
- [2] Jaskowska-Lemańska J., Metodyka określenia właściwości fizyko-mechanicznych drewna w istniejących konstrukcjach na podstawie badań semi-nieniszczących, rozprawa doktorska, AGH, Kraków, 2022
- [3] Bajno D., Rewitalizacja konstrukcji budowlanych w obiektach zabytkowych. Rozprawy, nr 171. Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich w Bydgoszczy, 2013
- [4] Runkiewicz L., Rozwój metod nieniszczących stosowanych w polskim budownictwie, *Przegląd Budowlany* 12/2018, str. 25–29
- [5] Schabowicz K., Najnowsze metody nieniszczące wykorzystywane w badaniach w budownictwie, *Badania Nieniszczące i Diagnostyka* 3/2018, str. 48–51
- [6] Schabowicz K., Orellana Menedez A. E., Andrianos N., Analysis of selected non-destructive methods for diagnosis in new and old buildings, *Badania Nieniszczące i Diagnostyka*, tom 6, nr 1–4/2022, str. 63–70
- [7] Drobiec Ł., Techniki diagnostyczne i sprzęt umożliwiające badania obiektów budowlanych in situ, *Materiały XVII Konferencji Naukowo-Technicznej Warsztat Pracy Rzeczoznawcy Budowlanego*, Kielce-Cedzyna, 19–21 października 2022, str. 241–259
- [8] Morales Conde M. J., Rodríguez Linan C., Rubio de Hita P., Use of ultrasound as a nondestructive evaluation technique for sustainable interventions on wooden structures. *Building and Environment*, tom 82, 2014, str. 247–257
- [9] Drobiec Ł., Renowacja konstrukcji obiektów zabytkowych. Systematyka – uszkodzenia – naprawy. Część I, Archmedia, Warszawa, 2018
- [10] Tajchman J., Jurecki A., Historia technik budowlanych, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2020
- [11] Neuhaus H., Budownictwo drewniane, Polskie Wydawnictwo Techniczne, Rzeszów, 2008