

dr hab. inż. Beata Nowogońska, prof. UZ

Zielona Góra, 10.08.2026 r.

Uniwersytet Zielonogórski
Instytut Budownictwa
ul. prof. Z. Szafrana 1
65-516 Zielona Góra
tel.: +48 603 787 133
b.nowogonska@ib.uz.zgora.pl

RECENZJA

**rozprawy doktorskiej mgr inż. Marka Kozielczyka
pt. „EVALUATION OF SELECTED PROPERTIES
OF WELDED JOINTS IN PVC PROFILES
FOR CIVIL ENGINEERING APPLICATIONS”
- OCENA WYBRANYCH WŁAŚCIWOŚCI ZGRZEIN PROFILI Z PVC
STOSOWNYCH W INŻYNIERII LĄDOWEJ**

1. Podstawa formalna recenzji

Recenzja została opracowana na prośbę Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Poznańskiej prof. dr hab. inż. Jacka Pielechy, zawartą w piśmie nr DIL.510.59.2.2026 z dnia 25.06.2026 r. Podstawę formalną recenzji stanowi uchwała Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Poznańskiej z dnia 23. czerwca 2026 r. oraz Umowa o dzieło nr 0410/2026/92 na wykonanie recenzji pracy doktorskiej mgr inż. Marka Kozielczyka.

2. Przedmiot recenzji

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr inż. Marka Kozielczyka pt. „Evaluation of selected properties of welded joints in PVC profiles for civil engineering applications” – Ocena wybranych właściwości zgrzein profili z PVC stosowanych w inżynierii lądowej. Pracę przygotowano na Politechnice Poznańskiej na Wydziale Inżynierii Lądowej i Transportu pod kierunkiem dr hab. inż. Marty Paczkowskiej, prof. PP, pełniącej funkcję promotora rozprawy doktorskiej.

3. Układ i treść rozprawy

Opiniowana rozprawa doktorska napisana jest w języku angielskim, obejmuje 198 stron maszynopisu, łącznie ze spisem treści, wykazem podstawowych symboli, bibliografią oraz streszczeniami w językach: polskim, angielskim i francuskim.

Praca obejmuje część teoretyczną, porządkującą istotne uwarunkowania materiałowe i technologiczne, oraz program badań eksperymentalnych podzielony na trzy etapy.

W pierwszym etapie przeanalizowano materiały składowe profilu, co pozwoliło zdefiniować stan odniesienia niezbędny do interpretacji zjawisk zachodzących w zgrzeinie. Etap drugi obejmował badania pilotażowe, których celem był dobór parametrów zgrzewania oraz identyfikacja granic stabilności procesu. W etapie trzecim przeprowadzono ocenę zmian w strefie zgrzeiny z wykorzystaniem pomiarów twardości, mikroskopii.

Badania wstępne ujawniły wyraźną asymetrię zachowania termomechanicznego PVC-U i kompozytu z włóknem szklanym. PVC-U ulegał uplastycznieniu, natomiast kompozyt zawierający ok. 52% włókna szklanego, pozostawał stabilny wymiarowo ze względu na znacznie wyższy efektywny próg topnienia lub mięknięcia. W porównaniu z PVC-U kompozyt charakteryzował się większą sztywnością i wytrzymałością przy minimalnej zdolności do odkształcenia. Badania cieplne potwierdziły tę niezgodność: temperatura ugięcia pod obciążeniem dla PVC-U była kilkukrotnie niższa niż dla kompozytu, mimo zbliżonych temperatur mięknięcia Vicata. Różnice te sprzyjają lokalnej koncentracji naprężeń w strefie zgrzeiny, co wymusza prowadzenie procesu w ściśle kontrolowanym zakresie parametrów.

W badaniach pilotażowych jakość połączenia oceniano równolegle w ujęciu mechanicznym, geometrycznym i jakościowym. Kryterium mechanicznym było obciążenie niszczące; kryteria geometryczne obejmowały symetrię i odchyłki wymiarowe; ocena jakościowa dotyczyła ciągłości i barwy wypływk i występowania przeciążeń maszyny. Wyniki wykazały, że kinematyka głowic zgrzewających jest istotnym parametrem sterującym procesem. W analizowanym zakresie prędkość posuwu 0.25 mm/s zapewniała najkorzystniejszy kompromis między nośnością połączenia a stabilnością procesu. Równocześnie wykazano, że frezowanie kompozytu stanowi warunek brzegowy uzyskania wymaganej jakości: głębokości większe niż 1.0 mm prowadziły do nieciągłości wypływk i dyskwalifikowały zgrzeiny, mimo lokalnie wysokich wartości obciążenia niszczącego. Głębokość 1.0 mm zapewniała najlepszą powtarzalność przy zachowaniu integralności połączenia.

Analiza parametrów cieplnych wykazała, że obniżenie temperatury do 247 °C przy czasie topienia 30 s zawężyło margines stabilności procesu, prowadząc do niezgodności geometrycznych i przeciążeń maszyny. Skrócenie czasu topienia do 22 s przy temperaturze 264 °C było możliwe bez utraty jakości, natomiast dalsze skrócenie czasu do 21 s przy temperaturze 270–280 °C powodowało przebarwienia wypływk i objawy przeciążenia cieplnego, wskazując na technologicznie niedopuszczalną intensyfikację procesu. Na tej podstawie wyznaczono okno procesowe obejmujące: temperaturę 264 °C, czas topienia 22 s, prędkość posuwu 0.25 mm/s oraz frezowanie wkładki kompozytowej do głębokości 1.0 mm.

W etapie zasadniczym zbieżne wyniki pomiarów twardości, obserwacji mikroskopowych, DSC i FTIR-ATR potwierdziły, że skrócenie czasu topienia z 30 s do 22 s przy temperaturze 264 °C pozwala zachować integralność materiałową strefy zgrzeiny względem warunku referencyjnego. W zakresie temperatur 256–264 °C twardość zgrzeiny utrzymywała się na poziomie 65–75 N/mm², bez istotnych różnic między zgrzeinami wykonanymi przy czasach 22 s i 30 s. Obserwacje mikroskopowe nie wykazały cech degradacji w tym zakresie parametrów. Warunek graniczny 270 °C / 21 s powodował przebarwienia wypływkę, interpretowane jako przejaw degradacji PVC. Analiza nie ujawniła odrębnych zmian strukturalnych dla parametrów 264 °C / 22 s względem warunku referencyjnego, a widma potwierdziły stabilność chemiczną materiału zgrzeiny.

Najważniejszy wkład naukowy rozprawy polega na ilościowym określeniu zależności między parametrami procesu zgrzewania a odpowiedzią mechaniczną naroży profili PVC-U wzmacnianych wkładkami kompozytowymi, przy jednoczesnym wykazaniu, że sama odpowiedź mechaniczna nie może stanowić jedynego kryterium akceptacji procesu. Analiza regresyjna potwierdziła systematyczną zależność obciążenia niszczącego od temperatury i czasu topienia, dostarczając podstaw do interpretacji odpowiedzi wytrzymałościowej wspieranej modelem. Ważne jest jednak zintegrowanie predykcji wytrzymałości z oceną stabilności wymiarowej, morfologii zgrzeiny oraz weryfikacją stanu materiału w strefie zgrzeiny. Wyniki wykazały, że skrócenie czasu topienia z 30 s do 22 s przy temperaturze 264 °C nie powoduje wykrywalnych niekorzystnych zmian materiałowych ani mikrostrukturalnych względem warunku referencyjnego.

Rozprawa dostarcza praktycznych zaleceń dotyczących projektowania i kontroli zgrzewanych połączeń narożnych w zastosowaniach budowlanych, wyznacza technologiczne okno pracy dla hybrydowych profili PVC-U / kompozyt oraz dowodzi, że dobór parametrów procesu musi łączyć kryteria wytrzymałościowe ze wskaźnikami bezpieczeństwa odnoszącymi się do stanu materiału. Parametry uznane za akceptowalne na podstawie samego obciążenia niszczącego mogą inicjować procesy degradacyjne niewykrywalne przy użyciu tej pojedynczej miary.

Zamieszczony wykaz literatury zawiera 202 pozycji, w tym 5 pozycji są to publikacje współautorskie Doktoranta.

Struktura pracy jest prawidłowa i starannie dobrana. Układ, kolejność i zakres poszczególnych części rozprawy w wyczerpujący sposób przedstawia przedmiot i zakres badań, cele pracy, metodykę, wyniki i analizy przeprowadzonych badań oraz wnioski końcowe.

4. Ocena merytoryczna rozprawy

4.1. Ocena doboru tematu rozprawy

Wybór przez Doktoranta problematyki związanej z technologią wykonywania profili okiennych z PVC jako tematu rozważań naukowych zasługuje na uznanie. Profile tego typu odgrywają coraz większą rolę w budownictwie, gdzie istotne znaczenie mają niezawodność konstrukcyjna oraz trwałość eksploatacyjna.

Temat badań technologii wykonywania profili okiennych mieści się w przedmiocie badań w dyscyplinie inżynieria lądowa, geodezja i transport i jest ważny, ponieważ pozwala na wdrażanie nowoczesnych rozwiązań materiałowych zgodnych z ideą zrównoważonego budownictwa. Wybór tej problematyki odpowiada na aktualne wyzwania technologiczne i otwiera nowe perspektywy dla rozwoju technologii wykonywania hybrydowych profili okiennych PVC wzmocnianych wkładką kompozytową z włóknem szklanym w budownictwie. To kierunek badań o wysokim potencjale wdrożeniowym i dużym znaczeniu gospodarczym dla inżynierii lądowej, między innymi ze względu na wydłużenie czasu użytkowania obiektów budowlanych.

Doktorant zajął się zagadnieniem, które nie zostało jeszcze w dostatecznym stopniu zbadane, proponuje autorski program badań elementów budowlanych. Oceniam podjęty w pracy doktorskiej temat jako zasadny do rozważań naukowych, a wyniki badań uważam jako użyteczne w praktyce budowlanej.

4.2. Ocena celu rozprawy oraz metody rozwiązania postawionego problemu

Na podstawie przeglądu literatury i przeprowadzonych analiz Doktorant sformułował cel i tezę rozprawy.

Celem pracy było „określenie, w jaki sposób warunki technologiczne wpływają na strukturę strefy zgrzeiny oraz wyznaczenie stabilnego okna procesowego zapewniającego powtarzalną jakość połączenia bez oznak degradacji materiału”.

Teza rozprawy dotyczy możliwości oszacowania parametrów technologicznych wykonania profili okiennych z PVC wzmocnionych wkładkami z kompozytu z włókna szklanego. Teza pracy brzmi:

„Technologię zgrzewania profili okiennych z PVC, wzmocnionych wkładkami z kompozytu z włókna szklanego, można zoptymalizować poprzez odpowiedni dobór głębokości frezowania wkładek, prędkości przesuwu głowicy zgrzewającej, temperatury i czasu zgrzewania, tak aby uzyskać spoiny, których obciążenia niszczące przekraczają dopuszczalne wymagania, które zachowują dopuszczalne tolerancje wymiarowe ram, charakteryzują się prawidłową geometrią i ciągłością spoiny oraz nie wykazują oznak degradacji termicznej materiału w obszarze połączenia, przy jednoczesnym skróceniu czasu trwania procesu i zmniejszeniu zużycia energii podczas zgrzewania.”

Realizacja celów wymagały od Autora przeprowadzenia studiów literaturowych, wykazania się wiedzą ze znajomości zagadnień teoretycznych dotyczących technologii wykonania profili okiennych z PVC wzmocnionych wkładkami z kompozytu z włókna szklanego, a także wiedzy praktycznej i umiejętności posługiwania się metodami badawczymi.

Doktorant sformułował problem – konieczność opracowania metod technologicznych wykonania profili okiennych z PVC wzmocnionych wkładkami z kompozytu z włókna szklanego i samodzielnie go rozwiązał. Opracował i zrealizował program badań umożliwiające uzyskanie zgrzein profili PVC o oczekiwanych parametrach, skracając czas procesu i redukując koszty jego energii.

Badania zostały przeprowadzone w kilku etapach:

- etap I – przeprowadzenie kompleksowego przeglądu literatury, który obejmował zagadnienia związane z rozwiązaniami funkcjonalnymi, materiałowymi, konstrukcyjnymi i technologicznymi systemów okiennych;
- etap II - badania materiałowe – zostały określone podstawowe właściwości mechaniczne materiałów składowych profili okiennych z PVC obejmujące: wytrzymałość na rozciąganie, wytrzymałość na zginanie, maksymalną temperaturę ugięcia pod obciążeniem;
- etap III - badania pilotażowe – zostały wyselekcjonowane parametry zgrzewania i zidentyfikowane granice stabilności procesu;
- etap IV - zasadniczy etap badań - weryfikacja zmian w strefie zgrzeiny z wykorzystaniem pomiarów twardości i mikroskopii.

Rozprawa stanowi kompleksowe i wartościowe opracowanie zagadnienia o dużym znaczeniu praktycznym i naukowym. Autor wykazał się bardzo dobrą znajomością materiałoznawstwa, technologii zgrzewania oraz metod analitycznych. Wyniki są spójne, dobrze udokumentowane i prowadzą do jasno sformułowanych wniosków oraz zaleceń technologicznych.

Praca spełnia kryteria stawiane rozprawom naukowym i wnosi istotny wkład w rozwój wiedzy dotyczącej zgrzewania hybrydowych profili PVC-U wzmocnianych kompozytami.

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

1. wykazanie, że obciążenie niszczące zmienia się wraz z temperaturą zgrzewania i czasem topienia w procesie zgrzewania hybrydowych profili PVC-U wzmocnianych kompozytami;
2. opracowanie warunków procesu zgrzewania hybrydowych profili PVC-U wzmocnianych kompozytami pozwalające na uzyskanie zgrzein o oczekiwanych parametrach, skracając czas procesu i redukując koszty jego energii.

5. Uwagi krytyczne

Przy ogólnej pozytywnej ocenie rozprawy nasuwają się uwagi, nie obniżające jednak walorów naukowych, warsztatowych i poznawczych zawartych w treści pracy.

- 1) Doktorant wielokrotnie podkreśla asymetrię zachowania PVC-U i kompozytu, warto byłoby nieco szerzej rozwinąć ten wątek, np. poprzez zarysowanie modelowego ujęcia różnic materiałowych lub krótkie odniesienie do literatury, które pomogłoby lepiej uchwycić ich skalę i znaczenie.
- 2) Doktorant przedstawia zestaw parametrów uznanych za optymalne, jednak analiza mogłaby zyskać na uzupełnieniu o element wrażliwości procesu.

6. Wniosek końcowy

Recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Marka Kozielczyka stanowi oryginalne rozwiązanie postawionego problemu naukowego i wnosi wkład w rozwój dyscypliny inżynieria lądowa, geodezja i transport. Doktorant wykazał się ogólną wiedzą teoretyczną w dyscyplinie naukowej, umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej i wykorzystania odpowiednich metod naukowych i technik badawczych.

Recenzowana rozprawa doktorska dotyczy istotnych dla budownictwa aktualnych zagadnień związanych z technologią wykonywania profili okiennych. Obok wartości naukowych i poznawczych, dysertacja ma duże znaczenie praktyczne. Uważam recenzowaną pracę za oryginalną i cenną, spełniającą wymagania 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 Pana mgr inż. Marka Kozielczyka do publicznej obrony przedstawionej rozprawy doktorskiej.