

Warszawa, 6 czerwca 2026 r.

Prof. dr hab. inż. Piotr Woyciechowski

Wydział Inżynierii Lądowej

Politechnika Warszawska

Al. Armii Ludowej 16

00-637 Warszawa

Recenzja powtórna rozprawy doktorskiej

Mgr. inż. Szymona Kalisza

„Ocena możliwości zastosowania odpadów poflotacyjnych rudy miedzi w kompozytach cementowych”

Podstawę formalną opracowania recenzji stanowi zlecenie wykonania powtórnej recenzji z dnia 24.04.2026, podpisane przez Przewodniczącego Rady Dyscypliny Nauki Chemiczne dr hab. inż. Marka Tobiszewskiego, prof. uczelni.

Rozprawa doktorska będąca przedmiotem recenzji została przygotowana w Politechnice Gdańskiej, promotorem rozprawy był dr hab. inż. Marek Lieder, prof. PG, a promotorem pomocniczym dr inż. Elżbieta Haustein z Politechniki Gdańskiej.

1. Charakterystyka ogólna pracy

Rozprawa ma charakter badawczy i w wersji poprawionej liczy 232 strony. Praca została podzielona na część literaturową (rozdziały 1-5) i część doświadczalną (rozdziały 7-12) oraz obszerny spis literatury liczący 279 pozycji.

Część literaturowa pracy obejmuje charakterystykę cementów i dodatków mineralnych oraz interesujący rozdział poświęcony odpadom poflotacyjnym, ze szczególnym uwzględnieniem odpadów z procesu przetwarzania rud miedzi.

Część doświadczalna pracy obejmuje własne badania nad przydatnością odpadu poflotacyjnego z przetwarzania rud miedzi (PFW) jako składnika kompozytów cementowych. Badania objęły charakterystykę fizyko-chemiczną odpadu, wielowariantowe badania ich aktywności w matrycy cementowej, wpływ zastąpienia części cementu odpadem PFW na przebieg wiązania, ciepło hydratacji, cechy mechaniczne kompozytu oraz trwałość w środowisku wody morskiej i w środowisku o wysokim stężeniu jonów siarczanowych.

Pracę kończą wnioski wskazujące na potencjał zastosowania PFW w kompozytach cementowych ale i ograniczenia ilościowe związane z niektórymi skutkami negatywnymi ich stosowania.

Przewodniczący Rady Dyscypliny
Nauki Chemiczne

dr hab. inż. Marek Tobiszewski, prof. dr hab. inż.
WYDZIAŁ CHEMICZNY
POLITECHNIKA GDAŃSKA

Wpłynęło do: 17-06-2026

137

2. Ocena merytoryczna poprawionej wersji rozprawy

2.1. Dobór tematu i celu rozprawy

Temat rozprawy jest aktualny i dobrze wpisujący się w zasady dekarbonizacji budownictwa oraz gospodarki obiegu zamkniętego. Szersze uzasadnienie pozytywnej oceny w tym zakresie przedstawiono w recenzji poprzedniej wersji rozprawy.

W pracy sformułowano tezę, że:

„...wprowadzenie odpadu poflotacyjnego rudy miedzi do matrycy cementowej indukuje zmiany w kinetyce hydratacji, w tym w składzie fazowym produktów reakcji, co przy zachowaniu optymalnego stopnia substytucji spoiwa pozwala na uformowanie mikrostruktury kompozytu o trwałości eksploatacyjnej.” (str. 68),

która dobrze oddaje istotę celu badań, zarówno od strony naukowej jak i od strony aplikacyjnej,

Temat rozprawy można uznać za interesujący i przydatny, a sformułowane cele – jako zawierające elementy naukowe odpowiednie na poziomie doktorskim.

2.2. Ocena wartości naukowej rozprawy

Doktorant podjął dobrze zaplanowane badania (syntetyczny schemat na str. 70), które stanowią kompleksowe rozpoznanie przydatności analizowanego odpadu PFW jako składnika (zamiennika) spoiwa w kompozytach cementowych. Badania ułożone są w logiczną sekwencję od charakterystyki PFW jako składnika po ocenę i wyjaśnienie mechanizmów fizyko-chemicznych jego działania w środowisku cementu, w tym także cementu z klasycznymi dodatkami (popiół lotny krzemionkowy, żużel wielkopiecowy).

Dogłębna charakterystyka chemiczna i fizyczna PFW, w tym także wielowariantowa ocena ich aktywności i aktywności pucolanowej, pozwoliła Doktorantowi trafnie zaplanować badania w kolejnych etapach, które złożyły się na określenie poziomu stopnia substytucji cementu odpadem PFW, a następnie optymalizację jego zawartości w kontekście założonych cech technologicznych i eksploatacyjnych.

Autor wykazał, że 2,5-10%-owe zastąpienie cementu portlandzkiego (ale także CEM II B-V i CEM III A) odpadem PFW pozwala uzyskać kompozyty o dobrych cechach użytkowych, podczas gdy wyższe dozowanie PFW prowadzi do istotnego pogorszenia właściwości kompozytu.

Autor, analizując wpływ ilościowy PFW na poszczególne badane charakterystyki podjął także szereg badań zmierzających do wyjaśnienia przyczyn obserwowanego wpływu i ustalenia mechanizmów takiego wpływu, co nadaje badaniom i analizom charakter naukowy oczekiwany w rozprawie doktorskiej. Autor stwierdził między innymi, że biorąc pod uwagę granulometrię PFW, morfologii ziaren i ich charakterystykę chemiczną można wyjaśnić ich działanie uszczelniające w matrycy cementowej i relatywnie późno ujawniające się efekty reakcji pucolanowej, wskazując na

optymalną kombinację tych zjawisk w przypadku ok. 5% udziału PFW w cemencie. Wykazano także efekt opóźniający na początek wiązania, obniżenie ciepła hydratacji i przesunięcie w czasie pików cieplnych. Obszerne badania poświęcono wpływowi PFW na rozwój wytrzymałości w czasie do 1 roku, a ponadto wpływowi tego odpadu na odporność korozyjną w środowisku wody morskiej i w środowisku siarczanowym. Badania w środowiskach korozyjnych prowadzono do 360 dni ekspozycji, wykazując, że 5% mc jest górną granicą stosowania PFW w przypadku oczekiwanej odporności korozyjnej, przy czym w przypadku wody morskiej efekt jest nawet korzystny, czego nie obserwuje się w przypadku roztworu siarczanów.

Uzyskane rezultaty są ważnym krokiem w kierunku wprowadzenia odpadów poflotacyjnych rud miedzi do przemysłu wyrobów cementowych. Korzyści z immobilizacji kłopotliwego odpadu w matrycy cementowej są tym większe, że uzyskany kompozyt wykazuje cechy użytkowe i mógłby być stosowany w budownictwie. Poszukiwania możliwości zastąpienia części cementu odpadami stanowią jeden z głównych obszarów badawczo-naukowych inżynierii materiałów budowlanych zarówno w horyzoncie polskim, jak i światowym. Praca doktorska p. Sz. Kalisza bardzo trafnie wpisuje się w te tendencje.

3. Uwagi krytyczne do pracy

Na wstępie muszę zaznaczyć, że obecna - poprawiona - wersja rozprawy jest nieporównywalnie lepsza od wersji pierwotnej. Autor przeanalizował krytyczne uwagi zawarte w poprzednich recenzjach i umiejętnie skorzystał z sugestii recenzentów, co pozwoliło wyeliminować wszystkie kluczowe niedoskonałości rozprawy. Jak w każdym opracowaniu zwartym, można się w treści doszukać pewnych potknięć językowych, niefortunnych sformułowań czy problemów edycyjnych (brak rozdziału 6?), ale nie rzutują one w obecnej formie na ogólną pozytywną ocenę rozprawy. Poniżej przedstawiam kilka uwag dyskusyjnych dotyczących części badawczej:

- nadal nie mogę się zgodzić z określaniem wody morskiej i roztworu siarczanu magnezu jako środowisk dojrzewania kompozytu. Były to środowiska ekspozycji korozyjnej, w których umieszczano 28-dniowe próbki. Nawet jeśli uważamy, że cechy końcowe kompozyty z PFW osiągają po czasie dłuższym niż 28 dni, to i tak nie uprawnia to do użycia terminu „środowisko dojrzewania” – można było co najwyżej w planie badań przewidzieć ekspozycję w środowiskach korozyjnych odpowiednio starszych próbek (np. 56 lub 90-dniowych)

- pewne zamieszanie wkradło się w konstrukcję rozdziału 8, w którym pojawiają się „rodzaje metod badawczych” i „techniki badawcze”, a dalej jest jeszcze trudniej: sekwencja tytułów 8., 8.1, 8.2, 8.3, która jest niespójna.

- na str. 134, w analizach wyników badania metodą Frattiniego jest sporo niejasności. Zaskakuje stwierdzenie „Badanie potwierdziło, że cement portlandzki CEM I nie wykazuje aktywności pucolanowej” Czy w ogóle możemy mówić o aktywności pucolanowej cementu?

- rozważania o aktywności pucolanowej są silnie powiązane z czasem i prowadzą do takich określeń jak „opóźniona aktywność pucolanowa”, „pełna aktywność pucolanowa” – są to pojęcia

niejasne i niezdefiniowane. Będę prosił o wyjaśnienie szczegółów zasad interpretacji wyników z metody Frattiniego i na tym tle skomentowanie wyników dla PFW.

- na str. 136 wspomniano o stosowaniu stałej ilości superplastyfikatora, niezależnie od zawartości PFW – jak ocenia pan wodożądność PFW? Czy prowadzona była jakaś kontrola pomiarowa konsystencji?

Oprócz uwag jak wyżej, analizując przyszłe plany badawcze – chciałbym dowiedzieć się jakie są Pana przewidywania co do zachowania kompozytu z dodatkiem PFW w warunkach cykli zamrażania/rozmarzania. Czy planuje Pan takie badania i jakich wyników mógłby się Pan spodziewać?

4. Wniosek końcowy

Oceniana rozprawa stanowi ciekawe i szeroko zakrojone studium badawcze zmierzające do oceny przydatności odpadów poflotacyjnych rud miedzi jako składnika kompozytów cementowych. Autor wykazał wiedzę zarówno z zakresu chemii jak i z zakresu inżynierii materiałów budowlanych, realizując przedsięwzięcie naukowo-badawcze wpisujące się w wyzwania gospodarki obiegu zamkniętego. Ważąc wszystkie aspekty oceny rozprawy i uzyskanych wyników uważam, że Doktorant wykazał interdyscyplinarną wiedzę teoretyczną w dyscyplinach Chemia i ILGiT, w stopniu odpowiednim opanował umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej i w efekcie przedstawił oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, wypełniając wymagania Ustawy 2.0 stawiane rozprawom doktorskim. Wnoszę o dopuszczenie rozprawy do dalszego procedowania w zakresie wniosku o nadanie stopnia doktora nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie Nauki Chemiczne.

