

Prof. dr hab. inż. Adam Zieliński
Sieć Badawcza Łukasiewicz
Górnos Śląski Instytut Technologiczny

Gliwice, 29.05.2025 r.

Recenzja
pracy doktorskiej mgr. inż. Patryka Płaczka
p.t. „Badania własności użytkowych nowo zaprojektowanej ościeżnicy o obniżonym
współczynniku przenikalności termicznej” wykonana na zlecenie Rady Dyscypliny
Naukowej Inżynieria Materiałowa Politechniki Śląskiej

Charakterystyka zagadnienia

Praca doktorska mgr. inż. Patryka Płaczka dotyczy opracowania konstrukcji ościeżnicy drzwi wejściowych o niskim współczynniku przenikania ciepła na poziomie maksimum $1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$. Tematyka wpisuje się rządową strategię transformacji sektora budowlanego, której jednym z elementów jest docieplenie budynków, umożliwiające uzyskanie oszczędności energii cieplnej i elektrycznej gospodarstw domowych. Pomiar termowizyjny pokazuje, że znaczne straty ciepła następują poprzez drzwi i okna, w tym poprzez nieszczelności i jednolite metalowe ościeżnice. Wprowadzony wymóg ograniczenia przenikalności termicznej drzwi do maks. $1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ eliminuje z rynku stalowe konstrukcje ościeżnic, które ze względu na wymagania wytrzymałościowe nie mogą być w prosty sposób zastąpione tworzywami sztucznymi.

Doktorant postawił sobie ambitne zadanie opracowania konstrukcji innowacyjnej ościeżnicy drzwiowej o obniżonym współczynniku przenikania ciepła, przy jednoczesnym utrzymaniu dotychczasowych parametrów wymiarowych, wytrzymałościowych i eksploatacyjnych, jak również przy zachowaniu ceny gotowego wyrobu. Spełnienie powyższych uwarunkowań wymagało zastosowania konstrukcji warstwowej ościeżnicy, zawierającej materiały o niskim współczynniku przenikalności termicznej (pianki poliuretanowe) oraz materiały o wysokiej wytrzymałości (stal). Przeprowadził wieloetapowe badania, które obejmowały opracowanie modelu numerycznego ościeżnicy oraz zastosowanie analizy MES i narzędzi projektowania CAD do przygotowania szeregu wariantów konstrukcji oraz zastosowanych materiałów. Spełniając założenia doktoratu wdrożeniowego zweryfikował opracowane warianty technologii, wytwarzając w warunkach przemysłowych różne rozwiązania materiałowe i konstrukcyjne ościeżnic, które poddał szczegółowym badaniom, wybierając produkt spełniający wymagania obowiązujących norm.

Biuro Dziekana

wpłynęło dnia 13.06.2025
RD 3Ma.512.32 2025
nr zał.

Charakterystyka pracy

Rozprawa doktorska mgr. inż. Patryka Płaczka zawiera łącznie 110 stron, wraz z zestawieniem literatury obejmującym 92 pozycje na 7 stronach. Część zasadnicza obejmuje 6 rozdziałów: wstęp (2 str.), przegląd literatury (25 str.), badania własne (33 str.), wyniki badań i ich omówienie (33 str.), podsumowanie (5 str.) i wnioski (2 str.). Autor nie zamieścił streszczenia w języku angielskim, o którym mowa w art.187 ust.4 Ustawy.

W *przeglądzie literatury* Autor w głównej mierze skoncentrował się na przedstawieniu wymagań i parametrów użytkowych zewnętrznych drzwi i ościeżnic oraz charakterystyce materiałów i technologii produkcji ościeżnic. Zdaniem recenzenta przy charakterystyce wyrobów stalowych niecelowe było przedstawienie encyklopedycznych informacji na temat produkcji stali od czasów prehistorycznych. Również podrozdział zawierający omówienie różnych definicji technologiczności nie znajduje nawiązania do technologii produkcji ościeżnicy, ani też nie został przywołany w dalszej części dysertacji. Bardziej sensowne byłoby przedstawienie w tym miejscu zasad Lean Manufacturing, które było zastosowane w produkcji ościeżnic.

Rozdział *Badania własne* Autor rozpoczął od zdefiniowania celu i tezy pracy. Słusznie stwierdził, że ograniczenie emisyjności cieplnej budynków ma istotne znaczenie ekonomiczne, użytkowe i środowiskowe. Pomiar termowizyjny pokazuje, że nawet w dobrze ocieplonych budynkach znaczne straty ciepła występują w otworach drzwiowych i okiennych. Dlatego celowe jest doskonalenie konstrukcji drzwi i ościeżnic pod kątem obniżenia współczynnika przenikalności termicznej. Dla realizacji powyższego celu sformułował tezę swojej pracy, która zawiera przekonanie, że **możliwe jest zaprojektowanie i wytworzenie ościeżnicy stalowej o podwyższonych parametrach izolacyjnych przy zachowaniu dotychczasowych parametrów wymiarowych i wytrzymałościowych**.

W podrozdziale *Materiał badań* Doktorant na wstępie przedstawił siedem etapów swojej pracy, rozpoczynając od doboru materiałów inżynierskich, a kończąc na wdrożeniu opracowanego procesu technologicznego do produkcji wybranego wariantu konstrukcji ościeżnic. Omówienie to nie odpowiada tematowi podrozdziału i wskazane byłoby jego przeniesienie do podrozdziału wcześniejszego.

W ramach przygotowania materiału do badań Doktorant analizował różne prototypy profili ościeżnicy wytworzone z materiałów o niskim współczynniku przenikalności termicznej. Oceniając właściwości technologiczne i eksploatacyjne trzech konstrukcji profili: litego profilu poliuretanowego, profilu poliuretanowego wzmocnionego drewnem klejonym oraz profilu poliuretanowych wzmocnionych kształtownikami metalowymi w postaci okładziny, wybrał ten

ostatni wariant. Aby przerwać ciągłość okładziny metalowej, która powodowałaby ułatwiony przepływ ciepła, zaproponował zamiast pełnych okładzin metalowych, konstrukcję złożoną z dwóch kształtowników z połączeniem poliuretanowym (przekładką termiczną). Kształtowniki metalowe spełniają istotną rolę, ponieważ zapewniają sztywność i wytrzymałość konstrukcji oraz umożliwiają zamocowanie zawiasów i umiejscowienie otworów zamkowych.

W warunkach przemysłowych z blach stalowych i aluminiowych wykrojono profile z potrzebnymi otworami, a następnie za pomocą krawędziarki przeprowadzono precyzyjne gięcie profili zamkowego zawiasowego i nadproża. W kolejnym etapie zestawione na wymiar docelowy kształtowniki połączono poliuretanem, a po jego zastygnięciu uzyskaną obejmę metalową wypełniono pianką poliuretanową o gęstości 33 kg/m^3 .

Szczególną uwagę Doktorant zwrócił na połączenie kształtowników, opracowując trzy koncepcje łączenia różnie wyprofilowanych krawędzi kształtowników za pomocą poliuretanu o trzech gęstościach. Do badań przygotowano 18 wariantów konstrukcji ościeżnicy: różniących się koncepcją łączenia kształtowników (3 warianty A,B,C), materiałami, z których wykonano kształtowniki (stal DX51D i aluminium 6061) oraz gęstością poliuretanu zastosowanego do łączenia kształtowników metalowych ($33, 600$ i 1200 kg/m^3).

Dla oceny właściwości użytkowych różnych wariantów konstrukcji ościeżnicy Doktorant opracował metodykę badań:

- przenikalności termicznej,
- wytrzymałości na rozciąganie przekroju poprzecznego,
- rozszerzalności termicznej,
- wodoszczelności, obciążenia na wiatr,
- odporności na wielokrotne otwieranie i zamykanie drzwi,
- przydatności przekładki termicznej,
- wytrzymałości na ścinanie.

W czwartym rozdziale Doktorant przedstawił *wyniki badań i ich omówienie*.

Szczególną uwagę poświęcił badaniom przenikalności termicznej. Symulacja numeryczna rozkładu temperatury w ościeżnicach wykazała, że konstrukcja profilu typu B sprzyja transmisji ciepła do wnętrza profili, co uznano jako powód jej odrzucenia. Pozostałe konstrukcje A i C, dla których współczynniki transmisji nie przekraczały wartości $1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ wytypowano do kolejnego badania, jakim był pomiar wytrzymałości na rozrywanie przekroju poprzecznego profilu ościeżnicy. Badania te wykazały, że podatność na rozciąganie maleje ze wzrostem gęstości poliuretanu zastosowanego do połączenia profili metalowych, jednocześnie wskazały, że

koncepcja przekroju typu C, o mniejszym zakotwiczeniu profilu w wypełnieniu osiąga niskie właściwości wytrzymałościowe. Na tej podstawie do dalszych badań zastosowano konstrukcję ościeżnicy typu A z mocowaniem profili metalowych za pomocą poliuretanu o gęstościach 600 i 1200 kg/m³.

Kolejne badania miały na celu ocenę stabilności wymiarowej profilu w warunkach podwyższonej temperatury (24, 44 i 64°C). Pomiarów wyboczenia wykazały, że ościeżnice stalowe w maksymalnej temperaturze nagrzania 64°C w warunkach letnich ulegają wyboczeniu poniżej 0,5 mm na długości 2 m, podczas gdy ościeżnice aluminiowe już w temperaturze 44°C ulegały wyboczeniu powyżej 1,5 mm, co skutkuje utratą ich funkcjonalności. Na tej podstawie odrzucono zastosowanie profili aluminiowych, a jako najlepsze rozwiązanie uznano koncepcję A ościeżnicy stalowej o połączeniu profili za pomocą poliuretanu o gęstości 1200 kg/m³.

Doktorant nie poprzestał na tym osiągnięciu, ale w celu dostosowania technologii do wdrożenia przemysłowego wykonał dodatkowe badania:

- wytrzymałości ościeżnicy z zamontowanym skrzydłem drzwiowym na wielokrotne (100 000 cykli) otwieranie i zamykanie,
- wytrzymałości przekroju poprzecznego ościeżnicy po testach eksploatacyjnych,
- wytrzymałości przekroju poprzecznego ościeżnicy na rozciąganie po zanurzeniu w wodzie,
- wytrzymałości na ścinanie, będącej miarą odporności na uderzenia i wibracje.

Wszystkie te badania i testy potwierdziły stabilność właściwości użytkowych ościeżnicy po eksploatacji, brak uszkodzeń i pęknięć przekładki poliuretanowej.

W dwóch ostatnich podrozdziałach wyników badań Doktorant opracował technologię produkcji ościeżnicy, dobierając sposób formowania kształtowników stalowych i warunki przetwarzania poliuretanu o gęstości 1200 kg/m³ w zastosowaniu do połączenia tych kształtowników oraz porównał wytworzony prototyp ościeżnicy z dostępną na rynku ościeżnicą stalową. Stwierdził, że prototypowa ościeżnica spełnia wymagania normy w zakresie współczynnika przenikalności termicznej 1,3 W/m²K, zapewniając izolację termiczną na poziomie 1,2 W/m²K, podczas gdy ościeżnica stalowa dostępna na rynku o współczynniku 1,4 W/m²K – nie spełnia tych wymagań.

W *Podsumowaniu* Doktorant przypomniał cel doktoratu wdrożeniowego, stwierdzając że realizacja założonego harmonogramu badań pozwoliła mu wybrać spośród 18 koncepcji rozwiązanie spełniające założone wymagania. Omówił kolejne etapy badań, które pozwoliły mu wybrać optymalną konstrukcję ościeżnicy, uzasadniając potrzebę dochowania parametrów technologicznych dla uzyskania właściwości użytkowych ościeżnicy i skrzydła drzwiowego w

różnych warunkach eksploatacji, po długim okresie użytkowania. Zakończył podsumowanie stwierdzeniem, że cel doktoratu wdrożeniowego został osiągnięty, a prototyp ościeżnicy jest konkurencyjny w porównaniu z dostępnymi na rynku wyrobami.

W ostatnim rozdziale pracy Doktorant w postaci *Wniosków* zestawil wyniki poszczególnych badań, które doprowadziły go do pozytywnego rezultatu.

Ocena rozprawy doktorskiej

Elementy pozytywne

Podjęta przez Doktoranta tematyka badawcza wpisuje się w rządową strategię transformacji sektora budowlanego, ukierunkowaną na podwyższanie efektywności energetycznej budynków, poprzez ich ocieplanie i eliminowanie strat ciepła poprzez otwory drzwiowe i okienne. Unijne i krajowe przepisy, obniżające do $1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ dopuszczalny współczynnik przenikania ciepła w przegrodach pomiędzy pomieszczeniami ogrzewanymi i nieogrzewanymi, wymuszają m.in. konieczność opracowania ościeżnic drzwiowych o podwyższonej izolacji termicznej, eliminując z rynku dotychczasowe rozwiązania.

Doktorant postawił sobie za cel opracowanie konstrukcji ościeżnicy spełniającej narzucone wymagania, przy jednoczesnym utrzymaniu jej wymiarów i dotychczasowego poziomu kosztów produkcji. Spełnił założenia doktoratu wdrożeniowego, wykonując pełny cykl badań poznawczych dla opracowania oryginalnej konstrukcji ościeżnicy, opracował technologię jej produkcji w warunkach konkretnego zakładu przemysłowego, wytworzył prototyp oraz poddał go szeregowi testów eksploatacyjnych, wymaganych dla dopuszczenia wyrobu na rynek.

Z zastosowaniem analizy MES i narzędzi projektowania CAD opracował własne oryginalne rozwiązanie konstrukcji okładziny stalowej, złożonej z dwóch odpowiednio wyprofilowanych kształtowników, połączonych wysokowytrzymałą przekładką poliuretanową.

Właściwie dobrał metodykę badań materiałów oraz profili ościeżnicy, w szczególności przeprowadził wnikliwe symulacje numeryczne obrazujące w sposób przekonujący rozkład temperatury w 18 zaprojektowanych przez siebie konstrukcjach ościeżnicy i skrzydłach drzwiowych. Wybór docelowej konstrukcji ościeżnicy przeprowadził w oparciu o ilościowe wyniki pomiarów i testów.

Właściwie zaprojektował testy eksploatacyjne prototypu nowego wyrobu, umożliwiając szczegółową analizę czynników wpływających na jego funkcjonalność i żywotność w różnych skrajnych warunkach atmosferycznych.

Jeżeli chodzi o ocenę jakości opracowania całej rozprawy należy przyznać, że praca została napisana jasnym i poprawnym językiem, a omawiane zagadnienia zostały zobrazowane w postaci 53 poglądowych schematów, wykresów i zdjęć oraz 23 tablic.

Elementy dyskusyjne

Recenzowana praca jest doktoratem wdrożeniowym, w którym przeważa inżynierskie podejście do opracowania konstrukcji wyrobu o polepszonych właściwościach termoizolacyjnych. Zaproponowana technologia wytwarzania nowego profilu jest dostosowana do możliwości jej wdrożenia, bez zmiany stosowanego w zakładzie wyposażenia produkcyjnego. Idea konstrukcji ościeżnicy jest podobna, jak w dostępnych na rynku ościeżnicach stalowych z wypełnieniem z polistyrenu ekspandowanego, przy czym wyróżnia ją zastosowanie dwóch oddzielnych kształtowników stalowych zamiast jednego.

Doktorant mało uwagi poświęcił interpretacji krzywych rozciągania w badaniach wytrzymałości, których przebieg jest bardzo niejednorodny i zawiera liczne uskoki (rys. 37, 39-41, 45,46,48). Jedynie w odniesieniu do wykresu z rys. 49 podał wyjaśnienie, że niewielki uskok na krzywej rozciągania wynika z „odspojenia blachy od poliuretanu”.

Jak wspomniano we wcześniejszym omówieniu charakterystyki pracy - w przeglądzie literatury niecelowe było przedstawienie informacji na temat produkcji stali od czasów prehistorycznych i epoki żelaza do czasów współczesnych. Również podrozdział zawierający omówienie różnych definicji technologiczności nie znajduje nawiązania do technologii produkcji ościeżnicy, przy czym bardziej przydatne byłoby przedstawienie zasad Lean Manufacturing, na które Doktorant powoływał się przy opracowaniu technologii i jej wdrażaniu do produkcji.

Zdaniem recenzenta harmonogram i omówienie etapów pracy w podrozdziale *Materiał badań* nie odpowiada jego tytułowi i wskazane byłoby ich umieszczenie w podrozdziale wcześniejszym nadając mu tytuł: *Cel, teza i zakres pracy*.

Propozycje poprawek drobnych błędów językowych i „literówek” występujących w pracy naniesiono w tekście i przekazano Autorowi do skorygowania przy opracowaniu przyszłych publikacji. Na przykład w tabeli 9 przedstawiono te same wizualizacje dla przekrojów typu B i C.

Reasumując należy stwierdzić, że mimo wskazanych powyżej zastrzeżeń o charakterze dyskusyjnym Autor osiągnął założony cel pracy, realizując zaplanowany program badań i analiz. Na uznanie zasługuje Jego dobra znajomość analizy MES i narzędzi projektowania CAD, jak również praktyczna znajomość technologii produkcji ościeżnic, obowiązujących norm oraz metod pomiaru parametrów materiałowych i technologicznych.

Wniosek końcowy

Stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska mgr. inż. Patryka Płaczka stanowi wykonane na wymaganym poziomie naukowym opracowanie zagadnienia, określonego tezą i celem pracy. Spełnia wymogi doktoratu wdrożeniowego wykorzystując metodologię badań z obszaru dyscypliny inżynierii materiałowej do opracowania technologii produkcji masowego wyrobu na potrzeby przedsiębiorcy z sektora budownictwa mieszkaniowego. Łączy elementy teorii przepływów cieplnych w tworzywach sztucznych i metalach z projektowaniem inżynierskim elementów stolarki budowlanej.

Spełnia wszystkie wymagania stawiane pracom doktorskim określone w ustawie Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20.07.2018 r. (Dz.U. z 2024 r. poz.1571. Art.187) . Stawiam więc wniosek o dopuszczenie pracy doktorskiej mgr. inż. Patryka Płaczka do publicznej obrony.

Prof. A. Zieliński

/podpis odręczny/

*wyłączenie jawności w zakresie danych osobowych oraz ochrony prywatności osoby fizycznej na podstawie art. 5 ust. 2 ustawy z dnia 6 września 2001 r. o dostępie do informacji publicznej (tj. Dz.U. z 2016 r., poz. 1764)