

dr hab. inż. Barbara Ksit, prof. PP
Politechnika Poznańska
Instytut Budownictwa
ul. Piotrowo 5
61-138 Poznań

Poznań, 31.07.2025 r.

Recenzja spełnia
wymagane funkcje
Rec. Lore

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Joanny Drobiec

pt. „Analiza możliwości wykorzystania metod nieniszczących i semi-nieniszczących do określania wytrzymałości zabytkowego drewna”

1. Podstawa formalna recenzji

Formalną podstawę opracowania recenzji stanowi pismo nr IBUD.51.07.2025 z dnia 27.06.2025 r. P.O. Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Uniwersytetu Zielonogórskiego dr hab. inż. Jacka Korentza, prof. UZ, realizującego uchwałę nr 173 Senatu Uniwersytetu Zielonogórskiego z dnia 25.06.2025r.

2. Przedmiot recenzji

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr inż. Joanny Drobiec pt. „Analiza możliwości wykorzystania metod nieniszczących i semi-nieniszczących do określania wytrzymałości zabytkowego drewna”. Pracę przygotowano w Instytucie Budownictwa pod kierunkiem dr hab. inż. Beaty Nowogońskiej, prof. UZ, pełniącej funkcję promotora w przewodzie doktorskim.

3. Ocena formalna pracy

Recenzowana rozprawa doktorska zawiera 238 stron, łącznie ze spisem literatury, streszczeniami w języku polskim, angielskim oraz spisem treści. Rozprawa podzielona jest na 10 rozdziałów.

Wstęp (rozdział pierwszy) zawiera genezę podjęcia tematu z podkreśleniem wagi problemów związanych z określeniem stanu technicznego budynków zabytkowych drewnianych lub z elementami drewnianymi. W punkcie pracy zatytułowanym cel i zakres pracy Autorka zdefiniowała bardzo ogólnie przedmiot badań, sformułowała cel i zakres pracy, wskazała metody prowadzonych analiz.

W rozdziale drugim Autorka przedstawiła aktualny stan wiedzy odnośnie diagnostyki konstrukcji drewnianych. Przeanalizowała historyczne podejście do określania parametrów fizycznych i mechanicznych drewna wbudowanego. Opisała w nim wady drewna, wizualne i

JA

laboratoryjne sposoby określania wytrzymałości drewna oraz wyniki wybranych badań nieniszczących i semi-nieniszczących. Autorka podkreśliła, że:

..., eksploatacja drewna w konstrukcji w czasie wiąże się z możliwością wystąpienia zwiększenia negatywnego wpływu wad na parametry mechaniczne tarcicy konstrukcyjnej."

Dodatkowo na stronie 64 na podstawie przeprowadzonej analizy stanu wiedzy sformułowała 8 wniosków:

- wady drewna bez wątpienia wpływają na jego parametry mechaniczne,
- metodą wizualną nie da się określić wszystkich wad drewna, ponieważ znaczna ich część bywa ukryta wewnątrz badanego elementu,
- do lokalizacji wewnętrznych wad drewna można wykorzystać metody nieniszczące, w szczególności, ultradźwiękowe i penetracyjne,
- metoda tomografii ultradźwiękowej może być bardzo przydatna do określenia miejsca położenia wad wewnętrznych drewna,
- metody nieniszczące są ponadto wykorzystywane do wyznaczania parametrów mechanicznych i fizycznych drewna (np. wytrzymałości na zginanie, wytrzymałości na ściskanie, moduły sprężystości, gęstości),
- tworzone są korelacje opisujące zależność pomiędzy badanym parametrem nieniszczącym a parametrem mechanicznym. Najczęściej korelacje te dotyczą jednak drewna nowego,
- korelacje dla drewna zabytkowego tworzone są z reguły na małych próbkach, bez uwzględnienia występowania wad drewna,
- nie odnaleziono w literaturze wyników badań ani korelacji pomiędzy badaniami nieniszczącymi a niszczącymi dla dużej liczby próbek krajowego drewna zabytkowego z badaniami prowadzonymi na dużych próbkach.

Przedstawione analizy świadczą o obszernej wiedzy Doktorantki.

W **rozdziale trzecim** Autorka podała trzy tezy oraz jedenaście celów naukowych pracy.

Rozdział czwarty opisuje wyniki badań wstępnych. Badania przeprowadziła na więźbie dachowej zabytkowego kościoła w Sierotach, pochodzącej częściowo z 1427 r., a częściowo z 1707 r. Do badań Doktorantka wytypowała 7 elementów więźby dachowej. Przeprowadziła badania różnymi metodami z wykorzystaniem: badania tomografem ultradźwiękowym, młotka do drewna oraz dwoma urządzeniami ultradźwiękowymi. Wnioski z badań Autorka sformułowała w podpunkcie 4.6. Reasumując, badania wstępne wykazały, że do diagnostyki drewna zastosowanie metod semi-nieniszczących może być niemożliwe z uwagi na gęstą perforację badanych powierzchni. Autorka zwróciła uwagę, że w analizie konstrukcji drewnianych należy :

.."stosować nowoczesne metody pozwalające na uzyskanie obrazu wnętrza badanego elementu, takie jak tomografy ultradźwiękowe, urządzenia radarowe lub urządzenia wykorzystujące promieniowanie przenikliwe."

W **rozdziale piątym** Autorka opisała wyniki badań nieniszczących i semi-niszczących. Do badań pozyskała 70 zabytkowych elementów drewnianych z terenu Polski. Elementy pochodziły z ostatnich 500 lat – najstarszy z początku XV wieku, a najmłodszy z pierwszej połowy XX wieku. Autorka wykonała badania nieniszczące i semi-nieniszczące tymi samymi urządzeniami, które wykorzystano w badania wstępnych. Dodatkowo wykonała badania wilgotności drewna. Przedstawione analizy zawierają bogate opracowanie dokumentacyjne badań. Nowością jest określenie współczynnika poprawkowego z uwagi na położenie młotka w badaniach semi-niszczących.

Rozdział szósty zawiera wyniki badań niszczących elementów, na których wykonywano wcześniej badania metodami nieniszczącymi. Belki o długości dłuższej niż 1,4m badano w schemacie czteropunktowego zginania a krótsze stanowiące 22% całości badanych belek,

badano w schemacie trójpunktowego zginania. Podczas badań prowadzono pomiar ugięć przy pomocy transformatorowych czujników przemieszczeń oraz metodą optyczną, z wykorzystaniem systemu Aramis. Autorka na podstawie przeprowadzonego eksperymentu określiła wytrzymałość badanego drewna.

Rozdział siódmy zawiera analizę uzyskanych wyników oraz wykresy i wzory obrazujące korelację między tymi badaniami. Autorka na wykresach i wzorach sformułowała i przedstawiła średnią funkcję opisującą wytrzymałość na zginanie drewna f_m w zależności od wyników uzyskanych w różnych metodach badawczych.

W rozdziale ósmym Autorka podała propozycję metodyki prowadzenia badań na obiektach zabytkowych. Metodyka ta opiera się na określeniu ilości wad badanego elementu przy pomocy tomografu ultradźwiękowego oraz wykonaniu punktowych badań nieniszczących. Dodatkowo na rysunku 90 przedstawiony jest schemat algorytmu postępowania w celu określenia wytrzymałości drewna w obiektach zabytkowych.

Rozdział dziewiąty zawiera przykłady wykorzystania proponowanej metodyki określania wytrzymałości konstrukcji drewna, przeprowadzone i udokumentowane na trzech obiektach: budynku z 1912 r., zlokalizowanym w Jastrzębiu-Zdroju, budynku z 1913r. zlokalizowanego w Czeladzi i budynku z 1429 r. zlokalizowanego w Olsztynie.

W punkcie pracy **Podsumowanie i wnioski końcowe**, zawarte są wnioski przeprowadzonych analiz oraz wskazanie kierunków dalszych badań.

Zamieszczony wykaz literatury zawiera 130 pozycji (w tym 5 pozycji współautorskich doktorantki) oraz 22 akty prawne. W mojej opinii cytowana w rozprawie literatura stanowi wystarczający przegląd stanu wiedzy, w zakresie diagnostyki konstrukcji drewnianych. W pracy zamieszczono 107 rysunków i 38 tabel oraz podano 30 wzorów.

Struktura pracy jest logiczna. Układ, kolejność i zakres poszczególnych części rozprawy jest starannie dobrany i w wyczerpujący sposób przedstawia przedmiot i zakres badań, cel i tezy pracy, metodykę badań, wyniki i analizy przeprowadzonych badań oraz wnioski końcowe.

4. Ocena merytoryczna rozprawy

4.1. Ocena doboru tematu rozprawy

Temat rozprawy „Analiza możliwości wykorzystania metod nieniszczących i seminieniszczących do określania wytrzymałości zabytkowego drewna mieści się w przedmiocie badań w dyscyplinie inżynieria lądowa, geodezja i transport, pozwala na poszukiwanie sposobu skutecznego diagnozowania konstrukcji drewnianych. Problem ten dotyczy szczególnie obiektów zabytkowych, co łączy się z dodatkowo, z wysokimi wymaganiami konserwatorów zabytków. W przypadku obiektów historycznych, oprócz wiedzy z zakresu konserwacji to właśnie przyjęcie poprawnej metody postępowania odgrywa kluczową rolę w rewitalizacjach i remontach tych obiektów. Celem diagnostyki, jest zbadanie oraz odpowiednia ocena istniejącego stanu elementu budowlanego, a także prawidłowe określenie rzeczywistych parametrów w tym wytrzymałości wbudowanych materiałów. Diagnostyka budowlana dotyczy zatem ustalenia rzeczywistego problemu, oraz stopnia zniszczenia a także zaplanowania kompleksowych działań naprawczych.

Doktorantka zajęła się zagadnieniem, które nie zostało jeszcze w dostatecznym stopniu zbadane, proponuje autorskie podejście w którym wskazuje odpowiednie narzędzie rozwiązywania tego problemu. We wstępnej fazie projektowania czyli pracach przedprojektowych

należy wykonać szczegółową diagnostykę obiektu, określając stan techniczny wszystkich elementów, zarówno pod kątem nośności oraz występowania różnych degradacji biologicznych jak i fizycznych.

Doktorantka podjęła się kompleksowego podejścia i określenia metodyki postępowania przy diagnostyce drewnianych konstrukcji zabytkowych. Nie ma wytycznych normowych ani literaturowych odnośnie sposobu postępowania w takich przypadkach. W pracy Autorka przeprowadziła analizę możliwości wykorzystania metod nieniszczących i semi-nieniszczących do wyznaczenia wytrzymałości drewna starego. Wytrzymałość drewna jest istotnym parametrem potrzebnym do dalszych decyzji zarówno konserwatorskich jak i projektowych.

Prace badawcze dotyczące renowacji budynków mają znaczenie społeczno-gospodarcze, dotyczą utrzymania substancji budowlanej dla przyszłych pokoleń ale także zapewnienia odpowiedniego jakości życia i bezpieczeństwa dla jego użytkowników.

Rozważany problem badawczy jest oryginalny, stanowi poszukiwanie metod pozwalających na ocenę parametrów technicznych w istniejących konstrukcjach szczególnie jest istotny w przypadku konstrukcji zabytkowych.

Wyniki pracy mają ważne znaczenie w praktyce budowlanej.

Podsumowując, wybór tematu pracy należy uznać za uzasadniony.

4.2. Ocena celu, tezy rozprawy oraz metody rozwiązania postawionego problemu

Przedmiotem pracy jest, możliwość wykorzystania metod nieniszczących i semi-nieniszczących do wyznaczenia paramentów mechanicznych drewna zabytkowego, czyli wytrzymałości drewna gdy nie ma możliwości pobierania próbek i zbadania ich w laboratorium.

Na podstawie przeglądu literatury, przeprowadzonych analiz Doktorantka sformułowała cele i tezy rozprawy.

Tezy pracy zostały podzielone na trzy grupy:

- *„Możliwe jest określenie wad wewnętrznych drewna zabytkowego przy pomocy metod nieniszczących.*
- *Możliwe jest określenie paramentów 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.*”

Cel pracy:

Po zapoznaniu się z treścią rozprawy uważam, że bardziej właściwym określeniem byłoby sformułowanie celu głównego, który w rzeczywistości Doktorantka sformułowała na początku Rozprawy:

„Celem pracy jest opracowanie metodyki badań istniejących drewnianych elementów konstrukcyjnych, z wykorzystaniem metod nieniszczących i semi-nieniszczących, pozwalającej na określenie parametrów mechanicznych drewna i przyporządkowanie badanego materiału do klasy wytrzymałościowej.”

i celów pomocniczych, które podała w rozdziale 4 Rozprawy:

- „Opracowanie zależności badany parametr nieniszczący – wytrzymałość drewna dla zabytkowego drewna krajowego dla kilku metod badawczych.
- Opracowanie sposobu nieniszczącej szybkiej lokalizacji wad drewna, w tym wad wewnętrznych.
- Opracowanie metodyki określenia klasy drewna zabytkowego z uwzględnieniem istniejących wad wewnętrznych. Do realizacji przyjętych celów naukowych pracy zaplanowano:
- Wykonanie badań wstępnych na obiekcie historycznym,
- Pozyskanie zabytkowych wielkoformatowych elementów drewnianych.
- Wykonanie badań nieniszczących zabytkowych wielkoformatowych elementów drewnianych tomografem ultradźwiękowym w celu określenia wad drewna.
- Wykonanie badań nieniszczących zabytkowych wielkoformatowych elementów drewnianych trzema metodami: przy użyciu młotka Schmidta do drewna oraz dwóch urządzeń ultradźwiękowych, z których jedno emituje fale podłużne oraz a drugie poprzeczne. Wyniki badań posłużą do stworzenia korelacji między wytrzymałością drewna na zginanie i badanym parametrem nieniszczącym.
- Wykonanie laboratoryjnych badań niszczących wielkoformatowych elementów drewnianych na zginanie w celu określenia klasy drewna.
- Przeprowadzenie analizy wyników badań w celu określenia korelacji między badaniami nieniszczącymi a niszczącymi.
- Zaproponowanie metodyki określenia wytrzymałości drewna zabytkowego metodami nieniszczącymi i semi-nieniszczącymi z uwzględnieniem istniejących wad drewna.”

W opinii recenzentki przyjęto, że Doktorantka chciała wykazać, że cele pracy wynikają z tez rozprawy i możliwe jest ich potwierdzenie za pomocą osiągniętych rezultatów, uzyskanych w wyniku prowadzonych badań i analiz.

Realizacja celu i udowodnienie tezy wymagały od Autorki przeprowadzenia studiów literaturowych, wykazania się wiedzą ze znajomości zagadnień teoretycznych dotyczących kwestii materiałowych czyli jakościowej klasyfikacji drewna i umiejętności posługiwania się metodami badawczymi.

Doktorantka sformułowała **problem** – konieczność stworzenia metod postępowania oraz doboru narzędzi diagnostycznych w celu określenia rzeczywistych parametrów wytrzymałościowych bez możliwości wykonania badań w laboratorium – i **samodzielnie go rozwiązała**. Doktorantka pozyskała 70 elementów drewna zabytkowego i przeprowadziła weryfikację prowadzonych badań na istniejących obiektach, których rezultatem było określenie wytrzymałości elementów konstrukcyjnych w diagnozowanych obiektach. Można w pełni stwierdzić, że założony główny **cel rozprawy jak i cele pomocnicze zostały osiągnięte**. Ponieważ drewno jest to materiał nietypowy – anizotropowy i niejednorodny postawiony problem badawczy jest ważnym zarówno w ocenie naukowej jak i projektowej.

Postawione **tezy zostały udowodnione** dodatkowo przez Doktorantkę badaniami doświadczalnymi in situ, które zostały przeprowadzone na trzech istniejących obiektach w Polsce.

Zastosowana w recenzowanej Rozprawie **metodyka badań** obejmowała następujące etapy:

1. Identyfikację problemu badawczego, klasyfikację wad występujących w konstrukcjach drewnianych, które w różnym stopniu wpływają na parametry mechaniczne elementów konstrukcyjnych. Etap ten wymagał od Doktorantki pozyskania aktualnej jak i historycznej wiedzy zarówno na temat wady drewna, oraz sposobów określania wytrzymałości drewna zarówno metodami nieniszczącymi, makroskopowymi czyli wizualnymi oraz laboratoryjnymi.
2. Zdefiniowanie problemu badawczego i wykonanie wstępnych badań. W wyniku przeprowadzonych badań Doktorantka stwierdziła, że:
 - a. *„metody semi-nieniszczące i nieniszczące można stosować do jakościowej oceny drewna w budynkach zabytkowych.*
 - b. *metodami tymi można wykryć ogniska korozji biologicznej, nieciągłości w budowie oraz określać wpływ wad wewnętrznych na jakość drewna.*
 - c. *z przedstawionych badań wynikało, że z uwagi na sposób działania zastosowanych urządzeń, najlepiej stosować kilka metod badań równocześnie.”*
3. Pozyskanie i przygotowanie materiału badawczego w laboratorium Politechniki Śląskiej – 70 belek o różnorodnych parametrach wymiarowych z gatunków jodła, świerk, sosna i dąb.
4. Zdefiniowanie i określenie celów pomocniczych problemu badawczego i wykonanie badań głównych.
5. Zweryfikowanie metody postępowania diagnostycznego określonej przez Doktorantkę w postaci algorytmu na istniejących obiektach.

Mgr inż. Joanna Drobiec przedstawiła oryginalne rozwiązanie problemu naukowego wykazując się umiejętnością samodzielnej pracy naukowej. Opracowała metodykę badań wytrzymałości drewna wbudowanego i ją zrealizowała, przeprowadziła analizy i zaprezentowała uzyskane wyniki.

Podsumowując ocenę merytoryczną rozprawy, do istotnych osiągnięć naukowych Doktoranta zaliczam:

1. Wykonanie badań własnych w zakresie oceny wytrzymałości drewna zabytkowego.
2. Zaplanowanie i realizację badań eksperymentalnych, opartych na pomiarach w warunkach quasi-stacjonarnych i rzeczywistych, przeprowadzenie analizy laboratoryjnej w celu identyfikacji najbardziej wiarygodnej metody badań nośności elementu drewnianego z uwzględnieniem istniejących wad drewna.
3. Dobór zestawu metod badania i wykonanie analizy wyników badań wstępnych.
4. Rozpoznanie imperfekcji za pomocą tomografu ultradźwiękowego w analizie nośności elementów drewna historycznego.
5. Określenie współczynnika poprawkowego z uwagi na położenie młotka do drewna DRC w stosunku do badanego elementu.
6. Sprawdzenie praktycznej użyteczności metod bezinwazyjnych i zweryfikowanie ich poprawności poprzez zastosowanie metody inwazyjnej na znacznej partii belek o dużych wymiarach. Dodatkowo, przeprowadzenie korelacji wyników uzyskanych metodą pośrednią z wynikami uzyskanymi metodą bezpośrednią.
7. Zaproponowanie autorskiego algorytmu postępowania, który uwzględnia zarówno wytyczne konserwatorskie, jak i kwestie diagnostyki budowlanej w celu dokładnego określenia rzeczywistego problemu oraz stopnia zniszczenia konstrukcji drewnianych.

5. Uwagi krytyczne, dyskusyjne i szczegółowe

Podczas czytania rozprawy nasunęły mi się w kolejności następujące **uwagi krytyczne i dyskusyjne**:

1. Pożądany byłby punkt zawierający wykaz ważniejszych oznaczeń sporządzony w kolejności ich występowania w rozprawie. Wykaz ten stanowiłby dla czytelnika duże ułatwienie w szybkim wyszukaniu konkretnego oznaczenia.
2. Doktorantka na podstawie uzyskanych wyników badań wykonała określanie klasy drewna badanych elementów. Określenie klasy zrobiła na podstawie tabeli zawartej w normie, w celu czytelności doboru parametrów tabela powinna być przytoczona w rozdziale badań wstępnych Rozprawy.
3. W części badań wstępnych osobno powinna być określona klasa analizowanego drewna dla każdej z metod badań a następnie omówione różnice.
4. Streszczenie pracy jest zbyt ogólne. W streszczeniu brakuje informacji o uzyskanych wynikach badań i metodach badań.

Uwagi mniej istotne szczegółowe:

Przy ogólnej pozytywnej ocenie rozprawy zauważyłam drobne usterki redakcyjne, które nie obniżają walorów naukowych, warsztatowych i poznawczych zawartych w treści pracy:

1. Str. 5 w.5. od dołu – brak wyjaśnienia skrótu badania NDT.
2. Str. 53 rys.22- – brak przywołania literatury.
3. Str. 188 występują dwie tablice o tym samym numerze „Tablica 28”- pomyłka wpływa na kolejne numery Tablic .
4. Mało czytelne wykresy rys 20,21,85,88 w celu zwiększenia czytelności albo powiększone powinny zostać rysunki albo opis zamieszczony w tekście powinien odnosić się do opisu osi np. na osi pionowej zostały przedstawione....
5. Brak jednakowego podejścia do wielkości pierwszego wyrazu w wymienianiu (grupowaniu podsumowań) strona 64 i strona 65,66 – powinny być duże litery.

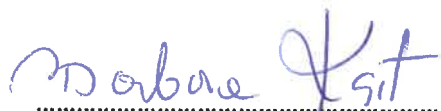
6. Wniosek końcowy

Recenzowana rozprawa doktorska dotyczy istotnych dla budownictwa aktualnych zagadnień związanych z diagnostyką konstrukcji zabytkowych. Obok wartości naukowych i poznawczych dysertacja ma duże znaczenie dla praktyki i przede wszystkim dla ochrony dziedzictwa kulturowego. Przedstawione w pracy metody badań nieniszczących są istotne dla określenia trwałości budynku, jak również doktryn konserwatorskich. Wskazane wyżej uwagi krytyczne należy traktować jako dyskusyjne i służące ewentualnemu uwzględnieniu w dalszych pracach badawczych i publikacjach Doktorantki.

Recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Joanny Drobiec stanowi oryginalne rozwiązanie postawionego problemu naukowego i wnosi wkład w rozwój dyscypliny Inżynieria lądowa, geodezja i transport. Doktorantka wykazała się ogólną wiedzą teoretyczną w dyscyplinie naukowej, umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej i wykorzystania odpowiednich metod naukowych i technik badawczych.

Reasumując, stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Joanny Drobiec pt. „Analiza możliwości wykorzystania metod nieniszczących i semi-nieniszczących do określania wytrzymałości zabytkowego drewna” spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim określone w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce.

Stawiam wniosek o przyjęcie pracy i wnoszę o dopuszczenie Panią mgr inż. Joannę Drobiec do publicznej obrony przedstawionej rozprawy doktorskiej. Ponadto, biorąc pod uwagę trafność wyboru tematyki rozprawy, wysoki poziom jej wykonania i możliwość wykorzystania wyników w praktyce budowlanej, **wnioskuję do Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Uniwersytetu Zielonogórskiego o wyróżnienie niniejszej rozprawy.**

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Drobiec Ksit', is written over a horizontal dotted line.

Podpis