Częstochowa, 12.08.2026 r.

prof. dr hab. Marcin Nabiałek
Politechnika Częstochowska
Wydział Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów
Katedra Fizyki

Recenzja

rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Agnieszki Przybek pt. "Badania mechanizmów przenikania ciepła w warstwowych kompozytach na bazie glinokrzemianów oraz włókien pochodzenia naturalnego"

podstawa opracowania: pismo I-01.510.7.2.2026

Wybór tematu pracy na tle stanu badań

Efektywność energetyczna budynków jest ważnym zagadnieniem związanym z ograniczaniem zużycia energii i emisji dwutlenku węgla. Istotna część strat energii wynika z przenikania ciepła przez przegrody. Dlatego poszukuje się materiałów o dobrych właściwościach izolacyjnych, trwałych i możliwych do wytwarzania z surowców odpadowych lub odnawialnych. W ten nurt dobrze wpisują się glinokrzemiany aktywowane alkalicznie oraz włókna pochodzenia naturalnego.

Tematyka recenzowanej rozprawy dotyczy mechanizmów przenikania ciepła w kompozytach warstwowych z matrycą geopolimerową i izolacją wykonaną z włókien naturalnych. Jest to zagadnienie aktualne i posiadające zarówno aspekt poznawczy, jak i wyraźny aspekt aplikacyjny. Autorka nie ograniczyła się jedynie do wyznaczenia parametrów cieplnych materiałów. Analizowała również wpływ liczby i rozmieszczenia warstw izolacyjnych, zachowanie kompozytów w podwyższonej temperaturze, właściwości mechaniczne oraz aspekty środowiskowe i ekonomiczne.

Wybrane zagadnienie uważam za bardzo interesujące i na czasie. Praca ma charakter interdyscyplinarny i łączy elementy inżynierii materiałowej, fizyki transportu ciepła oraz zagadnień związanych z budownictwem. Biorąc jednak pod uwagę fakt, że

zasadniczym elementem pracy jest zaprojektowanie materiału, jego wytworzenie, charakterystyka struktury i właściwości oraz określenie zależności pomiędzy budową kompozytu a jego właściwościami, stwierdzam, że rozprawa mieści się w dyscyplinie inżynieria materiałowa.

Przedłożona do zrecenzowania rozprawa doktorska liczy 209 stron. Zasadnicza część pracy składa się z 10 rozdziałów. W pracy umieszczono 44 rysunki oraz 39 tabel. Układ rozprawy jest logiczny. Po wprowadzeniu i analizie stanu wiedzy Autorka uzasadnia podjęcie tematyki badawczej, formułuje tezę i cele pracy, przedstawia plan oraz metodykę badań, a następnie przechodzi do wyboru materiałów, badań kompozytów prototypowych i charakterystyki opracowanych kompozytów. Pracę kończą wnioski oraz perspektywy aplikacyjne i badawcze.

Spis literaturowy przedmiotu

Bibliografia umieszczona w pracy obejmuje 241 pozycji. Odnośniki literaturowe są przytaczane w odpowiednich miejscach i odnoszą się bezpośrednio do podejmowanych zagadnień. W przeglądzie przedstawiono między innymi glinokrzemiany aktywowane alkalicznie, włókna naturalne, rozwiązania przegród budowlanych, mechanizmy przenikania ciepła oraz aktualne strategie proekologiczne. Dobór literatury jest szeroki i daje odpowiednią podstawę do sformułowania problemu badawczego.

Na szczególną uwagę zasługuje dorobek naukowy Doktorantki. W wykazie zamieszczono 39 publikacji, w tym prace bezpośrednio związane z geopolimerami, włóknami naturalnymi i materiałami izolacyjnymi. Autorka posiada również publikacje monoautorskie. Według danych z rozprawy sumaryczny Impact Factor wynosi 94,376, liczba cytowań w Scopus 388, a indeks Hirscha 10. Doktorantka kierowała także projektem w programie „Perły Nauki". Dorobek ten oceniam bardzo wysoko.

Cele i teza pracy

Teza pracy została sformułowana na stronie 42. Zakłada ona, że nieorganiczna i ogniotrwała struktura materiałów geopolimerowych może skutecznie chronić naturalne włókna

roślinne przed degradacją termiczną i oddziaływaniem pożaru. Druga część tezy dotyczy wpływu wielowarstwowego ułożenia materiału izolacyjnego. Przyjęto, że rozdzielenie tej samej ilości materiału włóknistego na kilka cieńszych warstw może poprawić właściwości izolacyjne przegrody dzięki dodatkowemu oporowi cieplnemu na granicach warstw.

Celem naukowym pracy było doświadczalne określenie wpływu sposobu rozmieszczenia warstw izolacyjnych z włókien naturalnych na właściwości cieplne wielowarstwowej przegrody geopolimerowej oraz identyfikacja roli oporu kontaktowego. Celem utylitarnym było opracowanie i weryfikacja koncepcji materiałowo-konstrukcyjnej przegrody, która mogłaby stanowić alternatywę dla tradycyjnych rozwiązań opartych na cementach portlandzkich i izolacjach syntetycznych.

Cele pracy są sformułowane jasno i odpowiadają przedstawionemu planowi badań. Ważnym elementem jest etapowy charakter badań. Autorka rozpoczęła od charakterystyki surowców i materiałów naturalnych, następnie wytworzyła kompozyty prototypowe, a na końcu opracowała warianty docelowe. W mojej ocenie takie podejście jest prawidłowe. Pozwala na świadome ograniczanie liczby zmiennych i wybór rozwiązań do dalszych etapów badań.

Zasadniczy cel pracy został osiągnięty. Jednocześnie sama Autorka stwierdza, że postawiona teza została potwierdzona jedynie częściowo. Nie potwierdzono zakładanego korzystnego wpływu zwiększenia liczby warstw izolacji na izolacyjność cieplną. Zamiast tego zidentyfikowano zjawisko określone jako paradoks oporu kontaktowego. W mojej ocenie nie obniża to wartości pracy. Wynik, który nie potwierdza pierwotnego założenia, jest również wynikiem naukowym, jeżeli został uzyskany poprawną metodą i właściwie zinterpretowany.

Ocena przeprowadzonych badań

Zakres przeprowadzonych badań jest bardzo szeroki. Materiały bazowe i włókna naturalne scharakteryzowano z wykorzystaniem skaningowej mikroskopii elektronowej, analizy EDS, mikroskopii świetlnej, dyfrakcji rentgenowskiej, XRF, dyfrakcji laserowej, metod sorpcji fizycznej, porozymetrii rtęciowej oraz spektroskopii FT-IR. Wykonano także pomiary gęstości. Tak

rozbudowana charakterystyka pozwoliła na właściwy dobór surowców do dalszych etapów pracy.

Dla wytworzonych kompozytów przeprowadzono badania wytrzymałości na zginanie i ściskanie oraz szeroki zakres badań właściwości cieplnych. Wykorzystano między innymi aparat HFM 446 Lambda, analizator Isomet 2114 oraz aparat GHP 900. Zastosowanie różnych technik pomiarowych zwiększa wiarygodność uzyskanych wyników i pozwala spojrzeć na transport ciepła w badanych materiałach z kilku stron. Szczególnie ważne było wykorzystanie aparatu GHP 900 do oceny efektywnej przewodności cieplnej układów warstwowych i weryfikacji wpływu granic międzywarstwowych.

Badania uzupełniono oceną zachowania materiałów w temperaturach do 600°C. Po ekspozycji cieplnej wykonywano również badania wytrzymałości na ściskanie. Autorka wykazała, że matryca geopolimerowa ogranicza dopływ tlenu do warstw włóknistych i pełni funkcję bariery ochronnej. Opracowane kompozyty zachowują również znaczną część nośności po oddziaływaniu temperatury. Jest to istotne z punktu widzenia potencjalnego zastosowania tych materiałów w przegrodach budowlanych.

Na pozytywną ocenę zasługuje rozszerzenie pracy o badania wymywalności, promieniotwórczości naturalnej, analizę cyklu życia oraz analizę ekonomiczną. Autorka podjęła w ten sposób próbę oceny rzeczywistego potencjału aplikacyjnego rozwiązania. Wykazano, że jest ono około 15% droższe od standardowych, ale może posiadać przewagę środowiskową i w zakresie bezpieczeństwa pożarowego. Istotnym źródłem śladu węglowego pozostają aktywatory alkaliczne.

Jednym z najważniejszych rezultatów pracy jest wykazanie, że zastosowanie tej samej ilości izolacji w kilku cieńszych warstwach nie prowadzi do zakładanej poprawy izolacyjności. W badanych układach nie uzyskano korzystnego dodatkowego oporu kontaktowego. Wynik ten jest interesujący z naukowego punktu widzenia i ma również znaczenie praktyczne, ponieważ pokazuje, że sama liczba granic międzywarstwowych nie może być traktowana jako prosty sposób poprawy właściwości cieplnych przegrody.

Sam dobór metod badawczych uważam za prawidłowy i komplementarny. Badania są dobrze powiązane z celem pracy.

Doktorantka wykazała umiejętność zaplanowania eksperymentu, doboru metod, analizy wyników oraz przejścia od badań podstawowych materiału do oceny rozwiązania o charakterze aplikacyjnym. W mojej ocenie przeprowadzone badania są bardzo dobre i dały możliwość osiągnięcia zasadniczego celu rozprawy.

Uwagi dotyczące edycji pracy

Budowa pracy jest klasyczna i czytelna. Można w niej wyraźnie wydzielić część dotyczącą stanu wiedzy, metodykę badań oraz obszerną część badawczą. Praca przygotowana jest starannie. Rysunki i tabele są w większości czytelne i właściwie powiązane z tekstem. Autorka zamieściła także wykaz najważniejszych oznaczeń i skrótów, streszczenie w języku polskim i angielskim oraz rozbudowany wykaz własnego dorobku naukowego.

W pracy występują nieliczne błędy edytorskie i językowe, których nie będę szczegółowo wymieniał. Nie wpływają one na odbiór rozprawy ani na ocenę jej wartości merytorycznej. Podsumowując, stronę edycyjną pracy oceniam bardzo dobrze.

Uwagi do dyskusji

1. Jedna z części tezy zakładała poprawę izolacyjności po podziale tej samej ilości materiału izolacyjnego na większą liczbę warstw. Wyniki nie potwierdziły tego założenia i Autorka wskazuje na paradoks oporu kontaktowego. Proszę szerzej wyjaśnić fizyczny mechanizm tego zjawiska. W jakich warunkach dotyczących rodzaju materiału, jakości styku lub geometrii warstw można byłoby oczekiwać korzystnego wpływu oporu kontaktowego na izolacyjność?
2. Dla uzyskania współczynnika U = 0,19 W/(m²·K) zaproponowano przegrodę o grubości około 25 cm. Jak zdaniem Doktorantki na wynik uzyskany dla próbek laboratoryjnych wpłyną warunki rzeczywiste, takie jak wilgotność, połączenia pomiędzy elementami czy mostki cieplne? Który z tych czynników może mieć największe znaczenie przy przejściu do skali pełnowymiarowej?
3. W pracy wykazano skuteczną ochronę włókien naturalnych przez matrycę geopolimerową w podwyższonej temperaturze. Jak

może zmieniać się trwałość takich włókien podczas wieloletniej eksploatacji w środowisku alkalicznym oraz przy cyklicznych zmianach temperatury i wilgotności? Jakie badania starzeniowe należałoby wykonać przed wdrożeniem rozwiązania w budownictwie?

4. Analiza ekonomiczna wskazuje na około 15% wyższy koszt opracowanych rozwiązań. Jakie zmiany składu lub technologii wytwarzania Autorka uważa za najbardziej perspektywiczne, aby jednocześnie obniżyć koszt i wpływ środowiskowy bez pogorszenia właściwości mechanicznych, cieplnych i odporności ogniowej?

Podsumowanie i wniosek końcowy

Na podstawie analizy rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Agnieszki Przybek pt. "Badania mechanizmów przenikania ciepła w warstwowych kompozytach na bazie glinokrzemianów oraz włókien pochodzenia naturalnego" stwierdzam, że:

- zasadniczy cel pracy został osiągnięty,
- tematyka pracy doktorskiej jest aktualna i ważna zarówno z naukowego, jak i aplikacyjnego punktu widzenia,
- praca ma komplementarny i interdyscyplinarny charakter,
- rozprawa zawiera elementy nowości naukowej, w szczególności w zakresie oceny wpływu układu warstwowego na transport ciepła i identyfikacji zjawisk na granicach warstw,
- Doktorantka wykazała umiejętność samodzielnego projektowania eksperymentu, doboru metod badawczych oraz prawidłowej analizy i interpretacji wyników,
- uzyskane wyniki mają potencjał dalszego rozwoju i zastosowania praktycznego.

Fakt częściowego potwierdzenia postawionej tezy nie wpływa negatywnie na ocenę rozprawy. Przeprowadzone badania pozwoliły zweryfikować założenia i wykazać, że zwiększenie liczby warstw izolacyjnych nie prowadzi w analizowanych układach do oczekiwanej poprawy izolacyjności. Jest to istotny wynik naukowy i jednocześnie ważna informacja dla dalszego projektowania tego typu kompozytów.

Recenzowana rozprawa jest bardzo dobrze zaplanowana. Jej mocną stroną jest szeroki zakres metod oraz powiązanie badań strukturalnych, mechanicznych i cieplnych z analizą środowiskową

i ekonomiczną. Na podkreślenie zasługuje również bardzo dobry dorobek publikacyjny Doktorantki. Całość świadczy o dobrym przygotowaniu Autorki do samodzielnej działalności naukowej.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska Pani mgr inż. Agnieszki Przybek spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (tekst jedn. Dz.U. z 2024 r. poz. 1571, z późn. zm.). Rozprawa prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Doktorantki w dyscyplinie inżynieria materiałowa, potwierdza umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej oraz stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego o wyraźnym znaczeniu aplikacyjnym.

W związku z powyższym wnioskuję o dopuszczenie Pani mgr inż. Agnieszki Przybek do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

Z poważaniem