



Dr hab. inż. Maria Kurańska, prof. PK  
Katedra Chemii i Technologii Polimerów  
Wydział Inżynierii i Technologii Chemicznej  
Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki  
Ul. Warszawska 24  
31-155 Kraków

Kraków, dn. 30 stycznia 2025 r.

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Weroniki Kujawy zatytułowanej  
„Opracowanie nowego, wzmocnionego kompozytu cementowego kompatybilnego  
z panelami fotowoltaicznymi”

### 1. Informacje ogólne

Przedłożona mi do recenzji praca doktorska mgr inż. Weroniki Kujawy pt. „Opracowanie nowego, wzmocnionego kompozytu cementowego kompatybilnego z panelami fotowoltaicznymi” została zrealizowana w Katedrze Chemii Fizycznej i Fizykochemii Polimerów na Wydziale Chemicznym Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu pod kierunkiem Pani dr hab. Ewy Olewnik-Kruszkowskiej, prof. UMK. Recenzowana praca doktorska została wykonana w wyniku realizacji programu „Doktorat wdrożeniowy” w ramach zatrudnienia w firmie Selena Industrial Technologies sp. z o.o.

Tematyka pracy wpisuje się w nurt nowoczesnych technologii uwzględniający zrównoważony rozwój. Materiały na bazie cementu ogrywają kluczową rolę w budownictwie, jednakże produkcja tego komponentu przyczynia się do znacznej emisji CO<sub>2</sub>. Sprostanie wyzwaniom zrównoważonego rozwoju w dziedzinie materiałów budowlanych w kontekście zarówno rozwoju tych materiałów, jak również wymaganiom podyktowanym przez tzw. Europejski Zielony Ład jest związane z koniecznością ograniczenia emisji CO<sub>2</sub>. Zmniejszenie śladu węglowego w produkcji materiałów budowlanych jest możliwe poprzez m.in.



stosowanie innowacyjnych receptur betonu, które zmniejszają udział cementu. Takie innowacyjne podejście zaprezentowała w rozprawie doktorskiej pani mgr inż. Weronika Kujawa.

## 2. Ocena formalna pracy doktorskiej

Recenzowana praca doktorska składa się z zasadniczych części tj. część literaturowa, część doświadczalna, część zawierająca analizę i omówienie wyników oraz podsumowanie i wnioski. Praca zawiera także streszczenie (w języku polskim i angielskim), wykaz najczęściej stosowanych skrótów, cel i zakres pracy, bibliografię, spis rysunków i tabel oraz wykaz dorobku naukowego. Całość pracy liczy 162 strony. Praca została napisana z zachowaniem dużej staranności, schematy, tabele oraz rysunki przedstawiono w czytelnej formie.

## 3. Ocena merytoryczna

Część teoretyczna niniejszej rozprawy doktorskiej została napisana w sposób niezwykle uporządkowany i z dużą starannością. Doktorantka przedstawia dokładnie obecny stan wiedzy materiałów cementowych i wskazuje na możliwości opracowania bardziej przyjaznych środowisku kompozytów.

Wstęp literaturowy rozpoczyna omówienie budowy fasad budynków oraz materiałów stosowanych do ich wykonania z uwzględnieniem fasad wentylowanych ze zintegrowanymi panelami fotowoltaicznymi. Elementem takiej instalacji jest płyta betonowa na której montowana jest instalacja. Doktorantka wskazuje, że dotychczas stosowane płyty betonowe zbrojone włóknami szklanymi charakteryzują się dużą zawartością cementu, którego produkcja przyczynia się do emisji CO<sub>2</sub>. Dodatkowo podkreśla, że włókna szklane mogą wpływać negatywnie na zdrowie.

W kolejnym rozdziale Doktorantka omówiła zastosowanie kompozytów cementowych w budownictwie, przedstawiono modyfikatory matrycy cementowej m.in. reaktywne dodatki mineralne, kruszywa lekkie, włókna. Zwrócono także uwagę na polimerowe substancje pomocnicze. W kolejnym rozdziale opisano założenia przeprowadzenia optymalizacji materiału metodą powierzchni odpowiedzi. Podsumowując tą część pracy chciałam zwrócić



uwagę, że przedstawienie tak obszernego zagadnienia w bardzo syntetyczny sposób wymaga doskonałego rozeznania w temacie o czym świadczy ponad 200 pozycji literaturowych zacytowanych w tej części, jak również dużej wiedzy praktycznej.

Przechodząc do kolejnej części pracy na uznanie zasługuje zamieszczenie na początku części doświadczalnej schematu przeprowadzonych eksperymentów podzielonego na trzy etapy, który w sposób jasny przedstawia zakres wykonanych prac badawczych. Następnie opisano w sposób szczegółowy stosowane materiały przedstawiając ich właściwości fizyczne oraz chemiczne, jak również opisano przygotowanie materiałów i metodykę badań. Skład kompozytów zamieszczono w odpowiednich podrozdziałach zawierających wyniki badań i ich omówienie, co uważam za bardzo dobre podejście ponieważ znacznie ułatwiło analizę wpływu zmian kompozycji materiałów na właściwości.

Na pierwszym etapie dokonano wyboru reaktywnej pucolany, wypełniacza lekkiego oraz włókien. Spośród badanych kompozytów modyfikowanych pucolanami, stwierdzono, że materiały z dodatkiem metakaolinu charakteryzowały się znacznie większą wytrzymałością na zginanie i ściskanie w porównaniu do materiałów zawierających pył krzemionkowy.

Na tej podstawie do dalszych badań wybrano metakaolin i przeprowadzono szereg badań kompozytów z różną zawartością tej pucolany (8%, 10%, 12% oraz 15% względem ilości cementu). Stwierdzono, że dodatek pucolany wpływa na przebieg hydratacji cementu. Zaobserwowano, że zmiany w tym procesie zachodzą już w początkowym okresie dojrzewania materiału, co wpływa na znaczący przyrost wytrzymałości na zginanie i ściskanie w porównaniu do próbki kontrolnej.

Następnie kompozyty zawierające 10% metakaolinu modyfikowano dodatkiem 12 różnych napełniaczy lekkich. Na podstawie przeprowadzonych badań do dalszych eksperymentów wybrano perlit i modyfikowano kompozyty cementowe wprowadzając 2%, 4%, 6%, 8%, 10%, 12% i 14% tego napełniacza. W kolejnym etapie przeprowadzono badania kompozytu z udziałem perlitu oraz dodatku włókien polipropylenowych, szklanych, celulozowych, bazaltowych, wollastonitu oraz hybrydowych w ilości 0,1%, 0,2%, 0,5%, 1,0% i 2,0%. Zastosowanie takiej dużej liczby modyfikacji pozwoliło na stwierdzenie, że w przypadku włókien wollastonitu nie obserwuje się niepożądaną zmiany reologii świeżego kompozytu



cementowego niezależnie od zawartości włókien. Dodatek pozostałych włókien w takiej zawartości powodował utratę urabialności mieszaniny. Do mieszaniny końcowej wybrano włókna hybrydowe.

Właściwości kompozytów cementowych oceniano na podstawie badań świeżego i stwardniałego materiału analizując: rozptył z pierścienia, gęstość objętościową, wytrzymałość na zginanie i ściskanie, nasiąkliwość, porowatość, a także mikrostrukturę stwardniałych kompozytów.

Istotnym elementem niniejszej pracy było przeprowadzenie optymalizacji składu materiałowego lekkiego kompozytu cementowego z zastosowaniem metody powierzchni odpowiedzi. Opracowany lekki kompozyt cementowy poddano badaniom w celu oceny potencjału aplikacyjnego poprzez analizę jego właściwości w stanie świeżym i utwardzonym. Przedstawione wyniki badań jednoznacznie wskazują, że Doktorantka opracowała materiał, który spełnia wymagania dotyczące zastosowania jako element fasadowy z panelami fotowoltaicznymi.

Poniżej zwracam się do Doktorantki z kilkoma pytaniami:

W odniesieniu do składu opracowanego kompozytu, a dokładnie do substancji pomocniczych proszę o wyjaśnienie, dlaczego właśnie te dodatki (Melflux 2651F, Tylose H300P2) i taka zawartość zostały wybrane do formułacji kompozytu? Czy prowadzono badania z innymi dodatkami? Jak ocenia Pani możliwość wdrożenia tego kompozytu do produkcji? Czy porównywano koszty wytworzenia opracowanego przez Panią kompozytu z kosztami obecnie stosowanej płyty betonową zbrojoną włóknem szklanym.

Oceniając niniejszą rozprawę chciałam podkreślić, że zaplanowanie tak dużej liczby eksperymentów i przeprowadzenie analizy wyników badań oraz ich interpretacja i odniesienie do danych literaturowych wymagało zarówno dużej wiedzy jak i umiejętności praktycznych.

Doktorantka w bardzo przejrzysty sposób przedstawiła wyniki i ich omówienie w każdym etapie pracy. Praca została przygotowana z dużą starannością jednakże, Doktorantka nie ustrzegła się drobnych błędów, które zostały wymienione poniżej.

Drobne błędy pojawiające się w pracy przedstawiam poniżej



- zgodnie z zasadami edytorskimi w wersach, nie powinno zostawiać na końcu jednoliterowych spójników i przyimków

- nieliczne powtórzenia np. str. 81 akapit 3 „Na przedstawionych poniżej wykresach przedstawiono ...”

- str. 84, linijka 4 błędne odniesienia do rysunków

- błędne odniesienia w tekście do rys. 55-59

- str. 91 błędne odniesienia w tekście do rys. 60 - 63.

Jednakże wymienione niedociągnięcia w żadnym stopniu nie wpływają na wartość merytoryczną pracy, którą oceniam wysoko.

#### 4. Podsumowanie

Pani mgr inż. Weronika Kujawa w ramach pracy doktorskiej realizowanej w ramach programu „Doktorat wdrożeniowy” zaprojektowała oraz dokonała optymalizacji składu materiałowego nowego kompozytu cementowego, co uważam za bardzo wartościowy wkład w rozwój nowych zrównoważonych materiałów budowlanych. Doktorantka jest również współautorką publikacji naukowych, jak również wystąpień konferencyjnych.

Stwierdzam, że przedłożona mi do recenzji rozprawa doktorska spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim i wnoszę do Rady Naukowej Dyscypliny Nauki Chemiczne Wydziału Chemii Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu o dopuszczenie Pani mgr inż. Weroniki Kujawy do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Biorąc pod uwagę tematykę rozprawy doktorskiej wpisującą się w aktualny nurt badań i dotyczący ważnych aspektów środowiskowych, wysoką wartość merytoryczną oraz publikację wyników badań w czasopismach naukowych z listy JCR wnoszę do Rady Naukowej Dyscypliny Nauki Chemiczne Wydziału Chemii Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu o wyróżnienie rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Weroniki Kujawy.