

dr hab. inż. Jarosław Gałkiewicz, prof. PŚk
Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn
i Technologii Mechanicznej
Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn
Politechniki Świętokrzyskiej
Al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7
25-314 Kielce

Kielce, dn. 16-06-2025

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. SEBASTIANA KAROLEWSKIEGO pod tytułem
"Wpływ wybranych parametrów technologicznych na wytrzymałość złącza
klejonego stosowanego w połączeniach elementów o różnych właściwościach
mechanicznych", wykonanej pod kierunkiem dra hab. inż. Adama Lipskiego z
Wydziału Inżynierii Mechanicznej Politechniki Bydgoskiej
im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich

Opis identyfikacyjny:

rozprawa doktorska w postaci zwartego wydawnictwa sygnowanego przez
Politechnikę Bydgoską im. Jana Jędrzeja Śniadeckich w Bydgoszczy (2025).

Podstawa formalno-prawna:

pismo dr hab. inż. Łukasza Muślewskiego, prof. PBŚ, Przewodniczącego
Rady Naukowej Dyscypliny inżynieria mechaniczna Politechniki Bydgoskiej
im. J. J. Śniadeckich z dnia 8 maja 2025 (syg. 2/NCS.520.8.2025),

OCENA PRACY DOKTORSKIEJ

A. Wprowadzenie

Głównym zamierzeniem Autora rozprawy była ocena wytrzymałości klejonych połączeń stanowiących alternatywę dla tradycyjnego sposobu połączenia zawiasów meblowych. Założono, iż zastąpienie połączeń śrubowych umożliwi wykorzystanie cieńszych płyt drewnopochodnych w przemyśle meblarskim co obniży masę i cenę mebli. Tematyka podjętego zagadnienia lokuje się w ramach dziedziny nauk inżynierijno-technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

Boom na połączenia klejone pojawił się w okresie II Wojny Światowej kiedy to zaczęto je wykorzystywać do łączenia elementów nośnych samolotów i właściwie trwa do naszych czasów. Osoby nie związane z tematem często nie są świadome, że osłony termiczne na poszyciu wahadłowców były przyklejone do kadłuba. Obecnie wiele dużych elementów kompozytowych w samolocie Boeing 787 Dreamliner połączonych jest za pomocą klejów zamiast nitów, a chirurdzy coraz częściej zamiast nici wykorzystują właśnie kleje. Tych kilka przykładów pokazuje jak wszechstronne są kleje i w jak ekstremalnych warunkach mogą pracować. Dzięki swoim zaletom pole ich zastosowań ciągle się powiększa, co czyni temat podjęty przez doktoranta

bardzo aktualnym. Pozytywne wyniki nie tylko rozszerzyłyby możliwości aplikacyjne klejów, ale i przyczyniłyby się do poprawienia efektów ekonomicznych w przemyśle meblowym.

B. Charakterystyka pracy

Praca doktorska składa się z siedmiu rozdziałów oraz streszczeń w języku polskim i angielskim. Monografia obejmuje 112 stron, zawiera 42 rysunki oraz 96 tabel. Autor skorzystał ze 95 pozycji literaturowych, wśród których niestety nie ma pozycji Doktoranta, choć w sieci można znaleźć co najmniej trzy prace doktoranta z czego jedna pasuje tematycznie do tematu rozprawy.

W pierwszym rozdziale (Wstęp) Autor wyjaśnia motywy, które skłoniły Go do podjęcia tematu połączeń klejonych. Rozdział ma zaledwie dwie strony i kończy się przedstawieniem celu i zakresu pracy.

Drugi rozdział stanowi przegląd literatury. Autor zaczyna go od ogólnej charakterystyki materiałów stosowanych do produkcji mebli. Na podstawie danych literaturowych wymienia jakie badania przeprowadza się na materiałach stosowanych w przemyśle meblarskim. Doktorant podkreśla specyfikę zachowania drewna i płyt wiórowych oraz wpływu podstawowych czynników środowiskowych na uzyskiwane wartości badanych wielkości. Część ta nie jest zbyt pogłębioną analizą, gdyż obejmuje ledwie półtorej strony. Następnie pojawia się krótka charakterystyka okuć, która opisuje stosowane materiały i rodzaje powłok galwanicznych po czym Doktorant przechodzi do omówienia połączeń klejonych. Jest to najbardziej rozbudowana część rozdziału drugiego. W niej Autor dokonuje przeglądu rodzaju klejów, procesów zachodzących podczas klejenia oraz czynników wpływających na wytrzymałość połączenia. Wymieniając zalety połączeń klejonych Doktorant pokazuje, że jest również świadomy ich wad. Opisuując zastosowania połączeń klejonych w meblarstwie wskazał wyraźnie lukę, którą ma wypełnić niniejsza dysertacja. Rozdział drugi zakończony jest trzema syntetycznymi opisami kontroli jakości, rodzajów uszkodzeń i badań połączeń klejonych.

Rozdział trzeci nosi nazwę „Badania doświadczalne” co jest trochę mylące ponieważ kolejne dwa rozdziały również opisują badania doświadczalne tyle, że ich zakres jest inny. Rozdział trzeci poświęcony jest według opisu we wstępie badaniom wytrzymałościowym „metody wykonania trwałego połączenia klejonego pomiędzy płytą drewnopochodną CDF a zawiasem meblowym”. W treści rozdziału zawarto jednak wyniki prób rozciągania i czteropunktowego zginania płyt drewnopodobnych w różnych konfiguracjach (gładkie próbki wioselkowe, próbki z otworami pod zawias i próbki z zamontowanymi zawiasami). Rozdział kończą dość nieścisłe informacje na temat stali S235, uzasadnienie wybranego gatunku kleju oraz trzylinijkowe podsumowanie. Nieścisłości dotyczące stali polegają na odwoływaniu się do nieprawidłowych oznaczeń wg normy PN-88/H-84020 oraz na sugerowaniu, że stal ta praktycznie się nie umacnia i nie posiada wyraźnej granicy plastyczności. Mocną stroną tego rozdziału są rozbudowane analizy statystyczne dla przeprowadzonych pomiarów i wyników obliczeń. Nie mniej uważam, że nie służą specjalnie tematowi rozprawy, a najbardziej zaskakujące jest podsumowanie, które zawiera jedynie informację, że stal ma

30-krotnie większy moduł Younga i 13-krotnie większą wytrzymałość na rozciąganie (w domyśle od płyty drewnopodobnej).

Rozdział czwarty „Badania połączeń klejonych” prezentuje wyniki badań nad wpływem różnych czynników na statyczną wytrzymałość połączenia. Autor uwzględnił grubość elementów, stan powierzchni klejonych (obecność powłoki galwanicznej, chropowatość powierzchni) i grubość warstwy kleju. Doktorant precyzyjnie przedstawił plan badań, proces przygotowania próbek i środowisko badawcze. Następnie prezentuje serię wyników poddanych analizie statystycznej, która ujawnia czynniki istotnie wpływające na wytrzymałość złącza. W tej części bardzo brakuje mi graficznej prezentacji wyników. Autor postanowił przekazać wyniki jedynie w postaci tabel co nie za dobrze przemawia do czytelnika. Jestem świadomy, że w niektórych przypadkach, jak na przykład dla grubości warstwy klejonej wykres miałby ledwie dwa punkty, ale już w przypadku wpływu grubości płyty CDG punktów byłoby już 4.

Autor spojrział na problem wytrzymałości z punktu widzenia statystyki. Określił, które elementy mają duży wpływ na wytrzymałości, a które nie są istotne. Zaskakujący jest fakt, że nie pojawiło ani jedno zdanie wyjaśniające otrzymane zależności. Autor po prostu stwierdził, że są one istotne statystycznie.

Rozdział piąty „Badania trwałości połączeń” opisuje przebieg i wyniki badań eksploatacyjnych trzech rodzajów połączeń zawiasów z drzwiami. Podobnie jak poprzedni rozdział zaczyna się on od przedstawienia problemu badawczego, następnie opisany jest proces przygotowania próbek i program badań. Ważnym elementem wstępu prezentowanego w tym rozdziale jest opis opatentowanego stanowiska do badania trwałości połączenia zawiasów, którego doktorant jest współautorem. Badania obejmowały trzy warianty połączeń: płyta o grubości 6,4 mm z przyklejonym zawiasem oraz płyta o grubości 12,4 mm z przyklejonym lub przykręconym zawiasem. Niestety nie podano ile próbek poddano badaniom, a sam opis wyników jest bardzo skromny. Udowodniono, że połączenie klejone jest w tym przypadku w stanie zastąpić połączenie zawiasów za pomocą śrub, a najsłabszym ogniwem okazały się elementy zawiasów.

Ostatnim rozdziałem są „Wnioski”, które w głównej mierze stanowią powtórzenie wniosków kończących wcześniejsze rozdziały oraz sugestie dotyczące dalszego kierunku badań.

Podsumowując treść pracy uważam, że ma ona prawidłową strukturę, ale objętość poszczególnych części jest zaburzona. Rozdział trzeci powinien być krótszy na korzyść rozdziałów czwartego i piątego oraz wniosków. Poszczególne analizy statystyczne w rozdziale trzecim wydają się być nietrafione, gdyż nie służą tematowi rozprawy.

C. Pytania, uwagi krytyczne i sugestie

Lektura pracy pozwoliła na zgłoszenie kilku uwag. Niektóre, typu edycyjnego, oczywiście nie wymagają odpowiedzi. Pojawiły się w pracy i tak już zostanie, ale na inne wymagają choćby komentarza ze strony Autora.

Uwagi wymagające odpowiedzi:

1. We wstępie stwierdzono, że mniejsze siły tarcia wpływają na ergonomię gotowego produktu, poproszę o rozwinięcie tej myśli.
2. Czemu służą tak rozbudowane analizy statystyczne zaprezentowane w rozdziale 3?
3. Jaki sens ma podawanie wyniku z dokładnością do siódmego miejsca znaczącego?
4. Wzór 3.39 jest nie wyjaśniony, a co gorsza Autor wykorzystuje „magic numbers” zamiast oznaczeń z rysunku 3.14. Prosiłbym o wyjaśnienie ile wynosi maksymalny moment gnący w belce czteropunktowo zginanej?
5. Jaka była przyczyna pęknięcia próbek w dolnych podporach, gdzie moment gnący i siła tnąca były minimalne?
6. Co wniósł do pracy Rys. 3.20. Płaskownik wykonany ze stali S235 w stanie surowym?
7. Stal wykorzystywana na płaskowniki to raczej S235JRG2 lub S235JR. W książce, na którą Autor się powołuje (Budownictwo ogólne, Materiały i wyroby budowlane) St3S to S235J0. Niestety nie ma tam żadnych informacji o próbach rozciągania więc nie ma mowy o żadnych testach prowadzonych na maszynie Instron 1126.
8. Własności stali, które zostały opisane/zacytowane za artykułem autorstwa Maciej B. Lachowicz, Marzena M. Lachowicz znacznie odbiegają od ogólnie znanych faktów na jej temat. Pomijając jakość artykułu należy zauważyć, że autorzy pobrali próbki z eksploatowanej konstrukcji wykorzystywanej w energetyce co oznacza pracę w podwyższonej temperaturze. Już sam ten fakt musiał wpłynąć na wyniki badań stali. Zupełnie inną sprawą jest, że badana stal nie koniecznie musi być stalą S235. Dlaczego Autor nie zweryfikował tak podstawowych danych?
9. Wytrzymałość złącza klejonego można szacować na podstawie metod analitycznych opartych o rozkłady naprężeń w połączeniach klejonych jak i za pomocą prostszych, inżynierskich sposobów. Niestety w pracy nie ma śladu takiego podejścia. Dlaczego Autor nie próbował zbudować choćby najprostszego modelu oceny wytrzymałości?
10. W przypadku badań trwałości nie podano ilości testowanych próbek. Czy były to, jak wynika z tabeli 5.1, trzy próbki dla każdego przypadku?

Mniej istotne uwagi nie wymagające odpowiedzi:

1. Na stronie 10 zamiast „wyniki” powinno być „wynika”.
2. Na stronie 12 zamiast „adhezja mechaniczna” powinno być „adhezja mechaniczna”.
3. Na stronie 12 zamiast „występowania” powinno być „występowanie”.
4. Na stronie 13 nieprawidłowy styl w zdaniu „Siły te oddziałują z największą siłą w kryształach”.
5. Na stronie 13 zamiast „oraniczenia” powinno być „ograniczenia”.
6. Na stronie 15 zamiast „istotny” powinno być „istotne”.
7. Na stronie 16 zamiast „powierzchni” powinno być „powierzchnia”.
8. Na stronie 22 zamiast „połączenia klejone” powinno być „połączeń klejonych”.

9. Na stronie 52 zamiast „te” powinno być „ta”.
10. Na stronie 66 zamiast „wyniki” powinno być „wyniku”.
11. Opis maszyny Instron zawarty na stronie 71 jest zupełnie zbędny, tym bardziej, że wykorzystywano ją już wcześniej, przy próbach rozciągania (strona 29).
12. Na Rys. 3.1 brak gwintu na śrubach.
13. W całym tekście nie odmieniane jest słowa Tabela.

D. Ocena pracy

Praca w mojej ocenie podejmuje temat zarówno oryginalny jaki istotny, a przede wszystkim o dużym potencjale aplikacyjnym. Jej wynikami będą zainteresowani przedstawiciele przede wszystkim przemysłu meblarskiego. Pod względem językowym praca napisana jest poprawnie. Nie zauważyłem błędów ortograficznych i zaledwie kilka interpunkcyjnych. Styl Autora jest jasny, a budowane zdania precyzyjnie opisują jego myśli. Monografia wyróżnia się ponadto pozytywnie pod względem poziomu edycji w zakresie organizacji tekstu jak i elementów graficznych.

Kłopot sprawia ocena strony merytorycznej. Autor moim zdaniem zbyt mocno skoncentrował się na analizach statystycznych, a zminimalizował podejście od strony „mechanicznej”. Przeprowadzone analizy statystyczne mają swoją wartość i niezbiecie udowadniają fakty zawarte we wnioskach, ale brakuje próby wyjaśnienia i skwantyfikowania uzyskanych rezultatów.

E. Podsumowanie

Przedstawioną pracę o tytule „Wpływ wybranych parametrów technologicznych na wytrzymałość złącza klejonego stosowanego w połączeniach elementów o różnych właściwościach mechanicznych”, niezależnie od zgłoszonych uprzednio uwag i świadomy pewnych niedociągnięć oceniam pozytywnie. W pracy zaprezentowano oryginalne rozwiązanie problemu naukowego zawartego w tytule. Do osiągnięć Autora pracy zaliczam:

- zaplanowanie i przeprowadzenie programu badawczego połączeń klejonych,
- szczegółowe analizy statystyczne wyników doświadczalnych pozwalających na wyciągnięcie istotnych wniosków dotyczących wytrzymałości złączy klejonych,
- zaprojektowanie i opatentowanie „„Stanowiska do badania trwałości połączenia zawias - płyta meblowa”.

W pracy wyraźnie określono cel ogólny i poprzez konsekwentne realizowanie programu badawczego i szczegółowe analizy statystyczne osiągnięto istotne z aplikacyjnego punktu widzenia wnioski, z których najważniejszy potwierdza możliwość zastąpienia tradycyjnych połączeń śrubowych zawiasów połączeniami klejonymi. Pozwala to stwierdzić, że cele rozprawy zostały osiągnięte.

F. Wniosek końcowy

Mając na uwadze wszystkie wymienione powyżej aspekty stwierdzam, że przedstawiona do oceny praca spełnia wymagania stawiane przez ustawę Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 r (Dz. U. z 2024 r. poz. 1571) **i może być podstawą do nadania stopnia doktora nauk technicznych w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna panu Sebastianowi Karolewskiemu.** Wnoszę jednocześnie o dopuszczenie recenzowanej rozprawy do publicznej obrony.

dr hab. inż. Jarosław Gałkiewicz, prof. PŚk

