Prof. r hab. inż. Łukasz Drobiec, prof. P.Śl.
Katedra Konstrukcji Budowlanych
Zespół Konstrukcji betonowych i murowych
Wydział Budownictwa
Politechnika Śląska
Ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice

Gliwice, 31.08.2026 r.

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Filipa Szmatuły

pt. „Wpływ wybranych materiałów z recyklingu odpadów na właściwości kompozytów cementowych”

1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawą opracowania recenzji jest uchwała nr 304 Senatu Uniwersytetu Zielonogórskiego z dnia 24.06.2026 r.

2. Charakterystyka rozprawy

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr inż. Filipa Szmatuły pt. „Wpływ wybranych materiałów z recyklingu odpadów na właściwości kompozytów cementowych”. Praca ma charakter teoretyczno-badawczy i składa się z cyklu 8 publikacji, poszerzonych niepublikowanymi wynikami badań. Opis rozprawy, poza publikacjami z cyklu, składa się ze

streszczeń w języku polskim i angielskim, 8 rozdziałów, spisu literatury oraz wykazu tabel i rysunków, a ponadto zawiera oświadczenia współautorów publikacji. Bibliografia obejmuje 24 pozycje piśmiennictwa, przy czym cytowana literatura w publikacjach z cyklu jest znacznie obszerniejsza – łącznie cytowanych jest 212 pozycji w tym dwie współautorskie Doktoranta. Tekst rozprawy, wraz z kopiami publikacji z cyklu, liczy 149 stron i zawiera 42 rysunki i 16 tabel.

Rozdział 1 rozprawy zawiera podstawy opracowania rozprawy doktorskiej, czyli wykaz 8 publikacji oraz wkład Doktoranta w ich opracowanie. Na cykl publikacji składają się cztery artykuły w miesięczniku Materiały Budowlane (20, 2x100 i 140 pkt na liście MNiSW) oraz po jednym w miesięczniku Cement Wapno Beton (40 pkt), Applied Sciences (100 pkt), Materials (140 pkt) i Polymers (100 pkt). Udział autora rozprawy w przygotowaniu cyklu publikacji zmienia się w granicach od 40% do 100%, natomiast średni udział autora to 59%.

Rozdział 2 (Wprowadzenie) zawiera przegląd literatury, który podzielono na tematykę związaną z cementem, kruszywem i zbrojeniem rozproszonym. Opisano ilość produkowanych odpadów, emisję CO_2, konieczność dekarbonizacji przemysłu cementowego oraz potrzebę recyklingu materiałów odpadowych. W rozdziale 2 zamieszczono dwie tezy pracy doktorskiej:

- Zastosowanie materiałów pochodzących z recyklingu odpadów jako częściowego zamiennika składników kompozytów cementowych pozwala na uzyskanie materiałów o właściwościach mechanicznych i trwałościowych porównywalnych z kompozytami cementowymi o tradycyjnym składzie.
- Surowce pochodzące z recyklingu odpadów mogą pełnić funkcję pełnowartościowych składników kompozytów cementowych.

W rozdziałach 4, 5 i 6 przedstawiono wyniki badań własnych skupionych na trzech zagadnieniach: zastosowanie odpadów jako dodatków do cementu, zastosowanie odpadów do modyfikacji składu ziarnowego kruszyw do zapraw i betonów oraz zastosowanie odpadów jako zbrojenia rozproszonego w betonach. W pierwszym przypadku (rozdział 4) cement lub popiół lotny zastępowano dodatkiem mielonego szkła z recyklingu lub dodatkiem mielonego żużla pomiedziowego. Analizowano wpływ zamiennika cementu lub popiołu lotnego na konsystencję i zawartość powietrza mieszanki, gęstość, nasiąkliwość, wytrzymałość na

ściskanie i zginanie, mrozoodporność oraz mikrostrukturę porów. Badania prowadzono zgodnie z wytycznymi norm związanych z Eurokodami.

Jako kruszywo z recyklingu (rozdział 5) stosowano rozdrobnione włókna szklane, pył z gumy SBR, drobne kruszywo z żużla pomiedziowego, stłuczkę szklaną oraz grube kruszywo z żużla pomiedziowego. Badano właściwości zapraw i betonów z dodatkiem tych kruszyw w różnej ilości. Analizowano wpływ kruszywa z recyklingu na konsystencję i zawartość powietrza mieszanki, gęstość, nasiąkliwość, wytrzymałość na ściskanie i zginanie, wskaźnik kruchości, reaktywność alkaliczną, mrozoodporność, współczynnik przewodzenia ciepła oraz głębokość penetracji wody pod ciśnieniem. Podobnie jak w rozdziale 4 badania prowadzono zgodnie z wytycznymi norm związanych z Eurokodami.

W rozdziale 6 opisano badania właściwości betonów z dodatkiem zbrojenia rozproszonego w postaci włókien węglowych z recyklingu łopat turbin wiatrowych oraz badania właściwości betonów z dodatkiem zbrojenia rozproszonego w postaci ścieru gumowego z recyklingu. Analizowano wpływ zbrojenia rozproszonego na konsystencję i zawartość powietrza mieszanki, gęstość, nasiąkliwość, wytrzymałość na ściskanie i rozciąganie przy rozłupywaniu, wskaźnik kruchości, energię zniszczenia, mrozoodporność, współczynnik przewodzenia ciepła oraz głębokość penetracji wody pod ciśnieniem. I w tym przypadku badania prowadzono zgodnie z wytycznymi norm związanych z Eurokodami.

Nie wszystkie z powyższych badań zostały opisane w cyklu publikacji. Badania właściwości cementów z dodatkiem mielonego żużla pomiedziowego, badania właściwości zapraw z dodatkiem drobnego kruszywa z żużla pomiedziowego, badania właściwości zapraw z dodatkiem stłuczki szklanej z recyklingu, badania właściwości betonów z dodatkiem stłuczki szklanej oraz badania właściwości betonów z dodatkiem zbrojenia rozproszonego w postaci ścieru gumowego z recyklingu nie zostały jeszcze opublikowane, ale stanowią bardzo istotne i ważne uzupełnienie rozprawy doktorskiej.

Rozdział 7 zawiera wnioski z przeprowadzonych badań. W tablicach 14÷16 zamieszczono szczegółowe porównania wpływu odpadów z recyklingu na właściwości betonów i zapraw. Uzyskane wyniki potwierdziły słuszność przyjętej tezy badawczej – właściwości kompozytów cementowych można efektywnie modyfikować odpadami, co może przyczyniać się do

poprawy właściwości materiałów lub nieznacznie je pogarszać, zmniejszenia śladu węglowego i ograniczenia eksploatacji zasobów naturalnych.

W rozdziale 8 zamieszczono kierunki dalszych badań. Zaproponowano między innymi szczegółową analizę mikrostruktury kompozytów oraz mechanizmów oddziaływania między matrycą cementową, a dodatkami pochodzącymi z odpadów, prace nad określaniem składu mieszanek z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych SSN, skalowanie opracowanych rozwiązań z poziomu laboratoryjnego do przemysłowego (wdrożeniowego). W podsumowaniu Doktorant pisze, że konieczna jest realizacja interdyscyplinarnego programu badawczego, który obejmie zagadnienia materiałowe, technologiczne oraz środowiskowe, co umożliwi pełniejsze wykorzystanie potencjału materiałów odpadowych w nowoczesnym budownictwie. Recenzent serdecznie życzy Doktorantowi pozyskania takiego grantu.

3. Ocena merytoryczna rozprawy

W dobie zrównoważonego wykorzystywania zasobów naturalnych ograniczenie śladu węglowego betonów i zapraw jest priorytetem. Mimo iż wiele prac badawczych podejmuje ten temat, to wciąż potrzebne są nowe, szczególnie jeśli wykorzystują one materiały z recyklingu powszechnie dostępne lub dostępne tylko lokalnie. Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że podjęty przez Doktoranta temat rozprawy jest oryginalny i aktualny, a zdefiniowany główny cel i zakres pracy są jasne, zasadne i ważne tak z naukowego jak i z praktycznego punktu widzenia.

3.1. Cele naukowe pracy

Cele naukowe pracy przyjęto poprawnie i wynikają one z przeprowadzonego przeglądu stanu wiedzy. Na bazie celów i zamierzeń pracy sformułowano program badawczy rozprawy. Program ten sformułowano poprawnie, a uzyskane wyniki mają znaczenie poznawcze oraz praktyczne i świadczą o oryginalności podjętego tematu.

3.2. Ocena naukowej wartości rozprawy

Za najważniejsze oryginalne osiągnięcia naukowe Autora uznaję:

- Przeprowadzanie obszernego trójtorowego programu badawczego, obejmującego wpływ zastosowania odpadów jako dodatków do cementu, zastosowania odpadów do modyfikacji składu ziarnowego kruszyw do zapraw i betonów oraz zastosowania odpadów jako zbrojenia rozproszonego w betonach. Na potrzeby pracy przebadano około 2400 próbek.
- Przeprowadzanie obszernej analizy wyników badań i przyjęcie odpowiednich wniosków.
- Wykazanie, że właściwości kompozytów cementowych mogą być skutecznie modyfikowane przez zastosowanie odpadów zarówno w roli dodatków zastępujących cement, jak i substytutów kruszywa czy zbrojenia rozproszonego.

4. Uwagi krytyczne

Jak każda praca, taki i recenzowana rozprawa nie jest wolna od drobnych błędów, niedopowiedzeń czy niedociągnięć. Uwagi do pracy recenzent podzielił na ogólne oraz na uwagi szczegółowe.

4.1.Uwagi ogólne

Uwaga dotycząca doboru materiałów odpadowych

Do badań laboratoryjnych przyjęto całkowicie różne materiały odpadowe. Doktorant nie wyjaśnił co było powodem przyjęcia takich, a nie innych materiałów. Proszę o krótki komentarz w tej sprawie.

Uwaga dotycząca różnych badań w ramach analiz cementów, zapraw i betonów

W ramach pracy wykonano bardzo wiele laboratoryjnych badań właściwości mieszanek, zapraw i betonów. Nie zawsze jednak stasowano ten sam komplet badań. Przykładowo podczas badania zamienników cementu analizę mikrostruktury porów wykonywano tylko dla cementów z dodatkiem mielonego szkła z recyklingu. Nie dla wszystkich zamienników badano wytrzymałość na zginanie. W przypadku badań wpływu kruszyw z recyklingu nie zawsze badano reaktywność alkaliczną i współczynnik przewodzenia ciepła. W badaniach betonów ze zbrojeniem rozproszonym z recyklingu nie zawsze badano głębokość penetracji wody pod ciśnieniem. Z czego wynikały te różnice w programach badań?

Uwaga dotycząca badań zapraw

Na jakich podróbkach badano zaprawy z dodatkiem kruszywa z recyklingu i zgodnie z jaką normą prowadzono te badania? Recenzent nie znalazł tych informacji w Rozprawie ani w artykułach P1 i P6.

Uwaga dotycząca stosowania skrótów

W tekście rozprawy stosuje się wiele skrótów. Bardzo często nie są one wytłumaczone. Na przykład nie został wyjawiony skrót SBR. Mimo, że jest najpopularniejszy na świecie rodzaj syntetycznego kauczuku (styrenowo-butadienowego) to trzeba było ten skrót wyjaśnić. Nie wyjaśniono ponadto że granulat SBR pozyskiwano zapewne w procesie recyklingu zużytych opon samochodowych.

4.2. Uwagi szczegółowe

Uwagi szczegółowe dotyczą głównie znalezionych przez Recenzenta w tekście literówek oraz drobnych błędów i niedopowiedzeń. Recenzent nie ma uwag do wyglądu i układu pracy, który ocenia bardzo wysoko.

Poniżej podano miejsca znalezionych błędów drukarskich:

Str. 3, 7 wiersz od gry. Doktorant pisze: *„Celem badań była kompleksowa ocena możliwości wykorzystania wybranych materiałów pochodzących z recyklingu odpadów w produkcji cementów, zapraw i betonów cementowych”*. W pracy nie analizowano wpływu odpadów na proces produkcji cementu, tylko zastąpienie cementu materiałem odpadowym.

Str. 3, 14 wiersz od dołu. Jest: *„odporność na spękania”*, lepiej byłoby: *„rysoodporność”.*

Str. 3, 5 wiersz od dołu. Słowo „*Dodatkowo*” jest niepotrzebne.

Str. 9, 3 wiersz od dołu. Jest: *„tradycyjnych”*, powinno być: *„tradycyjnymi”*.

Str. 14, 7 wiersz od dołu. Doktorant pisze: *„Są bardziej efektywne od makrowłókien, ponieważ przy tej samej objętości ich liczba jest większa*”. Ani liczba, ani objętość nie decydują o efektywności włókien. Poza tym mikro i makrowókna działają w różny sposób i nie należy ich porównywać.

Str. 15, rys. 3. Nie objaśniono skrótów zastosowanych na rysunku.

Str. 19, 2 wiersz od dołu. Doktorant pisze: *„Można wyciągnąć wnioski, iż betony zawierające popiół lotny, są szczelniejsze niż odpowiadające im betony zawierające mączkę szklaną pochodzącą z recyklingu szkła*”. To jest jeden wniosek, a nie wiele wniosków.

Str. 25, 7 wiersz od góry. Jest „*Wytrzymałości*”, powinno być „*Wytrzymałość*”.

Str. 27, 12 wiersz od dołu. Jest „*Wytrzymałości*”, powinno być „*Wytrzymałość*”.

Str. 28, 7 wiersz od dołu. Jest „*Wskaźnika*”, powinno być „*Wskaźnik*”.

Str. 30, 15 wiersz od dołu. Jest „*Wytrzymałości*”, powinno być „*Wytrzymałość*”.

Str. 30, 11 wiersz od dołu. Brak spacji pomiędzy 0,72 i MPa.

Str. 31, 1 wiersz od góry. Jest „*Wytrzymałości*”, powinno być „*Wytrzymałość*”.

Str. 33, 8 wiersz od dołu. Jest „*Wytrzymałości*”, powinno być „*Wytrzymałość*”.

Str. 34, 4 wiersz od góry. Jest „*Wytrzymałości*”, powinno być „*Wytrzymałość*”.

Str. 37, 19 wiersz od dołu. Brak spacji pomiędzy 110 i mm.

Str. 40, 3 wiersz od dołu. Doktorant pisze: „*Wytrzymałości na ściskanie betonu po 56 dniach dojrzewania nie przyniosły poprawy wytrzymałości na ściskanie*”. Zdanie nielogiczne.

Str. 41, 4 wiersz od góry. Jest „*Wytrzymałości*”, powinno być „*Wytrzymałość*”.

Str. 41, 5 wiersz od góry. Jest „*zaprezentowana*”, powinno być „*zaprezentowano*”.

Str. 41, 5 wiersz od dołu. Jest „wykazał”, powinno być „*wykazała*”.

Str. 45, 15 wiersz od góry. Doktorant pisze: „*Spadek wytrzymałości był liniowy wraz ze zwiększaniem ilości szkła*”. Zbyt duży skrót myślowy. Lepiej byłoby: „*Wraz ze zwiększaniem ilości szkła obserwowano spadek wytrzymałości próbek, który miał charakter liniowy”*.

Str. 48, 9 wiersz od góry. Jest „typowa”, powinno być „*typowe*”.

Str. 48, 13 wiersz od góry. Brak spacji pomiędzy 35 i mm.

Str. 48, 14 wiersz od góry. Brak spacji pomiędzy 25 i mm.

Str. 48, 18 wiersz od góry. Jest „*Wytrzymałości*”, powinno być „*Wytrzymałość*”.

Str. 49, 1 wiersz od góry. Jest „*Wytrzymałości*”, powinno być „*Wytrzymałość*”.

Str. 49, 2 wiersz od góry. Brak spacji pomiędzy prostopadle i (⊥).

Str. 49, 5 wiersz od góry. Jest „*m3*”, powinno być „m^3”.

Str. 49, 7 wiersz od góry. Brak spacji pomiędzy 25 i mm.

Str. 50, 1 wiersz od góry. Jest „*Wskaźnikiem*”, powinno być „*Wskaźnik*”.

Str. 52, 13 wiersz od góry. Jest „*m3*”, powinno być „m^3”.

Str. 52, 18 wiersz od góry. Jest „*Wytrzymałości*”, powinno być „*Wytrzymałość*”.

Str. 53, 15 wiersz od góry. Jest „*m3*”, powinno być „m^3”.

Str. 53, 16 wiersz od góry. Jest „*próbek*”, powinno być „*próbka*”.

Str. 56, 19 wiersz od góry. Jest „*Zbrojenie*”, powinno być „*zbrojenie*”.

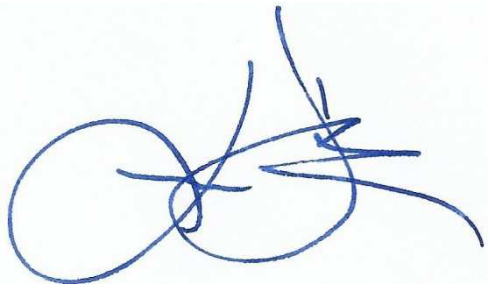
5. Wnioski końcowe

W recenzowanej pracy doktorskiej mgr inż. Filip Szmatuła rozwiązał oryginalne zadanie naukowe, polegające na określeniu wpływu wybranych materiałów z recyklingu odpadów na właściwości kompozytów cementowych. Stwierdzam, że główny cel rozprawy doktorskiej został osiągnięty. Doktorant wykazał się dobrą znajomością aktualnego stanu wiedzy w zakresie objętym tematem, umiejętnościami planowania i prowadzenia badań laboratoryjnych oraz rozwiązywania problemów teoretycznych. Do rozwiązania postawionego problemu zastosował poprawne metody badawcze. Uzyskał oryginalne wyniki oraz wykazał, że potrafi analizować i krytycznie oceniać uzyskane rezultaty oraz formułować poprawne wnioski poznawcze. Widzi również kierunki dalszych badań. Świadczy to o Jego odpowiednim przygotowaniu i predyspozycjach do samodzielnego prowadzenia prac naukowo-badawczych.

Uwagi krytyczne wymienione w punkcie 4 nie obniżają dobrego, moim zdaniem, poziomu merytorycznego i ogólnej wysokiej oceny dysertacji. Uwagi mają charakter porządkowy lub dyskusyjny i mam nadzieję, że przynajmniej w części będą pomocne Autorowi podczas przygotowywania artykułów do czasopism naukowych. Gorąco namawiam Doktoranta do opublikowania nieopublikowanych jeszcze badań zawartych w Rozprawie.

Oceniam, że rozprawa stanowi rozwiązanie oryginalnego zagadnienia naukowego oraz potwierdzam, że Doktorant posiada ogólną wiedzę teoretyczną i umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Rozprawa jest opracowana na dobrym poziomie naukowym oraz wnosi wkład w rozwój wiedzy w dyscyplinie Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska autorstwa mgr inż. Filipa Szmatuły pt. „Wpływ wybranych materiałów z recyklingu odpadów na właściwości kompozytów cementowych" spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim określone w Ustawie z dnia 14.03.2003 roku "O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki" (Dz. U. z 2003 r., Nr 65, poz. 595, z późniejszymi zmianami) oraz w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce" (Dz. U. z 2018 r. poz. 1668). W związku z tym stawiam wniosek o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie jej do publicznej obrony.



Prof. dr hab. inż. Łukasz Drobiec