



Szczecin, 06.02.2025 r.

**dr hab. inż. Beata Schmidt, prof. ZUT**

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej

Katedra Technologii Chemicznej Organicznej i Materiałów Polimerowych

## **Recenzja rozprawy doktorskiej**

**Pani mgr inż. Weroniki Kujawy**

**zatytułowanej**

### **„Opracowanie nowego, wzmocnionego kompozytu cementowego kompatybilnego z panelami fotowoltaicznymi”**

**praca przygotowana pod kierunkiem naukowym Pani Promotor**

**dr hab. inż. Ewy Olewnik-Kruszkowskiej, prof. UMK**

Podstawą opracowania recenzji jest prośba Rady Dyscypliny Nauki Chemiczne Wydziału Chemii Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu na podstawie art. 190 ust. 2 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 poz. 1668 z poz. zm.). Rady Dyscypliny Nauki Chemiczne Wydziału Chemii Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu powołała mnie na recenzenta w postępowaniu o nadanie stopnia doktora mgr inż. Weroniki Kujawy w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie – nauki chemiczne. Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska wykonana została na Wydziale Chemii, w Katedrze Chemii Fizycznej i Fizykochemii Polimerów Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu, w ramach programu „Doktorat wdrożeniowy”.

Przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska Pani mgr inż. Weroniki Kujawy pt. „Opracowanie nowego, wzmocnionego kompozytu cementowego kompatybilnego z panelami fotowoltaicznymi” dotyczy nowoczesnych materiałów cementowych, które mogą być zastosowane w budownictwie jako fasady wentylowane połączone z panelami fotowol-

taicznymi. Tematy rozprawy doktorskiej wpisuje się w aktualne trendy badań powiązanych z transformacją energetyczną (materiały zintegrowane z panelami fotowoltaicznymi), ograniczenia zużycia materiałów, dopasowanie składu materiałów do zastosowań w budownictwie oraz aspekty ekologiczne. Należy również dodać, że każdy nowy materiał zastosowany w budownictwie lub innej branży wielkotonażowej, który jest np. trwalszy, lżejszy, wygodniejszy w stosowaniu, zawierający mniej składników, przynosi korzyści ekonomiczne i ma ogromne możliwości aplikacyjne. Tytuł rozprawy doktorskiej odpowiada zawartej w manuskrypcie treści.

***Ocena układu rozprawy doktorskiej:*** Rozprawa doktorska mgr inż. Weroniki Kujawy liczy 162 strony, w tym 41 stron części teoretycznej, zawierającej opis fasady budynków, materiałów stosowanych do wykonania fasad budynków, koncepcji fasad wentylowanych ze zintegrowanymi panelami fotowoltaicznymi, kompozytów cementowych w budownictwie oraz charakterystykę składników kompozytów cementowych stanowiących przedmiot pracy. Dodatkowo, w tej części opisana jest optymalizacja składu kompozytu cementowego metodą powierzchni odpowiedzi oraz postawione w pracy tezy i jej cel.

Część doświadczalna rozprawy doktorskiej została umieszczona na 74 stronach i podzielona została na poszczególne punkty: program badań, wykorzystane materiały, cement portlandzki, reaktywne pucolony, wypełniacze, włókna, substancje pomocnicze, przygotowanie materiałów do badań, metodyka badań, metodyka badań mikrostruktury, metodyka badań właściwości fizycznych i mechanicznych, badania, optymalizacja składu kompozytu cementowego metodą RSM, wybrane właściwości opracowanego lekkiego kompozytu cementowego oraz podsumowanie i wnioski.

W pracy zacytowano imponującą liczbę (294) najnowszych pozycji literaturowych w tym aż 132 pozycje opublikowanych od 2020 roku. Manuskrypt zawiera 94 rysunki (w tym 61 w części doświadczalnej) oraz 35 tabel (25 w rozdziale zawierającym wyniki). Rozprawa doktorska ma klasyczny układ, rozpoczyna się stroną tytułową i spisem treści. Rozprawa doktorska zawiera również wykaz ważniejszych skrótów i symboli, streszczenie w języku polskim i angielskim, wstęp, literaturę, spis rysunków i tabel oraz wykaz działalności naukowej Doktorantki.

Praca jest przejrzysta i dobrze zredagowana. Układ pracy i opracowanie graficzne tekstu jest wizualizacją dokładności Doktorantki; praca bardzo estetyczna. Doktorantka nie uniknęła drobnych niedociągnięć edytorskich, o których wspomnę w części recenzji: ***Uwagi krytyczne oraz informacje o nieprawidłowościach***. Jednocześnie podkreślam, że moje uwagi edytorskie nie wpływają na ostateczną ocenę pracy.

***Ocena zastosowanego piśmiennictwa:*** Praca jest napisana poprawnym językiem polskim, z zastosowaniem zasad gramatyki i ortografii.

Doktorantka nie ustrzegła się drobnych niedoskonałości, w liczbie minimalnej, jak np.:

- Str. 31: „Weerdt [66] oraz współautorzy [66] wykazali,....” – wskazania literatury powinno być jedno: „Weerdt oraz współautorzy [66] wykazali,....”. W tym miejscu, konieczne jest zaznaczenie, że moja recenzja dotyczy wydrukowanej formy rozprawy doktorskiej. W wersji elektronicznej, ten drobny błąd został już poprawiony.
- Liczby dziesiętne w języku polskim zapisujemy używając przecinka (np. 0,5 a nie 0.5).
- Str. 78: „...że wprowadzenie większych ilości metakaolinu z nie wpływa w istotny sposób na zmianę...” – niepotrzebne „z”.
- Str. 95: „...uzyskane wartości porowatości były osiągały...” – niepotrzebne „były”.
- Na Rysunku 10 zaznaczono na widmie IR liczby falowe dla pików, które nie są omawiane w tekście. Podobnie rysunki zawierające termogramy np. Rys. 11 czy Rys.13 zawierają więcej krzywych niż tylko ubytek masy próbki ze wzrostem temperatury.

***Cel i tezy rozprawy:*** Cel pracy jest jasno sprecyzowany i przedstawiony wraz z tezami, które Doktorantka zamieściła w punkcie 4 rozprawy. Celem głównym było opracowanie lekkiego kompozytu cementowego o możliwościach aplikacyjnych jako element fasad wentylowanych zawierających panele fotowoltaiczne. Dodatkowo, wyznaczono cele szczegółowe, które dotyczyły określenia wpływu badanych substancji (reaktywnych pucolan, lekkich wypełniaczy oraz włókien) na wybrane właściwości kompozytów cementowych.

W przedstawionej do recenzji pracy postawiono trafne tezy dotyczące takiej modyfikacji matrycy cementowej, która doprowadzi do uzyskania kompozytu spełniającego wszelkie

wymagania stawiane w nowoczesnym budownictwie oraz możliwości optymalizacji składu kompozytu cementowego za pomocą metody powierzchni odpowiedzi (RSM).

Metodologia obrona w pracy doktorskiej Pani mgr inż. Weroniki Kujawy pozwala na konsekwentne realizowanie zamierzonych celów i stopniowe potwierdzanie postawionych tez.

### ***Ocena merytoryczna rozprawy:***

*W części literaturowej* rozprawy, w interesujący sposób przedstawiono aktualny stan wiedzy na temat wykorzystania modyfikatorów matrycy cementowej oraz rodzajów fasad budynków oraz wariantów fasad wentylowanych. Dokładnie opisano składniki kompozytów cementowych wykorzystywane w pracy doktorskiej (reaktywne dodatki mineralne, kruszywa lekkie, włókna oraz polimerowe substancje pomocnicze: superplastyfikatory, zagęstniki celulozowe, polimerowe proszki redyspergowalne oraz odpieniacze). Na szczególną uwagę zasługują opracowania i przedstawienie graficzne mechanizmów działania dodatków polimerowych, które są opracowaniami własnymi Doktorantki (np. Rysunek 26 lub 30). Przeprowadzone studium literaturowe dopełnia opis metody powierzchni odpowiedzi (RSM), zastosowanej z powodzeniem w niniejszej rozprawie doktorskiej do projektowania materiałów cementowych. Podsumowując tę część rozprawy doktorskiej, doceniono trafność i ilość zastosowanych referencji, adekwatność zawartości części teoretycznej do treści przedstawionych w części doświadczalnej pracy.

*W części doświadczalnej*, na wyróżnienie zasługuje opracowanie i przejrzyste przedstawienie programu badań (Rysunek 34, strona 57). Schemat przeprowadzonych eksperymentów pozwala docenić dojrzałość naukową Doktorantki. Zarówno dobór metod badawczych jak i kolejności planowanych badań jest kluczowa do realizacji celów szczegółowych. Doktorantka umiejętnie wyciąga prawidłowe wnioski z poszczególnych badań i celnie wykorzystuje je do realizacji kolejnych zadań.

Pani mgr inż. Weronika Kujawa umiejętnie zaprezentowała wykorzystane w pracy doktorskiej materiały: cement portlandzki, dwa reaktywne pucolany, dwa standardowe wypełniacze (piasek kwarcowy i mączka wapienna) oraz 12 tzw. lekkich wypełniaczy, pięć rodzajów włókien oraz substancje pomocnicze takie jak superplastyfikator polikarboksylowy, zagęstnik celulozowy oraz odpieniacz. Do przedstawienia charakterystyki wszystkich wymienionych materiałów

posłużono się zbiorczymi tabelami i wykresami, które umożliwiają dogodne porównania właściwości w danej grupie substratów.

Przedstawione metody badań z podziałem na badania mikrostruktury (gęstość całkowita próbki, gęstość pozorna, porowatość całkowita, objętość porów otwartych, porowatość otwarta, rentgenografia strukturalna (XRD), skaningowa mikroskopia elektronowa i metoda ultradźwiękowa) oraz badania właściwości fizycznych i mechanicznych (gęstość nasypowa, rozkład wielkości ziaren, wytrzymałość na zginanie i ściskanie, czas wiązania, zmiany liniowe, absorpcja wody, odporność na cykle zamrażania-rozmrażania i rozpływ z pierścienia) są idealnie dobrane do badań kompozytów cementowych oraz wymagane przywołanymi normami polskimi.

Omówienie wyników badań jest zawarte w punkcie 5 rozprawy doktorskiej, który zawiera trzy części: badania dotyczące wyboru składników kompozytu cementowego, optymalizacja składu kompozytu cementowego metodą RSM i badania wybranych właściwości opracowanego lekkiego kompozytu cementowego. Prezentacja wyników badań jest na wysokim poziomie. Opis uzyskanych wyników badań i ich interpretacja spełniają standardy prac naukowych. Doktorantka systematycznie, w logiczny sposób, wybierając najlepsze zestawy cech materiałów, dobiera poszczególne składniki kompozytu cementowego. Każdy cykl badań jest zakończony podsumowaniem dotyczącym wyboru składnika, jego ilości lub potwierdzeniem trafności postawionych tez. Zastosowanie metody powierzchni odpowiedzi wzbogaca pracę doktorską o składniki analizy matematycznej i statystycznej służących do modelowania, w tym przypadku optymalizacji składu cementu kompozytowego. W konsekwencji racjonalnych decyzji popartych wynikami badań oraz umiejętnego użycia dobrze wyselekcjonowanej metody optymalizacji składu, Doktorantka wytypowała skład lekkiego kompozytu cementowego o najlepszych właściwościach użytkowych.

Część doświadczalną rozprawy doktorskiej kończy podsumowanie i poprawnie sformułowane wnioski (punkt 6).

**Informacje dotyczące praktycznego zastosowania uzyskanych wyników badań:**  
Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska jest pracą realizowaną w ramach programu

„Doktorat wdrożeniowy” i zatrudnienia Doktorantki w firmie Selena Industrial Technologies sp. z o.o. Cel pracy doktorskiej, w postaci opracowania lekkiego kompozytu cementowego został zrealizowany. Przedstawiono skład kompozytu cementowo-metakaolinowego wzmocnionego włóknami hybrydowymi wollastonitowo-bazaltowymi do zastosowań w budownictwie jako element fasad wentylowanych ze zintegrowanymi panelami fotowoltaicznymi. Materiał charakteryzował się gęstością objętościową o klasie D1.8, wytrzymałością na zginanie wynoszącą 10,78 MPa oraz wytrzymałością na ściskanie wynoszącą 43,83 MPa. Opracowany materiał spełnia wymagania dotyczące wspomnianego zastosowania, tym samym wskazuje na potencjalne możliwości wdrożenia wyników rozprawy doktorskiej.

***Uwagi krytyczne oraz informacje o nieprawidłowościach:***

A. Uwagi edytorskie nie wymagające komentarza ze strony Doktorantki:

1. W spisie treści istnieje punkt „2. Kompozyty cementowe w budownictwie” i podpunkt „2.1. Składniki kompozytów cementowych stanowiących przedmiot pracy”, ze względu na brak podpunktu 2.2., sugeruje się brzmienie punktu 2. np. Składniki kompozytów cementowych stosowanych w budownictwie, a następnie 2.1. Substancje wiążące.
2. Pozostawianie na końcu wiersza pojedynczych liter: i, w, z.
3. W „Tabela 3. Modyfikatory układów cementowych”, niepoprawny podział wyrazu ”hydroksykarboksylowe”; również zaobserwowano różnice pomiędzy wersją drukowaną a elektroniczną, jednakże ze względu na poprawność wersji elektronicznej uwagi pozostałe do Tabeli 3. zostały pominięte.
4. W „Tabela 4. Skład chemiczny i fazowy cementu portlandzkiego”, nazwa związku „siarczan wapnia” – rozsunięte wyrazy, literka „a” mało widoczna.
5. Zdecydowana lepsza jakość Rysunków w wersji elektronicznej (bez powiększania) niż w wersji papierowej (np. Rysunek 32., Rysunek 66, 68, 71, 72).
6. Zastosowano mniejszą czcionkę tekstu na dole strony 77.
7. Łącznie napisane dwa wyrazy: „w tych samychokresach”, strona 91.
8. Na zdjęciach SEM mało widoczna skala.

B. Uwagi i drobne niedociągnięcia, które wymagają wyjaśnienia lub potwierdzenia podczas obrony rozprawy doktorskiej:

1. Czy Rysunek 1, Rysunek 4 i Rysunek 17 są przygotowane przez Doktorantkę i nigdzie nie były publikowane? Pytanie wywołane brakiem odnośników literaturowych w opisie wspomnianych rysunków oraz brakiem oznaczenia - opracowanie własne.
2. „Rysunek 3. Typowy układ warstw fasady wentylowanej (na podstawie [15])” str.17 w tekście na str. 16 odnośnik jest do literatury [9]:”.... warstwa elewacyjna z przestrzenią powietrzną pomiędzy nimi (rys. 3.) [9].”. Która cytowana literatura jest poprawna, a może obie?
3. Pomyłki w numeracji rysunków:
  - „Wyniki porowatości całkowitej zostały przedstawione na rysunku 56, natomiast wyniki porowatości otwartej zamieszczono na rysunku 57.” – str. 91. Czy nie powinno być „na rysunku 60” i „na rysunku 61”?
  - Podobnie na str.93: „Podobne zależności zaobserwowano analizując wytrzymałość na zginanie i ściskanie badanych materiałów (rys. 58 i 59).” – poprawnie (rys. 62 i 63).
  - Str. 94: „...zestawiono na wykresie (rys. 60).” – poprawnie (rys. 64).
  - Str. 110: „gdzie hydraty widoczne są wewnątrz złamanego ziarna perlitu (rys.78b).” – poprawnie (rys. 81b).

C. Pytania do Doktorantki:

1. Czy powszechne jest stosowanie tych samych próbek na badania wytrzymałości na zginanie i ściskanie? Rozumiem, że badania wykonano według normy PN-EN 1892-2:2004, lecz mimo to, czy dokonano porównania próbek poddanych badaniom na ściskanie bez poprzedzających je badań na zginanie?
2. Fasady budynków łączą się z estetyką budowli. Czy były podjęte próby włączenia do składu kompozytu cementowego barwników lub pigmentów?
3. Jakie były kryteria wyboru środków pomocniczych np. superplastyfikatora i zagęstnika do kompozytów cementowych?
4. Czy są plany wdrożenia opracowanego lekkiego kompozytu cementowego oraz czy dokonano analizy kosztów takiego wdrożenia?

**Podsumowanie i wnioski końcowe:** Stwierdzam, że przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska Pani mgr inż. Weroniki Kujawy pt. „Opracowanie nowego, wzmocnionego kompozytu cementowego kompatybilnego z panelami fotowoltaicznymi” jest pracą o dużej wartości wdrożeniowej. Wyżej wymienione komentarze wynikają z obowiązku recenzenta a uwagi krytyczne – wyjaśnienia. Doktorantka osiągnęła założony cel badań i potwierdziła założone tezy. Otrzymane wyniki badań oraz ich analiza potwierdzają, że rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

Rozprawa doktorska mgr inż. Weroniki Kujawy pt. „Opracowanie nowego, wzmocnionego kompozytu cementowego kompatybilnego z panelami fotowoltaicznymi” spełnia warunki określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce. Wnoszę o dopuszczenie mgr inż. Weroniki Kujawy do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Ponadto, wnioskuję o wyróżnienie recenzowanej rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Weroniki Kujawy. Doktorantka wykazała się dojrzałością naukową przy doborze metod badawczych, podczas obróbki uzyskanych wyników, dokonała poprawnej analizy wyników i potrafiła uargumentować podjęte decyzje w trakcie badań. Doktorantka w swojej rozprawie doktorskiej wykorzystała najnowsze doniesienia literaturowe, a ich ilość świadczy o aktualności podjętej tematyki badawczej. Wykonała ogromną ilość prób badawczych świadczących o jej pracowitości. Wykaz działalności naukowej Doktorantki potwierdza jej zaangażowanie, a opracowanie składu chemicznego 17 produktów cementowych wskazuje na jej duże doświadczenie w branży cementowej.

