

Politechnika Śląska
Wydział Budownictwa
ul. Akademicka 5
44-100 Gliwice

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Agnieszki Michalik pt.: „Efektywność zbrojenia betonu oczyszczonymi włóknami z recyklingu opon”

1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawą formalną opracowania recenzji stanowi pismo Sekretarza Rady Naukowej Instytutu Techniki Budowlanej dra hab. inż. Jadwigi Fangrat, prof. ITB z dnia 28. 12. 2023, wynikające z uchwały Rady Naukowej Instytutu Techniki Budowlanej podjętej na posiedzeniu w dniu 14 grudnia 2023 powołującej mnie na recenzenta rozprawy doktorskiej p. mgr inż. Agnieszki Michalik, w postępowaniu prowadzonym wg przepisów Ustawy z dn. 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce.

2. Ogólna charakterystyka pracy

Przedmiotem opinii jest rozprawa doktorska mgr inż. Agnieszki Michalik pt.: „*Efektywność zbrojenia betonu oczyszczonymi włóknami z recyklingu opon*“, której promotorem głównym jest dr hab. inż. Waldemar Pichór, prof. AGH, natomiast promotorem pomocniczym jest dr inż. Filip Chyliński.

Praca doktorska zrealizowana została na podstawie projektu naukowego Instytutu Techniki Budowlanej numer NZK-099 pt. „Ocena wpływu dodatku włókien stalowych z recyklingu opon na właściwości użytkowe betonu”, realizowano w latach 2019-2023 w Zakładzie Konstrukcji Budowlanych, Geotechniki i Betonu ITB z subwencji Ministerstwa Edukacji i Nauki.

Przedstawiona do recenzji praca doktorska ma charakter pracy badawczej i liczy 172 stron. Układ pracy jest poprawny. Rozprawa została podzielona na 16 rozdziałów, w tym spis literatury, rysunków i tabel. Wykaz literatury obejmuje 225 pozycji z czego zdecydowana większość dotyczy ostatnich 20 lat. Praca zawiera streszczenie w języku polskim i angielskim.

Rozprawa ma charakter eksperymentalny. Składa się z dwóch zasadniczych części:

- analizy literatury dotyczącej rozpatrywanej problematyki,
- badań własnych,

poprzedzonych wstępem stanowiącego 1 rozdział pracy, w których scharakteryzowano cel i zakres pracy oraz postawiono tezę rozprawy. Przyjęty cel i zakres badań obejmował analizę właściwości

betonów z dodatkiem oczyszczonych włókien z recyklingu opon RTSF, w porównaniu z taką samą ilością (w kg/m^3) włókien komercyjnych haczykowatych MSF skupiającą się w głównej mierze na ocenie właściwości mającymi znaczący wpływ na mechanikę pękania kruchych kompozytów cementowych: wytrzymałości resztkowej na rozciąganie przy zginaniu, pracy zniszczenia, wskaźnika odporności na pęknięcie i przyczepności włókien do matrycy cementowej. W zakres badań wchodzi także analiza rozmieszczenia włókien w matrycy cementowej oraz analiza mikroskopowa strefy kontaktowej włókno-zaczyn.

W rozprawie doktorskiej postawiono następującą tezę: *„Oczyszczone włókna stalowe z recyklingu opon samochodowych mogą pełnić rolę efektywnego zbrojenia efektywnego do betonu, a niektóre właściwości betonów z ich udziałem są równoważne a nawet lepsze niż właściwości betonów z dodatkiem komercyjnych włókien stalowych”*.

Pierwsza zasadnicza część pracy, teoretyczna, dotyczy analizy aktualnego stanu wiedzy dotyczącego recyklingu opon oraz właściwości betonu z ich udziałem, którą rozpoczyna rozdział 2 dotyczący problematyki zrównoważonego rozwoju, kryzysu klimatycznego, śladu węglowego komponentów betonu, szczególnie stali (tabela 1, str. 19) oraz przeciwdziałania jego wzrostowi zgodnie z przyjętymi założeniami Europejskiego Zielonego Ładu/Fit for fifty five.

Trzeci rozdział rozprawy związany jest z problematyką recyklingu opon samochodowych, w którym omówiono budowę i produkcję opon oraz metody ich recyklingu.

Rozdział 4 dotyczy analizy literatury w zakresie stosowania włókien z recyklingu do betonu, w którym przybliżono rolę recyklingu opon w ograniczeniu śladu węglowego betonu wraz z analizą ekonomiczną oraz wytrzymałość betonu z dodatkiem opon z recyklingu.

Rozdział 5 związany jest z charakterystyką mechaniki pęknięcia materiałów ceramicznych wraz z metodami podwyższania odporności na ich kruche pęknięcie. Część pierwszą pracy kończy rozdział 6 dotyczący technologii fibrobetonów, w którym scharakteryzowano właściwości włókien do betonów, właściwości fibrobetonów, metody oceny ich właściwości oraz zagadnienie strefy kontaktowej włókno stalowe-zaczyn. Jakość strefy stykowej zaczyn-tworzywo uznaje się za kluczową kwestię dla późniejszych właściwości wytrzymałościowych i trwałości tego typu kompozytów. Przegląd literatury zakończono nie zakończono podsumowaniem.

Kolejne rozdziały zawierają opis badań własnych, charakterystykę składników, metodykę badań i analizę uzyskanych wyników (rozdziały 7 do 13). Omyłkowo rozdział 12 zamieszczono jako podrozdział rozdziału 11, także w rzeczywistości praca zawiera nie 16, a 15 rozdziałów.

W rozdziale 7 scharakteryzowano zastosowaną aparaturę badawczą, w rozdziale 8 zestawiono właściwości włókien i pozostałych materiałów do wykonania betonu posadzkowego i wzorcowego.

W części doświadczalnej rozprawy ujęto badania wstępne, główne i aplikacyjne. Badania wstępne, ujęte rozdziałem 9 pracy, umożliwiły wybór jednego rodzaju spośród pięciu analizowanych włókien z recyklingu opon, przeznaczonego do badań zasadniczych, m.in. na podstawie badań identyfikacyjnych wybranych włókien RTSF i MSF (podrozdział 9.1) oraz wyników badań betonu posadzkowego z różnymi włókami z opon (rozdział 9.2). W rozdziale 9.3 uzasadniono wybór włókien do badań głównych, które rozpoczyna rozdział 10 pracy. Badania zasadnicze miały na celu ocenę efektywności zbrojenia betonu włóknami pochodzącymi z recyklingu opon, w porównaniu z taką samą ilością włókien komercyjnych. Efektywność określono na podstawie rezultatów badań dotyczących wytrzymałości resztkowej na rozciąganie przy zginaniu (podrozdział 10.1), pracy zniszczenia (podrozdział 10.2), wskaźników odporności na pęknięcie (rozdział 10.3), przyczepności włókien do matrycy cementowej (podrozdział 10.4), tomografii komputerowej oraz mikroskopii skaningowej opisanych w podrozdziałach 10.5 i 10.6. Wybrane analizy właściwości fibrobetonu przeprowadzono także dla dwóch dodatkowych rodzajów włókien komercyjnych, różniących się kształtem i średnicą względem uprzednio analizowanych (podrozdział 10.7).

W rozdziale 11 rozprawa zawiera analizę wyników badań aplikacyjnych, co stanowi możliwość oceny analizowanego rozwiązania naukowego w praktyce. Badania aplikacyjne dotyczyły betonu posadzkowego i związanych z nim najważniejszych właściwości mieszanki betonowej oraz stwardniałego betonu. W podrozdziale 11.1 rozprawy zamieszczono wyniki badań właściwości użytkowych betonów posadzkowych. Oceniono także zgodność włókien z recyklingu opon z wymaganiami normy PN-EN 14889-1:2007 (podrozdział 12.2, zamiast 11.2). Badania aplikacyjne betonu posadzkowego wykonano w skali rzeczywistej w wytwórni betonu towarowego (podrozdział 12.3 zamiast 11.3). W rozdziale 13 (docelowo 12) sformułowano podsumowanie i wnioski końcowe rozprawy oraz propozycje dalszych badań. Rozdziały 14-16 (docelowo 13-15) zawierają zbiór cytowanej bibliografii, spisu rysunków i tabel.

3. Krytyczna ocena rozprawy

Utylizacja opon jest globalnym problemem środowiskowym. Rocznie na całym świecie produkuje się około 1,5 miliarda opon. Ponad 500 milionów zużytych opon jest składowanych na wysypiskach. Opony są odpadem niezwykle trwałym, który nie ulega naturalnemu rozkładowi i musi zostać poddany jednej z form recyklingu. Metody utylizacji opon samochodowych można podzielić na trzy główne grupy: recykling produktowy, energetyczny i materiałowy. Recykling materiałowy polega na ponownym wykorzystaniu materiałów, z których zbudowana jest opona. Podstawowym procesem umożliwiającym recykling materiałowy zużytych opon jest ich rozdrabnianie i separacja na oddzielne grupy materiałów: gumę, kord tekstylny i kord stalowy – jak się okazuje - cenny składnik fibrobetonu. Należy mieć na uwadze, że produkcja stali stanowi jedną z gałęzi przemysłu, która w największym stopniu przyczynia się do wzrostu śladu węglowego (niemal 2000 kg eCO₂/t). Podjęta w pracy ocenę właściwości fibrobetonu zawierającego odpadowe włókna stalowe pochodzące z recyklingu opon należy uznać za aktualną i ważną w obliczu konieczności redukcji śladu węglowego stali, betonu i innych materiałów budowlanych, szczególnie, że jak wspomniano, opony stanowią globalny problem środowiskowy, a idea zrównoważonego rozwoju wymaga poszukiwania sposobów racjonalnego zagospodarowania odpadów.

Doktorantka wykazała się dobrym opanowaniem wiedzy teoretycznej z zakresu dotyczącego tematyki pracy. Dobór źródeł uważam za trafny i wystarczający. Przyjętą przez Autorkę koncepcja sposobu analizy danych literaturowych uważam za oryginalną i ciekawą. Przedstawiła próbę analizy bardzo zróżnicowanych informacji literaturowych w sposób jakościowy i ilościowy. Pierwsza część pracy napisana jest poprawnym językiem, w sposób jasny i zrozumiały dla czytelnika. Brakuje jednak podsumowania tej części stanowiącego punkt wyjścia do części teoretycznej.

W doświadczalnej części pracy Autorka wykonała obszerny program badawczy dzieląc zadanie na logicznie wyodrębnione etapy, co w efekcie doprowadziło do rozwiązania postawionego problemu badawczego. Analizowany w tej części pracy problem naukowy, jakiego podjęła rozwiązać się w swojej rozprawie doktorskiej Pani mgr inż. Agnieszka Michalik, dotyczy głównie poprawy właściwości wytrzymałościowych *kompozytu* poprzez poprawę jakości strefy kontaktowej włókno stalowe-zaczyn, warunkujących przyczepność włókna stalowego do matrycy cementowej, a w konsekwencji poprawie mechaniki pękania *kompozytu*. W tym celu Doktorantka opracowała obszerny program badań eksperymentalnych o charakterze sekwencyjnym obejmującym kilka etapów. W pierwszym etapie analizowana doktorantka zbadała pięć rodzajów włókien stalowych pochodzących z recyklingu opon. Porównaniu poddano skład chemiczny włókien, sposób dozowania włókien, wpływ włókien na konsystencję mieszanki betonowej, ich homogenizację w mieszance betonowej oraz właściwości wytrzymałościowe betonu. Do badań zasadniczych Doktorantka wybrała oczyszczony kord stalowy, który posiadał najmniej zanieczyszczeń i był najbardziej jednorodny pod

względem średnicy i długości, a także najbardziej korzystnie wpływał na właściwości mechaniczne betonu, zgodnego z PN-EN 14845-1:2008. Niewątpliwie włókna pogorszą konsystencję mieszanki betonowej, tym bardziej, ich wzrasta ich udział, szczególnie w przypadku włókien pochodzących z recyklingu o nieregularnych i zakrzywionych kształtach. Dowiedziono, że proces oczyszczania włókien z zanieczyszczeń, szczególnie gumy, sprzyja zniwelowaniu tego niekorzystnego efektu. Do budzącego obawę wpływu włókien z recyklingu na właściwości betonu należy jednak ich wpływ na zawartość powietrza (tabela 27, str. 136 pracy) się gającą, jak pisze Autorka na stronie 137 swej pracy, nawet o 10%. Należy bliżej przyjrzeć się tego efektowi, gdyż jak wiadomo, tak duża zawartość powietrza powoduje znaczący spadek właściwości mechanicznych. Niemniej jednak Autorka dowiodła, że beton z dodatkiem tego kordu wykazywał porównywalne lub lepsze parametry niż beton z tradycyjnymi włóknami stalowymi haczykowatymi. Badane oczyszczone włókna stalowe z opon spełniały wymagania normowe wytrzymałości resztkowych na rozciąganie przy zginaniu, w badanym zakresie dozowania włókien. Obawa przed stosowaniem kordu stalowego jest związana z jego charakterystyką geometryczną. Podano wyniki badań, które dowodzą, że ten rodzaj włókien może być zastosowany w celu poprawy mechaniki pęknięcia kompozytu. Jednak ze względu na niejednorodność długości i średnic, mogą nie spełnić wymagań normy pod względem zadeklarowanej długości i średnicy (oraz ich tolerancji). Autorka na podstawie obserwacji mikroskopowych dowiodła, że „włókna z recyklingu opon RTSF mają kształt nieregularny, zakrzywiony (wygięty) w różnych kierunkach. Powierzchnia włókien jest chropowata, niejednorodna, z miejscowymi wyżłobionymi ubytkami, mogącymi powstać w procesie recyklingu opon”, w przeciwieństwie do włókien komercyjnych. Jednakże, wyniki badań wykonane przez Doktorantkę dowiodły, że włókna te, pomimo obciążającego procesu recyklingu wykazuje o ok. 30-50% większą wytrzymałość na rozciąganie w porównaniu do komercyjnych włókien stalowych. Niemniej jednak, włókna pochodzące z recyklingu opon charakteryzuje mniejszy moduł sprężystości z powodu nieregularnego ich kształtu i procesu prostowania.

Do największych, oryginalnych osiągnięć naukowych pracy należy określenie pracy zniszczenia jako miary odporności na kruche pęknięcie i efektywność zbrojenia betonu włóknami pochodzącymi z recyklingu opon. Stwierdzono, iż zaproponowane przez Autorkę wskaźniki odporności na pęknięcie I_s są na tym samym poziomie dla każdej zawartości włókien komercyjnych oraz pochodzących z recyklingu. W niektórych przypadkach stwierdzono nawet korzystniejszą wartość wskaźnika w przypadku włókien pochodzących z recyklingu. Autorka tłumaczy ten fakt „hybrydową” charakterystyką geometryczną włókien, stanowiącą mieszaninę różnych grubości, długości i kształtu włókien, w przeciwieństwie do włókien komercyjnych.

Autorka dowiodła wpływu procesu oczyszczania włókien na znaczną poprawę ich przyczepności do matrycy cementowej w porównaniu do włókien komercyjnych. Na podstawie analizy mikroskopowej warstwy kontaktowej włókno-zaczyn dowiedziono także zwartość i jednorodność matrycy cementowej i brak występowania większych porów powietrznych. Obniżenie przyczepności włókien do zaczynu powodują głównie zanieczyszczenia (guma), stad znaczenie procesu oczyszczania włókien pochodzących z recyklingu opon jest kluczowe w celu uzyskania odpowiednich właściwości mechanicznych fibrobetonu.

Obrazowanie dystrybucji włókien pochodzących z recyklingu metodą tomografii rentgenowskiej dowiodło równomiernego rozmieszczenia włókien w betonie, zarówno dla małych ilości (10-20 kg/m³), jak i dużych (30-40 kg/m³).

Aktorka dokonała oceny porównawczej analizowanych włókien pochodzących z recyklingu z innymi trzema rodzajami komercyjnymi rodzajami włókien stalowych, różniących się długością średnicą oraz kształtem (MSF1-MSF3). W przypadku włókien MSF2 i MSF 3 oraz włókien z recyklingu opon (RTSF) wykonano najważniejsze badania wyznaczające skuteczność zbrojenia fibrobetonu: wytrzymałość resztkowa na rozciąganie przy zginaniu, praca zniszczenia i wskaźniki odporność na pęknięcie. Dowiedziono równoważnej, a nawet lepszej wytrzymałości na rozciąganie przy

zginaniu przy granicy proporcjonalności w przypadku betonu z włóknami pochodzącymi z recyklingu przy dozowaniu włókiem w granicach 20-30 kg/m³. Poddano analizie także pracy zniszczenia fibrobetonu z włóknami pochodzącymi z recyklingu w porównaniu do fibrobetonu z włóknami komercyjnymi. Wraz ze wzrostem zawartości włókien praca zniszczenia fibrobetonu wrosła proporcjonalnie w obu przypadkach włókien, lecz w przypadku włókien pochodzących z recyklingu praca zniszczenia była mniejsza niż w przypadku fibrobetonu z włóknami komercyjnymi. Autorka dowiodła, że wskaźników odporności na pękanie fibrobetonu z włóknami komercyjnymi oraz pochodzącymi z recyklingu opon były porównywalne, choć zależne od zawartości, średnicy i kształtu włókien w betonie – największą wartość wskaźnika odporności na pękanie uzyskano w przypadku włókien komercyjnych, haczykowatych i falistych, przy największym ich udziale w objętości betonu.

Autorka wykazała się nowatorskim podejściem do analizowanego problemu naukowego, co zasługuje na podkreślenie. Zaproponowane metody oceny efektywności zbrojenia fibrobetonu są uniwersalne dla różnego rodzaju włókien. Autorka w rozprawie dowiodła, iż proces oczyszczania włókien na największy wpływ na ich skład chemiczny, czystość oraz przyczepność do matrycy cementowej i wynikowe właściwości mechaniczne. W tabeli 14 na stronie 82 pracy podała wyniki badania zanieczyszczeń we włóknach z recyklingu, w zależności od ich rodzaju. Cynk może występować w powłoce metali chroniącej ich przed korozją. Cynk w środowisku silnie alkalicznym może prowadzić do powstania gazowego wodoru, pogarszającego właściwości mechaniczne betonu. Autorka dowiodła brak korozyjności alkalicznej włókien i możliwości powstawania wodoru w środowisku silnie alkalicznego zaczynu cementowego. Analiza SEM-EDS dowiodła bardzo odmienny skład stopu włókien pochodzących z recyklingu oraz komercyjnych.

Podkreślenia wymaga także wykonanie badań aplikacyjnych, umożliwiających ocenę praktycznego stosowania analizowanych włókien pochodzących z recyklingu opon w porównaniu do włókien komercyjnych, przy zróżnicowanej ich zawartości (12, 20, 30 i 40 kg/m³). Jednym z kierunków zagospodarowania przetworzonych włókien z recyklingu opon mogą być betonowe posadzki komercyjne, gdzie włókna pełnią rolę zbrojenia rozproszonego. W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań właściwości użytkowych betonów z dodatkiem oczyszczonych włókien z recyklingu opon w porównaniu z betonami z dodatkiem takiej samej ilości stalowych włókien komercyjnych. Badano takie właściwości jak m.in. konsystencja mieszanki betonowej, wytrzymałość na zginanie, ściskanie, rozłupywanie moduł sprężystości, odporność na ścieranie i odporność na uderzenia.

Uwagi i spostrzeżenia recenzenta:

Niniejszą pracę doktorską oceniam wysoko. Jednak podczas czytania i analizowania treści rozprawy zauważyłam drobne błędy stylistyczne i 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. Najważniejsze z uwag przedstawiam poniżej:

1. Badania wstępne i zasadnicze fibrobetonu zostały przeprowadzone z zastosowaniem jednego rodzaju betonu, tj. wg PN-EN 14845-1:2008 Metody badania włókien w betonie. Część 1: Betony wzorcowe, 2008. W normie podano cztery rodzaje betonu wzorcowego, które dobiera się według rodzaju wyrobu lub systemu, w którym mają być stosowane włókna do betonu. Do badań eksperymentalnych wybrano beton obligatoryjny. Proszę, by Autorka uzasadniła swój wybór. Ponadto, badania naukowe nie „ograniczają” standaryzowane wytyczne znormalizowane, a poszukiwania naukowe składnią do poszerzania ich horyzontów. Jaki zatem zdaniem Autorki powinien być optymalny skład (ilość zaczynu, rodzaj i ilość cementu, w/c, itp.)

i technologia wykonania betonu, by uzyskać najlepsze właściwości, zarówno mieszanki betonowej (konsystencja, zagęszczenie) oraz betonu (z uwzględnieniem równomiernego rozproszenia włókien i właściwości mechanicznych betonu)?

2. Brak w pracy szczegółowych (cząstkowych) wyników dla poszczególnych serii betonu odpowiadających analizowanej właściwości betonu. Liczba próbek badawczych użytych do określenia właściwości betonów (beton bez włókien, z włóknami komercyjnymi oraz z włóknami z recyklingu opon samochodowych) objętych eksperymentem w niektórych przypadkach wydaje się zbyt mała, aby uznać ją za reprezentatywną. Należy mieć na szczególnej uwadze, że badania dotyczą betonu z zawartością włókien stalowych z recyklingu o bardzo zróżnicowanym kształcie, smukłości i długości w poszczególnych zarobach. Kolejno, każdorazowe rezultaty badań powinny zostać poddane analizie statystycznej celem wykluczenia wyników przypadkowych, dla oceny jednorodności badanych materiałów, czy też rozrzutu uzyskanych wyników oraz ich wiarygodności. Nasuwa się zatem pytanie, na jakiej podstawie Autorka określiła niezbędną ilość próbek w poszczególnych badaniach?
3. Włókna stalowe, pochodzące z recyklingu opon charakteryzuje większa smukłość w stosunku do włókien komercyjnych. Procesy korozyjne wpływające na trwałość włókien w środowisku naturalnym, na przykład w przypadku podszadek przemysłowych, niewątpliwie wpływają na trwałość włókien. Chciałabym zatem zapytać Autorkę czy włókna stalowe z recyklingu opon samochodowych powinny być stosowane w każdej klasie ekspozycji betonu?
4. Brak bliższej charakterystyki składu betonu zastosowanego podczas badań aplikacyjnych. W jaki sposób można wytłumaczyć zwiększoną nawet do około 10% zawartość powietrza w mieszankach betonowych aplikacyjnych? Co zdaniem Autorki było przyczyną takiego zjawiska? Jak powszechnie wiadomo, tak wysoka zawartość powietrza jest niekorzystna, szczególnie dla właściwości mechanicznych betonu, ale i pozostałych jego cech.
5. W celu oczyszczenia włókien z zanieczyszczeń zastosowano proces rozkładu termicznego w temperaturze powyżej 500°C. W pracy zastosowano temperaturę 570°C przez 2 godziny dla 100 gram włókien z recyklingu. Chciałabym, aby Autorka doprecyzowała, jak proces zastosowany prażenia włókien wpływa na wynikowy ślad węglowy 1 m³ fibrobetonu w stosunku do włókien komercyjnych oraz betonu niezbrojonego włóknami?

4. Podsumowanie i wniosek końcowy

Autorka sformułowała oryginalny problem naukowy, zaplanowała ciekawy program badań stawiając przed sobą do realizacji ambitne cele naukowe. Konsekwentnie je realizując, udowadnia sformułowane tezy. Wykazała, że włókna stalowe pochodzące z recyklingu opon samochodowych nadają się do wykorzystania przy produkcji fibrobetonu, ale po procesie ich oczyszczenia. Przy odpowiedniej recepturze, fibrobeton zbrojony włóknami z recyklingu opon posiada parametry porównywalne z odpowiednim zbrojeniem przemysłowym włóknami stalowymi i może być stosowany przy wykonywaniu poszadek przemysłowych. Wyniki badań Autorki przedstawione w rozprawie doktorskiej stanowi istotny wkład w poszerzenie wiedzy z zakresu technologii fibrobetonu. Pani mgr inż. Agnieszka Michalik wykazała się twórczym podejściem do rozwiązania postawionych zadań badawczych oraz umiejętności ich realizacji z wykorzystaniem nowoczesnych technik pomiarowych. Doktorantka wykazała się dobrą znajomością wiedzy teoretycznej z zakresu dyscypliny objętej tematem rozprawy, umiejętnością planowania eksperymentu,

prowadzenia skomplikowanych analiz z wykorzystaniem nowoczesnego sprzętu, analizowania wyników i wyciągania wniosków. Biorąc pod uwagę wszystkie aspekty oceny rozprawy doktorskiej i uzyskane wyniki analiz stwierdzam, że Doktorantka w stopniu zadowalającym opanowała umiejętność samodzielnego prowadzenia badań oraz przedstawiła elementy oryginalnego rozwiązania problemu naukowego. Mając powyższe na uwadze stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Agnieszki Michalik spełnia warunki określone w Ustawie "Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce" z dnia 20 lipca 2018 roku (Dz. U. z 2018 r. poz. 1668 z późn. zm.). Stawiam wniosek o przyjęcie rozprawy pt. „Efektywność zbrojenia betonu oczyszczonymi włóknami z recyklingu opon” i dopuszczenie jej Autorki do publicznej obrony przed Radą Naukową Instytutu Techniki Budowlanej w dziedzinie naukowej Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport oraz jej wyróżnienie.

Beata Łazniewska-Pickarczyk