

Dr hab. inż. Marek Hebda, prof.PK
Politechnika Krakowska
Wydział Inżynierii Materiałowej i Fizyki
Katedra Inżynierii Materiałowej

Kraków, 08 listopad 2024r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Mateusza Lis
pod tytułem
*„Struktura i własności porowatych pianek szklanych
modyfikowanych popiołami lotnymi”*

wykonanej pod opieką promotora
dr hab. inż. Klaudiusza Gołombek, prof. PŚ
i promotora pomocniczego
dr inż. Piotra Sakiewicz

opracowana na zlecenie
Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa
Politechniki Śląskiej
zgodnie z uchwałą z dnia 22 października 2024 roku
(pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa
Prof. dr hab. inż. Adama Grajcar z dnia 22.10.2024 r.)

Przedmiot i zakres rozprawy

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska Pana mgr inż. Mateusza Lisa pod tytułem *„Struktura i własności porowatych pianek szklanych modyfikowanych popiołami lotnymi”* wykonana pod opieką promotora Pana dr hab. inż. Klaudiusza Gołombek, prof. PŚ i promotora pomocniczego Pana dr inż. Piotra Sakiewicza.

Praca o objętości 227 stron napisana została w języku polskim i ma charakter eksperymentalno-badawczy. Układ rozprawy jest klasyczny, z podziałem na część literaturową i eksperymentalną, podzielony na 10 rozdziałów, w których zaprezentowano przejrzyste i czytelne 84 rysunki oraz 25 tabel. Bibliografia zawiera 441 pozycji literaturowych zgodnych z tematyką rozprawy. Rozprawa doktorska zawiera również streszczenie w języku polskim i angielskim. Praca zakończona jest trzema załącznikami: A - z 24 rysunkami, B - z 3 rysunkami i jedną tabelą oraz C - z 23 rysunkami i 3 tabelami.

Należy podkreślić bardzo dobry poziom edycyjny pracy zarówno od strony przygotowania tekstu, jak i szaty graficznej. Nieliczne błędy interpunkcyjne i językowe, nie wpływają na mój wysoce pozytywny odbiór całej dysertacji.

W pracy zawarto informację, że badania wykonano ze wsparciem projektu badawczego: „*Optymalizacja procesu spalania i waloryzacja ubocznych produktów spalania dla wypełnienia założeń gospodarki o obiegu zamkniętym, UPS-Plus*” finansowanego przez Fundację na Rzecz Nauki Polskiej w ramach programu TEAM-TECH Core Facility (POIR.04.04.00-00-31B4/17-00).

Tematyka poruszana w recenzowanej pracy doktorskiej, autorstwa Pana mgr inż. Mateusza Lisa, wpisuje się w aktualne kierunki badań nad kompleksowym podejściem do zagadnień gospodarki o obiegu zamkniętym oraz wykorzystania surowców pochodzących z recyklingu, takich jak stłuczka szklana i popioły lotne odzyskiwanych z ubocznych produktów spalania. Praca koncentruje się na projektowaniu materiałów inżynierskich - pianek szklanych, o zaplanowanej strukturze i właściwościach użytkowych.

Charakterystyka rozprawy

Doktorant w rozprawie skoncentrowała się na zagadnieniach związanych z wykorzystaniem popiołów lotnych z procesów spalania biomasy nie pochodzącej z pełnowartościowego drewna jako dodatków modyfikujących strukturę i właściwości pianek szklanych. Tematyka pracy wpisuje się w kontekst zagadnień związanych z gospodarką o obiegu zamkniętym (GOZ).

Realizację postawionych celów Pan mgr inż. Mateusz Lis próbował uzyskać poprzez odpowiednie zaprojektowanie składu mieszanek, analizując wpływ zawartości popiołów oraz parametrów ich obróbki cieplnej na mikrostrukturę i właściwości użytkowe wytworzonych pianek szklanych.

Tytuł recenzowanej rozprawy „*Struktura i własności porowatych pianek szklanych modyfikowanych popiołami lotnymi*” w pełni odzwierciedla treści zawarte w pracy.

Pod względem formalnym rozprawa została opracowana poprawnie, jej struktura odpowiada przyjętym zasadom, a treść poszczególnych rozdziałów rozmieszczona jest zgodnie z postawionymi celami.

Praca rozpoczyna się wstępem, który stanowi wprowadzenie do tematyki rozprawy doktorskiej. Autor prezentuje w nim informacje dotyczące problematyki ochrony środowiska i efektywnego zarządzania zasobami, co wpisuje się w szeroką koncepcję gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ). Pan mgr inż. Mateusz Lis opisał również kluczowe wyzwania związane z gospodarką surowcami wtórnymi, podkreślając rosnące znaczenie materiałów takich jak pianki szklane, które mogą być wytwarzane z odpadów przemysłowych, w tym popiołów lotnych. Wskazuje także na znaczenie inżynierii materiałowej i środowiskowej w rozwijaniu technologii, które przyczyniają się do redukcji odpadów i wspierają zrównoważony rozwój.

Rozdział drugi przedstawia teoretyczne podstawy gospodarki o obiegu zamkniętym i omawia różnice między modelem gospodarczym liniowym a cyrkularnym. Skupia się na

zaletach modelu cyrkularnego, takich jak ograniczenie zużycia surowców i minimalizacja odpadów poprzez recykling i ponowne wykorzystanie. Autor opisuje kluczowe zasady GOZ, w tym koncepcję 3R (reduce, reuse, recycle) oraz jej rozwinięcie do koncepcji 9R, która zakłada szersze spojrzenie na zarządzanie zasobami. W rozdziale podkreślona jest również rola polityk unijnych i krajowych w promowaniu GOZ oraz wyzwań związanych z wdrażaniem tej koncepcji w praktyce.

W rozdziale trzecim Pan mgr inż. Mateusz Lis prezentuje ogólną charakterystykę szkła wskazując, że jest to materiał doskonale nadający się do recyklingu i powtórnego przetwarzania w modelu GOZ. Ponadto omówiono procesy wytwarzania szkła i jego różnorodne rodzaje, szczególnie pod kątem ich przydatności w inżynierii materiałowej. Rozdział ten zawiera również szczegółowy podział szkła według składu chemicznego, formy produktu oraz zastosowania, co stanowi teoretyczną bazę dla późniejszych eksperymentów związanych z modyfikacją pianek szklanych.

Rozdział czwarty zatytułowany „*Materiały porowate*” zawiera klasyfikacji materiałów porowatych, uwzględniając zarówno ich charakterystykę strukturalną, jak i użytkową. Przedstawiono również zalety materiałów porowatych, szczególnie w kontekście ich zdolności do izolacji termicznej oraz akustycznej, co czyni je atrakcyjnymi w różnych aplikacjach przemysłowych. Istotną częścią rozdziału jest omówienie szkieł spienionych, ich właściwości fizycznych i mechanicznych oraz wpływu parametrów technologicznych na jakość i funkcjonalność tych materiałów.

W kolejnym rozdziale mgr inż. Mateusz Lis omówił procesy konwersji termicznej surowców i materiałów. Szczególną uwagę poświęcono procesowi spalania biomasy i powstającym produktom ubocznym, takim jak popioły lotne, które stosowano w niniejszej pracy do produkcji pianek szklanych.

Rozdział szósty, będący podsumowaniem z przeglądu literatury, w sposób syntetyczny systematyzuje wiedzę dotyczącą ubocznych produktów spalania oraz możliwości zagospodarowania odpadów szklanych modyfikowanych popiołami lotnymi w produkcji szkieł spienionych. Autor wskazał również brak wystarczającej wiedzy w zakresie zastosowania popiołów lotnych ze spalania biomasy nie pochodzącej z pełnowartościowego drewna, jako dodatków do wytwarzania szkieł spienionych. Ponadto, zwrócił uwagę na fakt, że w wielu pracach brak jest uzasadnienia doboru stosowanych parametrów technologicznych związanych z produkcją tych materiałów. Przedstawione zagadnienia stanowią podstawę uzasadniającą przeprowadzenie badań eksperymentalnych.

Wyniki badań i ich omówienie zaprezentowano w rozdziale siódmym, podzielonym na cztery podrozdziały.

W pierwszym z nich pt. „*Teza pracy*” (podrozdział 7.1) Doktorant sformułował tezę rozprawy doktorskiej: „*Dodatek sfunkcjonalizowanych popiołów lotnych do pochodzących z recyklingu materiałowego odpadów szklanych pozwala kształtować strukturę i umożliwia*

optymalizację własności użytkowych porowatych pianek szklanych przez odpowiedni dobór parametrów i procesów przetwórczych”.

Pan mgr inż. Mateusz Lis przedstawił również cel naukowy, którym była analiza „*struktury i własności porowatych pianek szklanych wytwarzanych z pochodzących z recyklingu materiałowego odpadów szklanych oraz ubocznych produktów spalania – popiołów lotnych*”.

Natomiast celem użytkownicy pracy zgodnie z koncepcją gospodarki o obiegu zamkniętym była „*optymalizacja technologii otrzymywania nowo opracowanych materiałów porowatych – szkieł spienionych, wytworzonych z materiałów odpadowych – stłuczki szklanej i po procesowych odpadów energetycznych – popiołów lotnych, co może stanowić realną odpowiedź na użyteczne zastosowanie materiałów, zgodnie z koncepcją 9R – etap 8: recykling, w wyniku działań zmierzających w kierunku identyfikacji, sortowania i przetwarzania odpadów, w celu ich konwersji dla kolejnych cykli produkcyjnych*”.

Teza i cele pracy zostały sformułowane prawidłowo i jasno określają kierunki badań, które należało zrealizować aby je udowodnić. Ponadto, dotyczą one zarówno aspektów naukowo-badawczych jak również mają istotne znaczenie użytkownik, co Doktorant w sposób jednoznaczny podkreślił w rozprawie.

W podrozdziale 7.2 Pan mgr inż. Mateusz Lis scharakteryzował materiały stosowane w badaniach, natomiast szczegółowy opis zastosowanych metod badawczych opisano w podrozdziale 7.3 zatytułowanym *Metodyka badań*.

W celu udowodnienia sformułowanej tezy, Doktorant zaplanował realizację badań, które obejmowały analizę wpływu składu mieszanin (m.in. ilości i wielkości frakcji cząstek popiołu lotnego oraz ilości środka spieniającego) oraz parametrów obróbki cieplnej (m.in. szybkości nagrzewania i czasu wygrzewania) na zmiany struktury i własności wytworzonych szkieł spienionych.

Oryginalne wyniki badań własnych Autor zaprezentował w podrozdziale 7.4. podzielonym na trzy podrozdziały kolejno omawiające:

- analizę komponentów wykorzystanych do wytworzenia szkieł spienionych (podrozdział 7.4.1.),
- wpływ proporcji komponentów oraz parametrów obróbki cieplnej na możliwość wytwarzania szkieł spienionych (podrozdział 7.4.2.) oraz
- analizę struktury i własności wytworzonych z wybranych zestawów komponentów szkieł spienionych (podrozdział 7.4.3.).

Rozdział ósmy to podsumowanie uzyskanych wyników badań. Natomiast wnioski końcowe rozprawy zaprezentowano w rozdziale dziewiątym. Bibliografia stanowi rozdział dziesiąty.

W zakończeniu pracy doktorskiej Pan mgr inż. Mateusz Lis zamieścił streszczenie w języku polskim oraz angielskim wraz załącznikami prezentującymi wyniki z badań:

A/ komponentów wykorzystanych do wytworzenia szkieł spienionych,

B/ wpływu proporcji komponentów oraz parametrów obróbki cieplnej na możliwość wytwarzania szkieł spienionych,

C/ struktury i właściwości wytworzonych z wybranych zestawów komponentów szkieł spienionych.

Tematyka badawcza rozprawy jest trafnie wybrana i stanowi oryginalne podejście do podjętego problemu naukowego. Należy podkreślić, że Doktorant zastosował w badaniach szerokie spektrum nowoczesnych metod badawczych, które zostały właściwie dobrane do weryfikacji tezy pracy i umożliwiły uzyskanie interesujących wyników. Ponadto, zaprezentowane rezultaty badań dotyczą zarówno zagadnień z zakresu nauki podstawowej, jak również mogą znaleźć potencjalne zastosowanie w praktyce przemysłowej.

Merytoryczna ocena rozprawy

Rozprawa doktorska mgr inż. Mateusza Lisa pt. „*Struktura i własności porowatych pianek szklanych modyfikowanych popiołami lotnymi*” stanowi oryginalne opracowanie, które ze względu na tematykę oraz zastosowaną metodologię badań mieści się w obszarze dyscypliny inżynieria materiałowa.

Należy podkreślić szeroki zakres przeprowadzonych przez Doktoranta analiz, ich kompleksowy charakter oraz różnorodność zastosowanych technik badawczych.

Uważam, że problematyka naukowo-badawcza podjęta w rozprawie doktorskiej przez Pana mgr inż. Mateusza Lisa jest wysoce aktualna, spełnia cechy nowości naukowej, posiada znaczący potencjał aplikacyjny. Wybór tematyki rozprawy, jak i materiałów do badań, należy uznać za trafny i uzasadniony w kontekście stanu aktualnej wiedzy na temat szklanych pianek modyfikowanych popiołami lotnymi, wytwarzanych zgodnie z zasadami gospodarki o obiegu zamkniętym.

Do najważniejszych osiągnięć Pana mgr inż. Mateusza Lisa należy zaliczyć:

- Wykorzystanie popiołów lotnych ze spalania biomasy nie pochodzącej z pełnowartościowego drewna jako dodatku modyfikującego strukturę i właściwości pianek szklanych. Tego rodzaju podejście do recyklingu i ponownego przetwarzania popiołów lotnych jest nowatorskie, ponieważ dotychczas były one stosowane głównie jako dodatek do betonu lub materiałów budowlanych. Ich wykorzystanie w piankach szklanych otwiera nowe możliwości aplikacyjne oraz przyczynia się do cyrkularności materiałów. Autor wykazał, że możliwe jest uzyskanie wartościowego produktu, który nie tylko eliminuje konieczność utylizacji popiołów, ale także dostarcza wysokiej jakości materiały o pożądanych właściwościach. Tego typu badania przyczyniają się do rozwoju metod zarządzania odpadami i surowcami wtórnymi, wzmacniają zasady zrównoważonego rozwoju w przemyśle oraz wspierają cele gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ), dążąc do ograniczenia eksploatacji surowców naturalnych.

- Przeanalizowanie szeregu parametrów produkcyjnych, m.in. składu komponentów, szybkości grzania, czasu i temperatury wygrzewania, na gęstość pozorną, przyrost objętości, rozkład i wielkość porów pianek szklanych ma istotne znaczenie dla ich właściwości izolacyjnych i mechanicznych. Autor wykazał, że poprzez dobór odpowiednich proporcji i warunków procesowych można uzyskać pianki o zdefiniowanej porowatości, wysokiej jednorodności strukturalnej i odpowiedniej gęstości, co pozwala na dostosowanie struktury i właściwości pianek do specyficznych wymagań aplikacyjnych np. w przemyśle budowlanym. Tego rodzaju pianki mogą stanowić alternatywę dla tradycyjnych materiałów izolacyjnych, takich jak styropian czy wełna mineralna, oferując jednocześnie ekologiczną i zrównoważoną metodę produkcji.

Dokładne zapoznanie się z treścią rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Mateusza Lisa skłania do sformułowania pod adresem Doktoranta kilku pytań dotyczących niektórych jej fragmentów:

- W tytule pracy użyto zwrotu „*porowatych pianek*”, czy nie jest to sformułowanie redundantne, biorąc pod uwagę, że pianki z definicji charakteryzują się porowatą strukturą?
- Proszę o wyjaśnienie, jak Doktorant rozumie stosowane w pracy pojęcie „analiza cieplna” i porównanie go z pojęciem „analiza termiczna”.
- Na stronie 108 Doktorant napisał: „... *posiada charakter endotermiczny, którego szczyt odpowiada temperaturze 738°C.*” Czy w kontekście opisu efektu endotermicznego właściwe jest użycie terminu „szczyt”?
- Na stronie 109 Doktorant napisał: „*Najniższą temperaturą spiekania cechuje się popiół o frakcji rozmiarowej 200 – 500, natomiast największą najdrobniejsza frakcja.*” Proszę o wyjaśnienie tego wyniku i wskazanie przyczyn takiej zależności.
- Proszę o wyjaśnienie, czy w tabeli 24 na stronie 168 odchylenie standardowe i współczynnik zmienności zostały obliczone dla próbek z powłoką czy bez, a także na ilu próbkach dla każdego wariantu przeprowadzono pomiary.
- W opisie wyników, na stronach 141 i 149, Doktorant dwukrotnie stosuje zwrot *korelacja*. Czy obliczono współczynniki korelacji dla opisywanych zależności?

W pracy znajdują się również nieliczne błędy redakcyjne, przykładowo:

- Powtórzenie fragmentu tekstu: „*Możliwym jest także, że na ten efekt...*” na stronie 112 oraz tekstu „*stosując aparaturę typu LFA ...*” na stronie 171.
- Wskazane jest stosowanie w całej pracy jednolitego systemu oznaczania zwrotu efektów egzotermicznych/endotermicznych na wykresach.
- Formatowanie układ pracy można by poprawić w miejscach, w których opis rysunku lub tabeli znajduje się kilka stron przed ich występowaniem.
- Wskazane jest stosowanie w całej pracy jednolitego systemu jednostek miary, np. zamiast podawania rozmiarów sit w mm (strona 102) i μm (strona 103), warto wybrać jedną jednostkę.
- Brakuje opisu zaprezentowanych zdjęć na rysunkach 35-37.
- Na stronie 121 w opisie tabeli 18 napisano „... *dla próbek proszku szklanego szklanej ...*” prawdopodobnie słowo *szklanej* jest nadmiarowe.
- Na stronie 126 napisano „... *zgodnie z informacjami przedstawionymi w podrozdziale 0.*” – podczas gdy praca nie zawiera podrozdziału o numerze 0.

- Na rysunku A8 na stronie 212 skala osi TG oraz jednostka strumienia ciepłego wymagają poprawy.

Przytoczone powyżej uwagi traktuję raczej jako formę dyskusji z Doktorantem, które nie umniejszają merytorycznej wartości rozprawy i nie wpływają na ocenę realizację całości pracy. Rozprawa Pana mgr inż. Mateusza Lisa zawiera wartościowe wyniki, które świadczą o jego kompetencjach, umiejętnościach w zakresie planowania badań oraz doświadczeniu w ich przeprowadzeniu. Opracowana rozprawa dotyczy aktualnej problematyki badawczej i w wielu miejscach wnosi nowe, istotne treści o znaczących walorach poznawczych oraz aplikacyjnych.

Ocena końcowa rozprawy

Opiniowana rozprawa doktorska Pana mgr inż. Mateusza Lisa pt. „*Struktura i własności porowatych pianek szklanych modyfikowanych popiołami lotnymi*” stanowi istotne osiągnięcie badawcze trudnego i złożonego zagadnienia. Wskazuje na dobre teoretyczne przygotowanie Doktoranta oraz jego umiejętności samodzielnego prowadzenia badań doświadczalnych. Rozprawa jest napisana przejrzysto i prawidłowo przeprowadzona od strony eksperymentalnej. Autor sformułował oryginalny problem naukowy, który ma ważne znaczenie zarówno od strony badawczej, jak i technologicznej. Doktorant wykazał się biegłością w wykorzystaniu nowoczesnych metod badawczych stosowanych w inżynierii materiałowej, a także umiejętnością poprawnego i przekonującego przedstawiania wyników badań. Wszystkie stwierdzenia w omówieniu wyników oraz wnioskach są odpowiednio udokumentowane w pracy i nie budzą zastrzeżeń. Rezultaty przeprowadzonych analiz przedstawione w rozprawie stanowią istotny wkład w rozwój wiedzy z zakresu możliwości zagospodarowania odpadów szklanych modyfikowanych popiołami lotnymi pochodzącymi z procesów spalania biomasy nie pochodzącej z pełnowartościowego drewna, jako dodatków modyfikujących strukturę i właściwości pianek szklanych w zgodzie z zasadami gospodarki o obiegu zamkniętym. Praca charakteryzuje się wysokim poziomem merytorycznym i znaczną wartością aplikacyjną.

Oceniając całość przesłanej do recenzji rozprawy doktorskiej pt. „*Struktura i własności porowatych pianek szklanych modyfikowanych popiołami lotnymi*” stwierdzam, że praca Pana mgr inż. Mateusza Lisa spełnia wszelkie wymagania formalne stawiane pracom doktorskim w aktualnie obowiązującej ustawie o stopniach i tytułach naukowych, i wnioskuję do Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Śląskiej o przyjęcie rozprawy doktorskiej i dopuszczenie Autora do publicznej obrony.

