

Prof. dr hab. inż. Maria Kaszyńska
Katedra Konstrukcji Żelbetowych i Technologii Betonu
Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny
Al. Piastów 50a, 70-311 Szczecin
e-mail: Maria.Kaszynska@zut.edu.pl

Szczecin, 30.03.2024

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

PANI MGR INŻ. AGNIESZKI MICHALIK

**pt. „Efektywność zbrojenia betonu oczyszczonymi włóknami
z recyklingu opon”**

1. Podstawa formalna i przedmiot recenzji

Podstawę formalną opracowania recenzji stanowi uchwała nr 4/9/2023 Rady Naukowej Instytutu Techniki Budowlanej z dnia 14 grudnia 2023 powołująca mnie na recenzenta rozprawy doktorskiej. Niniejszą recenzję opracowałam na prośbę Sekretarza Rady Naukowej ITB Pani dr hab. inż. Jadwigi Fangrat, prof. ITB wyrażoną w skierowanym do mnie piśmie z dnia 28 grudnia 2023 roku.

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska pani mgr inż. Agnieszki Michalik pt. „Efektywność zbrojenia betonu oczyszczonymi włóknami z recyklingu opon”, przygotowana pod kierunkiem promotora dr hab. inż. Wademara Pichóra, prof. AGH oraz promotora pomocniczego dr inż. Filipa Chylińskiego.

2. Tematyka rozprawy

Tematyka rozprawy dotyczy bardzo istotnego aktualnie problemu zagospodarowania odpadów przemysłowych zgodnie z tendencją zrównoważonego budownictwa. Doktorantka na podstawie wyników badań laboratoryjnych podjęła próbę oceny możliwości wykorzystania w kompozytach budowlanych oczyszczonych włókien stalowych z recyklingu opon samochodowych jako zbrojenia rozproszonego. Zużyte opony poddaje się najczęściej recyklingowi energetycznemu, polegającemu na spalaniu opon w specjalnych piecach, głównie w cementowniach, lub recyklingowi materiałowemu w wyniku którego uzyskuje się

granulat i miążg gumowy stosowany między innymi w budownictwie drogowym. Odzyskane w wyniku recyklingu opon włókna stalowe stanowią najczęściej złom przetwarzany w hutach. Wykorzystanie włókien jako zbrojenia rozproszonego w betonie jest rozwiązaniem bardziej ekonomicznym i ekologicznym. Wybrana tematyka rozprawy jest więc bardzo aktualna i wpisuje się w całej rozciągłości w strategię zrównoważonego rozwoju. Podjęty temat uważam za zgodny z kierunkami rozwoju współczesnej technologii materiałów budowlanych i oceniam to pozytywnie.

3. Układ redakcyjny pracy

Rozprawa doktorska mgr inż. Agnieszki Michalik ma typowy układ pracy studialno-badawczej. Praca podzielona jest na trzy części: Wstęp, Część teoretyczną i Część doświadczalną. Zasadnicza część pracy ujęta jest w 13. rozdziałach, poprzedzonych spisem treści, streszczeniem w języku polskim i angielskim, oraz wykazem ważniejszych symboli i skrótów użytych w pracy. Ponumerowane rozdziały 14-16 stanowią bibliografię, spis rysunków i spis tabel. Każda część zawiera ponumerowane rozdziały, a numeracja jest ciągła od pierwszego do ostatniego rozdziału, niezależnie w której części pracy rozdział jest przedstawiany. Przyjęcie takiego układu jest trochę skomplikowane, bo rozdziały 14-16 włączone zostały niepotrzebnie do części doświadczalnej, a stanowią odrębną część pracy. Dodatkowo numeracja rozdziałów jest pomyślona, rozdział 11 i 12 w rzeczywistości stanowi jeden rozdział.

Całość zawiera 172 strony formatu A4

Część I - Wstęp (strony 10-14) obejmuje 3 podrozdziały: wprowadzenie do tematu, przedstawienie celu i zakresu pracy oraz tezy rozprawy.

Część II - Teoretyczna (strony 14-70) stanowi część studialną rozprawy obejmującą 5 rozdziałów. Doktorantka krótko wprowadza w zagadnienia polityki zrównoważonego rozwoju, przedstawia zagadnienia dotyczące budowy i produkcji opon samochodowych oraz omawia metody recyklingu opon. Następnie analizuje wyniki wybranych prac innych badaczy stosujących włókna z recyklingu opon do betonów oraz krótko wprowadza elementy mechaniki pęknięcia materiałów ceramicznych. Ostatni rozdział części teoretycznej dotyczy technologii fibrobetonów. Doktorantka omawia rodzaje włókien stosowanych do betonu, właściwości fibrobetonów oraz metodykę ich badań.

Część III – Doświadczalna zgodnie z spisem treści obejmuje rozdziały 7 -16. W rozdziale 7 Doktorantka zestawia użytą w badaniach aparaturę badawczą, a w rozdziale 8 materiały użyte do badań: włókna, beton posadzkowy i beton wzorcowy. Część badawczą Doktorantka dzieli na trzy części: badania wstępne, badania główne i badania aplikacyjne, które omawia w rozdziałach 9, 10 i 11. Celem badań wstępnych był wybór włókien z recyklingu opon do badań głównych.

W rozdziale 9 Doktorantka omawia badania 5 rodzajów włókien z recyklingu opon (RTSF A1, A2, B, C, D) i jeden rodzaj komercyjnych włókien stalowych (MSF-1). Wykonała badania identyfikacyjne włókien, określiła ich zanieczyszczenie, skład chemiczny, przeprowadziła analizę mikroskopową składu pierwiastkowego, określiła gęstość, trwałość w środowisku alkalicznym oraz ich cechy wytrzymałościowe. Następnie przeprowadziła badania konsystencji mieszanki betonowej i gęstości betonu posadzkowego z tymi włóknami przyjmując ich dozowanie w ilości 20kg/m³ oraz określiła wytrzymałość na zginanie i ściskanie tych betonów. Do badań głównych wybrała jedno włókno z recyklingu opon RTSF A1 oraz włókno komercyjne MSF.

W rozdziale 10 dotyczącym badań głównych Doktorantka omawia badania, których celem była ocena efektywności zbrojenia betonu włóknami. Badania prowadziła na betonie wzorcowym zaprojektowanym wg normy PN-EN 14845-1:2008, przyjmując 4 ilości dozowania włókien: 10%, 20%, 30% i 40%. Przeprowadziła badania wytrzymałości resztkowej na rozciąganie przy zginaniu w próbie trójpunktowego zginania, określiła pracę zniszczenia i wskaźniki odporności na pękanie, badała przyczepność włókien do matrycy cementowej i analizowała rozmieszczenie włókien w betonie metodą tomografii rentgenowskiej. Dodatkowo porównała wyniki niektórych badań betonów z włóknami z recyklingu opon z betonami z innymi rodzajami włókien komercyjnych o mniejszej średnicy niż podstawowe włókna komercyjne MSF-1.

W rozdziale 11/12 dotyczącym badań aplikacyjnych Doktorantka przedstawiła wyniki badań właściwości mieszanek i betonów posadzkowych z dodatkiem włókien z recyklingu opon samochodowych i komercyjnych włókien stalowych MSF-1, których celem było porównanie właściwości użytkowych obu rodzajów betonu i wykazanie efektywności zastosowania włókien z recyklingu opon. Oceniała również możliwość wprowadzenia do betonu włókien z recyklingu opon na podstawie zgodności z normą PN-EN 14889-1. Podsumowaniem badań są badania w skali rzeczywistej przeprowadzone w wytwórni betonu towarowego,

gdzie oceniono wizualnie jakość mieszanki w przypadku przemysłowego dozowania włókien w ilości 25kg/m³ do betonu posadzkowego

Rozdział 13 zatytułowany podsumowanie i wnioski w rzeczywistości stanowi streszczenie pracy i podsumowanie badań niż przedstawienie konkretnych wniosków wynikających z badań własnych Doktorantki. Zawiera też krótkie przedstawienie kierunków dalszych działań.

Rozprawę kończy rozdział bibliografii zawierający 225 pozycji wraz z normami oraz spis rysunków i tabel.

4. Ocena merytoryczna rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska ma charakter studialno-badawczy. Po wprowadzeniu w problematykę rozprawy, sformułowaniu celu i tezy rozprawy oraz ogólnym rozpoznaniu literaturowym tematu, Autorka zrealizowała obszerny i wielokierunkowy program badawczy, pozwalający na rozwiązanie istotnego problemu naukowego. Podjęta przez Doktorantkę tematyka rozprawy, jak wspomniano wcześniej, jest niezwykle aktualna i wpisuje się ogólnie mówiąc w strategię zrównoważonego rozwoju, a w szczególności w trendy i programy dotyczące zagospodarowania odpadów przemysłowych

Celem rozprawy wskazywanym przez Doktorantkę była ocena efektywności zbrojenia betonu oczyszczonymi włóknami z recyklingu opon samochodowych. Porównywano wpływ zbrojenia włóknami z recyklingu opon i stalowych włókien produkowanych przemysłowo na właściwości betonów.

Założony cel udało się Autorce w pełni zrealizować przeprowadzając bardzo obszerne badania laboratoryjne i analizy. Sformułowana przez Doktorantkę teza *„Oczyszczone włókna stalowe z recyklingu opon samochodowych mogą pełnić rolę efektywnego zbrojenia rozproszonego do betonu, a niektóre właściwości betonów z ich dodatkiem są równoważne a nawet lepsze niż właściwości betonów z dodatkiem komercyjnych włókien stalowych”* została udowodniona. Co prawda Recenzentka po przeanalizowaniu całej rozprawy ma wątpliwości do sformułowań zawartych w tezie oraz do prezentowanego w pracy pojęcia efektywności zbrojenia i sposobu jego oceny, tym nie mniej idea zaprezentowana w sformułowaniu tezy została udowodniona.

Przyjęta w rozprawie koncepcja badań jest przemyślana i dopasowana do założonego celu i założonej tezy. Zaplanowany program badań jest ułożony logicznie, Doktorantka wyodrębniła w nim 3 etapy badań: badania wstępne, główne i aplikacyjne.

Celem badań wstępnych był wybór rodzaju włókien z recyklingu opon na podstawie założonych przez Doktorantkę kryteriów do badań głównych.

Badania główne miały wykazać, że betony z włóknami z recyklingu opon uzyskują właściwości porównywalne albo nawet lepsze niż betony z włóknami komercyjnymi. Uzyskane wyniki badań pozwoliły Doktorantce na szerokie analizy i potwierdzenie założonej tezy, co oceniam bardzo pozytywnie.

Szczególne miejsce w rozprawie znajdują badania i analizy dotyczące wytrzymałości resztkowej na rozciąganie przy zginaniu i określenia pracy zniszczenia i wskaźników odporności na pękanie, co uważam, za osiągnięcie Doktorantki. Zaproponowane podejście dotyczące oceny odporności na kruche pękanie betonów z włóknami na podstawie analizy pracy zniszczenia jest interesujące.

Podsumowaniem badań głównych był wybór optymalnej ilości włókien z recyklingu opon korzystnie wpływających na właściwości betonu i przyjęcie wytycznych do badań aplikacyjnych. Autorka oceniła przydatność włókien z recyklingu opon samochodowych w porównaniu z stalowymi włóknami komercyjnymi stosowanymi do betonów posadzkowych.

Do głównych osiągnięć naukowych uzyskanych przez Doktorantkę w wyniku realizacji rozprawy doktorskiej zaliczam:

- ✓ Poszerzenie wiedzy na temat możliwości wykorzystania włókien z recyklingu opon samochodowych do betonów, z szczególnym ukierunkowaniem na betony posadzkowe.
- ✓ Zastosowanie nowego podejścia na podstawie analizy pracy zniszczenia do oceny odporności na kruche pękanie betonów z włóknami .
- ✓ Zastosowanie w badaniach nowoczesnych metod diagnostycznych i przeprowadzenie analiz uzyskanych wyników badań własnych.
- ✓ Przeprowadzenie na podstawie analizy mikroskopowej oceny przyczepności drutów z recyklingu opon i komercyjnych do zaprawy.
- ✓ Sformułowanie na podstawie analizy wyników badań zaleceń dla praktyki dotyczących użycia optymalnej ilości włókien z recyklingu opon do betonu
- ✓ Otrzymana na podstawie badań baza danych pozwala na ustalenie interesujących kierunków dalszych badań i analiz i praktycznego wykorzystania możliwości zastąpienia włókien komercyjnych włóknami z recyklingu, co może przynieść znaczne korzyści ekonomiczne i ekologiczne.

5. Uwagi dyskusyjne

Mimo pozytywnej oceny merytorycznej wartości rozprawy doktorskiej z obowiązku recenzentki poruszę też sprawy, które moim zdaniem są dyskusyjne lub krytyczne:

- ✓ Układ pracy, numeracja rozdziałów, spis treści, co wspomniano wcześniej, a dodatkowo brak bardzo ważnego rozdziału dotyczącego zakresu badań bardzo utrudnia zapoznanie się z przyjętą przez Doktorantkę koncepcją programu badań. Jedyną informacją dotyczącą zakresu badań przedstawioną w pracy jest schemat programu badawczego przedstawiony na rys. 1 w rozdziale dotyczącym celu i zakresu pracy.
- ✓ Doktorantka mocno podkreśla korzyści ekonomiczne zastosowania włókien z recyklingu, ale nigdzie nie znalazłam porównania kosztów użytych w badaniach własnych Doktorantki włókien z recyklingu opon i włókien komercyjnych.
- ✓ W rozprawie przedstawiono syntetyczne wyniki wielu badań, jednakże brak jest podstawowych danych, które umożliwiają analizę, między innymi liczebność próbek, kształt próbek, odchylenie standardowe, np. badania wytrzymałości rys. 45.
- ✓ Proszę o wyjaśnienie czym kierowano się, że badania wstępne przeprowadzono stosując włókna do betonu posadzkowego, badania główne stosując włókna do betonu wzorcowego i znów badania aplikacyjne stosując włókna do betonu posadzkowego?
- ✓ Porównanie składu pierwiastkowego włókien z recyklingu i włókien komercyjnych przedstawiono na rysunkach 35-44. Rysunki są nieczytelne, a poza jednym zdaniem podsumowującym nie ma żadnego opisu do rysunków i żadnej analizy.
- ✓ Interpretacja wyników badań przedstawionych na rysunkach 47-50 dotyczących wytrzymałości resztkowej budzi duże wątpliwości. Podobnie wartości pracy zniszczenia tabl. 19.
- ✓ Interesująca jest metoda analizy wskaźników odporności na pękanie, tabele 20-23 i rys. 55-58, ale ich interpretacja i wnioskowanie przy tak minimalnych różnicach między wartościami w przypadku włókien z recyklingu a włókien komercyjnych mieści się w zakresie błędu pomiarowego, szczególnie w przypadku betonów z dodatkiem 30kg/m³ włókien i 40 kg/m³ włókien.

6. Uwagi redakcyjne

Praca napisana jest starannie, ładnym językiem, zrozumiale. W tym punkcie pragnę tylko zasygnalizować kilka nieścisłości zauważonych w tekście lub uwag edytorskich, aby Autorka ustrzegła się ich przy przygotowywaniu materiału do publikacji. Większość uwag stylistycznych zaznaczyłam w tekście pracy.

Bardzo często w pracy występuje sformułowanie ...na wytwórni betonu... co jest raczej slangiem. Poprawnie jest w wytwórni betonu.

Badania dla betonów – chyba lepiej badania betonów

Str. 24. Produkcję opon rozpoczyna jest proces projektowy.

Str. 37. Biorąc pod właściwości geometryczne, włókna hybrydowe jakimi są te z recyklingu opon.....

Str. 41. Schemat koncentracji naprężeń u wierzchołku....

7. Podsumowanie i wniosek końcowy

Podsumowując niniejszą recenzję uważam, że rozprawa doktorska Pani mgr inż. Agnieszki Michalik jest pracą wartościową i stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Realizacja tak obszernego programu badań przez Doktoranta potwierdza, że jest Ona doświadczonym badaczem i ma dużą wiedzę dotyczącą technologii materiałów budowlanych.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska Pani mgr inż. Agnieszki Michalik w przedmiotowym temacie wnosi istotny wkład w rozwój wiedzy w dyscyplinie *Inżynieria lądowa, geodezja i transport*. Tematyka rozprawy jest bardzo aktualna a wykorzystanie wyników przeprowadzonych badań i analiz w praktyce, może przynieść korzyści ekonomiczne i ekologiczne.

Uwagi zawarte w recenzji nie obniżają wysokiej oceny merytorycznej rozprawy, mogą natomiast być pomocne Autorce przy przygotowywaniu fragmentów swej dysertacji do publikacji i do planowania dalszych badań.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Agnieszki Michalik pt. *„Efektywność zbrojenia betonu oczyszczonymi włóknami z recyklingu opon”* spełnia ustawowe wymagania stawiane rozprawom doktorskim określone w Ustawie z dnia 3 lipca 2018 roku, przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i

nauce (Dz. U. poz. 1669), art.14 ust.1, pkt.1, ust.2 pkt.2 ustawy z dnia 14.03.2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. Nr. 65, poz. 595 z późn. zm.), rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzenia czynności w przewodzie doktorskim...(Dz.U. poz.261) i **w związku z tym wnioskuję o dopuszczenie jej do publicznej obrony przed Radą Naukową Instytutu Techniki Budowlanej w Warszawie.**

A handwritten signature in blue ink, reading "Maria Kowalska". The signature is written in a cursive style with a large, sweeping flourish at the end of the last name.