

Prof. dr hab. inż. Jacek HULIMKA

Gliwice, sierpień 2025 r.

Politechnika Śląska  
Katedra Inżynierii Budowlanej  
ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice

recenzja spełnia  
wymagane formalne  
wymagania

## RECENZJA

### ROZPRAWY DOKTORSKIEJ PANI MGR INŻ. JOANNY DROBIEC „ANALIZA MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA METOD NIENISZCZĄCYCH I SEMI-NIENISZCZĄCYCH DO OKREŚLANIA WYTRZYMAŁOŚCI ZABYTKOWEGO DREWNA”

#### Podstawa formalna i przedmiot recenzji

Niniejszą recenzję opracowałem na prośbę P.O. Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Uniwersytetu Zielonogórskiego, Pana profesora Jacka Korentza, wyrażoną w piśmie z dnia 27 czerwca 2025 roku, nawiązującym do uchwały Nr 137 Senatu Uniwersytetu Zielonogórskiego, podjętej w dniu 25 czerwca 2025 r.

Formalną podstawą wykonania recenzji jest umowa z dnia 25 czerwca 2025 r.

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska Pani magister inżynier Joanny Drobiec pt. „Analiza możliwości wykorzystania metod nieniszczących i semi-nieniszczących do określania wytrzymałości zabytkowego drewna”. Praca ta została przygotowana na Wydziale Nauk Inżynieryjno-Technicznych Uniwersytetu Zielonogórskiego pod kierunkiem Pani dr hab. inż. Beaty Nowogońskiej prof. UZ jako promotora.

Opiniowana dysertacja zawarta jest w jednym tomie, liczącym 238 stron.

#### Problematyka rozprawy

Jako temat swojej rozprawy Doktorantka wybrał problematykę oceny wytrzymałości drewna konstrukcyjnego w obiektach zabytkowych, przy zastosowaniu metod nieniszczących lub semi-nieniszczących. Praca dotyczy zagadnień bardzo słabo rozpoznanych badawczo, co wynika, między innymi, z trudności w pozyskaniu odpowiedniej próby do badań porównawczych (niszczących). Drewno przez lata było praktycznie jedynym materiałem dostępnym do budowy więźb dachowych – a zabytkowy charakter wielu budynków bardzo utrudnia, a czasem wręcz wyklucza możliwość pobrania elementów do badań niszczących. Tym samym problemy poruszane w dysertacji mają duże znaczenie praktyczne, bowiem

wiarygodna ocena wytrzymałości drewna jest podstawą do oceny nośności wykonanych zeń konstrukcji, zwykle dachowych.

W powyższym kontekście Doktorantka sformułowała trzy tezy pracy, a mianowicie:

- możliwe jest określenie wad wewnętrznych drewna zabytkowego przy pomocy metod nieniszczących,
- możliwe jest określenie parametrów wytrzymałościowych drewna zabytkowego przy pomocy metod nieniszczących,
- możliwe jest opracowanie metodyki określenia klasy wytrzymałościowej drewna zabytkowego przy pomocy metod nieniszczących z uwzględnieniem wad wewnętrznych istniejących w badanych elementach.

Tu drobna uwaga stylistyczna: określenie „przy pomocy” jest niezręczne, bowiem sugeruje osobę; w danym kontekście właściwsze jest „za pomocą” lub „przy użyciu”.

W celu udowodnienia powyższych tez Autorka sformułowała cele naukowe pracy, w tym:

- wykonanie wstępnych badań na obiekcie historycznym,
- opracowanie zależności „badany parametr – wytrzymałość drewna” dla kilku metod badawczych,
- opracowanie sposobu nieniszczącej, szybkiej lokalizacji wad drewna, w tym wewnętrznych,
- opracowanie metodyki określenia klasy drewna zabytkowego, z uwzględnieniem wad wewnętrznych,

a także wykaz planowanych działań.

W uzupełnieniu tez i celów należałoby dodać, że pod pojęciem „parametrów wytrzymałościowych drewna” Doktorantka ogranicza się do wytrzymałości drewna na zginanie. Nie jest to jednak zarzut, bowiem parametr ten jest wystarczający do oceny klasy drewna, a w przypadku pełnowymiarowych elementów konstrukcyjnych jest najlepiej powiązany z lokalnymi wadami tego materiału.

W opisanym stanie rzeczy temat badawczy podjęty przez Doktorantkę należy uznać jako aktualny i ważny.

### **Treść rozprawy**

Treść rozprawy zawarta jest w dziesięciu rozdziałach, uzupełnionych wykazem cytowanej literatury (130 pozycji + 22 normy) i streszczeniami – polskim i angielskim.

Rozdział 1 poświęcony jest genezie podjęcia tematu pracy i, dodatkowo, krótkiemu opisowi jej celu.

W rozdziale 2 Autorka prezentuje stan wiedzy, podzielony na zagadnienia z zakresu opisu i oceny wad drewna, metod określania jego parametrów mechanicznych (w tym metodami nieniszczącymi) oraz wybranych wyników obcych badań nieniszczących, w tym z korelacjami z wynikami badań niszczących. Rozdział ten zakończony jest podsumowaniem, będącym podstawą do sformułowania tez i celów dysertacji.

Rozdział 3 zawiera tezy i cele naukowe pracy (które już opisano wcześniej) oraz szczegółowy plan działań.

W rozdziale 4 Autorka przedstawiła pilotażowe badania wykonane na elementach więźby nad kościołem pw. Wszystkich Świętych w Sierotach. W zakres wykonanych badań siedmiu losowo wybranych elementów wchodziły:

- inwentaryzacja uszkodzeń z dokumentacją fotograficzną,
- badania przy użyciu tomografu ultradźwiękowego,
- badania sklerometryczne przy użyciu młotka do drewna,
- badania ultradźwiękowe z pomiarem prędkości przepływu fali poprzecznej,
- badania ultradźwiękowe z pomiarem prędkości przepływu fali podłużnej,
- badania wilgotności.

Uzyskane wyniki zostały opracowane i porównane, co pozwoliło na ocenę ich wzajemnej korelacji. W zakresie największych uszkodzeń wyniki z pomiarów punktowych były zgodne z uzyskanymi metodą tomografii ultradźwiękowej, natomiast stwierdzone różnice szczegółowe wyników badań punktowych wynikały z różnych zakresów i metod poszczególnych pomiarów. Jednocześnie jednak połączenie wyników badań punktowych dało efekty zbliżone do uzyskanych tomografem, a zatem wiarygodne. Podstawowymi obserwacjami z badań pilotażowych były: powyższe spostrzeżenie, a także potwierdzenie przydatności tomografu ultradźwiękowego do diagnostyki wad drewna oraz wniosek o ograniczeniu efektów oględzin wizualnych do wykrycia maksymalnie 50% rzeczywistych uszkodzeń badanych elementów.

W rozdziale 5 Autorka szeroko opisała wykonane przez siebie, zasadnicze badania metodami nieniszczącymi i semi-nieniszczącymi. Do badań pozyskała 75 pełnowymiarowych elementów pochodzących z 26 obiektów z terenu całej Polski. Najstarszy z nich pochodził z 1412 roku, a najmłodszy z 1932. Ostatecznie do badań wykorzystano 70 elementów.

Wszystkie elementy przebadano przy użyciu tomografu ultradźwiękowego (na dwóch kierunkach w celu pełnej lokalizacji wad; sprowadzonym wynikiem badań był procentowy udział rzutu wad w odniesieniu do powierzchni podłużnego przekroju elementu), przy użyciu młotka do drewna (z dodatkowym określeniem współczynnika poprawkowego dla położenia młotka oraz dla gatunku drewna), przy użyciu miernika prędkości rozchodzenia się fal



poprzecznych i miernika prędkości rozchodzenia się fal podłużnych. Dodatkowo skontrolowano wilgotność drewna. Wszystkie wyniki zostały zestawione dla poszczególnych elementów, w oryginalnych jednostkach wynikających z techniki pomiarów.

W rozdziale 6 zostały opisane badania niszczące. Generalnie były one wykonywane w schemacie czteropunktowego zginania, jednak w przypadku krótkich elementów, gdzie istniało ryzyko zbyt dużego udziału sił poprzecznych, zastosowano schemat trójpunktowego zginania. Wyniki wyprowadzono w postaci wartości sił niszczących i ugięć oraz obrazu odkształceń w systemie Aramis. Naprężenia przy zniszczeniu wyliczono z uwzględnieniem współczynników uwzględniających wysokość przekrojów i stosunek długości elementów do ich wysokości. We wnioskach jakościowych z badań podkreślono, między innymi, kruchy charakter zniszczenia zabytkowego drewna oraz wpływ lokalizacji wad na obraz zniszczenia.

Z poznawczego punktu widzenia najciekawszy jest rozdział 7, poświęcony analizie uzyskanych wyników, w tym związku pomiędzy wynikami badań nieniszczących i niszczących. Doktorantka zestawiała tu przeliczone wyniki poszczególnych badań nieniszczących z wytrzymałościami uzyskanymi z badań niszczących (odrębnie dla każdego gatunku drewna), a następnie wyznaczyła mediany i dolne obwiednie wyników – uzyskując tym samym funkcje wiążące wytrzymałość drewna na zginanie z wynikami poszczególnych badań. Ponadto przeanalizowała funkcję wiążącą wytrzymałość na zginanie z procentowym udziałem rzutu wad uzyskanym jako wynik tomografii ultradźwiękowej.

Rozdział 8 zawiera propozycję metodyki określania wytrzymałości drewna na podstawie wyników wykonanych badań nieniszczących, wykonaną w kontekście procentowego udziału wad materiału. Autorka wykazała tu wyraźną zależność pomiędzy układem wyników a procentowym udziałem rzutu wad, jako wartość graniczną wskazując 10%. Na tej podstawie zaproponowała blokowy schemat postępowania, różnicując ścieżki postępowania po obydwu stronach wartości granicznej.

W rozdziale 9 Autorka przedstawiła trzy przykłady praktycznego zastosowania proponowanej metody badawczej w obiektach historycznych, przy czym w dwóch przypadkach uzyskane wyniki zostały porównane z pojedynczymi wynikami badania niszczącego. W tych dwóch przypadkach, różniących się procentowym udziałem rzutu wad (a zatem ścieżką postępowania w proponowanym schemacie), uzyskała bezpieczne oszacowanie uzyskanych wartości wytrzymałości.

W rozdziale 10 Doktorantka przedstawiła podsumowanie wykonanych prac, odniosła się do tej pracy oraz przedstawiła plany dalszych działań.



### **Merytoryczna ocena rozprawy**

Na początku tej części recenzji stwierdzam, że opiniowaną rozprawę doktorską Pani magister inżynier Joanny Drobiec oceniam bardzo pozytywnie. Za taką oceną przemawiają poniższe argumenty.

- Temat rozprawy jest trafnie dobrany, bowiem ma znaczenie poznawcze oraz wyraźne odniesienie do eksperckiej praktyki budowlanej. Powyższe świadczy o umiejętności sformułowania tematu badawczego powiązanego z rzeczywistymi problemami, na jakie natrafiają osoby oceniające istniejące obiekty zabytkowe.
- Autorka wykazała dobrą znajomość poruszanej tematyki, wyrażoną w krytycznym przeglądzie stanu wiedzy.
- Program badań został prawidłowo dobrany i umiejętnie zrealizowany. Na szczególne podkreślenie zasługują szeroko zakrojone badania wykonane na pełnowymiarowych elementach konstrukcyjnych, z wykorzystaniem nowoczesnych technik pomiarowych i umiejętnym opracowaniem uzyskanych z nich wyników.
- Autorka zaproponowała metodykę wiarygodnego określania wytrzymałości zabytkowego drewna metodami nieniszczącymi.
- Wyniki wszystkich badań zostały przedstawione w sposób szczegółowy, co pozwala na ich wykorzystanie przez innych badaczy, w tym wykonanie odrębnych analiz.
- Autorka wykazała się umiejętnością prawidłowego i logicznego wnioskowania na podstawie uzyskanych wyników badań i analiz. Jest to cenna umiejętność, bowiem najlepiej nawet opracowane wyniki bez odpowiedniej interpretacji pozostają jedynie zbiorem liczb i wykresów.

Wśród szczegółowych osiągnięć poznawczych pracy wymienić należy:

- pozyskanie licznej próby elementów badawczych z obiektów o udokumentowanej historii,
- przeprowadzenie szeroko zakrojonych, unikatowych badań na pełnowymiarowych elementach drewnianych pobranych z zabytkowych obiektów i bardzo czytelne przedstawienie wyników,
- wykazanie korelacji pomiędzy wynikami badań nieniszczących i semi-nieniszczących a wytrzymałością drewna na zginanie,
- określenie wiarygodnych współczynników poprawkowych do badań sklerometrycznych drewna,



- zaproponowanie wiarygodnej, popartej wynikami badań propozycji metodyki oceny wytrzymałości drewna metodami jak wyżej, z określeniem granicznego udziału wad, determinującego dwa podejścia statystyczne,
- potwierdzenie proponowanej procedury w badaniach wykonanych w istniejących obiektach zabytkowych.

Obowiązkiem recenzenta jest także sformułowanie pytań i uwag krytycznych, w tym o charakterze dyskusyjnym. Poniżej przedstawiono wybrane uwagi (w nieco przypadkowej kolejności).

- Wnioski jakościowe z wykonanych badań i analiz są bardzo cenne i mają charakter uniwersalny, natomiast wnioski ilościowe, chociaż bazują na znacznej liczbie badań, nie mogą być traktowane jako uniwersalne. W szczególności dotyczy to uzależnienia podejścia obliczeniowego (statystycznego) od procentowego udziału wad drewna (10% wad jako wartość graniczna w procedurze). Jest to o tyle ważne, że Autorka sama stwierdziła, że wykrywalność wad w zwykłych obserwacjach sięga od 30% do 50% ich rzeczywistej liczby. Tym samym wartość graniczna 10% jest wiarygodna jedynie w przypadku dostępu do wyników badań tomografem ultradźwiękowym lub innym urządzeniem gwarantującym pełną detekcję wad (badanie takie jest wpisane w proponowaną metodykę). W wielu przypadkach należy się jednak liczyć z koniecznością oceny wytrzymałości drewna na podstawie wyników badań nieniszczących lub semi-nieniszczących, jednak bez możliwości wcześniejszych badań tomograficznych. Biorąc pod uwagę zaniżoną wykrywalność wad w bezpośrednich obserwacjach (ocenioną przez Autorkę na poziomie od 30% do 50%) wskazane wydaje się zaproponowanie uproszczonej procedury (bez konieczności wykonania badań tomograficznych), z określeniem innej, niższej, wartości granicznej intensywności uszkodzeń możliwych do bezpośredniej obserwacji.
- Pewne wątpliwości budzą opisy analiz wykonanych w rozdziale 7 dysertacji. Otóż, uzyskane w analizach statystycznych niebieskie linie na kolejnych wykresach w tekście są opisane jako mediany, a jednocześnie służą do wyliczania wartości średnich (co wynika zarówno z części zapisów, jak i z symbolu „m” przy wytrzymałości). Konieczne jest wyjaśnienie tej nieścisłości.
- Niejasne są wyniki badań weryfikujących proponowaną procedurę, zawarte w tablicach 28, 33 i 38. Pomijając błędne tytuły tych tablic (w każdym z nich jest nazwa tylko jednego z urządzeń badawczych), wyliczone w nich wytrzymałości drewna są efektem wyników uzyskanych w jednej z trzech procedur badawczych (co wyraźnie wynika z nagłówka prawej kolumny). Tym samym logiczne wydaje się





przedstawienie każdorazowo trzech wyników i wskazanie tego, który został przyjęty do dalszej obróbki statystycznej. W wymienionych tablicach jest to natomiast każdorazowo jedna wartość, bez wskazania urządzenia (wzoru) będącego jej źródłem.

- W opisie badań niszczących brakuje dwóch istotnych danych, a mianowicie uściślenia aplikacji wymuszenia (stały przyrost siły w czasie lub stały przyrost przemieszczenia w czasie), a także prędkości tego przyrostu. Wartości te wpływają na uzyskane wyniki, zatem są ważne z punktu widzenia ich interpretacji.
- Jaka była dokładność prowadzenia pomiarów sił i przemieszczeń? Wyniki pokazane w tablicy 23 sugerują 0,01 kN i 0,01 mm, ale w części przypadków wpisane są wyniki z dokładnością o jeden rząd wyższą.
- Autorka opisała użycie we wszystkich badaniach niszczących systemu pomiarowego Aramis, natomiast nie odniosła się do uzyskanych wyników. Z punktu widzenia celu pracy i przyjętych w niej tez nie jest to istotne, natomiast ważna jest wiadomość, czy uzyskane tu wyniki (które zapewne zostaną przedstawione w odrębnych publikacjach) są spójne i wiarygodne w świetle wyników pozostałych badań.
- Przekroje poprzeczne badanych belek, z racji wieku i licznych uszkodzeń, na pewno nie były idealnymi prostokątami, a tak zostały opisane (tablica 22). Czy, a jeżeli tak to w jaki sposób, zostało to uwzględnione w obliczeniach naprężeń przy zniszczeniu (tablica 23)?
- Średnie wartości w części tablic są wyliczane ze zbyt dużą dokładnością. Jest to mylące, bowiem sugeruje tak wysoką dokładność pomiarów, co nie jest prawdą.
- Opis zawartości tablicy 24 (str. 177) jest błędny, bowiem kolorem zielonym podświetlono bezpieczne oszacowanie, kiedy wartości z badań nieniszczących są mniejsze niż z niszczących; w wierszu 6g słowo „większe” powinno być zatem zmienione na słowo „mniejsze”. W kolorystyce poszczególnych komórek też są błędy – w wierszach VII-1, XV-6, XVII-3, XV-5, XVIII-6, II-2, XVI-6, XVIII-2, XV-4, IX-3, XXI-2, VI-3, XVI-7, VII-2, XVI-1. Szczęśliwie nie zmieniają one generalnych wniosków płynących z analizy tych danych.

W zakresie edytorskim praca stoi na dobrym poziomie. Z obowiązku jednak wymienię zauważone niedociągnięcia – zwracam na nie uwagę, by nie zostały powtórzone w przyszłych publikacjach. Zdecydowana większość z nich nie ma wpływu na czytelność opracowania.

- Str. 14, wiersz 7g – jest „Seki”, powinno być „Sęki”.
- Str. 17, tablica 1 – w opisach kolumn jest „kg/cm<sup>2</sup>”, powinno być „kG/cm<sup>2</sup>”.

- Str. 18, wiersz 2g – jest „większa”, powinno być „większy”.
- Str. 23, podpis pod rysunkiem 8 – jest „Wieża”, powinno być „wieża”.
- Str. 27, wiersz 1d – jest „materiał”, powinno być „materiałem”.
- Str. 33, wiersze 8g i 13g – jest „mm”, powinno być „mm<sup>2</sup>”.
- Str. 33, wiersz 9d – jest „leży”, powinno być „należy”; jest „mniejszej”, powinno być „mniejszej”.
- Str. 35, równanie (5) i wiersz 1d – rozbieżność w oznaczeniu liczby badań,
- Str. 39, wiersze 1g, 2g – jest „dedykowanych do badań”, powinno być „dedykowanych badaniom”.
- Str. 46, wiersz 9g – jest „semi-nieniszczących”, powinno być „semi-nieniszczących”.
- Str. 46, wiersz 11d – jest „Kraju”, powinno być „kraju”.
- Str. 46, wiersze 6d i 2d – są powołania na „rys. 19”, powinny być na „rys. 20”.
- Str. 50, wiersz 13g – niewłaściwy opis wieku.
- Str. 50, wiersz 16g – po liczbie „XVII” brak „wieku” albo „w.”
- Str. 50, podpis pod rysunkiem 21 – jest „iły”, powinno być „igły”.
- Str. 52, wiersz 7g – jest „zależność korelacje”, powinno być jedno z tych słów.
- Str. 52, wiersz 14g – jest „o”, powinno być „do”.
- Str. 53, podpis pod rysunkiem 22 – jest „iły”, powinno być „igły”.
- Str. 54, podpis pod rysunkiem 23 – jest „iły”, powinno być „igły”.
- Str. 54, wiersz 5d – jest „...wytrzymałością na ściskanie, a badaniem...”, powinno być „...wytrzymałością na ściskanie a wynikiem badań...”
- Str. 57, wiersz 9g – jest „promował”, powinno być „był”.
- Str. 58, opis pionowych osi na rysunku 27 – są podwójne przecinki, powinny być pojedyncze.
- Str. 61, wiersz 14g – brak spacji w zapisie „20 Hz”.
- Str. 64, wiersz 13 – jest „moduły”, powinno być „modułu”.
- Str. 66, wiersz 11g – zbędne słowo „oraz”.
- Str. 70, wiersz 8d – jest „semi-nieiszczącym”, powinno być „semi-nieniszczącym”.
- Str. 77, wiersz 10d – jest „siarkę”, powinno być „siatkę”.
- Str. 77, wiersz 4d – jest „Drugi”, powinno być „Drugie”.
- Str. 95 i 96, rysunki 56 i 57 – brak wyjaśnień oznaczeń a) do g).





- Str. 97, wiersz 2g – jest „semi-nieniszczące”, powinno być „semi-nieniszczące”.
- Str. 106, wiersz 7g – jest „popłać”, powinno być „połać”.
- Str. 107, wiersz 11g – jest „przy pomocy”, powinno być „przy użyciu”.
- Str. 108, wiersz 2d – jest „od”, powinno być „do”.
- Str. 138, wiersz 7g – jest „tą”, powinno być „tę”.
- Str. 141, wiersz 5g – jest „Wielość”, powinno być „Wielkość”.
- Str. 164, wiersz 2d – jest „miła”, powinno być „miała”.
- Str. 177-179, tablica 24 – błędne kolory w części komórek (zostało to skomentowane wcześniej).
- Str. 180, rysunek 90 – jest „zgiannie”, powinno być „zginanie” (w dwóch miejscach).
- Str. 181, wiersz 13d – jest „Łazinek”, powinno być „Łazienek”.
- Str. 182, wiersz 3g – jest powołanie na rysunki „23÷25”, powinno być „92, 93”.
- Strona 191, wiersz 9d – jest „(rys. 14)”, nie powinno być powołania.
- Str. 202, wiersz 8d – jest „Wartość historyczna zabytku jest bardzo cenna”, powinno być „Wartość historyczna zabytku jest bardzo duża” albo „Zabytek jest bardzo cenny”.
- Str. 233, wiersz 4g – jest „odnośnie sposobu”, powinno być „odnośnie do sposobu”.

Ponadto:

- nadużywanie liczby pojedynczej w miejscach, gdzie powinna być liczba mnoga, np. str. 24 „można spotkać aktywnego owada”, str. 37 „ultradźwięku”, str. 164 „badanej belki”, str. 179 „w obiekcie historycznym”.
- w paru miejscach użycie słowa „ilość” zamiast „liczba”,
- niekonsekwentny opis kolumn w tablicach – od wielkiej lub od małej litery,
- drobne błędy w interpunkcji,
- liczne „sieroty” w podpisach pod rysunkami i w tablicach.

### **Podsumowanie i wniosek końcowy**

Podsumowując niniejszą recenzję stwierdzam, że rozprawa doktorska Pani magister inżynier Joanny Drobiec pt. „Analiza możliwości wykorzystania metod nieniszczących i semi-nieniszczących do określania wytrzymałości zabytkowego drewna” stanowi cenny wkład w rozwój wiedzy w zakresie badań konstrukcji drewnianych, szczególnie tych o charakterze zabytkowym.

Pomimo sformułowanych wcześniej uwag krytycznych uważam recenzowaną pracę za oryginalną i cenną, spełniającą wymagania stawiane w Ustawie Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 r., Dz. U. 2022 poz. 574 przy ubieganiu się o stopień naukowy doktora.

Ponadto, co istotne, recenzowana praca w pełni udowadnia spełnienie przez Doktorantkę wymagań stawianych na ósmym poziomie uczenia się (wg Europejskich Ram Kwalifikacji) w zakresie wiedzy, umiejętności i kompetencji.

Tym samym wnoszę o dopuszczenie Pani magister inżynier Joanny Drobiec do publicznej obrony przedmiotowej rozprawy doktorskiej. Ponadto jestem przekonany, że recenzowana praca zasługuje na wyróżnienie.

  
.....  
prof. dr hab. inż. Jacek Hulimka