

Koszalin, 15.03.2019r.

dr hab. inż. Wiesława GŁODKOWSKA, prof. PK
Wydział Inżynierii Lądowej, Środowiska i Geodezji
Katedra Konstrukcji Betonowych i Technologii Betonu
Politechnika Koszalińska

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Magdaleny Pawelskiej-Mazur

„Analiza właściwości betonu z włóknami stalowymi z recyklingu opon samochodowych”

dla: Rady Wydziału Budownictwa i Architektury
Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie

promotor: dr hab. inż. Maria Kaszyńska, prof. ZUT

Spis treści

1. Podstawa formalna recenzji
2. Celowość podjęcia tematu
3. Prawdliwość tytułu, postawionych celów naukowych i tezy rozprawy
4. Ogólna charakterystyka pracy
5. Uwagi krytyczne i dyskusyjne
6. Podsumowanie

Koszalin, marzec 2019 rok

1. Podstawa formalna recenzji

Recenzję opracowano na zlecenie Pani Dziekan Wydziału Budownictwa i Architektury Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie dr hab. inż. Marii Kaszyńskiej, prof. nadzw. ZUT – stosownie do uchwały Rady Wydziału z dnia 16 stycznia 2019 roku.

2. Celowość podjęcia tematu

Betony to współcześnie najpowszechniej stosowane materiały budowlane. Obecnie obserwuje się dynamiczny rozwój budownictwa betonowego na całym świecie. Z powodu takich zalet betonów, jak: dostępność i stosunkowo niskie koszty produkcji, materiały te znajdują szerokie zastosowanie w sektorze budownictwa komunikacyjnego, komunalnego, hydrotechnicznego, użyteczności publicznej, jak i przemysłowego. Prawidłowo wykonane konstrukcje z betonu obok dużej wytrzymałości na ściskanie charakteryzują się m. in. sztywnością, trwałością, odpornością na działanie wysokich temperatur, a przy tym możliwością wykonywania elementów o różnorodnych kształtach. Obecnie przed inżynierami stawia się trudne do realizacji zadania związane ze spełnieniem wymagań stanów granicznych nośności i użyteczności w zróżnicowanych warunkach oddziaływań statycznych oraz dynamicznych. Ponieważ beton jest materiałem kruchym, jego zniszczenie następuje przy niewielkich odkształceniach. Mała wytrzymałość na rozciąganie i podatność na propagację rys zmusza do poszukiwania nowych rodzajów betonów, których właściwości fizyko-mechaniczne sprostają aktualnym wymogom w konkretnych zastosowaniach. Jednym ze sposobów polepszenia właściwości betonu jest stosowanie różnego rodzaju domieszek i dodatków. Rozwiązanie to ma swoje początki w starożytności, kiedy to właściwości kruchych materiałów ulepszano poprzez zastosowanie dodatków w postaci ciętej słomy czy zwierzęcej sierści. Kolejno, dodatki te zastępowano kawałkami drutów, włóknami azbestowymi, a obecnie włóknami szklanymi, stalowymi, węglowymi czy bazaltowymi. Zainteresowania te pozwoliły na sformułowanie w połowie XX wieku pierwszej teorii drutobetonu i wdrażanie jej do praktyki inżynierskiej.

Pod pojęciem fibrobeton, z języka angielskiego FRC (*fiber reinforced concrete*), kryje się szereg kompozytów cementowych zbrojonych włóknami wykonanymi z różnych materiałów (stal, szkło, bazalt, materiały syntetyczne i inne). Kompozyty cementowe z włóknami rozproszonymi posiadają szereg zalet. Do najważniejszych z nich można zaliczyć: większą

wytrzymałość na ściskanie we wczesnych stadiach dojrzewania niż beton zwykły, większą wytrzymałość na rozciąganie oraz rozciąganie przy zginaniu i rozciąganie przy rozłupywaniu, dużą odporność dynamiczną, ograniczenie propagacji rys w elementach konstrukcyjnych, lepsze zachowanie podczas zniszczenia (zniszczenie nie przebiega gwałtownie), możliwość redukcji tradycyjnego zbrojenia, czy też odporność na działanie wysokich temperatur. Materiały te mają także dużą odporność na ścieranie i charakteryzują się trwałością nie gorszą niż beton zwykły. Wadami fibrokompozytów jest między innymi stosunkowo wysoki koszt włókien stalowych. Zastosowanie włókien stalowych z recyklingu, jako zbrojenia rozproszonego w betonie, jest więc jak najbardziej trafne, aktualne i zgodne z tendencjami badawczymi w kraju i na świecie. Jest to także ważny aspekt ekologiczny: ochrona środowiska naturalnego oraz obniżenie zużycia energii wykorzystanej podczas produkcji włókien przemysłowych. Nie bez znaczenia pozostaje również aspekt ekonomiczny: obniżenie kosztów produkcji takiego fibrobetonu.

Reasumując: Zagadnienie będące przedmiotem rozprawy doktorskiej niewątpliwie wpisuje się w ogólnoswiatową tendencję Zrównoważonego Rozwoju Środowiska poprzez ponowne wykorzystanie włókien stalowych z recyklingu opon samochodowych w produkcie budowlanym, jakim jest fibrobeton. Należy przy tym podkreślić, że z grupy materiałów recyklingowych, które obecnie w ograniczonym zakresie stosowane są w budownictwie należą produkty uzyskane z recyklingu opon samochodowych. Recyklingowi energetycznemu w Polsce podlega ok. 60% opon. Zużyte opony w 100% mogłyby być poddane recyklingowi materiałowemu, a składniki opon: kauczuk, tekstylia i metale po odzyskaniu mogą zostać ponownie wykorzystane do wytworzenia nowych produktów. Zapotrzebowanie na tego typu materiały znajduje odzwierciedlenie w rosnącym zainteresowaniu tematyką tych kompozytów. Modyfikacja betonu zwykłego dodatkiem włókien stalowych powoduje polepszenie właściwości mechaniczno-fizycznych, a zakres ich wartości zależy przede wszystkim od potrzeb i wymagań stawianych projektowanemu materiałowi. Na wartość tych cech, podkreśla to również Autorka, wpływ mają: zawartość włókien, ich geometria oraz rodzaj materiału, z jakiego są wykonane. Z uwagi na brak powtarzalności parametrów geometrycznych włókien pochodzących z recyklingu, kompozyty je zawierające trudno jest odnieść poprzez analogie do fibrobetonów. A to z kolei przyczynia się do niewielkiego zainteresowania zastosowaniem kordu stalowego i drutówki z recyklingu opon w budownictwie. Mimo tych trudności Doktorantka wraz z Promotorem, poprzez podjęcie tego tematu, wyszli obecnym wyzwaniom na przeciw.

Na tle problemów poruszanych na konferencjach krajowych i międzynarodowych oraz w publikacjach naukowych dostrzec można znaczący aspekt poznawczy i praktyczny podjętego tematu, co wykazałam powyżej. Dlatego też podjęty przez Autorkę temat rozprawy oceniam bardzo pozytywnie.

3. Prawdliwość tytułu, postawionych celów naukowych i tezy rozprawy

Tytuł rozprawy jest adekwatny do przedmiotu i treści rozprawy. Zasluguje na pozytywną ocenę, gdyż jest aktualny i interesujący, tak z poznawczego, jak i praktycznego punktu.

Celem naukowym podjętym przez Doktorantkę jest analiza wybranych właściwości mechaniczno-fizycznych mieszanki i stwardniałego betonu ze zbrojeniem rozproszonym w postaci włókien z recyklingu opon samochodowych. Przedmiot i cel rozprawy powiązany jest z aspektami, które uzasadniłam w pkt. 2 niniejszej recenzji, a mianowicie: ekologicznym, zrównoważonego rozwoju oraz ekonomicznym.

Doktorantka postawiła następującą tezę naukową:

„Włókna stalowe pochodzące z recyklingu opon samochodowych nadają się do wykorzystania przy produkcji fibrobetonu. Przy odpowiedniej recepturze fibrobeton zbrojony włóknami z recyklingu opon posiada parametry porównywalne z odpowiednim zbrojeniem przemysłowym włóknami stalowymi i może być stosowany przy wykonywaniu posadzek przemysłowych”.

Po przestudiowaniu rozprawy doktorskiej stwierdzam, że teza rozprawy została sformułowana poprawnie. Sposób realizacji badań doświadczalnych uważam za naukowy oraz prowadzący do udowodnienia postawionej tezy.

4. Ogólna charakterystyka pracy

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr inż. Magdaleny Pawelskiej-Mazur pt.: *„Analiza właściwości betonu z włóknami stalowymi z recyklingu opon samochodowych”*. Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. Maria Kaszyńska, prof. ZUT w Szczecinie.

Przedmiotowa rozprawa jest opracowaniem o charakterze doświadczalnym, składającym się z 13 rozdziałów. Wraz z wykazem literatury liczy 214 stron, w tym 70 tabel i 103 rysunki. Wykaz literatury obejmuje 188 pozycji, w tym 36 pozycji to normy i wytyczne, 19 pozycji stron internetowych oraz 8 innych opracowań związanych z przedmiotem pracy.

Rozprawa doktorska składa się z dwóch części: studialnej będącej przeglądem stanu wiedzy w zakresie przedmiotu pracy oraz części doświadczalnej zawierającej plan badań, metodykę badań, charakterystykę użytych materiałów oraz wyniki badań i ich analizę. Prace wzbogacono o analizę ekologiczną i ekonomiczną wykorzystania włókien z recyklingu opon samochodowych. Treść rozprawy doktorskiej poprzedzono wykazem zastosowanych symboli oraz skrótów. Kolejno jest wstęp będący wprowadzeniem do treści pracy doktorskiej.

W rozdziale 1 sformułowano problem naukowy przedstawiając cele i tezę rozprawy oraz jej zakres. Cele naukowe pracy powiązane z aspektami: ekologicznym, zrównoważonego rozwoju oraz ekonomicznym.

W rozdziale 2 omówiono genezę polityki zrównoważonego rozwoju w odniesieniu do stanu na świecie, krajach Unii Europejskiej i w szczególności do polskich aktów prawnych.

Rozdział 3 to studia na temat problematyki związanej z recyklingiem opon samochodowych w oparciu o przepisy legislacyjne. W Unii Europejskiej gospodarka odpadami obecnie stanowi jeden z najważniejszych obszarów działania w ramach ochrony środowiska. Zgodnie z przyjętym tytułem rozdziału omówiono budowę i skład materiałowy opon samochodowych oraz stosowane metody ich recyklingu. Na podstawie rozległych studiów literaturowych scharakteryzowano stan badań na świecie nad wykorzystaniem produktów pochodzących z recyklingu opon samochodowych do betonu. Podsumowując rozdział 3 stwierdzono, że: *cyt.: „... włókna stalowe pochodzące z recyklingu opon, jako jedyny ich składnik, mogą poprzez dodatek do betonu polepszyć jego cechy mechaniczne. Jednocześnie jest to jedyny produkt, masowo uzyskiwany podczas procesu odzysku kauczuku, który dotychczas nie znalazł żadnego zastosowania, jako pełnowartościowy surowiec”*. Spostrzeżenia te stały się podstawą do sformułowania celu naukowego i tezy niniejszej rozprawy.

W rozdziale 4 przedstawiono ogólną charakterystykę i klasyfikację fibrobetonów stosowanych w budownictwie. Omówiono też, bardzo ogólnie, rodzaje włókien stosowanych do betonu i ich wpływ na właściwości mechaniczno – fizyczne kompozytów mineralnych. Podano ogólne podstawy projektowania kompozytów mineralnych ze zbrojeniem rozproszonym. Rozdział zakończono przykładami zastosowania fibrobetonu w budownictwie.

Rozdział 5 to wymagania projektowe dla posadzek przemysłowych w odniesieniu do poszczególnych jej składników, tj. cementu, kruszywa i zbrojenia rozproszonego. Na podstawie zebranej w tym rozdziale wiedzy oraz studiów literaturowych omówionych w rozdziale 3, Autorka zaproponowała zastąpienie w betonach posadzkowych włókien przemysłowych, włóknami pochodzącymi z recyklingu opon, co Jej zdaniem znacząco obniży cenę 1 m³ fibrobetonu. Na tym rozdziale kończy się część studialna rozprawy.

Za główny cel badań własnych Autorka postawiła rozwiązanie globalnego problemu wykorzystania odpadu stalowego uzyskiwanego przy odzysku kauczuku podczas recyklingu opon najpowszechniej stosowaną metodą *ambient*, uwzględniając założenia zrównoważonego

rozwoju w budownictwie. Badania własne podzieliła na badania wstępne (rozdział 6) oraz podstawowe (rozdział 7).

W rozdziale 6 przedstawiono sposób planowania i przeprowadzenia badań wstępnych. Badania prowadzono na czterech etapach, a ich rezultatem było określenie najkorzystniejszego pod względem właściwości mechanicznych i fizycznych składu fibrobetonu do badań głównych (zasadniczych). Ostatecznie wyznaczono skład mieszanek betonu z włóknami stalowymi z recyklingu opon samochodowych, włóknami przemysłowymi i mieszanek kontrolnych - bez włókien stalowych.

W rozdziale 7 przedstawiono charakterystykę techniczną materiałów i mieszanek betonowych użytych w badaniach, a także zakres badań, które posłużyły do osiągnięcia zdefiniowanego w pkt. 1 celu naukowego. Zdecydowaną większość badań zrealizowano w laboratoriach Wydziału Inżynierii Lądowej i Środowiska na Politechnice Gdańskiej, natomiast badania wytrzymałości resztkowej (rezydualnej) fibrobetonów w Laboratorium Techniki Budowlanej Wydziału Inżynierii Lądowej, Środowiska i Geodezji Politechniki Koszalińskiej przy współpracy z Katedrą Konstrukcji Betonowych i Technologii Betonu. W niniejszym rozdziale omówiono także sposób przygotowania próbek do badań i wskazano, orientacyjnie, warunki ich pielęgnacji. Nie odniesiono się do warunków cieplno-wilgotnościowych przyjętych podczas badania skurczu wiązania fibrobetonów.

Rozdział 8 to opis metodyki badań charakterystyki włókien stalowych, mieszanki betonowej oraz wybranych właściwości mechaniczno-fizycznych betonu bez włókien i z włóknami z recyklingu oraz włóknami pochodzącymi z produkcji przemysłowej.

Wyniki badań własnych Autorka przedstawiła w rozdziale 9, a ich analizę zamieściła w rozdziale 10. Analizy dotyczyły wpływu włókien przemysłowych i z recyklingu na podstawowe właściwości mechaniczno-fizyczne fibrobetonu. Dokonano także porównania charakterystyki i orientacji włókien stalowych w mieszance betonowej.

W rozdziale 11 Autorka dokonała analizy ekonomicznej i ekologicznej wykorzystania włókien z recyklingu zużytych opon. Stwierdziła, że włókna stalowe produkowane przemysłowo są drugim po cemencie składnikiem w znaczący sposób oddziaływującym na środowisko. Wniosek ten poprzedzono kalkulacją energochłonności oraz emisji CO₂ betonu z włóknami z recyklingu w porównaniu do betonu z włóknami produkowanymi przemysłowo. Wykazano także redukcję ceny fibrobetonu z użyciem włókien z recyklingu względem ceny powszechnie stosowanego na posadzki fibrobetonu - o ok. 20%.

Rozprawa doktorska zakończona jest podsumowaniem i wnioskami (rozdział 12), będącymi potwierdzeniem osiągnięcia celu i udowodnienia tezy rozprawy.

Z uwagi na obszerność problematyki podjętej przez Autorkę rozprawa ta nie obejmuje wszystkich kwestii. Autorka dostrzegając te niedostatki podaje dalsze kierunki badań, których program zamieszcza w rozdziale 13.

Pracę zakończono spisem rysunków, tabel i streszczeniem w języku polskim oraz angielskim.

Podsumowując rozdział Recenzji dotyczący *Ogólnej charakterystyki pracy* stwierdzam, że rozprawa napisana jest w sposób jasny, językiem rzeczowym i zrozumiałym. Całość pracy kończy się wnioskami będącymi potwierdzeniem zrealizowanego celu naukowego. Przeprowadzone badania eksperymentalne i analiza wyników badań własnych są o cechach poznawczych. Przyjęty układ pracy jest właściwy, typowy dla prac o charakterze badawczym.

5. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

Recenzowana rozprawa jest obszernym opracowaniem, jednakże poprzez wyraźny podział na część studialną i doświadczalną nie odczuwa się nadmiaru informacji. Wyróżnia się ona starannym przygotowaniem pod względem edytorskim oraz zwięzłym ujęciem analizowanych treści. Autorka bardzo umiejętnie koncentruje uwagę na informacjach istotnych z punktu widzenia przyjętego i konsekwentnie realizowanego programu badań oraz uzyskanych wyników badań. Z uwagi na ograniczoną liczę próbek, od 3 do 6 próbek, brak jest analizy statystycznej wyników, co w przypadku włókien z recyklingu (niepowtarzalna geometria oraz ich nieregularny kształt) jest pewnym „niedostatkiem”. Z uwagi na niepowtarzalność charakterystyki geometrycznej włókien (smukłość włókien) i ich kształtu uzyskane na niewielkiej liczbie próbek wyniki są obarczone błędem niepewności. Na podstawie tych wyników Autorka rozprawy przecież formułuje wnioski. Wnioski te dotyczą konkretnego, jednego składu mieszanki betonowej oraz jednego typu włókien z recyklingu opon samochodowych i nie powinny być uogólniane. Autorka, zapewniając w rozdziale 13 rozprawy, zamierza kontynuować podjętą tematykę, więc warto byłoby te sugestie uwzględnić w kolejnych badaniach.

Innowacyjnym badaniem przedstawiającym obszar powstawania rysy było określenie charakterystyki pęknięcia kompozytu przy zastosowaniu metody Cyfrowej Korelacji Obrazu. Odwzorowano mapy odkształceń próbek podczas rozciągania przy rozłupywaniu klinem (metoda WST).

Niniejszą rozprawę doktorską oceniam wysoko. Jednak podczas czytania i analizowania treści rozprawy, nasunęły mi się uwagi redakcyjne, w tym krytyczne oraz dyskusyjne. Niektóre z nich zasygnalizowałam już powyżej. Ponadto nadmieniam, że pozytywna ocena opiniowanej rozprawy nie oznacza, że nie można w odniesieniu do niej sformułować uwag krytycznych, czy też dyskusyjnych.

W pracy znajdują się błędy interpunkcyjne, pojedyncze stylistyczne, które nie mają wpływu na pozytywną ocenę pracy oraz na jej jakość. W związku z tym zostaną przekazane bezpośrednio Doktorantce, dlatego nie umieszczono ich w recenzji.

Najważniejsze z uwag przedstawiam poniżej w takiej kolejności, w jakiej nasunęły mi się podczas studiowania rozprawy.

- Autorka myli pojęcia wytrzymałości betonu. Pozwolę sobie wyjaśnić, że przeprowadzono badania wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu betonu, a nie wytrzymałości na zginanie, dla przykładu por.: str. 73, 75, 77, 84. Otóż w próbie zginania 3-punktowego, a takie badanie przeprowadzono, maksymalna wartość naprężenia rozciągającego, osiągana w dolnej części włókna badanej beleczki, określana jest, jako wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu. W próbie tej zniszczenie następuje bezpośrednio pod punktem przyłożenia obciążenia, gdy wyczerpana zostanie właśnie ta wytrzymałość.
- Liczba elementów próbnych użytych do określenia właściwości betonów (beton bez włókien, z włóknami z produkcji przemysłowej i z włóknami z recyklingu) objętych eksperymentem w niektórych przypadkach jest zbyt mała, aby uznać ją za reprezentatywną. Liczbę próbek, która w sposób naukowo uzasadniony pozwoli na określenie wartości badanej cechy można wyznaczyć z rozkładu *t-Studenta* i na pewno nie jest to liczba trzech próbek w przypadku badania np. skurczu czy wytrzymałości resztkowych, które cechują się dużym rozrzutem pomiarów. Ponadto badania dotyczą betonu z zawartością włókien stalowych z recyklingu, a więc włókien o różnym kształcie i różnej smukłości w poszczególnych zarobach. Kolejno, każde wyniki badań powinny zostać poddane analizie statystycznej celem wykluczenia wyników przypadkowych, dla oceny jednorodności badanych materiałów, czy też rozrzutu uzyskanych wyników oraz ich wiarygodności.

Stąd też pytanie: Na jakiej podstawie Autorka określiła niezbędną w badaniach ilość próbek i czy uważa ją za wystarczającą, zwłaszcza w przypadku badania wytrzymałości resztkowych i określenia ich wartości charakterystycznych ?

- Jakie wymiary próbek przyjęto do określenia wytrzymałości na ściskanie i rozciąganie przy rozłupywaniu fibrobetonów i betonu bez włókien ? W *Etapie III badań wstępnych* podano, że wytrzymałość na ściskanie i na rozciąganie przy rozłupywaniu określono na próbkach sześciennych o boku 10 cm, w *Etapie I*, że są to kostki o boku 15 cm, a w *Etapie II i Etap IV* brak odniesienia do wymiarów próbek. W większości przypadków nie podano także liczby próbek przyjętej w programie badań do określenia wartości badanych cech.

- Czym jest podyktowana tak duża dokładność (do 0,001) obliczenia wartości odchylenia standardowego badanych właściwości fibrobetonu i betonu bez włókien. Powinna ona odpowiadać dokładności pomiaru danej wielkości fizycznej. Dla pełnego obrazu należałoby podać inne parametry analizy statystycznej badanych wielkości i do nich się odnieść.
- Autorka w rozdz. 7.2 *Materiały zastosowane w badaniach* charakteryzuje składniki betonu użytego w eksperymencie, z wyjątkiem jakości zastosowanej wody. Stąd też pytanie; jaką wodę użyto w badaniach ?
- Brak informacji (str. 102) o warunkach cieplno-wilgotnościowych, w których przechowywano próbki do czasu badania oraz w jakich prowadzono pomiary odkształceń wywołanych skurczem betonu. Ponadto wyniki skurczu betonów z włóknami większe niż uzyskano na próbkach bez włókien, na tle literatury naukowej i badań własnych, są dla mnie zastanawiające. Odnośnie liczebności próbek wypowiedziałam się już wcześniej.
- Uważam, że znacznie większe wartości badanych wytrzymałości posiadałby beton z włóknami przemysłowymi. To, że w badaniach własnych uzyskano inną relację wynika tylko i wyłącznie z użycia o 50% większej zawartości włókien z recyklingu (por. tabl. 7.13). Szkoda, że nie dokonano takiego porównania dla fibrobetonów o takiej samej zawartości włókien przemysłowych i z recyklingu, jako punktu odniesienia.
- Uważam, że z przekształceń matematycznych postaci wzoru (4.10) nie można wyznaczyć zależności na minimalną smukłość l/d włókien z recyklingu (por. str. 157). Długość efektywna tego typu nieregularnych włókien nie powinna być odnoszona do długości rzutu włókna na oś poziomą. Włókna o tej samej długości rzutu na oś poziomą będą miały przecież różną, z uwagi na nieregularny kształt, długość roboczą włókna.
- Ze swoim zespołem naukowym w Katedrze Konstrukcji Betonowych i Technologii Betonu Politechniki Koszalińskiej prowadzę badania nad zagospodarowaniem piasków odpadowych będących efektem procesu hydroklastyfikacji. Efektem tych prac jest między innymi kompozyt drobnokruszywowy ze zbrojeniem rozproszonym w postaci włókien stalowych z produkcji przemysłowej, wytworzony na bazie piasków odpadowych. Poprzez swoje właściwości jest zdecydowanie konkurencyjny dla piaskobetonu i może zastąpić

w pewnych przypadkach beton zwykły. Kompozyt ten spełnia wymagania stawiane materiałom konstrukcyjnym pod względem cech mechaniczno-fizycznych i trwałości, przez co może nadawać się do wytwarzania elementów konstrukcyjnych. Zastąpienie w pewnych przypadkach betonu zwykłego drobnokruszywowym fibrokompozytem wykonanym na bazie regionalnych piasków odpadowych, zbrojonym włóknami stalowymi z recyklingu, o tych samych bądź lepszych właściwościach jest rozsądnym z punktu widzenia ekonomii i sozologii rozwiązaniem dla regionów, w których brakuje naturalnych złóż kruszywa grubego, a takim regionem jest Pomorze. Zachęcam więc Autorkę i Promotora do podjęcia wspólnych badań w tym zakresie. Takie działania mogą znacznie ograniczyć dalszą degradację środowiska naturalnego oraz pozwolą na zrównoważone wykorzystanie regionalnych surowców kruszywa, i jak wykazały osiągnięcia Autorki, wartościowego odpadu z przemysłu motoryzacyjnego. Wymienione powyżej odpady poprodukcyjne mogą stać się bogactwem dla naszego Regionu.

6. Podsumowanie

Rozprawę doktorską Pani mgr inż. Magdaleny Pawelskiej-Mazur pt.: „*Analiza właściwości betonu z włóknami stalowymi z recyklingu opon samochodowych*” oceniam wysoko i uważam za ważne osiągnięcie naukowo-badawcze. Autorka sformułowała oryginalny problem naukowy, zaplanowała ciekawy program badań stawiając przed sobą do realizacji ambitne cele naukowe. Konsekwentnie je realizując, udowadnia sformułowaną tezę. Wykazała, że włókna stalowe pochodzące z recyklingu opon samochodowych nadają się do wykorzystania przy produkcji fibrobetonu. Przy odpowiedniej recepturze, fibrobeton zbrojony włóknami z recyklingu opon posiada parametry porównywalne z odpowiednim zbrojeniem przemysłowym włóknami stalowymi i może być stosowany przy wykonywaniu posadzek przemysłowych. Wyniki badań Autorki przedstawione w rozprawie doktorskiej stanowią istotny wkład w poszerzenie wiedzy z zakresu technologii fibrobetonu. Pani mgr inż. Magdalena Pawelska-Mazur wykazała się twórczym podejściem do rozwiązania postawionych zadań badawczych oraz umiejętnością ich realizacji z wykorzystaniem nowoczesnych technik pomiarowych.

Podsumowując stwierdzam, że rozprawa wnosi w przedmiotowym temacie znaczny wkład w rozwój wiedzy w dyscyplinie *budownictwo*, mając znaczenie naukowe i praktyczne.

Po zapoznaniu się z pracą doktorską Pani mgr inż. Magdaleny Pawelskiej-Mazur pt.: „Analiza właściwości betonu z włóknami stalowymi z recyklingu opon samochodowych” stwierdzam, że opiniowana rozprawa spełnia wymagania Ustawy o stopniach i tytule naukowym z dnia 14 marca 2003 r., z późniejszymi zmianami, i stawiam wniosek o dopuszczenie jej do publicznej obrony oraz jej wyróżnienie.

Witstawa Głodkowska