

Joanna Drobiec
Uniwersytet Zielonogórski, Poland



Streszczenie: W istniejących konstrukcjach drewno jest narażone na działanie różnych czynników biotycznych i abiotycznych. Sprawiają one, że drewno traci pożądane właściwości fizyczne i mechaniczne. Określenie stanu zachowania konstrukcji jest trudnym zagadnieniem związanym z określeniem ilości wad w drewnie. Na podstawie oceny stanu technicznego podejmuje się bowiem decyzje o naprawie lub wzmocnieniu obiektu. Ocena stanu technicznego obiektów zabytkowych często uniemożliwia stosowanie metod niszczących do określenia ilości wad i wytrzymałości drewna, dlatego ważne jest rozwijanie nieniszczących metod diagnostycznych. W pracy opisano metody analizy korozji biologicznej w istniejących drewnianych elementach konstrukcyjnych. Przedstawiono problemy napotymane na obiektach zabytkowych podczas określania ich stanu technicznego. Opisano metody nieniszczące i semi-nieniszczące służące do oceny stopnia degradacji i wytrzymałości drewna, takie jak: młotek do drewna, urządzenia ultradźwiękowe. Pokazano wyniki badań więźby dachowej i stropu strychowego zabytkowego budynku szpitala. Badania wykonano za pomocą tomografu ultradźwiękowego. Wykazano, że metoda tomografii ultradźwiękowej pozwala na szybką i dokładną ocenę zakresu korozji biologicznej.

Słowa kluczowe: drewno zabytkowe, wady drewna, metody badań drewna, metody nieniszczące i semi-nieniszczące

WSTĘP

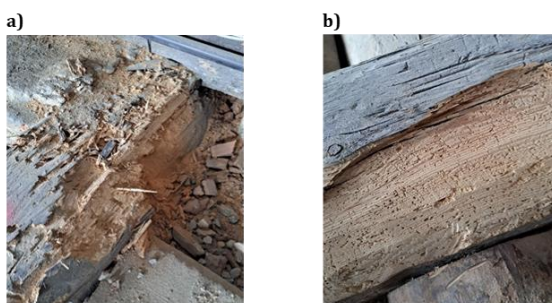
Drewno jest wielkim darem dla ludzkości. Od wieków zasoby leśne dawały możliwości i wyzwania. Kształciliśmy się w pozyskiwaniu i wykorzystywaniu surowca na setki sposobów. Jako materiał anizotropowy, niejednorodny, drewno jest materiałem trudnym do percepcji, dlatego jest zagadnieniem niezwykle interesującym. Mechaniczne i fizyczne właściwości drewna dawały możliwości wykorzystania drewna, jako budulca. Zastosowanie w budownictwie wodnym i lądowym uwrażliwiło nas na to jak drewno traktować, aby jego trwałość była jak największa. Materiał ten bywa bowiem narażany na działanie różnych czynników biotycznych i abiotycznych. Sprawiają one, że drewno traci pożądane właściwości fizyczne i mechaniczne. Szczególnie dotkliwie procesy biodeterioracji widoczne są w drewnie zabytkowym. Określenie stanu zachowania konstrukcji jest trudnym zagadnieniem związanym z określeniem ilości wad w drewnie. Jak prawidłowo zdiagnozować biodeteriorację tego materiału? Odpowiedź na to

pytanie jest bolączką ówczesnych badaczy związanych z drewnem zabytkowym i nie tylko.

Stopniowa biokorozja materiału związana jest z pojęciem trwałości, która jest jedną z najistotniejszych cech materiałów budowlanych w tym drewna (Drobiec, Nowogońska, Tomczak 2025, Rubin 2013). Podczas eksploatacji na przestrzeni wieków obiekty drewniane narażone są na działanie zmiennych warunków, które wiążą się ze zmianą wilgotności drewna. W pracy opisano możliwości badań zdegradowanego drewna zabytkowego.

KOROZJA DREWNA I METODY JEJ BADAŃ

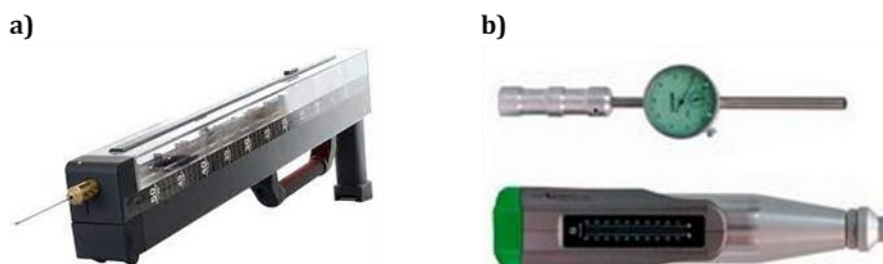
Wzrost wilgotności powoduje zmiany w strukturze drewna wywołane chętnie zasiedlającymi wilgotne drewno grzybami. Obiekty drewniane są niszczone przez grzyby właściwe (*Fungi*), należące do gromady podstawkowych (*Basidiomycota*) Grzyby te rozwijają się przy wilgotności powyżej 20%. Drewno o wilgotności poniżej 20% w tak zwanym suchym stanie ochronnym, nie jest w zasadzie narażone na rozwój grzybów (Ważny, Karaś 2001). Do gatunków powodujących bardzo szybki i rozległy rozkład drewna zalicza się: stroczek łzawy – grzyb domowy właściwy (*Serpula lacrymans*), gnilica mózgowata – grzyb piwniczny (*Coniophora puteana*), jamkówka pogięta – grzyb domowy biały (*Antrodia sinuosa*) (Witowski 2015). Oprócz grzybów specjalizujących się głównie w rozkładzie brunatnym drewna powodującym rozkład celulozy drewno wbudowane mogą zasiedlać owady – techniczne szkodniki drewna. Ksylofagi porażają drewno w zależności od upodobań temperaturowych i zawartości składników odżywczych. Dla rozwoju larw kołatka domowego (*Anobium punctatum*) czy spuszczela pospolitego (*Hylotrupes bajulus*) potrzebny jest udział białka powyżej 0,2% (Ważny, Karaś 2001, Krajewski 2023). Ksylofagiczne gatunki najchętniej zasiedlają drewno bielu bogate w składniki odżywcze oraz substancje zapasowe. Nieatrakcyjna pod względem pożywienia twardziel zawierająca mało protein pozostaje często nienaruszona. Przykłady uszkodzeń korozyjnych drewna pokazano na rys. 1.



Rys. 1 Uszkodzenia korozyjne drewna: a) Brunatny rozkład drewna, b) Chodniki owadzie

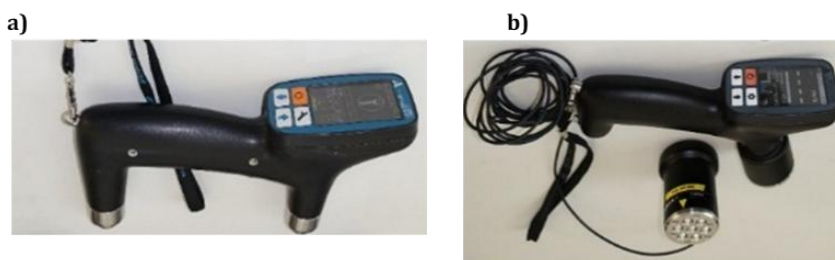
Podstawową czynnością dokonywaną podczas badań in situ jest ocena wizualna. Wizualnie można określić jednak tylko około 30% wad występujących w badanym elemencie (Tannert, 2014). Uszkodzenie może bowiem występować

wewnątrz elementu lub w miejscach trudno dostępnych. Określenie wytrzymałości drewna w konstrukcji możliwe jest poprzez badanie niszczące. Z uwagi na wymogi konserwatorskie w obiektach zabytkowych pobranie próbek do badań jest w zasadzie niemożliwe. Można stosować badania nieniszczące (NDT – non-destructive tests) i semi-nieniszczące (SDT) (Drobiec 2018). Badania semi-nieniszczące są badaniami docelowo określającymi punktowo stan drewna w elemencie. Prekursorem testów sklerometrycznych z historycznego punktu widzenia jest użycie szpikulca lub noża do badań stopnia rozkładu drewna. Badania semi-nieniszczące to badania przeprowadzane np. przy pomocy rezystografu lub młotka Schmidta do drewna. W przypadku badań rezystografem ocena wad polega na pomiarze oporu wiercenia wiertła, zapisanego w formie wykresu. Opór wiercenia zależy od różnicy gęstości drewna wczesnego i późnego, od struktury słoików rocznych, od zmian gęstości, uszkodzeń korozyjnych oraz kąta wiercenia (Nowak 2018). Mało niszczącym badaniem jest również pomiar twardości drewna wykonywany za pomocą młotka Schmidta do drewna. Badanie polega na penetracji materiału cienkim trzpieniem za pomocą młotka mechanicznego o stałej energii uderzenia. Aby określić nie tylko jakościowo, ale i ilościowo stopień uszkodzeń konieczne jest przeprowadzenie badań. Przykładowe urządzenia do badań semi-nieniszczących pokazano na rys. 2.



Rys. 2 Urządzenia do badań semi-nieniszczących:
a) rezystograf oporowy, b) młotek do drewna

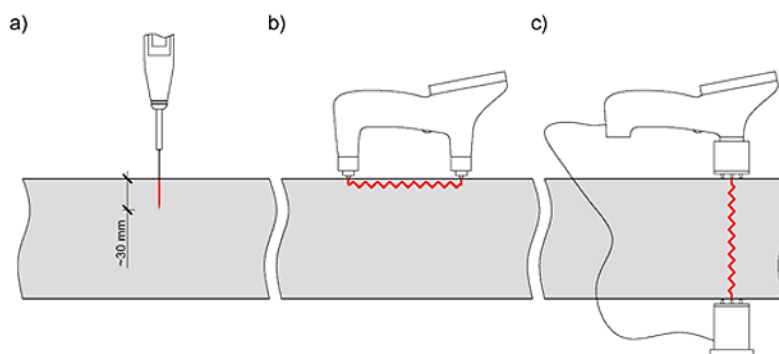
Oprócz badań semi-nieniszczących na zabytkowych konstrukcjach drewnianych wykonuje się badania nieniszczące. Obecnie coraz częściej stosuje się metody ultradźwiękowe. Prekursorem użycia techniki NDT do charakterystyki sprężystej drewna był Haermon (Haermon 1948). Urządzenia ultradźwiękowe służą do pomiaru prędkości przepływu fali ultradźwiękowej w drewnie. Na rys. 3 pokazano przyrządy do pomiaru prędkości fali ultradźwiękowej.



Rys. 3 Przykładowe urządzenia ultradźwiękowe:
a) UK1401 Surfer, b) UK1410 Pulsar

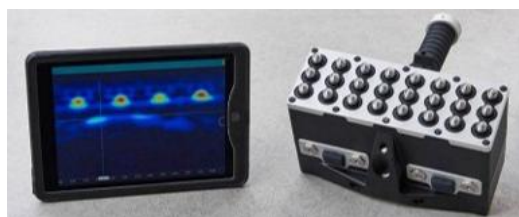
UK1401 Surfer służy do pomiaru poprzecznej fali ultradźwiękowej, a pomiar wykonuje się zwykle wzdłuż włókien, natomiast urządzenie Pulsar mierzy prędkość fali podłużnej, najczęściej w poprzek włókien. Zmiana prędkości przepływu fali wynika ze zmian struktury drewna.

W przypadku młotka do drewna Wood Peker pomiar jest punktowy i przypowierzchniowy, obejmujący głębokości do około 30 mm (rys. 4a). Badanie urządzeniem UK 1401 Surfer jest liniowe i przypowierzchniowe, analizowana jest ultradźwiękowa fala poprzeczna (rys. 4b), natomiast badanie urządzeniem UK 1410 Pulsar jest również liniowe, lecz obejmuje całą grubość elementu i analizuje się tu prędkość ultradźwiękowej fali podłużnej (rys. 4c).



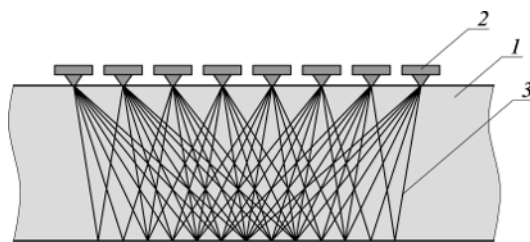
Rys. 4 Zakres badań w urządzeniach:
a) młotek do drewna Wood Peker, b) UK 1401 Surfer, c) UK 1410 Pulsar

Pokazane wyżej przyrządy służą do punktowej analizy uszkodzeń. Jak wykazały badania przeprowadzone w kościele w Sierotach w celu określenia zakresu korozji biologicznej drewna pomiary powinny być wykonane na gęstej siatce pomiarowej – około 10x10 cm (Nowogońska 2025). Badanie całej konstrukcji analizowanego obiektu jest więc bardzo pracochłonne. Prostszy i dokładniejszy podejściem może być zastosowane do oceny stanu zachowania elementów drewnianych tomografu ultradźwiękowego, np. Pundit Pd 8000 (rys. 5).



Rys. 5 Tomograf ultradźwiękowy Pundit Pd 8000

W tomografie tym zabudowano 3 rzędy po 8 głowic pomiarowych pracujących w zakresie częstotliwości 50 kHz. Każda głowica pomiarowa transmituje sygnał ultradźwiękowy w postaci fal poprzecznych i echa tych sygnałów są odbierane przez pozostałe głowice. Poszczególne głowice przesyłają własny sygnał po kolei, z opóźnieniem 8÷200 ms. Kompletny pomiar w jednym rzędzie składa się z 28 skanów – tzw. A-skany (rys 6).



Rys. 6 Zasada pomiaru tomografem ultradźwiękowym:
1 - badany element, 2 - głowica ultradźwiękowa, 3 - wiązka ultradźwięku

A-skany służą do tworzenia w czasie rzeczywistym tzw. B-skanu, czyli przekroju badanego elementu usytuowanego prostopadle do powierzchni skanowania. W celu wizualizacji wyników badań amplitudom odebranego sygnału oprogramowanie przyporządkowuje kolory i tworzy mapy. Amplitudom o najmniejszych wartościach przyporządkowany jest kolor granatowy, a amplitudom o wartościach największych kolor czerwony. Kolor czerwony oznacza pustkę powietrzną lub istotne zmniejszenie gęstości elementu. Kolory żółty i niebieski odpowiadają mniejszym zmianom gęstości, a kolor granatowy oznacza jednolity materiał.

PRZYKŁAD BADAŃ KOROZJI DREWNA

Przykładem znacznej biodeteriacji historycznej tkanki drewnianej jest więźba i stropy strychowe szpitala chorób płuc w Pilchowicach (rys. 7).



Rys. 7 Widok budynku szpitala w 2011 r. po wymianie pokrycia dachu

Więźba dachowa obiektu jest skomplikowana, lecz składa się z typowych elementów połączonych ze sobą. Dach starszej centralnej części budynku jest dwukondygnacyjny. W górnej partii wykonano go w postaci więźby jętkowej dwustolcowej (rys. 8a).



Rys. 8 Konstrukcja więźby starszej, środkowej części budynku:
a) część wyższa, b) część niższa

Płatwie podpierają tu końce jętek i wsparte są na stolcach opartych na murach wewnętrznych korytarza. Stolce zaopatrzone są w miecze i zabezpieczone zastrzałami wspartymi na belkach wiązarowych.

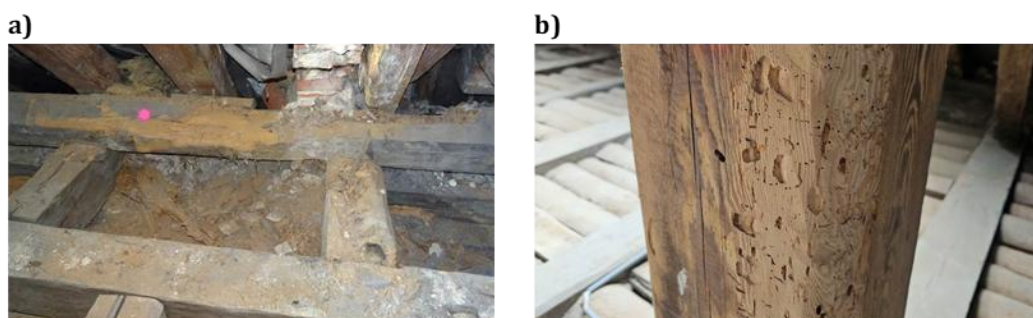
Od strony południowo-zachodniej krokwie, belki wiązarowe i belki stropu strychowego części wyższej opierają się na płatwi więźby dolnej kondygnacji. Na niższej kondygnacji płatwie górne wsparte są na stolcach leżących zabudowanych przy krokwiach. Stolce zastabilizowano dwoma poprzecznymi zastrzałami (rys. 8b). Stolce leżące opierają się na nietypowo ukształtowanej belce podporowej o przekroju ściętego trapezu. Belka podporowa oparta jest na belkach wiązarowych, a te na namurnicy.

Więźba dachowa skrzydła północno-zachodniego jest jednokondygnacyjna. Jest to typowa więźba bezjętkowa płatwiowa wieszarowa dwuwieszakowa (rys. 9).



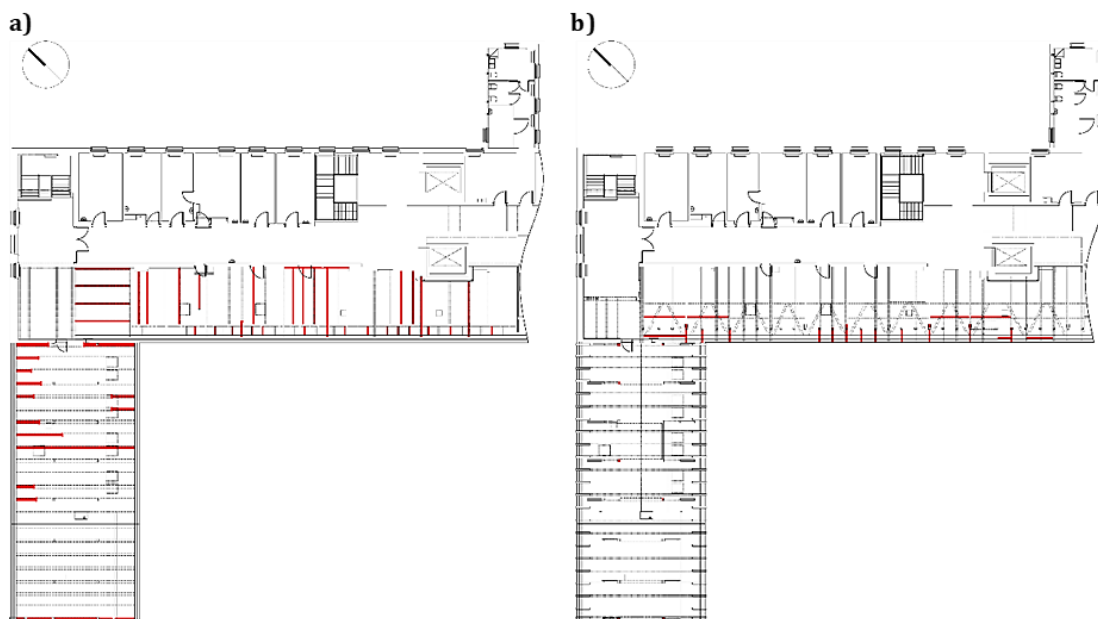
Rys. 9 Widok więźby skrzydła północno-zachodniego budynku

Przeprowadzono oględziny wizualne i badania konstrukcji dachu przy pomocy młotka ciesielskiego. Przykładowe uszkodzenia korozyjne pokazano na rys. 10, a na rys. 11 pokazano rzut więźby szpitala z zaznaczonymi obszarami największych uszkodzeń.



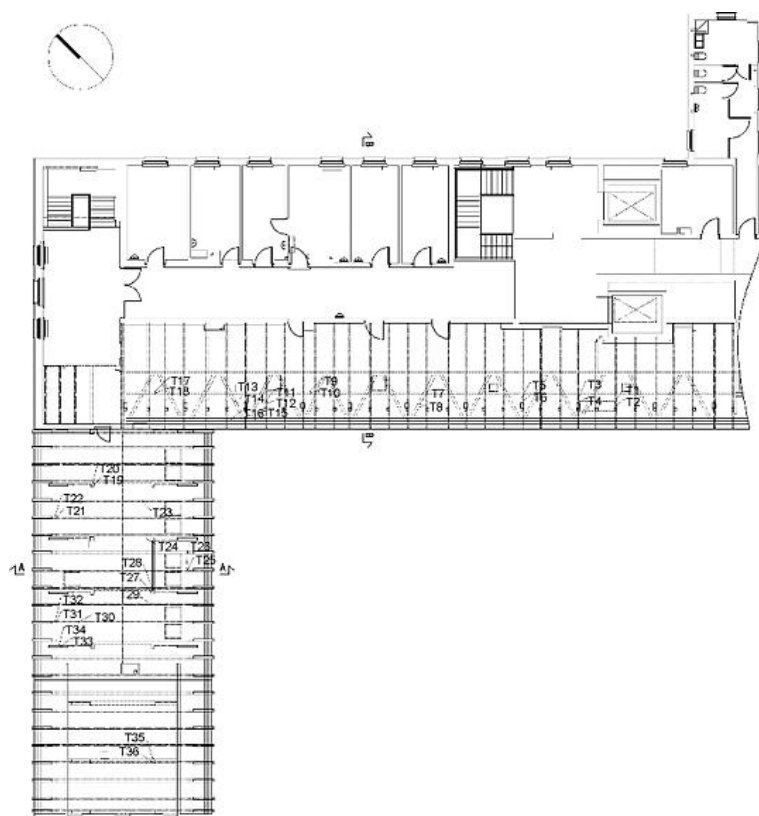
Rys. 10 Przykładowe uszkodzenia elementów więźby:
a) korozja biologiczna, b) chodniki owadzie

Przeprowadzono badania wybranych elementów więźby przy pomocy tomografu ultradźwiękowego. Wykonano 36 skanów elementów o długości ponad 1,0 m każdy.



**Rys. 11 Inwentaryzacja uszkodzeń więźby dachowej (kolor czerwony):
a) w poziomie belek stropu strychowego, b) w poziomie więźby dachowej**

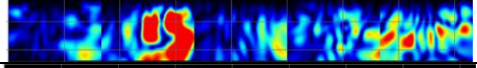
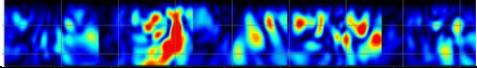
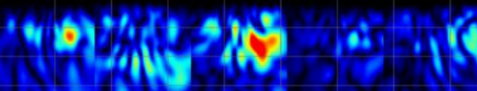
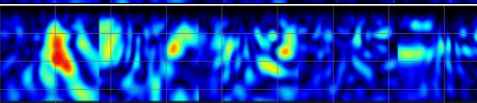
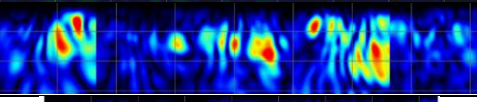
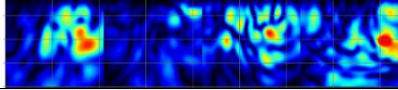
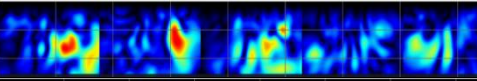
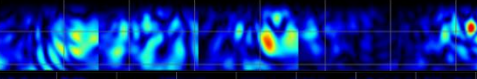
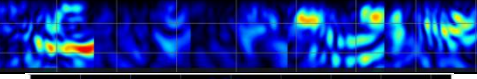
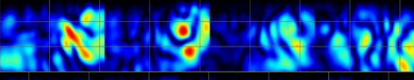
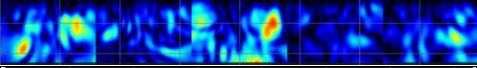
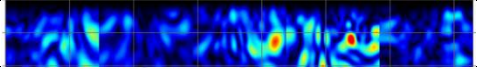
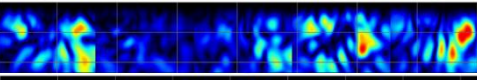
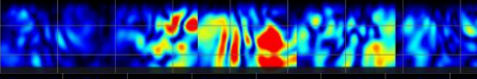
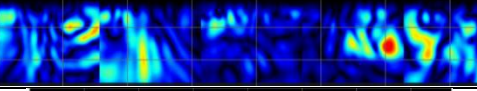
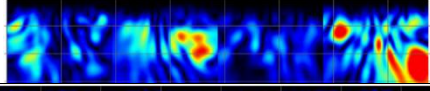
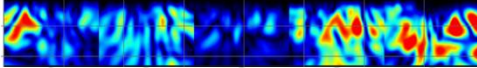
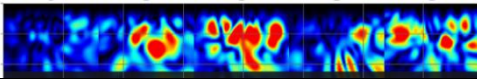
Miejsca badań pokazano na rys. 12 i oznaczono je wielką literą T i kolejną cyfrą alfabetu arabskiego.



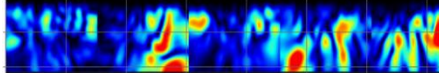
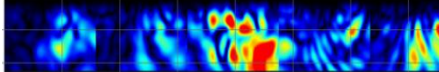
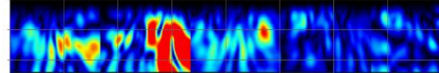
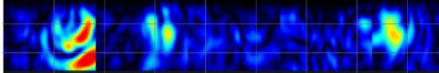
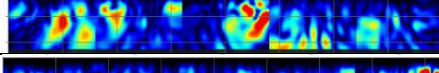
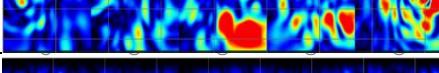
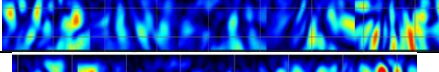
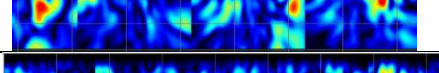
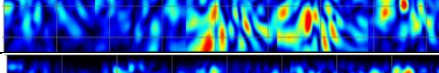
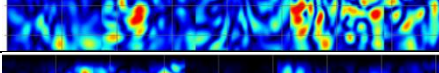

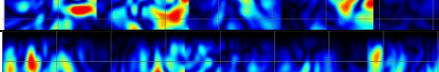
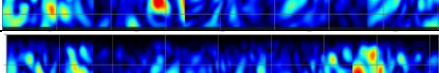
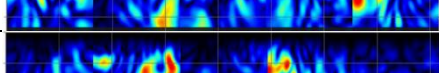
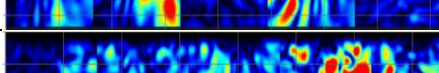
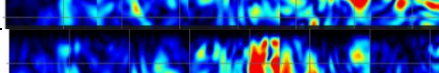
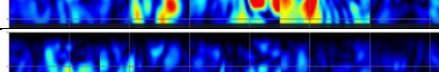

Rys. 12 Miejsca badań tomografem ultradźwiękowym

Wyniki badań pokazano w tabelach 1 i 2. W tabelach zamieszczono zeskanowany obraz wad wewnętrznych oraz obliczoną powierzchnię wad na badanej płaszczyźnie.

**Tabela 1 Wyniki badań tomografem ultradźwiękowym
w części środkowej więzby**

Nr skanu	Obraz uzyskany z tomografu ultradźwiękowego	Długość skanu [m]	Powierzchnia wad na badanej płaszczyźnie [m ²]	Procentowy udział rzutu wad [%]
T1		1,05	0,0365	26,7
T2		1,03	0,0252	17,5
T3		1,00	0,0170	9,44
T4		1,05	0,0224	11,23
T5		1,03	0,0254	13,70
T6		0,84	0,0220	13,78
T7		1,03	0,0207	14,36
T8		1,03	0,0144	9,99
T9		1,05	0,0138	8,76
T10		0,84	0,0193	16,41
T11		1,05	0,0146	9,93
T12		1,03	0,0124	8,86
T13		1,04	0,0177	12,16
T14		1,04	0,0317	21,77
T15		1,06	0,0231	12,82
T16		0,85	0,0218	16,03
T17		1,05	0,0367	24,97
T18		1,05	0,0324	22,04
			Średnia	15,03%

**Tabela 2 Wyniki badań tomografem ultradźwiękowym
w skrzydle północno-zachodnim wieźby**

Nr skanu	Obraz uzyskany z tomografu ultradźwiękowego	Długość skanu [m]	Powierzchnia wad na badanej płaszczyźnie [m ²]	Procentowy udział rzutu wad [%]
T19		1,05	0,0321	21,84
T20		1,05	0,0275	18,70
T21		1,06	0,0209	14,08
T22		1,05	0,0119	8,10
T23		1,05	0,0271	18,44
T24		1,03	0,0331	22,95
T25		1,05	0,0171	11,63
T26		0,84	0,0175	14,88
T27		1,05	0,0247	16,80
T28		1,05	0,0357	24,29
T29		1,05	0,0148	10,06
T30		1,05	0,0203	13,81
T31		1,04	0,0187	12,84
T32		1,04	0,0157	10,78
T33		1,03	0,151	10,47
T34		1,06	0,0246	16,58
T35		1,04	0,0225	15,45
T36		1,05	0,0083	5,65
			Średnia	14,85%

PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania tomografem ultradźwiękowym wykazały, że procentowy udział wad jest znaczny. Zarówno w wieźbie środkowej, jak i w wieźbie w skrzydle północno-zachodnim średni procentowy rzut wad na

powierzchnię wynosi około 15%. Jak wykazano w pracy doktorskiej (Drobiec 2025) udział wad do 10% rzutu na powierzchnię świadczy o zadowalającym stanie technicznym. Większy udział wad to informacja o znacznym uszkodzeniu korozyjnym elementu. Przeprowadzone badania wykazały, że tomograf ultradźwiękowy może być z powodzeniem stosowany do analizy jakościowej dotyczącej zakresu korozji biologicznej elementów drewnianych.

LITERATURA

- Drobiec J., Nowogońska B., Tomczak K. (2025). Wady zabytkowego drewna konstrukcyjnego. *Przegląd Budowlany*, 6, s. 147-149.
- Drobiec J. (2025). Analiza możliwości wykorzystania metod nieniszczących i semi-niszczących do określania wytrzymałości zabytkowego drewna. Rozprawa Doktorska. Uniwersytet Zielonogórski. Zielona Góra.
- Drobiec Ł. (2018, 2029, 2021,2025). Renowacje konstrukcji obiektów zabytkowych. Systematyka – uszkodzenia – naprawy. Część I, II, III, IV. Archmedia, Warszawa.
- Hearmon R. F. S. (1948). *The elasticity of wood and plywood*, H.M.S.O., London.
- Krajewski A., Witomski P. (2023). *Ochrona drewna surowca i materiału*. Wydawnictwo SGGW. Warszawa.
- Nowak T., Bednarz Ł., Jasieńko J., Karolak A., Kiedrzyń J. (2018). Badania i analiza stanu technicznego ścian drewnianej konstrukcji zrębowej kościoła św. Jana Nepomucena we Wrocławiu. *Wiadomości konserwatorskie*, 55.
- Nowogońska B., Drobiec J. (2025). Prevention of failure of heritage buildings through diagnostic testing using the example of roof structure elements from the 15th century. *Engineering Failure Analysis*, 109709.
- Praca zbiorowa pr. J. Ważnego i J. Karasia. (2001). *Ochrona budynków przed korozją biologiczną*, Arkady, Warszawa.
- Rubin J.A. (2013). Biokorozja wyrobów budowlanych pochodzenia nieorganicznego, *Brukbiznes*, 3.
- Tannert T., Anthony R.W., Kasal B., Kloiber M., Piazza M., Riggio M., Rinn F., Widmann R., Yamaguchi N. (2014). In situ assessment of structural timber using semi-destructive techniques. *Materials and Structures*, 47(5), 767–785.
- Witomski P. (2015). Konserwacja zachowawcza a trwałość budowli. *Budownictwo i Architektura*, 14(4), 157-164.

A forest of problems

Abstract: In existing structures, wood is exposed to various biotic and abiotic factors. These factors cause wood to lose its desired physical and mechanical properties. Determining the structural condition of a structure is a difficult task, related to determining the number of defects in the wood. Decisions regarding repair or reinforcement are based on the assessment of its technical condition. Assessing the technical condition of historic buildings often prevents the use of destructive methods to determine the number of defects and the strength of the timber, therefore, the development of non-destructive diagnostic methods is crucial. This paper describes methods for analysing biological corrosion in existing wooden structural elements. Problems encountered in historic buildings during the assessment of their technical condition are presented. Non-destructive and semi-destructive methods for assessing the degree of degradation and strength of wood, such as a wood hammer and ultrasonic devices, are described. The results of examinations of the roof truss and attic ceiling of a historic hospital building are presented. The examinations were performed using an ultrasonic tomograph. It was demonstrated that ultrasonic tomography allows for a quick and accurate assessment of the extent of biological corrosion.

Keywords: historic wood, wood defects, wood testing methods, non-destructive and semi-non-destructive methods

Joanna Drobiec

Uniwersytet Zielonogórski

Instytut Budownictwa

ul. prof. Z. Szafrana 1, 65-516 Zielona Góra, **Poland**

e-mail: j.drobiec@ib.uz.zgora.pl